



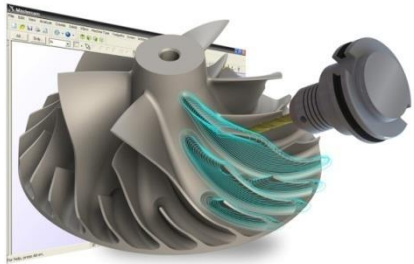
Curso de Graduação em Engenharia Mecânica

Manufatura Assistida por Computador (SEM-0350)

SISTEMAS CAM

Prof. Dr. Alessandro Roger Rodrigues


SISTEMAS CAM



%10
N10 G00 Z100 T1
N20 G94 G90
N30 G00 X32 Z4 S2000 M03 M08
N40 G01 Z0 F400
N50 X-1
N60 G00 X26 Z1
N70 G01 Z-30 F400
N80 X32
N90 G00 Z2
N100 G01 X22 F1200 S2980
N110 Z-21 F600



Sumário

- 
1. Sistemas CAM
 2. Fresamento usando sistemas CAM
 3. Simulação da usinagem
 4. Trajetórias em sistemas CAM
 5. Interpolação linear e circular
 6. Interpolações polinomiais
 7. Pós-processamento
 8. Conhecimento do usuário CAM

1. Sistemas CAM




Definição: Sistemas computacionais que auxiliam a criação de programas para máquinas CNC.

Emprego: operações de fresamento, torneamento, furação, eletroerosão, retificação, corte, soldagem, conformação, medição, etc.

Destaque: fresamento (formas geométricas complexas).

1. Sistemas CAM



Antigamente: modelo artesanal em resina + fresa copiadora = longo tempo de fabricação, baixa precisão dimensional e baixa qualidade de acabamento superficial.

Aplicações: indústrias aeronáutica, automobilística, moldes e matrizes, etc.

Integração: pacotes CAD 3D / CAM ou independentes (importação IGES, STL, VDA-FS, etc). Aplicações simples = CAD 2D.

1. Sistemas CAM

Desenvolvimento:

1950: criação do CNC

1970: significativo

1980: aplicações industriais

1990 - 1995: computadores pessoais (erros nas trajetórias, cálculos lentos, *batch processing*, simulações onerosas/imprecisas, dificuldade na criação de fronteiras, baixa variedade de trajetórias, poucas opções de desbaste e acabamento, dificuldade na criação de pós-processadores)

> 1995: empresas sem plataformas CAD/CAM/CNC = fracasso

1. Sistemas CAM



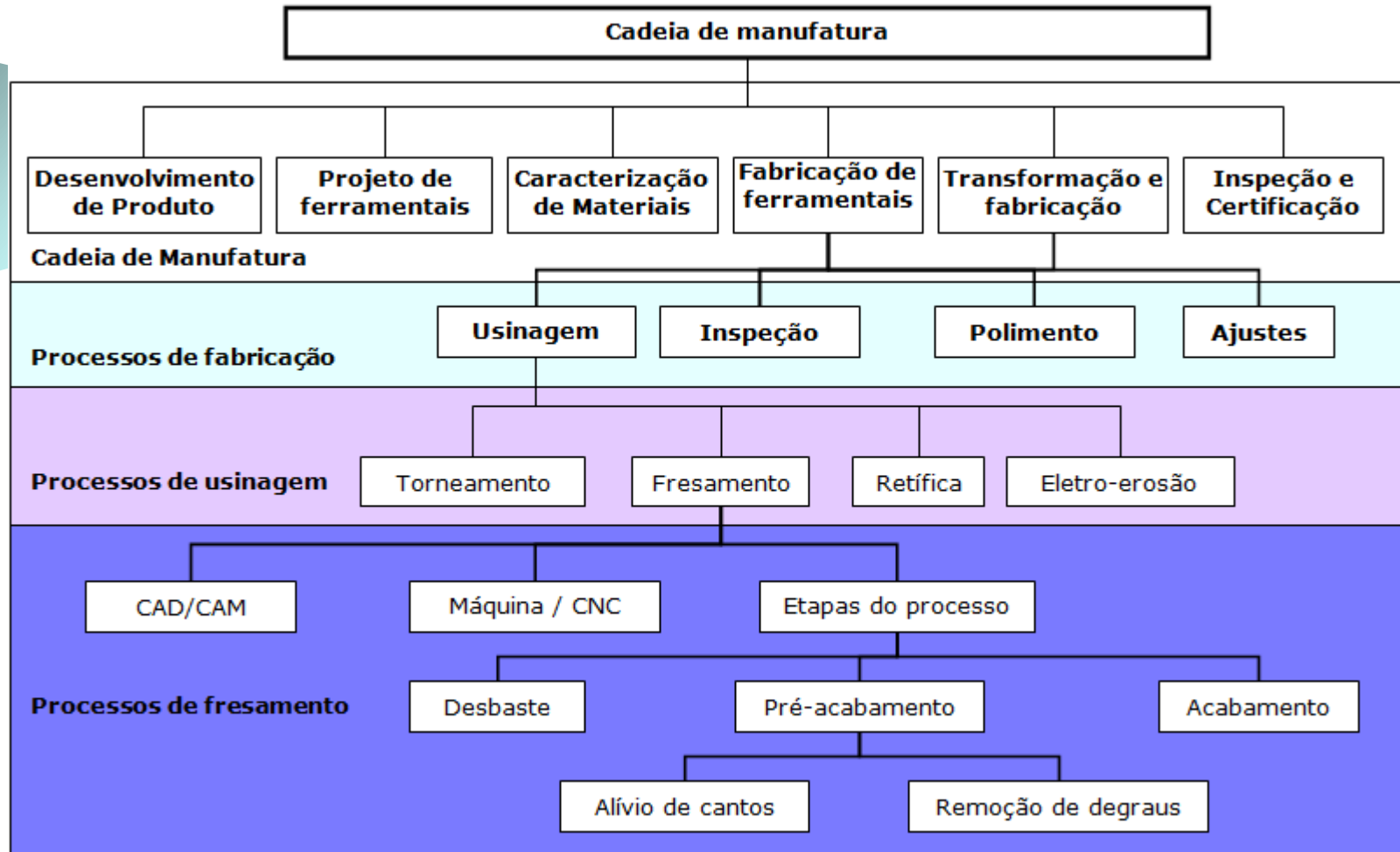
Atualmente:

Ápice quanto ao cálculo das trajetórias e simulações em 3 eixos

Tendência: melhorias em máquinas com 5 eixos simultâneos

Comparação: 5 eixos hoje = 3 eixos em 1995

2. Fresamento usando CAM



2. Fresamento usando CAM

Procedimento geral de trabalho:

Gerar ou ter o modelo geométrico CAD

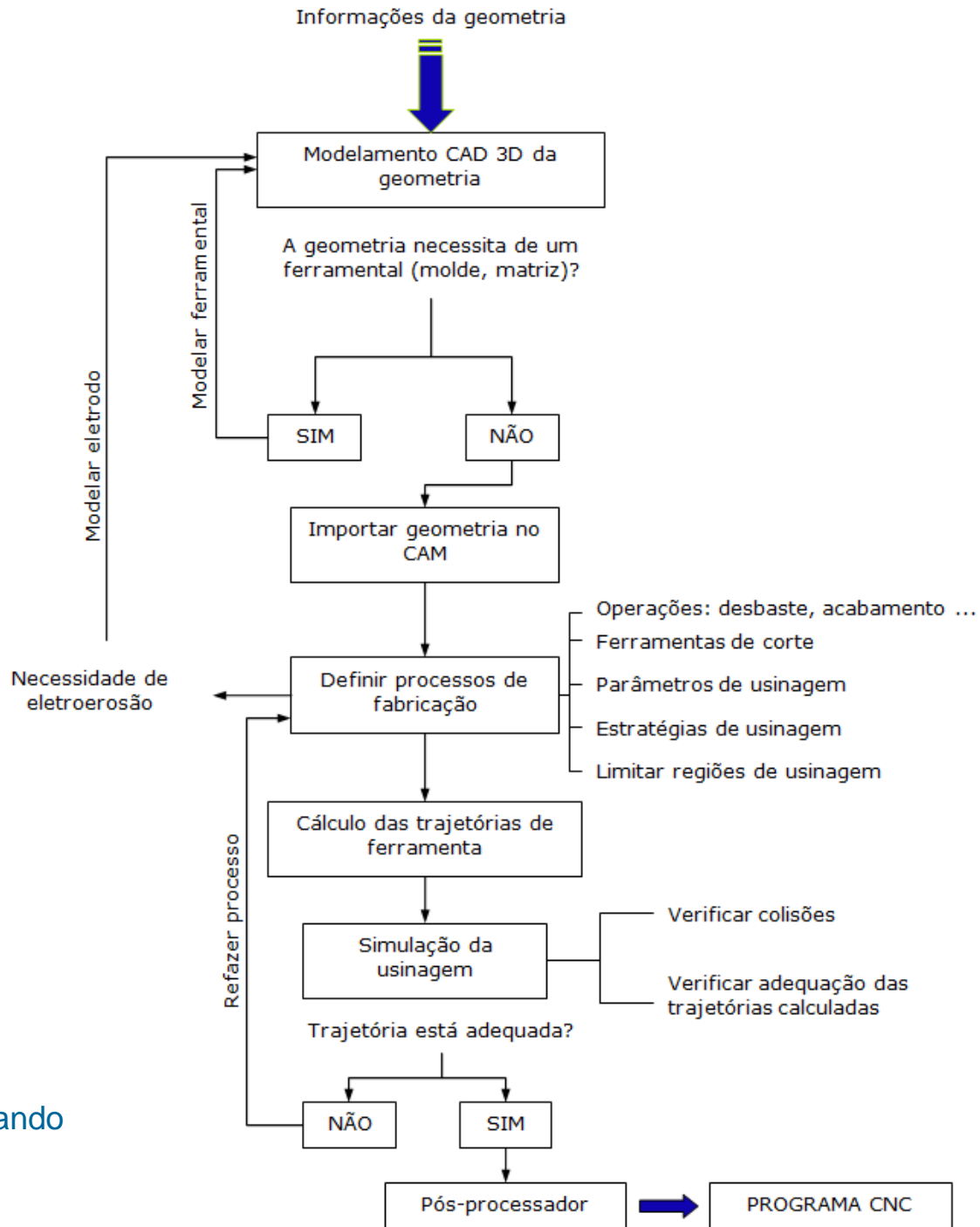
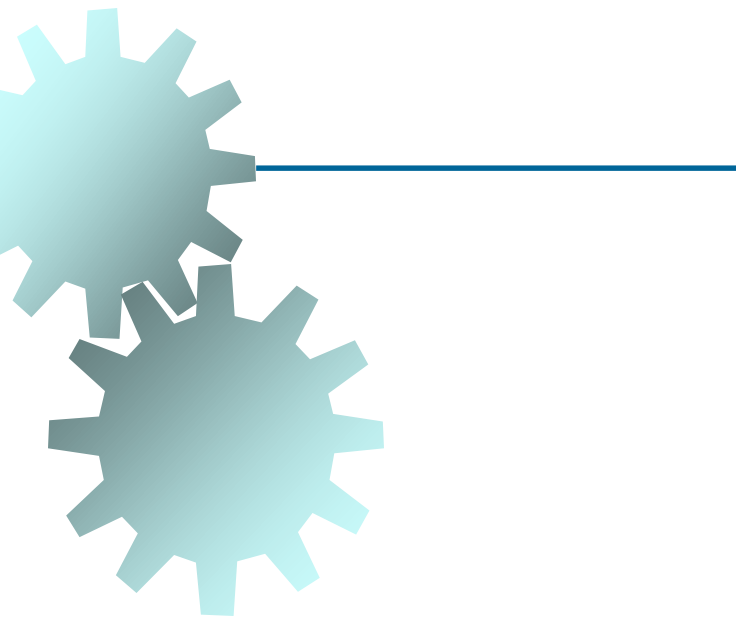
CAD é usado pelo CAM para cálculo das trajetórias da ferramenta

