

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**CONTRIBUIÇÃO PARA O RECONHECIMENTO AUTOMÁTICO DAS OPERAÇÕES DE
FRESAMENTO ATRAVÉS DA TEORIA DOS GRAFOS**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA**

AUTOR: ALERÇO GOMES DOS PRAZERES

ORIENTADORA: Profa. Dra. NOEMIA GOMES DE MATTOS DE MESQUITA

RECIFE, NOVEMBRO DE 2004

P921c

Prazeres, Alerço Gomes dos

Contribuição para o reconhecimento automático das operações de fresamento através da teoria dos grafos / Alerço Gomes dos Prazeres. – Recife : O Autor, 2004.
viii, 132 folhas. : il.

dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.
CTG. Engenharia mecânica, 2004.

Inclui bibliografia.

1. Engenharia mecânica - Materiais e fabricação. 2. Operações de fresamento. 3. Teoria dos grafos. I. Título.

UFPE

620.1

CDD (22.ed)

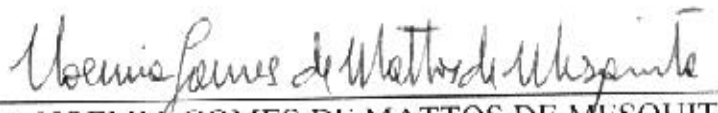
BCTG/2005-32

**CONTRIBUIÇÃO PARA O RECONHECIMENTO AUTOMÁTICO DAS OPERAÇÕES DE
FRESAMENTO ATRAVÉS DA TEORIA DOS GRAFOS**

ALERÇO GOMES DOS PRAZERES

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MATERIAIS E FABRICAÇÃO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA/CTG/EEP/UFPE

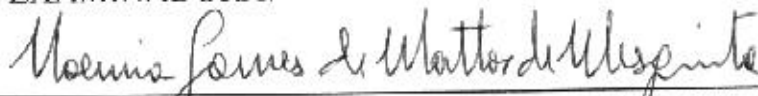


Profa. Dra. NOEMIA GOMES DE MATTOS DE MESQUITA
ORIENTADORA/PRESIDENTE

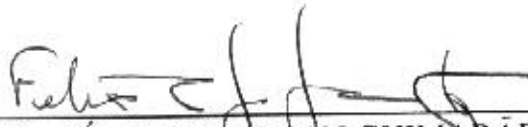


Profa. Dra. ANA ROSA MENDES PRIMO
COORDENADORA DO CURSO

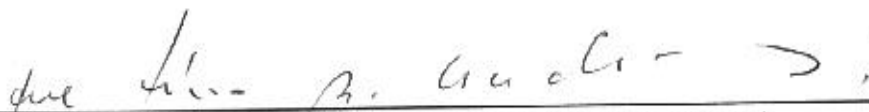
BANCA EXAMINADORA:



Profa. Dra. NOEMIA GOMES DE MATTOS DE MESQUITA (UFPE)



Prof. Dr. FÉLIX CHRISTIAN GUIMARÃES SANTOS (UFPE)



Profa. Dra. ANA LÚCIA BEZERRA CANDEIAS (UFPE)

Dedico este trabalho a minha irmã Dra. Maria José Gomes dos Prazeres, que devotou sua vida à medicina e a fazer o bem ao próximo, vindo a falecer na conclusão deste
Aos meus pais: Augusto e Maria da Conceição (in memóriam)
A minha mulher Lucinete e a minha filha Luciana
Aos meus irmãos: Adalécio, Ailton, Adilson, Lúcia e Conceição.
Ao meu neto Guilherme Victor .

AGRADECIMENTO

Descobrir, inventar, aprimorar, aperfeiçoar, são predicados incorporados à rotina do dia a dia daqueles, cuja inquietação na busca de respostas para problemas tecnológicos e científicos com soluções, satisfatórias, ainda desconhecidas, são levados a enveredar pelo caminho da pesquisa, fazendo dele um verdadeiro estilo de vida. Incentivar, estimular, motivar, são predicados incorporados à rotina daqueles que possuem discípulos que estão se iniciando no mesmo caminho. Junte-se a estes, capacidade, trabalho, sinceridade, determinação e decisão, tudo isto incorporados a um enorme coração dá uma idéia da nobre pessoa que é a professora Noemia Gomes de Mattos de Mesquita. A ela os meus maiores agradecimentos pela orientação, para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Agradeço ao professor Maurílio, que me incentivou a entrar neste curso e muitas vezes foi um grande conselheiro e amigo.

Agradeço ao professores Yadava e Ney, pelos incentivos, pela amizade e pela colaboração na minha formação.

Aos professores Felix Christian e Ana Lúcia, pela contribuição dada para o enriquecimento deste trabalho através das críticas e correções feitas por ocasião de suas participações na banca examinadora.

Agradeço aos meus pais Augusto e Maria da Conceição pela educação que nos deu, pelos exemplos de trabalho e honestidade, pelas cobranças, enfim por tudo que representaram para mim e para os meus irmãos.

Aos meus irmãos, Adalécio, Ailton, Adilson, Maria José (in memória), Maria Lúcia e Maria Conceição, pela força e pelo constante incentivo que sempre me deram.

Ao colega Paulo Brasileiro do CPF – Manoel de Brito pelo apoio dado na orientação dos dados tecnológicos do centro de usinagem CNC.

Aos colegas de curso Arimatéia, Jean, Fernando, Nelson, Erwin, e tantos outros companheiros aqui não citados.

Aos colegas do CEFET, Paulo Chagas, José do Nascimento, Saulo Bonifácio, George Marinho que durante este período de curso ajudaram-me a preencher algumas lacunas deixadas nos meus compromissos profissionais.

Às secretárias Eliane e Marione, que sempre nos atendeu de maneira atenciosa e cortes.

À minha esposa Lucinete, companheira de todas as horas, que durante este período entendeu a desatenção que tive com a família, não deixando de me apoiar em nenhum momento expresso também a minha gratidão.

À minha filha Luciana que muito me ajudou na digitação dos trabalhos do mestrado e na preparação e material para apresentação dos seminários.

Ao meu neto Guilherme Victor, motivo maior das minhas conquistas, procurando fazer jus a admiração que ele sente por mim. E pela companhia prazerosa que me fez em muitas madrugadas, jogando vídeo-game ao meu lado enquanto eu fazia as minhas pesquisas. Em alguns momentos tirando minha concentração, mais a intenção era nobre.

Aos meus sobrinhos João e Pedro Augusto pelos esclarecimentos na área computacional.

À minha cunhada Netinha e às minha sobrinhas Ana Rafaela, e Andreia pelo apoio dado nos momentos difíceis pelo qual passamos.

Agradeço a DEUS o nosso pai maior e mentor de todas as nossas ações. A todos os familiares, tios, sobrinhos, cunhados, sogra, primos e de modo geral a todos que se interessaram pelo desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Neste trabalho mostrou-se que através da teoria dos grafos é possível se reconhecer automaticamente as operações de fresamento. Para tal partiu-se dos desenhos em CAD da peça bruta e da peça a usinar. Através de uma operação booleana de diferença determinou-se o volume a ser removido em forma de cavaco. Este volume foi subdividido e codificado em sub-volumes, a partir dos vértices da peça final, projetados nas direções x, y e z. Com os sub-volumes foram construídos os grafos, que têm como origem nas fronteiras da peça bruta. Em seguida foram definidas regras, em forma de perguntas, que aplicadas aos grafos geram respostas em forma de código com treze campos que são preenchidos com os caracteres “0”, “1” e “x” (zero, um e xis). Estes códigos são capazes de identificar de forma peculiar cada uma das operações de fresamento.

ABSTRACT

In this work it was showed that with the graph theory it is possible automatically recognize the milling processes. For such the start point was the workpiece and the manufactured piece CAD. Through a Boolean operation of difference it was established the to be removed volume, to be transformed into chips. This volume was divided into smaller volumes, up the piece vertex projected into the x, y and z directions. With the smaller volumes it were constructed the graphs, that had the origin in the workpiece boundaries. Then it were defined the rules, in asked form, that when applied at the graphs generated code answers, with thirteen fields that were filled with the characters "0", "1" and "X". These codes were able to identify in a peculiar way each one of the milling processes.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	USINAGEM A COMANDO NUMÉRICO	3
2.1	Comando Numérico Computadorizado	3
2.2	Sistemas de Projetos Assistidos por Computador – CAD	6
2.3	Engenharia Assistida por Computador - CAE	8
2.4	Manufatura Assistida por Computador – CAM	8
2.5	Planejamento de Processos Assistido por computador (CAPP)	9
2.5.1	Fases do Planejamento de Processo	10
2.6	As Máquinas de Comando Numérico (C N)	12
2.6.1	Centros de Usinagem	13
2.7	Forma de Fixação das Peças	14
2.8	Estudo dos Grafos	16
2.9	Grafos e Usinagem	19
3	OBJETIVO	22
4	REPRESENTAÇÃO DA PEÇA BRUTA, DA PEÇA FINAL E DO VOLUME A SER TRANSFORMADO EM CAVACOS.	24
4.1	Procedimento Para Obtenção Dos Sub-Volumes das Peças	25
4.2	Identificação dos Planos Auxiliares e Dos Sub-Volumes	27
5	RECONHECIMENTO DOS SUB-PROCESSOS DE FRESAMENTO	36
5.1	Siglas das Sub-operações de Fresamento	36
5.2	Importação dos Dados de Projeto de um Sistema CAD	39
5.3	Testes a Serem Realizados para Reconhecimento das Operações de Usinagem.	43
5.4	Regras de Reconhecimento das Operações de Usinagem	47
5.5	Processo de Identificação dos Elementos Geométricos que Caracterizam os Sobre-metais .	48
5.6	Fresamento de Canais Retangulares.	51
5.7	Fresamento de Canto a 90°	52
5.8	Operação de Fresamento de Chanfro	55
5.9	Operações de Fresamento de Canto a 90°, nas Duas Faces da Peça, Gerando um Perfil em T Invertido.	57
5.10	Fases de Fresamento de Canais Angulares.	59
5.11	Fresamento de Canal em T	62
5.12	Fresamento de Canto em Ângulo (calda de andorinha macho)	62
5.13	Operações de Furação nos Centros de Usinagem	65
5.13.1	Operações com Furos Passantes	65
5.13.2	Operações com Furos não Passantes	65
5.14	Fresamento de Cavidades	68
5.15	Discussão Sobre o Reconhecimento dos Sub-Processos de Fresamento	70
6	DADOS TECNOLÓGICOS DO SISTEMA E CRITÉRIOS DE ESCOLHA DAS FERRAMENTAS DE CORTE	73
6.1	Características da Central de Usinagem CNC	73

6.2	Especificações Técnicas do Centro de Usinagem Vertical Discovery 4022	74
6.3	Fixação das Peças nos Centros de Usinagem	77
6.4	Critérios Gerais Para Seleção das Ferramentas de Corte	78
6.5	Seleção do Passo da Fresa	78
6.6	Seleção do Diâmetro da Fresa e da Posição em Relação à Peça.	78
6.7	Seleção do Ângulo de Posição	79
6.8	Exigência do Acabamento Superficial	81
7	PARÂMETROS DE CORTE NAS OPERAÇÕES DE FRESAMENTO	86
7.1	Terminologia e Unidades nas Operações de Fresamento	86
7.2	Formulas Gerais a Serem Usadas no Planejamento das Operações de Fresamento	87
7.3	Cálculo da Velocidade de Corte na Operação de Fresamento.	88
7.4	Determinação da Profundidade de Corte e Avanço no Fresamento de Topo.	89
	Determinação da Máxima Profundidade de Corte Para o Fresamento Cilíndrico	
	Tangencial	92
7.6	Determinação da Profundidade de Corte e do Avanço no Fresamento Tangencial com Fresa Helicoidal.	95
7.7	Determinação do Número de Passadas.	97
7.8	Cálculo dos Tempos de Usinagem em uma Operação de Fresamento	97
7.9	Velocidade de Corte de Máxima Produção	99
	7.9.1 Determinação do Tempo de Corte na Operação de Fresamento	99
	7.9.2 Exemplos de Determinação dos Tempos de Fresamento em Função da Trajetória das Ferramentas	100
7.10	Movimento de Aproximação e Movimento de Posicionamento.	106
	7.10.1 Cálculo dos Tempos Improdutivos no Fresamento	106
7.11	Processo de Furação nos Centros de Usinagem Verticais.	109
	7.11.1 Cálculo do Tempo de Furação	109
	7.11.2 Determinação da Potência de Corte na Furação	112
7.12	Acabamentos Superficiais nas Operações de Fresamento	114
8	GERAÇÃO DO PROGRAMA DE CNC	116
8.1	Funções Especiais	119
8.2	Instruções Auxiliares da Máquina, Funções Miscelânea	119
8.3	Instruções Para Usinagem de Superfícies - Funções G	120
8.4	Etapas a ser Seguidas Para a Elaboração de um Programa CNC	126
8.5	Preparação dos Equipamentos de Usinagem nas Máquinas CNC	127
9	CONCLUSÕES	129
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	130

1. INTRODUÇÃO

A primeira máquina comandada numericamente surgiu no laboratório de Servomecanismo do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT). Uma fresadora de três eixos teve seus controles e comandos convencionais, retirados e substituídos pelos comandos numéricos, dotados de leitora de fita de papel perfurado, unidade de processamento de dados e servomecanismo nos eixos. O principal fator que forçou os meios industriais a desenvolver este novo conceito de comandar as máquinas, foi a segunda guerra mundial. Necessitava-se de muitos aviões, tanques, barcos, navios, armas, caminhões, tudo em ritmo de produção em alta escala e grande precisão. Por ser uma máquina versátil, inclusive na geração de superfícies não de revolução, foi a fresadora escolhida como alvo das novas experiências. Do seu surgimento até os nossos dias, as máquinas comandadas numericamente tiveram uma evolução extraordinária, tanto na sua estrutura, como nos comandos por ela utilizados. Os modernos centros de usinagem hoje fabricados possuem uma grande versatilidade nas suas operações e uma alta confiabilidade, graças a sua precisão e desempenho.

A tendência existente no mercado mundial em que a indústria está envolvida, em particular, a de produção de equipamentos mecânicos, sofreu transformações consideráveis. A globalização da economia mundial, a existência de um maior número de fabricantes, faz com que a concorrência seja elevada e que o mercado passe a ser ditado pelas necessidades do consumidor.

A necessidade de elevar a produção com precisão sem desperdício, situação criada pela redução do ciclo de vida comercial do produto fez com que as empresas procurassem uma maior integração entre as atividades do ciclo produtivo considerada como elemento fundamental na busca pela diminuição do tempo de desenvolvimento, aumento de qualidade e diminuição de custos de produção. Para tal o projeto e a manufatura têm recebido especial atenção devido à sua importância no ciclo de vida de um produto. O planejamento de processos é considerado como elemento de ligação entre as atividades de projeto e manufatura.

Devido à presença de pequenos lotes, a necessidade de um tempo reduzido entre as etapas de projeto e fabricação, a diversidade das operações de usinagem, e a grande quantidade de informações manipuladas, faz com que o planejamento do processo seja uma das tarefas mais importante na atividade de fabricação mecânica. As suas funções estabelecem os métodos e meios de converter uma peça bruta em um produto acabado com as especificações funcionais desejadas.

A racionalização dos processos de usinagem, tanto em máquinas convencionais como em máquinas a comando numérico é uma decorrência direta do planejamento do processo. Sendo ele realizado de uma forma eficiente, pode acarretar uma grande economia de tempo e dinheiro na fabricação de peças. Além de ter influência direta no custo do produto, ele também influencia a qualidade e a produtividade dos mesmos. As atividades do planejamento de processo podem ser realizadas manualmente ou automaticamente (auxiliada por computador).

No planejamento manual o responsável pelo planejamento deve estudar o projeto cuidadosamente e analisar como o produto pode ser fabricado com base na sua experiência em manufatura. Durante este procedimento todos os fatores relacionados aos dados de chão-de-fábrica, como máquinas ferramentas disponíveis, material bruto e outros, são levados em conta pelo planejador. Assim ele deve ter uma grande quantidade de informações disponíveis, sobretudo em manuais, para determinar todos os detalhes requeridos para o planejamento. Este método tradicional de planejamento, além do problema da interpretação pessoal de cada planejador, é uma atividade que demanda muitos cálculos manuais, constituindo-se numa tarefa bastante trabalhosa, levando muitas vezes o planejador a cometer erros, pondo sempre em dúvida a eficiência deste trabalho.

Estima-se que 85% do tempo de planejamento é gasto com aquisição de dados, cálculos e preparação de documentos, restando apenas 15% do tempo para a tomada de decisões técnicas (Thomas e Fisher, 1996). Estatísticas como estas aliadas ao fato da necessidade de se ter uma rápida resposta à mudança de demanda do mercado consumidor, tem despertado nos ambientes da manufatura mecânica um grande interesse pela automação do planejamento do processo. As tarefas repetitivas desta atividade passaram a ser executadas por computador de forma mais eficiente, reduzindo a rotina de trabalho dos planejadores.

A utilização da tecnologia computacional no auxílio das tarefas do planejamento do processo CAPP, tem gerado condições de manufatura mais consistentes e otimizadas, provocando uma redução considerável no custo total de fabricação de peças. A automação do planejamento do processo é hoje, uma atividade moderna, confiável, e compatível com o avanço das máquinas CNC.

Pesquisas no sentido de promover a integração deste processo ao processo de projeto e de manufatura em um mesmo ambiente computacional vêm sendo desenvolvidas com muita ênfase atualmente. Na realidade o que se objetiva é dar ao usuário possibilidade de projetar um produto, planejar e controlar sua manufatura, através de um sistema integrado CAD/CAPP/CAM. Sistemas desses tipos já foram e estão sendo desenvolvidos, nos centros de pesquisa e universidades. Porém usando uma tecnologia mais complexa, a custo mais elevado, e na grande maioria direcionados para peças rotacionais.

Este trabalho apresenta uma metodologia para o reconhecimento automático das operações de fresamento através da teoria dos grafos, como contribuição para a criação de um sistema computacional que promova a integração entre os processos CAD/CAPP/CAM visando a geração automática de um programa CNC para usinagem de peças de forma paralelepípedica em máquinas de três eixos (centros de usinagem vertical). Para tal foram fornecidos ainda informações dos dados técnicos da máquina, para a qual o programa está direcionado, das ferramentas de corte, e definidos os parâmetros de corte das operações de fresamento.

2. Usinagem a Comando Numérico

Racionalizar e automatizar as atividades do homem tem sido desde os tempos mais remotos até os nossos dias uma busca incessante. Das mais antigas civilizações até as atuais, procura-se através de novos inventos e por meio do desenvolvimento de novas técnicas, fazer com que o exercício das atividades do ser humano se processe com o menor esforço possível. Baseado neste princípio surgiu a automação, que tem como objetivo principal, a simplificação de todo tipo de trabalho, quer seja ele físico ou mental. O exemplo mais comum da automação do trabalho mental é o uso das calculadoras eletrônicas. No cotidiano observa-se cada vez mais a automação e a racionalização dos trabalhos físicos em geral, por exemplo: na agricultura vêem-se novos e sofisticados tratores que substituem a enxada, e outros meios de produção como colheitadeiras e semeadeiras. Também na nossa casa quando acionamos o controle remoto para ligar o televisor ou som ou para abrir o portão da nossa garagem, ou no nosso carro quando movimentamos os vidros elétricos é a automação que está sendo utilizada. Esses são alguns exemplos simples que mostram que a cada nova geração de novos produtos observa-se uma evolução que faz com que os esforços físicos e mentais sejam reduzidos. Na área da manufatura também observou-se ao longo do tempo uma verdadeira revolução no processo de pesquisa para automação dos produtos e dos processos de fabricação. Como resultado dessas pesquisas foi possível se desenvolver uma geração de máquinas ferramentas automáticas denominadas, Máquinas de Comando Numérico.

2.1 Comando Numérico Computadorizado

O comando numérico é um equipamento elétrico eletrônico capaz de interpretar uma seqüência lógica de informações. Ele é um computador com a missão especial de controlar movimentos de máquinas.

Há uma certa disputa sobre quem é responsável pelo desenvolvimento da tecnologia de comando numérico. Muitas empresas e instituições trabalharam concomitantemente no conceito de máquinas de comando numérico durante a década de 40.

O principal fator que forçou os meios industriais a desenvolver este novo conceito de comandar as máquinas, foi a segunda guerra mundial. Durante a guerra, as necessidades de evolução foram um papel decisivo. Necessitava-se de muitos aviões, tanques, barcos, navios, armas, caminhões, etc., tudo em ritmo de produção em alta escala e grande precisão, pois a guerra estava consumindo tudo, inclusive a mão de obra. Grande parte da mão de obra masculina utilizada pelas fábricas foi substituída pela feminina, o que na época implicava na necessidade de treinamento, com reflexos na produtividade e na qualidade. Era o momento certo para se desenvolver máquinas automáticas de grande produção, para peças de precisão e que não dependessem da qualidade da mão de obra aplicada. Diante deste desafio, iniciou-se o processo de pesquisa onde surgiu a máquina comandada numericamente. A primeira ação neste sentido surgiu em 1949 no laboratório de Servomecanismo do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), com a união da Força Aérea Norte-Americana (U.S. Air Force) e a empresa Parsons Corporation of Traverse City, Michigan. Foi adotada uma fresadora de três eixos, a Hydrotel, da Cincinnati Milling Machine Company, como alvo das novas experiências. Os controles e comandos convencionais foram retirados e substituídos pelos comandos numéricos, dotados de leitora de fita de papel perfurado, unidade de processamento de dados e servomecanismo nos eixos. Após testes e ajustes, a demonstração prática da máquina ocorreu em março de 1952, e o relatório final do novo sistema somente foi publicado em maio de 1953. Após este período, a Força Aérea Norte-Americana teve um desenvolvimento extraordinário, pois as peças complexas e de grande precisão, empregadas na fabricação das aeronaves, principalmente dos aviões a jato

de uso militar, passaram a ser produzidas de forma simples e rápida, reduzindo-se os prazos de entrega do produto desde o projeto, até o acabamento final. Ainda na década de 50 o método prático para aumentar o rendimento das máquinas existentes, num curto período de tempo, era a adaptação do comando numérico, apesar do considerável retrabalho. Entretanto, no fim desta década, esta iniciativa deixou de ser a mais viável, pois a partir de 1955 as vendas deste tipo de máquina começaram a crescer e o preço a cair devido em parte à aceitação do comando numérico na indústria e em parte a contínua miniaturização dos componentes eletrônicos necessários. Das válvulas aos circuitos integrados de grande escala os componentes diminuíram em tamanho e custo. A produção e confiabilidade das máquinas aumentaram, e as máquinas comandadas numericamente continuaram a impressionar realizando operações previamente consideradas impossíveis ou impraticáveis, com melhor precisão e repetibilidade que os métodos convencionais. A cada ano, foi incrementada a aplicação do CN, principalmente na indústria aeronáutica.

Em 1957 iniciou-se uma revolução no sistema de manufatura, intensificando-se o uso de máquinas de comando numérico. Surgiu um grande número de fabricantes de máquinas e de controles no mercado, sendo que alguns fabricantes passaram também a fabricar seus próprios controles. A partir de novembro de 1959, equipamentos com controle de posicionamento ponto a ponto e geração contínua de contornos, foram melhorados pelo trocador automático de ferramentas, o qual foi desenvolvido por uma fábrica de usinagem de metais para uso próprio. Aplicações de controle de posicionamento começaram a crescer e logo o número de máquinas instaladas com este controle ultrapassou o daqueles de copiagem contínua de contorno. Haja visto, que em 1961, apareceu a primeira furadeira com posicionamento da mesa controlado por programa de comando numérico, notável por seu baixo preço quando comparada a outras máquinas de comando numérico da época.

Em fins de 1962, todos os grandes fabricantes de máquinas ferramentas estavam empenhados na aplicação do controle numérico. Sendo que hoje poucos não oferecem este tipo de produto. Com o grande número de concorrentes e as diversificações existentes, houve a necessidade de padronização. Nos estágios iniciais o comando numérico necessitava de estreita coordenação de esforços técnicos nas áreas de codificação, formatos de dados de entrada, terminologia e sistema organizacional, os quais eram necessários principalmente para facilitar o intercâmbio de lotes de encomendas entre os fabricantes de aviões. Dessa forma, através de estudos organizados pela E.I.A. a partir de 1958, houve a possibilidade de padronização do formato de dados de entrada conforme norma RS-244.

Comumente eram usadas fitas perfuradas como dados de entrada com as instruções dos dados referentes à peça e condições de usinagem, definidas pelo programador. Estas fitas poderiam ser executadas tanto pelo sistema manual como através do auxílio do computador. A programação manual também podia, e em boa parte das máquinas atuais ainda pode, ser feita através de teclados alfanuméricos presentes conectados às máquinas de comando numérico, principalmente onde há simplicidade do trabalho a ser feito, e a natureza da operação, não justifica gastos com sofisticação de métodos de programação. Por outro lado, o uso de programação com auxílio do computador, proporciona além da rapidez, uma maior segurança contra erros.

Para que houvesse a possibilidade de uso de computadores no auxílio da programação das máquinas foram desenvolvidos vários estudos visando um sistema de linguagem adequada, de tal maneira a se ter facilidade de programação. A primeira linguagem a ser desenvolvida para tal fim foi o APT (Automatically Programed Tool) pelo MIT em 1956. Para geração contínua de contornos foram desenvolvidas novas linguagens como Auto Prompt (Automatic Programming of Machine Tools) - programa tridimensional, Adapt (1964 - Air Force Developed APT ou Adaptation of APT) - versão simplificada tridimensional, Compact II, Action e outras. Em todas

estas linguagens existe um objetivo básico de simplificação das palavras e das terminologias utilizadas.

Nos anos 70 foram introduzidas as máquinas CNC que passaram a depender menos da parte de “hardware”, essencial nos circuitos das anteriores dos anos 60, e ter seu funcionamento baseado muito mais no “software”. Os avanços substituíram a entrada manual de dados e as fitas perfuradas por armazenamento em disquete dos programas ou comunicação remota, e atualmente é possível inserir dados na máquina a partir de uma grande variedade de programas e linguagens.

Nos anos 80, a necessidade de elevar a produção com precisão chegou às empresas, sobretudo norte-americanas e européias, que estavam extremamente preocupadas com os reduzidos aumentos de produtividade obtidos por seus trabalhadores desde o início dos anos 80. Estes fatos levaram a um aumento considerável na automação, principalmente nos EUA, numa tentativa de reconquistar uma posição competitiva num mercado global. Essas necessidades levaram a uma maior confiança em “software” para programar equipamentos automáticos, e máquinas CNC.

Os principais fatores que induziram à pesquisa, aparecimento e introdução do uso de máquinas ferramentas comandadas numericamente foram :

- O avanço tecnológico durante e após a segunda guerra mundial.
- A necessidade de adaptação dos equipamentos aos conceitos de fabricação como baixo custo em pequenos lotes.
- Produtos de geometria complexa e alta precisão.
- Menor tempo entre projeto do produto e o início da fabricação do mesmo.

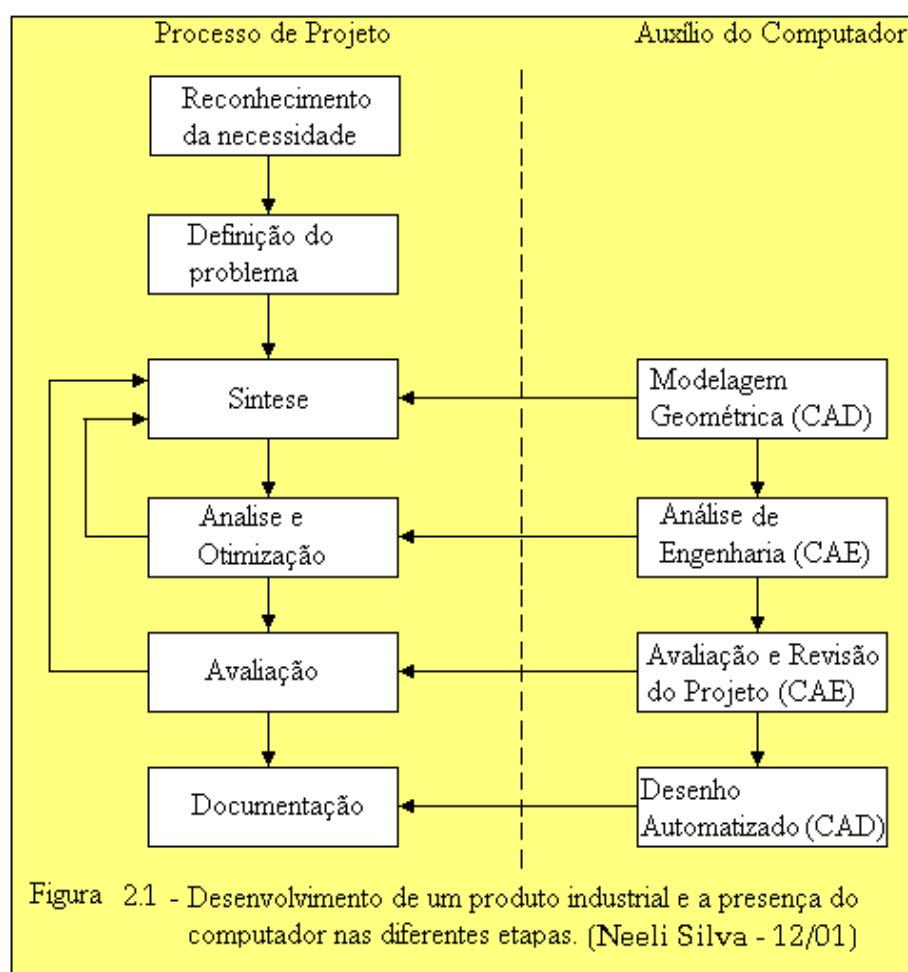
Com o aparecimento do circuito integrado, houve grande redução no tamanho físico dos comandos, embora sua capacidade de armazenamento tenha aumentado, comparando-se com os controles transistorizados. Em 1967 surgiam no Brasil as primeiras máquinas controladas numericamente, vinda dos Estados Unidos. No início da década de 70, surgem no Brasil as primeiras máquinas CN (Comando Numérico) de fabricação nacional. A partir daí, observa-se uma evolução contínua e notável concomitantemente com os computadores em geral, fazendo com que os comandos (CNC) mais modernos, empreguem em seu conceito físico (hardware) tecnologia de última geração. Com isso, houve um aumento na confiabilidade dos componentes eletrônicos, aumentando também a confiança em todo sistema. Deve-se observar que o Comando Numérico (CN) é aquele que executa um programa sem memorizá-lo, e a cada execução, o comando deve realizar a leitura no veículo de entrada. O comando CNC é aquele que após a primeira leitura do veículo de entrada, memoriza o programa e executa-o de acordo com a necessidade, sem, contudo precisar de nova leitura.

Uma das vantagens do comando numérico é a possibilidade de mudar rapidamente a seqüência de operações que a máquina deve realizar. Por meio de um programa específico, essa seqüência é alterada para realizar uma determinada série de funções.

Um programa é uma lista de instruções escritas numa linguagem que a máquina é capaz de entender. A máquina precisa obedecer às instruções do programa para executar sua tarefa com perfeição. Mudar o programa de operação da máquina é, portanto, muito mais rápido do que fabricar novos cames ou realizar regulagens mecânicas. Com o programa em sua memória, cabe ao comando numérico executá-lo, fazendo com que a máquina obedeça às instruções processadas e sejam capazes de controlar as dimensões da peça. Portanto, devemos substituir o instrumento de medição utilizado no controle manual por um sensor de posição. Um encoder rotativo, por exemplo. Finalmente, para movimentar a máquina não podemos mais contar com o operador. Seus músculos, braço, mão, bem como o manípulo da máquina, serão substituídos por um servomotor de corrente alternada. Outros setores da indústria começaram então a perceber as vantagens potenciais do comando numérico, o que os forçou a investir mais nessa tecnologia, para ajudá-los a solucionar seus problemas de manufatura. Em paralelo ao desenvolvimento de sistemas de controle sofisticados, para atender aos requisitos da indústria aeroespacial, um

comando ponto a ponto foi desenvolvido. Estes desenvolvimentos baseados em computador, passaram a ser integrados à indústria pela introdução, em 1982, do FMS (“Flexible Manufacturing Sistem”) Sistema Flexível de Manufatura, e subsequentemente a um conceito mais compreensivo de CAE (“Computer Aided Engenheering”) Engenharia Auxiliada por Computador (Kief & Waters, 1992). Então o CAE, e o CAD passaram a ter uma relação íntima no projeto do produto e na análise da estrutura física dos mesmos.

Na figura 2.1, mostra-se a participação do computador no desenvolvimento de um novo produto, com o emprego do CAD e do CAE. O gráfico possui duas colunas. A coluna da esquerda ilustra as etapas de desenvolvimento do produto e a da direita como o computador pode estar presente em cada uma delas.



2.2 Sistemas de Projetos Assistidos por Computador – CAD

No início da utilização de softwares de CAD (Computer Aided Design), o objetivo principal era aumentar a produtividade na elaboração de desenhos técnicos. Foram alcançados resultados significativos, e o CAD se popularizou na medida em que os microcomputadores

foram se tornando mais poderosos e mais baratos. Entretanto, tais sistemas convencionais de CAD realizavam (e ainda realizam) apenas a função de uma "prancheta eletrônica", concentrando-se na geração de desenhos em duas dimensões. Desenhos tridimensionais mais sofisticados eram tarefa para complexos softwares de CAD desenvolvidos para computadores de custos elevados.

Uma nova geração de sistemas CAD desenvolvidos para a plataforma PC/Windows está mudando radicalmente este conceito, pois incorporam recursos tecnológicos antes somente encontrados nos sistemas complexos. Um exemplo de software para Windows é o SOLID EDGE desenvolvido pela Unigraphics Solutions (EUA), o qual possui recursos de modelamento sólido através de features, modelamento paramétrico e variacional, navegação pela árvore de montagem, comandos inteligentes e fáceis de usar. Esta tecnologia está hoje ao alcance de todos os usuários de CAD, com reduzidos custos de software, hardware e treinamento.

Os CADs são muito aplicados na geração de desenhos nas indústrias metal-mecânica, construção civil, esquemas elétricos, desenhos de mapas cartográficos, de marketing, na mecatrônica entre outros (ver as funções do CAD no projeto de peças na mecânica figura 2.2)

Um modelo geométrico de CAD pode ser bidimensional ou tridimensional. Um exemplo de modelo bidimensional (2D) são as vistas de uma peça em um desenho mecânico. Um modelo tridimensional (3D) consiste num modelo que simula uma terceira dimensão, permitindo-se que se gire o objeto, para visualizá-lo de diferentes formas, ou seja, é um modelo tridimensional que simula de forma virtual, a peça real.

Os modelos tridimensionais no CAD são classificados em estruturas de arame ("wireframe"), modelos de superfícies e modelos de sólidos. Os modelos de sólidos são muito usados atualmente, na integração dos sistemas CAD, com outros sistemas como "por exemplo" o CAE e o CAM

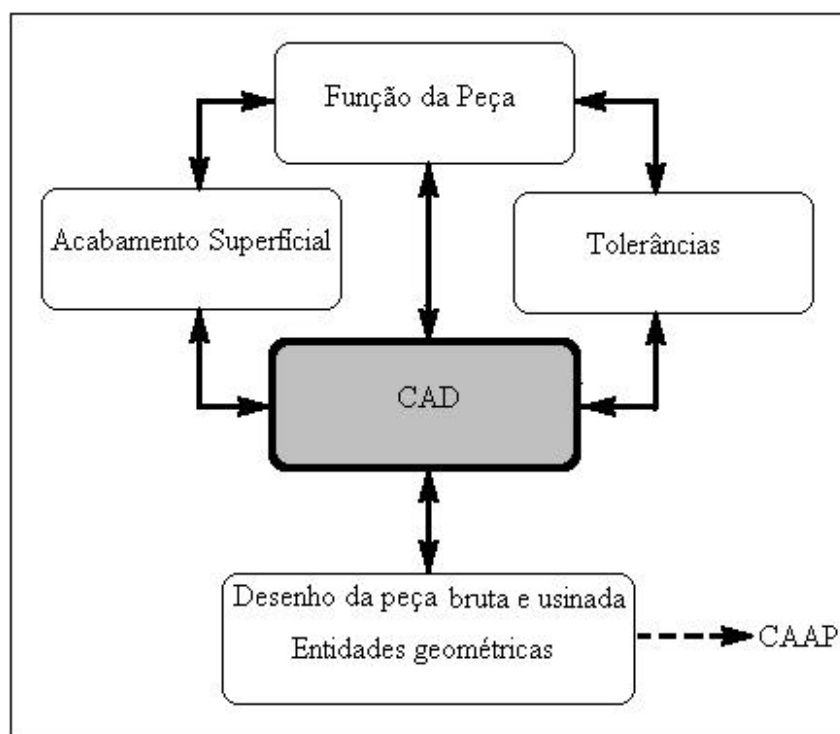


Figura 2.2 – Funções do sistema CAD (adaptado de Andrade, 2001)

2.3 Engenharia Assistida por Computador - CAE

A evolução do cálculo estrutural voltado para o dimensionamento de estruturas e componentes mecânicos é um bom exemplo da automatização na engenharia. Sem o computador, os cálculos eram executados manualmente através de métodos analíticos, e era necessário reduzir ao mínimo a quantidade de operações. Diversas características do problema real não podiam ser consideradas, poucas alternativas de projeto eram analisadas e a utilização de altos coeficientes de segurança resultava em estruturas super dimensionadas. A tecnologia de CAE mudou radicalmente este cenário, pois tal ferramenta permite a realização de uma grande quantidade de cálculos em tempo reduzido. O projetista fica liberado do trabalho braçal, concentrando-se na atividade de projetar com mais criatividade. A simulação computacional de um modelo permite a avaliação de um maior número de variações do projeto, com custos e prazos menores - reduzindo a necessidade de construção de protótipos. Este é o objetivo principal dos softwares de CAE, redução dos custos e do tempo de desenvolvimento do produto e o aumento da sua qualidade.

Os softwares de CAE (Computer Aided Engineering) utilizam modelos digitais para simular fenômenos reais através de métodos numéricos, ou seja, é usado para a simulação do comportamento da peça na situação real de operação. Os sistemas CAE atualmente, são largamente utilizados para o cálculo de tensões, deslocamentos, vibração, transferência de calor, escoamento de fluidos, instalações industriais e outras aplicações.

Além de possuir módulos para todas estas funções, existem no mercado softwares para Engenharia Virtual, disponível para Windows 95 e os mais recentes, que combina a simulação cinemática/dinâmica de mecanismos com a análise de tensões lineares e não-lineares das peças, formando um ambiente de Engenharia Virtual mais ágil e intuitivo, capaz de reproduzir no computador o funcionamento real de uma montagem projetada em CAD, gerando gráficos de parâmetros e animações na tela. Deste modo o projetista após estes procedimentos no CAE pode retornar ao CAD e proceder as devidas correções no projeto antes de recorrer ao CAPP e ao CAM para proceder o planejamento, gerenciamento e controle da manufatura.

2.4 Manufatura Assistida por Computador – CAM

Quando a programação de uma máquina-ferramenta CNC é feita manualmente, a confiabilidade da usinagem somente é alcançada às custas de longos e caros procedimentos de try-out e depuração do programa. Os atuais sistemas de CAM (Computer Aided Manufacturing) realizam a programação de todos os tipos de usinagem CNC com mais rapidez e precisão, utilizando um modelo gerado em CAD e otimizando a trajetória da ferramenta. O recurso de simulação gráfica da usinagem permite a verificação de todas as operações envolvidas, através de uma animação tridimensional envolvendo a peça e a ferramentas de corte.

Para o planejamento, gerenciamento e controle da manufatura, o computador é usado fornecendo informações para o gerenciamento e planejamento efetivo das atividades de produção.

Entre as principais atividades do CAM nesta área destacam-se as seguintes, (ver a figura 2.3):

- Estimativa do custo total (material e produção) de um novo produto fabricado.
- Planejamento do processo, ou seja, planejamento da sequência de operações e quais as máquinas que deverão ser utilizadas para a fabricação de um produto e seus componentes.
- Cálculos dos parâmetros ótimos, de usinagem, como rotações da ferramenta ou da placa de um

torno, velocidade de avanço da ferramenta, número de passes, etc.. Esses dados são calculados para as condições ótimas de corte. Além desses o CAM é capaz de simular a usinagem da peça na tela do computador.

- Gerar um programa para ser fornecido ao computador da máquina ferramenta de comando numérico para usinagem da peça.
- Estudo dos tempos de produção envolvidos na fabricação da peça.

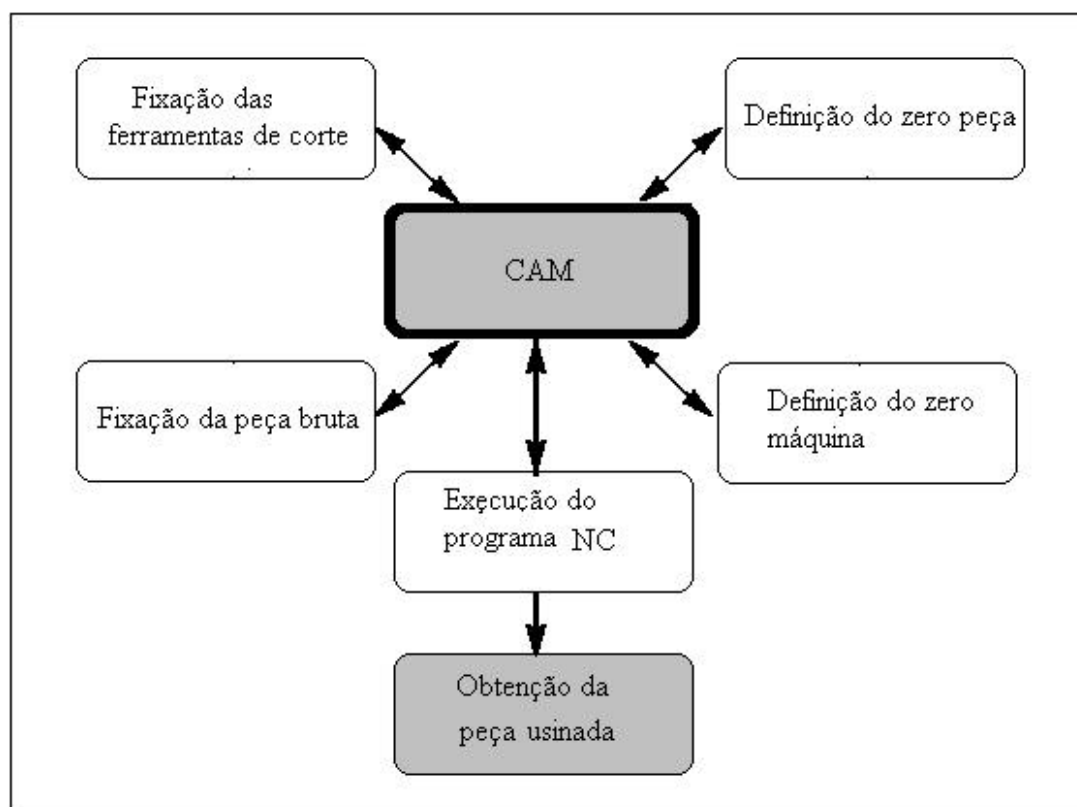


Figura 2.3 – Atribuições de sistema CAM (adaptada de Cavalcante 2001).

2.5 Planejamento de Processos Assistido por Computador (CAPP)

O planejamento do processo é definido como a seleção e seqüenciamento de processos de manufatura para converter uma matéria prima em um componente acabado de acordo com especificações funcionais (Alting e Zhang 1988). Planejamento do processo pode ser também definido como a determinação sistemática dos métodos que permitem que um produto seja manufaturado de maneira econômica e competitiva (Irani, Koo e Raman 1955). Ele é a atividade de selecionar e definir os processos que devem ser executados para transformar um material bruto em um produto acabado.

As atividades do planejamento de processo podem ser realizadas manualmente ou automaticamente, auxiliada por computador. No planejamento manual o responsável pelo planejamento deve estudar o projeto cuidadosamente e analisar como o produto pode ser fabricado com base na sua experiência em manufatura. Durante este procedimento todos os fatores relacionados aos dados de chão-de-fabrica, como máquinas ferramentas disponíveis,

ferramentas, material bruto e outros, são levados em conta pelo planejador. Assim ele deve ter uma grande quantidade de informações disponíveis, sobretudo em manuais, para determinar todos os detalhes requeridos para o planejamento.

2.5.1 Fases do Planejamento de Processo

As fases do planejamento de processo englobam as seguintes etapas (ver figura 2.4):

- Interpretação do desenho do produto;
- Seleção de máquinas-ferramenta;
- Seleção de “set-up’s”
- Seleção de operações de usinagem e sua seqüência

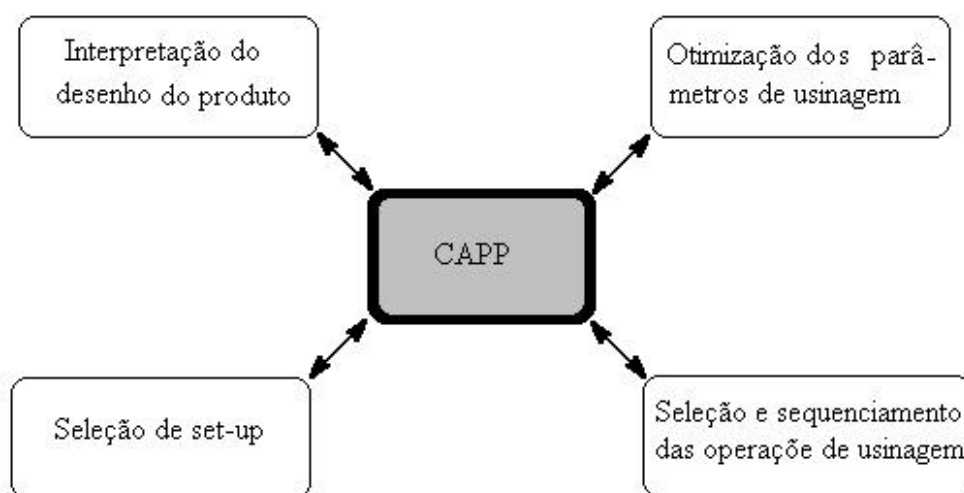


Figura 2.4 – Atividades atribuídas ao CAPP

Todas estas fases acima descritas, para serem executadas pelo método tradicional de planejamento de processo, são centradas no responsável pelo planejamento, que necessita de conhecimentos extensos e diversos em planejamento e manufatura, além do que experiência na utilização de manuais de fabricação, tabelas e formulários. Condições fundamentais para se ter um bom planejamento, tornavam esta atividade, um procedimento tedioso, inconsistente e demorado (Machado,1990).

Embora a tecnologia computacional – Projeto Auxiliado por Computador (CAD) e Manufatura Auxiliado por Computador (CAM) – tenham demonstrado significativo potencial para aumentar a produtividade tanto no projeto como na manufatura existia um espaço entre as tecnologias disponíveis e o entendimento geral de como utilizá-las de forma mais efetiva. As tecnologias computacionais existentes não preenchiam todas as lacunas no sentido de solucionar os problemas da manufatura.

Com isto surgiu o conceito de planejamento do processo auxiliado por computador CAPP (Computer Aided Process Planning), que é a aplicação da tecnologia computacional para auxiliar as tarefas do planejamento de processos, figura 2.5.

O planejamento do processo auxiliado por computador (CAPP), é tido como parte fundamental de um sistema de manufatura integrada por computador (CIM) por ser responsável pela ligação de dados de projeto (CAD) e de manufatura (CAM).

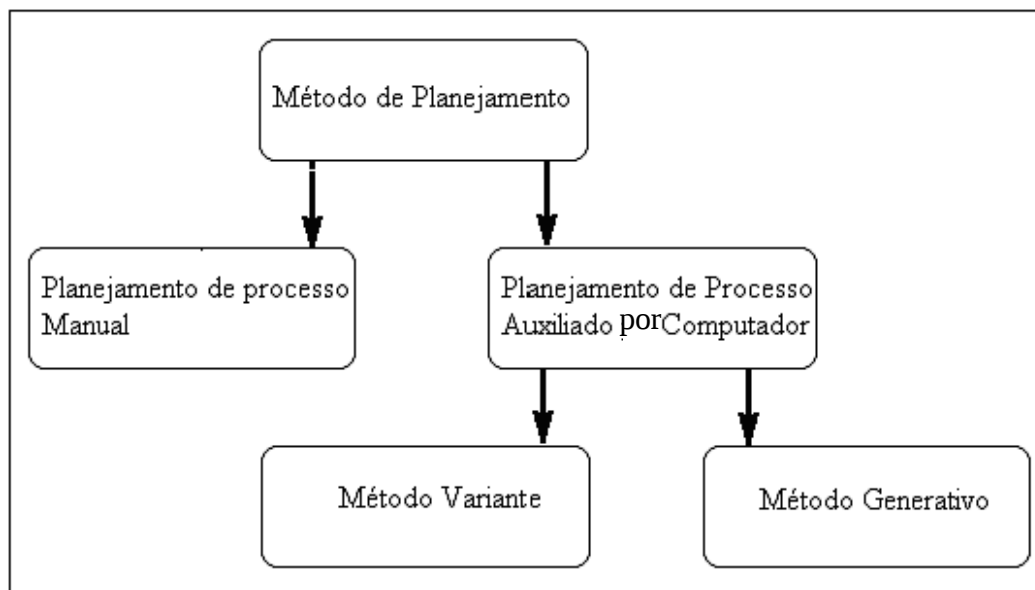


Figura 2.5 – Métodos de planejamento de processo

O planejamento de processo auxiliado por computador utiliza a tecnologia computacional, através de técnicas como tecnologia de grupo, inteligência artificial e rede neurais, para fazer o planejamento de processo. Os desenvolvimentos mais recentes em planejamentos de processos auxiliados por computador têm procurado reduzir a tarefa do planejador, fazendo com que esta atividade seja toda realizada em um computador, de forma satisfatória.

No passado o desenvolvimento dos sistemas auxiliados por computador, foi principalmente concentrado nos sistemas (CAD) (projetos) e nos sistemas (CAM) (manufatura). Devido a sua grande importância no contexto de um sistema CIM, nas últimas décadas tem sido empreendidos grandes esforços no sentido de um maior desenvolvimento dos sistemas CAPP.

Para a construção de sistemas CAPP duas abordagens básicas são seguidas: variante e generativo. Contudo, alguns sistemas que foram construídos apresentam uma combinação das anteriores dando origem a um terceiro tipo: semi-generativo. (Resende 1996)

variante: a abordagem variante para o planejamento de processos é comparável à forma manual utilizada por um processista, onde o plano de processos para uma nova peça é obtido através de pequenas alterações executadas em um plano de processos já existente para uma peça similar. Em alguns sistemas variantes, as peças são agrupadas em famílias, caracterizadas por similaridades no processo de fabricação. Para cada família de peças, um plano de processos padrão que contém todas as possíveis operações, é armazenado no sistema. Através da classificação e codificação, um código é definido para cada peça, a partir de uma série de quesitos. Este código é então utilizado para definir a qual família a peça pertence e qual deve ser o plano padrão associado. Em comparação com o planejamento de processos manual, a abordagem variante é bastante vantajosa, pois a manipulação de informações se torna bem mais simples e os planos de processos podem ser padronizados. Contudo, neste tipo de abordagem, a qualidade final do plano de processos ainda depende da habilidade do processista que realiza as modificações necessárias às particularidades de cada peça. Sendo assim, nos sistemas variantes, o computador é apenas uma ferramenta de auxílio às atividades de planejamento de processos; (Resende 1996)

generativo: neste tipo de abordagem, um novo plano de processos é gerado para cada peça do sistema, sem a intervenção de um processista. São utilizadas tabelas de decisão, árvores de decisão, fórmulas, regras de produção etc., para definir quais são os procedimentos necessários para converter um material bruto em uma peça acabada. A entrada de informações sobre a peça para um sistema generativo pode ser do tipo texto, onde o usuário responde a uma série de questões predefinidas, ou do tipo gráfica, onde as características da peça são definidas através de um módulo de CAD. Quando se pensa em um sistema CIM, a utilização de uma interface gráfica para a definição da peça é a maneira mais interessante, pois desta forma a comunicação entre os módulos de CAD e CAPP fica prontamente estabelecida. A grande vantagem deste tipo de abordagem é que os planos de processo gerados são padronizados e completamente automatizados. Este tipo de abordagem torna-se bastante atraente para empresas que trabalham com uma grande variedade de produtos que são feitos em pequenos lotes; (Resende 1996)

O planejamento de processo pode ser definido como um sub sistema que é responsável pela conversão dos dados de projeto em instruções de trabalho, ou seja, é a atividade que determina o procedimento apropriado para transformar o material bruto em um produto final. Assim, os dados do produto obtido, num sistema CAD, constitui nos dados de entrada para o sistema de planejamento de processo, o CAPP (Computer Aided Process Planning) – planejamento de processos auxiliados por computador, que por sua vez, fornece os dados de entrada para o CAM. Logo pode-se dizer que o sistema CAPP, dentro de um sistema de manufatura integrada por computador CIM (Computer Integrated Manufacturing), age como uma ponte entre o CAD e o CAM (Thomas e Fisher, 1996), figura 2.6.

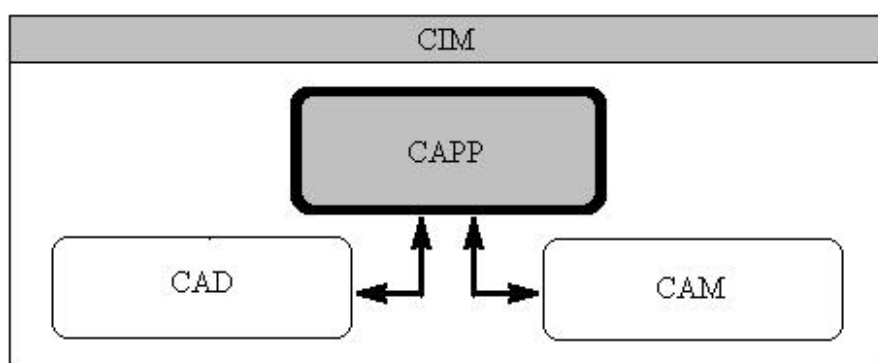


Figura 2.6 – Inter-relações em um sistema CIM.

Como já se relatou no sub-capítulo 2.4, o planejamento de processo envolve as atividades de reconhecimento dos processos, seleção de máquinas ferramentas, seleção de ferramentas de corte, seleção de modos de fixação e seleção dos parâmetros de usinagem para geração automática do código CN e posterior envio ao CAM. Figura 2.6

2.6 As máquinas de Comando Numérico (C N)

As máquinas CNC atuais são máquinas extremamente modernas que podem operar com um número indefinido de eixos. Os recursos gráficos em 3D, e a programação e manutenção via Internet já fazem parte da realidade do presente. Atualmente, diversos recursos existem para facilitar a programação, por exemplo: Os programas podem ser gerados diretamente a partir de um desenho de uma peça, utilizando sistemas CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer

Aided Manufacturing). Programas podem ser gerados interativamente no próprio CNC, utilizando editores e simuladores gráficos, ou diálogos para peças simples, ou podem ser gerados a partir de uma peça-modelo, através de digitalização executada pelo CNC (Brune – 2002/2003).

Hoje as máquinas de comando numérico são utilizadas para a usinagem em série de grandes lotes de peça como também para trabalhar automaticamente "pequenos" e médios lotes de peças muito diversificadas que apresentam grande dificuldade de execução em máquinas tradicionais e até para ferramentaria. O Comando Numérico hoje pode ser utilizado em qualquer tipo de máquina-ferramenta. Sua aplicação tem sido maior nas máquinas de diferentes operações de usinagem, como: Tornos, Fresadoras, Furadeiras, Mandriladoras e Centros de Usinagem.

2.6.1 Centros de Usinagem

Os centros de usinagem são máquinas ferramentas equipadas com comando numérico computadorizado, com grande capacidade de remoção de cavacos, grande rigidez, alto grau de precisão, capazes de fazer operações de faceamento, fresamento, mandrilamento, furação, rosqueamento, alargamento, abertura de canais, usinagem de contornos e cavidades, geração de superfícies no espaço etc...

