

GUSTAVO GUILHERME DOS SANTOS COSTA

**CONTRIBUIÇÃO PARA OS USUÁRIOS DE SISTEMAS
CAD/CAM/CNC EM OPERAÇÃO DE FRESAMENTO DE
TOPO EM AÇO PARA MOLDES E MATRIZES**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

2011

GUSTAVO GUILHERME DOS SANTOS COSTA

**CONTRIBUIÇÃO PARA OS USUÁRIOS DE SISTEMAS
CAD/CAM/CNC EM OPERAÇÃO DE FRESAMENTO DE
TOPO EM AÇO PARA MOLDES E MATRIZES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA**.

Área de Concentração: Materiais e Processos de Fabricação.

Orientador: Prof. Dr. Rosemar Batista da Silva

Uberlândia – MG

2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil

C837c Costa, Gustavo Guilherme dos Santos, 1984-
Contribuição para os usuários de sistemas CAD/CAM/CNC em
operação de fresamento de topo em aço para moldes e matrizes / Gustavo
Guilherme dos Santos Costa. - 2011.
115 f. : il.

Orientador: Rosemar Batista da Silva.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.
Inclui bibliografia.

1. Usinagem - Teses. 2. Sistema CAD/CAM - Teses. I. Silva, Rosemar
Batista da. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Mecânica. IV. Título.

CDU: 621.9

“O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário”.

Albert Einstein

DEDICATÓRIA

A minha família, pelo estímulo, carinho e compreensão, nos momentos que eu mais precisava.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Rosemar Batista da Silva pela coordenação e orientação e apoio durante a execução deste trabalho de mestrado.

A professora Rosenda pelo auxílio na medição dos desvios macrométricos no laboratório de metrologia.

Ao doutorando Marcelo do Nascimento pelo auxílio no tratamento dos dados e cálculo da ANOVA dos resultados obtidos.

A todos os companheiros do LEPU (Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem), pela ajuda, incentivo e companheirismo.

Aos professores que colaboraram com o desenvolvimento desse trabalho.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, pela oportunidade de realizar este curso.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

COSTA, G. G. S., “Contribuição para os usuários de sistemas CAD/CAM/CNC em operação de fresamento de topo em aço para moldes e matrizes”. 2011. 115 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.

RESUMO

O aumento pela demanda por produtos plásticos e a necessidade de redução nos tempos de fabricação, além da crescente dependência do homem pelo computador em dias atuais, especialmente nas atividades de fabricação, tem implicado na busca por constantes desenvolvimentos tecnológicos a fim de suprir estas necessidades. Na indústria de fabricação de matrizes como também de moldes para injeção de plásticos (que necessitam de operações de usinagem tais como fresamento, furação e polimento, dentre outros), é cada vez maior a dependência pelos sistemas computacionais, como o sistema CAD/CAM. Essa tecnologia auxilia nas etapas de fabricação, oferece rapidez e alta exatidão na fabricação de geometrias complexas. Portanto, entender e saber utilizar de forma eficiente estes recursos que auxiliam na manufatura são de enorme importância para a otimização de um processo produtivo. Neste contexto, este trabalho apresenta um estudo sobre a utilização de recursos de programação CAD/CAM em fresamento de cavidades de aço VP50 com insertos de metal duro ponta de esférica. Foi investigada a influência de dois tipos de interpolações (linear e circular) e tolerâncias (0,05mm e 0,1 mm) que definem o percurso da ferramenta na usinagem de uma cavidade que possui forma semelhante a um molde da tampa da bateria do aparelho celular. Como variáveis de saída foram avaliadas o tempo de usinagem, o número de linhas do programa, os parâmetros de rugosidade superficial (R_a , R_q , R_z) das cavidades, o raio de curvatura, o desvio de forma de uma linha qualquer e o desgaste das ferramentas. Dos resultados obtidos, constatou-se que, sob o ponto de vista estatístico (ANOVA), nenhuma das condições de interpolação e tolerância empregadas influenciou significativamente nos valores de rugosidade da superfície, no desvio de forma de uma linha qualquer e desgaste das ferramentas. A interpolação linear com tolerância de 0,1mm mostrou-se a mais viável para a produção de tal cavidade nas condições investigadas devido a bom acabamento produzido, pequeno desgaste e tempo de usinagem mais curto.