Percurso da ferramenta simulado e codificado em comandos

Transformação dos percursos em acionamentos pela máquina

Funções principais do CAM:

1. Calcular as trajetórias de movimentação
2. Simular a usinagem
3. Gerar os programas CNC



Metodologia geral de trabalho empregando sistemas CAM

2. Fresamento usando CAM

Dados de entrada: informações iniciais + complementares

Iniciais:

a) GEOMETRIA A SER USINADA:

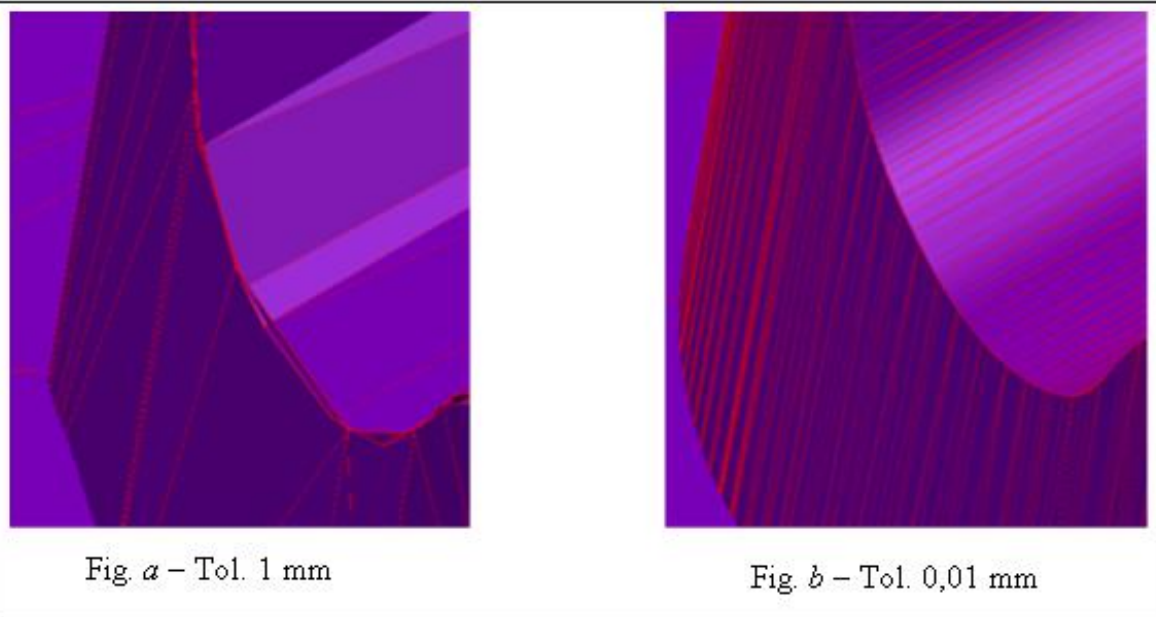
Mesmo software CAD/CAM (sistemas de grande porte)

Softwares distintos do mesmo fornecedor (*stand alone*)

Software e fornecedores distintos (IGES, STEP, triangularização*, etc)

*Triangularização: dificuldade em representar geometrias complexas. Quanto menor a tolerância de triangularização, maior o esforço computacional. A malha de triângulos é diferente da usada em CAE.

2. Fresamento usando CAM



Triangularização: malha gerada com diferentes tolerâncias

2. Fresamento usando CAM

b) DEFINIÇÃO DA FERRAMENTA DE CORTE:

Biblioteca de ferramentas com formas e dimensões

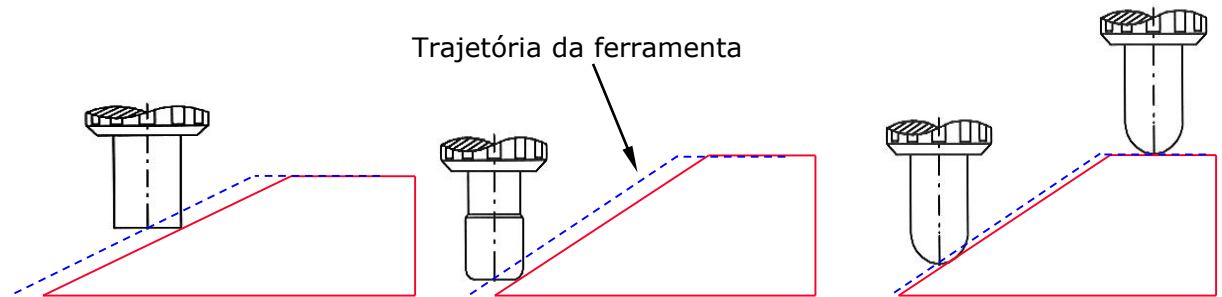
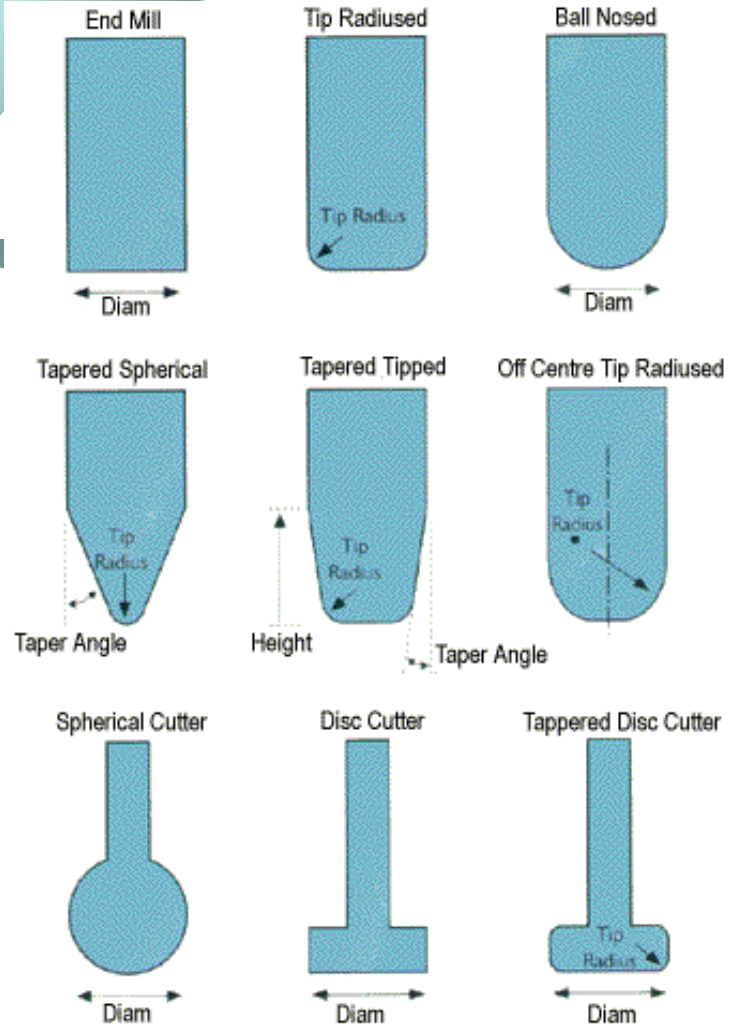
Especificação das ferramentas adequadas pelo usuário (desbaste: fresas de cantos arredondados, acabamento: fresas de ponta esférica).

Trajетórias dependem da geometria da ferramenta (ponta central)

c) DEFINIÇÃO DAS REGIÕES A SEREM USINADAS:

Peça inteira x regiões específicas (depende da operação a ser realizada)

2. Fresamento usando CAM



Diferentes trajetórias sobre a mesma geometria da peça

Diferentes ferramentas

2. Fresamento usando CAM

Complementares:

a) ESTRATÉGIA DE CORTE:

Formato geométrico e topológico que a ferramenta deve seguir.

Grande variedade de opções via software CAM.

Depende da geometria da peça (áreas planas, inclinadas, verticais, raios, etc).

b) PARÂMETROS DE CORTE:

Profundidade (a_p) e largura de usinagem (a_e) [mm]

Rotação da ferramenta (n) [rpm]

Velocidade de avanço (v_f) [mm/min], onde $v_f = f_z \times z \times n$

Obs: f_z e n não influem na trajetória da ferramenta

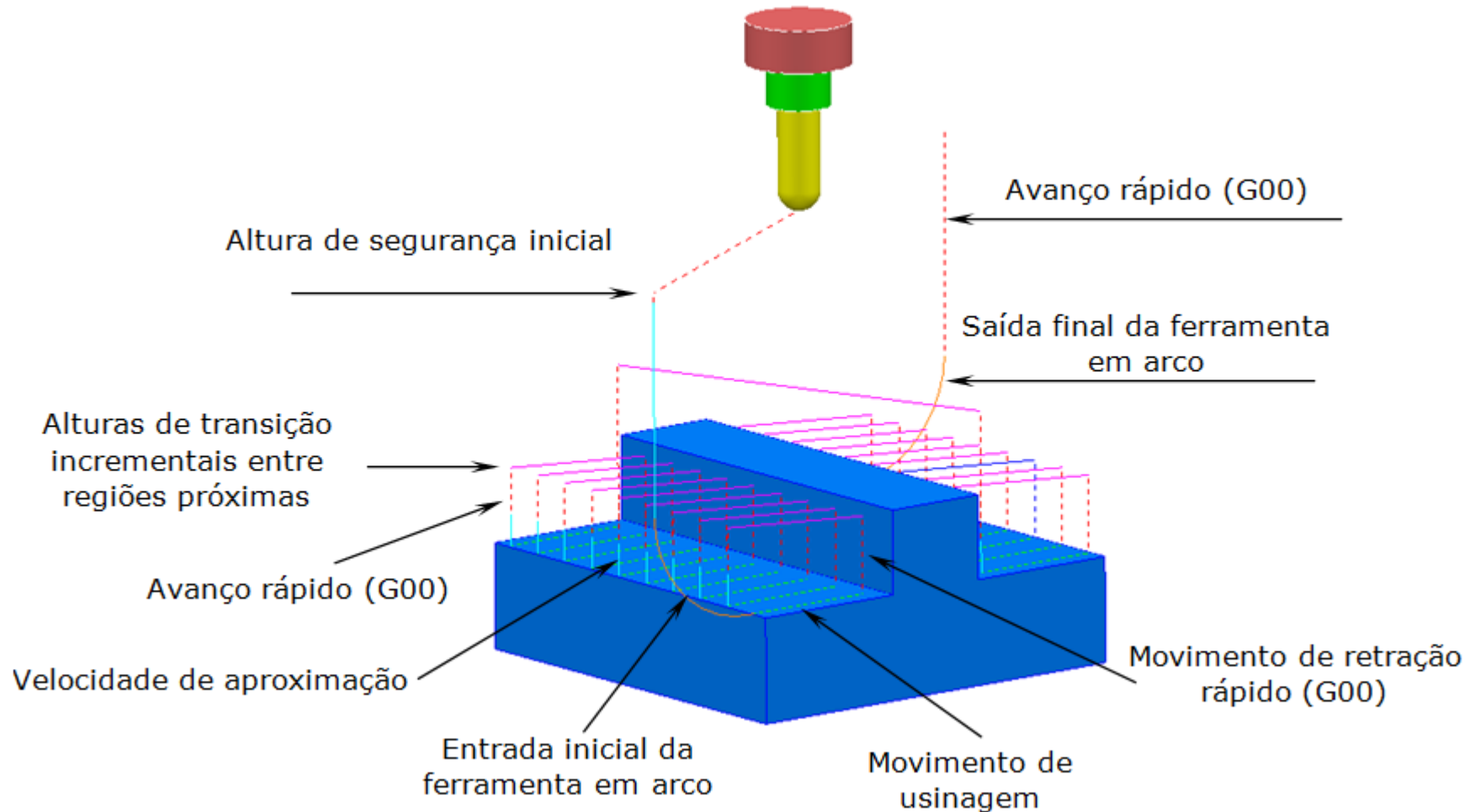
2. Fresamento usando CAM

c) MOVIMENTAÇÃO DA FERRAMENTA:

São 4 situações diferentes

1. Corte: remoção de material com velocidade de avanço programada (código F do programa CNC).
2. Avanço rápido: reposicionamento ou troca de ferramenta (código G0 do programa CNC). Pode-se definir alturas e movimentos de retração.
3. Aproximação: G0 + velocidade reduzida próxima à peça + trajetórias suaves (tangentes, circulares, etc.)
4. Retração: retração suave (tangentes, circulares, etc.) + G0.