Em que pese a grande capacidade de remoção de cavacos os centros de usinagem não são máquinas de grandes dimensões. Sua alta eficiência é computada à quase inexistência de movimentos manuais; à possibilidade de se programar da melhor maneira possível os ciclos racionais de usinagem, e ao uso das ferramentas de corte nas condições ideais de velocidade, avanço, e profundidades de corte.

Os centros de usinagem podem ser classificados quanto ao tipo da máquina, quanto ao tipo de comando e quanto ao número de eixos.

Quanto ao tipo da máquina eles classificam-se como;

- Centros de Usinagem Verticais - Quando o eixo de profundidade Z (eixo árvore) está na posição vertical. Estes são ótimos para peças de pequena altura, entretanto quando precisa-se usinar mais que uma face no mesmo ciclo tem-se que recorrer ao fresamento tangencial.

- Centros de Usinagem Horizontais - Quando o eixo de profundidade Z (eixo árvore) está na posição horizontal. Estes possibilitam a usinagem das peças em qualquer face, além do que, usinam-se peças de maior altura, e com mais facilidade de carregar e descarregar a máquina.

Existe ainda o sistema Integrado de Fabricação, são centros de usinagem verticais e horizontais interligados em um único sistema de fabricação, versáteis e altamente produtivos.

Quanto ao tipo de comando podem ser:

Equipados com comando numérico computadorizado (CNC);

Equipados com comandos numéricos adaptativos (CNA);

E equipados com comandos numéricos controlados por computador central (DNC)..

Quanto ao tipo de eixos

Comumente os centros de usinagem tem 2 1/2 e 3 eixos, tendo centros de usinagem especiais que possuem 4, 5 ou mais eixos.

Nos centros de usinagem os eixos principais de programação são definidos pelas três direções principais que são (Machado 1990):

Eixo x – definido pela direção longitudinal

Eixo y – definido pela direção transversal

Eixo z – definido como eixo das profundidades

A estes três eixos básicos estão associados os eixos rotacionais a, b e c respectivamente.(figura 2.7)

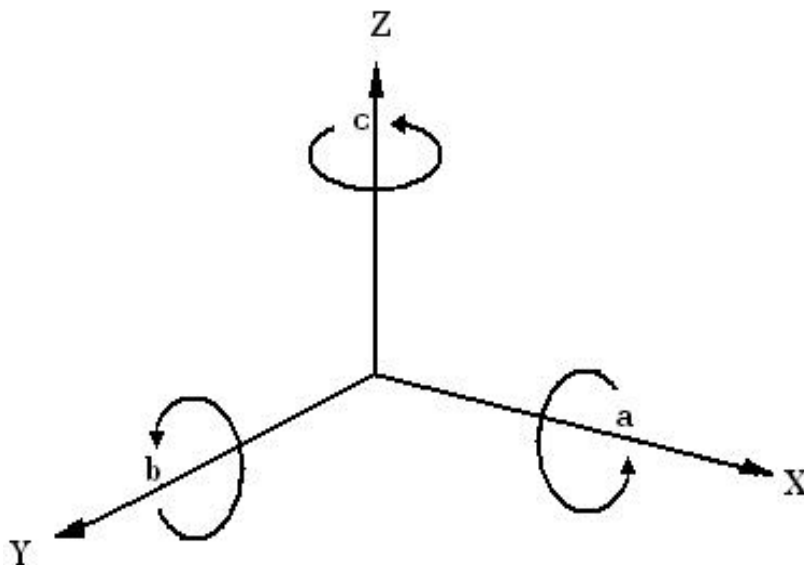


Figura 2.7 – Sistemas de eixos de um centro de usinagem CNC com 3 eixos

2.7 Forma de Fixação das Peças

A forma de fixação da peça faz parte do elenco de dados tecnológicos relevantes na otimização dos processos de fabricação nos centros de usinagem, por ser este um dos balizadores na definição dos “set-up’s” e das fases de usinagem. Necessário se faz que se proceda antes do planejamento do processo e da usinagem propriamente dita um estudo da melhor forma de fixação da peça de modo que sejam atendidas as seguintes condições:

- a) Possa suportar cortes severos sem sofrer algum tipo de deslocamento.
- b) Não sofra deformação por apertos irregulares.
- c) Rapidez e posicionamento correto na mesa de trabalho
- d) Troca fácil mantendo a repetibilidade nas medidas.
- e) Menor número de fixação para a usinagem da peça.

Estas fixações podem ser:

- a) Através de morsa de precisão manuais ou automáticas (hidráulicas ou pneumáticas) (figura 2.8).
- b) Diretamente na mesa da máquina, com uso de calços fixos e reguláveis, grampos, garras, cantoneiras etc. (figura 2.9 e 2.10).
- c) Através de dispositivos especiais de fixação que permitam usinar totalmente uma peça sem a necessidade de soltá-la do dispositivo.

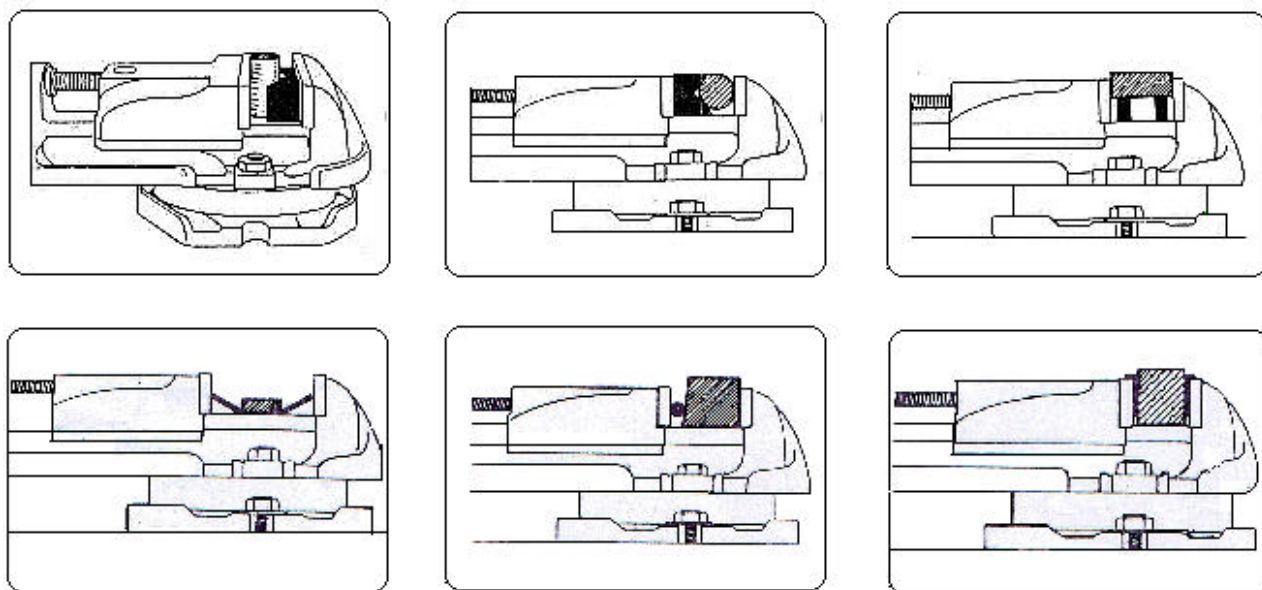


Figura 2.8 – Tipos de fixações de peças em morsa.

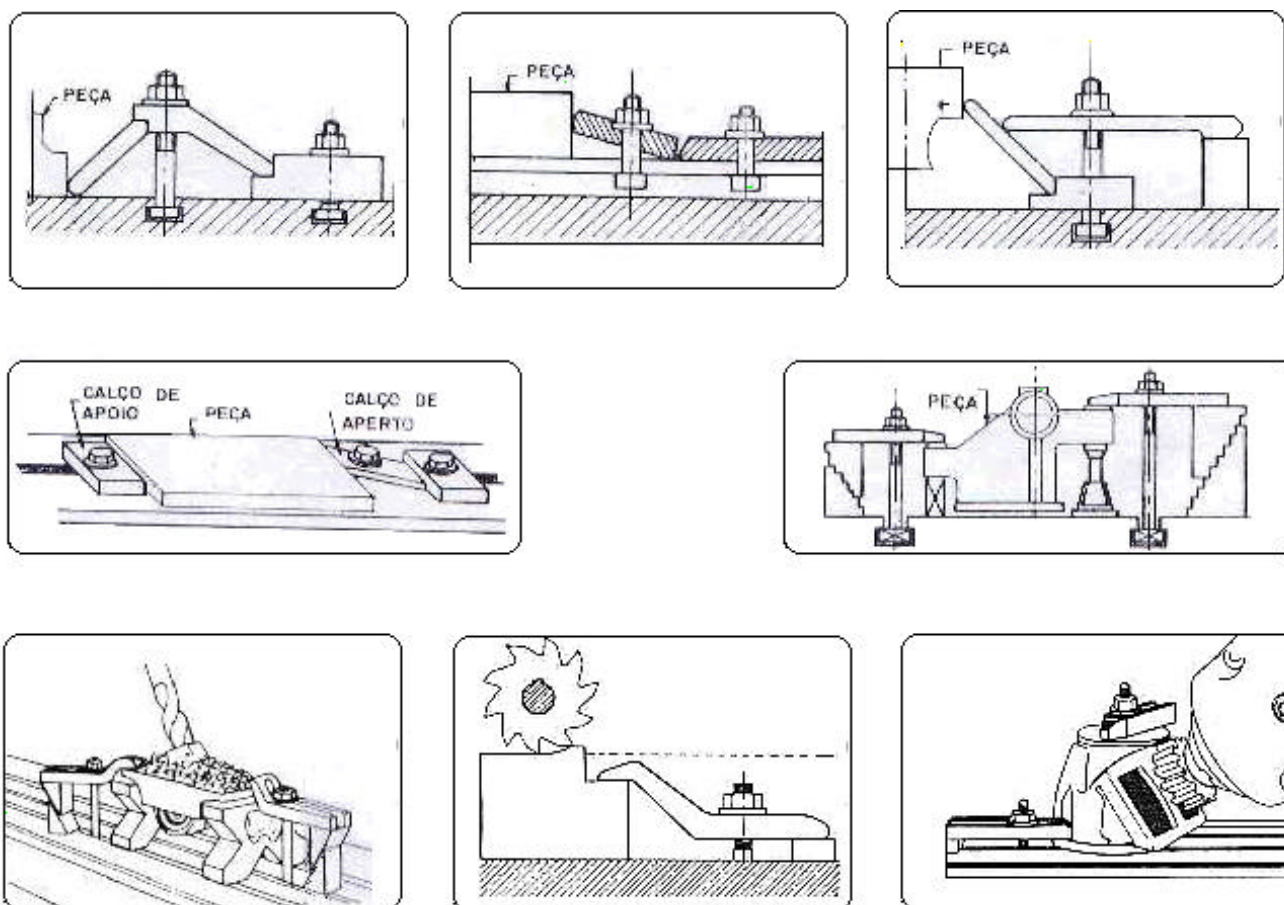


Figura 2.9 – Tipos de fixações de peças diretamente na mesa de trabalho.

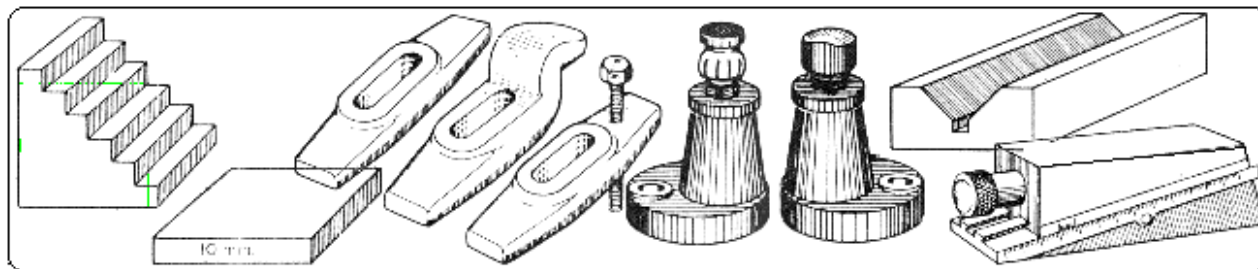


Figura 2.10 – Calços, garras e grampos para fixação de peças na mesa de trabalho.

2.8 Estudo dos Grafos

Vamos inicialmente apresentar a noção do que seja um grafo e em seguida vamos mostrar como usaremos os grafos para definir a relação existente entre os sub-volumes a serem transformados em cavacos.

Grafo é uma noção simples, abstrata e intuitiva, usada para representar a idéia de alguma espécie de relação entre os “objetos”. Graficamente, aparece representado por uma figura com nós ou vértices, significando os objetos, unidos por um traço denominado aresta, configurando a relação imaginada.

Os grafos são atualmente usados em uma grande variedade de aplicações, indo desde o estudo de circuitos elétricos, rotas de aeronaves, custos industriais, estatísticas, etc. até as ciências sociais.

Conceito: Um grafo $G(V, A)$, é definido como um par de conjuntos V e A , onde V é um conjunto finito e não vazio de elementos que são os vértices do grafo (também chamados de nós) e A um conjunto de pares ordenados $a = (v, w)$, sendo v e w elementos de V , as arestas. Normalmente, pode-se utilizar uma representação gráfica de um grafo (ver figura 2.11).

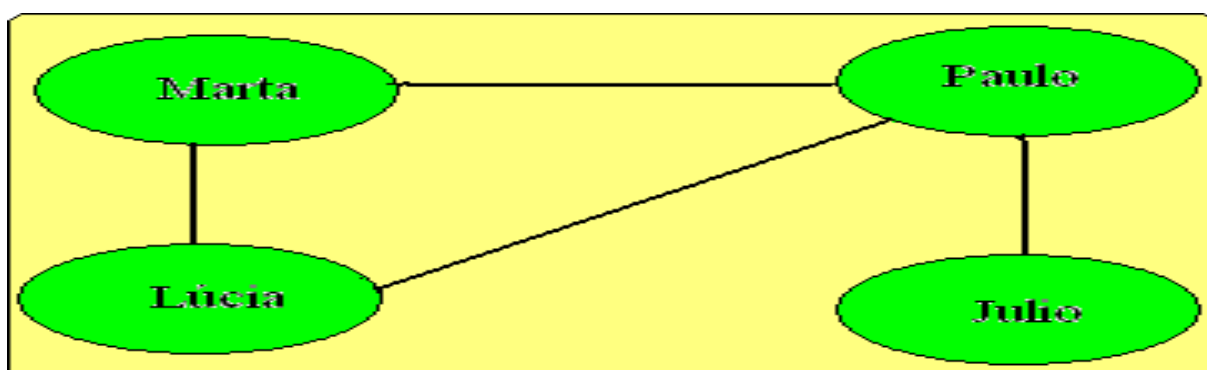


Figura 2.11 – Representação gráfica de um grafo.

Como exemplo, consideremos um grafo $G(V, A)$ dado por:

$V = \{p \mid p \text{ é uma pessoa}\}$

$A = \{(v, w) \mid v \text{ é amigo de } w\}$

Esta definição representa toda uma família de grafos.

Um exemplo de elemento dessa família é dado por ;

$V = \{\text{Marta, Paulo, Lúcia, Júlio}\}$

$A = \{(\text{Marta, Paulo}), (\text{Lúcia, Marta}), (\text{Lúcia, Paulo}), (\text{Paulo, Júlio})\}$.

Neste exemplo considera-se que a relação $\langle v \text{ é amiga de } w \rangle$ é uma relação simétrica, ou seja, se $\langle v \text{ é amiga de } w \rangle$ então $\langle w \text{ é amiga de } v \rangle$. Consequentemente, as arestas que ligam os vértices não possuem qualquer orientação.

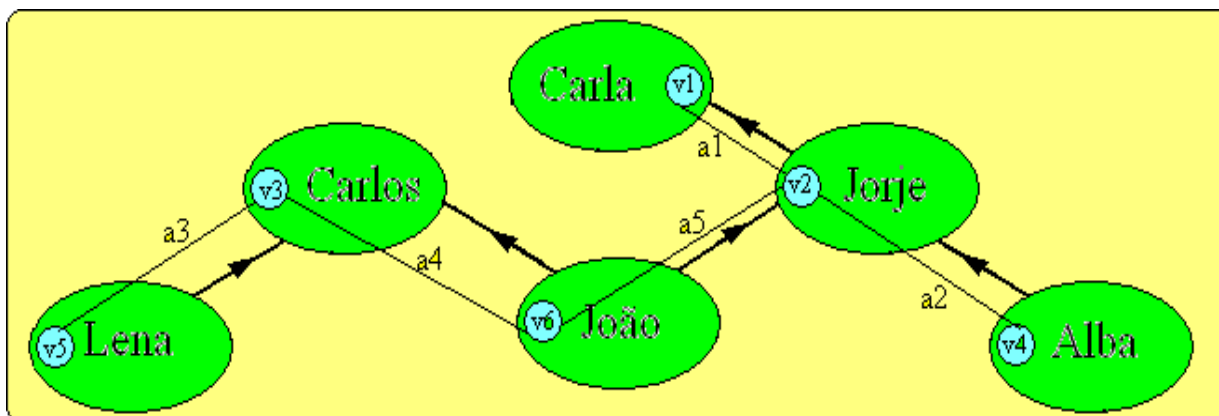


Figura 2.12 – Representação gráfica de um grafo orientado.

Considere-se agora, o exemplo dado pelo seguinte grafo

$V = \{p | p \text{ é uma pessoa da família Gomes}\}$

$A = \{(v, w) | \langle v \text{ é pai/mãe de } w \rangle\}$

Um exemplo deste grafo é:

$V = \{\text{Carlos, Lena, Carla, Jorge, João, Alba}\}$

$A = \{(\text{Lena, Carlos}), (\text{Jorge, Carla}), (\text{João, Carlos}),$
 $(\text{Alba, Jorge}), (\text{João, Jorge})\}$

A relação definida por A não é simétrica, pois se $\langle v \text{ é pai/mãe de } w \rangle$, não se pode afirmar que $\langle w \text{ é pai/mãe de } v \rangle$.

Grafo orientado (Dígrafo)

Um Grafo é dito orientado ou Dígrafo quando o sentido das ligações entre os vértices é considerado. Neste caso denomina-se, arco a aresta direcionada. Portanto o grafo apresentado no exemplo anterior é um Dígrafo, onde os vértices são as pessoas, e os arcos (arestas direcionadas) representam a relação (o parentesco) entre elas (ver figura 2.12).

Relação de Adjacência e de Incidência

Dois vértices $v \in V$ e $w \in V$ de um grafo $G = (V, E)$ são ditos adjacentes se existe a aresta (v, w) , ou seja $(v, w) \in E$.

Duas arestas são ditas adjacentes se possuem uma extremidade (vértice) comum. Uma aresta é incidente a um vértice se este vértice for uma de suas extremidades. Assim as arestas (u, v) e (v, w) são incidentes ao vértice “v”.

Caminho em um grafo

Um caminho de um vértice v_{i0} para o vértice v_{ik} é uma sequência de arestas $\langle v_{i0}, v_{i1} \rangle, \langle v_{i1}, v_{i2} \rangle, \dots, \langle v_{ik-1}, v_{ik} \rangle$. Um caminho é dito **elementar** se passa exatamente uma vez por cada vértice e é dito **simple** se passa exatamente uma vez por cada aresta. No grafo representativo da figura 2.13 o caminho do vértice v_4 para v_1 , são as arestas a_2 e a_1 . Os caminhos formados por estas arestas, mostram que há parentesco entre v_1 e v_4 , e v_1 e v_6 . Pode-se dizer que em um grafo existe parentesco entre dois vértices quando existir entre eles um caminho simples.

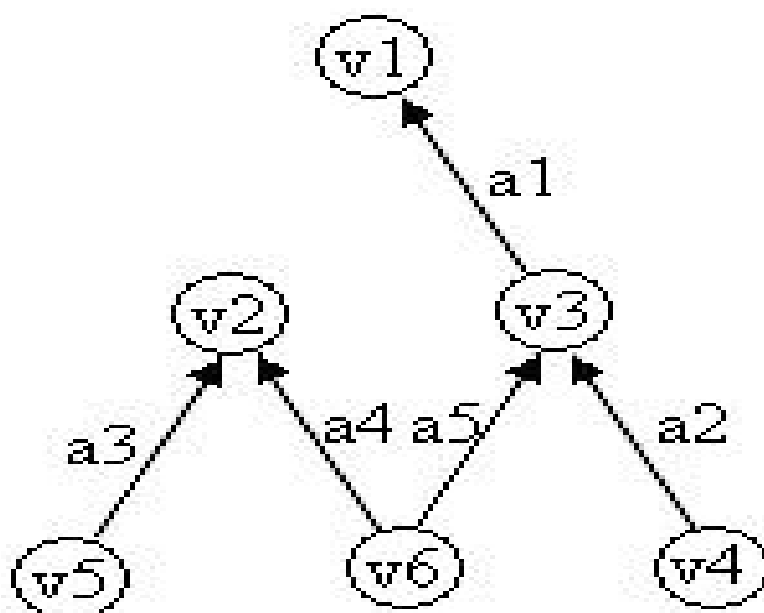


Figura 2.13 – Caminho em um Grafo

Neste trabalho os sub-volumes a serem retirados da peça bruta, isto é a serem transformados em cavacos, são os elementos do conjunto V .

$$V = \{c_{111}, c_{112}, \dots, c_{l,m,n}\}$$

Onde l , m e n são os números de camadas em que a peça bruta é decomposta nas direções x , y e z (veja item 4.2 para maior detalhamento).

O conjunto de pares ordenados A neste trabalho é definido **pela relação de vizinhança** entre os sub-volumes c_{ijk} do conjunto V .

$$A = \{(c_{ijk}, c_{uvw}) \mid \langle c_{uvw} \text{ é vizinho de } c_{ijk}, \text{ se } u = i+1 \text{ ou } v = j+1 \text{ ou } w = k+1, \text{ respectivamente nas direções } x, y \text{ e } z \rangle\}.$$

Por exemplo, são elementos do conjunto A os pares:

$$A=\{(c_{111}, c_{112}), (c_{233}, c_{234}), \dots, (c_{ijk}, c_{ij(k+1)}), (c_{ijk}, c_{(i+1)jk}), (c_{ijk}, c_{i(j+1)k})\dots\}$$

Os grafos podem ser representados no computador através de matrizes. Estas matrizes podem ser basicamente de dois tipos: matrizes de incidência e matrizes de adjacência.

Matriz de incidência

Um grafo G é representado por uma matriz de incidência quando no mesmo têm-se n vértices $v_1, v_2 \dots v_n$, e m arestas $a_1, a_2 \dots a_m$ e a matriz que o representa é uma matriz $n \times m$, onde cada elemento e_{jk} da matriz é determinado da seguinte maneira:

$e_{jk} = 1$, se a aresta a_k é incidente ao vértice a_j

$e_{jk} = 0$, se a aresta a_k é não incidente ao vértice a_j

A matriz de incidência do exemplo dado é a seguinte:

	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
v_1	1	0	0	0	0
v_2	1	1	0	0	1
v_3	0	0	1	1	0
v_4	0	1	0	0	0
v_5	0	0	1	0	0
v_6	0	0	0	1	1

Matriz de adjacência

Seja G um grafo simples com n vértices $v_1, v_2 \dots v_n$. A matriz representativa deste grafo é dita de adjacência quando é uma matriz $n \times n$, onde o valor de cada elemento e_{jk} da matriz é determinado da seguinte maneira:

$e_{jk} = 1$ se o vértice v_j e v_k são ligados por uma aresta

$e_{jk} = 0$ se o vértice v_j e v_k não são ligados por aresta

Exemplo da matriz de adjacência representativa do grafo :

	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6
v_1	0	0	1	0	0	0
v_2	1	0	0	0	1	0
v_3	1	0	0	1	0	1
v_4	0	0	1	0	0	1
v_5	0	1	0	0	0	0
v_6	0	1	1	0	0	0

2.9 Grafos e Usinagem

Um modelo de sólido é uma representação digital da geometria de um objeto físico existente ou idealizado. Um modelo geométrico torna possível o estudo de um objeto das suas características ou interações com o meio em que se encontra. Cria-se um modelo por ser mais conveniente e econômico que produzir um objeto real, podendo-se estabelecer programas de

simulação para o sólido computacional, evitando-se a criação de protótipos onerosos e complicados.

O modelamento de um sólido computacional pode ser obtido através de um grafo onde os vértices representem os volumes primitivos (sub-volumes) que entram na composição do sólido, e os arcos a relação de adjacência. Esta composição dos sub-volumes para a obtenção do sólido principal pode ser através de soma, subtração ou interseção de conjuntos.

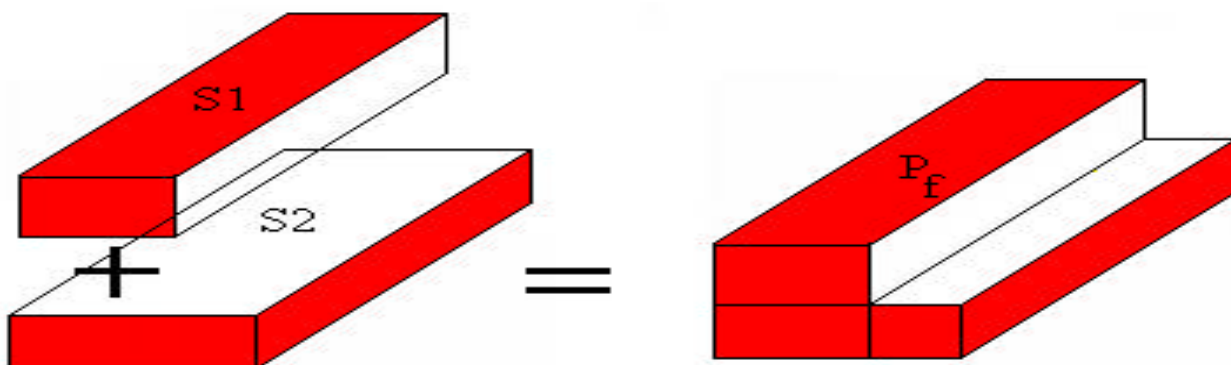


Figura 2.14 - Sólido obtido pela soma de dois sólidos primitivos.

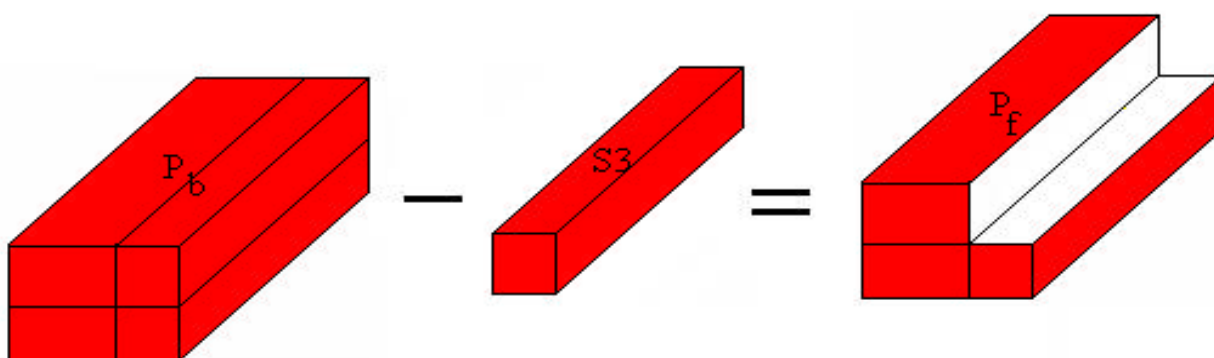


Figura 2.15 – Sólido obtido pela diferença de dois sólidos primitivos

Os exemplos acima mostram como podemos criar um sólido computacional a partir da adição ou subtração de volumes primitivos. O resultado final é o mesmo, entretanto quando o objetivo é extrair de um sistema CAD, as informações geométricas para manufatura ou controle de processo, precisa-se conhecer detalhes do volume a ser retirado em forma de cavacos. Então o sólido final deve ser desenhado como no exemplo da figura 2.15, porque é de interesse saber detalhes do sólido S3. Este sólido, pode ser representado como uma operação booleana de diferença entre a peça bruta e a peça final, conforme pode-se verificar na figura 2.16. A geração dos grafos para o reconhecimento deste volume deve estabelecer o grau de parentesco entre este e as fronteiras da peça bruta e da peça final. No grafo teremos os caminhos ou trajetória da

ferramenta que gera a peça final. Eles estão representados na figura 2.16, 2.17 e 2.18. Up, Down, Front, Rear, Left e Right são as fronteiras da peça bruta com o meio ambiente, isto é, up e down são paralelos aos planos xy, fronte rear paralelos ao plano xz e left e right paralelos aos planos yz.

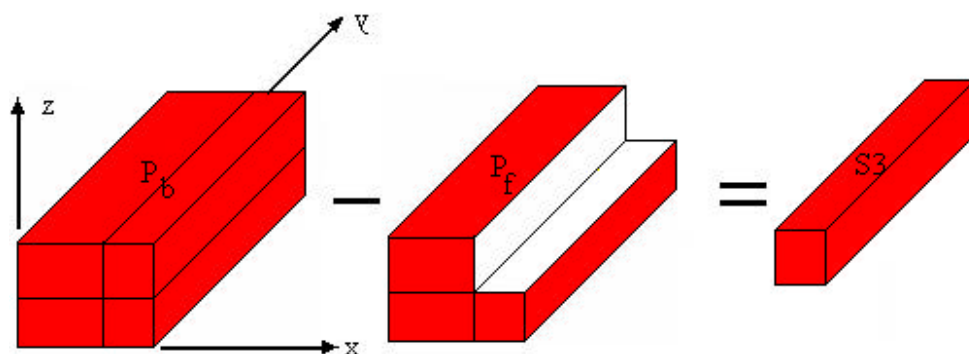


Figura 2.16 – Sólido a ser removido em forma de cavacos.

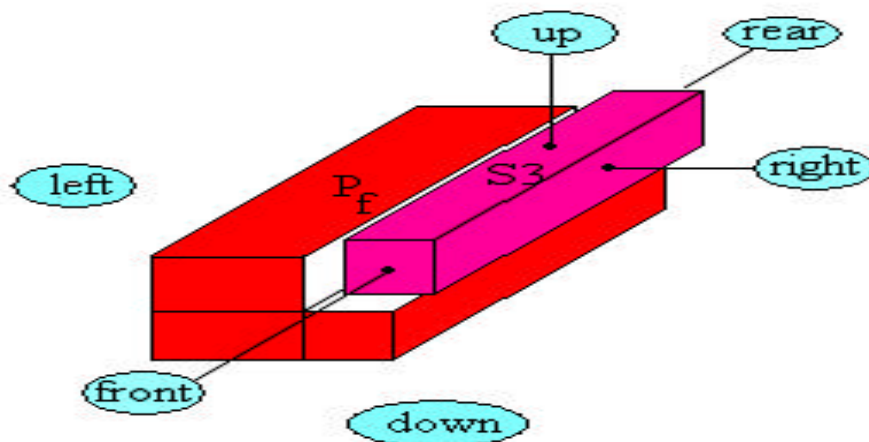


Figura 2.17 – Parentesco entre o volume a ser removido como cavacos e as fronteiras da peça bruta

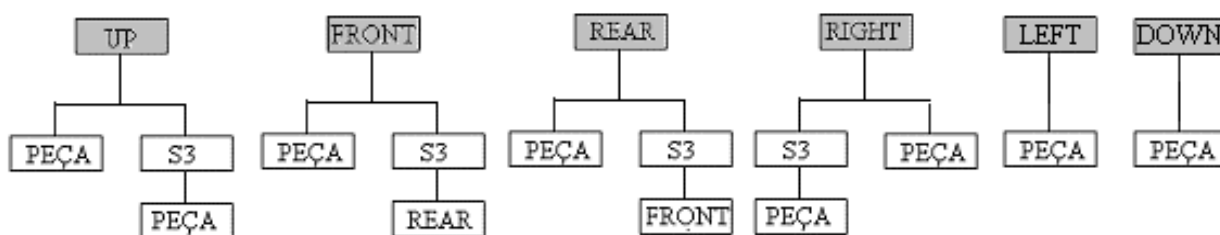


Figura 2.18 – Grafos de adjacência do elemento geométrico S3

3. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia para o reconhecimento automático das operações de usinagem para programa que realize a integração entre os processos CAD/CAAP/CAM/CNC para manufatura em máquinas de três eixos (ver figura 3.1).

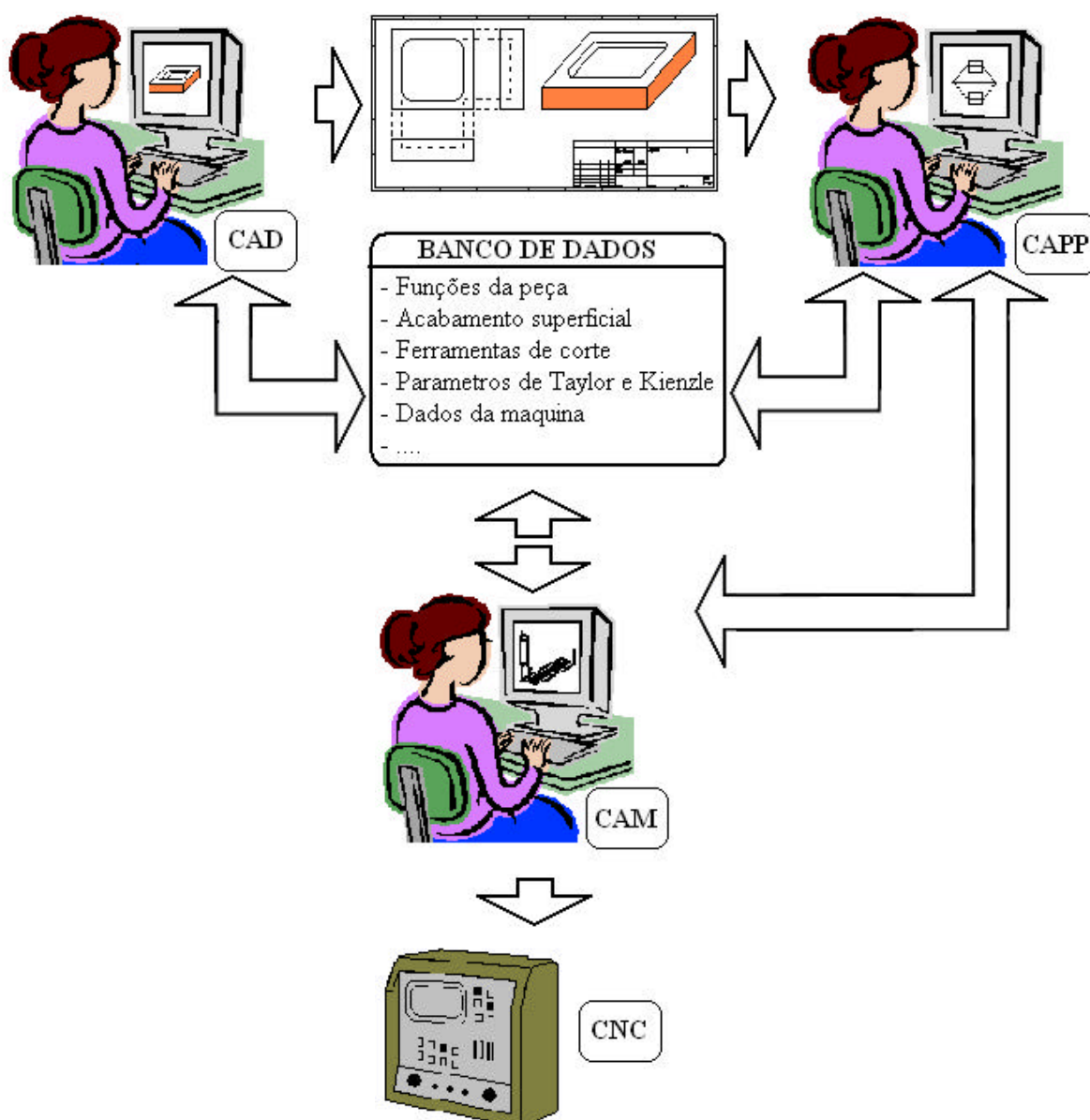


Figura 3.1 – Integração entre os sistemas CAD/CAPP/CAM e CN. (Adaptado de SCHÜTZER, K. 1997)

No capítulo 2 foi mostrado como os recursos computacionais tem atualmente uma intensa aplicação em todas as fases da manufatura de um produto, desde a sua concepção até sua

obtenção. A figura 3.1 mostra que é necessário haver uma integração entre os sistemas de projeto, planejamento e fabricação (CAD/CAPP/CAM). A primeira etapa diz respeito ao desenvolvimento do projeto, onde através do auxílio do computador (CAD) são definidos os desenhos das peças com seus detalhamentos funcionais isto é grau de acabamento, tolerâncias dimensionais entre outros. Uma vez estabelecidas as peças a serem fabricadas é necessário realizar o planejamento do processo como auxílio do computador (CAPP). No planejamento são definidas máquinas e ferramentas disponíveis e confecção de gabaritos para a fabricação otimizada das peças. Após o planejamento do processo devem-se detalhar as condições de fabricação, isto é, fixar os parâmetros de corte e definir a trajetória das ferramentas gerando o código CNC automaticamente dentro do sistema de manufatura auxiliada por computador (CAM).

Para que um sistema CAD/CAPP/CAM funcione de forma inteligente e eficiente é necessário que eles estejam interligados compartilhando informações com diversos bancos de dados. A eficiência da geração automática do código CNC para usinagem de peças rotacionais usando-se a teoria dos grafos já foi comprovada nos trabalhos desenvolvidos por Cavalcante e Andrade (2001).

Entretanto a geração automática do código CNC (para peças prismática) usando-se a teoria dos grafos não se tem registro, na bibliografia atual, de que tenha sido objeto de pesquisa.

Este trabalho tem como objetivo fornecer subsídios necessários para o reconhecimento automático dos sub-processos de fresamento, e fornecer suporte técnico para um futuro desenvolvimento de um programa computacional que gere automaticamente o código CNC, para a usinagem de peças prismáticas.

Dados tecnológicos como material da peça, dados da máquina ferramenta e dados das ferramentas de corte serão os dados de entrada para este programa juntamente com os dados geométricos da peça bruta, da peça a ser usinada bem como o volume a ser retirado em forma de cavacos. O volume de cavacos a ser retirado deverá ser representado como um sólido oriundo de uma operação booleana de diferença entre a peça bruta e a peça acabada.

A obtenção das informações necessária para o reconhecimento das operações de fabricação da peça é viabilizada pela decomposição deste terceiro sólido, em partes mais simples, ou seja, em sub-volumes, com características geométricas e topológicas bem definidas. Estes sub-volumes serão estruturados e armazenados na forma de grafos direcionados. Através da relação de parentesco entre os elementos geométricos do grafo e de outros procedimentos que serão abordados ao longo deste trabalho, é que se deverá reconhecer as operações que serão executadas na fabricação da peça. Após o reconhecimento das operações que serão executadas, este sistema deverá interagir com um banco de dados de ferramenta, para a escolha das ferramentas de corte bem como seus porta ferramentas, necessários para a execução das operações de usinagem envolvidas na fabricação da peça. Para o desenvolvimento do planejamento da usinagem, deverá ser determinado: os métodos e as posições de fixação da peça; o número de “set-up’s”, o seqüenciamento das operações; a determinação da trajetória das ferramentas de corte para a execução de cada operação, e os parâmetros otimizados de usinagem, levando-se em conta as condições ótimas de corte e de trajeto das ferramentas, assim como os fatores de menor custo e máxima produção. Outros bancos de dados de usinagem, onde dados tecnológicos como os parâmetros das fórmulas de Taylor e Kienzle, para os cálculos da vida útil das ferramentas e das potências de corte respectivamente, deverão estar disponibilizados para a interação com o sistema que desenvolverá o código CNC para a usinagem. De posse dessas informações, o software gerará uma codificação numa determinada seqüência e em um arquivo, que será lido pelo comando da máquina para a execução automática do programa CNC sem à necessidade de um programador, para programar a máquina, a partir da leitura do desenho, conforme mostrou-se na figura 3.1.

4. REPRESENTAÇÃO DA PEÇA BRUTA, DA PEÇA FINAL E DO VOLUME A SER TRANSFORMADO EM CAVACOS.

Para que seja possível uma futura implementação da metodologia a ser apresentada neste capítulo é necessário que a partir dos desenhos das peças bruta e final, feitos num sistema CAD qualquer, esta peça e o volume sejam reconhecidos através de um software. Para que isto seja viável é necessário representar a peça bruta e a final, assim como o volume a ser usinado, de forma adequada.

Uma vez que a máquina CNC a ser usada neste trabalho é uma central de usinagem do tipo Discoveri 2240 da Romi, as peças brutas a serem consideradas aqui em função das restrições do processo, poderão ser:

Paralelogramos – Neste caso são necessários a leitura das três dimensões deste sólido x_b , y_b , z_b ver a (figura 4.1).

Cilindros – Neste caso são necessários a leitura do diâmetro e ou raio da base e do comprimento (altura) do cilindro ver a (figura 4.2).

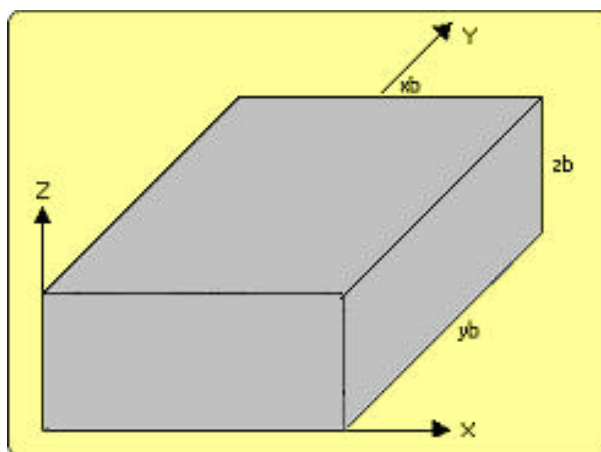


Figura 4.1 – Peça bruta em forma de paralelepípedo

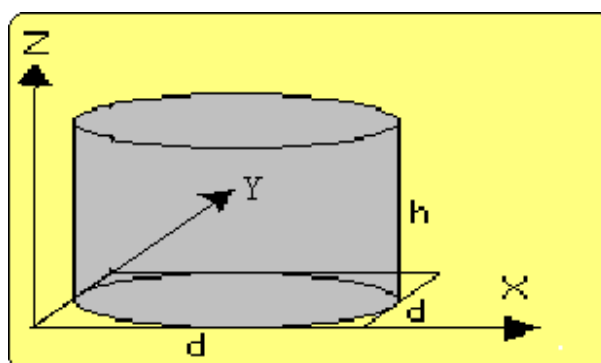


Figura 4.2 – Peça bruta de forma cilíndrica

Para uma outra forma qualquer de peça bruta deve-se definir as dimensões necessárias para o reconhecimento do sólido.

4.1 Procedimento Para Obtenção Dos Sub-Volumes Das Peças.

Neste trabalho, a peça bruta, a peça final (figura 4.3 e 4.4), e o volume a ser retirado em forma de cavacos, (volume este que é representado como um ou vários sólidos oriundos de uma operação Booleana de diferença, entre a peça bruta e peça final), são definidos em forma de sub-volumes (figura 4.4). Cada um destes sólidos foram divididos em volumes menores, e mais simples, que denominamos aqui de sub-volumes (figura 4.5). Estes sub-volumes colados segundo a orientação de um grafo de adjacência, compõem os volumes maiores (peça bruta, final e material a ser removido em forma de cavacos).

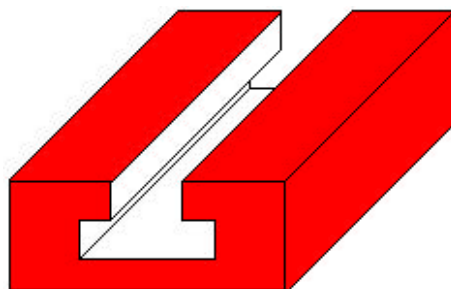


Figura 4.3 – Peça final com canal em forma de T

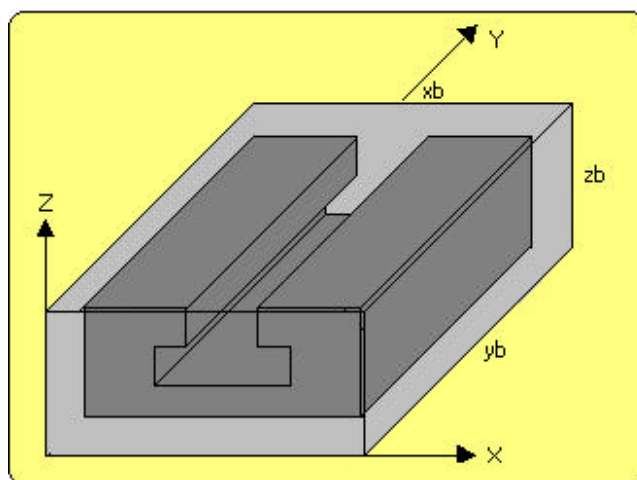


Figura 4.4 – Peça final com canal em forma de T, com a representação do sobre-metal na cor cinza

Para dividir a peça em sub-volumes foi usado o seguinte procedimento:

- a) Tomou-se como base o desenho da peça final (figura 4.3)
- b) Traçou-se nas três vistas principais (de cima, lateral e frontal), as linhas de contorno representativa do sobre-metal, determinando deste modo as fronteiras da peça bruta (figuras 4.4 4.6 e 4.7). Na figura 4.7 o sobre-metal esta representado na cor cinza. Neste caso a peça bruta tem o formato paralelepípedo e o processo de usinagem é o fresamento plano tangencial e frontal de topo.

c) Pelos pontos de encontro das arestas do desenho da peça final traçaram-se paralelas às arestas de contorno, ou seja, as arestas de projeção da peça bruta. Estas paralelas são traços de planos paralelos a XY , XZ , YZ e que passam pelos nós da peça final. Este conjunto de planos, que chamou-se de planos geométricos auxiliares, dividem a peça em fatias ou camadas. As interseções desses planos dividem a peça em sub-volumes determinando o número e a forma geométrica dos mesmos. Ver, figuras 4.5, 4.6 e 4.7.

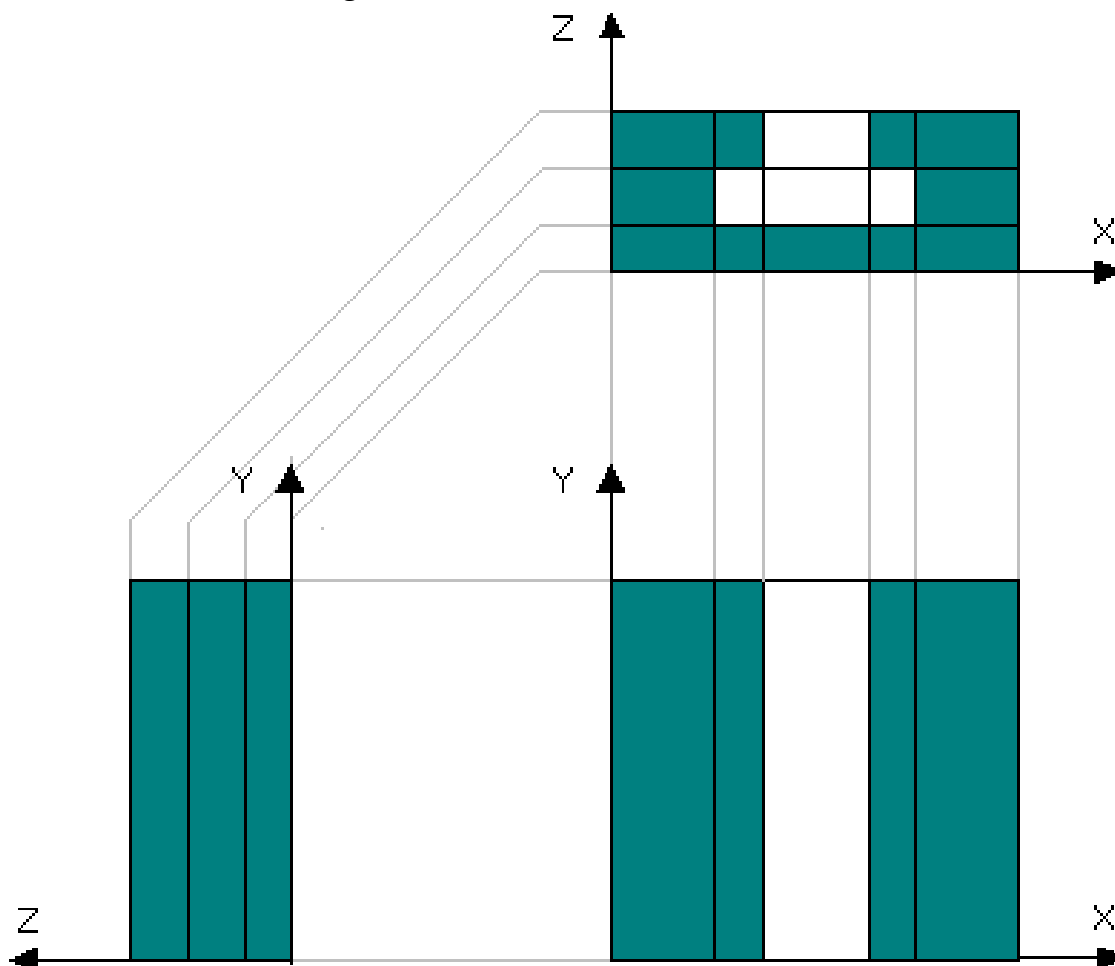


Figura 4.5 – Peça final com canal em forma de T.

A divisão da peça em varias camadas permite o reconhecimento dos detalhes internos da peça. Dos sub-volumes em que a peça foi dividida alguns compõem a peça bruta, outros compõem a peça final e o restante compõe o sólido ou sólidos a ser ou serem removidos em forma de cavacos. Os sub-volumes a serem removidos ficam bem definidos com a sucessão de cortes feitos na peça bruta, gerando as camadas, permitindo desta forma, uma observação mais detalhada das partes internas da peça. Através destes sub-volumes catalogados em forma de grafos é que serão reconhecidos mediante regras bem definidas, as operações de usinagem a serem executadas.

4.2 Identificação dos Planos Auxiliares e Dos Sub-Volumes

Quando se traçam os planos geométricos auxiliares nas projeções da peça passando pelos encontros da peça final (os nós da peça), tem-se as seguintes considerações a serem feitas :

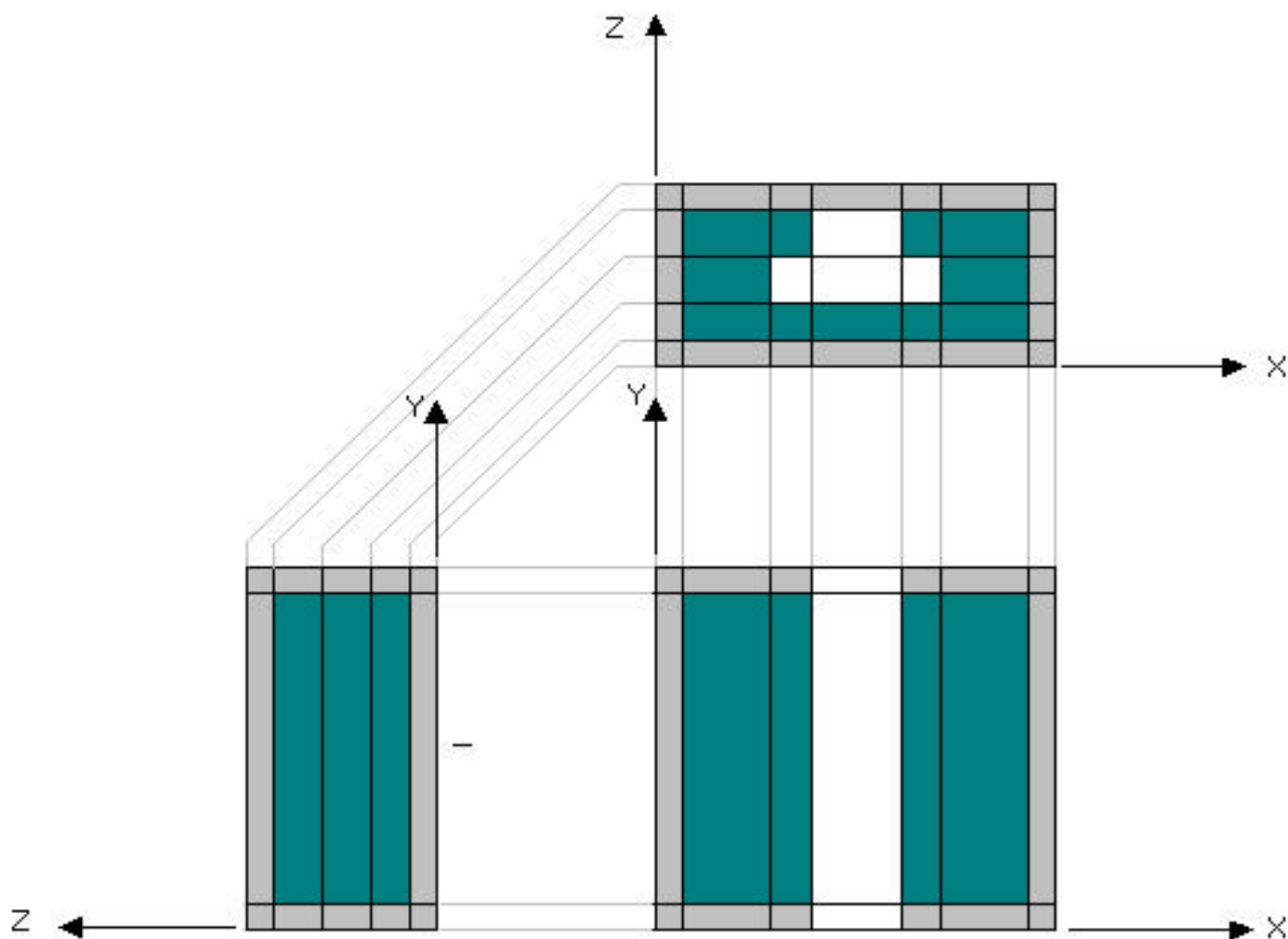


Figura 4.6 – Peça final com canal em forma de T com o contorno na cor cinza representando o sobre metal

a) Os planos paralelos aos planos do diedro, dividem a peça bruta em camadas aqui chamadas “Fxyz” podendo os índices variar da seguinte forma:

$$x = 1, 2, 3, \dots, l$$

$$y = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$z = 1, 2, 3, \dots, n$$

Ex: F3yz = terceira camada paralela ao plano yz Fxy1 = primeira camada paralela ao plano xy.

b) Estas camadas são formadas por uma série de sub-volumes limitados pelos mesmos planos que as gerou, e pelos demais planos perpendiculares a estes, e paralelos aos outros dois planos do diedro. A interseção dos planos paralelos aos planos do diedro divide a peça em sub-volumes com forma, dimensões e quantidades bem definidas. Os mesmos são classificados da seguinte forma:

C_{ijk} = sub volumes que compõem o sólido que se transformará em cavacos

P_{ijk} = sub volumes que compõem a peça final

V_{ijk} = sub-volumes representativos dos elementos de vazamento de uma peça bruta quando ela tiver um fundido ou vazado.

c) Os índices ijk dos sub volumes “C”, “P” e “V” variam da seguinte forma :

c.1) Para o C $i = 1, 2, \dots, l$
 $j = 1, 2, \dots, m$
 $k = 1, 2, \dots, n$

c.2) Para o P $i = 2, 3, \dots, (l-1)$
 $j = 2, 3, \dots, (m-1)$
 $k = 2, 3, \dots, (n-1)$

onde i – é uma camada na direção x

j – é uma camada na direção y

k – é uma camada na direção z

l = número de camadas na direção x

m = número de camadas na direção y

n = número de camadas na direção z

d) O número de camadas totais em que pode-se dividir o sólido que representa a peça bruta é igual a: $l+m+n$.