Palavras-chave: sistemas CAD/CAM, interpolação, tolerância, tempo de usinagem, rugosidade superficial.

COSTA, G. G. S., "Contribution to the users of systems CAD/CAM/CNC in end milling operation in steel for molds and dies". 2011. 115 p. M. Sc. Federal University of Uberlandia, Uberlandia, MG.

ABSTRACT

The increased in the demand for plastic products and the need for reduction manufacturing times, and the growing dependence of man on the computer in present day, especially in manufacturing activities, has resulted in constant research of technological developments in order to supply these needs. In dies and molds manufacturing industry for plastic injection requiring machining operations such as (milling, drilling and polishing, among others), is increasing dependence by computer systems, such as CAD/CAM. This technology helps in the manufacturing steps, provides fast and high accuracy in the manufacturing of complex geometries. Therefore, to understand and to use efficiently these resources that aided in manufacturing are of enormous importance for the optimization of a production process. In this context, this work presents a study on the use of resources programming CAD/CAM in milling operation of cavities steel VP50 with inserts cemented carbide with ball nose. The influence of two types of interpolation (linear and circular) and tolerances bands (0.05 mm and 0.1 mm) that define the tool path for machining of a cavity that has a similar form the a mold of a battery cover cell phone. As output variables evaluated were machining time, the number of lines of the program, the parameters of surface roughness (R_a , R_q , R_z) of parts, the radius of curvature, form deviation of any line profile and the tool wear. The results showed that, from the statistical point of view (ANOVA), none of the conditions of interpolation and tolerance employed significantly influenced the values of surface roughness in form deviation of any line and tool wear. Linear interpolation with tolerance of 0.1 mm was most viable for the production of such cavity in the conditions investigated because the produced good finish, low tool wear and machining time is shorter.

Keywords: CAD/CAM integrated system, tool path interpolation, tolerance band, machining time, surface roughness.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Ferramentas para usinagem de moldes e matrizes e formas geradas em alguns moldes	2
Figura 1.2 – Integração do sistema com etapas CAD/CAM/CNC	3
Figura 2.1 – Bancos de dados associados aos sistemas CAD/CAM	8
Figura 2.2 – Tela programa CAD/CAM com biblioteca de ferramentas de corte (TopSolid, 2008)	10
Figura 2.3 – Tela programa TopSolid: a) projeto na plataforma CAD; peça já posicionada sobre a mesa da máquina CNC e ferramenta simulando a usinagem na plataforma CAM (TopSolid, 2008)	13
Figura 2.4 – Percursos para a ferramenta de corte a partir do vértice: (a) espiral (b) sweep ou zig-zag (c) contornos sucessivos (programa TopSolid'Cam, 2008)	14
Figura 2.5 – Diferenças entre os tipos de interpolação	16
Figura 2.6 – Métodos de geração de caminhos – (a) iso-paramétrico, (b) iso-planar, (c) <i>iso-scallop</i>	17
Figura 2.7 – Tolerância de cálculo dos programas NC	17
Figura 2.8 – Etapas para pós-processamento de programas NC	18
Figura 2.9 – Tela do pós-processador gerador dos códigos NC	18
Figura 2.10 – (a) Modelo geométrico (b) Tempo para geração do programa CAM	20
Figura 2.11 – Velocidade em função do comprimento da peça usinada e do tipo de interpolação empregado e tolerância de 0,001mm na geração do programa CAM e usinagem da peça	21
Figura 2.12 – Máquinas equipadas com comando numérico computadorizado: a) Centro de Usinagem, b) Retificadora Cilíndrica Externa CNC Numerika GL 600, c) Máquina para corte a laser, d) Máquina de eletro-erosão	24
Figura 2.13 – Sistema de coordenadas associado com programação manual da peça: (a) formas geométricas em plano cartesiano definidas por pontos; (b) coordenadas dos respectivos pontos	25
Figura 2.14 – Fluxo de informações em um sistema DNC	26
Figura 2.15 – WebTurning: teleoperação e monitoramento remoto do torno galaxy	28
Figura 2.16 – Comunicação de dados com a máquina	29