2. Fresamento usando CAM



Movimentos da ferramenta no processo de usinagem

2. Fresamento usando CAM

USINAGEM DE CAVIDADES:

(a) Mergulho, (b) em rampa e (c) em círculos

Inclinação da rampa e diâmetro do círculo são definidos pelo usuário.

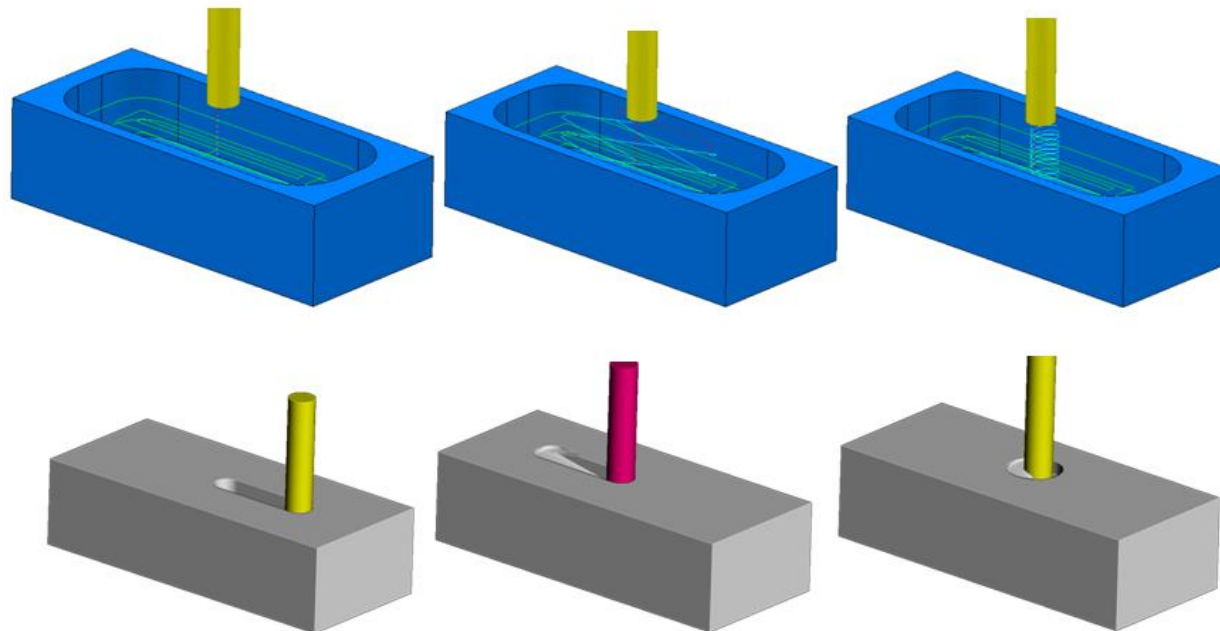


Fig (a)

Fig. (b)

Fig (c)

2. Fresamento usando CAM

PROGRAMAÇÃO CNC VIA SOFTWARE CAM:

Classificação: desbaste, pré-acabamento, alívio de cantos e acabamento

Para cada uma, há técnicas e peculiaridades de programação CAM

Desbaste:

Pode ocorrer de um (a) bloco ou (b) matéria-prima pré-formada

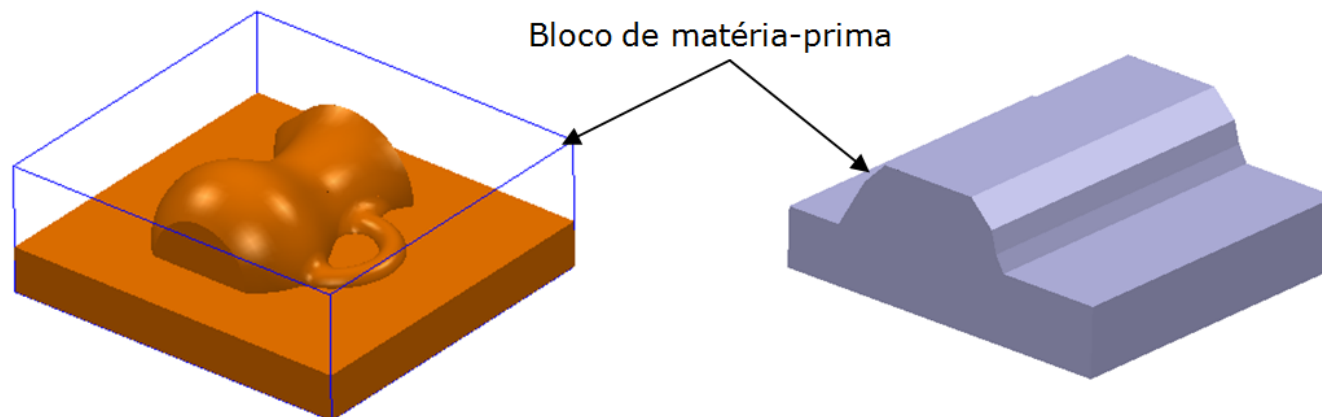


Fig. a: Matéria-prima em formato cúbico

Fig. b: Matéria-prima pré formada

2. Fresamento usando CAM

Desbaste:

Executado empregando movimentações em 2 ½ eixos.

Deixa-se um sobremetal (teórico) para acabamento definido pelo usuário (*offset* da geometria final da peça).

Além do sobremetal, o desbaste gera material excedente na forma de degraus e cantos não usinados.

O pré-acabamento tem por objetivo remover o material excedente (aproximar do sobremetal teórico).

2. Fresamento usando CAM

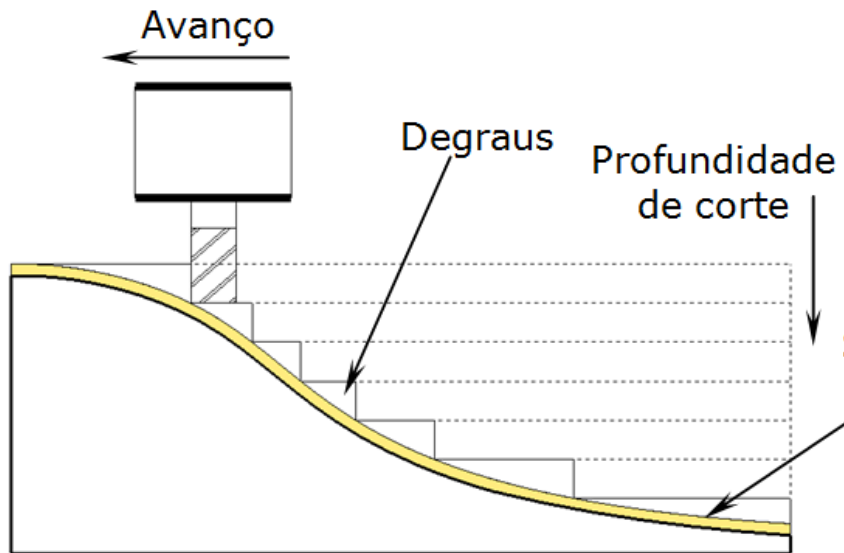


Fig. a: Degraus após desabaste

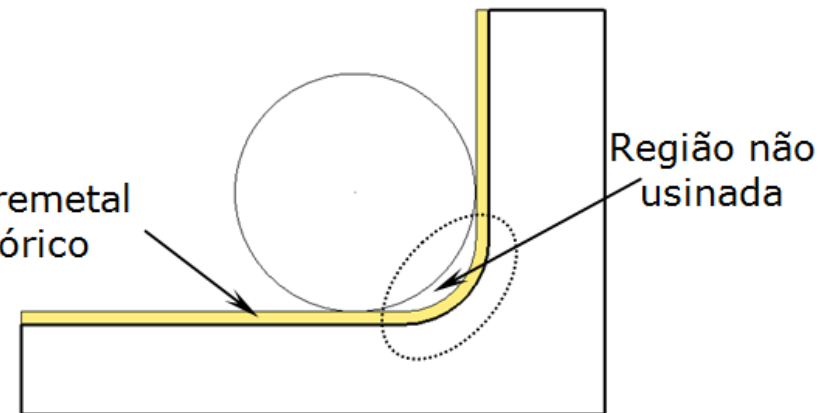


Fig. b: Material nos cantos

Sobremetal real e teórico

2. Fresamento usando CAM

Desbaste: pode ser realizada na superfície total da peça ou por blocos.

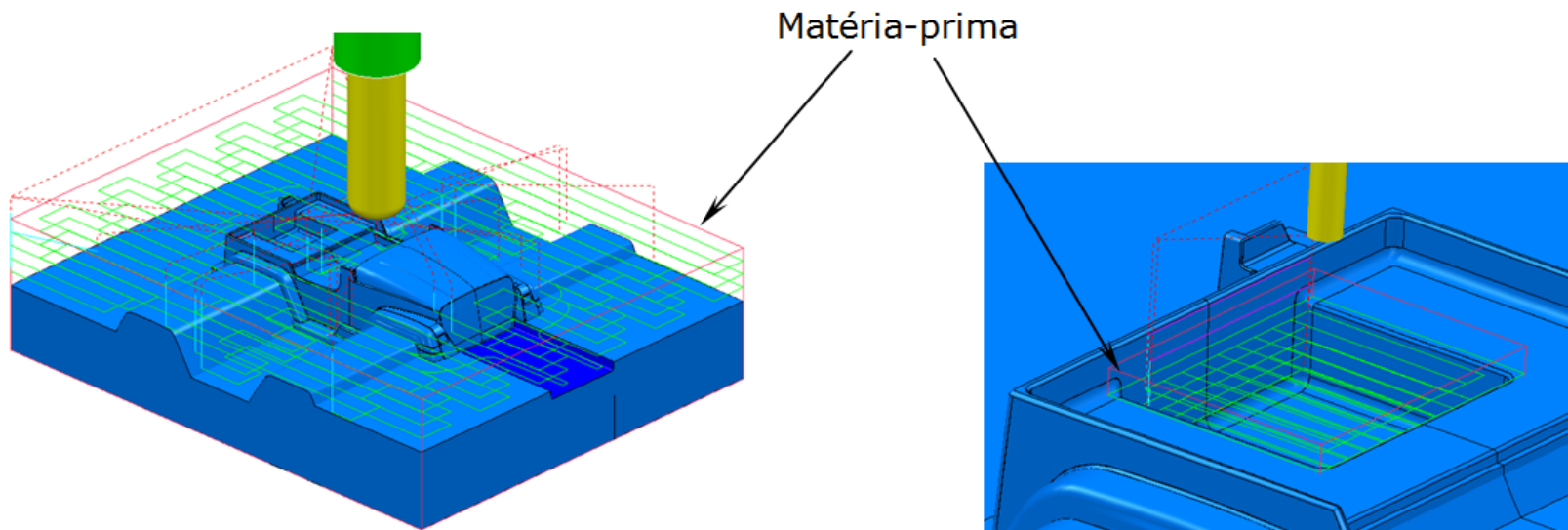


Fig. a: Usinagem total da geometria

Fig. b: Usinagem limitada pelo bloco

2. Fresamento usando CAM

Desbaste: Diferentes caminhos da ferramenta repercutem no tempo de usinagem, força de corte e acabamento da peça.