Cada camada é limitada por dois planos geométricos auxiliares paralelos aos planos do diedro. Deste modo o número de fatias em cada direção é sempre igual ao número de planos auxiliares que passa pelos nós da peça nesta direção menos um, considerando também como plano geométrico auxiliar o plano do diedro, quando a peça for representada encostada a este. O número de sub-volumes totais em que pode-se dividir o sólido que representa a peça bruta é igual a: $l \times m \times n$

No exemplo da figura 4.7, temos: 5 planos paralelos a XY

3 planos paralelos a XZ

7 planos paralelos a YZ

Estes planos geram um total de : 7 camadas na direção X

3 camadas na direção Y

5 camadas na direção Z

Deste modo, tem-se um número total de 15 camadas e 105 sub-volumes.

Exemplo de localização de sub-volumes.

Na figura 4.8 têm-se alguns exemplos de representação de sub-volume. Têm-se o volume C114, que é gerado pela interseção da primeira fatia ao longo do eixo X, pela primeira fatia ao

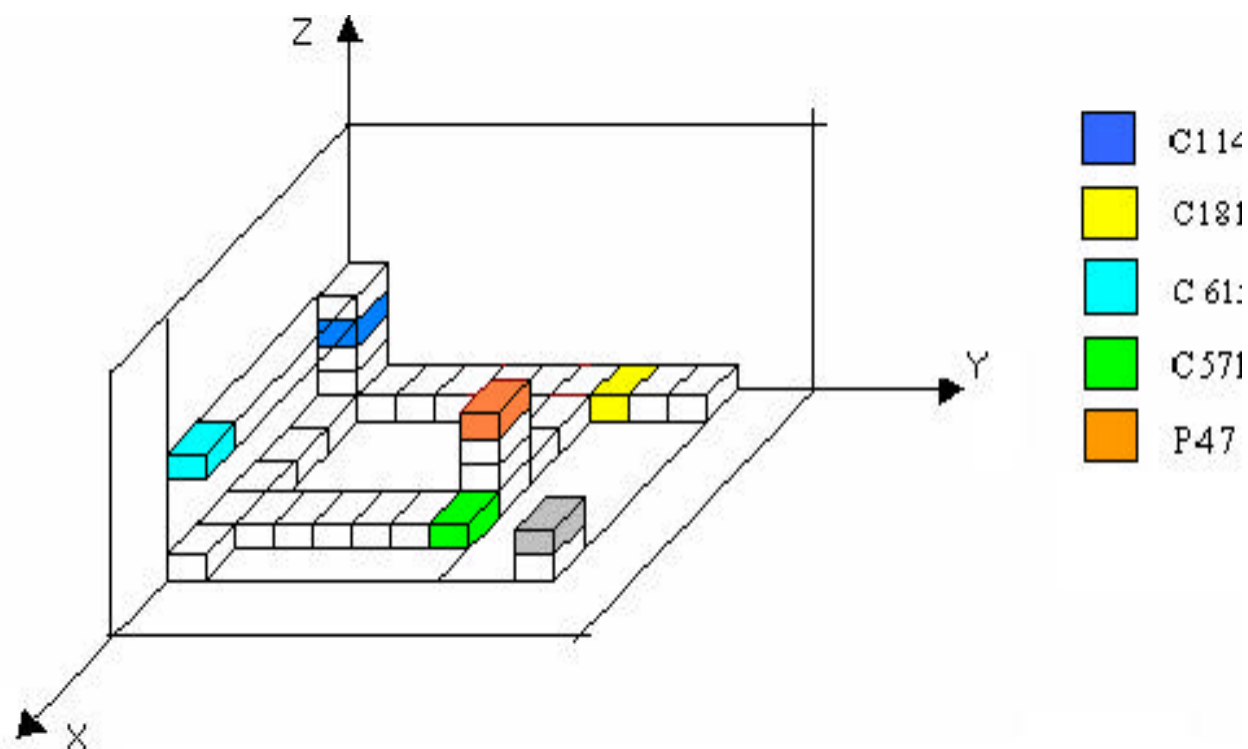


Figura 4.8 – Localização dos sub-volumes

Na peça em estudo, (peça usinada com canal em forma de T) figuras 4.3 e 4.4 , ao compor-se a perspectiva do sólido a partir das projeções indicadas nos desenhos das figuras 4.6 e 4.7 tem-se um sólido como o indicado na figura 4.9 ou seja, a perspectiva da peça com canal em forma de T, com todas as linhas que detalham o sobre-metal e divididos em sub-volumes. Pode-se representar este sólido, dividido em camadas paralelas a XY, XZ, e a YZ. Na figura 4.10, tem-se a peça fatiada ao longo dos eixos X, Y e Z, ou seja segundo os planos auxiliares paralelos ao plano XY, XZ e YZ, vemos também a interseção desses planos gerando os sub-volumes que compõem a peça. Estes sub-volumes estão enumerados de acordo com a metodologia descrita no parágrafo anterior conforme pode-se constatar na figura 4.7, e na figura 4.8, na qual pegamos uma peça genérica para reforçar este procedimento, onde os exemplos deixam bem claros que os índices dão as ordenações dos sub-volumes em relação ao diedro.

Observando a figura 4.10, e 4.11 verificam-se os sub-volumes divididos e enumerados segundo a metodologia descrita neste capítulo. Pode-se a partir dela extrair informações geométricas importantes para a geração dos grafos num sistema CAD. Os grafos hierarquizarão e armazenarão os dados dos sub-volumes para posterior aplicação na geração automática do programa CNC.

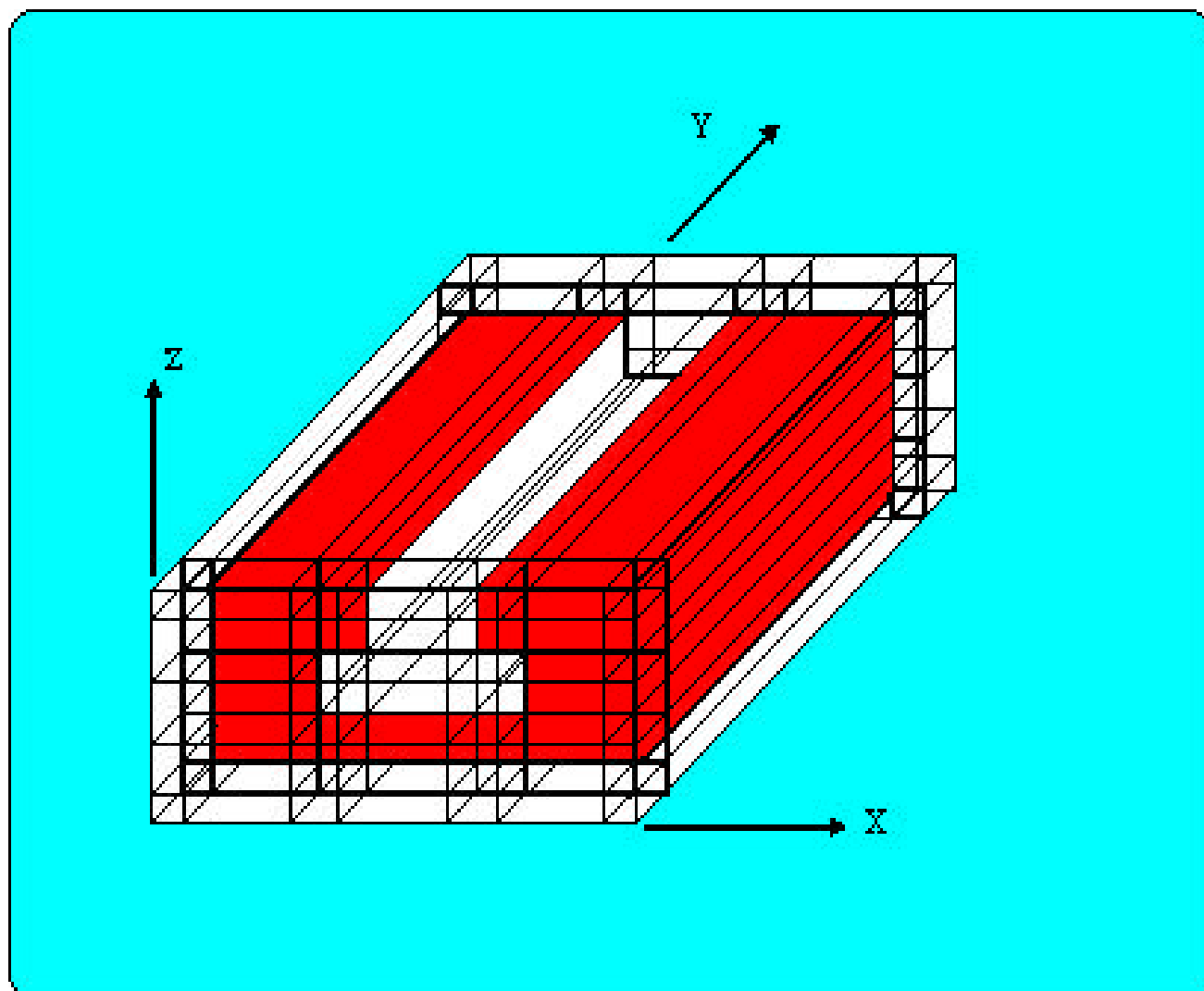


Figura 4.9 – Peça com canal em forma de T, com todas as linhas que detalham o sobre-metal dividida em sub-volumes

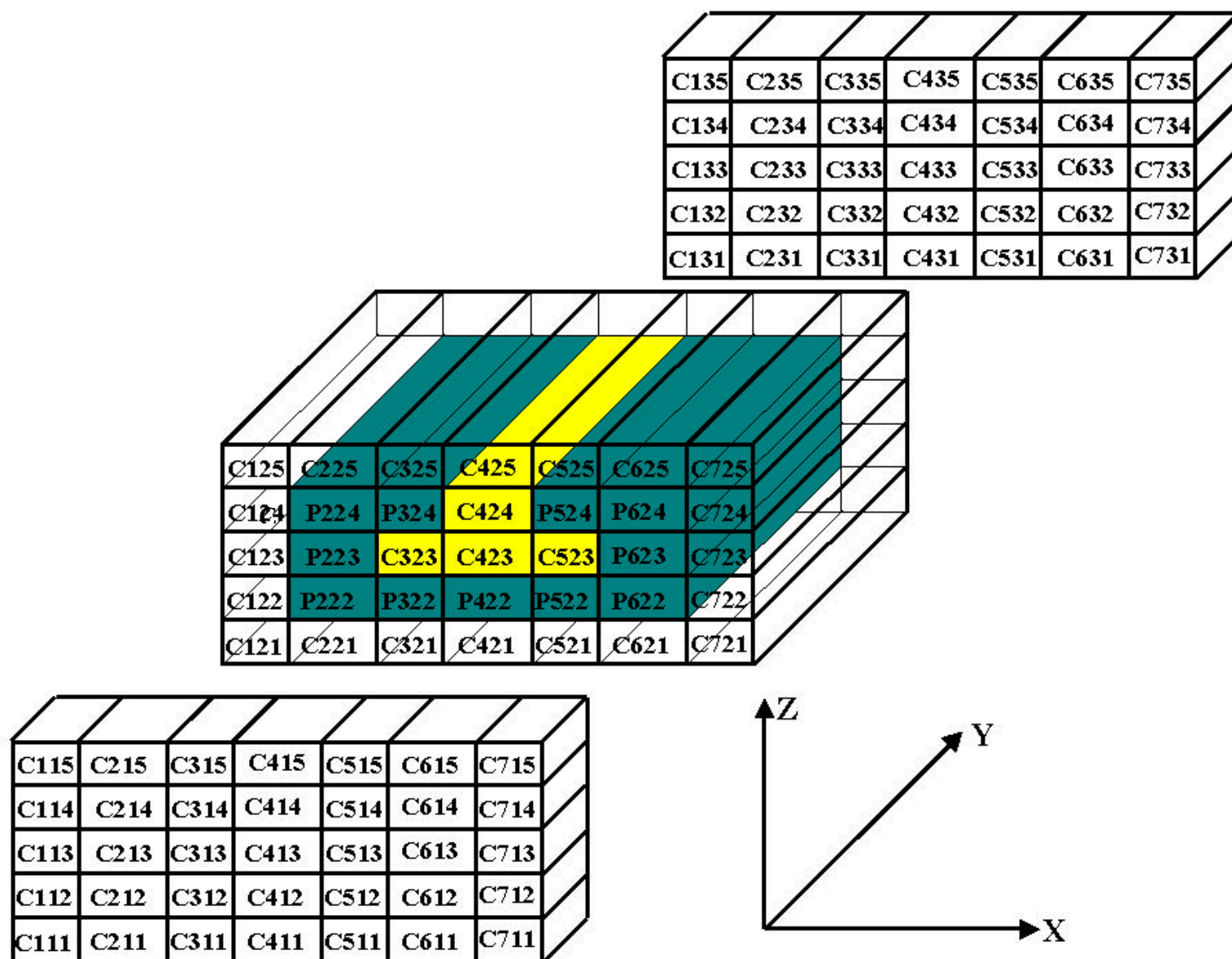


Figura 4.10 - Representação dos sub-volumes da peça com canal em forma de T, e suas respectivas nomenclatura.

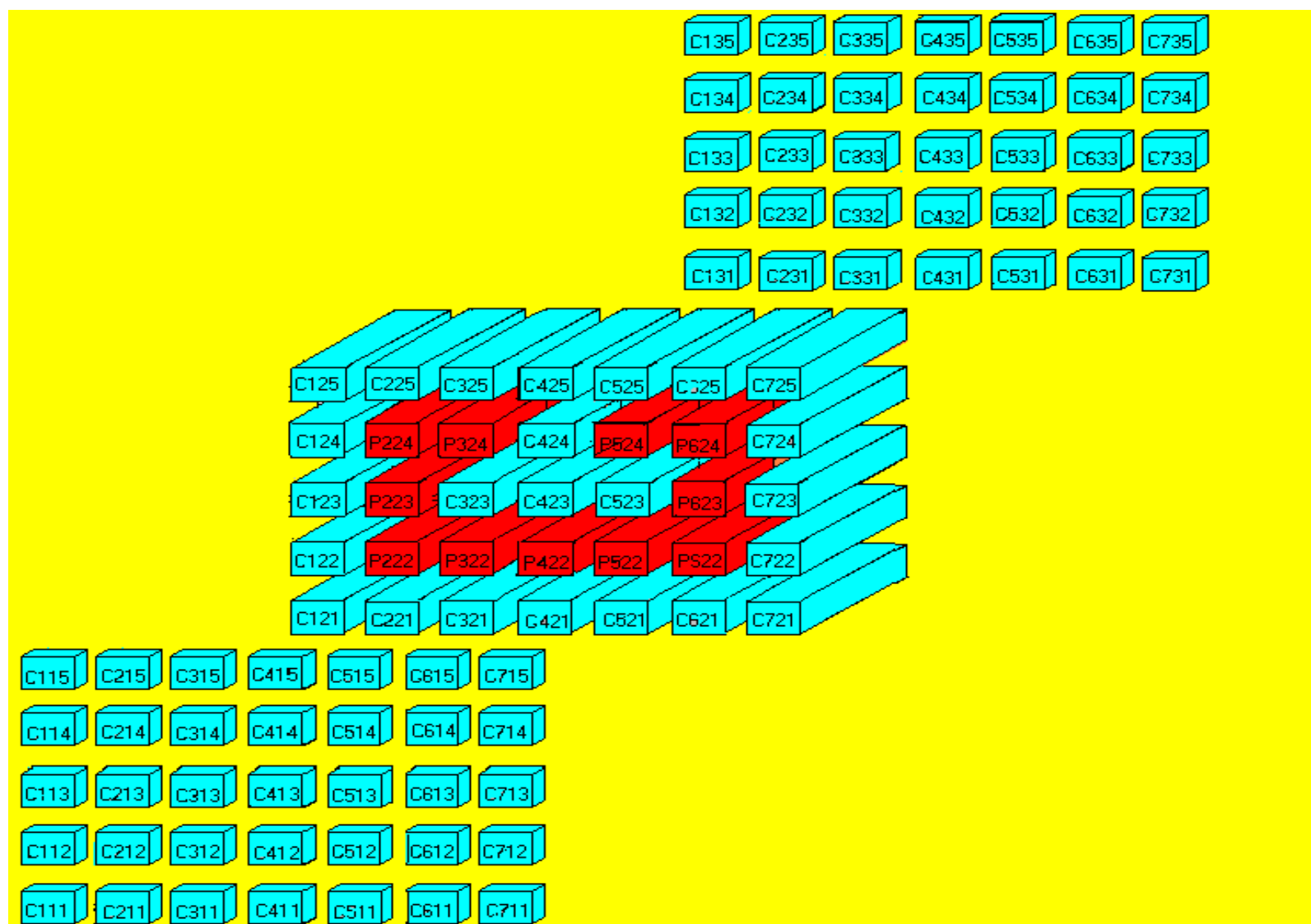


Figura 4.11 – Detalhamento da divisão da peça em sub-volumes

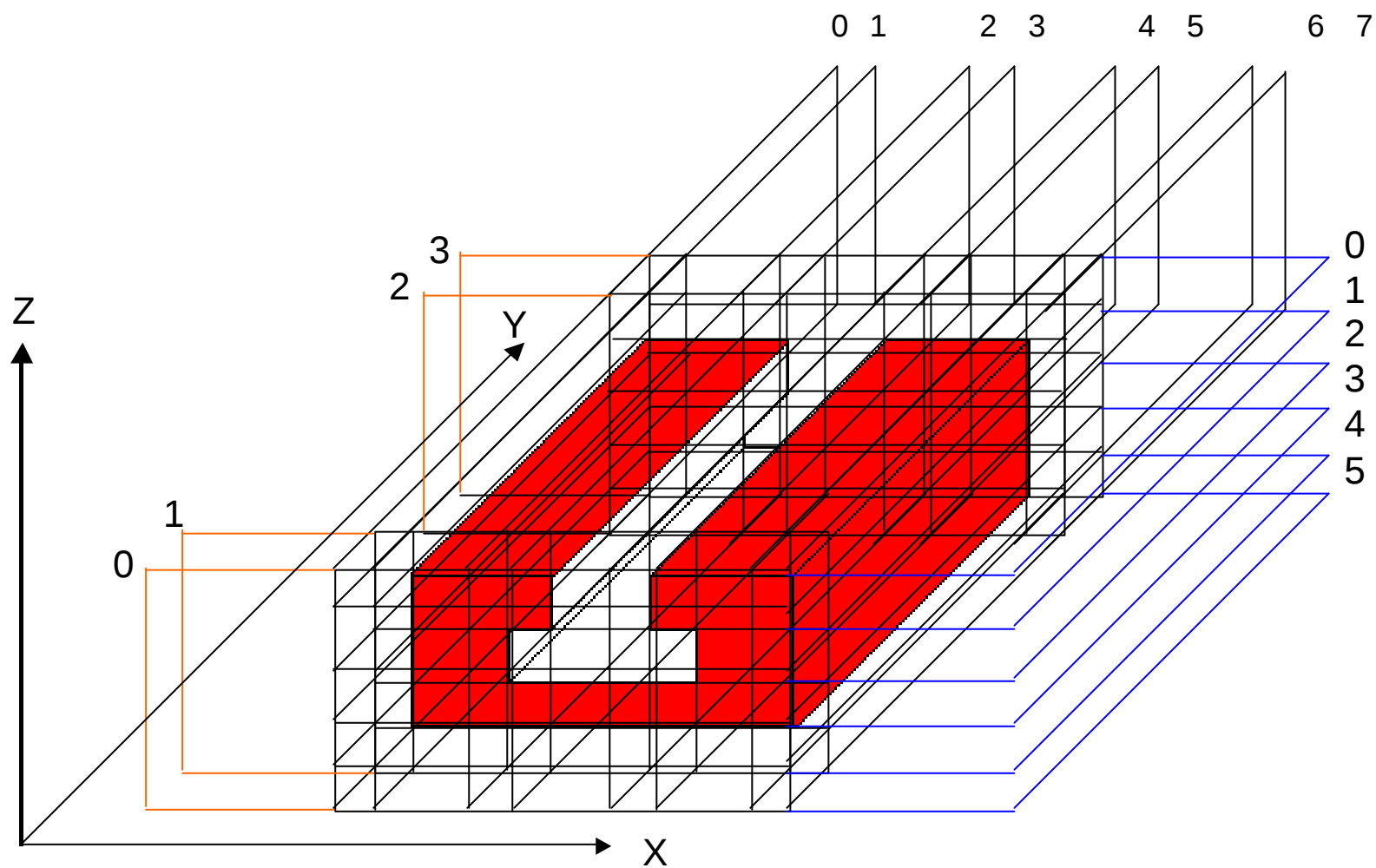


Figura 4.12 – Representação dos planos auxiliares que geram as camadas e os sub-volumes

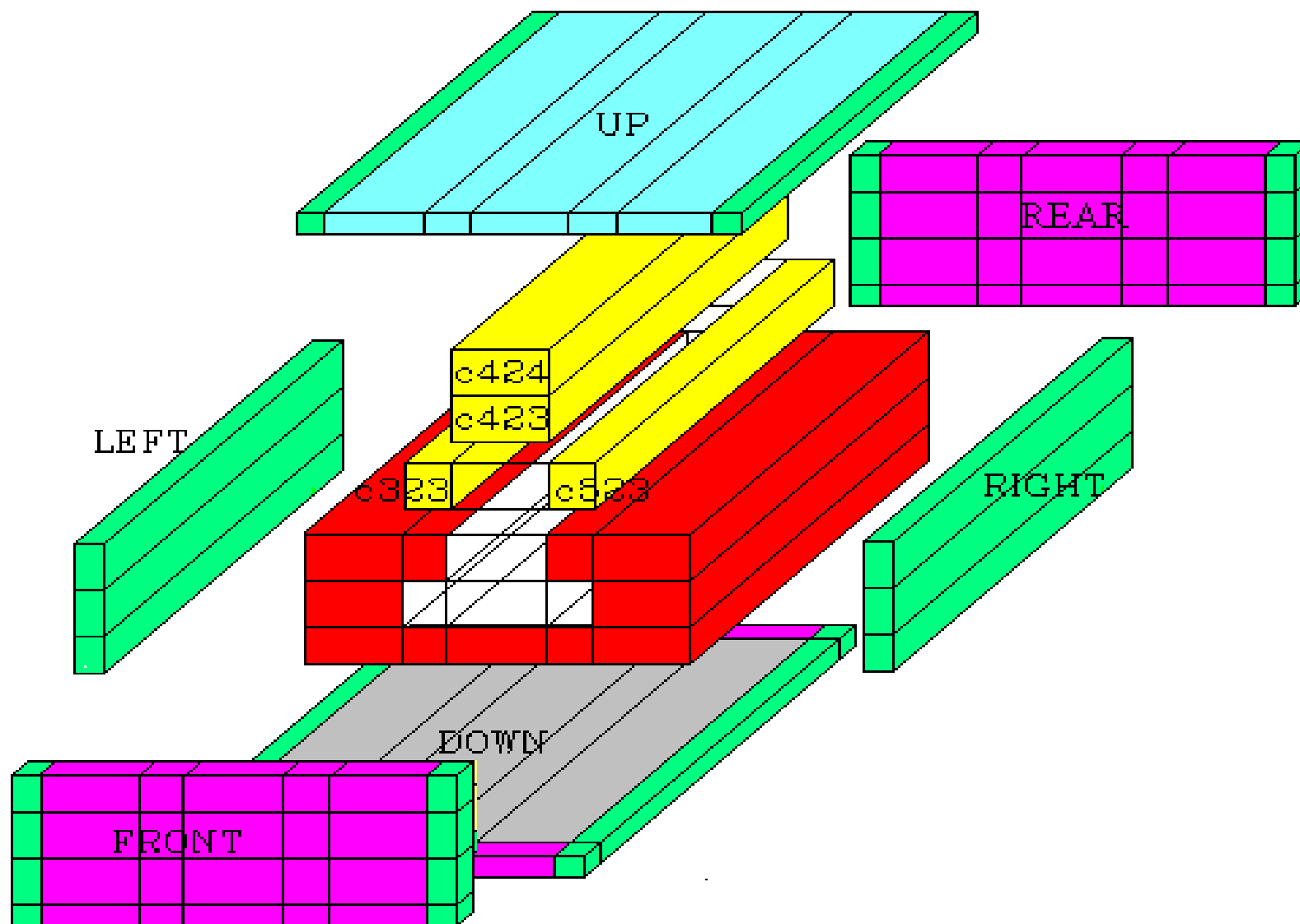


Figura 4.13 – Aglutinação dos sub-volumes para obtenção dos sobre-metaís5.

5. RECONHECIMENTO DOS SUB-PROCESSOS DE FRESAMENTO

Para a execução do planejamento das operações de usinagem, faz-se necessário à definição dos dados geométricos e dos dados tecnológicos do sistema para geração automática do programa NC.

Os dados tecnológicos são as informações referentes à central de usinagem **CNC**, que para o desenvolvimento deste trabalho usou-se o centro de usinagem vertical **CNC, 4240** de fabricação das **Indústrias Romi S/A**. Além destes dados, o número de “set-up’s” determinados para a fabricação da peça, o seqüenciamento das operações de usinagem, informações sobre escolha de ferramentas de corte, fixação de peças etc., serão descritos no capítulo 6 bem como os parâmetros de corte descritos no capítulo 7.

Os dados geométricos são as informações que caracterizam geometricamente a peça de modo que através de sua leitura e interpretação definam-se as operações de usinagem a serem aplicadas na fabricação da peça. Parte destes dados foram mostrados no capítulo 4 quando se descreveu a metodologia de divisão da peça em sub-volumes objetivando demonstrar como um sistema **CAD** poderá gerar a partir da leitura dos dados do desenho da peça bruta e da peça final, elementos que componham o volume a ser retirado em forma de cavacos. Além desta divisão em sub-volumes faz-se necessário estudar as condições geométricas destes sub-volumes como dimensões, forma, definição das operações a partir da leitura destes, etc. Este será o objetivo deste capítulo.

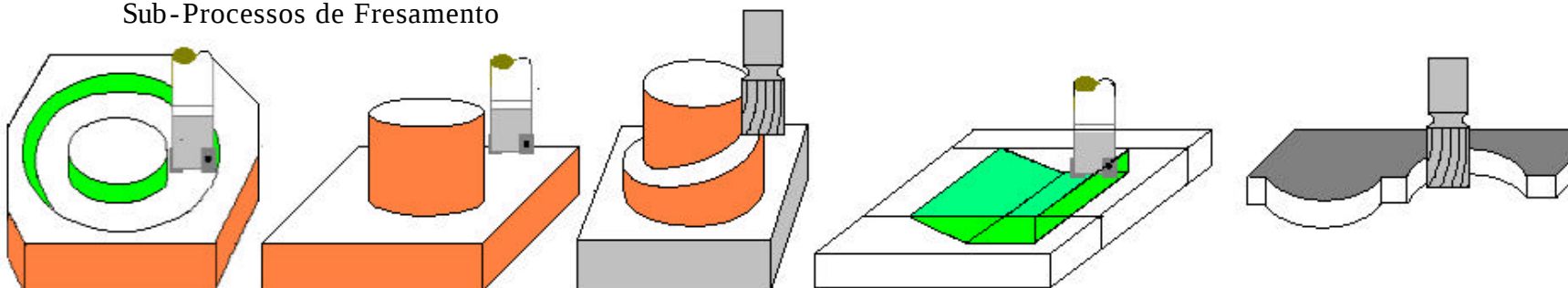
Para proceder ao reconhecimento das operações de usinagem, faremos inicialmente uma listagem das operações que podem ser realizadas em um centro de usinagem **CNC** de eixo vertical.

5.1. Siglas das Sub-operações de Fresamento

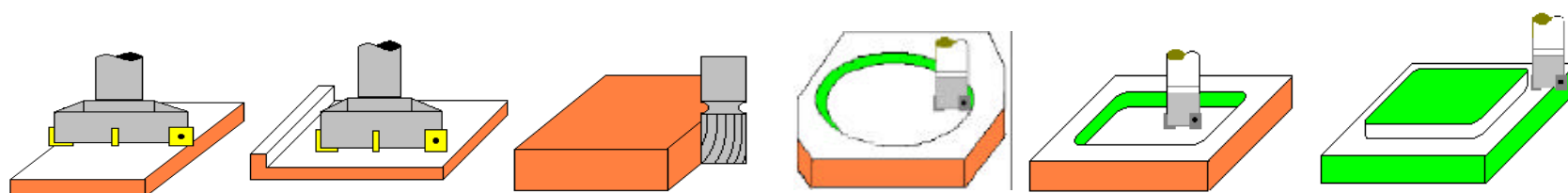
- 1) (I.C.I.) Interpolação circular interna.
- 2) (I.C.E.) Interpolação circular externa.
- 3) (I.H) Interpolação helicoidal.
- 4) (F.P.T.) Fresamento plano de topo.
- 5) (F.P.Ta.) Fresamento plano tangencial.
- 6) (F.M.T.T.) Fresamento misto tangencial e topo.
- 7) (F.Ca.) Fresamento de cavidades.
- 8) (F.Co.) Fresamento de contorno.
- 9) (F.C.R.) Fresamento de canal retangular.
- 10) (F.C.A.) Fresamento de canal angular.
- 11) (F.C.T.) Fresamento de canal em “T”.
- 12) (F.Ch.) Fresamento de chanfros.
- 13) (F.Cto.) Fresamento de canto, angular e a 90°.
- 14) (F.C.And.) Fresamento de cauda de andorinha. Podendo ser fêmea(f) ou macho(m)
- 15) (F.P.) Furação passante.
- 16) (F.N.P.) Furação não passante.

As operações acima relacionadas são mostradas na figura 5.1, onde foi esquematizado, os exemplos de peças com as respectivas operações de fresamento, bem como o posicionamento da ferramenta para realizá-las.

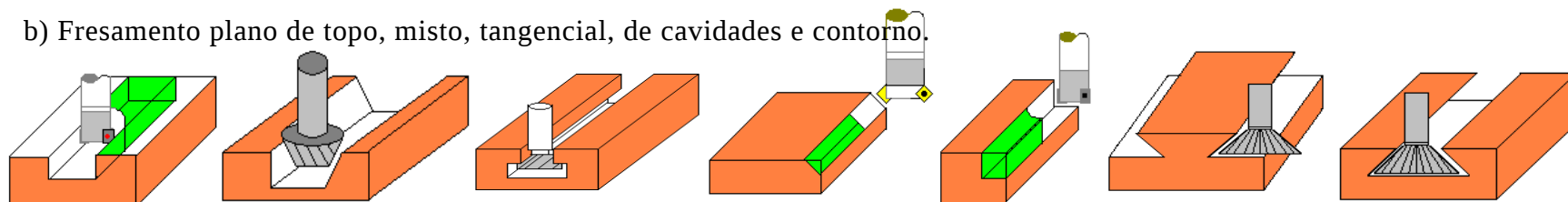
Sub-Processos de Fresamento



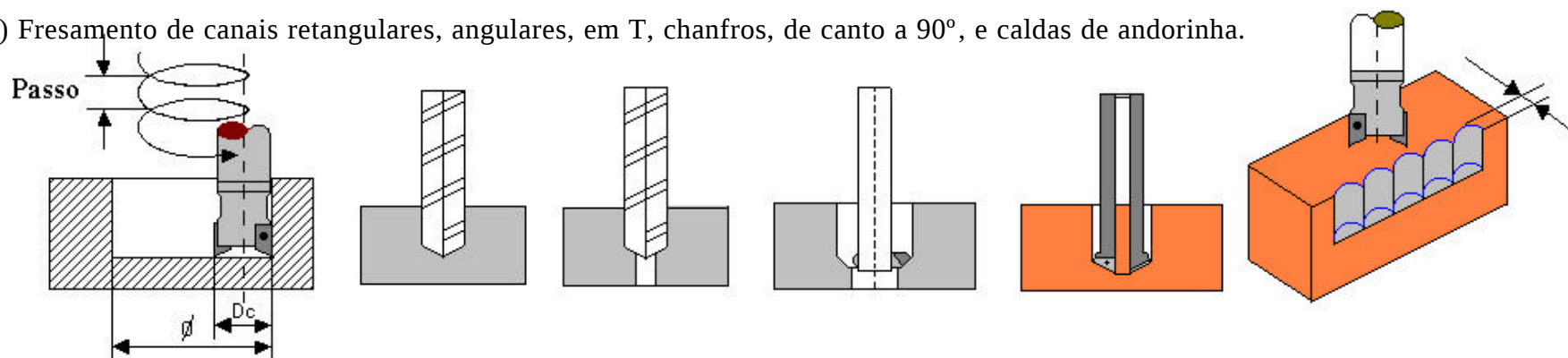
a) Interpolações circulares, internas, externas, helicoidais, de rampa e arcos.



b) Fresamento plano de topo, misto, tangencial, de cavidades e contorno.



c) Fresamento de canais retangulares, angulares, em T, chanfros, de canto a 90°, e caldas de andorinha.



d) Fresamento de furos por interpolação helicoidal, furos cego e com pré-furação, mandrilamento, trepanação e fresamento em mergulho

Figura 5. 1 Sub- Processos de Fresamento em Centros de Usinagem Vertical CNC.

Após a definição dessas operações deve-se proceder as caracterizações geométricas desses elementos uma vez que no processo de reconhecimento dos elementos geométricos para a geração automática do programa, cada um desses sub-volumes será um nó do grafo. A caracterização geométrica do volume a ser retirado é obtida pela soma das dimensões dos sub-volumes em uma dada direção.

Por exemplo: Na divisão da peça em sub-volumes os elementos são paralelepípedos retangulares, em que os vértices são definidos por pontos de coordenadas (x, y, z), e em que cada par de pontos define uma aresta. (figura 5.2)

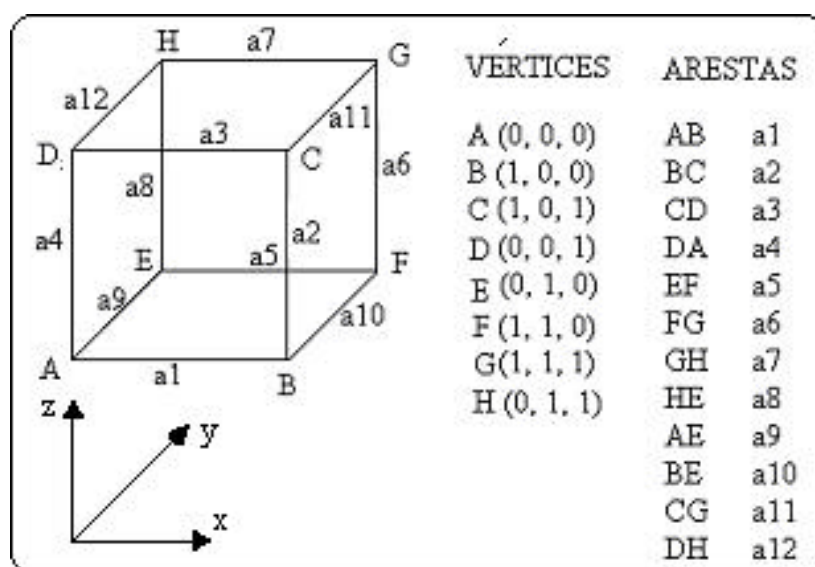


Figura 5.2 - Representação dos vértices e arestas de cubo de aresta unitária.

Como dito anteriormente estes sub-volumes com suas dimensões, armazenados segundo um grafo de adjacência, quando buscado seu grau de parentesco com os demais, com as fronteiras da peça final, e com as fronteiras da peça bruta, comporá o sólido representativo do volume a ser retirado para a obtenção da peça final. Devemos observar que para os sub-volumes pertencentes a uma mesma fatia, as arestas perpendiculares ao plano em que a fatia for paralela, todas terão as mesmas dimensões. Esta condição nos dá a possibilidade, de buscar o parentesco entre as áreas destes sub-volumes gerando o perfil do sólido a ser retirado, promovendo posteriormente uma extrusão a fim de obter o mesmo através de varredura translacional.

Então uma vez definida a operação a ser realizada deve-se gerar uma planilha contendo as coordenadas dos vértices da peça bruta, da peça final e dos sub-volumes. Nas figuras 5.3, 5.4 e 5.5 temos desenho de uma peça feito em um sistema CAD e a planilha das coordenadas dos vértices dos sub-volumes, geradas automaticamente no mesmo sistema.

5.2 Importação dos Dados de Projeto de um Sistema CAD

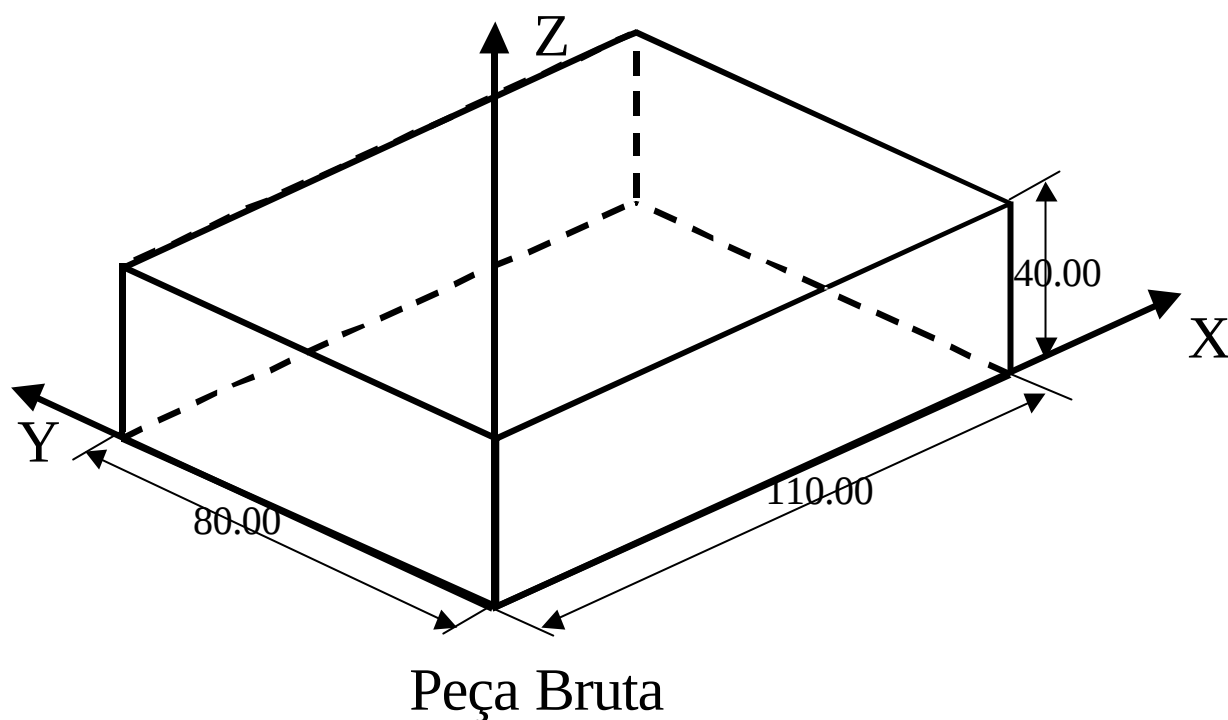


Figura 5.3 – Peça bruta importada do CAD

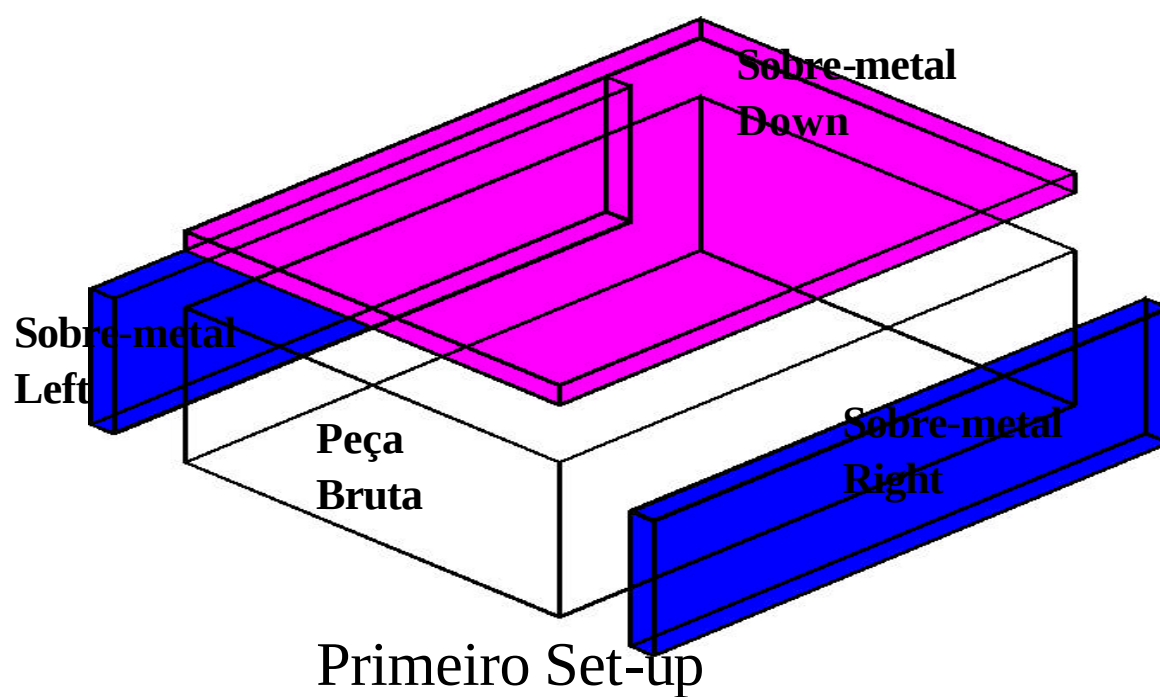


Figura 5.4 – Representação dos sobre-metais a serem retirados no primeiro set-up de usinagem.

Coordenadas da Peça Bruta:

0.0000,0.0000,0.0000
 0.0000,0.0000,-0.0000
 0.0000,0.0000,0.0000
 110.0000,0.0000,0.0000
 110.0000,0.0000,40.0000
 0.0000,0.0000,40.0000
 0.0000,80.0000,0.0000
 110.0000,80.0000,0.0000
 110.0000,80.0000,40.0000
 0.0000,80.0000,40.0000
 0.0000,0.0000,0.0000
 0.0000,80.0000,0.0000
 110.0000,0.0000,0.0000
 110.0000,80.0000,0.0000
 110.0000,0.0000,40.0000
 110.0000,80.0000,40.0000
 0.0000,0.0000,40.0000
 0.0000,80.0000,40.0000

**Coordenadas do Sobre-metal Lateral
Right:**

-0.0000,0.0000,35.0000
 -0.0000,5.0000,35.0000
 -0.0000,5.0000,-0.0000
 0.0000,0.0000,0.0000
 110.0000,-0.0000,35.0000
 110.0000,5.0000,35.0000
 110.0000,5.0000,-0.0000
 110.0000,-0.0000,0.0000
 -0.0000,0.0000,35.0000
 110.0000,-0.0000,35.0000
 -0.0000,5.0000,35.0000
 110.0000,5.0000,35.0000
 -0.0000,5.0000,-0.0000
 110.0000,5.0000,-0.0000
 0.0000,0.0000,0.0000
 110.0000,-0.0000,0.0000

**Coordenadas do Sobre-metal Lateral
Left:**

-0.0000,80.0000,35.0000
 0.0000,80.0000,0.0000
 -0.0000,75.0000,0.0000
 -0.0000,75.0000,35.0000
 110.0000,80.0000,35.0000
 110.0000,80.0000,0.0000
 110.0000,75.0000,0.0000
 110.0000,75.0000,35.0000
 -0.0000,80.0000,35.0000
 110.0000,80.0000,35.0000
 0.0000,80.0000,0.0000
 110.0000,80.0000,0.0000
 -0.0000,75.0000,0.0000
 110.0000,75.0000,0.0000
 -0.0000,75.0000,35.0000
 110.0000,75.0000,35.0000

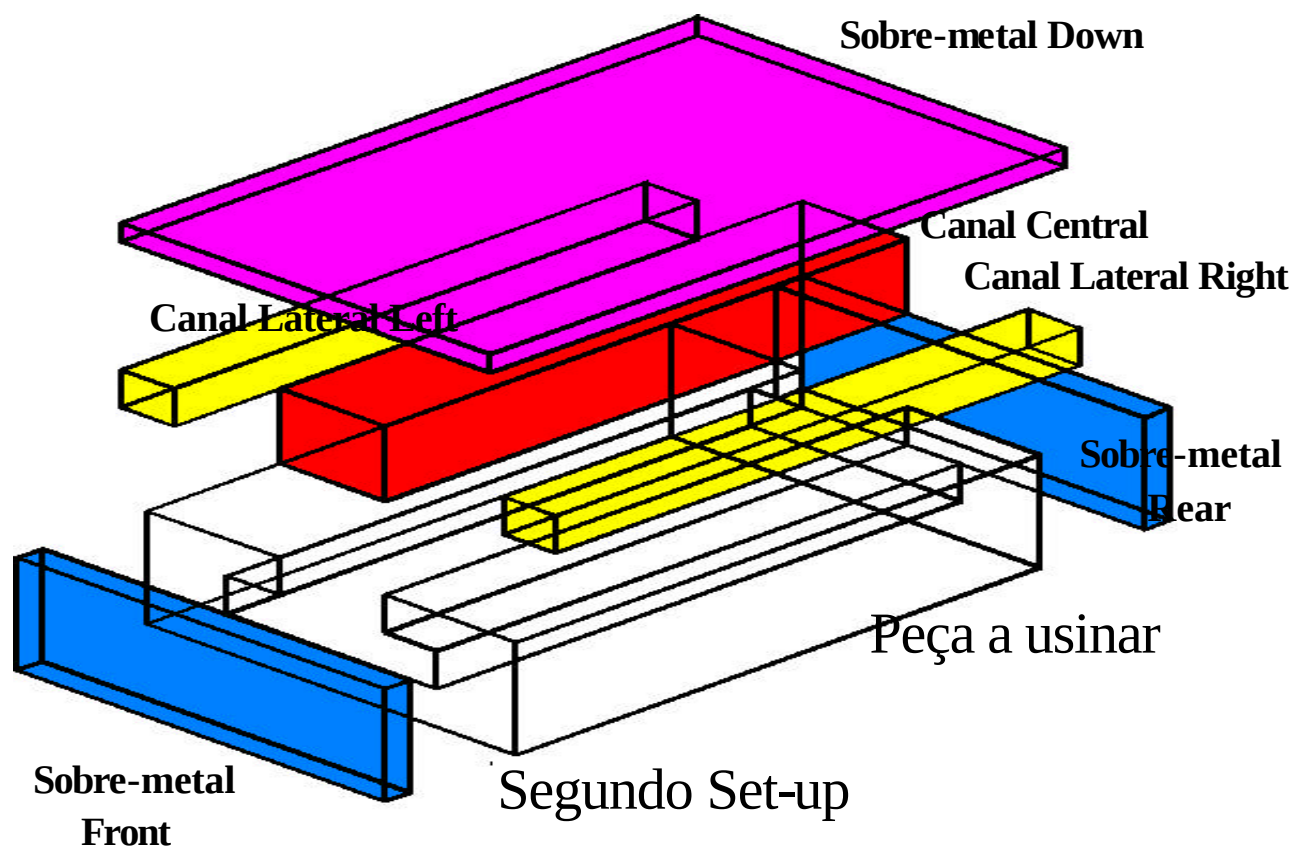


Figura 5.5 – Representação dos sobre-metais a serem retirados no segundo set-up de usinagem.

Coordenadas do Sobre-metal Up:	Coordenadas do Sobre-metal Rear:	Coordenadas do Sobre-metal Front:
0.0000,-0.0000,35.0000	110.0000,0.0000,0.0000	0.0000,0.0000,0.0000
0.0000,-0.0000,35.0000	105.0000,0.0000,0.0000	5.0000,0.0000,-0.0000
0.0000,-0.0000,30.0000	105.0000,0.0000,30.0000	5.0000,0.0000,30.0000
110.0000,-0.0000,30.0000	110.0000,0.0000,30.0000	0.0000,-0.0000,30.0000
110.0000,-0.0000,35.0000	110.0000,70.0000,0.0000	-0.0000,70.0000,0.0000
0.0000,70.0000,35.0000	105.0000,70.0000,0.0000	5.0000,70.0000,-0.0000
0.0000,70.0000,35.0000	105.0000,70.0000,30.0000	5.0000,70.0000,30.0000
0.0000,70.0000,30.0000	110.0000,70.0000,30.0000	-0.0000,70.0000,30.0000
110.0000,70.0000,30.0000	110.0000,0.0000,0.0000	0.0000,0.0000,0.0000
110.0000,70.0000,35.0000	110.0000,70.0000,0.0000	-0.0000,70.0000,0.0000
0.0000,-0.0000,35.0000	105.0000,0.0000,0.0000	5.0000,0.0000,-0.0000
0.0000,70.0000,35.0000	105.0000,70.0000,0.0000	5.0000,70.0000,-0.0000
0.0000,-0.0000,30.0000	105.0000,0.0000,30.0000	5.0000,0.0000,30.0000
0.0000,70.0000,30.0000	105.0000,70.0000,30.0000	5.0000,70.0000,30.0000
110.0000,-0.0000,30.0000	110.0000,0.0000,30.0000	0.0000,-0.0000,30.0000
110.0000,70.0000,30.0000	110.0000,70.0000,30.0000	-0.0000,70.0000,30.0000
110.0000,-0.0000,35.0000		
110.0000,70.0000,35.0000		

Coordenadas do Canal Central:	Coordenadas do Canal Lateral Right:	Coordenadas do Canal Lateral Left:
5.0000,45.0000,30.0000	5.0000,25.0000,20.0000	5.0000,45.0000,20.0000
5.0000,45.0000,10.0000	5.0000,25.0000,10.0000	-5.0000,45.0000,30.0000
5.0000,25.0000,10.0000	5.0000,15.0000,10.0000	-5.0000,45.0000,20.0000
5.0000,25.0000,30.0000	5.0000,15.0000,20.0000	-5.0000,35.0000,20.0000
105.0000,45.0000,30.0000	105.0000,25.0000,20.0000	55.0000,-5.0000,70.0000
105.0000,45.0000,10.0000	105.0000,25.0000,10.0000	45.0000,-5.0000,80.0000
105.0000,25.0000,10.0000	105.0000,15.0000,10.0000	45.0000,-5.0000,70.0000
105.0000,25.0000,30.0000	105.0000,15.0000,20.0000	45.0000,-15.0000,70.0000
5.0000,45.0000,30.0000	5.0000,25.0000,20.0000	5.0000,45.0000,20.0000
105.0000,45.0000,30.0000	105.0000,25.0000,20.0000	55.0000,-5.0000,70.0000
5.0000,45.0000,10.0000	5.0000,25.0000,10.0000	-5.0000,45.0000,30.0000
105.0000,45.0000,10.0000	105.0000,25.0000,10.0000	45.0000,-5.0000,80.0000
5.0000,25.0000,10.0000	5.0000,15.0000,10.0000	-5.0000,45.0000,20.0000
105.0000,25.0000,10.0000	105.0000,15.0000,10.0000	45.0000,-5.0000,70.0000
5.0000,25.0000,30.0000	5.0000,15.0000,20.0000	-5.0000,35.0000,20.0000
105.0000,25.0000,30.0000	105.0000,15.0000,20.0000	45.0000,-15.0000,70.0000

Coordenadas da Peça Final:

5.0000,0.0000,30.0000	5.0000,0.0000,30.0000
5.0000,25.0000,30.0000	105.0000,0.0000,30.0000
5.0000,25.0000,20.0000	5.0000,25.0000,30.0000
5.0000,15.0000,20.0000	105.0000,25.0000,30.0000
5.0000,15.0000,10.0000	5.0000,25.0000,20.0000
5.0000,55.0000,10.0000	105.0000,25.0000,20.0000
5.0000,55.0000,20.0000	5.0000,15.0000,20.0000
5.0000,45.0000,20.0000	105.0000,15.0000,20.0000
5.0000,45.0000,30.0000	5.0000,15.0000,10.0000
5.0000,70.0000,30.0000	105.0000,15.0000,10.0000
5.0000,70.0000,-0.0000	5.0000,55.0000,10.0000
5.0000,0.0000,-0.0000	105.0000,55.0000,10.0000
105.0000,0.0000,30.0000	5.0000,55.0000,20.0000
105.0000,25.0000,30.0000	105.0000,55.0000,20.0000
105.0000,25.0000,20.0000	5.0000,45.0000,20.0000
105.0000,15.0000,20.0000	105.0000,45.0000,20.0000
105.0000,15.0000,10.0000	5.0000,45.0000,30.0000
105.0000,55.0000,10.0000	105.0000,45.0000,30.0000
105.0000,55.0000,20.0000	5.0000,70.0000,30.0000
105.0000,45.0000,20.0000	105.0000,70.0000,30.0000
105.0000,45.0000,30.0000	5.0000,70.0000,-0.0000
105.0000,70.0000,30.0000	105.0000,70.0000,-0.0000
105.0000,70.0000,-0.0000	5.0000,0.0000,-0.0000
105.0000,0.0000,-0.0000	105.0000,0.0000,-0.0000

5.3 Testes a Serem Realizados Para Reconhecimento das Operações de Usinagem.

Neste parágrafo serão descritos os procedimentos para a realização dos testes, que promovem o reconhecimento das operações de usinagem usadas na fabricação da peça, a partir da análise do parentesco entre os sub-volumes. Antes de se aplicar estes testes, é necessário se aglutinar os sub-volumes de acordo com o grau de parentesco entre eles e suas fronteiras (up, down, left, right, front, rear). Por exemplo os sub-volumes que compõem os sobre-metais, têm descendência em primeiro grau com suas fronteiras, isto é, "i" ou "j" ou "k" igual a "1" define um sub-volume na superfície da peça bruta. Por exemplo, na peça da figura 4.10 e 4.11, o sobre-metal do lado esquerdo da peça tem todos os sub-volumes com $i = 1$, a saber: c135; c134; c133; c132; c131; c125; c124; c123; c122; c121; c115; c114; c113; c112; c111. Os sub-volumes que compõe o sobre-metal superior têm todos os "k" iguais ao número de camadas na qual a peça foi sub-dividida, na direção do eixo z. Por exemplo, na peça da figura 4.10, tem-se cinco camadas na direção z, o "n" assume o valor "5", portanto $k = 5$ e os sub-volumes filhos diretamente de up são: c115; c215; c315; c415; c515; c615; c715; c125; c225; c325; c425; c525; c625; c725; c135; c235; c335; c435; c535; c635; c735. Da mesma forma tem-se que:

- o sobre-metal do lado direito da peça é caracterizado por apresentar $i = 1$, uma vez que na direção do eixo x a peça foi sub-dividida em sete camadas, tendo-se $i = 1 = 7$; os descendente em primeiro grau de "right" tem " $i = 1$ ".
- no sobre-metal inferior, todos os seus sub-volumes, são filhos em primeira geração de "down", portanto são caracterizados por apresentarem $k = 1$
- o sobre-metal da parte dianteira da peça é composto por todos os sub-volumes que são descendente de "front" em primeiro grau, isto é, $j = 1$.
- o sobre-metal da parte traseira é composto por todos os sub-volumes que são descendente de "front" em ultima geração, isto é, $j = m = 3$.

Resumindo, os sobre-metais são identificados por possuírem $i = 1$ (sobre-metal left); $i = 1$ (sobre-metal right); $j = 1$ (sobre-metal front); $j = m$ (sobre-metal rear); $k = 1$ (sobre-metal down) e $k = n$ (sobre-metal up).

Uma vez aglutinados todos os sub-volumes com $i = 1$; $i = 1$; $j = 1$; $j = m$; $k = 1$ e $k = n$ parte-se agora para aglutinação dos sub-volumes das camadas mais internas, que são caracterizados por terem $i = 1$; $i = 1$; $j = 1$; $j = m$; $k = 1$ e $k = n$.