Figura 2.17 – Esquema com vários componentes (subsistemas) de um sistema de produção baseado em teleoperação via web	29
Figura 2.18 – Estrutura de dados em árvore topológica	30
Figura 2.19 – Superfície editada pela alteração da coordenada Z de um ponto	31
Figura 2.20 – Superfície editada pela alteração da coordenada Z de um ponto quanto à magnitude	32
Figura 2.21 – Usinagem de cavidade em um molde	35
Figura 2.22 – Elementos que compõem a superfície	36
Figura 2.23 – Esquema para obtenção do parâmetro Ra; e comprimento de amostragem .	37
Figura 2.24 – Definição da rugosidade Rt	37
Figura 2.25 – Definição da rugosidade Rz	38
Figura 2.26 – Desvio de forma de uma linha qualquer	38
Figura 2.27 – Ensaios práticos de interpolações de trajetórias de ferramenta para usinagem HSC	40
Figura 2.28 – Rugosidade na direção longitudinal e transversal ao avanço	40
Figura 2.29 – Rugosidade da superfície em operação de fresamento tangencial dos aços AISI 1020 e AISI 1040 com ($V_c = 44, 71, 111$ m/min; $f = 83$ mm/min; $a_p = 2$ mm)	41
Figura 2.30 – (a) Superfície proposta em CAD/CAM (b) Superfície real usinada	42
Figura 2.31 – Rugosidade média (Ra) da superfície usinada na comparação dos tipos de interpolação	42
Figura 2.32 – Rugosidade superficial versus velocidade de corte após fresamento de topo do aço AISI 1020 com fresas de metal duro revestidas por TiN	43
Figura 2.33 – Parâmetros de rugosidade superficial Ra e Rz em função do tipo de interpolação e tolerância	44
Figura 2.34 – Tela do programa <i>Statística</i> utilizado para o cálculo da ANOVA	45
Figura 3.1 – Fluxograma da metodologia utilizada para a execução deste trabalho	47
Figura 3.2 – Micrografia do aço VP50 com ataque de nital a 2%	50
Figura 3.3 – (a) Centro de Usinagem CNC Discovery 760 (b) Sistema montado (computador-cabo-máquina CNC) para a transferência do programa gerado na plataforma CAM para a memória da máquina CNC	51
Figura 3.4 – (a) Inserto de ponta esférica; (b) Cabeçote porta-fresa (Fresa <i>Ball Nose</i>) com inserto; (c) detalhes da geometria do inserto	52
Figura 3.5 – Vistas ortogonais da peça confeccionada em plataforma CAD 2D	54

Figura 3.6 – Modelo gerado na tela programa TopSolid CAD 2008	55
Figura 3.7 – Tela programa TopSolid CAM ilustrando o bloco com a cavidade a ser usinada	56
Figura 3.8 – Ferramenta em operação de fresamento de topo da cavidade usinada, para a qual foram elaborados o modelo e programa com auxílio do programa CAD/CAM	56
Figura 3.9 – (a) Direção de medição dos parâmetros de rugosidade: Dp – direção paralela; Dpe – direção perpendicular, (b) Pontos distribuídos ao longo do raio para avaliação	57
Figura 3.10 – Montagem do rugosímetro portátil surtronic 3+ para medição das peças usinadas	58
Figura 3.11 – (a) Máquina de medição de três coordenadas (MM3C); (b) Sistema de coordenada aplicado na peça e ponta de medição	58
Figura 3.12 – Estéreo microscópio olympus e sistema de aquisição de imagens	59
Figura 4.1 – Tempo de usinagem x Condição de usinagem para o fresamento de topo do aço VP50 com insertos de metal duro com ponta esférica	62
Figura 4.2 – Número de linhas do programa NC em função da interpolação e tolerâncias selecionadas no programa TopSolid CAM	64
Figura 4.3 – Superfícies geradas pelo fresamento de topo em diferentes condições de interpolação e tolerâncias	65
Figura 4.4 – Rugosidade em função da interpolação e tolerância: a) direção paralela b) direção perpendicular	67
Figura 4.5 – Desvio de forma de uma linha qualquer em função da interpolação e tolerância	70
Figura 4.6 – Disposição dos insertos para medição do desgaste: (a) Inserto 1; (b) Inserto 2	72
Figura 4.7 – Desgaste dos insertos 1 e 2 em função da condição de interpolação e tolerância empregada	73
Figura 4.8 – Desgaste de flanco para interpolação linear com tolerância igual a 0,1 mm	75
Figura 4.9 – Imagem da superfície de saída do inserto 2 (interpolação linear com tolerância igual a 0,1 mm)	75
Figura 4.10 – Desgaste de flanco para interpolação linear com tolerância igual a 0,05 mm	76
Figura 4.11 – Imagem da superfície de saída do inserto 2 após usinagem na condição linear com tolerância igual a 0,05 mm	76