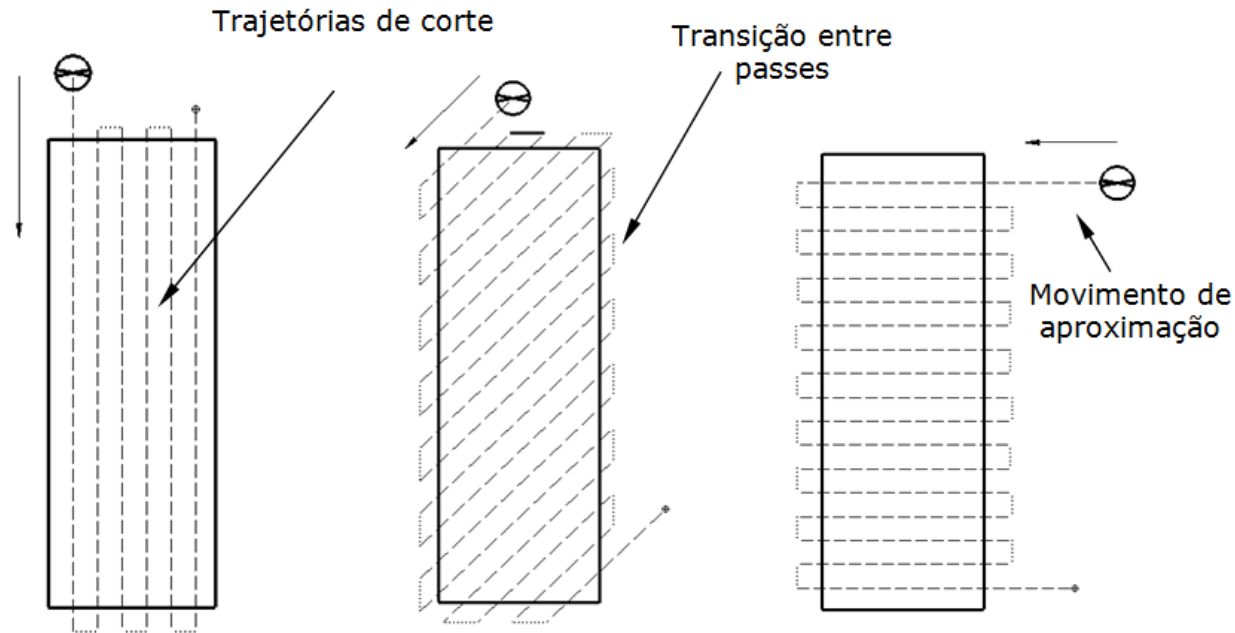


Fig.a: Trajetórias longitudinais

Fig.b: Trajetórias diagonais

Fig.c: Trajetórias transversais

Trajetórias em passes paralelos

2. Fresamento usando CAM

Desbaste: (a) trajetórias em *off-set*, (b) contorno interno e (c) externo.

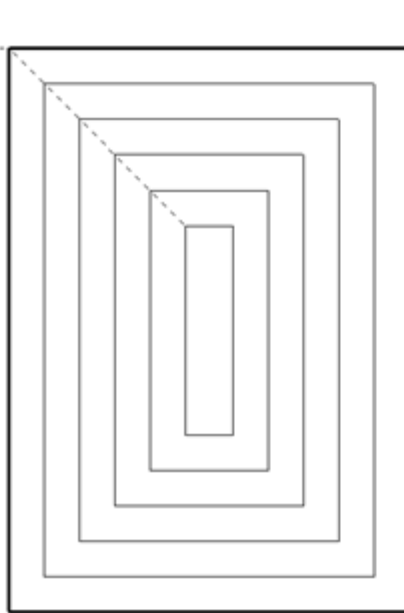


Fig. a

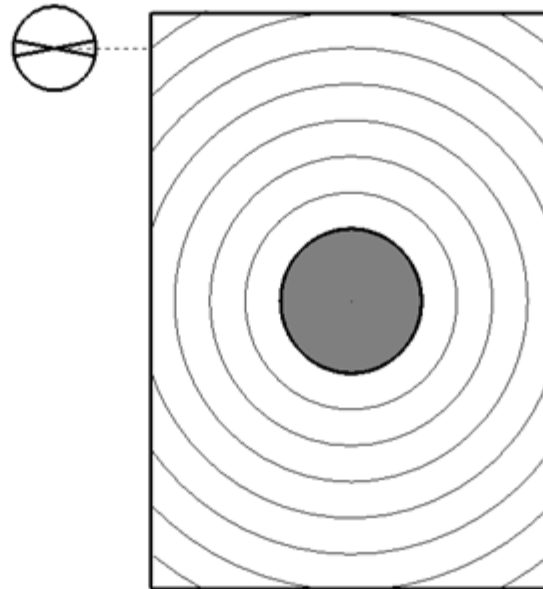


Fig. b

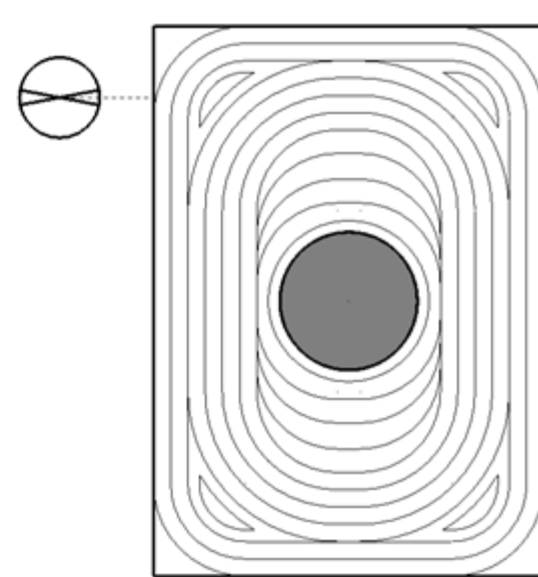
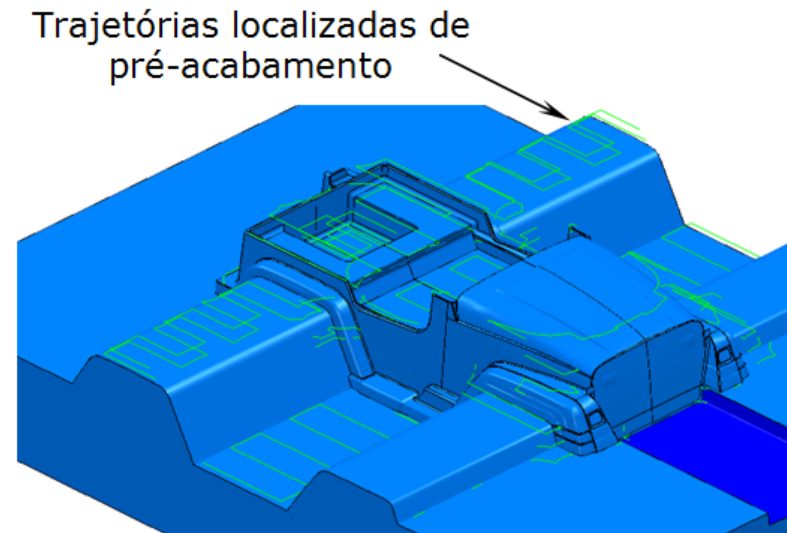
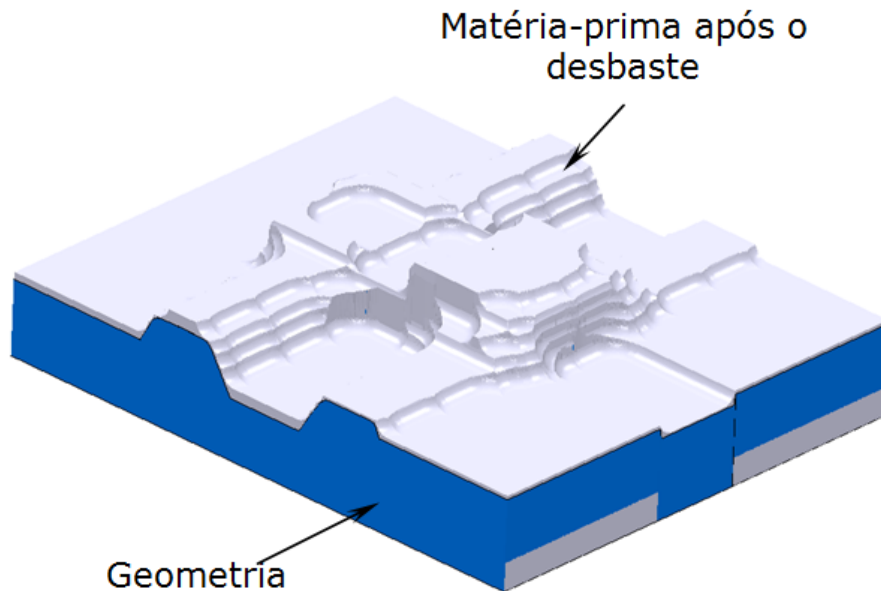


Fig. c

2. Fresamento usando CAM

Pré-acabamento: remoção de degraus e alívio de cantos por identificação automática em alguns sistemas CAM.

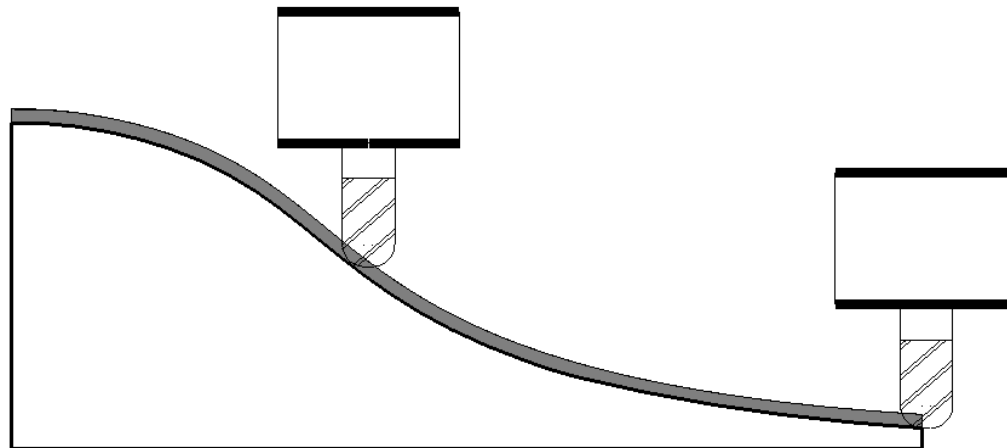


Metodologia para definir o pré-acabamento

2. Fresamento usando CAM

Acabamento: usinagem CNC 3D em 3 a 5 eixos visando finalizar o fresamento.