Para as peças prismáticas estrudadas na direção y, os sub-volumes que compõem as camadas internas vão ser perpendiculares ao plano xz, portanto são caracterizados por possuírem os "i's" e os "j's" iguais, precisando fazer-se a aglutinação na direção "z". Por exemplo, os sub-volumes c424 e c423 da figura 4.10 e 4.11, possuem os mesmos i's e j's. Estes dois elementos são aglutinados na direção "z" para formar o canal retangular. Para máquinas de dois eixos e meio, a preferência de aglutinação das camadas mais externas deve ser na direção do eixo z.

As aglutinações dos sub-volumes que geram as camadas dos sobre-metais podem ser representadas através dos grafos apresentados nas figuras 5.6, 5.7 e 5.8. Cada uma dessas camadas possui pelo menos quatro grafos para aglutinação. Se tomarmos por exemplo o sobre-metal "LEFT" verificaremos que teremos um grafo com raiz em UP, um em DOWN, um em FRONT e outro em REAR. Como anteriormente dito neste parágrafo a peça do exemplo possui sete camadas ao longo do eixo X, três camadas ao longo do eixo Y e cinco camadas ao longo do eixo Z, perfazendo um total de 60 grafos. A fim de tornar mais simples a apresentação dos grafos, para cada camada representaremos o parentesco entre as quatro fronteiras que serão raízes do grafo de aglutinação.

Apos a representação dos grafos (figuras 5.6, 5.7 e 5.8) serão relacionadas os testes em forma de perguntas, que aplicadas aos grafos gerará respostas em forma de códigos que preenchidos com os caracteres "0", "1" e "x" (zero, um e xis), serão capazes de identificar de forma peculiar cada uma das operações de fresamento.

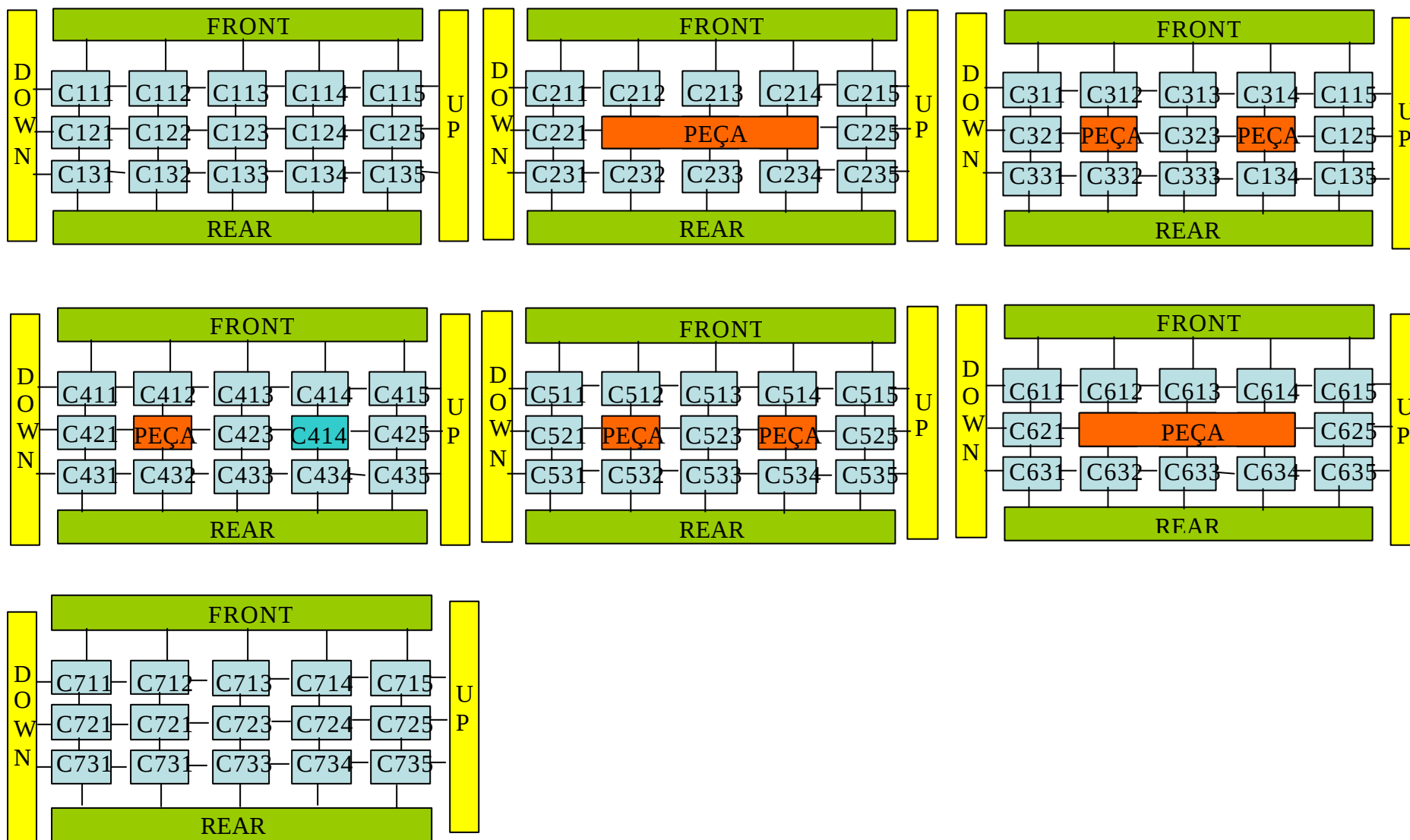


Figura 5.6 – Grafo FRONT, REAR, DOWN, UP.

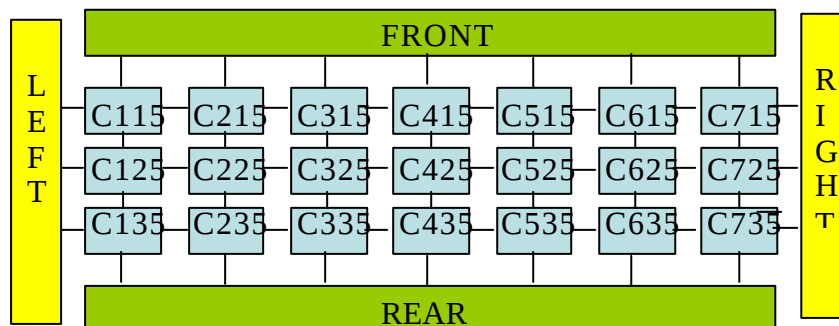
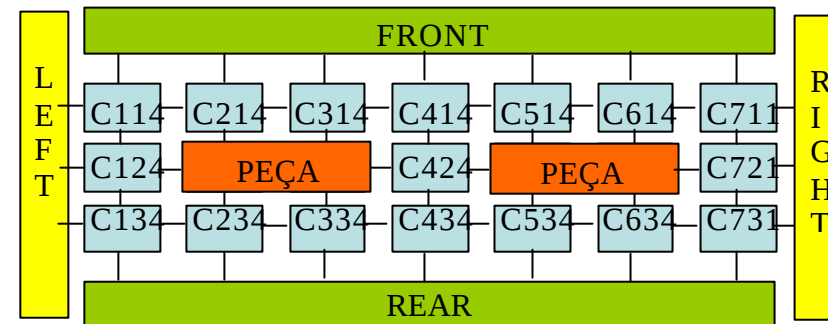
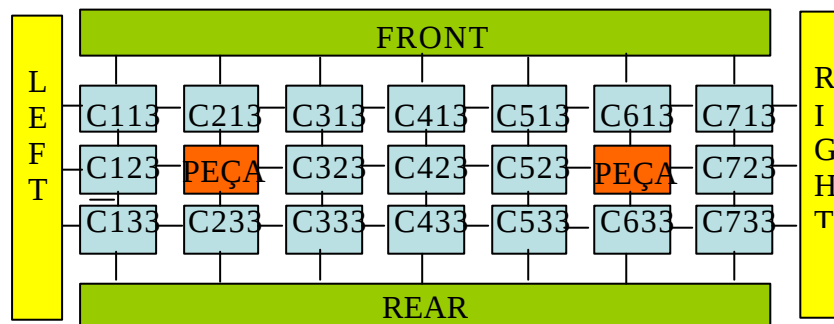
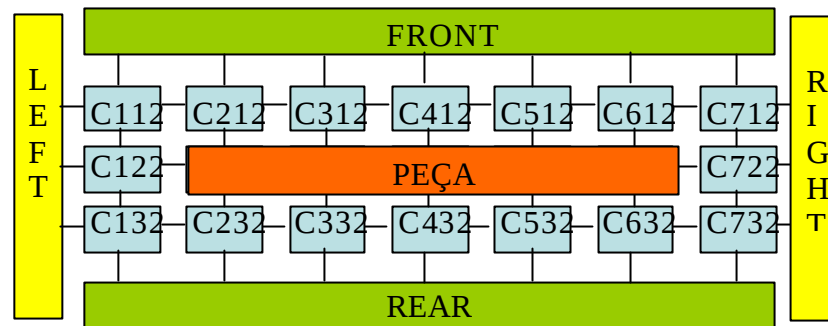
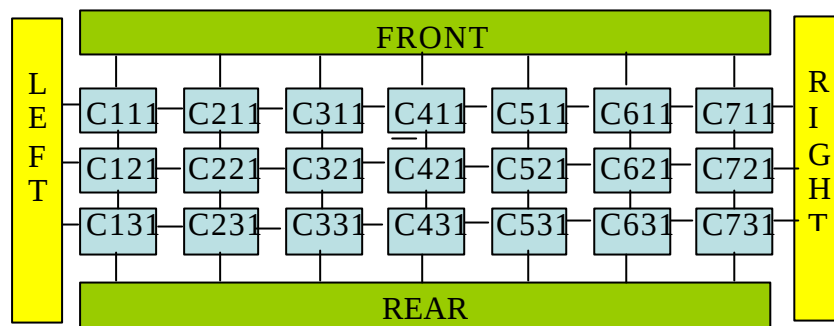


Figura 5.7 – Grafo, FRONT, REAR, LEFT, RIGHT.

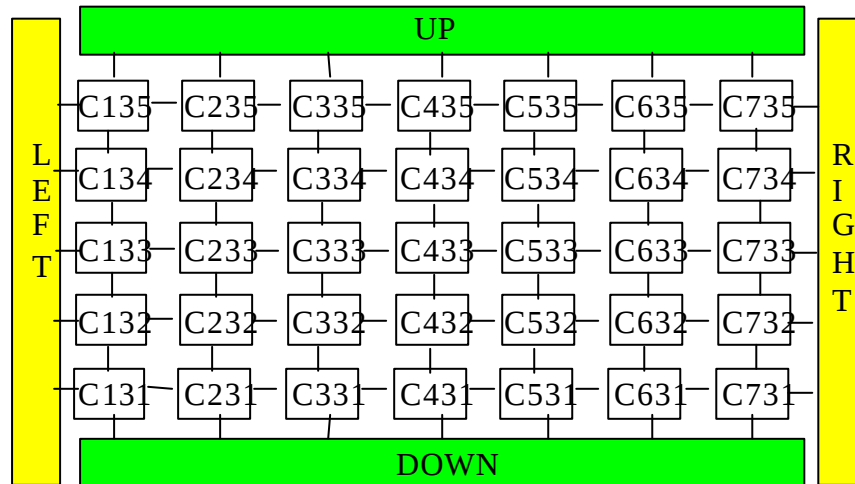
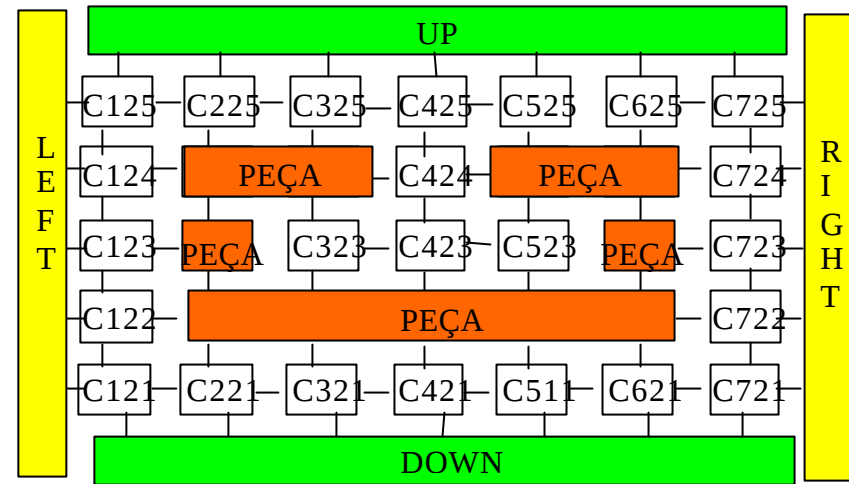
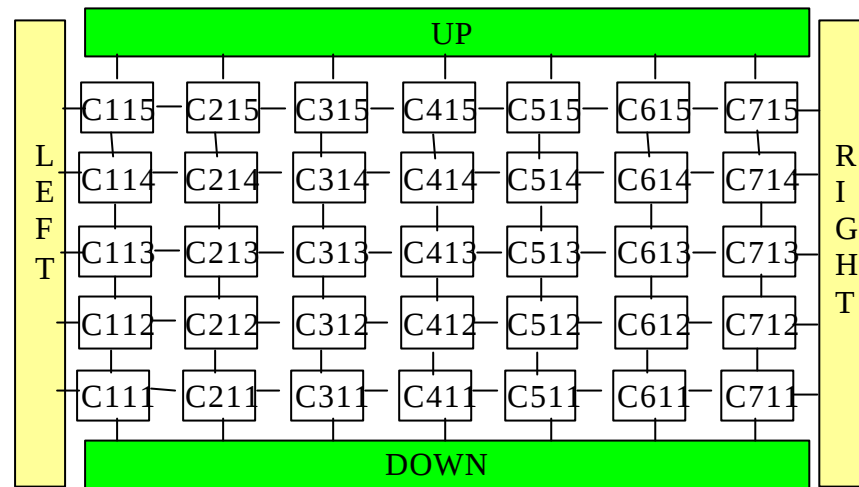


Figura 5.8 – Grafo, UP, DOWN, LEFT, RIGHT.

- a) Verificar se há parentesco entre o “FRONT” e o elemento geométrico selecionado.
- b) Verificar se há parentesco entre o “REAR” e o elemento geométrico selecionado.
- c) Verificar se há parentesco entre o “UP” e o elemento geométrico selecionado.
- d) Verificar se há parentesco entre o “DOWN” e o elemento geométrico selecionado.
- e) Verificar se há parentesco entre o “LEFT” e o elemento geométrico selecionado.
- f) Verificar se há parentesco entre o “RIGHT” e o elemento geométrico selecionado.
- g) Verificar se o pai, na direção “FRONT”, do elemento geométrico selecionado é filho de “FRONT”.
- h) Verificar se o pai, na direção “REAR”, do elemento geométrico selecionado é filho de “REAR”.
- i) Verificar se o pai, na direção “UP”, do elemento geométrico selecionado é filho de “UP”.
- j) Verificar se o pai, na direção “DOWN”, do elemento geométrico selecionado é filho de “DOWN”.
- k) Verificar se o pai, na direção “LEFT”, do elemento geométrico selecionado é filho de “LEFT”.
- l) Verificar se o pai, na direção “RIGHT”, do elemento geométrico selecionado é filho de “RIGHT”.
- m) Verificar em que faces (fronteiras) se encontram os sub-volumes a serem usinados para se definir o número de “set-up’s”.

Para verificar se existe parentesco entre um elemento geométrico e os limites da peça devem-se verificar se é possível partir de um dos limites da peça e se chegar ao elemento geométrico selecionado do grafo.

Diz-se que um elemento é pai de outro, quando, segundo um sentido, ele é adjacente e anterior ao elemento em teste.

Os testes para o reconhecimento das operações de usinagem descritos acima devem ter como respostas as seguintes:

- “1” existe parentesco entre os dois elementos;
- “0” não existe parentesco entre os dois elementos;
- “x” não está sendo levado em consideração se existe ou não parentesco.

Após serem descritos os testes para o reconhecimento das operações de usinagem, serão apresentadas as regras de reconhecimento dessas operações.

5.4 Regras de Reconhecimento das Operações de Usinagem

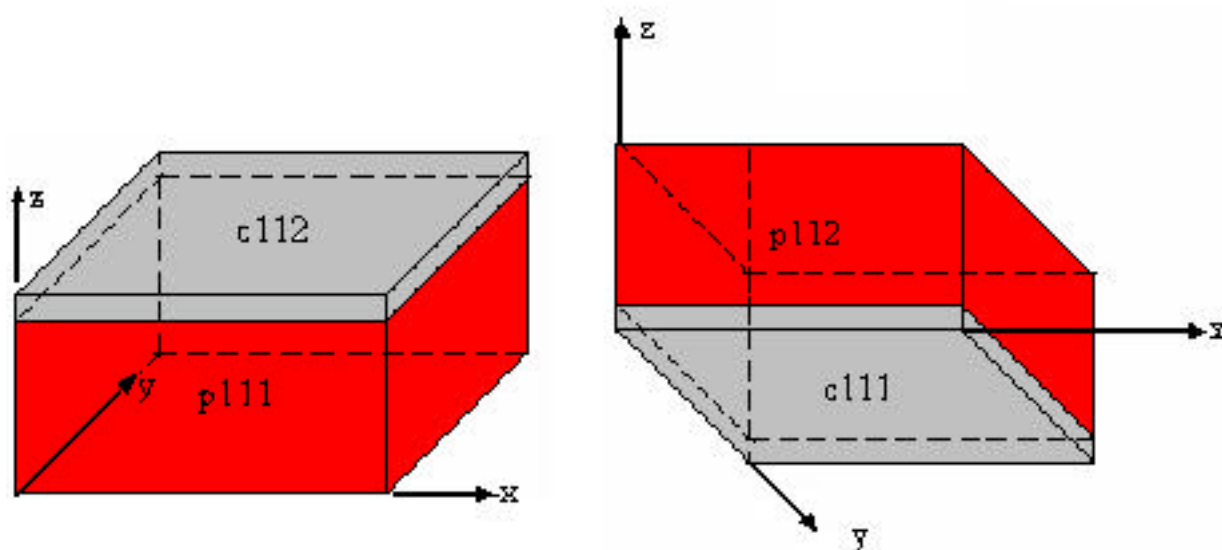
- 1) Se os testes de “A” a “F” todos forem iguais a “1” e só um for igual a zero a operação será fresamento plano da face oposta à que o teste for igual a “0”(figuras 5.3 a 5.8).
- 2) Se os testes “a”, “b”, “c”, tiverem como resposta “1” e os testes “d”, “e”, “f”, tiverem como resposta “0”, a operação será fresamento de canal retangular/canal angular(figura 5.3).
- 3) Se o teste “c” for igual a “1”, e os testes “a”, “b” “d”, “e”, “f”, forem iguais a “0”, a operação de usinagem será fresamento de cavidades/usinagem de furo não passante (ver figura 5.4).
- 4) Se o teste “c”, “d” forem iguais a “1”, e os testes “a”, “b”, “e”, “f”, forem iguais a “0”, a operação é usinagem de furo passante (figura 5.5).

- 5) Se os testes “a”, “b”, “c”, “f”, forem iguais a “1” e os testes “d”, “e” iguais a “0”, a operação de usinagem será fresamento de canto a 90°, lado direito/fresamento de chanfro (figuras 5.6 e 5.7).
- 6) Se os testes “a”, “b”, “c” e “e”, forem iguais a “1” e os testes “d” e “f” iguais a “0”, a operação de usinagem será fresamento de canto a 90°, lado esquerdo.
- 7) Se os testes “a”, “c”, “e” e “f”, forem iguais a “1” e os testes “b” e “d” iguais a “0”, a operação de usinagem será fresamento de canto a 90°, lado frontal.
- 8) Se os testes “b”, “c”, “e”, “f”, forem iguais a “1” e os testes “a”, “d” iguais a “0”, a operação de usinagem será fresamento de canto a 90°, lado traseiro.
- 9) Aplicando as regras 4;5;6;7, na mesma peça, teremos a operação de fresamento de contorno retangular (ver figura 5.8).
- 10) Se os testes “a”, “b”, “c”, “f”, forem iguais a “1” e os testes “d”, “e”, “f”, iguais a “0” a operação de usinagem será fresamento de canal em “T”/rabo de andorinha fêmea (figura 5.9).

Para exemplificar as aplicações destes testes Inicialmente serão abordados os casos em que as peças tenham sobre-metal a ser usinado em apenas uma das faces como representado nas figuras 5.3 a; 5.3 b.

5.5 Processo de Identificação dos Elementos Geométricos que Caracterizam os Sobre-metais .

Uma das operações mais comuns no fresamento é a retirada do sobre-metal deixado em uma ou mais faces da peça bruta. Este sobre-metal pode ser retirado (usinado) através das operações de fresamento de topo ou fresamento tangencial. O sobre-metal é caracterizado pelo fato de ser descendente em primeiro grau de uma ou algumas fronteiras da peça bruta. Caso exista um único sub-volume e ele seja filho de “UP”, FRONT”, “REAR”, “LEFT” e “RIGHT” e não seja filho de “DOWN”, tem-se um fresamento de topo na face superior da peça bruta (figura 5.3 a). Caso o sobre-metal existente encontre-se na face inferior da peça bruta e ele seja filho de “DOWN”, FRONT”, “REAR”, “LEFT” e “RIGHT” e não seja filho de “UP” teremos fresamento de topo da parte inferior. O resultados dos testes de reconhecimento será o apresentado na figura 5.4 (a, b). As operações serão realizadas em um único “set-up”. Infra representados estão os grafos que mostram o parentesco entre as fronteiras do sólido primitivo e os sobre-metais, e as tabelas que contem os testes, para o reconhecimento destas operações.



(a) Sobre-metal “UP”

(b) Sobre-metal “DOWN”

Figura 5.3 – Fresamento plano de topo dos sobre-metais “UP” e “DOWN”

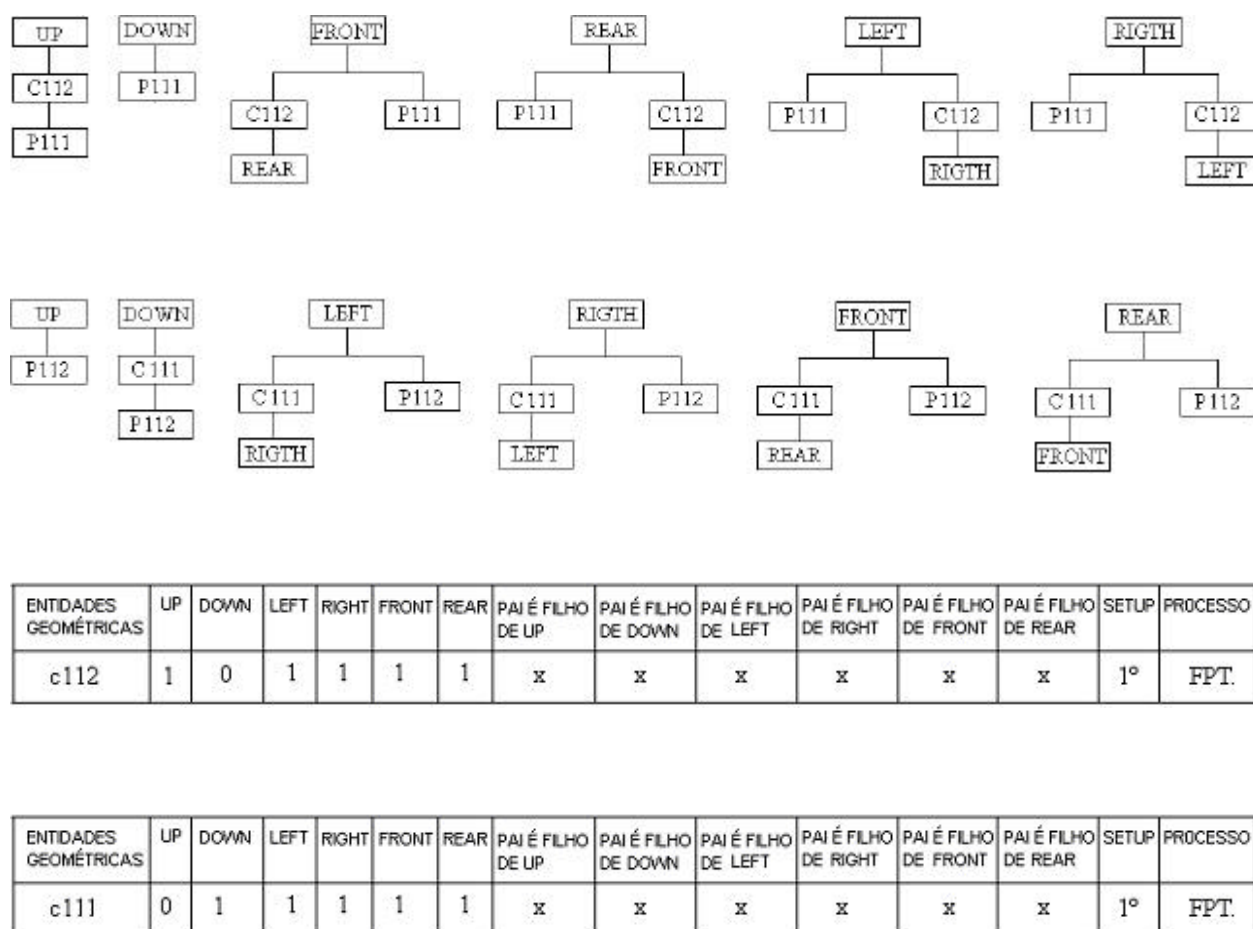


Figura 5.4 – Grafos e tabelas de testes para identificação dos sobre-metais UP e DOWN.

No caso das figuras 5.3 a e 5.3 b, a fixação da peça bruta na máquina deve ser feita apoiando-se a mesma pelo lado que a resposta do teste é “não”, ou seja “0”. No caso da figura (5.3 a), a resposta à pergunta é filho de “DOWN” é “não” ou seja, a tabela é preenchida com “0” (zero), portanto a face “DOWN” da peça bruta deve estar para baixo. No caso da figura (5.3 b), a resposta “0” é para o “UP”. Isto significa que o sobre-metal a ser retirado, esta na face DOWN, devendo, portanto, se fixar a peça bruta com esta face virada para cima. No caso do sobre-metal encontrar-se em uma das laterais os resultados dos testes serão aqueles apresentados na figura 5.4 e o resultado do processo é o fresamento plano tangencial.

O fresamento plano tangencial é caracterizado, pelo fato do sobre-metal ser descendente de todas as fronteiras menos uma, que é aquela que está direcionalmente a ela oposta. Para que o sobre-metal possa ser retirado pelo processo de fresamento tangencial, é necessário que esta face da peça bruta esteja livre, ou seja, não tenha contato nem com a mesa nem com dispositivos de fixação. Em todas as situações da figura 5.4, o fresamento acontecerá em um único “set-up”.

No caso em que o sobre-metal se encontrar em duas faces diametralmente oposta, isto é, “LEFT” ou “RIGHT”, ou “FRONT” e “REAR” simultaneamente, a usinagem pode acontecer em um único “set-up” se a peça poder ser fixada pelo meio, e estas faces ficarem em balanço (livres). Caso contrários serão necessário dois “set-up’s”

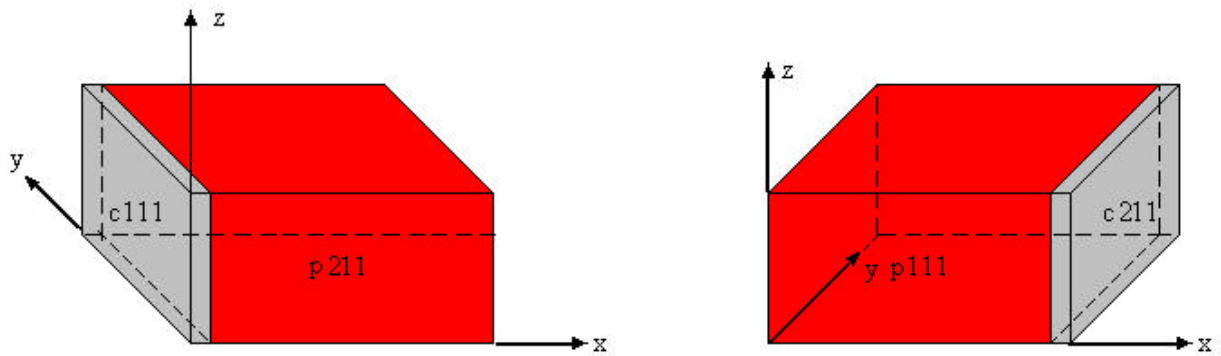
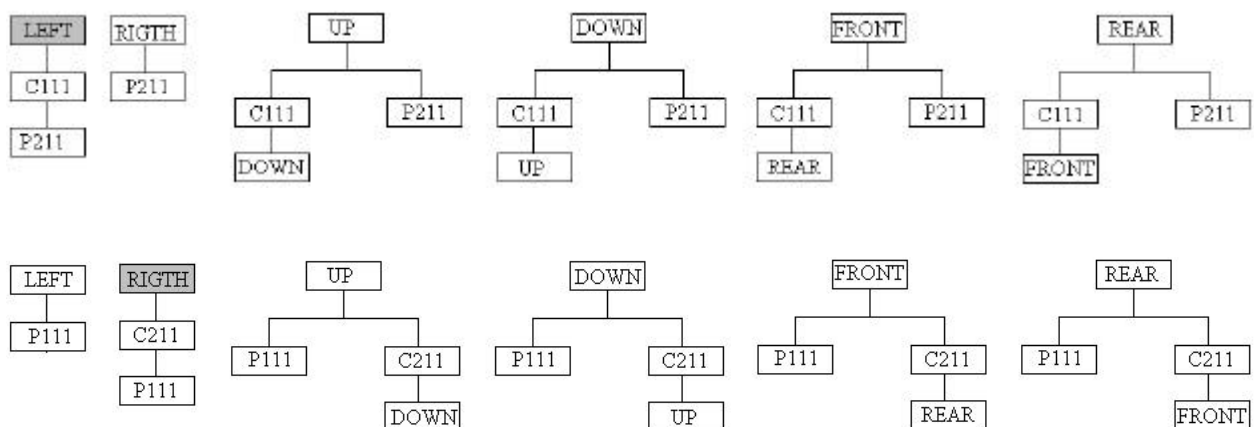


Figura 5.4 (a) – Fresamento plano tangencial dos sobre-metais “LEFT”, “RIGHT”



Figura 5.4 (b) – Fresamento plano tangencial dos sobre-metais “FRONT” E “REAR”.

ENTIDADES GEOMÉTRICAS	UP	DOWN	LEFT	RIGHT	FRONT	REAR	PAI É FILHO DE UP	PAI É FILHO DE DOWN	PAI É FILHO DE LEFT	PAI É FILHO DE RIGHT	PAI É FILHO DE FRONT	PAI É FILHO DE REAR	SETUP	PROCESSO
c211	1	1	0	1	1	1	x	x	x	x	x	x	1º	F.PTa.
c111	1	1	1	0	1	1	x	x	x	x	x	x	1º	F.PTa.
c111	1	1	1	1	0	1	x	x	x	x	x	x	1º	F.PTa.
c121	1	1	1	1	1	0	x	x	x	x	x	x	1º	F.PTa.



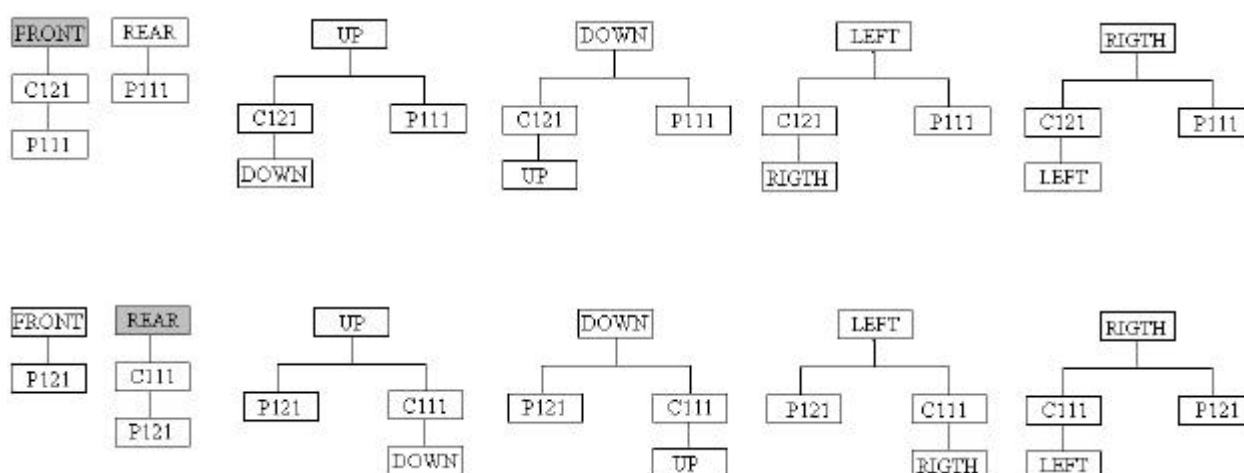


Figura 5.4 (c) - Tabela de identificação dos elementos geométricos que caracterizam a operação de usinagem com os grafos

5.6 Fresamento de Canais Retangulares

O fresamento dos canais retangulares quando usinados em centros de usinagem verticais deve ter a operação feita usando-se fresas de topo para que o processo de fabricação seja o fresamento misto, uma vez que a ferramenta usina ao mesmo tempo a lateral e o fundo do canal. Neste trabalho para a usinagem de canais deste tipo, tendo a peça, sobre-metal a ser retirado em todas as seis faces, o procedimento a ser adotado é o seguinte:

A fixação da peça bruta é feita em uma morsa de precisão de modo que duas faces paralelas fiquem em balanço, (veja capítulo 6, página 77 figuras 6.4 e 6.5), dando a peça que é fixada pela face “LEFT” e “RIGHT” a possibilidade de se usinar as duas faces “FRONT” e “REAR” com fresamento tangencial, e a terceira face, a oposta ao canal, paralela à mesa de trabalho, a face “DOWN”, a condição de ser usinada com fresamento frontal de topo, no primeiro “set-up”. No segundo “set-up”, a fixação da peça deve ser feita pelas faces “FRONT” e “REAR” já usinadas e com a face “DOWN” apoiada na morsa de fixação paralela a mesa de trabalho. Deste modo tem-se condição de se usinar as faces “LEFT” e “RIGHT” com fresamento tangencial, e posteriormente, proceder-se a usinagem da face “UP” com fresamento frontal de topo e o canal retangular cujo elemento geométrico é o c323, com fresamento misto. Na figura 5.5 esta representada estas etapas de usinagem, onde se vê os sobre-metais “FRONT” e “REAR” na cor roxa retirados na primeira fase no primeiro “set-up” e o sobre-metal “DOWN” na cor cinza retirado na segunda fase do primeiro “set-up”. Note-se que duas faixas do sobre-metal “DOWN” estão também na cor roxa. Isto é para representar, que estas duas faixas foram retiradas na primeira fase na usinagem dos sobre-metais “FRONT” e “REAR” ou elas poderão ser retiradas juntos com o “DOWN” caso o tempo de usinagem seja menor. Se a peça já tiver todos os sobre-metais usinados, e tenha-se que usinar apenas o canal, o teste a ser implementado será, a verificação do parentesco, do elemento geométrico “c323”, com as fronteiras da peça bruta e da peça acabada. Deste modo os testes a serem realizados serão os apresentados na figura 5.6, e o processo como dito anteriormente é o fresamento de canal retangular(F.C.R.).

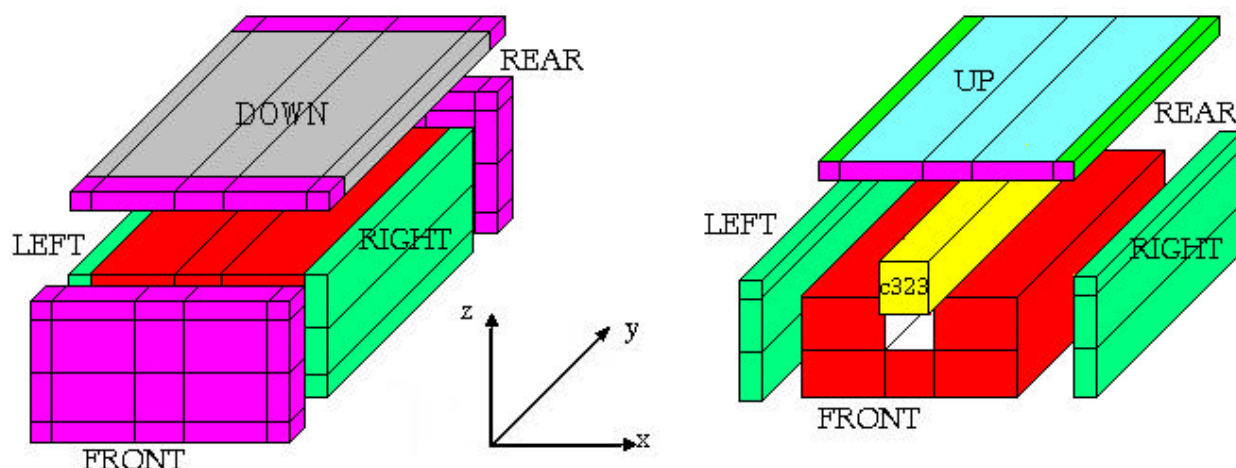


Figura 5.5 - Usinagem de canal retangular com o primeiro e segundo “set-up”.

5.7 Fresamento de Canto a 90°

Na realização da operação de fresamento de canto a 90° se a peça bruta tiver sobre-metal a ser retirado em todas as faces, deve-se proceder no primeiro “set-up” como descrito na operação de usinagem de canal retangular. A fixação da peça bruta é feita em uma morsa de precisão de modo que duas faces paralelas fiquem em balanço, dando à peça que é fixada pela face “LEFT” e “RIGHT” a possibilidade de se usinar as duas faces “FRONT” e “REAR” com fresamento tangencial, e a terceira face, a oposta ao canto de 90°, paralela à mesa de trabalho, a face “DOWN”, a condição de ser usinada com fresamento frontal de topo, no primeiro “set-up”. No segundo “set-up”, a fixação da peça deve ser feita pelas faces “FRONT” e “REAR” já usinadas e com a face “DOWN” apoiada na mesa de trabalho. Deste modo tem-se condição de se usinar as faces “LEFT” e “RIGHT” com fresamento tangencial, e posteriormente, se proceder a usinagem da face “UP” com fresamento frontal de topo e o canto de 90° cujo elemento geométrico é o c323, com fresamento misto (ver figura 5.6).

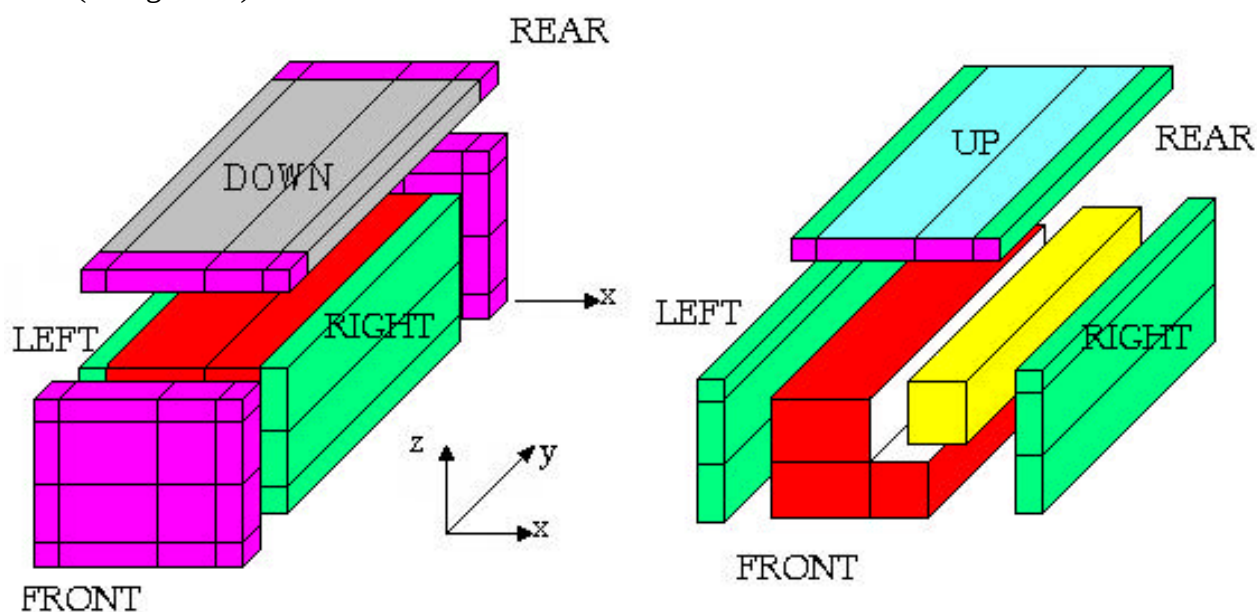
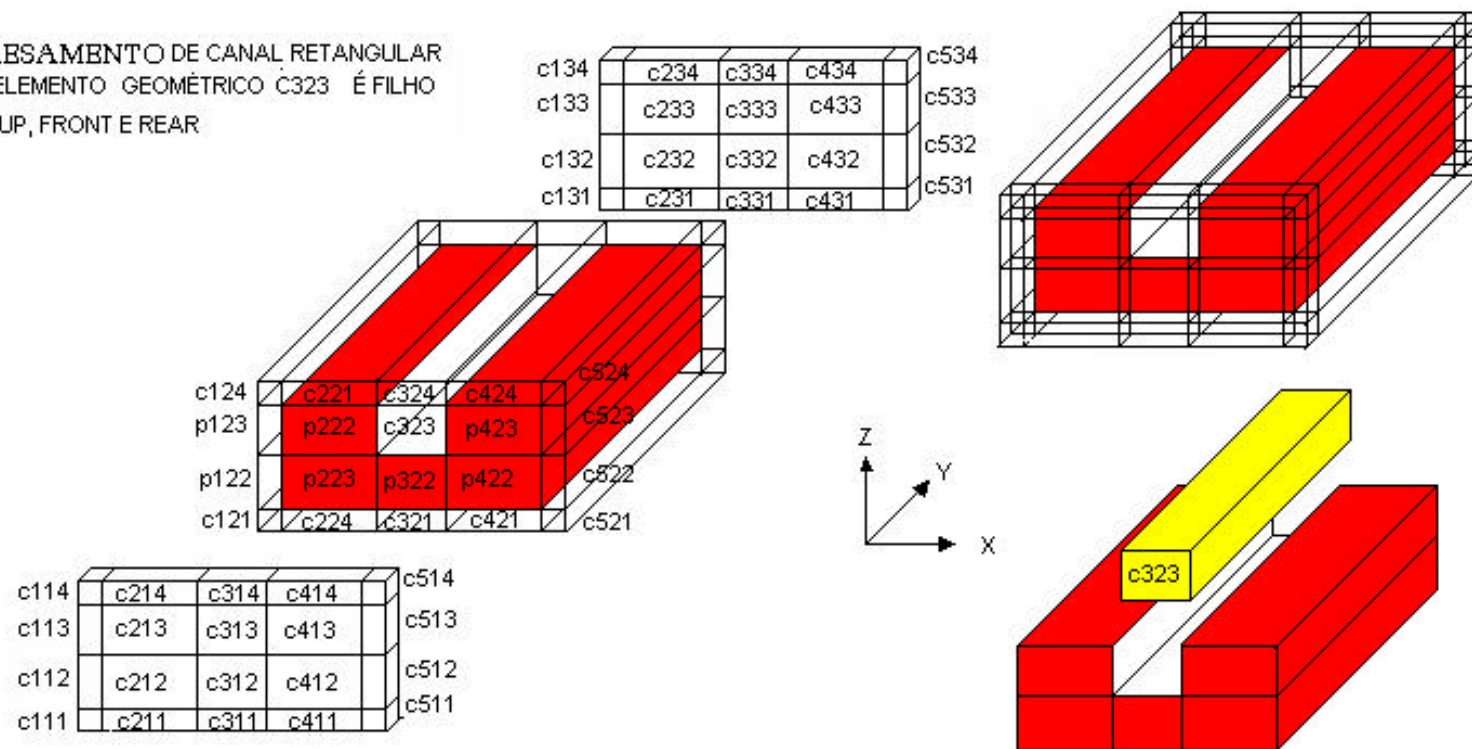


Figura 5.6 - Fresamento de canto a 90° “set-up’s” e fases

PRESEMENTO DE CANAL RETANGULAR
O ELEMENTO GEOMÉTRICO C323 É FILHO
DE UP, FRONT E REAR

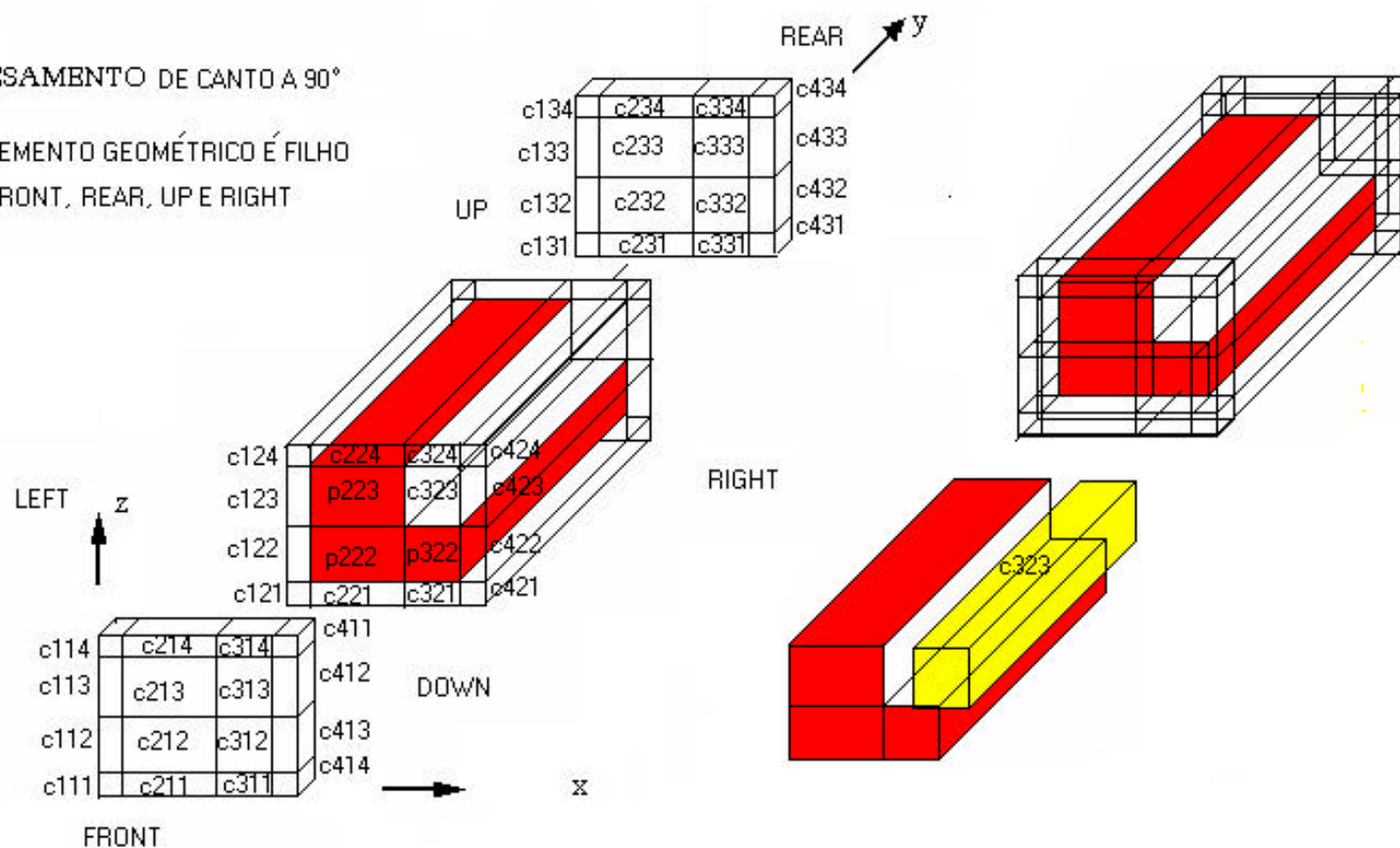


ENTIDADES GEOMÉTRICAS	UP	DOWN	LEFT	RIGHT	FRONT	REAR	PAI É FILHO DE UP	PAI É FILHO DE DOWN	PAI É FILHO DE LEFT	PAI É FILHO DE RIGHT	PAI É FILHO DE FRONT	PAI É FILHO DE REAR	SETUP	PROCESSO
c323	1	0	0	0	1	1	x	x	x	x	x	x	2°	F. C. R.

Figura 5.6 Teste para o reconhecimento do elemento geométrico de canal retangular

PREPARAMENTO DE CANTO A 90°

O ELEMENTO GEOMÉTRICO É FILHO
DE FRONT, REAR, UP E RIGHT



ENTIDADES GEOMÉTRICAS	UP	DOWN	LEFT	RIGHT	FRONT	REAR	PAI É FILHO DE UP	PAI É FILHO DE DOWN	PAI É FILHO DE LEFT	PAI É FILHO DE RIGHT	PAI É FILHO DE FRONT	PAI É FILHO DE REAR	SETUP	PROCESSO
c323	1	0	0	1	1	1	x	x	x	x	x	x	1°	F.C.R.

Figura 5.8 - Fresamento de Canto a 90°

5.8 Operação de Fresamento de Chanfro

Nas operações de fresamento de chanfro (figura 5.9), tendo a peça bruta sobre-metal a ser retirado em todas as faces como as demais vistas anteriormente, o procedimento de usinagem dos sobre-metais é idêntico ao de fresamento de canto a 90° . A fixação da peça bruta é feita em uma morsa de precisão de modo que duas faces paralelas fiquem em balanço, dando à peça que é fixada pela face “LEFT” e “RIGHT” a possibilidade de se usinar as duas faces “FRONT” e “REAR” com fresamento tangencial, e a terceira face, a oposta ao chanfro, paralela à mesa de trabalho, a face “DOWN”, a condição de ser usinada com fresamento frontal de topo, no primeiro “set-up”. No segundo “set-up”, a fixação da peça deve ser feita pelas faces “FRONT” e “REAR” já usinadas e com a face “DOWN” apoiada na morsa. Para que deste modo tenha-se condição de usar-se as faces “LEFT” e “RIGHT” com fresamento tangencial, e posteriormente, proceder-se a usinagem da face “UP” com fresamento frontal de topo, e o chanfro cujo elemento geométrico é o c323, com fresamento tangencial com fresa cônica, ou com pastilhas angulares. Esta sequência de usinagem esta representada na figura 5.9 onde se tem os sobre-metais “FRONT” e “REAR” representados na cor roxa, e o sobre-metal “DOWN” na cor cinza nas fases do primeiro “set-up”. Os sobre-metais “LEFT” e “RIGHT” na cor verde e o sobre-metal “UP” na cor azul. O elemento geométrico c323 que caracteriza a operação esta na cor amarela, e a peça na cor vermelha. Se a peça não tem nenhum sobre-metal a ser retirado, os testes a serem realizados são os mostrados na figura 5.10

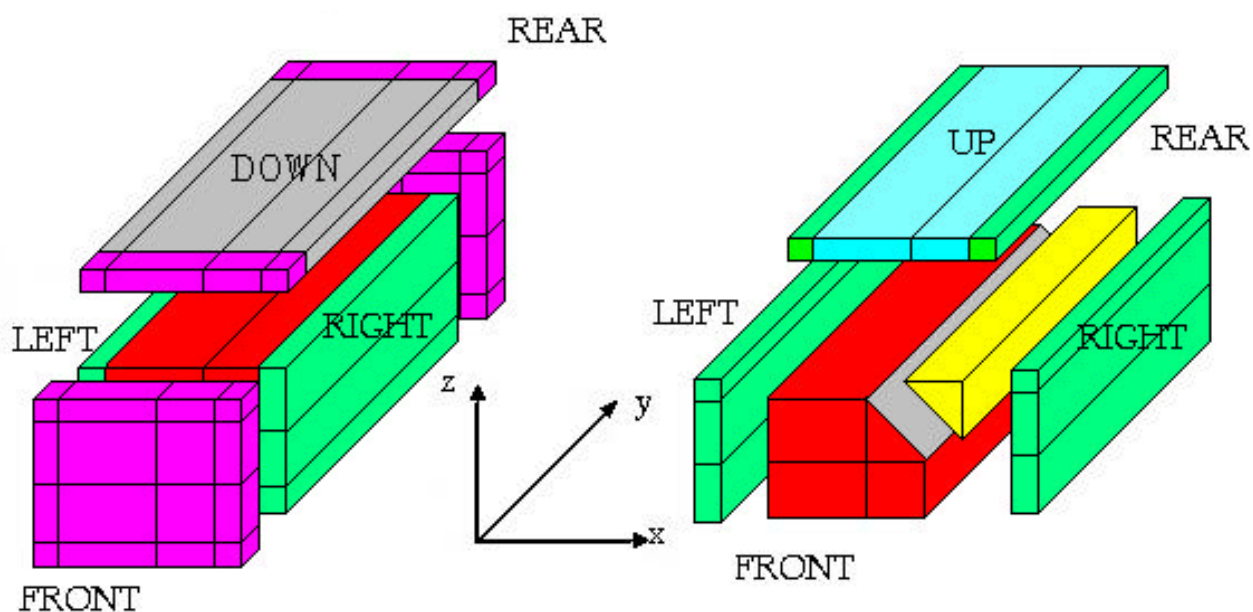
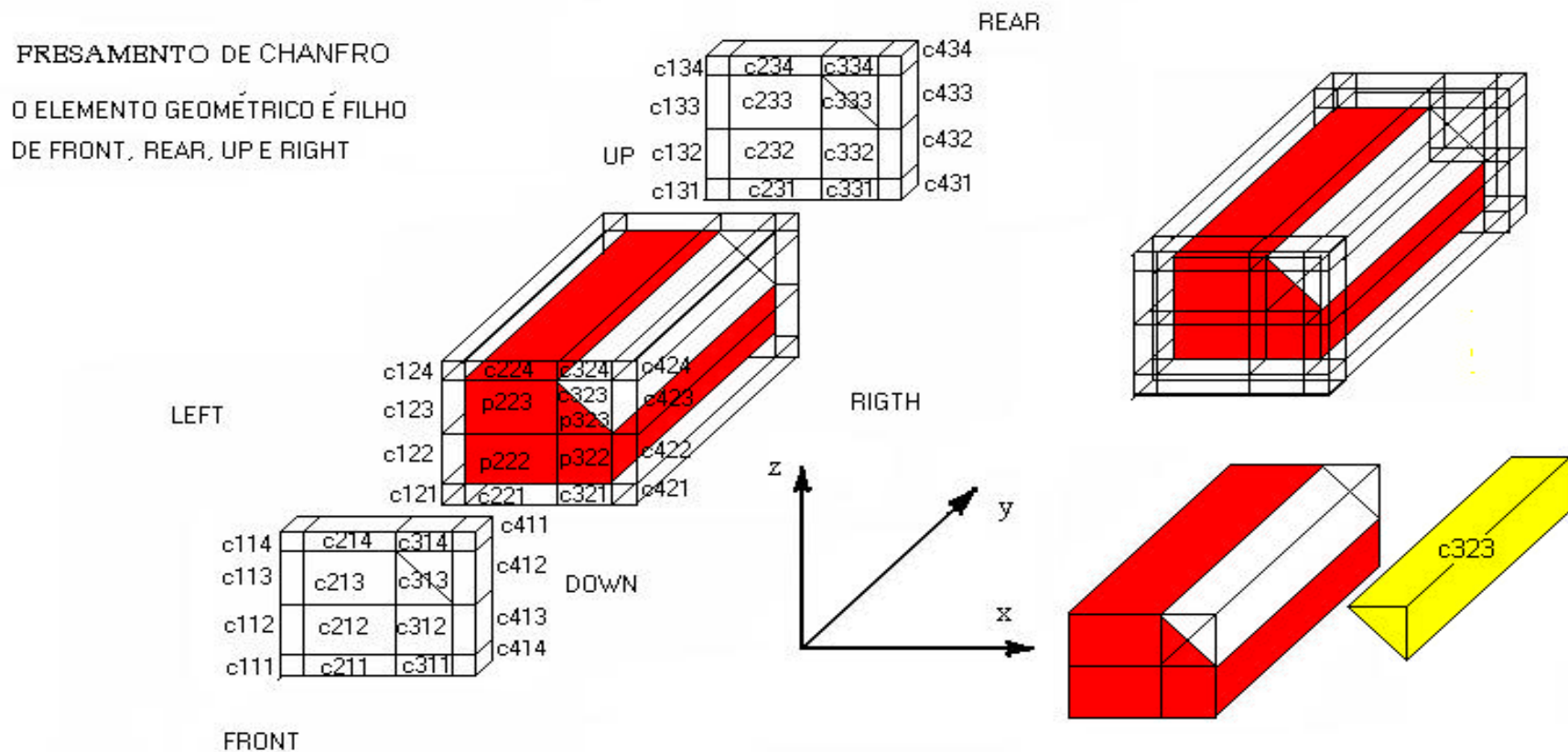


Figura 5.9 - Usinagem de chanfros “set-up’s” e fases de usinagem



ENTIDADES GEOMÉTRICAS	UP	DOWN	LEFT	RIGHT	FRONT	REAR	PAI É FILHO DE UP	PAI É FILHO DE DOWN	PAI É FILHO DE LEFT	PAI É FILHO DE RIGHT	PAI É FILHO DE FRONT	PAI É FILHO DE REAR	SETUP	PROCESSO
c323	1	0	0	1	1	1	x	x	x	x	x	x	1º	F.Ch.