Figura 4.12 – Desgaste de flanco para condição de interpolação circular igual a 0,1 mm ...	77
Figura 4.13 – Desgaste de flanco para condição de interpolação circular igual a 0,05 mm .	77

LISTA DE SÍMBOLOS

a_e – Penetração de trabalho
ANOVA – Análise de Variância
 a_p – Profundidade de corte
APT – Ferramentas Programadas Automaticamente
CAD – Projeto Auxiliado por Computador
CAE – Engenharia Assistida por Computador
CAI – Inspeção Assistida por Computador
CAM – Manufatura Auxiliada por Computador
CAP – Programação Assistida por Computador
CLF – Arquivo Local de Corte
CNC – Comando Numérico Computadorizado
Cut-off – Comprimento de Amostragem
CVD – Deposição química a vapor
df - Graus de liberdade
DNC – Controle Numérico Distribuído
 f – Avanço da ferramenta (mm/rot)
 $F = f$ calculado
 f_z – Avanço por dente (mm/dente)
 H_0 – Hipótese de nulidade
 H_a – Hipótese alternativa
HRc – Dureza Rockwell C
HSC – Corte a altas velocidades
HSM – Usinagem em alta velocidade
 l_e – Comprimento de amostragem (mm)
LEPU – Laboratório de Ensino e Pesquisa de Usinagem
 l_m – Comprimento total de avaliação (mm)
 l_t – Distância total percorrida pelo apalpador do rugosímetro (mm)
MDI – Entrada de Dados Manual
MEV – Microscópio Eletrônico de Varredura
MIT – Instituto Tecnológico de Massachusetts

MS - Quadrado médio

NC – Controle numérico

p = p-valor

PVD – Deposição Física a Vapor

Ra – Desvio aritmético médio (μm)

Rq – Desvio aritmético quadrado (μm)

Rt – Altura total do perfil (μm)

Rz – Média aritmética das alturas pico vale na curva R (μm)

SS - Soma de quadrados

t-student – Análise de Variância para Comparar os Resultados em Pares

VB_B – Desgaste de flanco médio (mm)

V_c – Velocidade de corte (m/min)

α – Nível de Significância

SUMÁRIO

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 – Histórico do Sistema CAD/CAM	5
2.1.1 – Definições de sistemas CAD/CAM	7
2.1.2 – Principais Tipos de Sistemas Computacionais	8
2.1.3 – Integração CAD/CAM/CNC	11
2.1.4 – Programa CAD/CAM TopSolid	12
2.2 – Linguagens de Programação	23
2.2.1 – Programação NC	23
2.2.2 – Programação Manual <i>versus</i> Programação Assistida por Computador aplicado à Usinagem Convencional	24
2.3 – Interface Homem – Máquina Programa CNC	27
2.3.1 – Comunicação de Dados	27
2.3.2 – Seleção e Gerenciamento de Sistemas CAD/CAM	29
2.4 – Qualidades de superfícies usinadas	33
2.4.1 – Tolerâncias e Desvios	33
2.4.1.1 – Desvios Geométricos	34
2.4.2 – Estudos em operações de fresamento com monitoramento do acabamento superficial	39
2.5 – Análise de Variância	45
CAPÍTULO III – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	47
3.1 – Material da peça	49
3.2 – Máquina-Ferramenta	50
3.3 – Ferramenta de corte	51
3.4 – Parâmetros de corte	52
3.5 – Geração de modelo e programa na plataforma CAD/CAM	53
3.6 – Parâmetros de saída	57
CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4.1 – Tempo de usinagem	61

4.2 – Números de linhas	63
4.3 – Parâmetros de Rugosidade	64
4.4 – Raio de curvatura e desvio de forma de uma linha qualquer	69
4.5 – Desgastes das ferramentas de metal duro	71
CAPÍTULO V – CONCLUSÕES	78
CAPÍTULO VI – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
ANEXO – Programas utilizados para fresamento de acordo com condições investigadas	90