A profundidade de usinagem passa a ser o valor do sobremetal.



Profundidade de usinagem no acabamento

2. Fresamento usando CAM

Acabamento: há diferentes estratégias de usinagem

a) Passes paralelos horizontalmente constantes:

Um dos primeiros algoritmos (zig-zag ou *raster*)

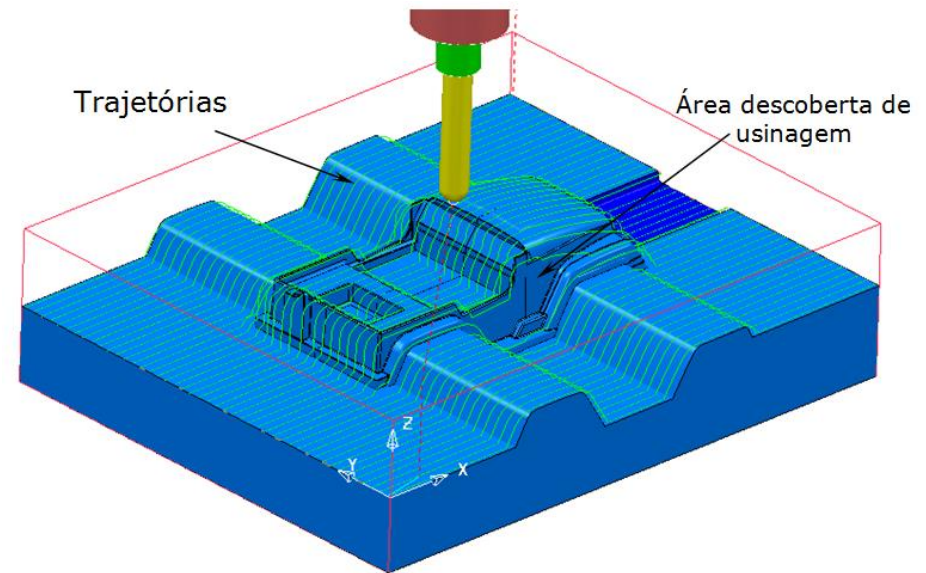
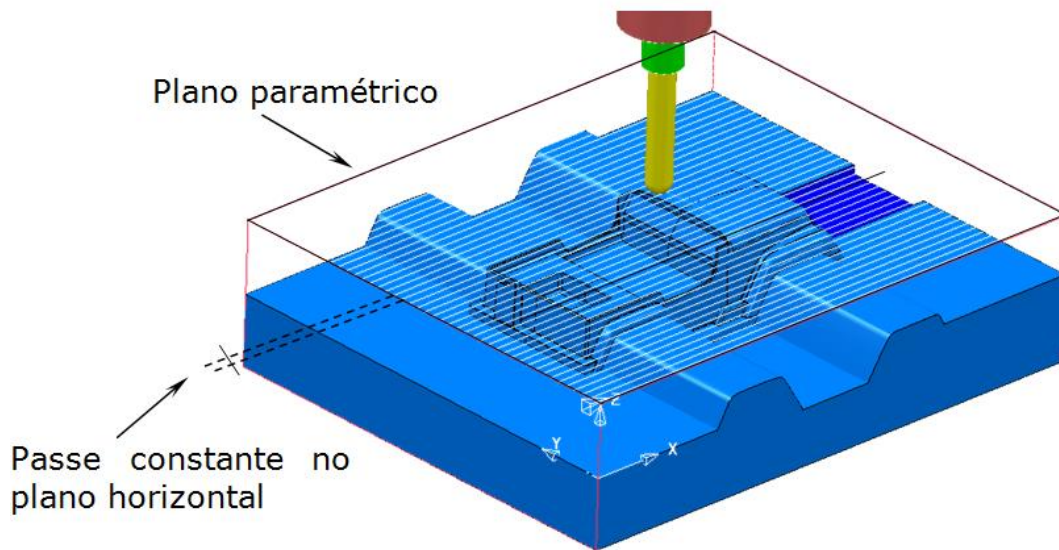
Trajetórias espaçadas igualmente e projetadas sobre a peça

Adequada para regiões planas (espaçamento constante)

Inadequada para regiões verticais (espaçamento distante)

Por isso, é necessária a combinação de estratégias

2. Fresamento usando CAM



Acabamento por passes paralelos horizontais

2. Fresamento usando CAM

Acabamento:

b) Passes paralelos verticalmente constantes:

Equivalente à de passes horizontalmente constantes

Áreas verticais são mais favorecidas

c) Passes em espiral tridimensional conforme perfil:

Algoritmos sofisticados

Poucos sistemas CAM

2. Fresamento usando CAM

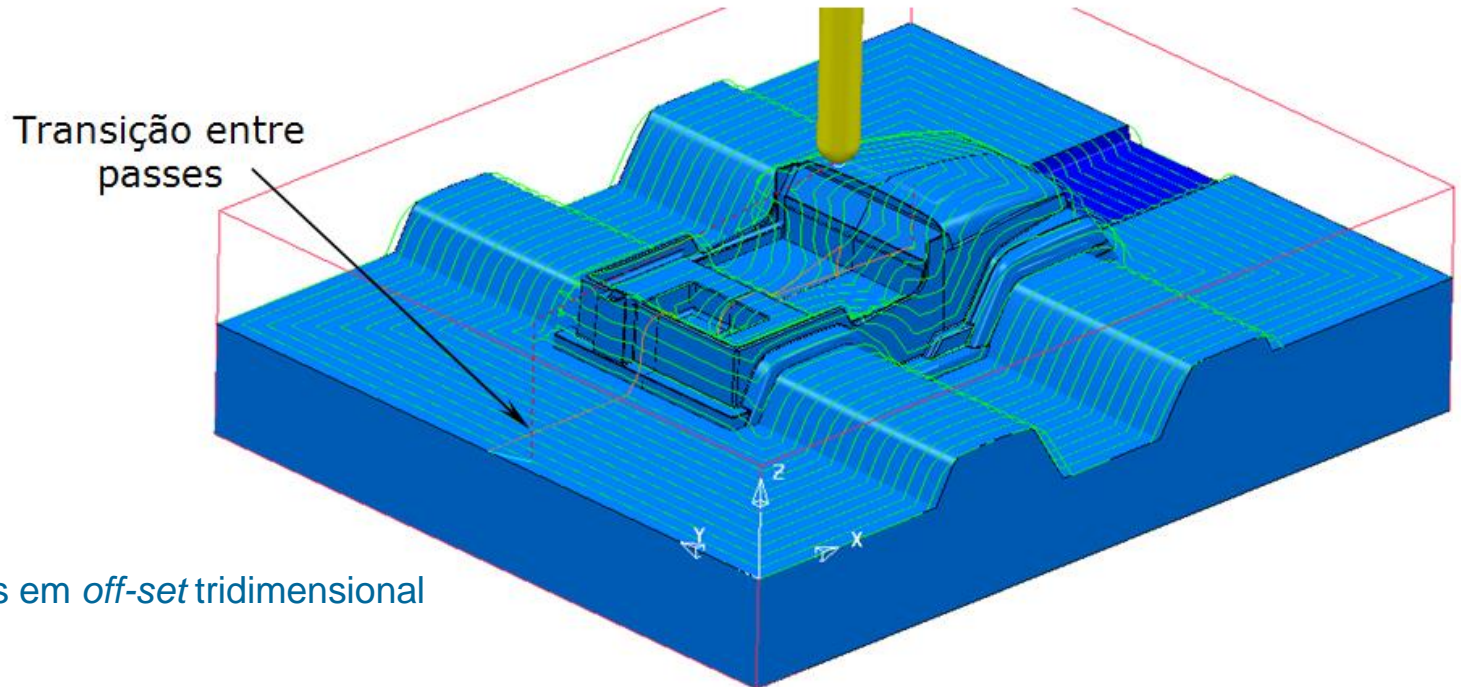
Acabamento:

d) Passes em *off-set* tridimensional:

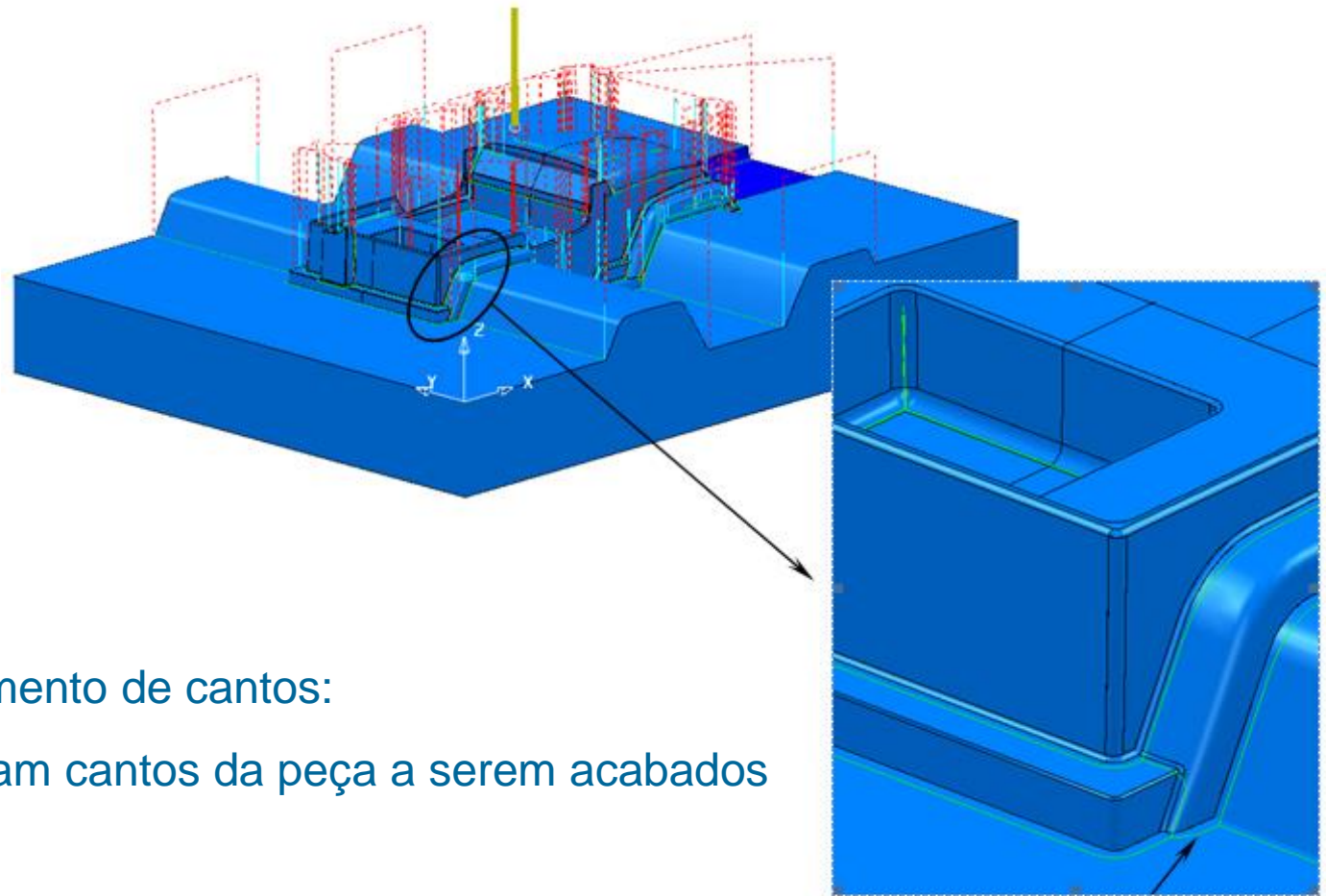
Trajatórias por *off-set* do contorno da geometria a ser usinada