Figura 5.10 - Testes para a verificação do elemento geométrico da operação de fresamento de chanfro.

5.9 Operações de Fresamento de Canto a 90°, nas Duas Faces da Peça, Gerando um Perfil em T Invertido.

A operação de fresamento de canto a 90° quando é realizada nas duas faces opostas da peça ou seja nas faces “LEFT” e “RIGHT” ou “FRONT” e “REAR”, gera um perfil em T invertido conforme esta representado na figura 5.11. Esta é uma operação muito comum, e está elencada entre os sub-processos de fresamento mostrados na figura 5.1. Quando a mesma é realizada em peças que tem sobre-metal a ser retirado em todas as faces, o procedimento é o mesmo dos exemplos anteriores para a retirada dos sobre-metais, que também é mostrado na figura 5.12. Os testes para a identificação dos elementos geométricos a serem retirados, após a usinagem de todos os sobre-metais, que caracterizam a operação de fresamento de T invertido, estão representados na figura 5.13

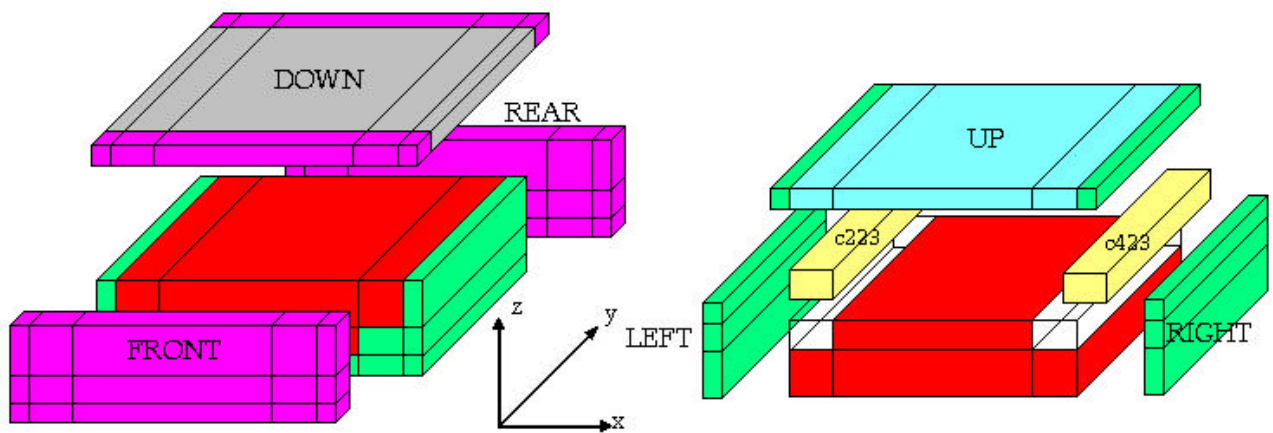


Figura 5.11 - Operações de fresamento de canto a 90°, nas duas faces da peça.

Se as operações acima descritas forem realizadas nas quatro faces da peça, ou seja, nas faces LEFT, RIGHT, FRONT e REAR teremos o sub-processo de fresamento de contorno, representado na figura 5.12. Na figura 5.14 tem-se o resultado do teste de reconhecimento deste processo.

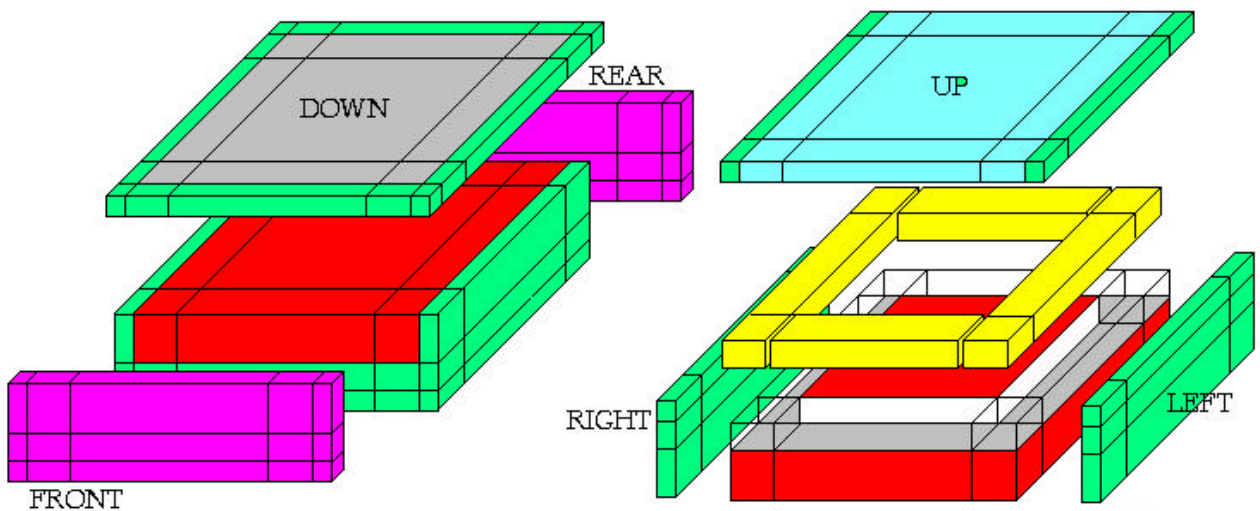
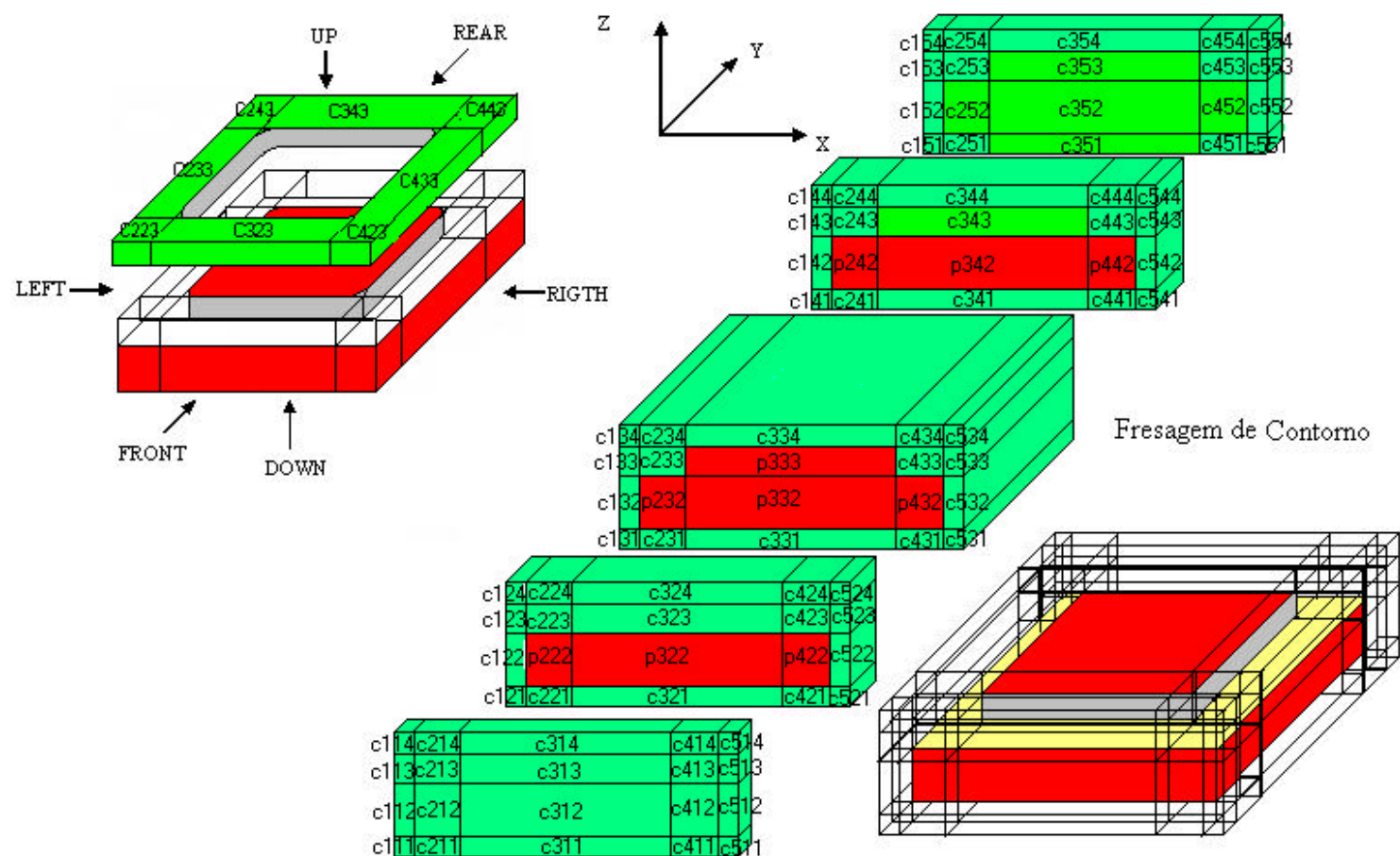


Figura 5.12 - Fresamento de contorno



ENTIDADES GEOMÉTRICAS	UP	DOWN	LEFT	RIGHT	FRONT	REAR	PAI É FILHO DE UP	PAI É FILHO DE DOWN	PAI É FILHO DE LEFT	PAI É FILHO DE RIGHT	PAI É FILHO DE FRONT	PAI É FILHO DE REAR	SETUP	PROCESSO
c343	1	0	1	1	1	0	x	x	x	x	x	x	2º	F.co.
c233	1	0	1	0	1	0	x	x	x	x	x	x	2º	F.co.
c323	1	0	1	1	0	1	x	x	x	x	x	x	2º	F.co.
c433	1	0	0	1	1	1	x	x	x	x	x	x	2º	F.co.
c243,c443 c223,c423	1	0	1	1	1	1	x	x	x	x	x	x	2º	F.co.

Figura 5.14 – Processo de fresamento de canto nas quatro faces laterais

5.10 Fases de Fresamento de Canais Angulares.

Para se realizar o fresamento de um canal angular em um centro de usinagem vertical, realiza-se inicialmente os mesmos procedimentos para a usinagem de um canal retangular, e a partir da construção deste, usina-se a parte angular, com uma ferramenta específica. Os canais angulares podem ser do tipo calda de andorinha, ou canal trapezoidal com uma ou com duas faces angulares. Os sobre-metaís são fresados com os mesmos procedimentos mostrados nos parágrafos anteriores, com a usinagem de outros sub-processos de fresamento.

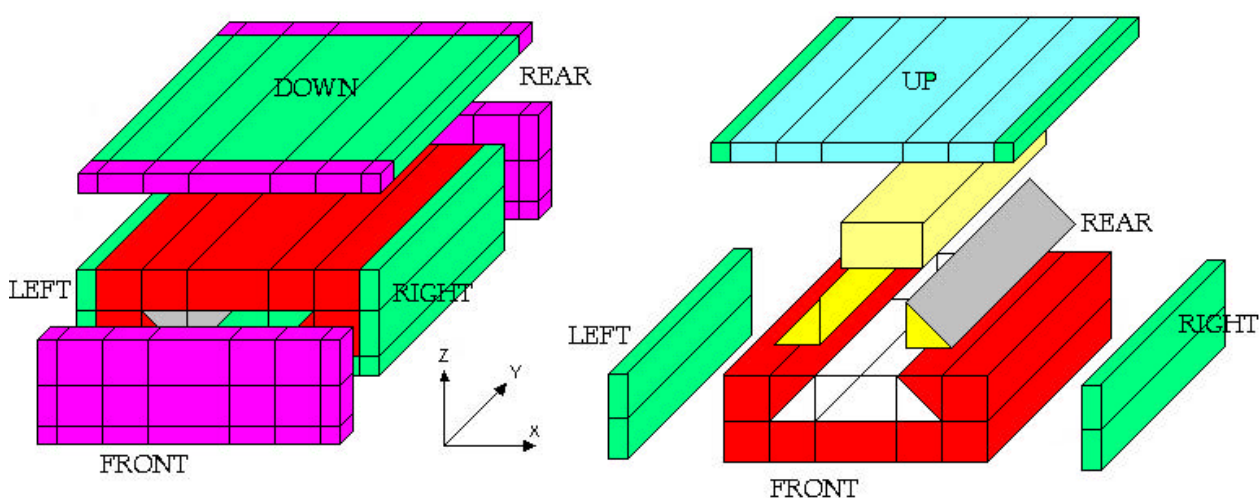


Figura 5.15 – Fases de fresamento de canal angular tipo calda de andorinha fêmea

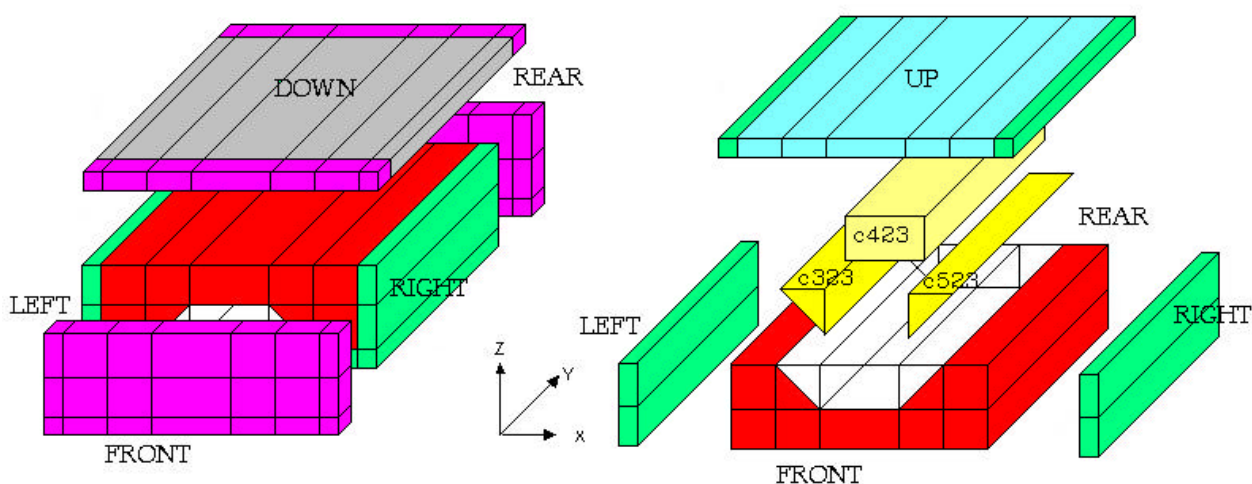


Figura 5.16 – Fases de fresamento de canal angular com perfil trapezoidal

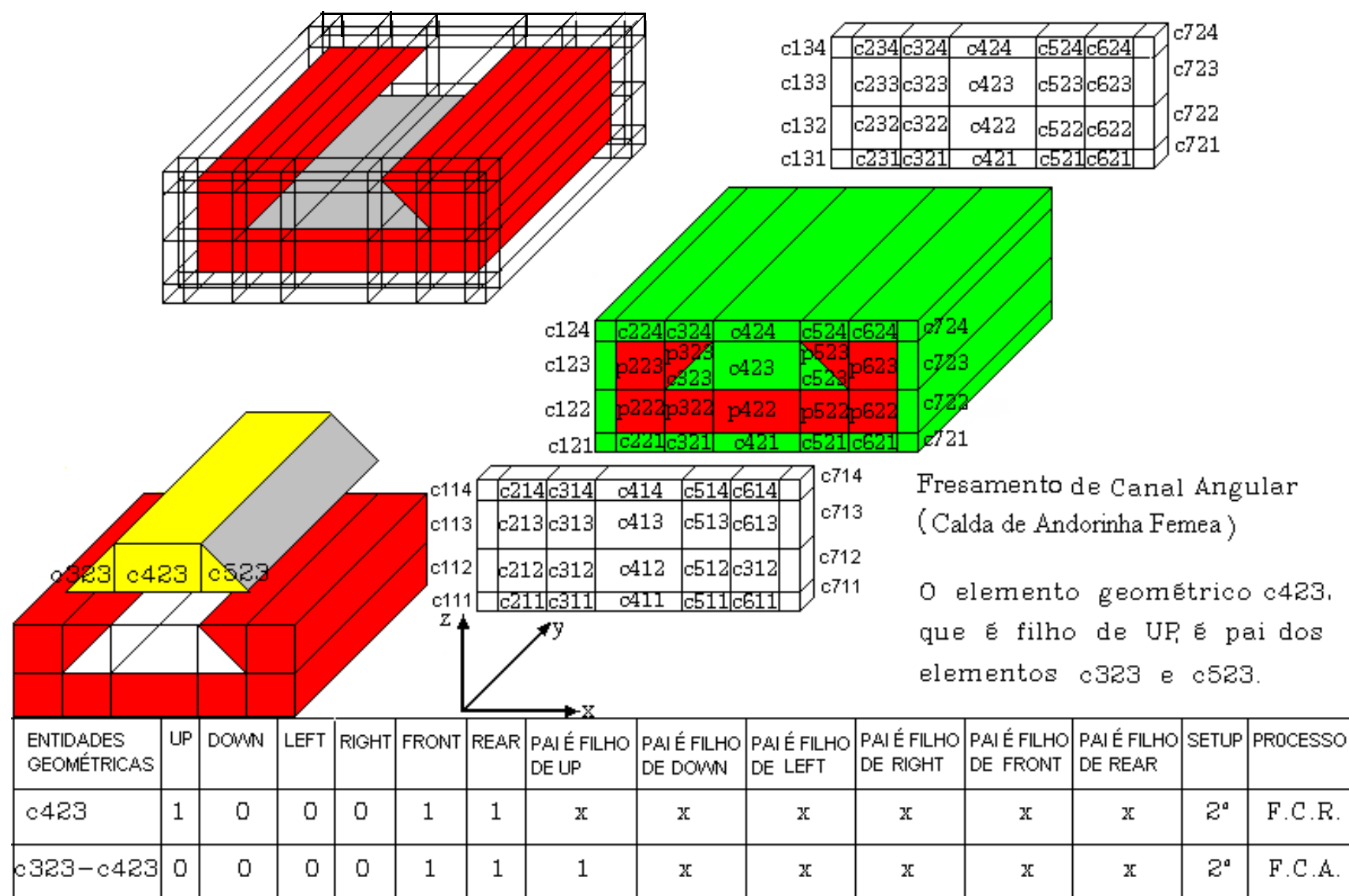
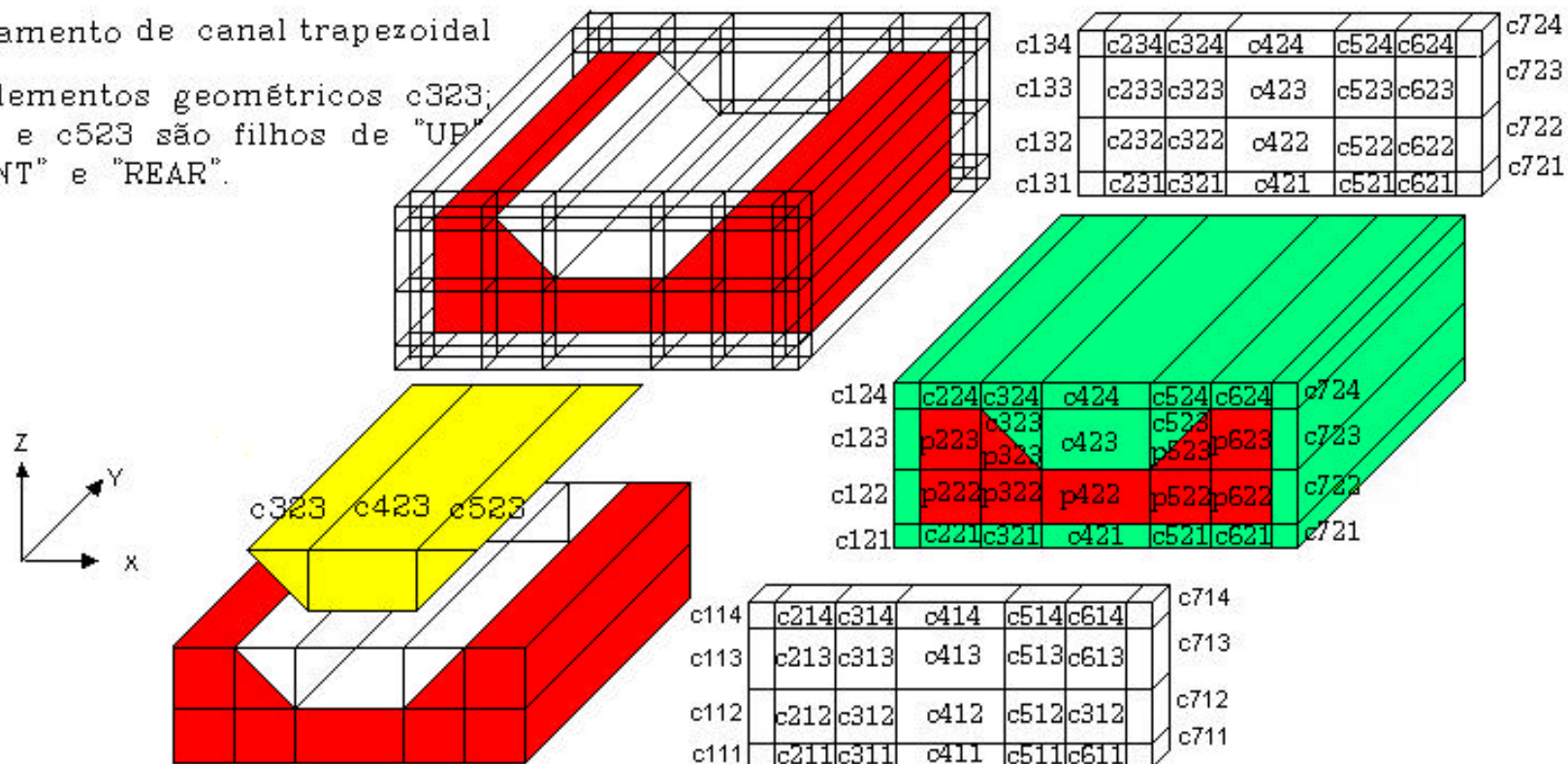


Figura 5.17 – Elementos geométricos do canal angular tipo calda de andorinha fêmea

Fresamento de canal trapezoidal

Os elementos geométricos c323; c423 e c523 são filhos de "UP" "FRONT" e "REAR".



ENTIDADES GEOMÉTRICAS	UP	DOWN	LEFT	RIGHT	FRONT	REAR	PAI É FILHO DE UP	PAI É FILHO DE DOWN	PAI É FILHO DE LEFT	PAI É FILHO DE RIGHT	PAI É FILHO DE FRONT	PAI É FILHO DE REAR	SETUP	PROCESSO
c323;c423;c523	1	0	0	0	1	1	x	x	x	x	x	x	2º	F.C.A.

Figura 5.18 – Elementos geométricos do canal angular com base trapezoidal

5.11 Fresamento de Canal em T

O fresamento de canal em forma de T como no exemplo de canais angulares, tem os mesmos procedimentos de abertura de canal retangular, para posteriormente se fazer a usinagem do 'T'. Estes detalhes estão mostrados na figura 5.

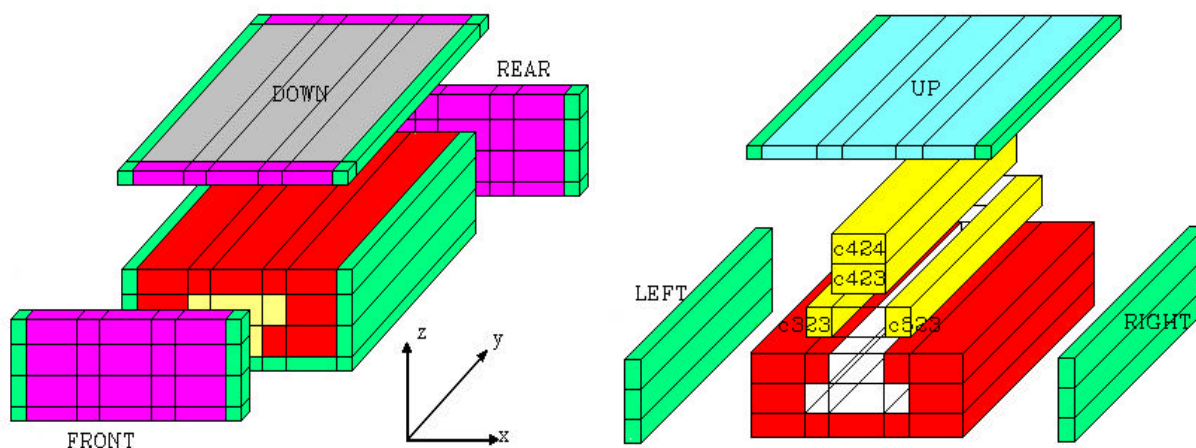


Figura 5.19 – Fases de fresamento de canais em T

5.12 Fresamento de Canto em Ângulo (calda de andorinha macho)

A usinagem de calda de andorinha macho tem os procedimentos idênticos de usinagem de canto a 90° e posteriormente faz-se a usinagem da parte em ângulo com uma fresa angular. A figura 5.20 mostra os “set-up’s”.

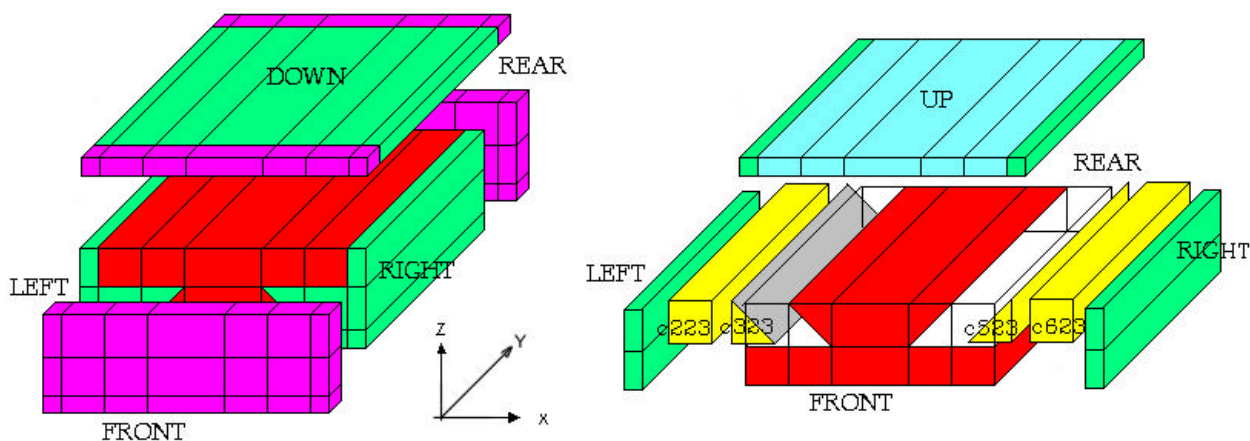
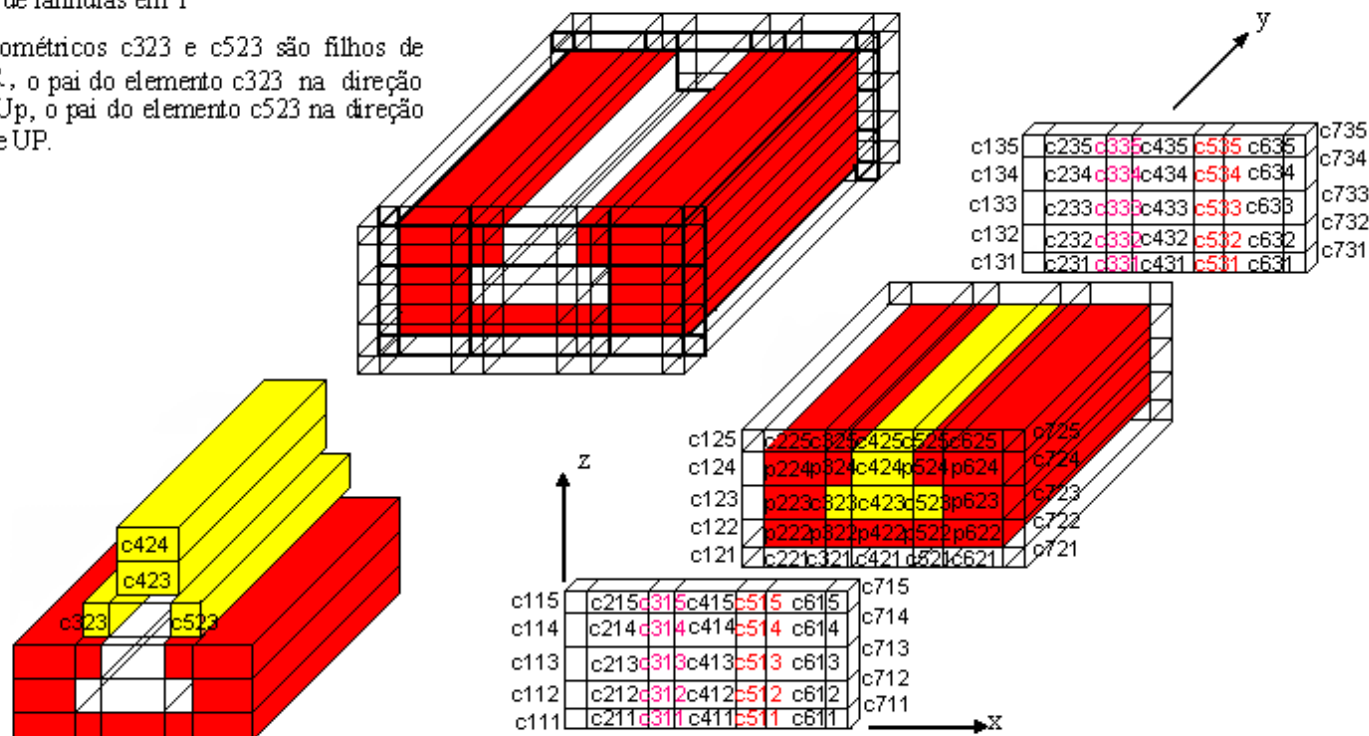


Figura 5.20 – Elementos geométricos do fresamento de calda de andorinha macho

Fresamento de ranhuras em T

Os elementos geométricos c323 e c523 são filhos de FRONT e REAR, o pai do elemento c323 na direção LEFT é filho de UP, o pai do elemento c523 na direção RIGHT é filho de UP.



ENTIDADES GEOMÉTRICAS	UP	DOWN	LEFT	RIGHT	FRONT	REAR	PAI É FILHO DE UP	PAI É FILHO DE DOWN	PAI É FILHO DE LEFT	PAI É FILHO DE RIGHT	PAI É FILHO DE FRONT	PAI É FILHO DE REAR	SETUP	PROCESSO
c423 - c424	1	0	0	0	1	1	x	x	x	x	x	x	2°	F.C.T.
c323 - c523	x	0	0	0	1	1	1	0	0	0	x	x	2°	F.C.T.

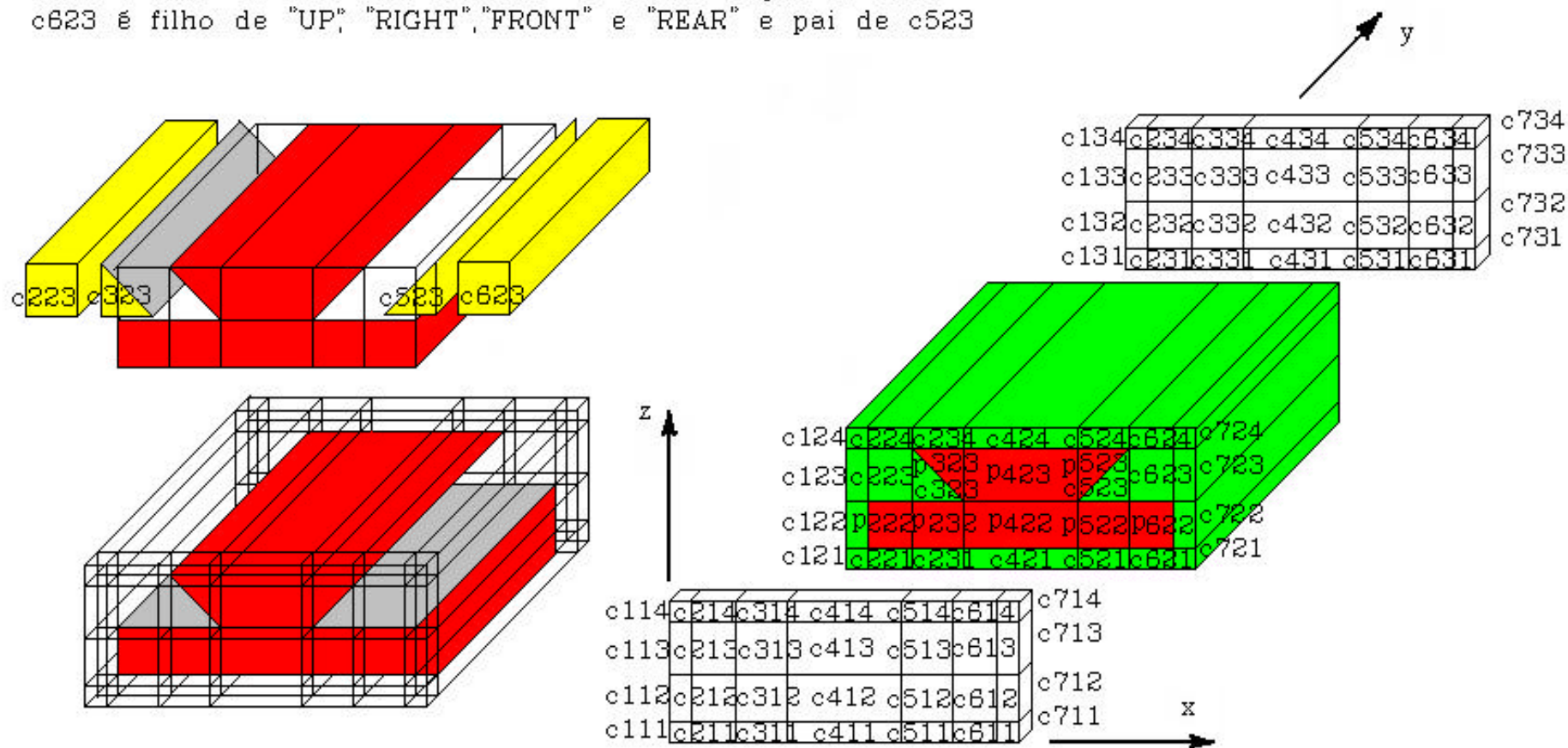
Figura 21 - Usinagem de canal em T

Calda de andorinha macho

Os elementos c323ec523 são filhos de "FRONT" e "REAR"

c223 é filho de "UP", "LEFT", "FRONT" e "REAR" e pai de c323

c623 é filho de "UP", "RIGHT", "FRONT" e "REAR" e pai de c523



ENTIDADES GEOMÉTRICAS	UP	DOWN	LEFT	RIGHT	FRONT	REAR	PAI É FILHO DE UP	PAI É FILHO DE DOWN	PAI É FILHO DE LEFT	PAI É FILHO DE RIGHT	PAI É FILHO DE FRONT	PAI É FILHO DE REAR	SETUP	PROCESSO
c323	0	0	1	0	1	1	1	x	1	x	x	x	2ª	F.C.A.
c523	0	0	0	1	1	1	1	x	x	1	x	x	2ª	F.C.A.

Figura 5.22 - Usinagem de calda de andorinha macho

5.13 Operações de Furação nos Centros de Usinagem Verticais

As operações de furação em um centro de usinagem vertical divide-se em operações com furos passantes, e operações com furos não passantes, também conhecidos como furos cegos.

5.13.1 Operações com Furos Passantes

Nas operações de furação nos centros de usinagem quando o furo é passante e tem sobre-metal a ser usinado nas duas faces perpendiculares ao furo, devem ser feitas em dois “set-up’s”. No primeiro “set-up” deve-se usinar o sobre-metal “DOWN” com a peça fixada em uma morsa ou fixada diretamente na mesa da máquina. No segundo “set-up” a peça pode ser fixada do mesmo modo que no “set-up” anterior para a usinagem do sobre-metal “UP”, e posteriormente proceder-se a usinagem do furo. Devemos observar que deste modo a peça sendo fixada com a face “DOWN” apoiada na mesa, fica garantido o paralelismo entre esta e a face “UP”, e conseqüentemente o perpendicularismo entre o furo e as duas faces da peça. Entretanto caso a fixação seja feita em morsa, deve-se ter o cuidado de verificar se a face da peça esta encostada na guia retificada da morsa para que fique garantido o paralelismo entre as duas faces. Para a usinagem de furo passante a broca deve atravessar a superfície “DOWN” por esta razão na fixação com morsa precisa-se fazer uso de guias retificadas (veja figura 6.3 do capítulo 6).

Os testes para o reconhecimento destas operações e os respectivos grafos estão mostrados na figura 5.23. Os testes para retirada dos sobre-metais já foram mostrados nos sub-capítulos anteriores quando tratamos de reconhecimento das operações de usinagem de sobre-metais.

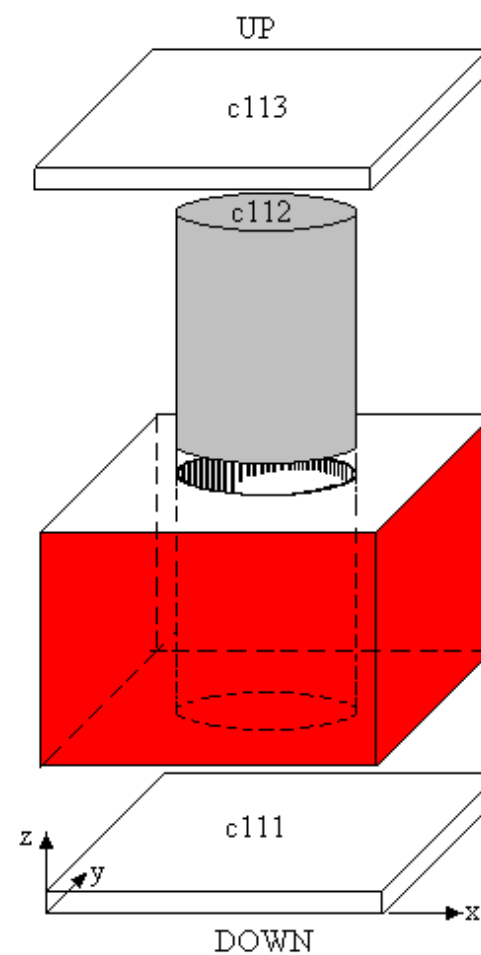
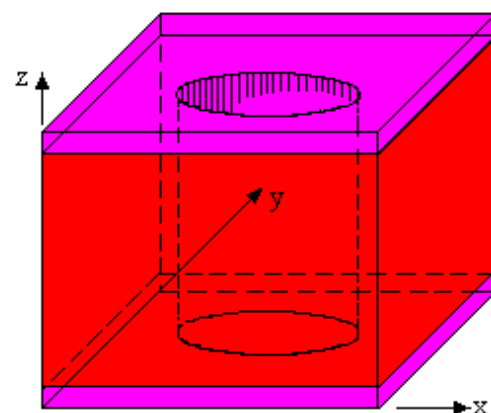
5.13.2 Operações com Furos não Passantes

No caso de furos não passantes, como no caso dos furos passantes, se as superfícies já forem usinadas, a operação de furação será feita em um único “set-up”. Em caso contrário, mesmo que por obrigatoriedade de projeto o furo deva ser perpendicular à face em que o mesmo tenha parentesco, é conveniente fazer um fresamento na face oposta, para que a mesma seja tomada como referência de paralelismo e perpendicularismo do furo em relação à face de parentesco e desta em relação a face de referencia. Neste caso a operação deverá ser feita em dois “set-up’s”, e as verificações a serem feitas com relação a fixação deverão ser as mesmas da furação passante.

Na figura 5.24 esta mostrado o resultado do teste para o reconhecimento desta operação com o grafo de adjacência. No furo não passante a broca não ultrapassa a superfície “DOWN”. Uma segunda ferramenta precisa ser usada para deixar a base do furo plana.

Furo Passante

O elemento geométrico c112 é filho de "UP" e DOWN

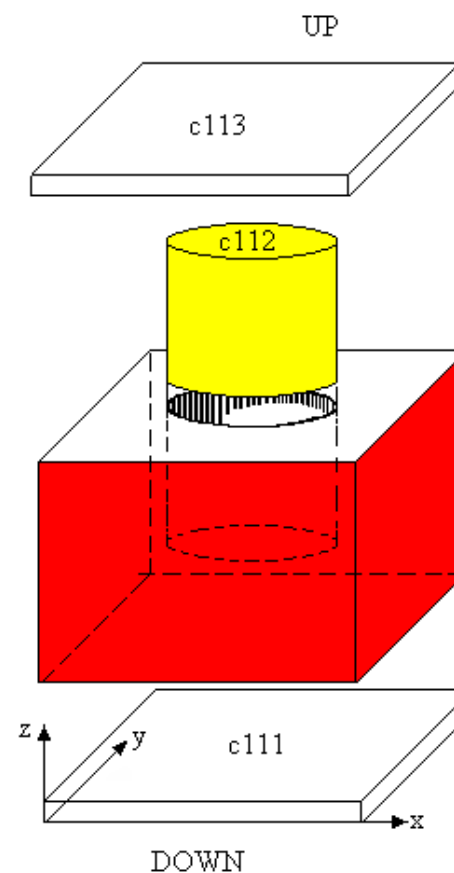
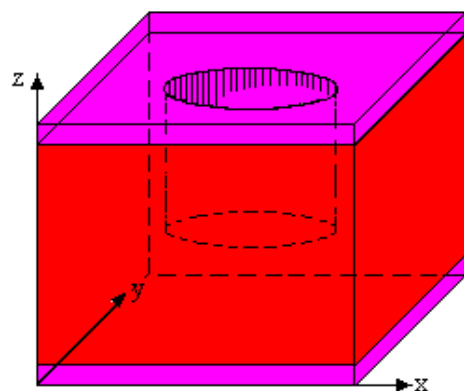


ENTIDADES GEOMÉTRICAS	UP	DOWN	LEFT	RIGHT	FRONT	REAR	PAI É FILHO DE UP	PAI É FILHO DE DOWN	PAI É FILHO DE LEFT	PAI É FILHO DE RIGHT	PAI É FILHO DE FRONT	PAI É FILHO DE REAR	SETUP	PROCESSO
c112	1	1	0	0	0	0	x	x	x	x	x	x	2º	F.P.

Figura 5.23 – Usinagem de furos passante

Furo Cego

O elemento geométrico c112 tem parentesco unicamente com "UP"



ENTIDADES GEOMÉTRICAS	UP	DOWN	LEFT	RIGHT	FRONT	REAR	PAI É FILHO DE UP	PAI É FILHO DE DOWN	PAI É FILHO DE LEFT	PAI É FILHO DE RIGHT	PAI É FILHO DE FRONT	PAI É FILHO DE REAR	SETUP	PROCESSO
c112	1	0	0	0	0	0	x	x	x	x	x	x	2º	F.N.P.

Figura 5.24 - Usinagem de furos cegos

5.14 Fresamento de Cavidades

Na figura 5.25 temos dois exemplos de fresamento de cavidades, um retangular (c323) e outro circular (c112). O resultado do teste de reconhecimento de fresamento de cavidades dos elementos c333 e c112 são mostrados na figura 5.26. O que difere os elementos c333 e c112 são as características geométricas que os define. O elemento c333 é composto de 8 pontos (seus vértices) e 12 arestas. O elemento c112 é composto de duas circunferências de mesmo raio, equidistante de uma profundidade h. Os raios das circunferências são elementos fundamentais para diferenciar o fresamento de cavidades circulares dos furos não passantes. Os raios, portanto devem ser muito maiores que os raios das brocas. A distancia entre as circunferências, ou seja, a profundidade da cavidade é muito menor que a profundidade do furo não passante.

Fresamento de cavidades

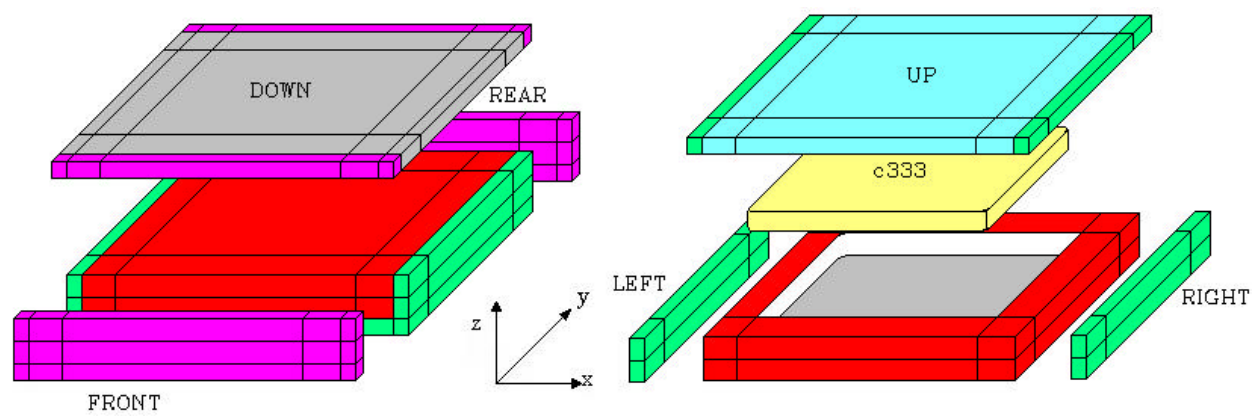
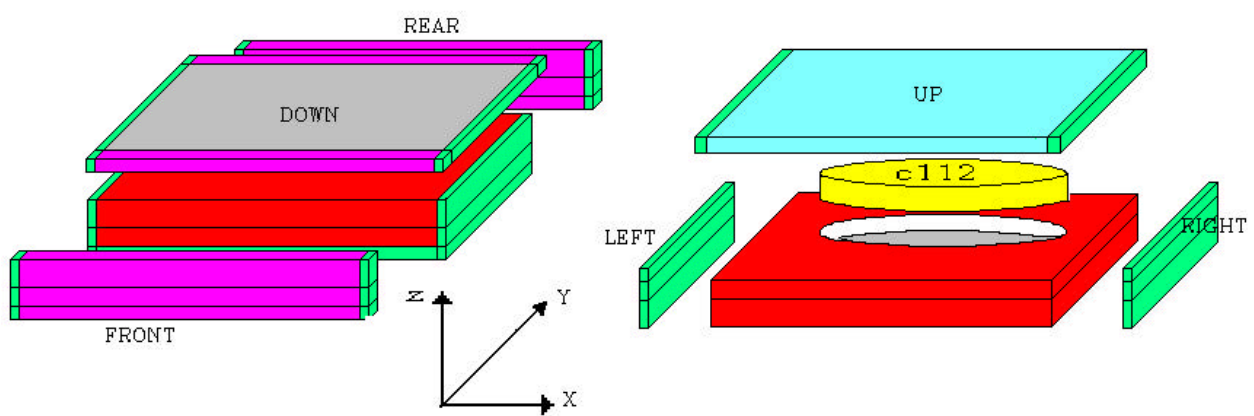


Figura 5.26 – Fresamento de cavidades retangulares, fases e “set-up’s”

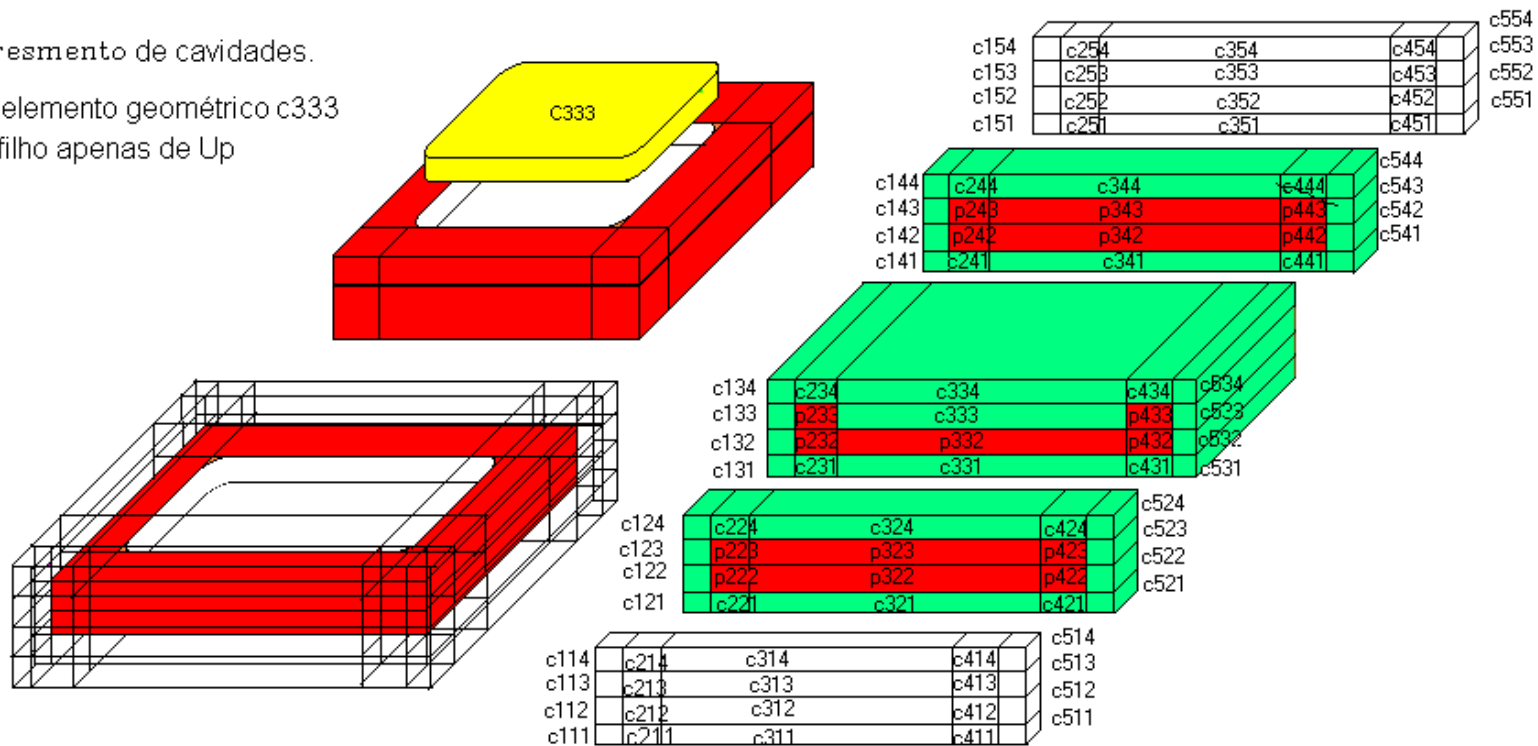


ENTIDADES GEOMÉTRICAS	UP	DOWN	LEFT	RIGHT	FRONT	REAR	PAI É FILHO DE UP	PAI É FILHO DE DOWN	PAI É FILHO DE LEFT	PAI É FILHO DE RIGHT	PAI É FILHO DE FRONT	PAI É FILHO DE REAR	SETUP	PROCESSO
c112	1	0	0	0	0	0	1	x	x	x	x	x	2º	F.P.

Figura 5.25 – Fresamento de cavidades circulares, fases e “set-up’s”

Fresamento de cavidades.

O elemento geométrico c333
é filho apenas de Up



ENTIDADES GEOMÉTRICAS	UP	DOWN	LEFT	RIGHT	FRONT	REAR	PAI É FILHO DE UP	PAI É FILHO DE DOWN	PAI É FILHO DE LEFT	PAI É FILHO DE RIGHT	PAI É FILHO DE FRONT	PAI É FILHO DE REAR	SETUP	PROCESSO
C333	1	0	0	0	0	0	X	X	X	X	X	X	2º	F Ca

Figura 5.26 – Reconhecimento dos elementos geométricos no Fresamento de Cavidades

5.15 Discussão Sobre o Reconhecimento dos Sub-processos de Fresamento

Os testes das figuras 5.3 e 5.4 são caracterizados por apresentarem um único “não” (zero) para uma das respostas. Em todos estes casos a entidade geométrica a ser usinada é um sobre-metal localizado na face oposta ao “não” (ao zero). Nos casos em que o “zero” estiver no Down ou no Up o processo a ser utilizado é o processo de Fresamento Plano de Topo (F.P.T). Nos casos em que o zero estiver em uma das laterais (left, right, front ou rear) o processo a ser utilizado é o fresamento plano tangencial (F.P.T.), e o sobre-metal a ser usinado localiza-se na superfície oposta a posição do “zero”.

O teste da figura 5.6 é caracterizado por apresentar três “não”(três zeros) nas posições “Down”, “Left” e “Right”. O processo neste caso é o Fresamento de Canal Radial(F.C.R).

Os testes das figuras 5.8, 5.10 e 5.13 têm a característica de apresentarem dois “não” (dois zeros) localizados nas posições “Down”e “Left” ou “Down” e “Right”. Nestes casos o processo pode ser o fresamento de canto a 90° (F.cto) ou fresamento de chanfro (F.ch). O que faz a distinção entre estes dois processos são o número de pontos e arestas que compõem as entidades a serem usinadas. No caso do fresamento de canto a 90° a entidade a ser usinada é um paralelogramo que é, portanto, definido por 8 pontos e 12 arestas. No caso do fresamento de chanfro a entidade a ser usinada é um prisma de base triangular, definido, portanto, por 6 pontos e 9 arestas.

O fresamento de contorno retangular (figura 5.14) é um caso particular do fresamento de canto a 90°. O fresamento de contorno retangular é composto de oito entidades, tendo quatro delas duas respostas “não” (dois zeros) um sempre no Down, e outro zero no Left (c433) ou Right (c233) ou Front (c323) ou Rear (c343). Os outros quatro elementos são os elementos das quinas, e são caracterizados por possuírem um único zero localizado no Down veja a figura 5.14, elementos c243; c443; (c223 e c423).

O fresamento de canal angular, calda de andorinha fêmea (F.C. And.f) é caracterizado por apresentar quatro respostas “não”(quatro zeros) nas posições Up, Down, Left e Right e os outros três campos de identificação com resposta “sim” (um). Note que este processo necessita de mais um campo para ser identificado. Os fresamentos de canais angulares precisam ter o pai (na direção right ou left) que seja filho de up, para poder ser usinado num centro de usinagem CNC de eixo vertical.