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

É cada vez mais crescente a dependência do homem pelo computador nas suas principais atividades do dia a dia, principalmente naquelas de engenharia. São notórios os rápidos avanços tecnológicos na área de computação, de engenharia de software com o desenvolvimento de programas cada vez mais inteligentes e dedicados às mais diversas operações de projeto, fabricação e gerenciamento de operações. Ao mesmo o mercado coloca no mercado máquinas-ferramentas com elevado grau de automatização que conferem grande flexibilidade às operações para suprir a fabricação de produtos das mais diversas formas, tamanhos e de diferentes materiais que são produzidos por um ou mais processos de fabricação. Com isso o engenheiro tem se deparado com o desafio de encontrar maneiras e técnicas corretas para utilizar estes recursos de forma fabricar produtos de melhor qualidade, com menor tempo de produção e, na maioria dos casos, visando aumento da produtividade e dos lucros.

Dentro deste contexto, a indústria de produção de moldes e matrizes visa suprir as mais variadas formas de matrizes metálicas e plásticas. Os moldes podem ser definidos como superfície onde metal ou plástico, no estado líquido, é vazado com formato e medidas correspondentes aos da peça a ser produzida. Eles podem ser produzidos por operações de usinagem ou podem ser confeccionados em areia de fundição ou terras especiais. A fundição com moldes metálicos também é feita sobre pressão, neste caso o molde recebe o nome de matriz (ABDI, 2009). Algumas indústrias, como a automobilística, demandam a fabricação de moldes mais complexos e de alta capacidade volumétrica, ao passo que alguns segmentos de utilidades domésticas, como a fabricação de baldes e bacias, em geral exigem moldes mais simples. Já as matrizes em geral são peças produzidas em metal, em geral aço de elevada dureza, destinadas à produção de ferramentas. Exemplos típicos são os estampos para a estampagem de chapas da indústria automobilística.

Os moldes e matrizes são sempre processados na sua forma final pelas operações de usinagem. Os sistemas CAD (do inglês *Computer Aided Design* que significa Projeto Auxiliado por Computador) e CAM (do inglês *Computer Aided Manufacturing* que significa Manufatura Auxiliada por Computador) dão suporte à fabricação das mais variadas peças como também auxiliam a confecção de moldes e matrizes (ABDI, 2009).

No passado, os moldes e matrizes eram fabricados quase que artesanalmente por ferramenteiros qualificados. Mas desde o século passado, os moldes têm sido produzidos por máquinas-ferramentas com controle numérico (NC), baseados em comando numérico computadorizado (CNC) e sistemas de geração de programas como o CAM. A usinagem de moldes e matrizes visa conferir uma forma pré-definida de projeto. Estas formas e/ou contornos normalmente são chamados de *pockets* ou bolsões. Outras formas como furos, cavidades e rasgos são também produzidos, e o processo de usinagem mais empregado é o fresamento de topo. Alguns *pockets* são definidos por perfis interiores e exteriores. Os perfis internos podem ser ilhas, furos ou cavidades. *Pocket* é considerado um processo difícil e complexo. Portanto, raramente é programado manualmente, exceto por muitas formas simples (HATNA et al. (1998); ABDI, (2009)). Na Fig. 1.1 é apresentado um exemplo da superfície de uma cavidade ou *pocket* interno e externo, gerada por operação de fresamento de topo.