Passes constantes mesmo em geometrias complexas

Marcas da ferramenta na transição entre os passes



2. Fresamento usando CAM



Acabamento:

e) Passes para acabamento de cantos:

Algoritmos identificam cantos da peça a serem acabados

Trajetórias geradas

2. Fresamento usando CAM

Fronteiras de usinagem para acabamento de áreas específicas:

Igual ao desbaste

Limitações das áreas de usinagem para acabamento

Criação de várias formas:

Seleção de faces da peça: seleção da face e criação da fronteira

Criação manual: usuário desenha a área em um plano 2D

Geometria do CAD: extrair curva do CAD e exportar para o CAM

2. Fresamento usando CAM

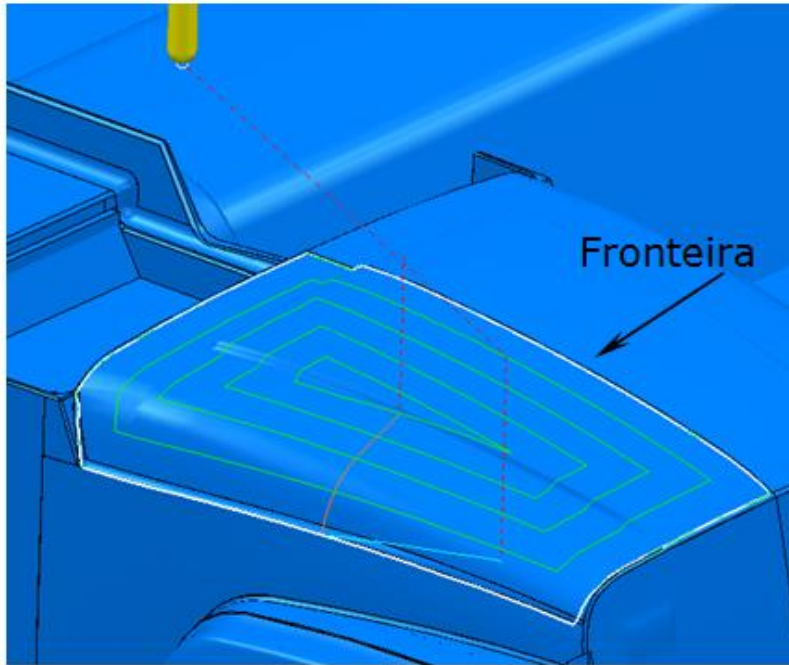


Fig. a: Fronteira calculada pela seleção de uma superfície

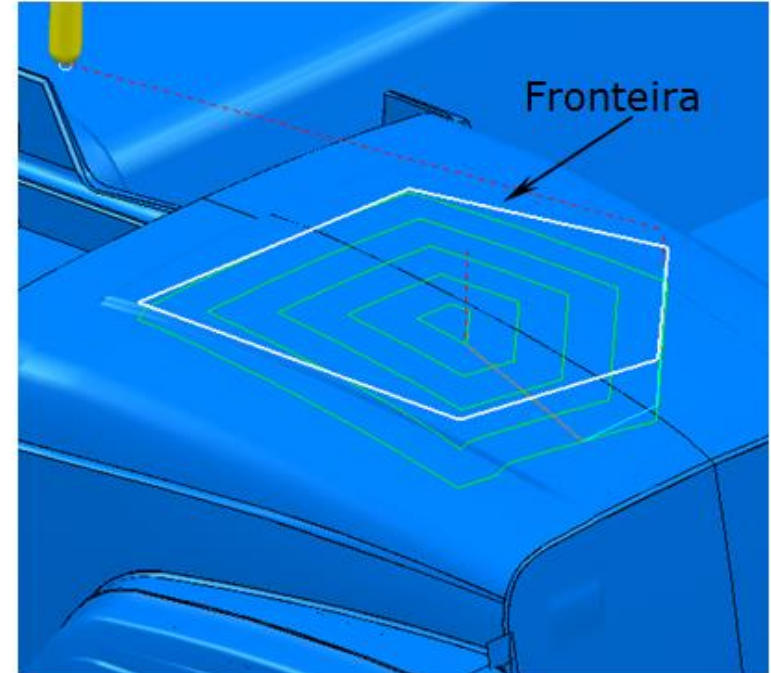


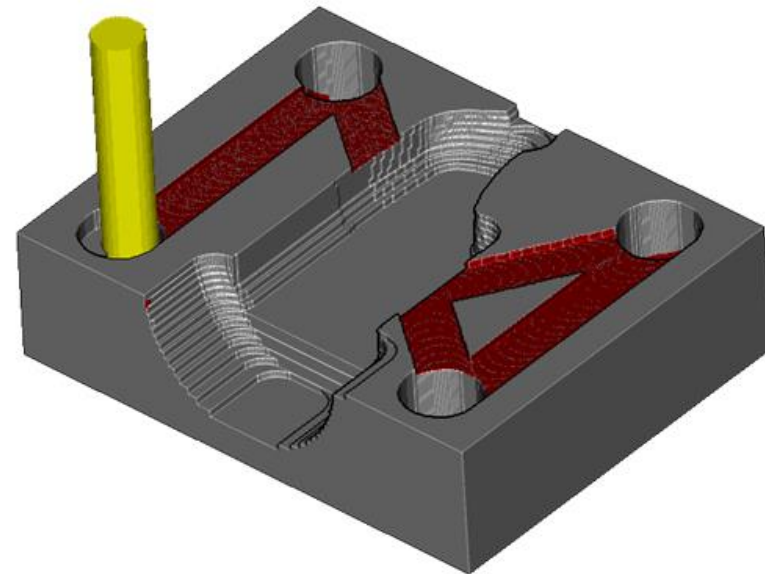
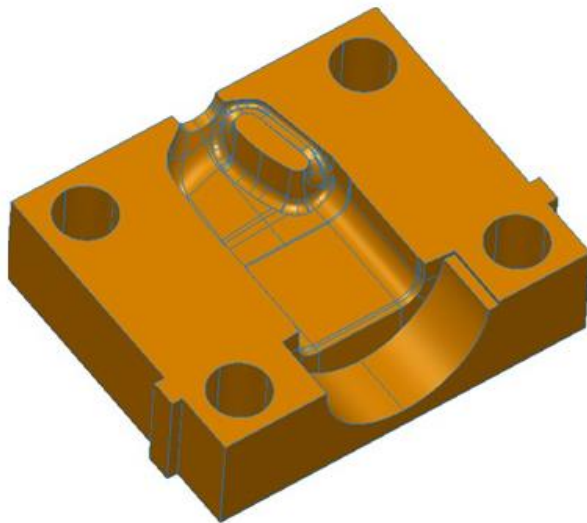
Fig. b: Fronteira 2D criada pelo usuário

Fronteira de acabamento

3. Simulação da usinagem

Objetivos da simulação:

- a) Verificar a ocorrência de invasões indesejáveis na geometria
- Erros de cálculo do software
- Equívocos do usuário nas definições do processo

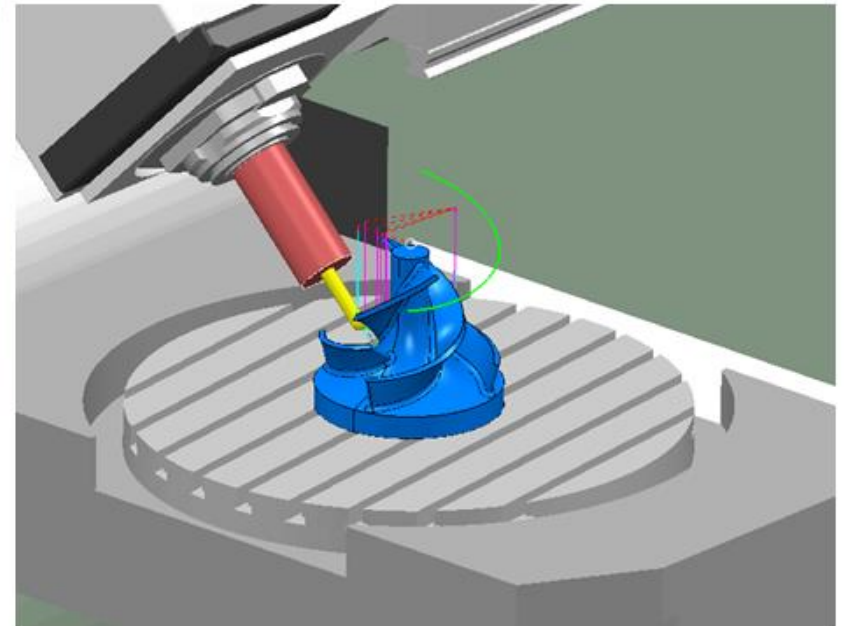
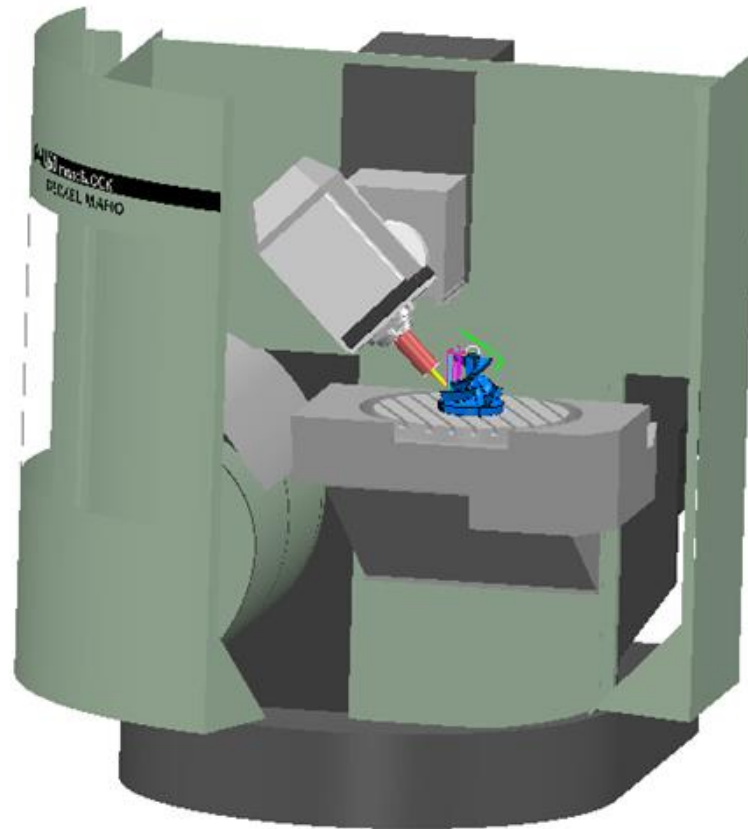


3. Simulação da usinagem

Objetivos da simulação:

- b) Verificar a adequação das trajetórias calculadas pelo CAM
(várias estratégias de corte e diversas geometrias das peças)
- c) Simular a colisão do porta-ferramenta com a peça
(comprimento, diâmetro e geometria do porta-ferramenta)
- d) Simular colisões com a fixação da peça na mesa da máquina
(trajetórias distantes da fixação da peça)
- e) Simulação da usinagem 5 eixos
Necessário devido à grande complexidade de movimentação
Considerar o sistema completo máquina-peça-ferramenta-fixações