O fresamento de canal angular com base trapezoidal (figura 1.8) é caracterizado por apresentar três respostas “não” (três zeros), nas posições “Down”, “Left” e “Right”. O sobre-metal a ser retirado é composto por três entidades (c323, c423 e c523, figura 5.18). Cada uma destas entidades possui quatro pontos em comum com o seu vizinho. Para que as entidades mais a esquerda e mais a direita possa ser usinada é necessário que a entidade central seja retirada anteriormente.

Comparando-se as figuras 5.17 e 5.21 verifica-se que ambos os testes tem como respostas 0000111. O que diferencia um canal “T”, de um canal calda de andorinha fêmea são as entidades geométricas vizinhas ao canal radial. No caso de um canal calda de andorinha fêmea as entidades vizinhas ao canal retangular são definidas por seis pontos e nove arestas, e no caso do canal em “T” as entidades vizinhas ao canal retangular são definidas por oito pontos e nove arestas.

O fresamento de calda de andorinha macho (F.C.And.m) é caracterizado por apresentar duas respostas sim.

TABELA 5.1 – RECONHECIMENTO DAS SUB-OPERAÇÕES DE FRESAMENTO

ENTIDADES GEOMÉTRICAS	UP	DOWN	LEFT	RIGHT	FRONT	REAR	PAI É FILHO DE UP	PAI É FILHO DE DOWN	PAI É FILHO DE LEFT	PAI É FILHO RIGHT	PAI É FILHO FRONT	PAI É FILHO REAR	SETUP	PROCESSO	FIGURA
C112	1	0	1	1	1	1	x	x	x	x	x	x	1º	F.P.T.	5.3
C111	0	1	1	1	1	1	x	x	x	x	x	x	1º	F.P.T.	5.3
C111	1	1	1	0	1	1	x	x	x	x	x	x	1º	F.P.Ta.	5.4
C111	1	1	1	1	0	1	x	x	x	x	x	x	1º	F.P.Ta.	5.4
C211	1	1	0	1	1	1	x	x	x	x	x	x	1º	F.P.Ta.	5.4
C121	1	1	1	1	1	0	x	x	x	x	x	x	1º	F.P.Ta.	5.4
C323	1	0	0	0	1	1	x	x	x	x	x	x	2º	F.C.R.	5.6
C323	1	0	0	1	1	1	x	x	x	x	x	x	1º	F.Cto. ou F.Ch	5.8
C323	1	0	0	1	1	1	x	x	x	x	x	x	1º	F.Cto. ou F.Ch	5.10
C223	1	0	1	0	1	1	x	x	x	x	x	x	1º	F.Cto. ou F.Ch	5.13
C323 C423	0	0	0	0	1	1	1	x	x	x	x	x	2º	F.C.Andf F.C.Tê	5.17
C323 C423 C523	1	0	0	0	1	1	x	x	x	x	x	x	2º	F.C.A.	5.18

TABELA 5.1 – RECONHECIMENTO DAS SUB-OPERAÇÕES DE FRESAMENTO (continuação)

ENTIDADES GEOMÉTRICAS	UP	DOWN	LEFT	RIGHT	FRONT	REAR	PAI É FILHO DE UP	PAI É FILHO DE DOWN	PAI É FILHO DE LEFT	PAI É FILHO RIGHT	PAI É FILHO FRONT	PAI É FILHO REAR	SETUP	PROCESSO	FIGURA
C323 C523	0	0	0	0	1	1	1	x	x	x	x	x	2°	F.C.Tê F.C.Andf	5.21
C323	1	0	1	0	1	1	1	x	1	x	x	x	2°	F.C.Andf	5.22
C523	1	0	0	1	1	1	1	x	x	1	x	x	2°	F.C.Andf	5.22
C112	1	1	0	0	0	0	x	x	x	x	x	x	2°	F.P.	5.23
C112	1	0	0	0	0	0	x	x	x	x	x	x	2°	F.nP.	5.24
C112	1	0	0	0	0	0	x	x	x	x	x	x	2°	F.Ca.	5.26

6. DADOS TECNOLÓGICOS DO SISTEMA E CRITÉRIOS DE ESCOLHA DAS FERRAMENTAS DE CORTE

Conforme foi citado no capítulo quatro, este trabalho foi desenvolvido tomando-se como referência uma central de usinagem vertical CNC da linha Discovery 4022 da Romi. Conseqüentemente os dados tecnológicos necessários para o planejamento do processo, e para geração automática do programa CNC, basearam-se em informações retiradas da própria máquina. Deste modo, a determinação das formas de fixação das peças e “set-up’s”, escolha das ferramentas de corte e suportes de ferramentas, determinação dos parâmetros de Taylor e Kienzle são parte desses dados.

Neste capítulo serão descritos os dados técnicos do centro de usinagem, os critérios de escolha das ferramentas de corte e portas ferramentas, a forma de fixação da peça, e a determinação dos “set-up’s”.

6.1 Características da Central de Usinagem CNC

Os centros de usinagem verticais da linha **Discovery 4022** fabricados pela indústria **Romi S/A**, são máquinas com 21/2 eixos que quando bem utilizadas permitem um significativo aumento de produtividade, o que em geral leva a um aumento de lucro.

Projetados para operar em produção e em ferramentaria, estas máquinas são produzidas em uma das mais modernas e aparelhadas fábricas de máquinas ferramentas do mundo.

A máquina é montada em base monobloco o que proporciona alta rigidez e estabilidade. Sua estrutura robusta propicia melhor acabamento das peças e maior durabilidade das ferramentas de corte. Possui mesa superior e inferior apoiada em guias lineares movidas por fuso de esferas garantindo altas velocidades, excelente precisão de movimentos e posicionamentos dos eixos, com grande área de usinagem e maior flexibilidade. Trocador automático de ferramentas com modo de seleção bidirecional e capacidade para 22 ferramentas. Eixo-árvore de alta precisão, dimensionado para suportar grandes esforços de usinagem e altas velocidades. Estrutura do cabeçote projetada para resistir a grandes esforços e absorver vibrações. Transmissão por correia sincronizada que permite uma alta eficiência para transmissões de potência. Servomotores diretamente acoplados aos fusos de esferas de alta precisão, proporcionando excelentes performances de aceleração, desaceleração e velocidade. Motorização de alta potência e elevado torque. CNC Siemens Sinumerik810D de alto desempenho e confiabilidade. Na figura 6.1 está mostrado o desenho de um centro de usinagem vertical CNC nos moldes do utilizado neste trabalho.

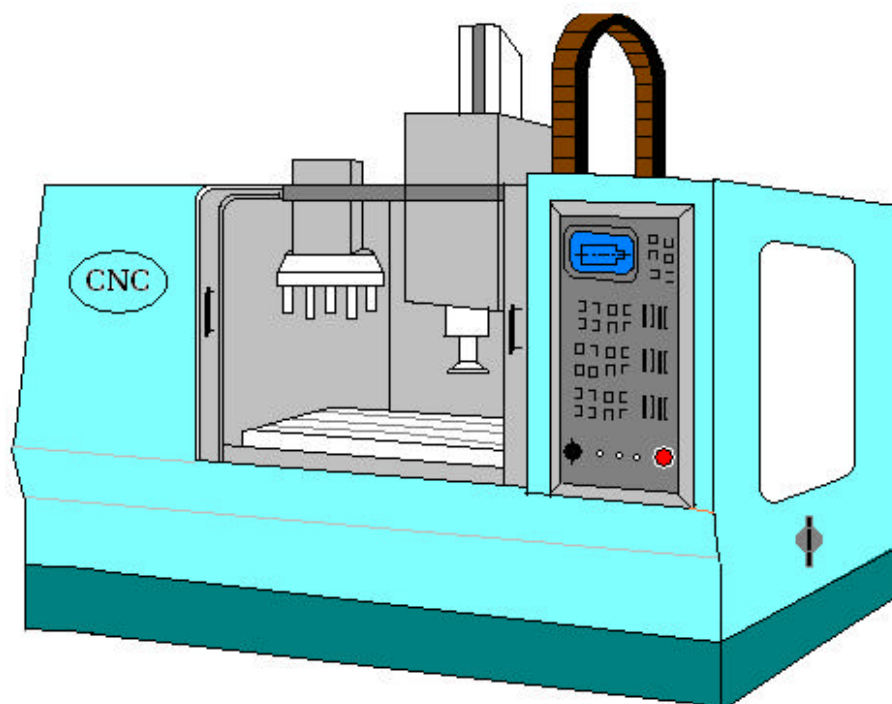


Figura 6.1 – Centro de usinagem vertical CNC

6.2 Especificações Técnicas do Centro de Usinagem Vertical Discovery 4022

A central de usinagem vertical Discovery 4022 tem as seguintes especificações:

Cabeçote vertical

Cone da árvore	ISO	40
Faixa de velocidade (standard)	rpm	6 a 6000

Avanços

Avanço rápido (eixos x/y)	mm/min	25000
Avanço rápido (eixo z)	mm/min	20000
Avanço de corte programável	mm/min	1 a 5000

Curso

Curso longitudinal da mesa (eixo x)	mm	560
Curso transversal da mesa (eixo y)	mm	406
Curso vertical do cabeçote (eixo z)	mm	508
Distância entre nariz da árvore e mesa	mm	110 a 618

d) Dimensões da Mesa

Superfície da mesa	mm	840x360
Largura dos rasgos t x distância	mm	18x12
Número de rasgos t		3
Peso admissível sobre a mesa (uniformemente distribuídos)	kg	350

Trocador automático de ferramentas

Capacidade de ferramentas		22
Diâmetro máximo da ferramenta	mm	80
Diâmetro máximo da ferramenta quando os alojamentos adjacentes estão vazios	mm	160
Comprimento máximo da ferramenta	mm	254
Mandril da ferramenta	MAS	403-BT40
Método de seleção da ferramenta	bidirecional	
Peso máximo da ferramenta	kg	6
Peso máximo admissível no carrossel	kg	68
Tempo de troca ferramenta/ferramenta (no ponto de troca)	s	5.5

e) Potência instalada

Motor principal CA (regime 30 min.)	kw/cv	5.5/7.5
-------------------------------------	-------	---------

A figura 6.2 mostra o gráfico da potência da máquina em função da rotação.

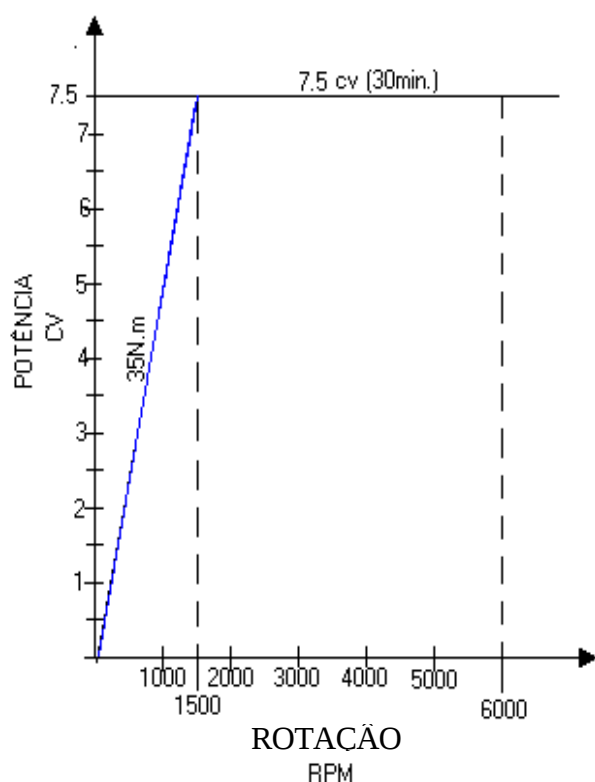


Figura 6.2 - Gráfico da potência da máquina em função das rotações.

A figura 6.3 apresenta o campo de trabalho possível de ser utilizado com o Discovery 4022. Estes dados juntamente com os demais dados técnicos da máquina são importantes para o desenvolvimento dos procedimentos de usinagem, por ser os mesmos, limitadores das dimensões e peso da peça, e dos valores dos parâmetros de corte.

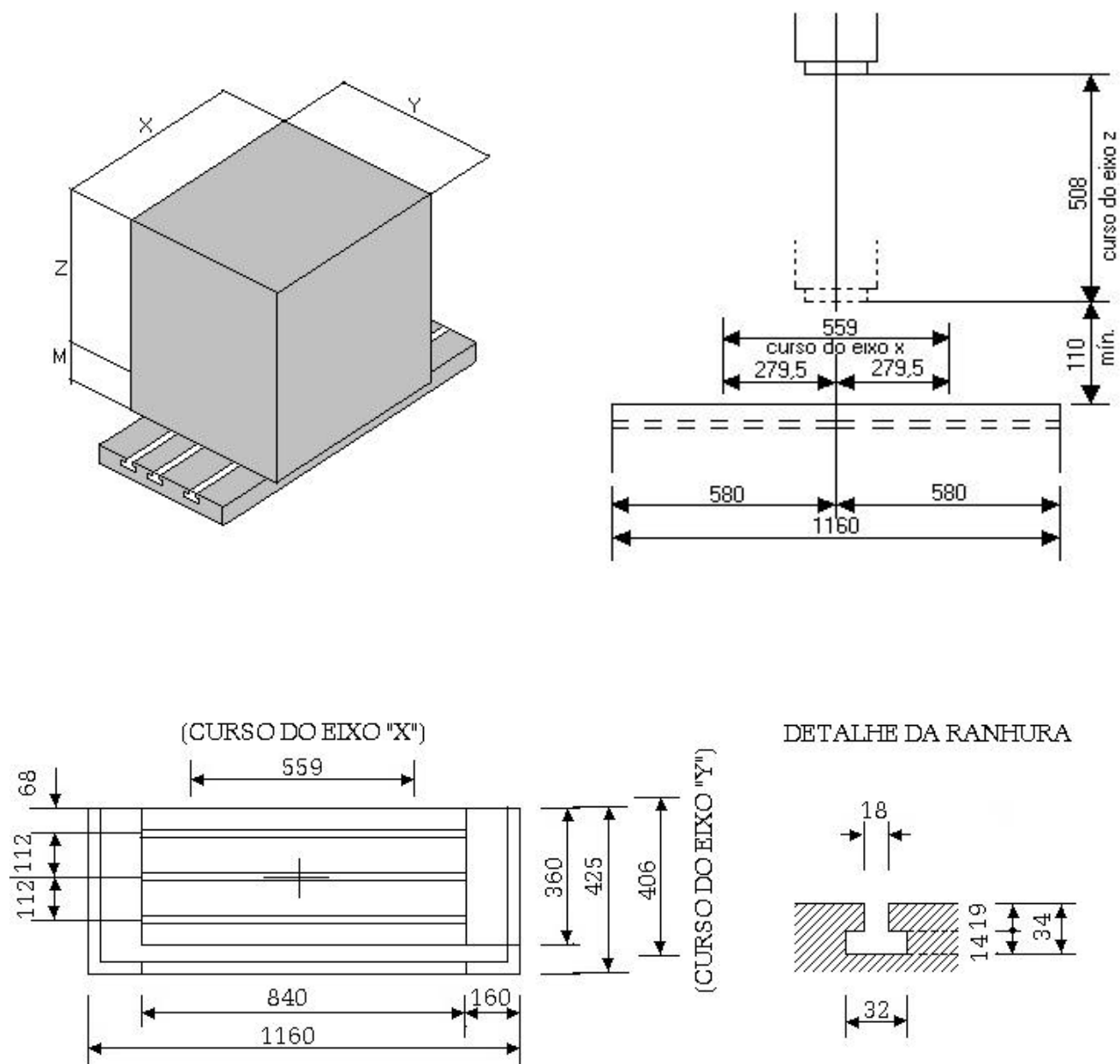


Figura 6.3 – Layout de trabalho

6.3 Fixação das Peças nos Centros de Usinagem

A fixação das peças nos centros de usinagem verticais quando possível deve ser feita de modo que se possa ter sempre três faces livres em condições de serem usinadas (ver exemplo nas figuras 6.3 e 6.4). Com isto pode-se diminuir o número de “set-up’s” pois poderemos fazer fresamento frontal e tangencial, usinando três faces em cada “set-up” para o caso de peças com formato paralelepípedo.

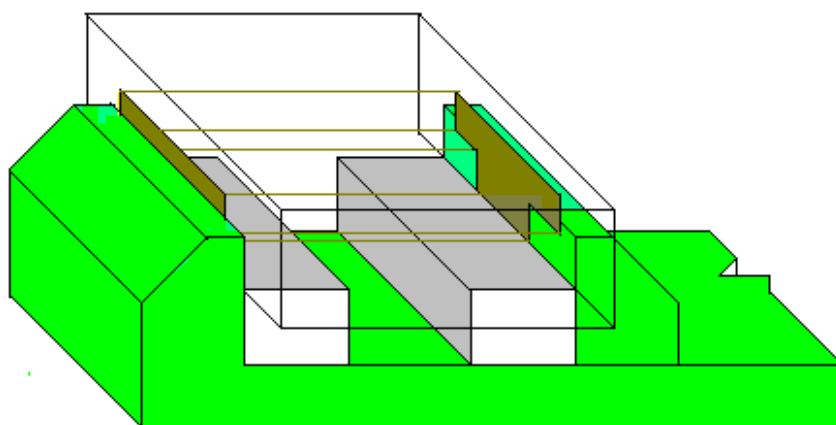


Figura 6.4 – Fixação da peça bruta na morsa, apoiada em calços retificados, com o rasgo T voltado para baixo, fixação para o primeira “set-up”.

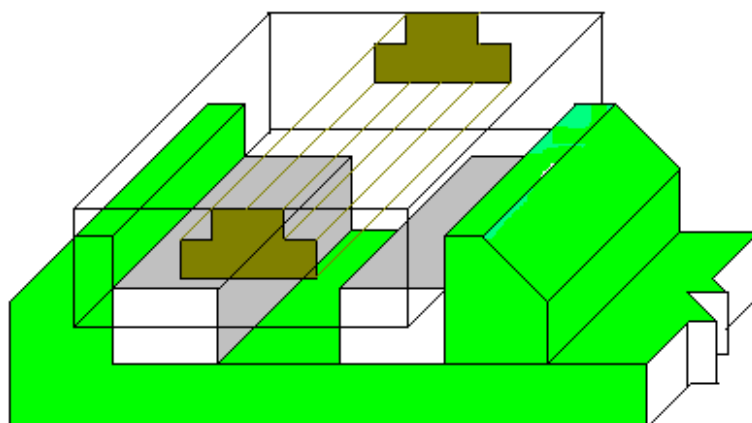


Figura 6.5 – Fixação da peça bruta na morsa, apoiado em calços retificados, com o rasgo T voltado para cima, fixação para o segundo “set-up” .

6.4 Critérios Gerais Para Seleção das Ferramentas de Corte

Através da pesquisa para o desenvolvimento de novas geometrias para as ferramentas de corte de fresamento, melhorou-se consideravelmente a performance das mesmas, proporcionando operações mais confiáveis, eficazes, com menor ruído melhor fluxo de cavacos e menor diferença entre a geometria de projeto da peça, e a geometria real da peça, aquela gerada no processo de usinagem. A maioria das pastilhas intercambiáveis mais recentes são dotadas de três geometrias básicas. São geometrias para operações pesadas, operações médias e operações leves.

Pastilhas com geometria indicada para corte leve; são caracterizadas por possuírem aresta de corte viva, ângulo de saída positivo e ângulo da ponta pequeno. Estas operam com performance de corte suave, em baixas faixas de avanço, em máquinas com baixa potência de corte e exigência de pequenas forças de corte.

Pastilhas com geometria de uso geral; caracteriza-se por possuírem geometria positiva para produção mista, e faixa de médio avanço. Por ser indicada para uso mais geral, sempre que possível esta terá preferência na escolha.

Pastilhas com geometria tenaz; recomendadas para as mais altas exigências de segurança, e altas faixas de avanço, com geometria negativa, estas geram altas potências e forças de corte, sendo usadas em operações de desbastes.

6.5 Seleção do Passo da Fresa

As fresas em relação ao passo são classificadas como fresas de passo largo, fino e extra fino.

As fresas de passo largo caracterizam-se pelos seguintes dados: Baixa estabilidade de operações, número reduzido de pastilhas e melhor produtividade se a estabilidade ou a potência forem limitadas como no caso de máquinas pequenas.

As fresas de passo fino são indicadas para operações de média estabilidade, e para fresamento geral e produção mista.

As fresas de passo extra fino são caracterizadas por possuírem; alta estabilidade de operação, número máximo de pastilha para melhor produtividade sob condições estáveis, sendo indicadas para materiais de cavacos curtos e materiais resistentes ao calor.

6.6 Seleção do Diâmetro da Fresa e da Posição em Relação à Peça.

A seleção do diâmetro da fresa é, via de regra, realizada com base no tamanho da peça; mais especificamente na largura. Entretanto frequentemente há um primeiro fator a ser considerado no processo de seleção. A avaliação da exigência de potência contra o quanto de potência está disponível na máquina. Mas os seguintes fatores também são muito importantes para que a operação ocorra de modo satisfatório:

- a) Posição da fresa em relação à peça.
- b) Tipo de contato do dente com a peça.

O melhor tamanho da fresa para operações de faceamento com a ferramenta centralizada é aquele em que o diâmetro da fresa for de 20 a 50% maior que a largura de fresamento.

A melhor posição para operações não centralizadas é a em que a área de fresamento for no máximo igual a 40% do diâmetro da fresa.

O melhor método para uma maior vida útil da ferramenta é o fresamento concordante Ver as figuras 6.5 a; 6.5 b; 6.5 c.

Fresamento frontal ou de topo – os dentes ativos estão na superfície frontal da ferramenta, cujo eixo é perpendicular à superfície a ser usinada. As ferramentas usadas no fresamento frontal são chamadas fresas frontais ou de topo.

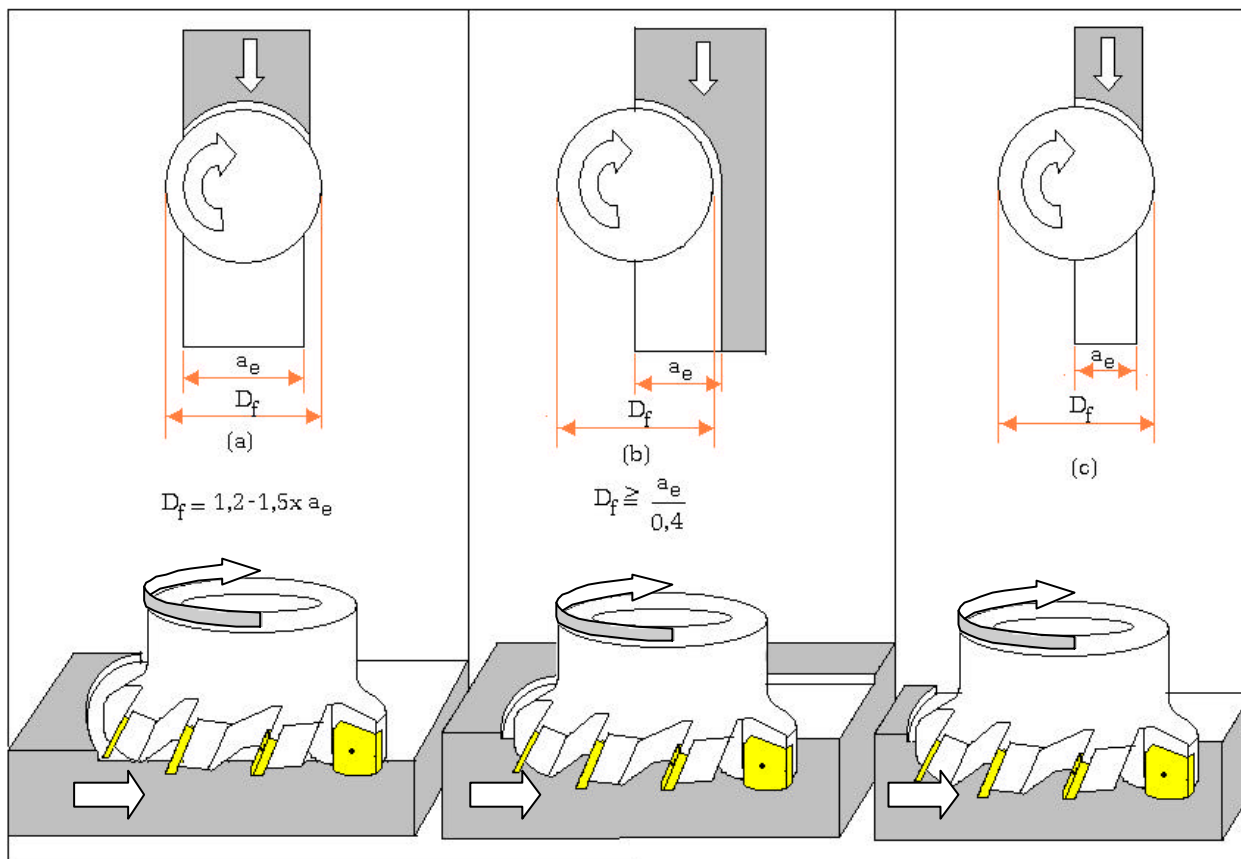


Figura 6.5 – Posições da fresa em relação à peça no fresamento frontal

Fresamento tangencial ou periférico – os dentes ativos encontram-se na periferia (superfície cilíndrica) da ferramenta, e o eixo da ferramenta é paralelo à superfície a ser usinada. As ferramentas usadas no fresamento tangencial são chamadas fresas cilíndricas ou tangenciais (ver a figura 6.6).

6.7 Seleção do Ângulo de Posição.

O ângulo de posição de uma fresa é o ângulo formado pelo plano de corte que contém a aresta principal (caso ela seja reta) da pastilha e o plano de trabalho, que é perpendicular ao eixo de rotação da fresa. A espessura dos cavacos, forças de corte e vida útil são afetadas pelo ângulo de posição (figura 6.7). O aumento do ângulo de posição diminui a espessura dos cavacos em qualquer faixa de avanço fornecida. O processo de afinamento dos cavacos ocorre quando se espalha a mesma quantidade de material sobre um maior comprimento da aresta de corte da pastilha. Permite também que a aresta de corte entre e saia gradualmente da superfície da peça.

Isso ajuda a reduzir a pressão radial, protege a aresta de corte da pastilha e diminui a possibilidade de quebra.

Por outro lado a pressão axial aumenta, podendo causar deflexão na superfície usinada, em peças com seção transversal fina. Fresas com ângulo de posição de 90° devem ser aplicadas em peças de paredes finas, em peças com fixação insatisfatória e onde for necessário ângulo de 90° .

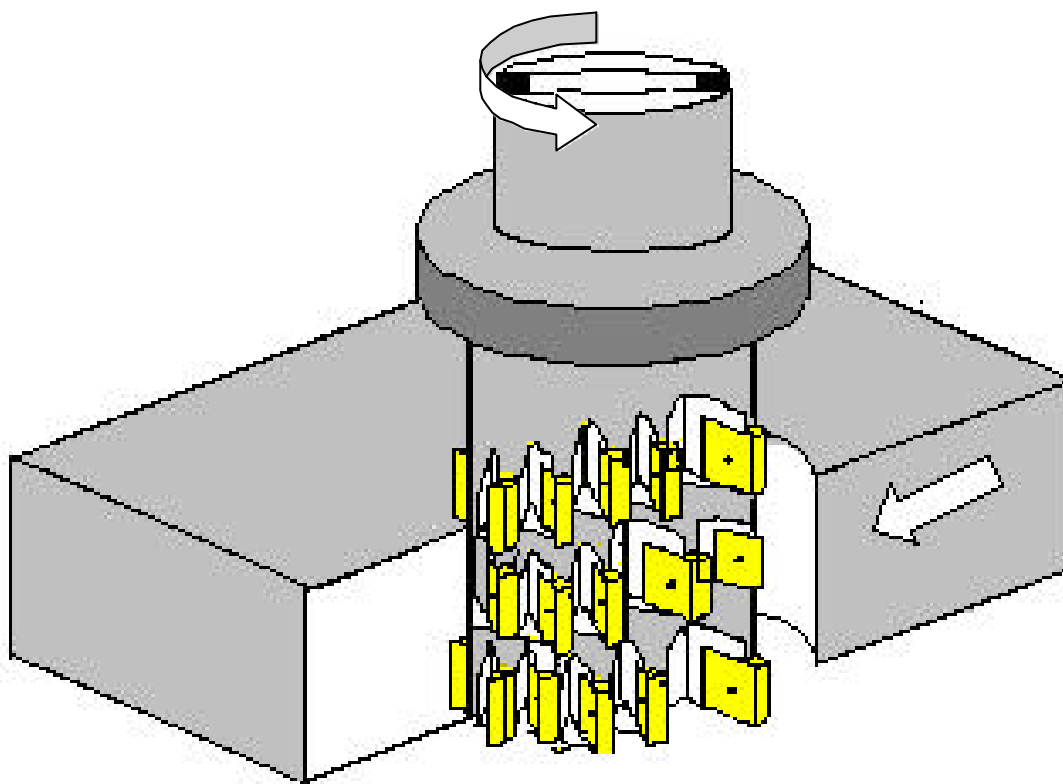


Figura 6.6 – Fresamento tangencial

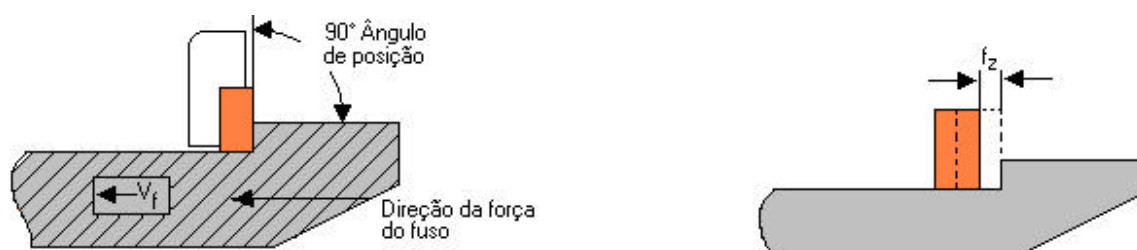


Figura 6.7 (a) - Efeito do ângulo de posição nas forças de corte e na espessura dos cavacos.

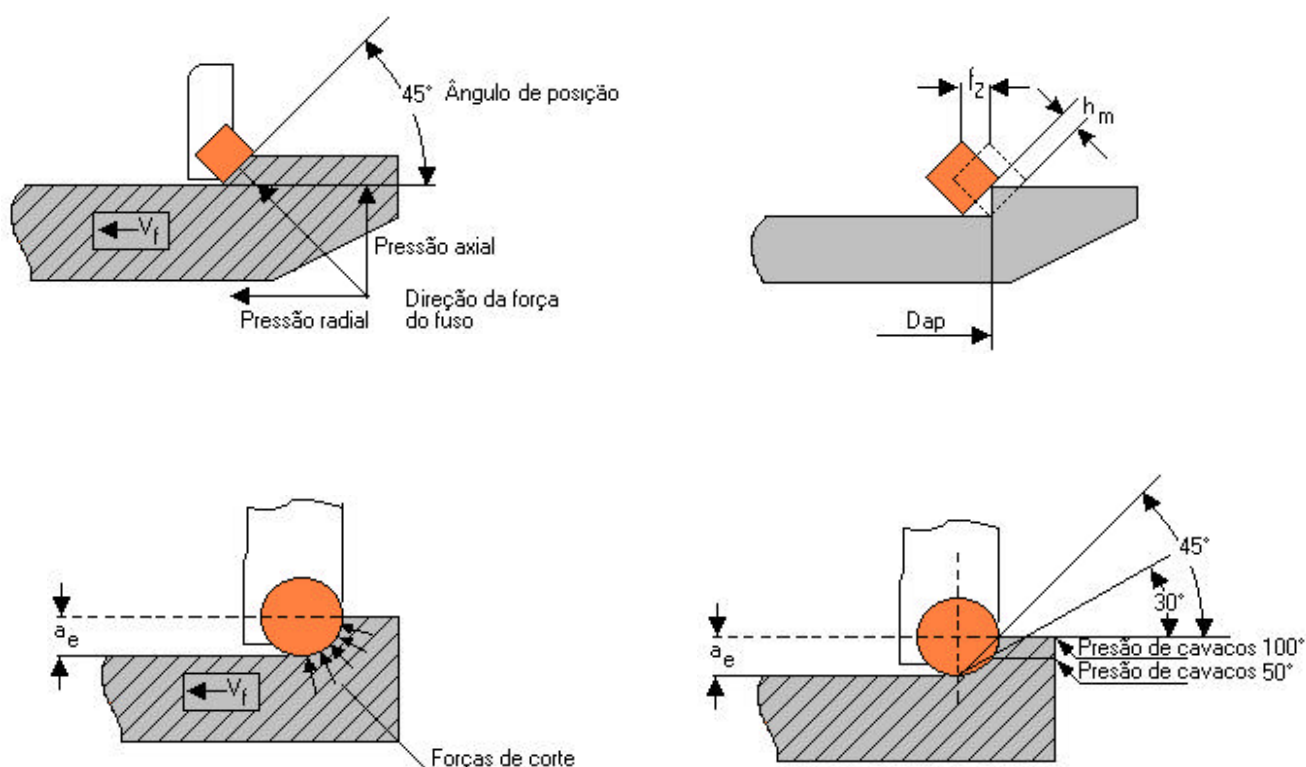


Figura 6.7 (b), (c) - Efeitos do ângulo de posição nas forças de corte e na espessura dos cavacos

As fresas com ângulo de posição de 45° são fresas que podem ser selecionadas para uso geral, que tem capacidade de reduzir vibrações em longos balanços, e em que o efeito de afinamento dos cavacos permite um aumento da produtividade.

As fresas com pastilhas redondas podem ser selecionadas como de uso geral. Caracterizam-se por possuírem uma aresta de corte mais robusta. A pressão dos cavacos e o ângulo de posição variam conforme a profundidade de corte.

6.8 Exigência do Acabamento Superficial

O acabamento superficial é melhor descrito pelos seus valores de rugosidade e ondulação. Para que seja possível obter-se um bom acabamento superficial deve-se usar pastilhas sem quebra-cavacos conhecidas como pastilhas alisadoras. Estas pastilhas possuem uma geometria peculiar, mostradas nas figuras 6.8 e 6.9. As pastilhas alisadoras são colocadas no cabeçote porta-insertos junto com as demais pastilhas de desbaste, porém elas possuem uma saliência mais baixa que as outras pastilhas de aproximadamente 0.05 mm. A face alisadora é saliente para proporcionar uma superfície lisa bem acabada, concomitante com a operação de desbaste. O avanço por rotação deve ser limitado a 60% da parte plana da pastilha. Deve-se tomar um especial cuidado na montagem destas pastilhas, pois a razão mais comum para um resultado insatisfatório com uma pastilha alisadora é sua montagem incorreta.

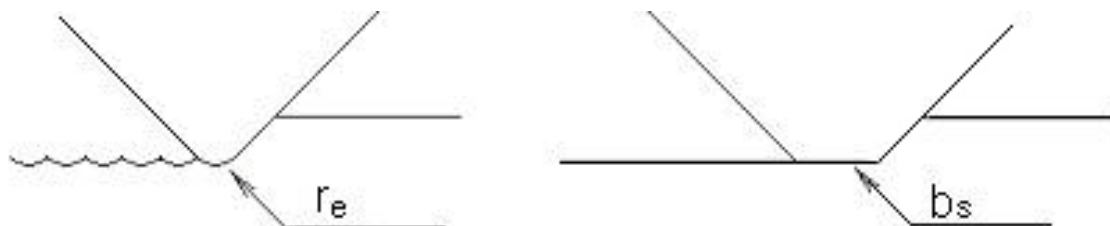


Figura 6.8 – Comparação entre o raio de uma pastilha normal e uma com aresta plana para acabamento.

Acabamento Superficial no Fresamento de Topo.

No fresamento de topo fatores como o impacto radial que a ferramenta sofre ao entrar na peça bem como a fixação desta também tem influencia no acabamento superficial. Cuidados na montagem das pastilhas no cabeçote porta insertos, balanceamento da ferramenta, posicionamento correto da ferramenta em relação à peça são fatores que não podem deixar de ser considerados. Uma mudança de fresamento concordante para discordante pode melhorar o acabamento superficial em alguns materiais, o mesmo se aplicando para o uso de refrigerantes, especialmente no acabamento de materiais pastosos. Para operações de acabamento, a profundidade radial de corte deve ser mantida baixa. Isso tem um efeito importante na deflexão da peça.

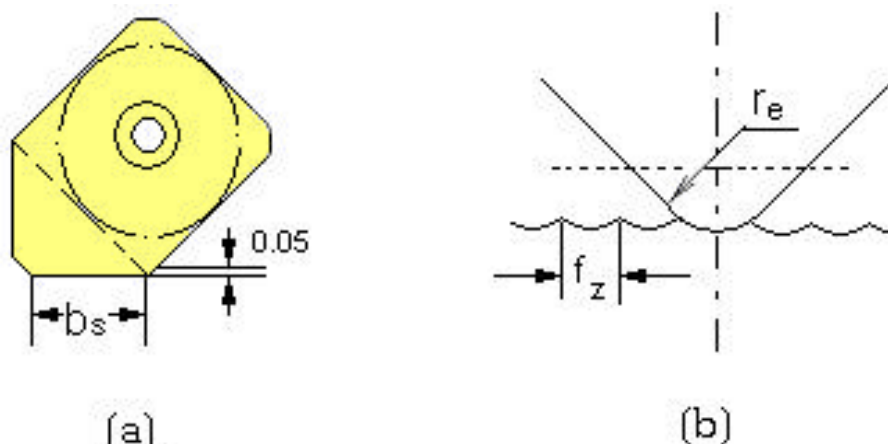


Figura 6.9 – (a) Pastilha alisadora para acabamento, (b) Pastilha de raio normal.

Para por em prática o que foi mencionado anteriormente sobre as condições de usinagem, vamos exemplificar como pode-se escolher as ferramentas para uma peça a ser usinada. A figura 6.10 mostra o desenho da peça com os dados geométrico e suas características:

Material da peça: aço ABNT 1030

Resistência/Dureza: 52 Kgf/mm²

Além de, obter-se os dados geométrico e característicos da peça, é necessário fazer a escolha adequada da ferramenta de corte (fresa). Sendo esta fornecida pelo catálogo da SANDVIK.

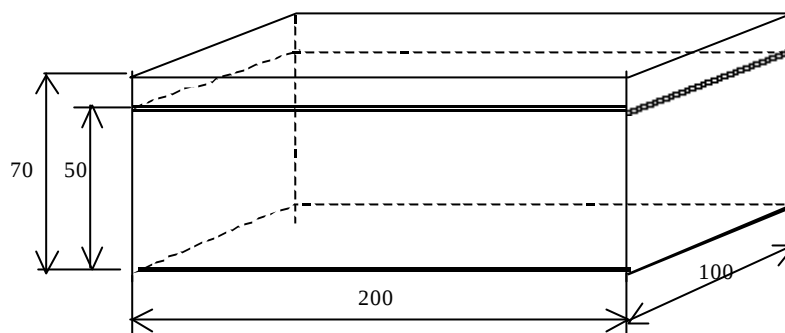


Figura 6.10 – Desenho da peça exemplo

A fresa escolhida foi a de referência: R245 – 050Q22 – 12L veja figura 6.11, constituída dos seguintes materiais: aços, aços inox, fofo, alumínio, ligas de cobre e ligas de titânio.

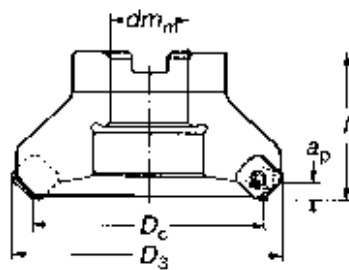


Figura 6.11 – Desenho esquemático da fresa escolhida.

Dados técnicos:

$D_c(\varnothing) = 50 \text{ mm};$

$Z = 3;$

$h_{\text{máx}} = 6 \text{ mm};$

$L \text{ (comprimento de programação)} = 40 \text{ mm};$

$\div_r = 45^\circ.$

Para a usinagem da peça também foi escolhida uma pastilha de geometria leve de referência: R245-12 T3 E-ML. Que são empregadas em usinagens com forças de corte mais baixas, para materiais exigindo arestas de corte mais vivas, com pastilhas com retífica de precisão, condições instáveis e máquinas de potência limitada com cone ISO 40.

A pastilha selecionada possui as seguintes características técnicas, veja a figura 6.12:

$I = iC = 13,4 \text{ mm};$

$s = 3,97 \text{ mm};$

$b_s = 2,4 \text{ mm};$

$I_a = 9,7 \text{ mm};$

$r_{\tilde{a}} = 1,5 \text{ mm}.$

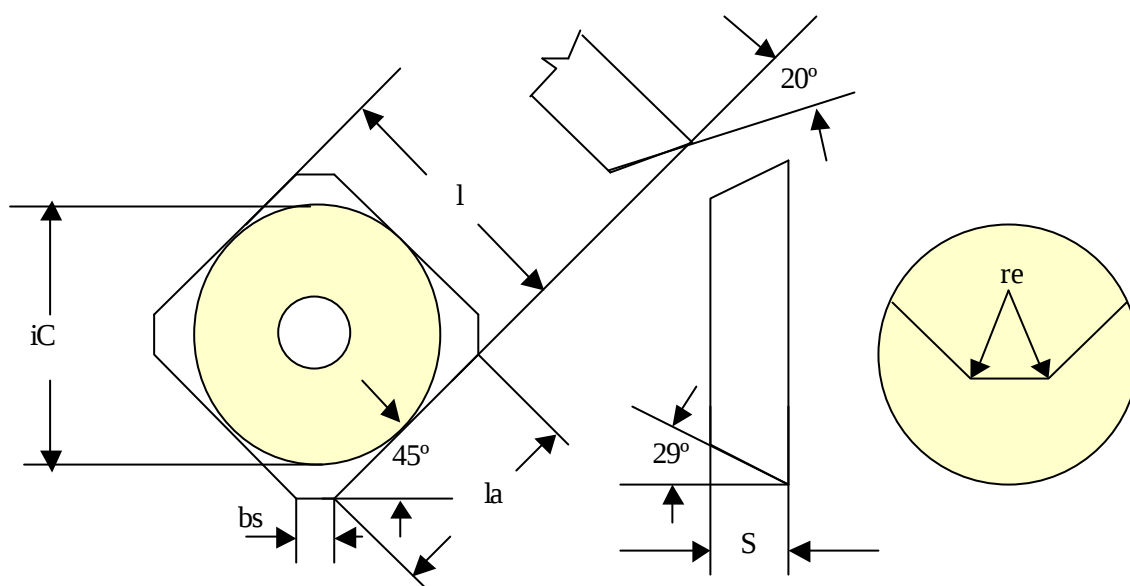


Figura 6.12 – Desenho esquemático da geometria da pastilha escolhida.

Na figura 6.13 temos um conjunto das principais ferramentas que podem ser usadas para a usinagem das peças apresentadas neste trabalho no capítulo 5. Entre elas nós temos as ferramentas de uso mais geral como as de número 6 a 12, e as de uso mais específicos como as de 1 a 5. A figura 5.1 do capítulo anterior mostra a aplicação destas ferramentas de acordo com as peças a serem usinadas.

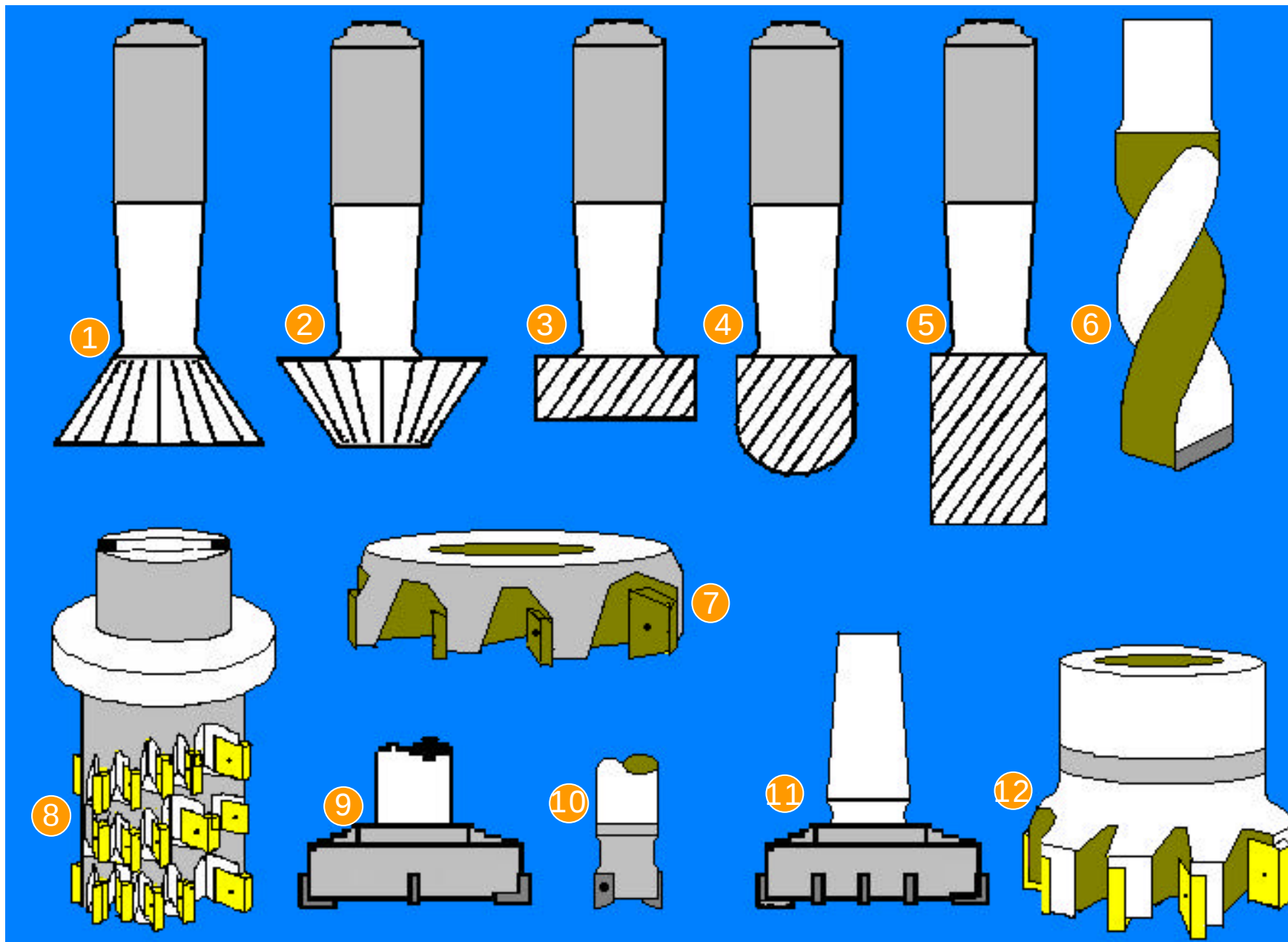


Figura 6.13 – Ferramentas para usinagem das peças apresentadas neste trabalho

7. PARÂMETROS DE CORTE NAS OPERAÇÕES DE FRESAMENTO

No capítulo anterior foram definidos os critérios gerais para a escolha das ferramentas de corte e portas ferramentas. Porém faz-se necessário que no planejamento da usinagem assistido por computador, chame-se atenção para as considerações que devam ser levadas em conta, para que se tenha uma operação com produtividade otimizada. Estudos realizados por fabricantes de ferramentas de corte mostram que somente 3% do total do custo de produção deve-se a ferramenta de corte. Um aumento de 50% na vida útil da ferramenta reduz o custo total por peça de 1%. Já um aumento de 20% nos dados de corte reduz o custo total de 15%. Estas referências mostram a importância da determinação dos dados de corte otimizados. As condições ótimas de usinagem serão obtidas através dos parâmetros da fórmula de Taylor expandida para o cálculo da vida útil das ferramentas e dos parâmetros da fórmula de Kienzle, para o cálculo da potência de corte. A determinação das operações a serem realizadas e do material que deverá fazer parte da fabricação da peça bem como as ferramentas e portas ferramentas a serem usados são dados de entradas para a determinação desses parâmetros. Os dados de saída deverão ser os parâmetros K_{s1} e $(1-z)$ da fórmula de Kienzle e os parâmetros K e $\underline{x}$ da fórmula de Taylor para determinação das condições ótimas de corte.

Neste capítulo serão definidos os parâmetros de corte nas operações de fresamento frontal e tangencial, visando o armazenamento das fórmulas desses parâmetros em um banco de dados para o cálculo automático deles, objetivando a geração automática do programa de CN. Estes parâmetros são os seguintes:

Pc- profundidade de corte
 f - avanço
 Ks - pressão específica de corte
 Fc- força de corte
 S - área de corte
 Vc - velocidade de corte
 Nc - potência de corte
 Rugosidade

Inicialmente definiremos as terminologias e as unidades gerais para as operações de fresamento, para posteriormente analisar cada parâmetro isoladamente.

7.1 Terminologia e Unidades nas Operações de Fresamento

As terminologias e as unidades usadas nas operações de fresamento neste trabalho são as seguintes:

D = Diâmetro da ferramenta de corte	mm	h max = Espessura máxima de cavacos	mm
L = Comprimento usinado	mm	hm = Espessura média decavacos	mm
D max = Diâmetro de corte máximo com uma profundidade específica	mm	zc = Número efetivo de dentes	unid
Pc = Profundidade de corte	mm	ksi = Pressão específica de corte (para hmax. = 1 mm)	N/mm ²
ae = Largura fresada	mm	n _{fu} = Rotação do fuso	r/min
Vc = Velocidade de corte	m/min	Nc = Potência líquida de corte	kw
Tc = Tempo de corte	min	ζ _{mt} = Rendimento	%
z _n = Número total de arestas das ferramentas	unid.	Q = Taxa de remoção do metal	cm ³ /min

f_z	= Avanço por dente	mm/zc
f_n	= Avanço por rotação	mm/rot
v_f	= Avanço da mesa	mm/min

7.2 Formulas Gerais a Serem Usadas no Planejamento das Operações de Fresamento

$$\text{Velocidade de corte} \quad V_c = \frac{\pi \times D \times n}{1000} \quad (7.1)$$

(m/min)

$$\text{Rotação da ferramenta} \quad n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D} \quad (7.2)$$

(rpm)

$$\text{Avanço da mesa} \quad v_f = f_z \times n_{fu} \times Z_n \quad (7.3)$$

(mm/min)

$$\text{Avanço por rotação} \quad f_n = \frac{v_f}{n_{fu} \times Z_n} \quad (7.4)$$

(mm/rot)

$$\text{Avanço por dente} \quad f_z = \frac{v_f}{n_{fu}} \quad (7.5)$$

(mm/dente)

$$\text{Taxa de remoção} \quad Q = \frac{P_c \times a_e \times v_f}{1000} \quad (7.6)$$

(cm³/min)

$$\text{Pressão específica Kienzle} \quad k_c = k_{c1} \times h_m^{-m_c} \quad (7.7)$$

(N/mm²)

$$\text{Espessura média de cavacos} \quad h_m = f_z \sqrt{\frac{a_e}{D_c}} \quad (7.8)$$

(mm) para $a_e/D_c \leq 0.1$

$$\text{Espessura média de cavacos} \quad h_m = \frac{\sin k_r \times 180 \times a_e \times f_z}{\pi \times D_c \times \arcsin(\frac{a_e}{D_c})} \quad (7.9)$$

(mm) para $a_e/D_c \geq 0.1$

$$\text{Tempo de corte} \quad T_c = \frac{l_m}{v_f} \quad (7.10)$$

(min.)

$$\text{Potência líquida de corte} \quad N_c = \frac{a_e \times P_c \times v_f \times k_c}{60 \times 10^6 \times \eta} \quad (7.11)$$

(Kw)

7.3 Cálculo da Velocidade de Corte na Operação de Fresamento

No cálculo da velocidade de corte para compor os parâmetros de usinagem para a geração automática do programa do CNC adotou-se como procedimento, a determinação da velocidade para a máxima produção. Deste modo nós teremos os menores tempos de usinagem.

A velocidade de máxima produção é dada pela expressão:

$$V_{c \max} = \sqrt{\frac{K}{(x-1)t_{ft}}} \quad (7.12)$$

Onde

K - constante da formula de Taylor para o cálculo da vida útil da ferramenta de corte.

x - coeficiente da equação de Taylor

t_{ft} - tempo de troca da ferramenta.

Para o cálculo do fator k devemos ter um banco de dados onde tenha-se diversos valores de vida útil das ferramentas usuais ensaiadas para valores previamente escolhidos de velocidade de corte, para os diversos materiais usados com maior frequência.

A determinação do coeficiente x pode ser feita pela seguinte equação:

$$x = \frac{\log \left(\frac{T_1}{T_2} \right)}{\log \left(\frac{V_{c2}}{V_{c1}} \right)} \quad (7.13)$$

T_1 – Vida útil da ferramenta para V_{c1}

T_2 – Vida útil da ferramenta para V_{c2}

De posse deste coeficiente x pode-se agora determinar a constante K para a fórmula de Taylor.

$$T = \frac{K}{V_c^x} \Rightarrow K = T V_c^x \quad (7.14)$$

Conhecendo-se a constante K e o coeficiente x, só resta agora conhecer o tempo de troca da ferramenta t_{ft} , que corresponde ao tempo de remoção da ferramenta e o tempo para o ajuste e colocação da nova ferramenta.

Após o cálculo da velocidade de corte para a máxima produção, calcula-se a rotação da fresa pela expressão.

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D} \quad (7.15)$$

Sendo D o diâmetro da fresa.

7.4 Determinação da Profundidade de Corte e Avanço no Fresamento de Topo.

A determinação da profundidade de corte tem como restrição a potência disponível na árvore da máquina.

$$N_c = N_m \cdot \zeta \quad (7.16)$$

N_c – potência de corte

N_m – potência da máquina

ζ – rendimento da máquina

Temos então

$$N_c = \frac{F_c \times V_c}{60 \times 75} \quad (CV) \quad (7.17)$$

V_c = Velocidade de corte

F_c = Força de corte na secção média do cavaco.

Esta força de corte é dada pela expressão.

$$F_c = K_s \cdot h \cdot b \quad (7.18)$$

K_s – pressão específica de corte

h – espessura média do cavaco

b – largura da superfície usinada

$$K_s = \frac{K_{s1}}{h_m^z} \quad (7.19)$$

K_{s1} = pressão específica de corte para uma seção média de cavaco de altura h_m (ver as figuras 7.1 e 7.2)

$$F_c = \frac{K_{s1} h b}{h^z} = K_{s1} h^{1-z} b \quad (7.20)$$

Como

$$b = \frac{fz}{\text{Sen } \chi} \quad (7.21)$$

h_m = espessura média do cavaco

χ = ângulo da posição

fz = avanço por dente da fresa

b = espessura do cavaco

P_c = profundidade de corte

K_{s1} = pressão específica de corte média

A determinação de uma pressão específica de corte média deve-se ao fato de que no fresamento a força de corte varia constantemente. Em consequência há uma variação também da potencia de corte. O dimensionamento de uma potência média, com base na determinação de uma seção média de cavaco e de uma pressão específica média pode ser aplicada para a grande maioria dos casos de fresamento.

Temos então,

$$h_m = fz \cdot \text{Sen } \chi \cdot \text{Sen } \psi \quad (7.22)$$

$$F_c = K_{s1} (fz \cdot \text{Sen } \chi \cdot \text{Sen } \psi)^{1-z} \quad (7.23)$$

Substituindo esta expressão na fórmula da potência de corte, teremos:

$$N_c = \frac{K_{s1} (fz \cdot \text{Sen } \chi \cdot \text{Sen } \psi)^{1-z} p_c \cdot V_c}{60 \times 75 \times \text{Sen } \chi} \quad N_m \cdot \zeta \quad (7.24)$$

Colocando a expressão em função de p temos,

$$P_c = \frac{N_m \cdot \zeta \cdot 60 \cdot 75 \cdot \text{Sen } \chi}{K_{s1} (f_z \cdot \text{Sen } \chi \cdot \text{Sen } \psi)^{1-z}} \quad (7.25)$$

V_c – velocidade de corte para a máxima produção

O avanço terá como limitação o acabamento superficial.