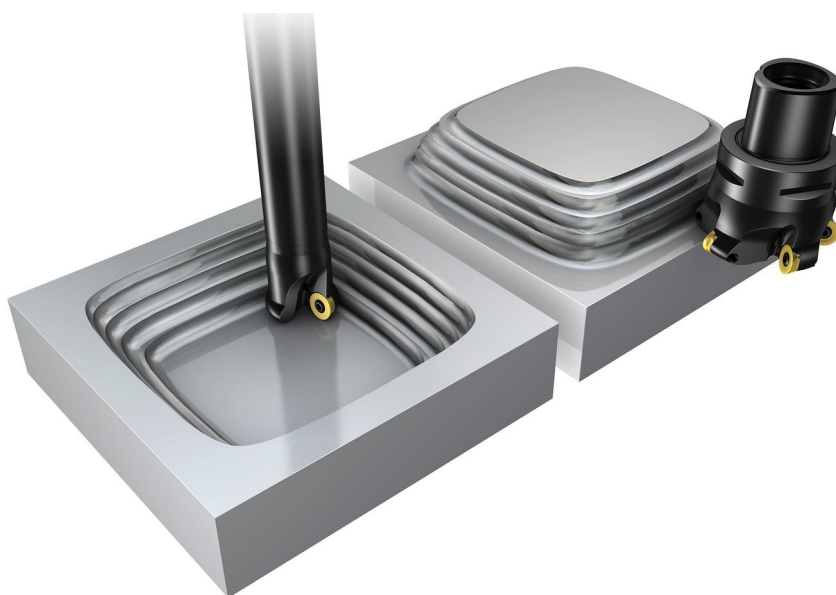


Figura 1.1 – Ferramentas para usinagem de moldes e matrizes e formas geradas em alguns moldes (SANDVIK, 2010).

À medida que aumenta a produção de produtos plásticos, aumenta-se também a demanda por moldes e matrizes, em geral, com complexidade de forma. Com isso, as indústrias de fabricação destes moldes (indústria metal-mecânica) têm procurado de forma cada vez mais efetiva a integração entre as fases de desenvolvimento e fabricação do produto, por meio da utilização de sistemas computacionais, os quais permitem obter, dentre outras vantagens, economia de tempo na produção e garantia de qualidade dos produtos.

No Brasil, os avanços na automação industrial aplicada à fabricação com sistemas integrados CAD/CAM ter proporcionado uma produção cada vez maior de peças com geometrias simples ou complexas, em geral em menor tempo. Desta forma aumenta-se a produtividade nas indústrias e empresas e reduz custos, mantendo os funcionários em maior segurança quando as tarefas oferecem riscos de acidentes. O aumento da tecnologia para desenvolver novos métodos de fabricação é um passo importante para qualquer projeto em qualquer organização industrial. Combinando ferramentas de desenho industrial e tecnologia de usinagem, o programa CAD/CAM é uma forma de sistema de controle de manufatura auxiliada por computador, uma forma de automação industrial que se tornou um grande diferencial no cenário industrial (BORTOLOTTI, 2010).

Neste contexto, os sistemas computacionais conhecidos comercialmente como sistemas CAD/CAM ou ainda CAD/CAM/CNC são uma alternativa para integrar e agilizar as fases de desenvolvimento e manufatura do produto, que resultam em maior produtividade com aumento da qualidade final do produto. A Fig. 1.2 ilustra, de forma esquemática, a integração do sistema CAD/CAM/CNC (HELLENO; SCHÜTZER, 2004).

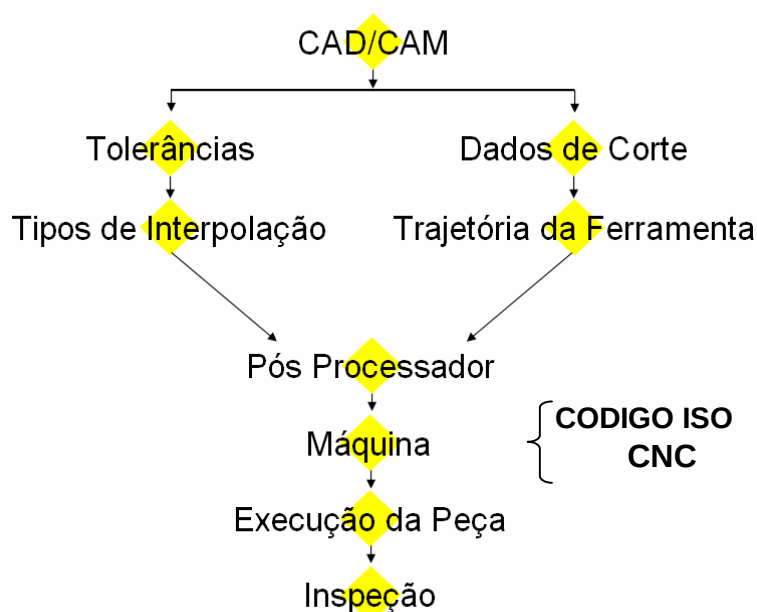


Figura 1.2 – Integração do sistema com etapas CAD/CAM/CNC (adaptado de GROOVER, 2001).