3. Simulação da usinagem



Simulação 5 eixos considerando a máquina

4. Cálculo das trajetórias



Principal função de qualquer software CAM

Resultado da fabricação depende da qualidade da trajetória calculada

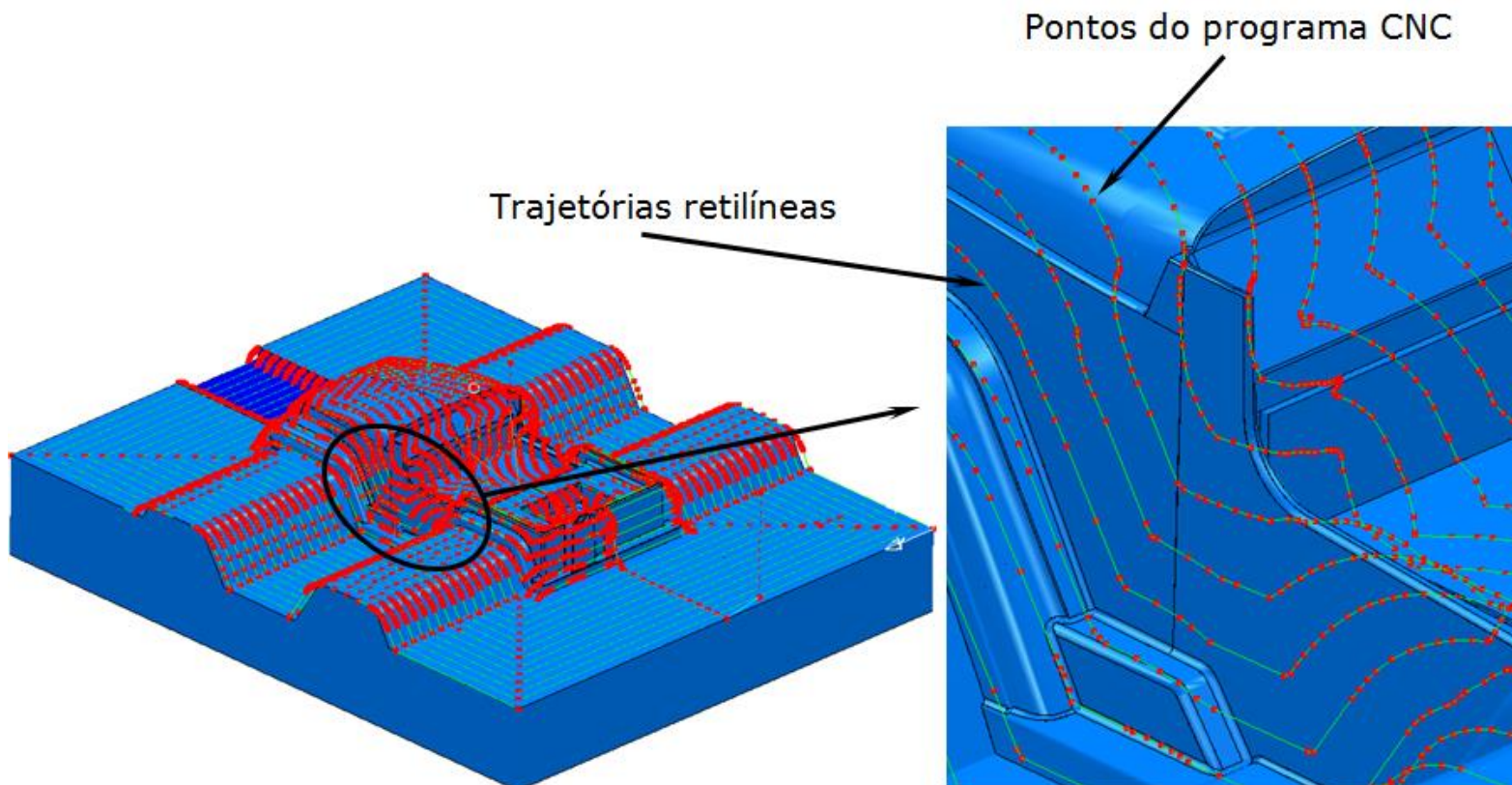
Implica no acabamento, erros dimensionais e tempo de usinagem

Algoritmos matemáticos para cálculo das trajetórias são segredo industrial

Interpolação linear é o método tradicional para descrever superfícies complexas

O comprimento dos segmentos depende das tolerâncias de cálculo do CAM e do grau de curvatura da superfície

4. Trajetórias em sistemas CAM



Pontos que formam uma trajetória complexa no fresamento

4. Trajetórias em sistemas CAM

Tolerância para o cálculo das trajetórias da ferramenta

O usuário define a banda tolerância (*chord error*)

O CAM ajusta a trajetória da ferramenta dentro da tolerância

Quanto menor a tolerância:

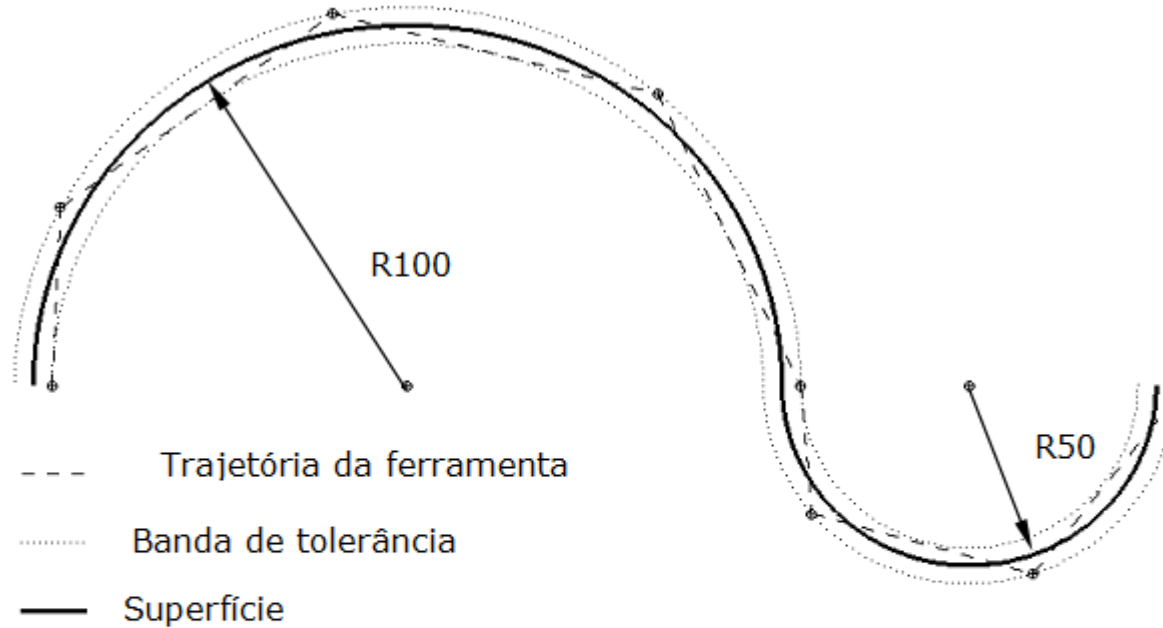
- Mais próxima a ferramenta estará da geometria CAD

- Os programas CNC possuirão maior volume de dados

- Menores serão os segmentos de reta

- As velocidades de avanço serão limitadas

4. Trajetórias em sistemas CAM



Raio da superfície	Comprimento do segmento
100 mm	9.0 mm
50 mm	6.3 mm

4. Trajetórias em sistemas CAM

Cálculo das trajetórias da ferramenta

Depende do ponto central da extremidade da ferramenta

Não é um simples *off-set* da superfície usinada

O software CAM identifica dois pontos:

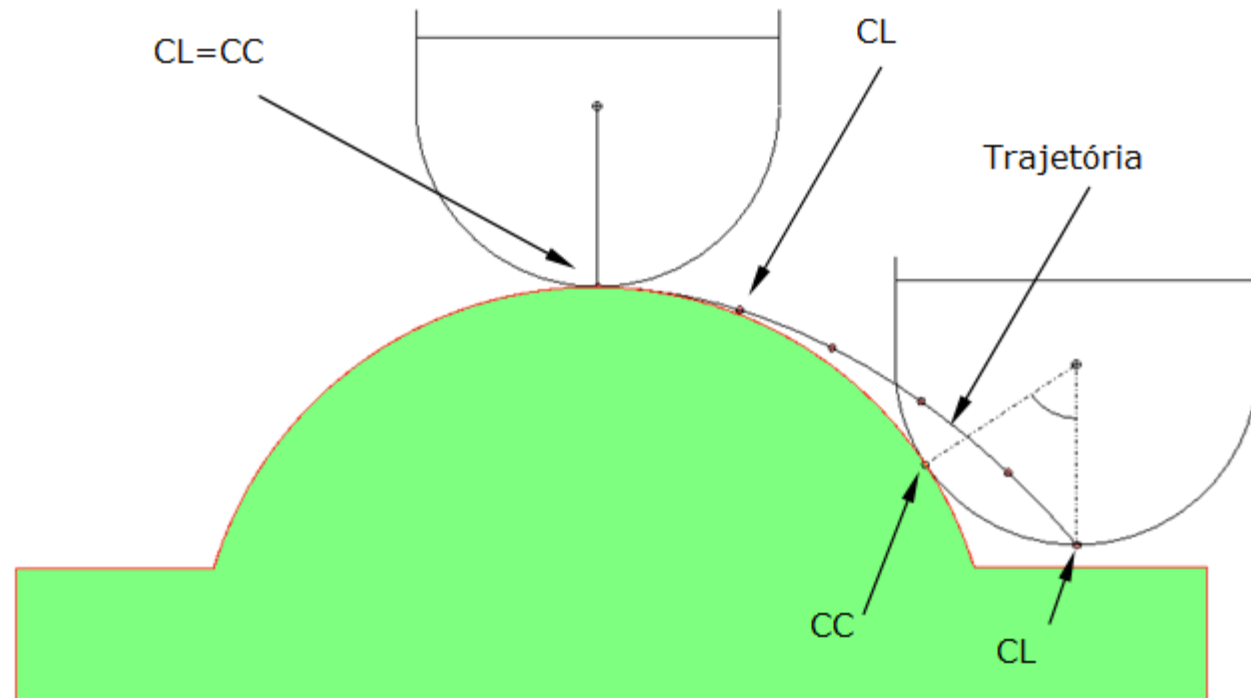
Cutter Contact (CC): usado nas bandas de tolerância

Cutter Location (CL): usado na rotina CNC

Os sistemas CAM desenvolvem algoritmos distintos

Os algoritmos repercutem no tempo de cálculo, tempo de usinagem e qualidade da superfície usinada