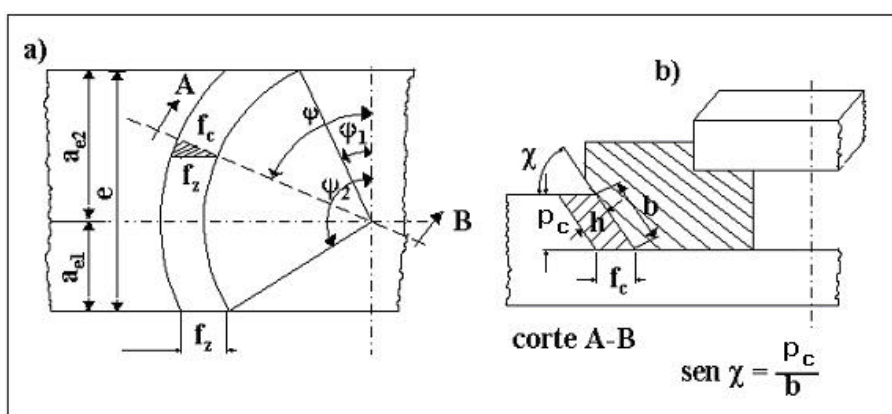


Figura 7.1 – Dados para fresamento de topo (Fonte: Amorim 2003)

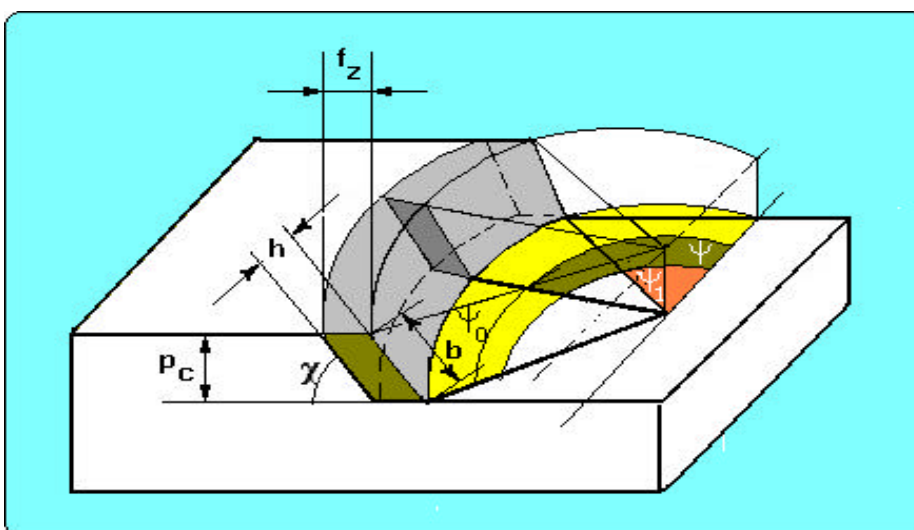


Figura 7.2 – Dados para o fresamento de topo

7.5 Determinação da Máxima Profundidade de Corte Para o Fresamento Cilíndrico Tangencial.

De acordo com a figura 7.3 tem-se:

$$h = f_z \text{ Sen } \psi_o \quad (7.26)$$

$h_{\max}$ = espessura máxima do cavaco no ponto de entrada da fresa

h = espessura do cavaco no ponto de altura média.

f_z = avanço por dente

ψ_o = ângulo de contato do dente, ou seja, ângulo central formado pelos raios que ligam o centro da fresa com os pontos onde o dente penetra e sai do material em usinagem.

ψ = ângulo central formado pelos raios que ligam o centro da fresa ao ponto de altura média e o ponto onde a altura é zero.

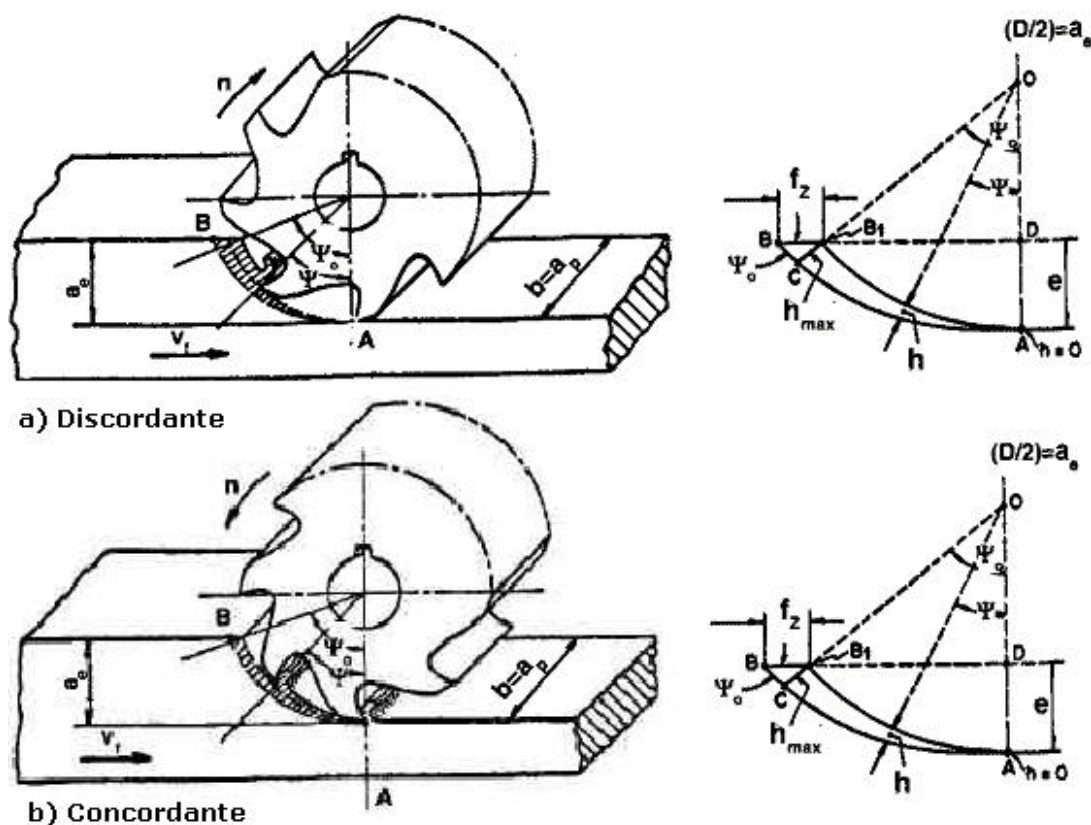


Figura 7.3 – Fresamento tangencial discordante (a) e concordante (b) (Fonte: Amorim 2003)

$$f_n = \frac{V_f}{n_{fu} \cdot z_n} \quad (7.27)$$

V_f = velocidade de avanço da mesa da máquina

z_n = número de dentes da fresa

Pela fórmula de Kienzle como já vimos

$$F_c = K_s \cdot b \cdot h \quad (7.28)$$

F_c = força de corte

K_s = pressão específica de corte

h = espessura média do cavaco

b = largura da superfície fresada ou seja largura do cavaco

$b \times h$ = seção média do cavaco onde perpendicularmente atua a força de corte

$K_s = K_{s1} \cdot h^{-z}$ substituindo na força de corte teremos

$$F_c = K_{s1} \cdot h^{-z} b \cdot h = K_{s1} \cdot b \cdot h^{1-z} \quad (7.29)$$

$$F_c = K_{s1} \cdot b \left(\frac{V_f}{n_{fu} \cdot z_n} \cdot \text{Sen } \psi_0 \right)^{1-z} \quad (7.30)$$

Para h_m teremos

$$\psi_m \cong \frac{1}{2} \psi_0 \quad K_m = K_s \quad (7.31)$$

Potência de corte no fresamento

$$N_c = \frac{F_c \times V_c}{60 \times 75} \quad (7.32)$$

Na seção média do cavaco teremos (ver a figura 7.3)

$$K_m = \frac{F_c}{S_c} = \frac{F_c}{b \cdot e} \quad (7.33)$$

$$M_c = \frac{K_m \cdot b \cdot e \cdot v_f}{60 \cdot 75 \cdot 1000} = 2,22 \cdot 10^{-7} \cdot K_m \cdot b \cdot e \cdot v_f \quad (7.34)$$

$$N_c = 2,22 \cdot 10^{-7} K_m \cdot b \cdot e \cdot v_f \quad (\text{c.v.}) \quad (7.35)$$

A determinação da pressão específica de corte média K_m é feita na tabela VI da página 45 do Ferraresi volume II e no gráfico da figura 5.2 em função de h_m .

$$h = f_z \times \sin \psi$$

$$\text{Para } h_m \text{ o } \psi \cong \frac{\psi_0}{2} \quad (7.36)$$

$$h_m = f_z \frac{\sin \psi_0}{2} = \frac{v_f}{n_{fa} \cdot z_n} \frac{\sin \psi_0}{2} \quad (7.37)$$

$$h_m = \frac{v_f}{n_{fa} \cdot z_n} \sqrt{\frac{1 - \cos \psi_0}{2}} \quad (7.38)$$

$$h_m = \frac{v_f}{n_{fa} \cdot z_n} \sqrt{\frac{e}{D}} \quad (7.39)$$

Com a determinação de h_m pode-se obter K_m

$$N_m \cdot \eta \geq 2,22 \times 10^{-7} K_m \cdot b \cdot e \cdot v_f \quad (7.40)$$

$$b \cdot e \leq \frac{N_m \cdot \eta}{2,22 \times 10^{-7} K_m \cdot v_f} \quad (7.41)$$

7.6 Determinação da Profundidade de Corte e do Avanço no Fresamento Tangencial com Fresa Helicoidal.

No fresamento tangencial a força de corte a partir da equação de Kienzle é dada por:

$$F_c = K_{s1} \cdot b \cdot h^{1-z} \quad (7.42)$$

F_c = força de corte

K_1 = pressão específica de corte

b = largura de corte

h = espessura do cavaco

$1 - z$ = expoente da fórmula de Kienzle

$$b = \frac{pc}{\cos \lambda} \quad (7.43)$$

pc = profundidade de corte (ver a figura 7.4)

λ = ângulo da hélice da fresa (rad)

O cálculo do h_m para fresamento tangencial de dentes helicoidal é dado por:

$$h_m = \frac{360}{\pi \psi_o} \cdot \frac{e}{D} \cdot fz \cdot \sin(90 - \lambda) \quad (7.44)$$

A pressão específica de corte k_m é função da espessura média do cavaco h_m . A pressão específica de Kienzle é determinada experimentalmente segundo Ferraresi, ou retirada de tabelas de usinagem, e neste caso terá um valor aproximado (ver.Ferraresi 2 pagina 44).

$$F_{cm} = K_m \cdot b \cdot h_m^{1-z} \quad (7.45)$$

A potência de corte N_c é dada por

$$N_c = \frac{F_{cm} \cdot V_c \cdot Z_e}{60 \times 10} \quad (7.46)$$

F_{cm} = Força de corte média para o fresamento tangencial

V_c = Velocidade de corte

z_c = N° de arestas de corte efetivamente atuante.

z = N° de arestas de corte da fresa

ψ_o = Ângulo de ataque em graus

Como

$$b = \frac{p}{\cos \lambda} \quad (7.47)$$

$$F_{cm} = K_m \frac{p c}{\cos \lambda} h_m^{1-z} \quad (7.48)$$

Substituindo este valor na potência de corte

temos:

$$N_c = \frac{K_m \cdot P_c \cdot h_m^{1-z} V_c \cdot z c}{60 \times 10^3 \times \cos \lambda} \leq N_m \cdot \eta \quad (7.49)$$

$$P_c \leq \frac{N_m \cdot \eta \times 60 \times 10^3 \times \cos \lambda}{K_m \cdot P_c \cdot h_m^{1-z} V_c \cdot z c} \quad (7.50)$$

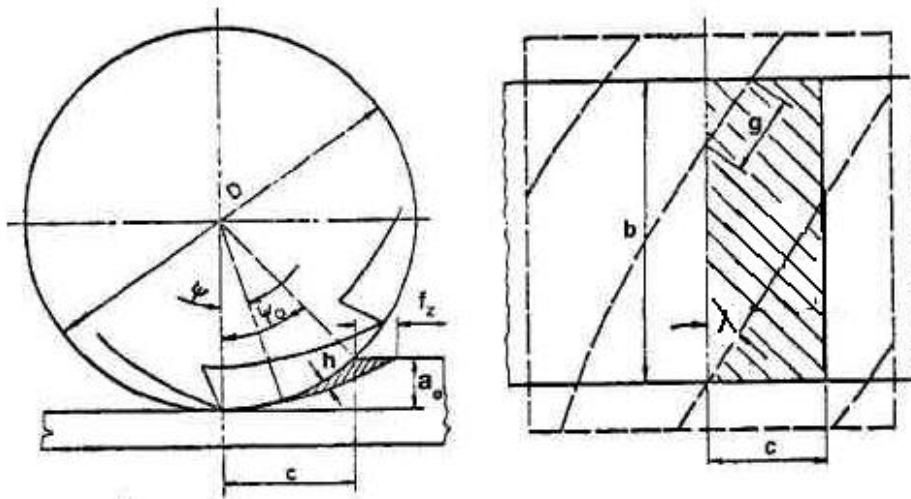


Figura 7.4 - Fresamento tangencial com fresa helicoidal (Fonte: Amorim 2003)

7.7 Determinação do Número de Passadas.

A profundidade de corte no fresamento além de depender diretamente da ferramenta e do material da peça, tem como restrição principal a potência disponível na máquina. Determinada a profundidade de corte total para a retirada do sobre-metal verifica-se o seguinte:

Se $P_{\max} > P_{\text{total}}$ a usinagem é feita em dois passes ou seja um desbaste e um acabamento.

Se $P_{\max} < P_{\text{total}}$, tem-se que determinar um número de passadas de modo que tenha-se uma profundidade constante para todos os passes de desbaste e um percurso otimizado.

O número de passadas é dado pela seguinte expressão:

$$n_p = \frac{P_{\text{total}} - P_{\text{acab}}}{P_{\max}} + 1 \quad (7.51)$$

n_p = número de passadas

P_{total} = profundidade de corte total

$P_{\text{acab.}}$ = profundidade de corte no acabamento

$P_{\max}$ = profundidade de corte max admissível de modo que a profundidade de corte para o desbaste é dada por

$$P_{\text{desb.}} = \frac{P_{\text{total}} - P_{\text{acab.}}}{n_p} \quad (7.52)$$

7.8 Cálculo dos Tempos de Usinagem em uma Operação de Fresamento

O cálculo do tempo de usinagem em uma operação de fresamento é feito através do somatório dos tempos das fases constante do processo da usinagem em um centro vertical CNC.

Seja t_t o tempo total de usinagem de uma peça em um centro de usinagem CNC. Este tempo é obtido pela soma dos tempos parciais que tem as seguintes denominações :

t_t – tempo de usinagem (para uma peça)

t_c – tempo de corte

t_s – tempo secundário (inclui os tempos de colocação e fixação da peça, inspeção e retirada)

t_a – tempo de aproximação e afastamento (inclui os tempos de aproximação e posicionamento da ferramenta e afastamento da mesma)

t_p – tempo de preparo da máquina

t_{ft} – tempo de troca de ferramenta (inclui o tempo de remoção para troca de ferramenta, ajuste e colocação da nova ferramenta)

Para um lote de Z peças, o tempo de usinagem de uma peça será:

$$t_t = t_c + t_s + t_a + \frac{t_p}{Z} + \frac{N_t}{Z} \cdot t_{ft} \quad (7.53)$$

onde N_t é o nº de trocas de ferramenta na produção do lote.

Seja T a vida de uma ferramenta, e Z_t o nº de peças usinadas durante a vida de uma ferramenta,

$$Z = (N_t + 1) Z_t = (N_t + 1) \frac{T}{t_c} \quad (7.54)$$

$$N_t = Z \cdot \frac{t_c}{T} - 1 \quad (7.55)$$

$$t_t = t_c + \left(t_s + t_a + \frac{t_p}{Z} \right) + \left(\frac{t_c}{T} - \frac{1}{Z} \right) t_{ft} = \quad (7.56)$$

$$= t_c + \left(t_s + t_a + \frac{t_p}{Z} - \frac{1}{Z} t_{ft} \right) + \frac{t_c}{T} t_{ft} \quad (7.57)$$

Podemos simplificar esta equação dividindo-a em três parcelas, cada qual com uma relação diferente com a velocidade de corte:

$$t_t = t_c + t_1 + t_2 \quad (7.58)$$

t_c é o tempo de corte; diminuiu com o aumento da V_c

t_1 é o tempo improdutivo (colocação, retirada e inspeção da peça, substituição da ferramenta e preparo da máquina); constante em relação a V_c

t_2 é o tempo relacionado à troca de ferramenta; aumenta com V_c

O tempo de corte é calculado pela expressão:

$$t_c = \frac{L}{n_f} \quad \text{onde, } L - \text{é o comprimento a ser usinado} \quad (7.59)$$

n_f - é a velocidade de avanço da mesa

os tempos

t_s – tempo secundário

t_p – tempo de preparo da máquina

t_{ft} – tempo de troca de ferramenta

são obtidos através de experiência de chão de fábrica.

O tempo t_a tempo de aproximação e afastamento da ferramenta, é obtido através dos dados técnicos da máquina, ou seja, da velocidade da função G00.

7.9 Velocidade de Corte de Máxima Produção

7.9.1 Determinação do Tempo de Corte na Operação de Fresamento

No gráfico da figura 7.5 está mostrado como determinar o tempo total de fabricação de uma peça e seus componentes em função da velocidade de corte.

Para a determinação do tempo de corte nas operações de fresamento partiremos da expressão da velocidade de avanço da mesa que é dada por:

$$v_f = f \cdot n \quad (7.60)$$

Onde tem-se;

v_f - velocidade de avanço em mm/min

n - número de rotações por minutos da fresa

f – avanço em mm/rot

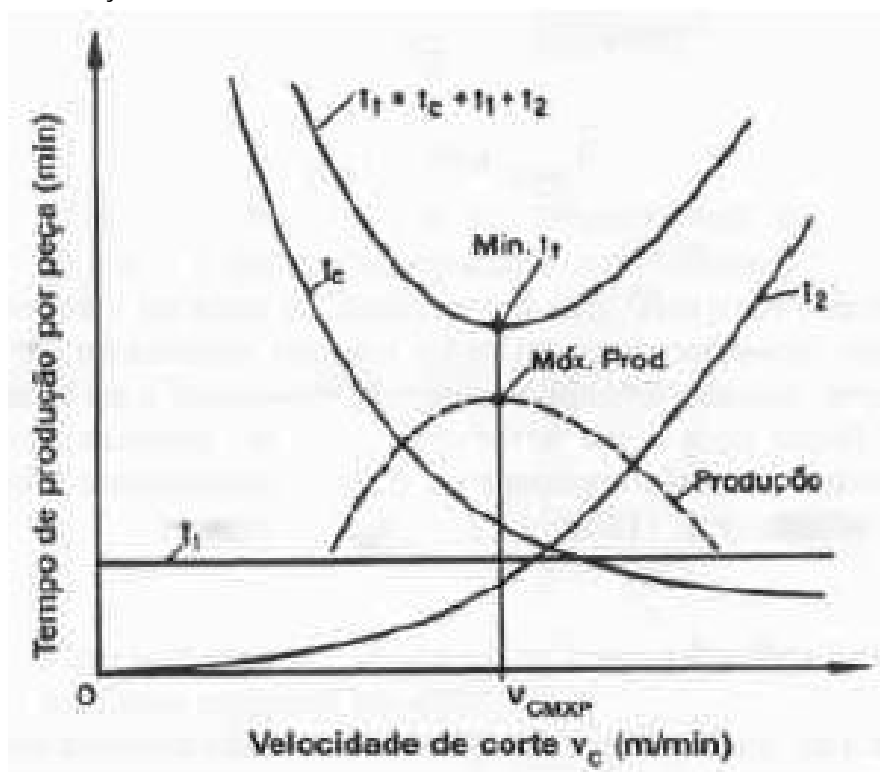


Figura 7.5 - Tempo de produção por peça x velocidade de corte

como n é igual a:

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D} \quad (7.61)$$

Substituindo na equação temos

$$v_f = f \cdot \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (7.62)$$

Para um comprimento l o tempo de usinagem será,

$$T_c = \frac{l}{v_f} \quad (7.63)$$

substituindo o valor de v_f nesta equação teremos

$$t = \frac{\pi \cdot D \cdot l}{f \cdot V_c \cdot 1000} \quad (7.64)$$

Esta é a expressão do tempo de fresamento de uma superfície plana em que a ferramenta desloca-se segundo uma trajetória retilínea entre dois pontos (P1 - P0).

Em centros de usinagem vertical com 2 eixos para usinagem no plano X,Y quando a trajetória é paralela a um dos eixos temos ,

$$t_c = \frac{\pi \cdot D \cdot |X_2 - X_1|}{1000 \cdot V_c \cdot f} \quad (7.65)$$

$$t_c = \frac{\pi \cdot D \cdot |Y_2 - Y_1|}{1000 \cdot V_c \cdot f} \quad (7.66)$$

7.9.2 Exemplos de Determinação dos Tempos de Fresamento em Função da Trajetória da Ferramentas

Um exemplo de aplicação da expressão 7.67 é o fresamento de canto a 90° onde a ferramenta realiza um fresamento tangencial deslocando-se segundo uma trajetória paralela ao eixo dos X e paralela ao eixo dos Y. A figura 7.6 e 7.7 mostram os deslocamentos da ferramenta de corte do ponto de troca ao ponto de posicionamento e vice versa, bem como o deslocamento $[(Z_2 - Z_1) + e]$ relativo ao movimento de posicionamento. Nela vemos também o deslocamento $(X_2 - X_1)$ e $(Y_2 - Y_1)$ da ferramenta na realização do movimento de corte, para o cálculo do tempo de corte. Outros exemplos também são mostrados para o fresamento com trajetória oblíqua em relação aos eixos X e Y (ver as figuras 7.8 e 7.9 e 7.10), bem como a usinagem de cavidades (ver figuras 7.11, 7.12, 7.13 e 7.14)

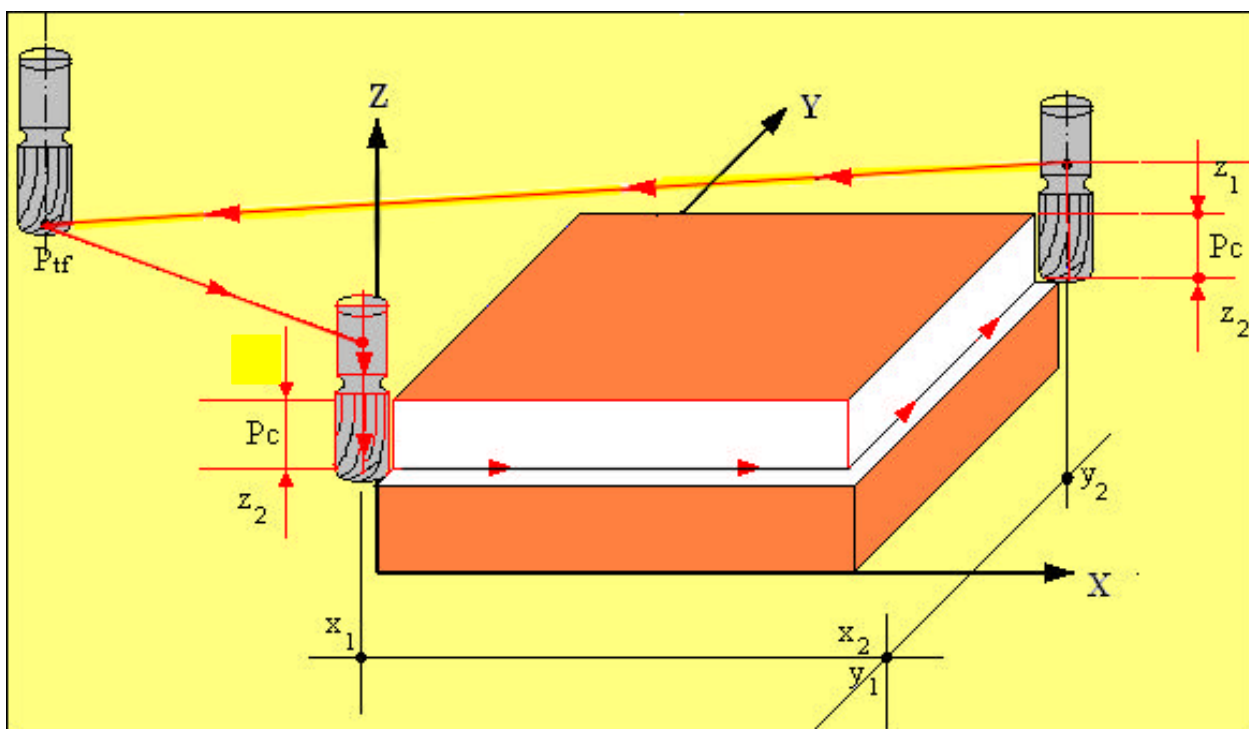


Figura 7.6 – Posicionamento da ferramenta no fresamento de canto a 90°

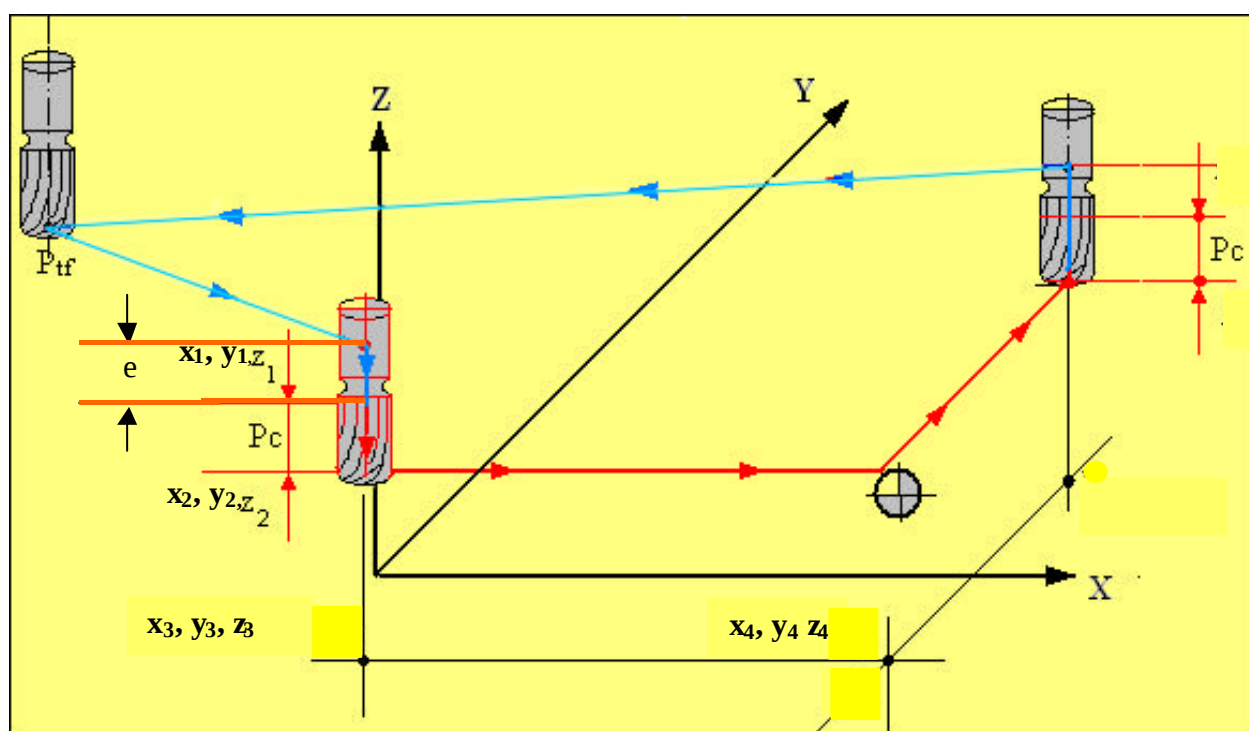


Figura 7.7 - Trajetória da ferramenta no fresamento de canto a 90°

Para uma trajetória retilínea oblíqua em relação aos eixos X e Y, teremos em função das coordenadas dos pontos P1 e P2 o seguinte valor para o comprimento “l” Figura 7.8:

$$P1 = (X1, Y1) \text{ e } P2 = (X2, Y2) \quad (7.67)$$

$$l = \left[(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7.68)$$

deste modo o tempo de corte será:

$$t_c = \frac{\pi \cdot D \cdot \left[(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{1000 \cdot V_c \cdot f} \quad (7.69)$$

Se for considerado um deslocamento infinitesimal dl, de inclinação θ então teremos o seguinte:

$$dl = \frac{dx}{\cos \theta} \quad dt = \frac{\pi \cdot D \cdot dx}{1000 \cdot V_c \cdot f \cdot \cos \theta} \quad (7.70)$$

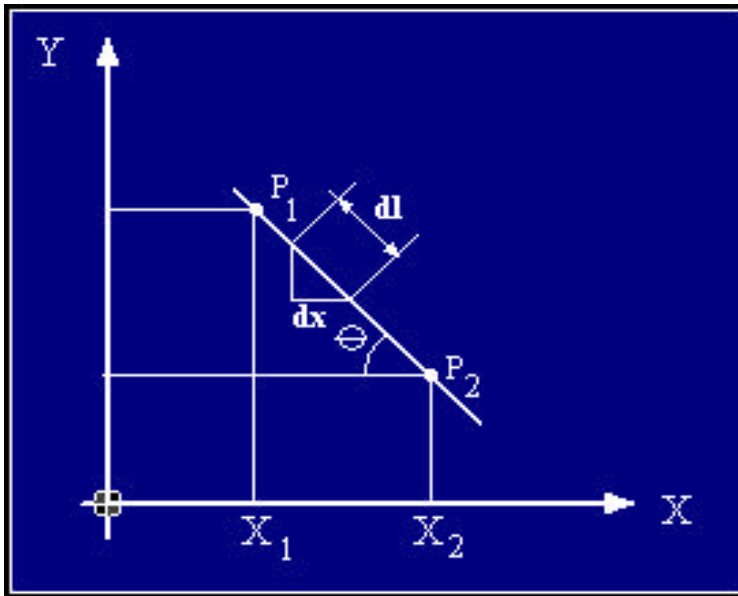


Figura 7.8 – Trajetória oblíqua no fresamento

Integrando esta equação para o intervalo de X1 a X2 teremos

$$t = \int_{X_1}^{X_2} \frac{\pi \cdot D \cdot dx}{1000 \cdot V_c \cdot f \cdot \cos \theta} \quad (7.71)$$

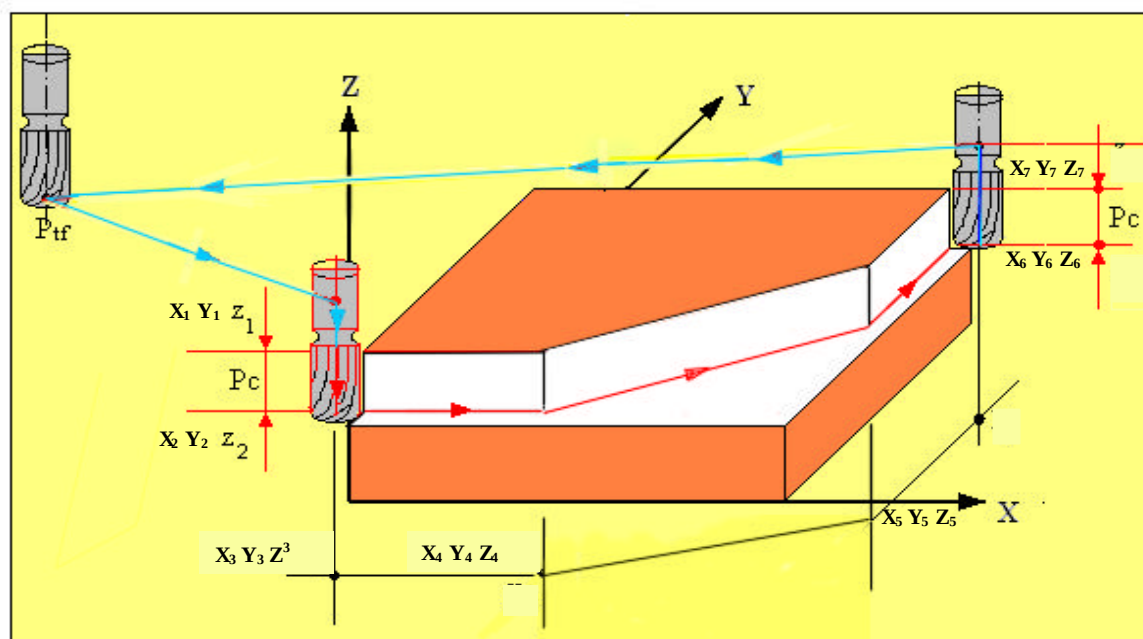


Figura 7.9 - Fresamento de canal com trajetória retilínea oblíqua

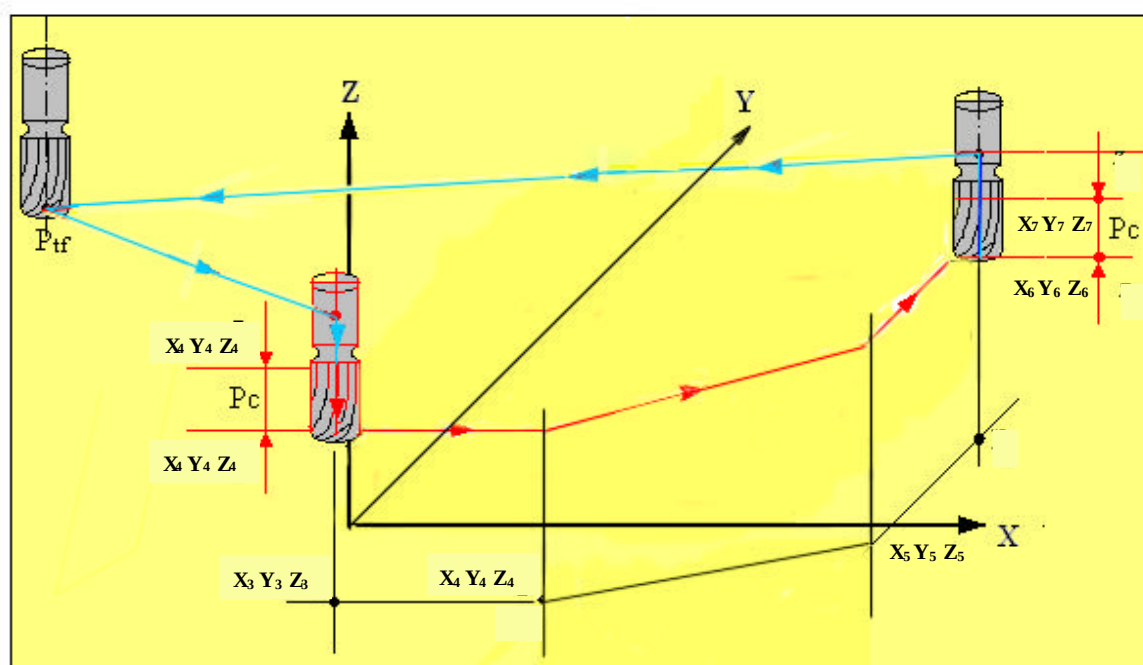


Figura 7.10 – Percurso da ferramenta no fresamento de canal a 90° com trajetória retilínea oblíqua

O cálculo dos tempos improdutivos é feito com base na determinação dos tempos para a realização dos movimentos secundários da usinagem. Os movimentos secundários são aqueles feitos sem arrancamento de cavacos, e são os seguintes:

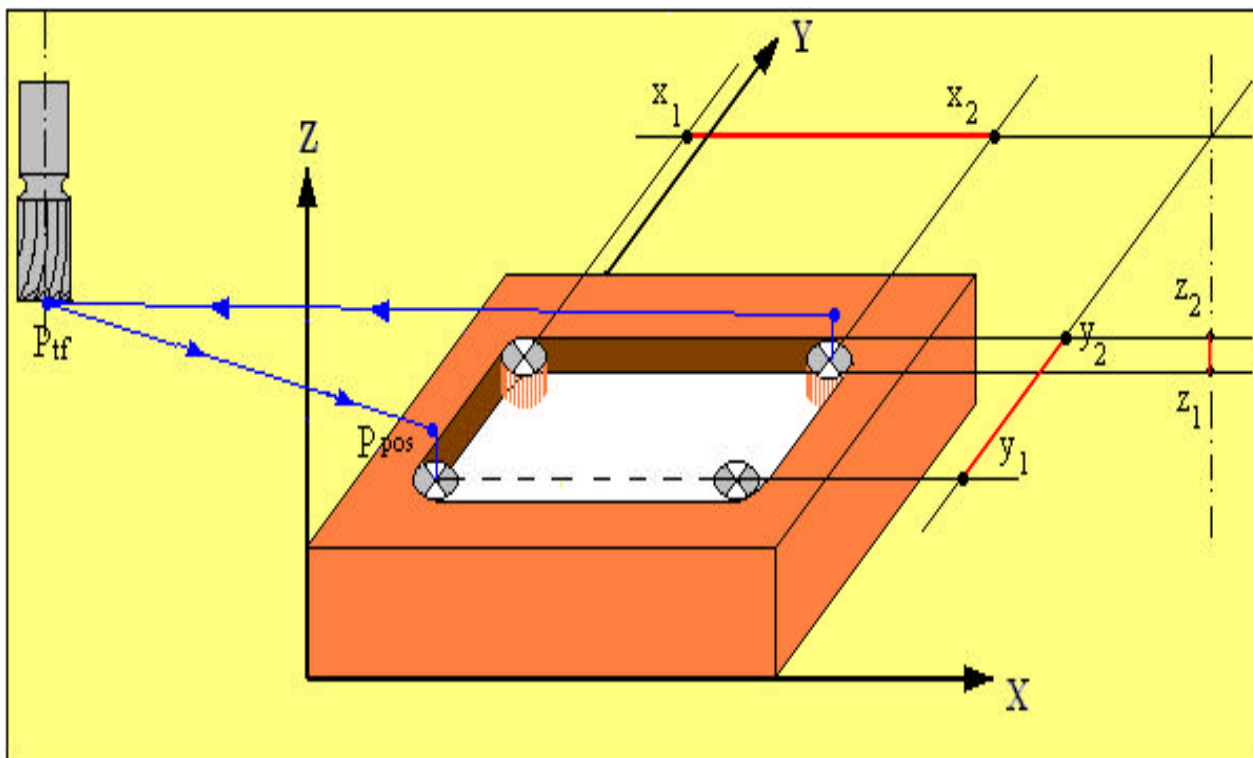


Figura 7.11 – Fresamento de cavidades

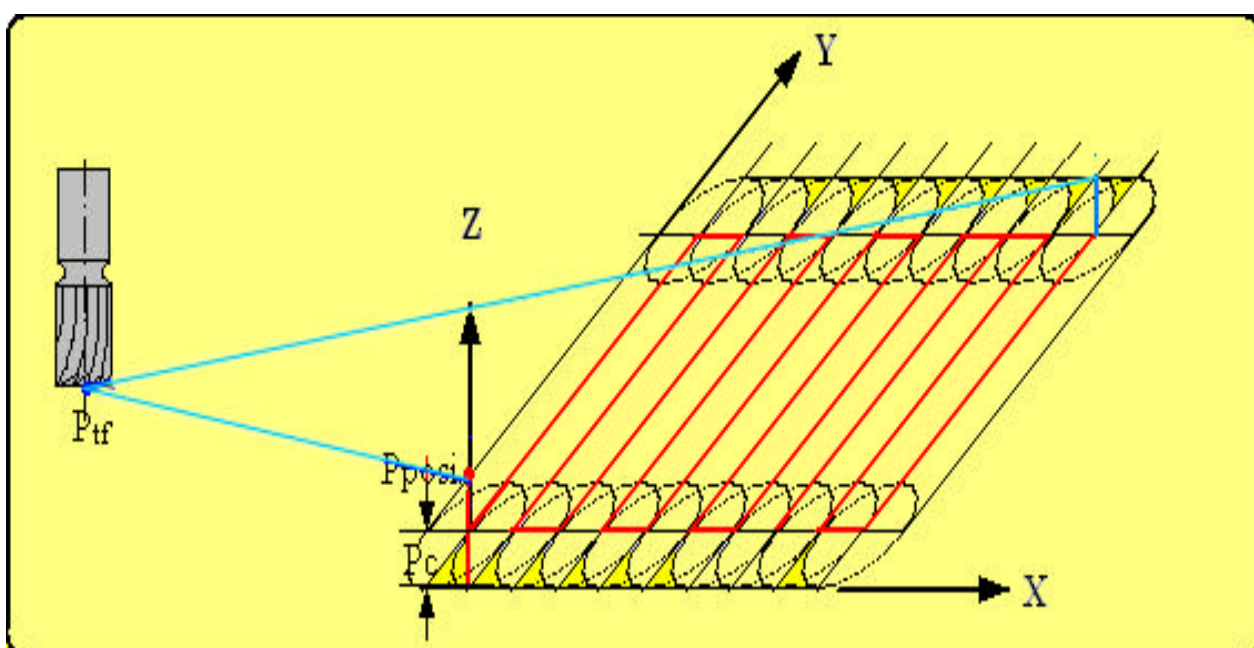


Figura 7.12 – Trajetória da ferramenta no fresamento com movimento em zig-zag.

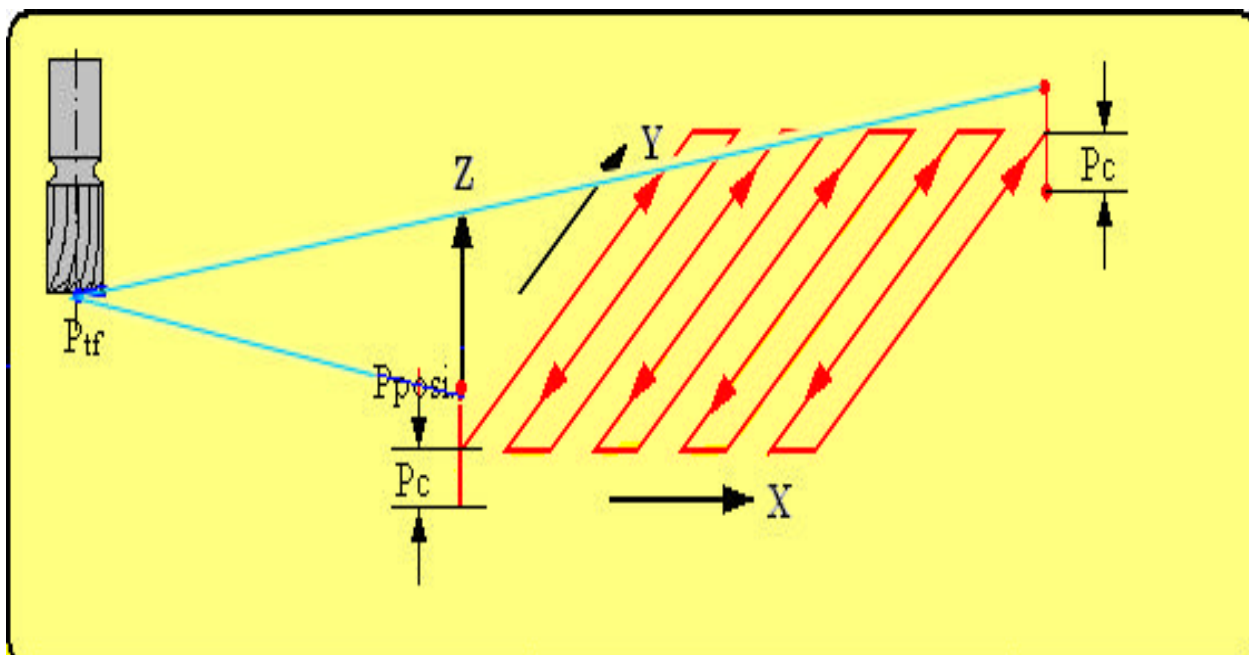


Figura 7.13 – Trajetória da ferramenta no plano X,Y

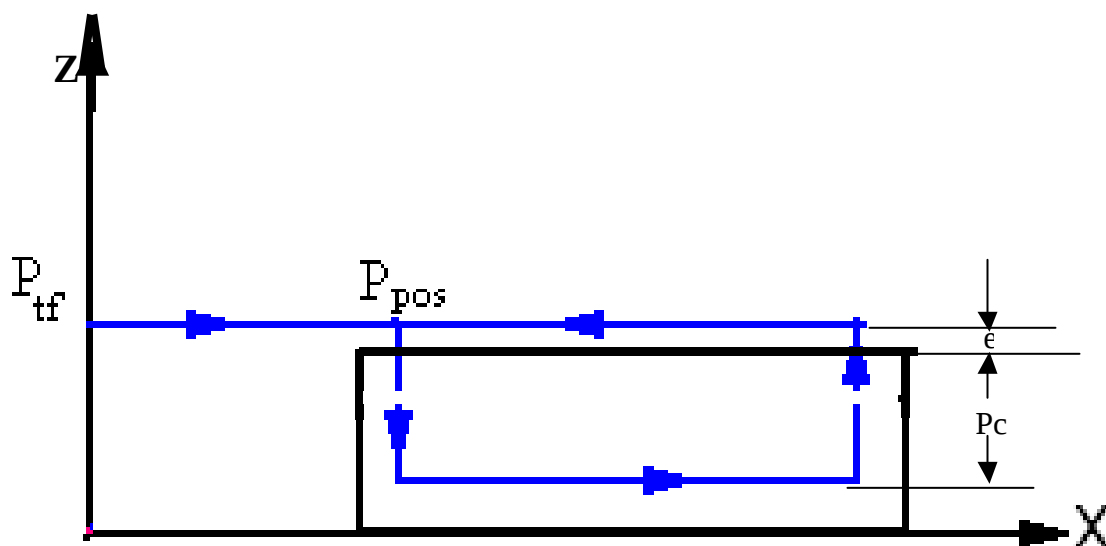


Figura 7.14 – Trajetória da ferramenta no plano XZ.

7.10 Movimento de Aproximação e Movimento de Posicionamento.

Os movimentos de aproximação e afastamento são os movimentos feitos pela ferramenta ao deslocar-se do ponto de troca ao ponto de posicionamento e ao retornar do ponto de posicionamento ao ponto de troca respectivamente. Eles são feitos em movimentos rápidos com a função G00.

No movimento de retorno a ferramenta de corte ao terminar o corte volta ao ponto de posicionamento para proceder uma nova profundidade de corte, para um novo desbaste de material.

O movimento de posicionamento é o movimento executado no sentido da profundidade de corte. Nos centros de usinagens verticais com 2½ eixos o movimento de posicionamento ocorre no sentido do eixo Z. Enquanto que o movimento de retorno ocorre sempre em (X,Y). A soma dos tempos para a execução destes movimentos constitui o tempo improdutivo no fresamento.

7.10.1 Cálculo dos Tempos Improdutivos no Fresamento

$$t_{i_fres} = t_{ap_fres} + t_{r_fres} + t_{pos_fres} \quad (7.73)$$

t_{i_fres} – tempo improdutivo

t_{ap_fres} – tempo de aproximação e afastamento

t_{r_fres} – tempo de retorno

t_{pos_fres} – tempo de posicionamento

No fresamento plano pode-se verificar que ao final de cada passe pode-se fazer um novo movimento de posicionamento da ferramenta dando uma nova profundidade de corte. Com isto evita-se o movimento de retorno que é uma parcela do tempo improdutivo e a ferramenta retornaria também, arrancando cavacos. Porém há de se examinar se esta situação seria compensadora em termos de custo, pois neste caso a ferramenta avançaria arrancando cavacos com movimentos concordantes e retornaria com movimentos discordantes, o que ocasionaria em uma diminuição da vida útil da ferramenta de corte.

O tempo de aproximação é dado

$$T_{ap_fresa} = \frac{X_{troca_fresa} - X_{pos_fresa}}{V_{max. longitudinal}} \quad (7.74)$$

$$T_{ap_fresa} = \frac{Y_{troca_fresa} - Y_{pos_fresa}}{V_{max. transversal}} \quad (7.75)$$

X_{tf} , Y_{tf} e Z_{tf} , são as coordenadas do ponto de troca da ferramenta de corte.

X_{posi_fresa} , Y_{pos_fresa} e Z_{pos_fresa} , são as coordenadas do ponto de posicionamento para o fresamento. Este é o ponto de início da profundidade de corte mais uma folga da ferramenta de corte. A diferença deste para o novo ponto de posicionamento é igual a profundidade de corte

mais a folga, de modo que terminado um passe a ferramenta retorne em avanço rápido sem o fio de corte atritar-se com a superfície da peça, o que ocasionaria a danificação do fio de corte.

O tempo de posicionamento é igual a:

$$T_{\text{pos_fresa}} = \frac{e+pc}{V_{\text{ver}}} \quad (7.76)$$

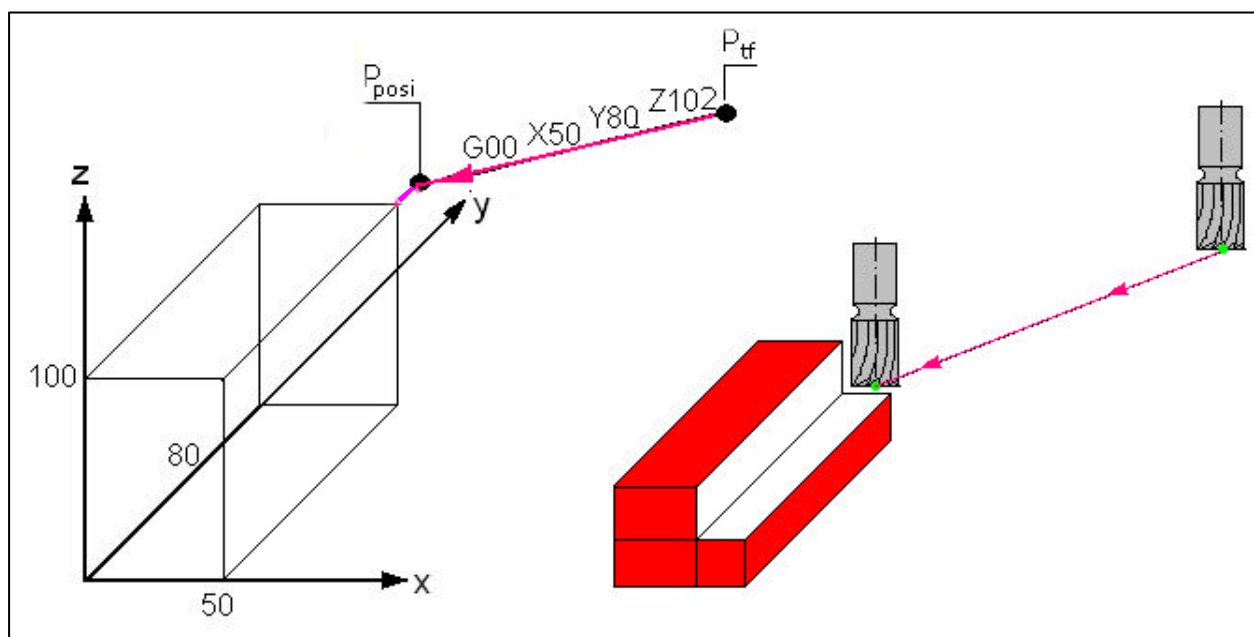


Figura 7.15 – Trajetória da ferramenta para aproximação e afastamento rápidos.

O tempo de posicionamento total é igual a n vezes o número de passadas vezes o tempo de posicionamento por passada.

$$t_{\text{pos_total}} = n_{\text{pas}} \cdot t_{\text{pos_pas}} \quad (7.77)$$

$$t_{\text{pos_total}} = n_{\text{pas}} \left(\frac{e+pc}{V_{\text{ver}}} \right) \quad (7.78)$$

n_{pas} = número de passadas da ferramenta na usinagem de uma fase.

$t_{\text{pos_total}}$ = tempo total de posicionamento

t_{pos_pas} = tempo de posicionamento por passada

O tempo de retorno é o tempo gasto para a ferramenta realizar o movimento de retorno que consiste no seguinte: após a realização de um passe a ferramenta afasta-se da superfície usinada de um valor igual à folga e retorna a um novo ponto de posicionamento para realizar uma nova profundidade de corte conforme se pode verificar nas figuras 7.11 e 7.12 . O tempo para a execução deste movimento é dado pela expressão;

$$t_{ret_fres} = \frac{2e+L}{V_{ret}} \quad (7.79)$$

$$t_{ret_tot} = n_{pas} \left(\frac{2e+L}{V_{ret}} \right) \quad (7.80)$$

Onde “e” é a folga para a ferramenta, e L o comprimento de corte ou seja a distância que a ferramenta vai deslocar-se para a execução do passe.

Para cada ferramenta o tempo improdutivo será o seguinte:

$$T_{i_fres} = t_{apaf_fresa} + t_{pos_tot} + t_{ret_tot} \quad (7.81)$$

$$T_{i_fres} = t_{apaf_fresa} + n_{pas} \left(\frac{e+pc}{V_{ret}} \right) + n_{pas} \left(\frac{2e+L}{V_{ret}} \right) \quad (7.82)$$

O tempo relativo a troca de uma ferramenta é dado pela expressão seguinte:

$$t_t = \frac{t_c}{T} t_{ft} \quad (7.83)$$

Para T, tempo de vida útil da ferramenta temos pela formula de Taylor,

$$T = \frac{K}{V_c^x} \quad (7.84)$$

substituindo este valor de vida bem como o valor do tempo de corte na equação 8. teremos

$$t_t = \frac{\frac{\pi \cdot D \cdot l}{f \cdot V_c \cdot 1000}}{\frac{K}{V_c^x}} t_{ft} = \frac{\pi \cdot D \cdot l \cdot V_c^{x-1}}{1000 \cdot f \cdot K} t_{ft} \quad (7.85)$$

$$t_t = \frac{\pi \cdot D \cdot l \cdot V_c^{x-1}}{1000 \cdot f \cdot K} t_{ft} \quad (7.86)$$

7.11 Processo de Furação nos Centros de Usinagem Verticais.

Para a determinação dos parâmetros otimizados na furação devemos a exemplo do fresamento, determinar o tempo para a furação com a máxima velocidade de corte. Deste modo o tempo total minimizado de usinagem será a soma do tempo de corte e dos tempos de aproximação e afastamento e do tempo de retorno.

7.11.1 Cálculo do Tempo de Furação

O tempo de aproximação da ferramenta na furação é o tempo gasto pela broca para deslocar-se do ponto de troca ao ponto de posicionamento para o início da furação. O cálculo deste tempo juntamente com o tempo de afastamento é feito com base no deslocamento em movimento rápido com a função G00. O movimento de retorno é o movimento realizado pela ferramenta ao deslocar-se do ponto onde finalizou a furação até o ponto de posicionamento, e é feito com avanço programado.

$$T_{ap_fur} = \frac{X_{troca_broca} - X_{pos_broca}}{V_{max. longitudinal}} \quad (7.87)$$

$$T_{ap_fura} = \frac{Y_{troca_broca} - Y_{pos_broca}}{V_{max. transversal}} \quad (7.88)$$

$$T_{ap_fur} = \frac{X_{troca_broca} - X_{pos_broca}}{25000} \quad (7.89)$$

$$T_{ap_fur} = \frac{Y_{troca_broca} - Y_{pos_broca}}{25000} \quad (7.90)$$

T_{ap_fur} – tempo de aproximação da ferramenta para a furação.

X_{troca_broca} e Y_{troca_broca} – coordenadas do ponto de troca da broca.

X_{pos_broca} e Y_{pos_broca} – coordenadas do ponto de posicionamento da broca.

O tempo de corte na furação é dado pela seguinte expressão:

$$T_{c_fur} = \frac{L_{c_fur}}{f_{fur} \cdot n_{fur}} \quad (7.91)$$

T_{c_fur} - tempo de corte na furação

L_{c_fur} – comprimento de furação

f_{fur} - avanço no processo de furação

n_{fur} - rotação do eixo principal durante a furação

$$n_{fur} = \frac{1000 \cdot v_{fur}}{\delta \cdot d_{broca}} \quad (7.92)$$

Sendo;

v_{fur} - a velocidade de corte na operação de furação.

d_{broca} - o diâmetro da broca.