O objetivo deste trabalho é investigar a influência do tipo de interpolação e da tolerância selecionadas no programa TopSolid CAM em operação de fresamento de topo do aço VP 50 com ferramentas de metal duro. As variáveis de saída analisadas foram: o tempo de usinagem, número de linhas, rugosidade da superfície (considerada como *pocket*), raio de curvatura, desvio de forma de uma linha qualquer e o desgaste das ferramentas. A

grande motivação deste estudo está no fato de que a maioria dos trabalhos encontrados na literatura sobre este tema, em geral relacionam as estratégias de corte, interpolações e tolerâncias em programas CAM para usinagem de materiais para moldes e matrizes apenas com a rugosidade da superfície, sem considerar também uma correlação com o desgaste das ferramentas. Além disso, neste trabalho foi utilizada a ferramenta estatística ANOVA para auxiliar na análise dos resultados.

O trabalho está dividido em seis capítulos. O Capítulo 2 apresenta uma fundamentação teórica sobre os principais temas estudados neste trabalho, necessária para a interpretação dos resultados obtidos. O Capítulo 3 descreve os procedimentos experimentais empregados durante a realização dos ensaios. No Capítulo 4 serão apresentados e discutidos os resultados obtidos neste trabalho. O Capítulo 5 apresenta as principais conclusões retiradas após análise dos resultados obtidos neste trabalho. No Capítulo 6 estão apresentados os temas de estudos que poderão ser investigados nesta área de conhecimento.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada a revisão bibliográfica sobre sistemas CAD/CAM em operações de usinagem, incluindo os conceitos e tipos de sistemas computacionais para projeto e fabricação, os principais componentes e partes que integram sistemas CAD/CAM/CNC, a linguagem de programação para criação de programas CNC, a interface homem-máquina, e como é feita a comunicação de dados entre o programa CAD/CAM e a máquina-ferramenta. Serão abordados também os aspectos para o gerenciamento do sistema CAD/CAM e alguns trabalhos publicados nesta área, com ênfase para os parâmetros de tolerância, estratégia de usinagem e interpolação, selecionadas no programa CAM, principalmente em operações de fresamento. Outros tópicos sobre qualidade das superfícies resultantes de operações de fresamento de topo também serão abordadas neste capítulo.

2.1 – Histórico do Sistema CAD/CAM

Tem-se conhecimento que o emprego do termo “sistemas CAD/CAM” originou-se com protótipo de uma máquina fresadora com três eixos dotados de servomecanismos de posição desenvolvidos pelo Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) – EUA em meados do século XX. Este equipamento contava com linguagem de programação que auxiliava a entrada de comandos de trajetórias de ferramentas na máquina, a qual foi dada o nome de linguagem APT (do inglês, *Automatically Programmed Tools* que significa Ferramentas Programadas Automaticamente). Deste projeto originou-se, por sua vez, o comando numérico, que de alguma forma contribuiu para a implementação de uma forma programável de automação, com processo controlado por números, letras ou símbolos (Telecurso 2000, 1996); comando este que atualmente é responsável pela execução de operações diversas, especialmente de usinagem tais como torneamento, fresamento, furação, alargamento dentre outras) que permitem gerar as mais variadas formas em materiais com elevada exatidão, qualidade, segurança e com mínima interferência humana na maioria dos casos. Mas foi de fato no início dos anos 60 que o sistema computacional CAD (do inglês *Computer Aided Design* que significa Projeto Auxiliado por Computador) foi

mundialmente difundido para indicar os sistemas gráficos orientados para projetos. Na década seguinte, os setores governamentais e industriais passaram a reconhecer a importância da computação gráfica como forma de aumentar a produtividade. Com este reconhecimento, foi na década de 80 que surgiram no Brasil os primeiros trabalhos envolvendo a utilização de tais sistemas principalmente na indústria metal mecânica (BORTOLOTTI, 2010).

A filosofia de aplicações existentes dos sistemas computacionais CAD/CAM baseou-se no ambiente do computador desenvolvido na década de 1970. Em 1976 a possibilidade da utilização do CAD, como um método de reduzir os custos e projetos, foi avaliada como o recurso mais apropriado. Em 1977 empresas do grupo Unigraphics, localizada em Michigan (EUA), já utilizavam o programa Uniapt em um minicomputador para produzir uma fita perfurada de NC (controle numérico) (JACKSON, (1981); KAO; LINT, (1996)). Em 1980, muitas pesquisas já contavam com resultados que permitiram a automatização dos diversos elementos de projeto e manufatura com o objetivo de criar o que se chamava na época de “fábrica do futuro”. O foco das pesquisas foi expandir os sistemas computacional CAD/CAM (Projetos e Manufatura Auxiliados por Computador) (KAO; LINT, 1996).