4. Trajetórias em sistemas CAM



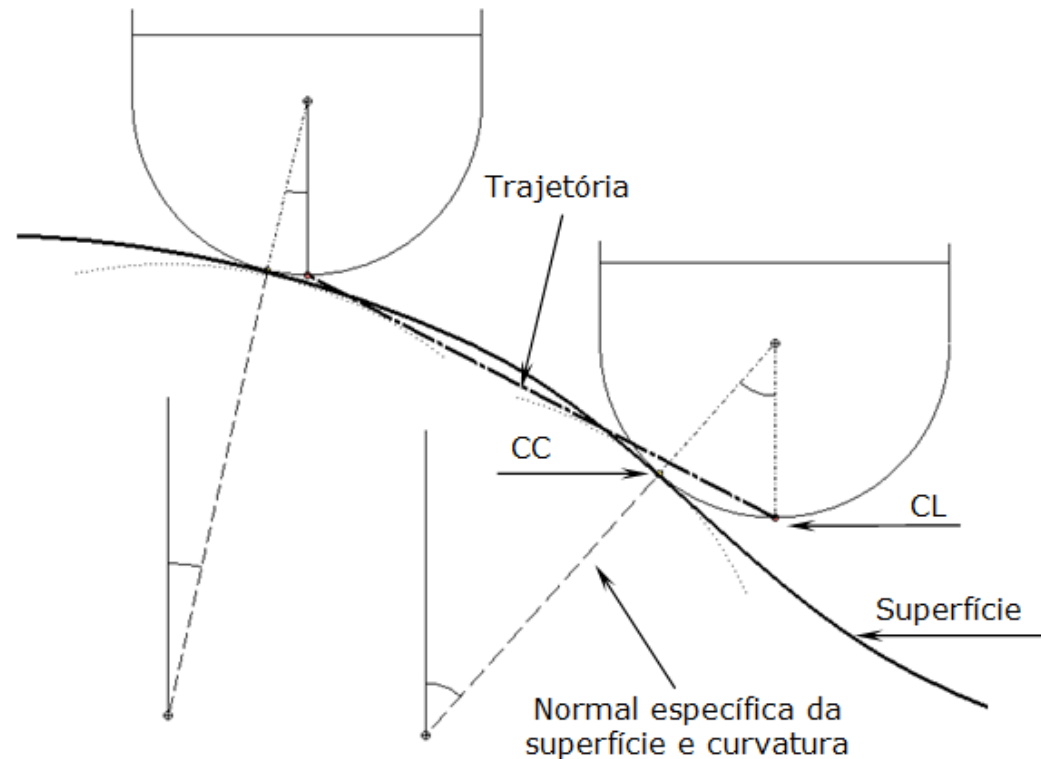
Trajetória da ferramenta

4. Trajetórias em sistemas CAM

Cálculo das trajetórias da ferramenta

Inicialmente determina-se CC's e depois calcula-se CL's

CL's consecutivos são interpolados para se gerar as trajetórias



5. Interpolação linear e circular

Limitações da interpolação linear na usinagem de formas complexas

Pode-se recorrer a associação entre retas e círculos

Somente pode ser aplicado em superfícies planares

Grande parte dos sistemas CAD/CAM/CNC não realizam
interpolação circular em 3 dimensões

Assim, uma saída é usar polinômios *spline* para descrever trajetórias
complexas

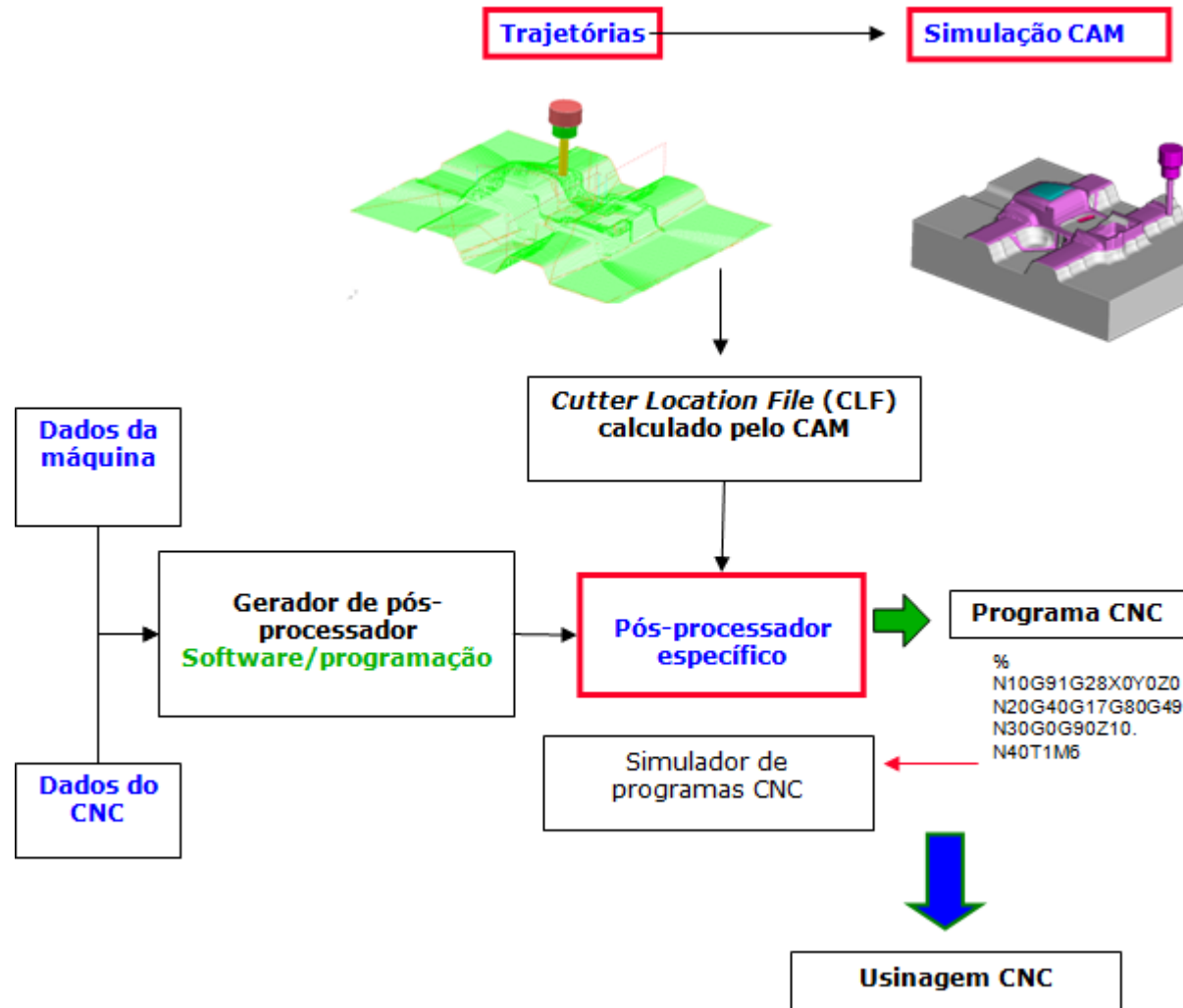
7. Pós-processamento

Após cálculo das trajetórias da ferramenta e simulações
Deve-se converter as trajetórias em programas CNC

CAM gera um arquivo genérico *Cutter Location File* (CLF)
Pós-processador lê o CLF e converte em programa CNC

O pós-processador depende da configuração da máquina
Antigamente, os pós-processadores eram softwares separados
Hoje em dia, está integrado ao CAM

7. Pós-processamento



7. Pós-processamento

Diferentes comandos CNC = sintaxes diferentes para a mesma trajetória

```
%  
N10G91G28X0Y0Z0  
N20G40G17G80G49  
N30G0G90Z10.  
N40T1M6  
N50G54G90X-.5Y-1.065S40M3  
N60G43Z5.H1  
N70G1Z-32.273F500  
N80X-.555Z-32.251F300  
N90X-.171Z-32.201  
N100X.213Z-32.196  
N110X100.068  
N120X100.557Y-1.062Z-32.5  
N130X100.647Y-1.033Z-32.9  
N140M30  
...
```

Fig. (a)

Siemens

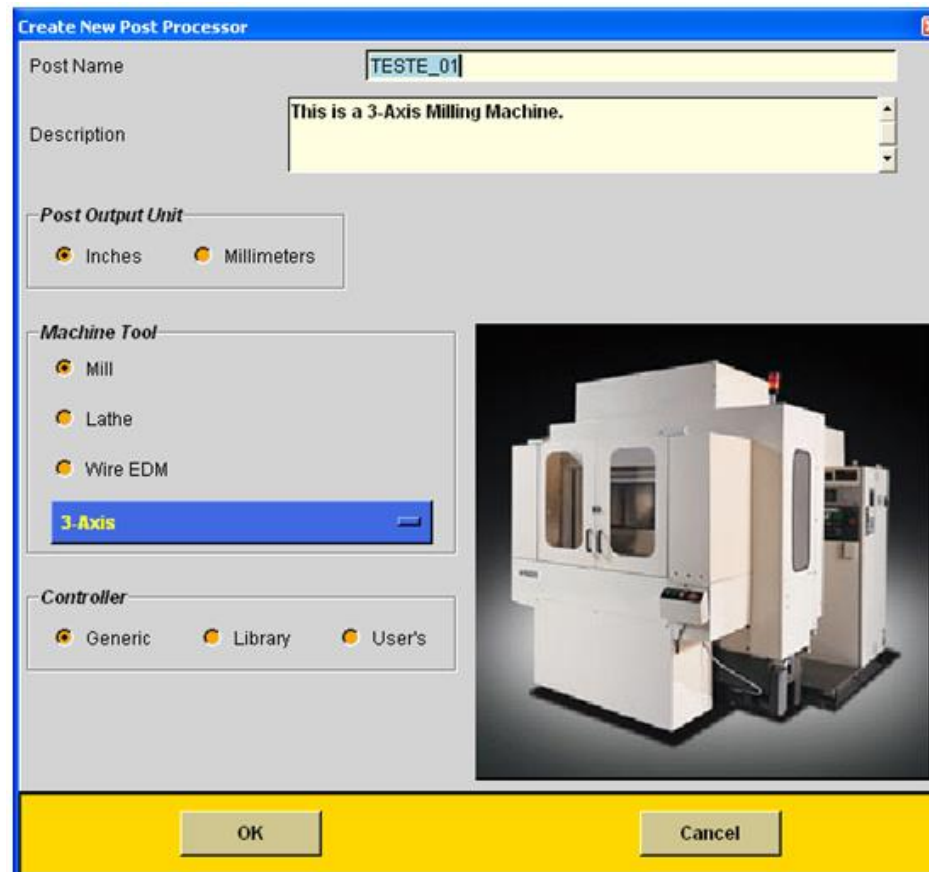
```
0 BEGIN PGM 1 MM  
1 TOOL DEF 1 L+100,0 R+0,  
2 TOOL CALL 1 Z S1500,000  
3 L Z+52,926 R0 F9999  
4 L X-151,156 Y+292,044 F9  
5 L Z+47,926  
6 L Z+0,364 F500 M90  
7 L X+21,345  
8 L Z+52,926 F9999  
9 L Y+297,044  
10 L Z+47,926  
11 L Z+0,364 F500 M90  
12 L X-151,156  
13 L Z+52,926 F9999  
14 L Y+302,044  
15 L Z+47,926  
...
```

Fig. (b)

Haidenheim

7. Pós-processamento

Em geral, os pós-processadores são fornecidos pela *softwarehouse*
Porém, há softwares próprios que geram pós-processadores



8. Conhecimento CAM

Como conceber uma usinagem eficiente via CAM:

- Escolher as ferramentas adequadas para cada processo
- Caracterizar as propriedades do material da peça
- Definir os processos (desbaste, acabamento, etc)
- Identificar os parâmetros de corte em função da peça, ferramenta, qualidade dimensional e rugosidade esperada
- Definir estratégias de usinagem
- Definir entradas e saídas da ferramenta
- Otimizar as movimentações da ferramenta
- Realizar simulação e geração dos códigos CNC
- Conhecer as características da máquina (potência, rotação, etc)

REFERÊNCIA

Souza, A.F., Ulbrich, C. B. L. **Engenharia Integrada por Computador e Sistemas CAD/CAM/CNC - Princípios de Aplicações**, Ed. Artliber, 335 p., 2009.