O comprimento de corte para o furo passante esta representado na figura 7.17 pela soma das distancias dos pontos de posicionamento ao ponto P1 do ponto P1 ao ponto P2 e do ponto P2 ao ponto final do corte, Pf.

$$Lc_{fur} = P_{pos}P_1 + P_1P_2 + P_2P_f \quad (\text{ver a figura 7.17}) \quad (7.93)$$

Para os furos não passantes o comprimento de corte para a furação será:

$$Lc_{fur} = P_{pos}P_1 + P_1P_2 \quad (\text{ver a figura 7.18}) \quad (7.94)$$

O comprimento de corte em função das coordenadas cartesianas dos pontos de posicionamento e do ponto final são dadas pela expressão seguinte:

$$Lc_{fur} = Z_{pos} - Z_{final} \quad (7.95)$$

O tempo de retorno é feito com avanço programado, e o tempo de afastamento em avanço rápido com a função G00 sendo igual o tempo de aproximação. Deste modo o tempo de retorno e afastamento no processo de furação é dado por:

$$t_{r_af_fur} = t_{aprx_fur} + t_{c_fur} \quad (7.96)$$

$t_{r_af_fur}$ - tempo de retorno e afastamento no processo de furação.

t_{aprox_fur} - tempo de aproximação para a furação

t_{c_fur} - tempo de corte na furação.

Deste modo o tempo total de furação é dado pela soma das parcelas relativas ao tempo de aproximação, mais a parcela relativa ao tempo de corte e mais a parcela relativa ao tempo de retorno e afastamento.

$$t_{fur} = t_{aprx_fur} + t_{c_fur} + t_{r_af_fur} \quad (7.97)$$

$$t_{\text{fur}} = 2 t_{\text{aprx_fur}} + 2 t_{\text{c_fur}} \quad (7.98)$$

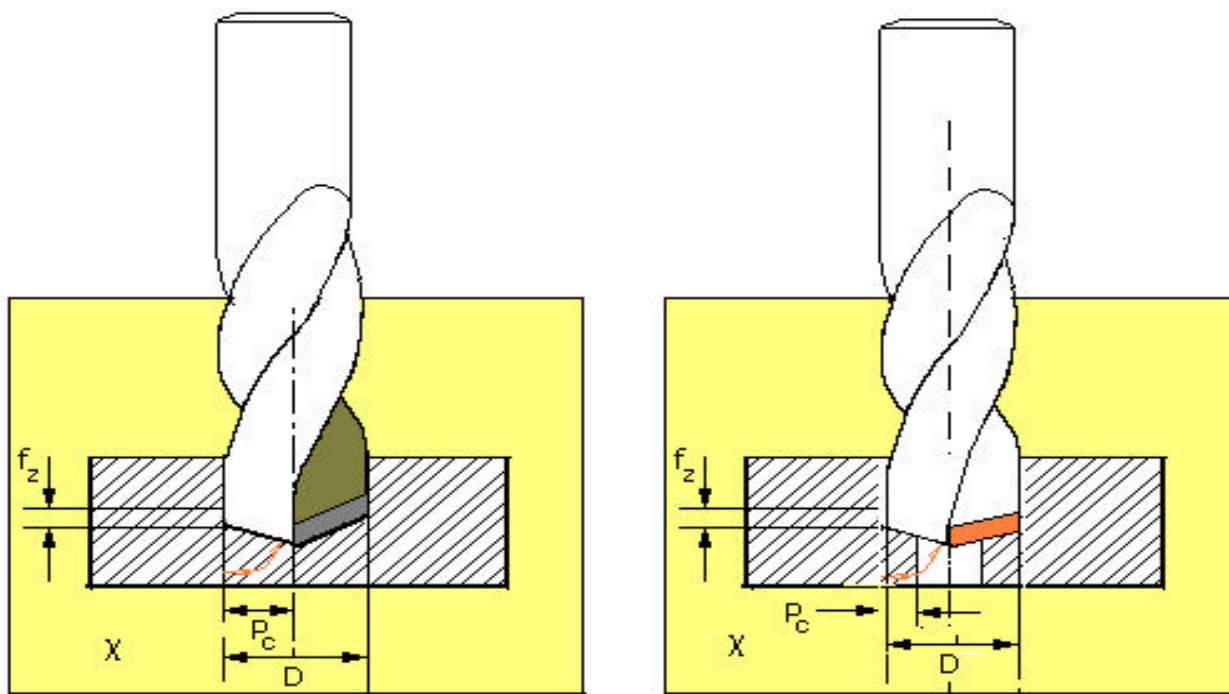


Figura 7.16 – Dados para furação de furos passantes e não passantes

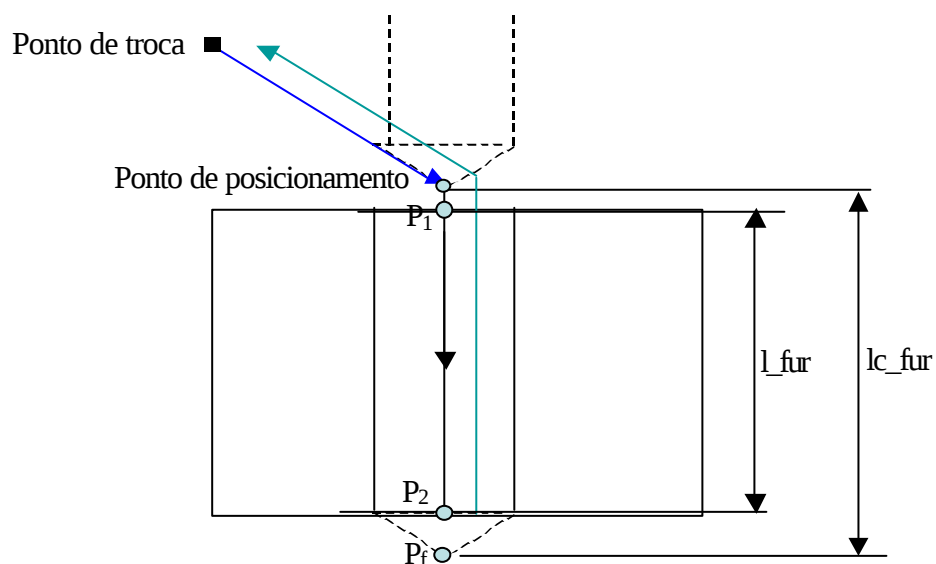


Figura 7.17 - Trajetória da ferramenta para usinagem de furo passante

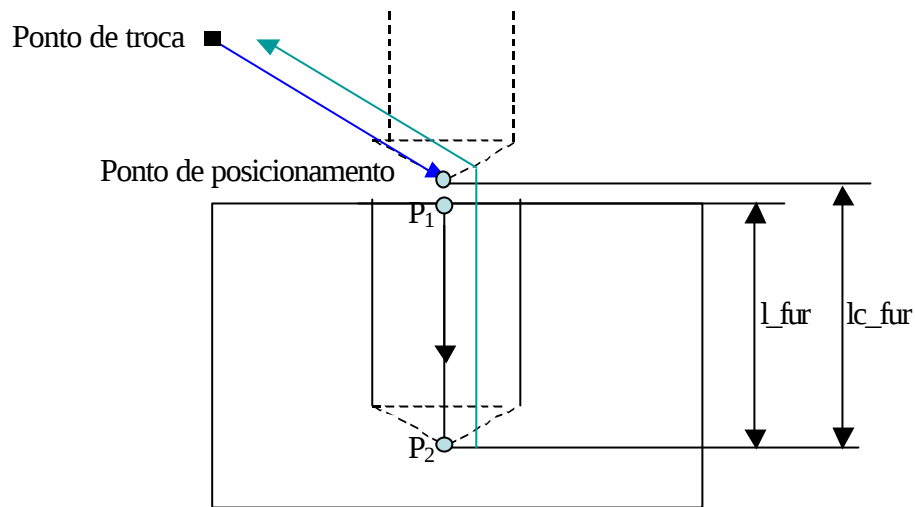


Fig 7.18 - Trajetória da ferramenta para usinagem de furo não passante

7.11.2 Determinação da Potência de Corte na Furação

No processo de furação a potência de corte é calculada através da equação de Kienzle, que é dada pela expressão:

$$N_c = \frac{F_c \cdot V_c}{60 \cdot 75} \quad (7.99)$$

onde:

N_c é a potência de corte (CV);

F_c é a força de corte (Kgf), dada pela equação (7.100); e

V_c a velocidade de corte (m/min).

$$F_c = K_{s1} \cdot b \cdot h^{1-z} \quad (7.100)$$

onde:

K_{s1} e $(1-z)$ são as constantes da fórmula da potência de Kienzle; b e h são os comprimentos e a largura de corte dados pelas seguintes expressões:

$$b = \frac{P_c}{\text{Sen } \chi} \quad (7.101)$$

$$h = f \cdot \text{Sen } \chi \quad (7.102)$$

sendo:

P_c a profundidade de corte (mm);
 f o avanço (mm/rot); e
 $\div$ o ângulo de posição.

ver as figuras 7.16(a) e 7.16(b)

Para furação em cheio a profundidade de corte é igual ao raio da broca ou seja:

$$P_c = \frac{D}{2} \quad (7.103)$$

Para furação com pré-furo a profundidade de corte é igual ao raio da broca a furar, menos o raio do furo existente, ou seja:

$$P_c = \frac{D - d}{2} \quad (7.104)$$

Como a broca helicoidal tem duas arestas de corte, o avanço por aresta é dado por:

$$f_z = \frac{f}{2} \quad (7.105)$$

sendo f o avanço para uma rotação da broca (mm/rot).

Para furações em cheio a potência de corte é dada por:

$$N_c = \frac{K_{s1} \cdot D \left(\frac{f}{2} \cdot \text{Sen } \chi \right)^{1-z} \cdot V_c}{2 \cdot \text{Sen } \chi} \quad (7.106)$$

Para furação com pré-furo a potência de corte é dada por:

$$N_c = \frac{K_{s1} \cdot (D - d) \left(\frac{f}{2} \cdot \text{Sen } \chi \right)^{1-z} \cdot V_c}{2 \cdot \text{Sen } \chi} \quad (7.107)$$

7.12 Acabamentos Superficiais nas Operações de Fresamento.

A qualidade das superfícies das peças é caracterizada pelo acabamento obtido na usinagem e pelas propriedades físicas e mecânicas do metal na camada superficial. Estas propriedades são modificadas durante o processo de usinagem devido a ação de vários fatores. Os principais são:

Pressão da ferramenta de corte contra a peça;
Atrito da superfície de incidência da ferramenta com a peça;
Atrito interno do metal na região de deformação plástica;
Calor gerado no processo de corte;
Fenômenos específicos do processo de formação de cavacos;
Trepidações da ferramenta e da máquina.

Desta forma além de se obter na peça usinada uma série de irregularidades geométricas, a estrutura cristalográfica da camada superficial é modificada, podendo haver em certos aços uma alteração na composição química, causando descarbonetação. Estas irregularidades são classificadas como desvios macro-geométricos, ondulações e desvios micro-geométricos.

As irregularidades das superfícies ou rugosidades devem-se a qualidade e geometria das arestas de corte, a qualidade do material da peça e aos valores dos avanços. Uma vez estabelecida no projeto a rugosidade da peça em função de sua aplicação. No gráfico da figura 7.19 e 7.20 pode-se determinar os valores para a rugosidade e posteriormente o avanço no fresamento pela expressão 7.109 e 7.110.

Para o fresamento frontal a rugosidade teórica é determinada pela expressão

$$R_{t\ th} = \varepsilon_z \sqrt{1 - \left(\frac{2y}{D}\right)^2 \frac{\tan K \cdot \tan K_n}{\tan K + \tan K_n}} \quad (7.108)$$

y = distância do eixo de rotação da fresa

D = diâmetro da fresa

K = ângulo de posição

K_n = ângulo de posição da aresta secundária

No fresamento tangencial as rugosidades teóricas máximas e média são determinadas pelas fórmulas abaixo.

$$R_{Max\ Teor} = \frac{f_z^2}{4D} \quad (7.109)$$

$$R_a = \frac{f_z^2}{9 \cdot \sqrt{3} \cdot D} \quad (7.110)$$

Na prática a rugosidade real é via de regra maior que a rugosidade teórica devido aos seguintes fatores:

- Posicionamento irregular das pastilhas
- Desgastes irregulares das arestas de corte
- Fluxo irregular dos cavacos
- Fixação da peça deficiente
- Condições da máquina deficientes

A melhoria do acabamento superficial obtém-se pela verificação dos itens acima disposto, porém outras variáveis como fresamento concordante, avanços pequenos, escolha adequada do fluido de corte, também são fatores que contribuem para esta melhoria.

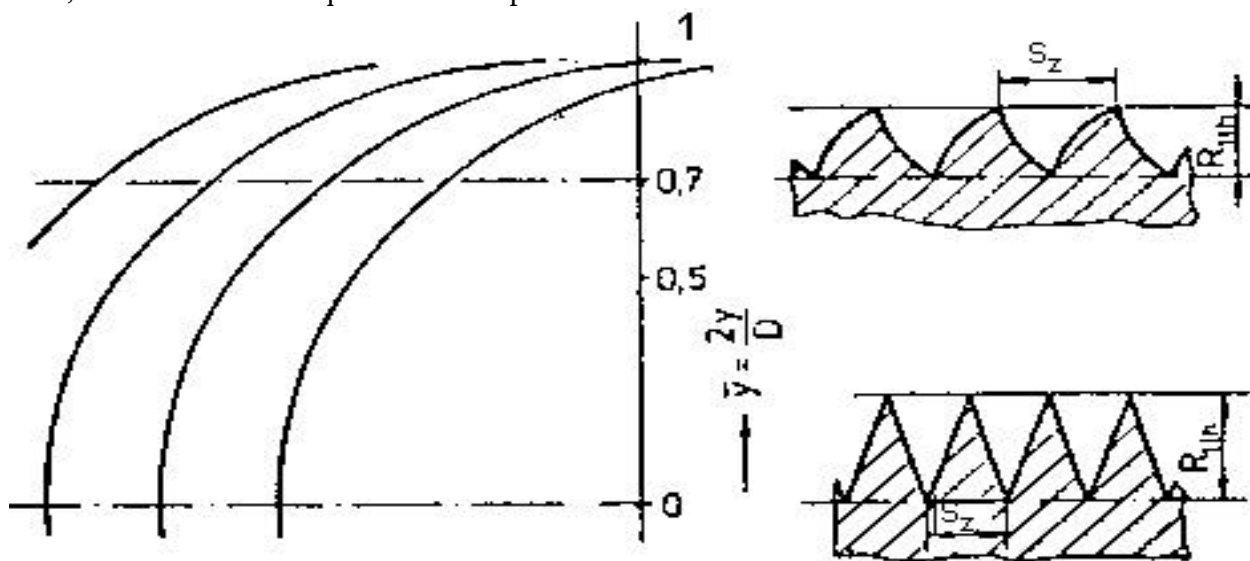


Figura 7.19 – Gráfico do acabamento superficial no fresamento.

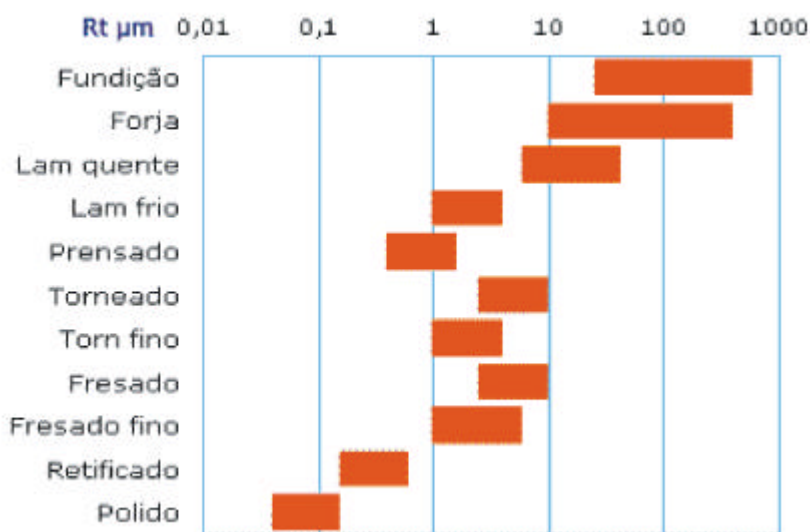


Figura 7.20 – Gráfico do acabamento superficial nas operações de usinagem.

8. GERAÇÃO DO PROGRAMA DE CNC

A geração de um programa CNC quando feita pelo método convencional abrange as seguintes etapas :

- 1 - Estudo do Desenho da peça ; Final e Bruta
- 2 - Escolha da origem no desenho
- 3 - Definição das fases de usinagem e fixação da peça
- 4 - Conhecimentos dos parâmetros físicos da máquina e do sistema de programação do comando
- 5 - Escolha e medição das ferramentas
- 6 - Definição dos parâmetros de corte
- 7 - Desenvolvimento do programa

Neste trabalho a geração do desenho dividido em sub-volumes foi desenvolvido tomando como base um programa de CAD. O programa gera o desenho 3d da peça bruta, da peça acabada e do sólido a ser retirado em forma de cavacos. Após a execução do desenho o programa gera automaticamente as coordenadas dos sub-volumes que será armazenadas em forma de grafos conforme foi mostrado no exemplo do parágrafo 5.1 nas figuras 5.3,5.4 e 5.5. Através destes o módulo de geração automática do programa CNC poderá definir o ponto inicial e final da trajetória da ferramenta de corte (ver o organograma da figura 8.5).

A geração automática do programa de CN é feita através da leitura do grafo de adjacência que hierarquiza os sub-volumes que compõem o sólido a ser removido em forma de cavacos ou parte deste. Estes grafos na condição de grafos valorados indicam o percurso da ferramenta de corte para retirada dos cavacos para a execução da peça, iguais aos caminhos no grafo que ligam o elemento raiz ao último elemento ao longo do percurso (ver definições no estado da arte).

O reconhecimento das operações a serem executadas é feito através dos testes descritos no capítulo cinco. Em função destes testes será determinado o tipo de fresamento ou furação a ser executado e o programa selecionará automaticamente as ferramentas de corte catalogadas no banco de dados do sistema CAM. Os parâmetros de usinagem descritos no capítulo sete também serão determinados pelo módulo CAM pertencente ao sistema de integração.

No centro de usinagem vertical, a área de trabalho está contida em um paralelepípedo imaginário, com dimensões X, Y, Z iguais as mostradas no capítulo 6 (ver figura 6.3). A fixação da peça bruta à mesa do centro de usinagem será feita em morça de precisão, fixada na mesa da máquina, sendo a peça quando necessário, apoiada sobre calços de modo que quando possível respeite-se a condição de se ter sempre, três faces livres para usinagem, sendo uma paralela à mesa, e duas perpendiculares, dimensionalmente opostas. Ou poderá também ser feita, com garras de sujeição.

O comando numérico incorporado à máquina segue as especificações técnicas das normas ISO 1056 e DIN 66025, quanto à utilização de funções lógicas de usinagem durante a sua programação.

A figura 8.1 mostra as etapas desde a concepção da peça até sua obtenção.

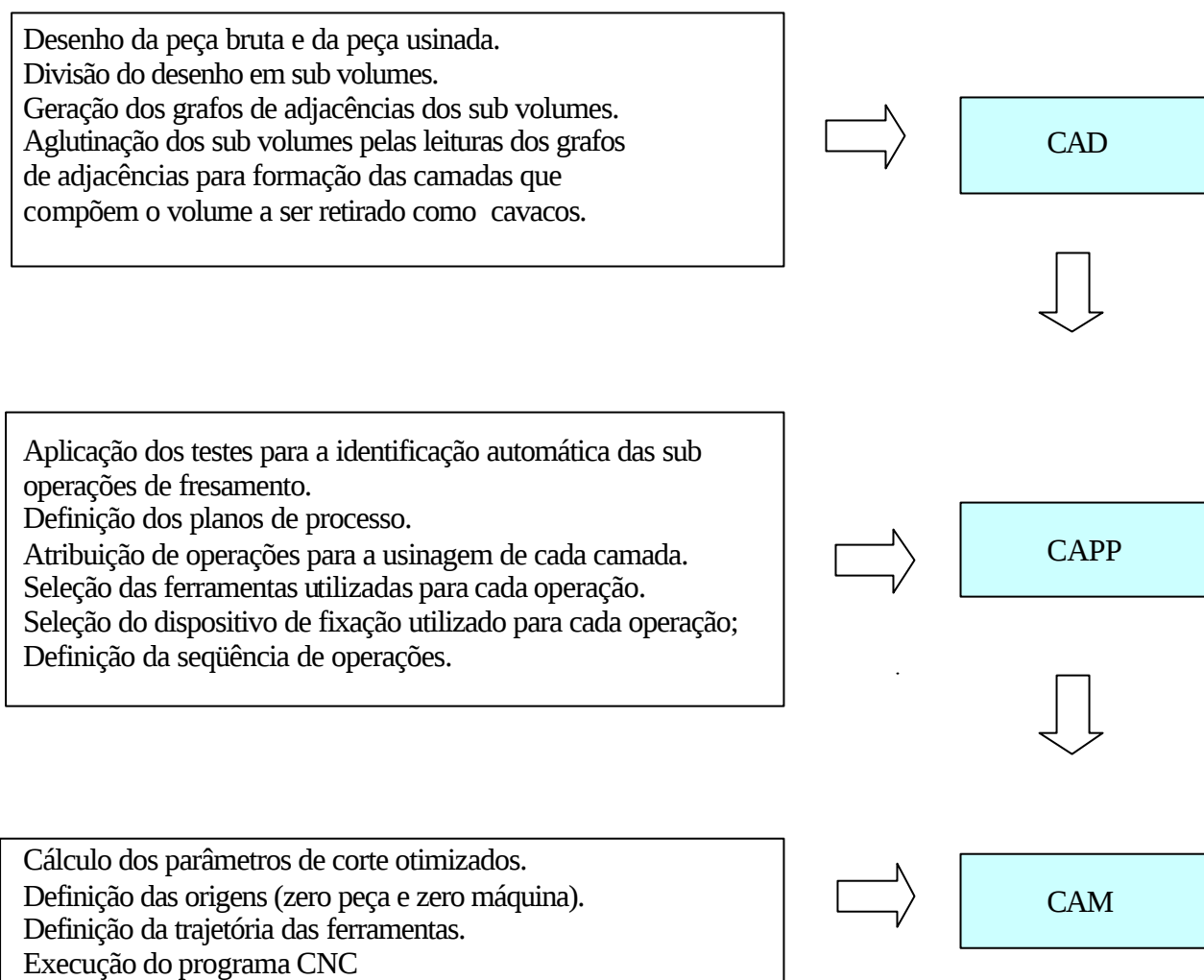


Figura 8.1 – Etapas do projeto até a obtenção de uma peça.

A inserção de programas na memória RAM pode ser feita pelo teclado, disponível no painel frontal da máquina ou pelo carregamento via computador, através da interface padrão, que é o foco deste trabalho.

O desenvolvimento de um programa CNC para centros de usinagem é feito em blocos de informações, com somente um tipo de função em cada bloco. Estas funções estão divididas em ; funções de posicionamento, funções especiais, funções miscelânea e funções preparatórias e corretores das ferramentas.

Nas figuras 8,2 e 8.3 estão mostrados os principais eixos de referência a partir do qual é feito todo o referenciamento das peças e das ferramentas de corte para o desenvolvimento dos programas.

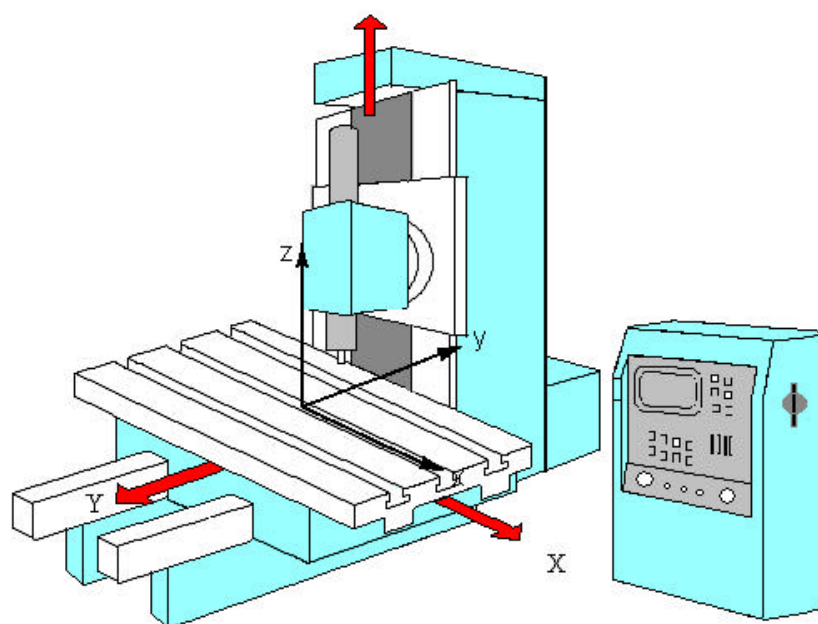


Figura 8.2 - Sistemas de referencias das máquinas de comando numérico (eixos coordenados) .

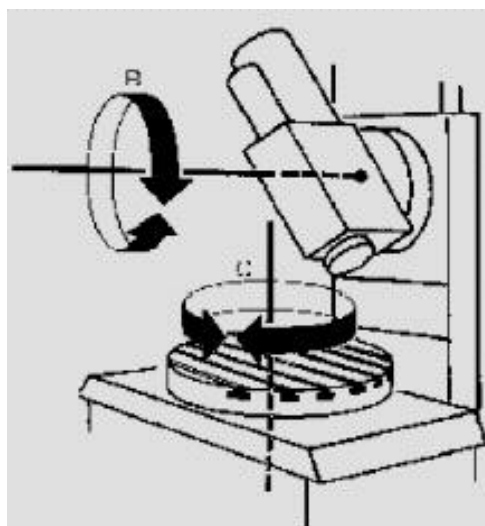


Figura 8.3 - Sistemas de referencias das máquinas de comando numérico (eixos rotacionais).

8.1 Funções Especiais

As funções Especiais são as que complementam as informações transmitidas através das funções preparatórias e as funções de posicionamento. As funções especiais mais utilizadas são as seguintes:

- a) **Função número de seqüência “N”** – é a função que numera o número ou seqüência dos blocos de programação. Estes blocos podem ser identificados por número de quatro dígitos.
- b) **Função Auxiliar de Avanço “F”** - é através desta função que o comando recebe a informação de quanto é o avanço de trabalho. Este avanço pode ser representado em mm/min ou mm/rot.
- c) **Função Auxiliar de Velocidade de Corte “S”** – através desta função, o comando recebe informações de quanto é a velocidade de corte.
- d) **Função Auxiliar de Troca de Ferramenta “T”** – esta função é utilizada para a seleção de ferramentas e corretores de ferramenta. Ela é composta por um número de quatro dígitos, onde os dois primeiros definem o número da ferramenta, e os dois outros números definem o número do corretor da ferramenta.

8.2 Instruções Auxiliares da Máquina, Funções Miscelânea

As funções **Miscelânea** permitem ajustar a máquina ao modo de operação CNC. Estas funções têm o mesmo significado lógico nas operações de torneamento e de fresamento, a menos de pequenas modificações em sua sintaxe. Isso ocorre em função da centro de usinagem possuir um sistema de coordenadas tridimensional. A Tabela 8.1 apresenta exemplos das instruções M empregadas no fresamento CNC.

TABELA 8.1. Funções **M** empregadas na programação de fresadoras **CNC**.

FUNÇÃO	DESCRIÇÃO	EXEMPLO DE BLOCO
M00	Parada programada.	N07 M00
M03	Rotação do eixo-árvore no sentido horário.	N00 M03
M05	Parada do eixo-árvore.	N11 M05
M06	Troca de ferramenta (manual)	N34 M06 D500 S1200 H457 T02
M17	Final de sub-programa.	N24 M17
M30	Final de programa.	N32 M30
M99	Parâmetro de circularidade.	N54 M99 I2400 J340 K0

8.3 Instruções para Usinagem de Superfícies - Funções G

De maneira análoga às funções de programação auxiliar (funções M), vistas anteriormente, as funções G usadas no fresamento estão vinculadas à movimentação das ferramentas e peças e apresentam o mesmo significado lógico que aquelas apresentadas no torneamento. As instruções G utilizadas para a programação da fresadora CNC serão apresentadas a seguir (Tabela 8.2).

TABELA 8.2. Funções G empregadas na programação da fresadora CNC

FUNÇÃO	DESCRIÇÃO
G00	Deslocamento rápido da ferramenta.
G01	Movimento de corte seguindo interpolação linear.
G02	Movimento de corte seguindo interpolação circular - sentido horário.
G03	Movimento de corte seguindo interpolação circular - sentido anti-horário.
G04	Tempo de espera.
G25	Chamada de sub-programa.
G64	Motores de passo desativados.
G65	Gravar/carregar programa em fita K-7 DAT (digital).
G66	Ativação da interface RS 232
G72	Ciclo para usinagem de cavidades regulares em baixo relevo.
G81	Ciclo de furação.
G82	Ciclo de furação com tempo de espera (0,5 segundo).
G83	Ciclo de furação intermitente.
G90	Programação em valor absoluto.
G91	Programação em valor incremental.
G92	Armazenamento de coordenadas X-Y-Z na memória.
G94	Velocidade de avanço em milímetros por minuto [pol./min].
G95	Avanço em milímetro por rotação [pol./rotação].

G00 - Deslocamento Rápido da Ferramenta

Nesta função o movimento da ferramenta ocorre com a máxima velocidade disponível. Deve-se destacar que o comando numérico dessa máquina não admite deslocamentos em 3 coordenadas simultaneamente entre um bloco e outro, pois como anteriormente dito trata-se de

um centro de usinagem vertical com 2½ eixos, conseqüentemente os deslocamentos simultâneos ocorrem no plano X,Y sendo o eixo Z o referencial de posicionamento.

G00 X_ Y_ Z_#

G01 - Movimento de Corte Seguindo Interpolação Linear

A função G01 promove o movimento da ferramenta em uma trajetória linear, cujo ponto final é definido pelas coordenadas X, Y e Z especificadas, que podem ter valores absolutos ou incrementais. Ou seja, são funções de interpolação linear cuja sintaxe é

G01 X_ Y_ Z_ F_#

G02 - Movimento de Corte Seguindo Interpolação Circular - sentido horário

G03 - Movimento de Corte Seguindo Interpolação Circular - sentido anti-horário

A fresadora CNC é capaz de usinar arcos de circunferência de variados ângulos, cujo ponto final corresponde às coordenadas XYZ registradas. Entre os pontos inicial e final do arco projetado são possíveis infinitas curvaturas, tornando necessário especificar qual é o centro de curvatura do arco desejado através do comando M99 (inserido imediatamente ao bloco seguinte no qual foi definido G02/G03). As regras para a utilização das funções G02/G03 no fresamento são semelhantes às apresentadas no torneamento, assim como aquelas expressas para determinação dos parâmetros de circularidade, ver a figura 8.4

G02 X_ Y_ Z_ F_#
M99 I_ J_ K_#

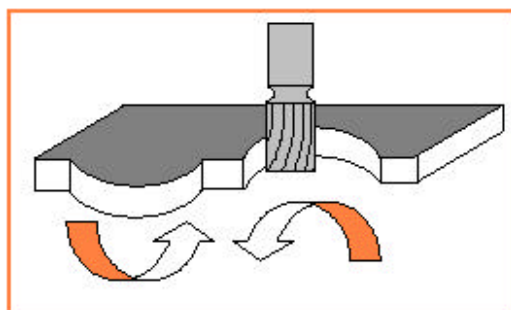


Figura 8.4 – Exemplo de interpolação circular horária e anti-horária

G04 - Tempo de Espera

A função G04 permite a interrupção temporária do programa CNC ativado.

G04 X_

G25 - Chamada de Sub-programa

A edição de um (ou vários) sub-programa é realizada após o programa principal, iniciando-se após o bloco programado com a função M30. No exemplo citado o sub-programa ativado é aquele que começa no bloco definido pelo endereço L (*LABEL*), no caso aquele que é iniciado no bloco (linha) N57. A partir de então a sub-rotina é executada, retornando-se ao programa principal com a programação da função M17 “Fim do sub-programa”.

G25L57

G64 - Motores de Passo Desativados

Os motores de passo são os dispositivos responsáveis pelo deslocamento da mesa e do cabeçote no qual está montada a ferramenta do centro de usinagem. Em atividades como a edição e simulação lógica de programação os motores de passo podem ser desativados, sem que haja qualquer consequência na compilação do programa.

G64

G65 - Gravar/Carregar Programa

O comando G65 torna possível a gravação de um programa, que é identificado por um número que pode variar de 0 a 99. O mesmo programa pode ser também carregado na memória da máquina através deste comando.

G65

G66 - Ativação de Interface Padrão

A função G66 estabelece uma conexão com uma interface padrão. Este dispositivo permite transferir informações (dados) a um outro equipamento, também dotado de uma interface. Isto torna possível a comunicação da fresadora CNC F1 com um microcomputador compatível, facilitando a edição, simulação e armazenamento de programas CNC para fresamento.

G72 - Ciclo Para Usinagem de Cavidades Regulares em Baixo Relevo

A usinagem de cavidades regulares (bolsões) em baixo relevo é uma operação rotineira em fresamento de metais. A função G72 compreende diversos comandos G01, que movimentando a ferramenta em “zig-zag” redundam na usinagem de rebaiços quadrados e retangulares de variados tamanhos. Este movimento exige a definição prévia das características geométricas da ferramenta, explicitadas na função **M06**. O comando G72 pode ser programado tanto no modo absoluto como no incremental, verificando-se alguns detalhes que são mostrados no desenho da Figura 8.5:

(a) modo incremental: posiciona-se a ferramenta para a usinagem da cavidade. As coordenadas X-Y-Z inseridas em G72 são as dimensões do bolsão mostrado no desenho, no caso:

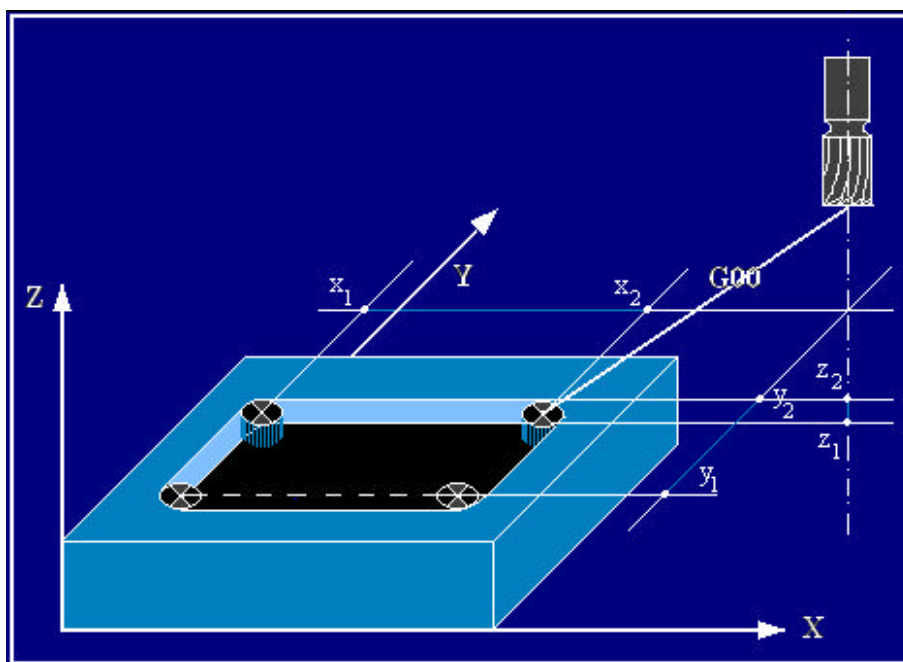


Figura 8.5 – Posicionamento rápido da ferramenta

G72 X_ Y_ Z_ F_#.

(b) modo absoluto: posiciona-se a ferramenta para a usinagem da cavidade. As coordenadas X-Y-Z inseridas em G72 são as dimensões do bolsão mostrado no desenho acrescidas do valor das coordenadas X-Y-Z do início do ciclo, no caso:

G00 X_ Y_ Z_#
N34 G72 X_ Y_ Z_ F_#

G81 - Ciclo de Furação

Esta função é usada em furação não profunda, nos materiais que formam cavaco descontínuo. Nesta função o comando libera os posicionamentos em avanço rápido em x e y simultaneamente. Uma vez a ferramenta atingindo esta meta, a máquina move-se em avanço rápido na direção do eixo das profundidades segundo a coordenada programada pela função “r” que é uma função auxiliar de posicionamento do eixo de profundidade. Quando o comando “r” for satisfeito a operação muda de avanço rápido para avanço de trabalho, com os valores de velocidade de corte e sentido de giro previamente selecionados. A sintaxe desta programação é a seguinte:

G81 X_ Y_ r_ Z_ F_ #

G82 - Ciclo de Furação Com Tempo de Espera

A instrução G82 faz com que a broca, atingida a profundidade desejada, permaneça imóvel por 0,5 segundo. Isto melhora o acabamento superficial na extremidade do furo. Como nos demais ciclos de fresamento, após a furação a broca retorna ao ponto de partida, no qual iniciou-se o ciclo G82.

G82 X_ Y_ r_ Z_ F_#

G83 - Ciclo de Furação Intermitente

A instrução G83 permite usinar furos de grande profundidade, empregando-se brocas helicoidais. A usinagem do furo é intermitente durante o ciclo, de modo que a broca é posicionada para fora do furo a cada etapa de furação. No retorno o cavaco aderido à superfície de saída da broca (helicoidal) é expelido, melhorando as condições de usinagem do furo. Como nos demais ciclos de usinagem após a furação a broca retorna ao ponto de partida, no qual iniciou-se o ciclo G83.

G83 X_ Y_ Z_ F#

G90 - Programação em Valor Absoluto

G90

Na utilização de valores X-Y-Z absolutos todos os pontos na programação referem-se a um sistema de eixos coordenados invariante, fixado normalmente numa das extremidades da peça

bruta mas de livre escolha pelo programador. A fixação do ponto zero (origem) desse sistema de coordenadas é efetuada com a função G92. A desativação do sistema de coordenadas absolutas é realizada pela função G91.

G90#

G91 - Programação Em Valor Incremental

G91#

Na utilização de valores X-Y-Z incrementais o sistema de referência utilizado na programação está fixado sobre a ferramenta, a qual se desloca rotineiramente. O sistema de referência adotado pela fresadora CNC EMCO F1, por *default*, é incremental. Pode ser desativado através das funções G90 ou G92. Caso haja mudança do sistema de coordenadas (incremental para absoluto) durante a execução do programa é necessária a especificação de um novo ponto de referência, através da função G92.

G92 – Definição da Origem do Sistema de Coordenadas X-Y-Z

Esta função ativa o modo de programação em coordenadas absolutas. Normalmente é utilizada na definição do ponto de partida da ferramenta (PST - *Point Starting Tool*) ou quando houve a mudança do sistema de coordenadas (incremental para absoluto).

G92 X_ Y_ Z_#

G94 - Velocidade de Avanço em Milímetros Por Minuto [pol./min].

Esta função faz com que a máquina interprete os valores de avanço, identificados pelo endereço F, em milímetros por minuto (ou polegadas por minuto).

G94#

G95 - Avanço em Milímetros por Rotação [pol./rot].

G95#

Esta função faz com que a máquina interprete os valores de avanço, identificados pelo endereço F, em milímetros por rotação (ou polegadas por rotação). A entrada de dados corresponde a milésimos de milímetro por volta.

Na figura 8.6 tem-se um fluxograma de um programa CNC para um centro de usinagem vertical.

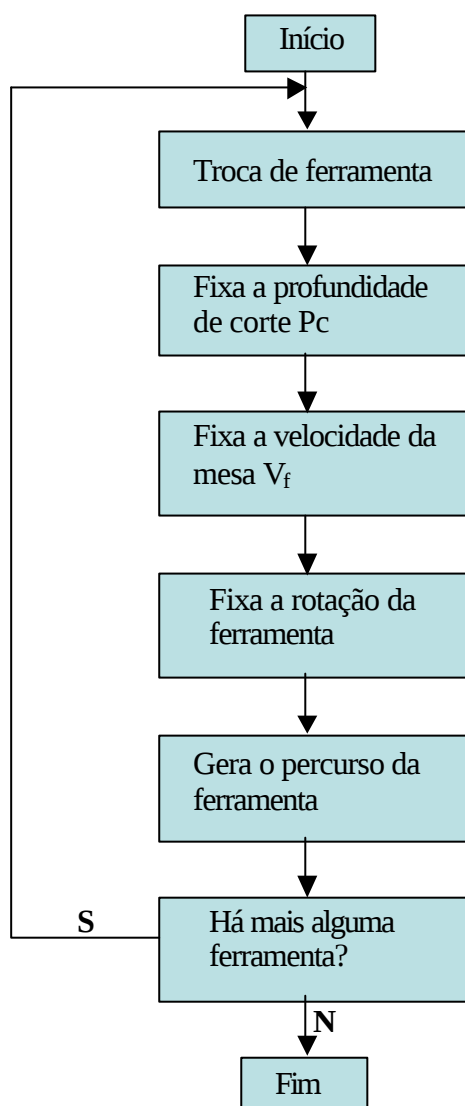


Figura 8.6 – Fluxograma de um programa CNC

8.4 Etapas a Serem Seguidas Para a Elaboração de Um Programa CNC

A elaboração de um programa CNC é feita, seguindo as seguintes etapas: início do programa, troca de ferramenta, seleção do modo de trabalho (velocidade de corte ou rotação constante) geração do percurso da ferramenta e final de programa. As etapas para a execução de um programa serão mostradas a seguir.

INÍCIO

; _____# (Nome do Programa)

TROCA DE FERRAMENTA

T00; _____# (Comentário da Próxima Operação)

G00X____ Y____ Z____# (Ponto de Troca da Ferramenta)

T____# (Número da Próxima Ferramenta)

M06# (Libera o giro da torre)

M____# (Faixa de Rotação)

VELOCIDADE DE CORTE CONSTANTE

G96# (Velocidade de Corte Constante)

S____# (Valor da velocidade de Corte)

8.45 Preparação dos Equipamentos de Usinagem nas Máquinas CNC

Após a preparação do programa CNC para a usinagem das peças, baseado no desenho da mesma, é necessário introduzir esta rotina na memória da unidade de processamento. Isto pode ser feito através do teclado situado no painel frontal da máquina ou pelo carregamento (downloading) via cabo, utilizando a interface de integração (função G66 ativa). Os programas de edição instalados em microcomputador normalmente dispõem de recursos para simulação gráfica do programa elaborado, tornando seu uso mais seguro e com menor possibilidade de erro.

Instalado o programa CNC na memória da máquina é necessário realizar o referenciamento das ferramentas que serão utilizadas na fabricação da peça. Este procedimento permite determinar as diferenças geométricas entre as mesmas. No fresamento as diferenças no diâmetro e no comprimento das ferramentas devem ser determinadas. O procedimento mais simples e usual para essa finalidade é o tangenciamento. Nesse caso a ferramenta padrão risca a peça, definindo-se assim a “cota zero” da espessura da peça bruta (normalmente vinculada ao eixo Z, caso de centro de usinagem vertical). As diferenças no comprimento das demais ferramentas a serem empregadas são obtidas de maneira análoga. Os resultados conseguidos são inseridos no comando de troca (M06), juntamente com os respectivos raios.

Após o referenciamento das ferramentas determina-se o ponto zero da peça bruta, correspondente à origem do sistema de coordenadas X-Y-Z. Feito o tangenciamento com a ferramenta padrão deslocando-a manualmente sobre o eixo X, até tocar a face no plano Y-Z descontando-se o raio da ferramenta, obtém-se assim a coordenada X do ponto zero (Figura 8.7). De maneira análoga sobre o plano X-Z obtém-se a coordenada Y do ponto zero da peça e sobre o plano X-Y a coordenada Z. Deve-se enfatizar que nos centros de usinagem verticais a coordenada Z é obtida diretamente. Os valores dessas coordenadas deverão ser inseridos na memória do comando numérico.

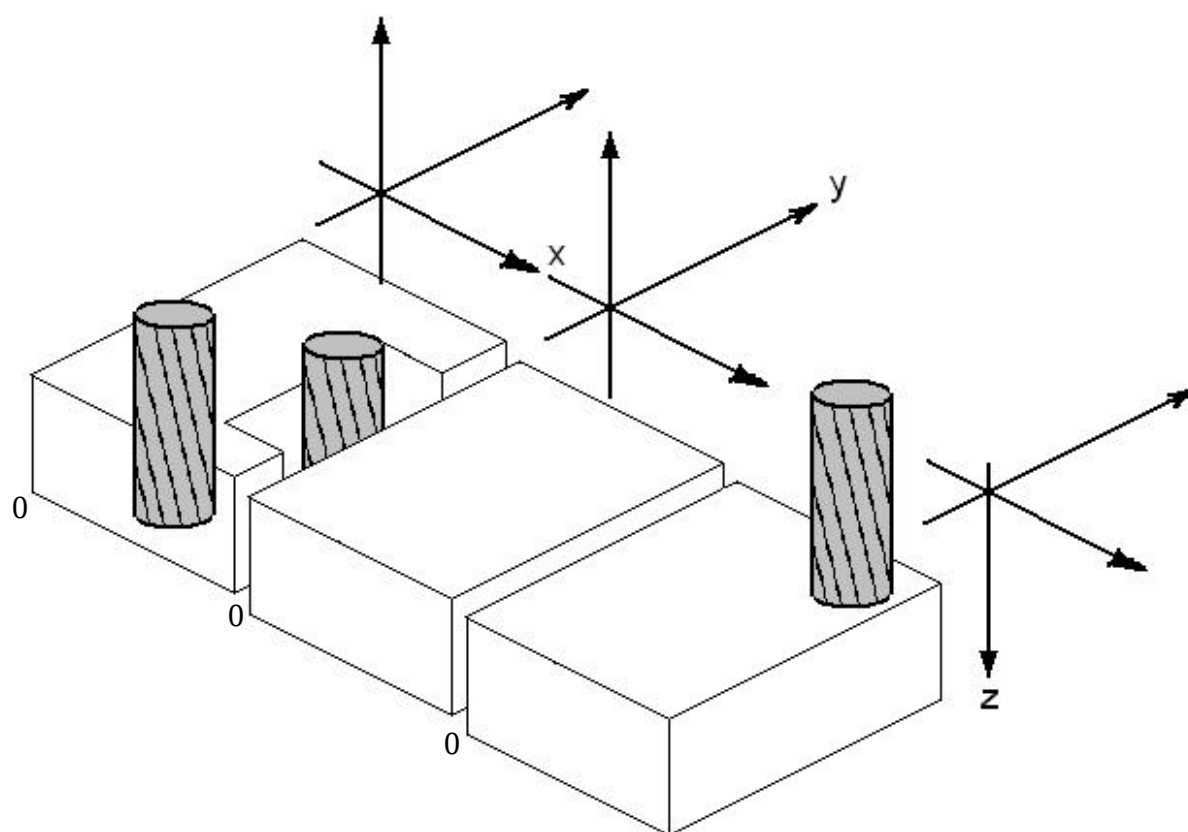


Figura 8.7. - Referenciamento da peça bruta no centro de usinagem CNC através do tangenciamento da ferramenta de corte nos planos ortogonais formados pelos eixos X-Y-Z.

9. CONCLUSÕES

A metodologia apresentada neste trabalho visou fornecer os subsídios necessários para que um programador possa desenvolver um software que realize a integração entre os processos CAD/CAAP/CAM para manufatura em máquinas de três eixos.

Nele foram mostrados os procedimentos a serem seguidos para o desenho da peça bruta, da peça final e do sólido que compõem o volume a ser retirado em forma de cavaco. A orientação para a divisão do sólido a ser retirado em forma de cavacos, em sub-volumes menores e mais simples, criou a condição de poder armazenar as informações destes sub-volumes em forma de grafo na memória do computador, que fará a interface entre os processos CAD/CAAP/CAM/CNC, de modo que, através de testes com perguntas específicas possa-se a partir das respostas, identificar via computador que tipo de operação deve ser executada. Cada tipo de sub-operação de fresamento pôde ser identificada através de códigos gerados pelas respostas às regras de reconhecimento dos mesmos. Estes códigos são compostos pelos caracteres “1”, “0” e “x” (um, zero e x) e possuem treze campos.

Para proceder ao reconhecimento das operações de usinagem, foi inicialmente feita uma listagem das operações possíveis de ser realizadas em um centro de usinagem CNC de eixo vertical. Para a execução do planejamento dessas operações, fez-se necessário à definição dos dados geométricos e dos dados tecnológicos do sistema para geração automática do programa NC. Os dados tecnológicos apresentados foram as informações referentes à central de usinagem vertical **CNC Discovery, 4240** de fabricação das **Indústrias Romi S/A**. Além destes o procedimento para determinação do número de “set-up’s” para a fabricação da peça, o seqüenciamento das operações de usinagem, informações sobre escolha de ferramentas de corte, sistemas para fixação de peças etc., também foram descritos os parâmetros de corte nas operações de fresamento tais como, parâmetros de Taylor e Kienzle, os dados das ferramentas de corte, como, tipos, ângulos, número de dentes, faixas de avanços e penetração admissíveis, e os dados da máquina, como, campo de trabalho possível de ser utilizado (curso dos três eixos), faixas de rotações, potência motor, entre outros. Também foi levado em consideração a variação do tipo de material da peça a ser usinada que influencia diretamente o número de passes com que as operações devem ser realizadas, uma vez que suas propriedades mecânicas influenciam os parâmetros de Kienzle e com isto a potência de corte. A maneira de se obter estes parâmetros também foi abordada com a finalidade de se criar um banco de dados para determinação automática dos mesmos. Os procedimentos para a determinação automática do código CN também foram apresentados.

Com estes procedimentos, o programador tem à sua disposição uma grande contribuição para o desenvolvimento de um software que permita a integração entre os sistemas CAD/CAAP/CAM a partir dos elementos do planejamento do processo gerando o programa CNC em função de dados otimizados.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTING, L., ZHANG, H. E LENAU, T., 1988, "XPLAN - An Expert Process Planning System and Its Further Development", em 27th International MATADOR Conference, UMIST, Reino Unido, 20-21 abril.
- AMORIM, ERALDO. – Processo de fabricação por Usinagem – Fresamento, DEMEC/UFRGS Porto Alegre, 20 p., agosto de 2003.
- AMORIM, ERALDO. – Processo de fabricação por Usinagem – Aspectos Econômicos da Usinagem, DEMEC/UFRGS Porto Alegre, 20 p., agosto de 2003.
- BATISTA, E.A.; COPPINI, N. L.; Sistema especialista para otimizar processos de usinagem e aumentar os lucros. Máquinas & Metais, MM editora, p.154 – 163, agos./2003.
- BATISTA E. A.; Desenvolvimento de um sistema especialista para otimização do processo de usinagem. Dissertação de mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa bárbara d'Oeste, SP, 194 p., 200.
- BERNARDO,V & COPPINI, N. L. Inteligência Artificial Aplicada á Otimização das Condições de Usinagem, Máquinas & Metais, MM editora, p.76 – 87, out/1996.
- BORTOLO, M. G. D.; Integração CAD/CAE/CAM na produção de compressores, Máquinas & Metais, MM editora, p.110 – 118, out./2002.
- BRUNE, OSMAR.;Comando numérico computadorizado parte 2, Mecatrônica Atual, ed. Saber, p 55-59 agos. 2002.
- BRUNE, OSMAR.;Comando numérico computadorizado parte 4, Mecatrônica Atual, ed. Saber, p 54-58 jane. 2003.
- CATALOGO SANDVIK, 2001/2002, “Ferramentas rotativas” ,750p.
- CAVALCANTE, P.R., Interface CAD/CAPP Aplicada a Sólidos de Revolução com Geração de Grafos para uma Abordagem Generativa, Dissertação de Mestrado da UFPE, Recife, 2001.
- FERREIRA,J.C.E.;STRRIOTTO, C.R.K.;BUTZKE, A. V. Parâmetros de Usinagem e Geração de Programa NC em CAD/CAPP/CAM, Máquinas & Metais, MM editora, p.54 – 63, jun/1999.
- FERRARESI,D. Fundamentos da Usinagem dos Metais, 8ª ed. São Paulo, Ed.Edgard Blücher Ltda,1990 751p.
- FREIRE,J.M.; Tecnologia Mecânica, vol. 2. Editora Livros Técnicos e Científicos, 1976.
- FREIRE,J.M.; Tecnologia Mecânica, vol. 4. Editora Livros Técnicos e Científicos, 1976.

FREITAS, P.H.F.& BATOCCHIO, A. Planejamento de Processo a Partir de um Sistema que Usa Informações de CAD, Máquinas & Metais, MM editora, p.91 – 97, mai/1997.

FRENCH, TOMAS E.& VIERCK CHARLES J. Desenho Técnico e Tecnologia Gráfica 2ª ed. 1093p.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Numerical Control of Machines – Program Format and Definitions of Address Words, Suíça, n. 6983/1, 1982.

KIEF, H. B. 7 WATERS, T. F. Computer Numerical Control, A CNC reference guide, Westerville, Glencone, 1992, 418 p.

IRANI, S. A.; KOO, H. –Y.; RAMAN, S. Feature-Based Operation Sequence Generation in CAPP, International Journal of Production Research, Taylor & Francis Ltd, 33 (1): 17-39, 1995

MACHADO, A. Comando Numérico Aplicado as Máquinas-Ferramentas, 4ª ed., São Paulo, Ed. Ícone, 1990. 461 p.

MESQUITA, N.G. M., Avaliação e Escolha de Uma Superfície Segundo Sua Função e Fabricação, Tese de Doutorado da UFSC, Florianópolis, 1992.

MITSUBISHI CARBIDE, 1999, “HERRAMENTAS e INCERTOS, 478 P.

OLIVEIRA, L.C.; LASCHUK, A.; CAMARGO, L.F.S. Alternativas de Sistemas de Auxílio a Programação CNC, Máquinas & Metais, MM editora, p.112 – 120, dez/1997.

OLIVEIRA, L.C.; MICHELLOTTI, A.; LIMA, E.; PEVETA, R. Geração de sequência de Usinagem a Partir de Geometrias Criadas em CAD. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 1997. Anais.

RESENDE, D.F.; Planejamento de processo de fabricação assistido por computador através de um sistema especialista baseado na tecnologia de features: um modelo de desenvolvimento voltado para a realidade industrial. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, setembro 1996.

ROMI, Programação e Operação de Centros de Usinagem; Manual de Treinamento 65 p

SCHÜTZER, K. Detalhamento orientado para a fabricação como base para a integração de um sistema CAD/CAPP, Máquinas e Metais, MM editora, p.106 – 114, maio, 1997.

SILVA, EMILIO CARLOS NELLI – CAD/CAE/CAM, Mecatrônica Atual, ed. Saber, p 38-47 outub. 2001.

SILVA, N.A. & BATOCCHIO, A. O Modelamento Baseado em Features Leva à Integração entre Projeto e Manufatura, Máquinas & Metais, MM editora, p.89 – 101, dez/1997.

SCHROETER, R.B.; MANGONI, C.; AMORIM, D.G. Máquinas & Metais, MM editora, p.143 – 157, jun/2003.

STEMMER, C.E.; Ferramentas de Corte 1, 4ª ed. Editora daUFSC, Florianópolis, 1995.

PANSIEIRA, P. E.; O CNC administrando os eixos da máquina. Mecatrônica Atual, ed. Saber, p29-35 out. 2002.

THOMAS, K. K. & FISHER, G.W. Integrating CAD/CAM Software for Process Planning Applications, Journal of Materials Processing Technology, 1996

TRAUBOMÁTIC, Técnicas Operacionais de Comando Numérico, Editora Pedagógica e Universitária 176p.

VALPARTO, NÉRI.; Modelamento e geração de programa CNC par usinagem de moldes. Máquinas & Metais, MM editora, p.62 – 76, jan../1995.

VAN HOUTEN, F.J.A.M., 1991, "A Computer Aided Process Planning System", Tese de Doutorado, University of Twente, Enschede, Holanda, maio.