Entretanto, as primeiras empresas fabricantes de moldes a utilizarem sistemas CAD/CAM no início da década de 80 não obtiveram bons resultados, pois a comunicação entre diferentes sistemas CAD/CAM ainda não era a ideal para um ambiente de manufatura, principalmente pela limitação dos processadores dos computadores e também pelos componentes da memória da máquina CNC. Ao final da década de 90, com o desenvolvimento de um sistema operacional robusto para aplicação em PCs (Windows NT), houve uma migração das empresas que desenvolviam seus sistemas CAD/CAM baseados em sistema operacional UNIX. Este fato, além de reduzir o custo do hardware, reduziu também à necessidade de usuários extremamente especializados. Com a evolução da tecnologia necessária para o desenvolvimento dos sistemas CAD/CAM atingindo seu ápice, a facilidade de utilização destes sistemas, devido à qualidade de sua interface, passava a ser um foco importante na concorrência entre diferentes fornecedores (JACKSON, (1981); PEREIRA, (2003)).

Atualmente, a tecnologia CAD/CAM auxilia as novas gerações de máquinas CNC (com 2 até 8 eixos ou às vezes mais) que são dotadas de comando numérico (NC), na direção do modelamento e manipulação de superfícies complexas. Este sistema integrado para a geração de modelos e programas para máquinas CNC exerce uma influência cada vez mais decisiva na competição industrial, associada às novas exigências funcionais e estéticas no desenvolvimento do produto, que impulsionam a inserção cada vez maior da representação geométrica por meio de sistemas computacionais às mais diversas áreas do setor de

usinagem. Dessa forma, a produção de superfícies complexas e o programa NC ganham destaque no ciclo de desenvolvimento dos produtos industrializados (DE OLIVEIRA; SCHUTZER, 2008).

2.1.1 – Definições de sistemas CAD/CAM

O sistema CAD permite a elaboração de modelo de forma precisa e representação gráfica de todas as operações da produção da peça por meio de diferentes vistas e cortes dos elementos que a constituem de forma a facilitar a visualização dos seus detalhes. Estes dados são armazenados eletronicamente e garantem a documentação completa dos projetos de cada produto e, dependendo do caso, permitem a automatização dos desenhos como também possibilitam uma rápida reutilização das informações quando necessário (RUDLOFF, 2011).

Os sistemas CAD/CAM envolvem o uso do computador na realização de funções, tanto no projeto, como na fabricação. Estes se baseiam na intercomunicação de dados e informações acumuladas no processo de projeto e transmitidos diretamente para os procedimentos de manufatura e estão presentes, principalmente, na fabricação de peças mecânicas por meio de uma ou mais máquinas-ferramentas CNC. O sistema CAD/CAM integra o desenho e a manufatura.

O sistema CAD auxilia na criação, modificação, análise ou otimização de um projeto ou modelo, enquanto que o sistema CAM auxilia na fase de fabricação da peça por meio da criação do programa que contém informações que consistem essencialmente em descrever a trajetória da (s) ferramenta (s) necessária (s) para a geração da forma desejada, com base nos dados armazenados durante a fase de modelamento (elementos geométricos). Os programas de controle numérico são gerados automaticamente no sistema CAM, o que reduz o tempo de programação manual, reduz a probabilidade de erros na usinagem em relação à programação manual, como também possibilita um controle melhor das ferramentas de corte e oferece maior segurança aos operadores das máquinas-ferramentas, que podem assim aproveitar o tempo para direcionar suas habilidades à supervisão do processo de produção de cada máquina. Assim, o sistema CAD/CAM pode ser definido como o sistema computacional que permite criar um modelo e gerar o programa para a sua fabricação.

Como resultado da integração dos sistemas CAD/CAM obtém-se, além do modelo, um programa NC que contém a trajetória da ferramenta para a execução de uma determinada peça na máquina CNC. Com os sistemas CAM é possível transferir todas as coordenadas para que as máquinas CNC efetuem a (s) operação (s) de usinagem da (s) peça (s). Quanto

maior a exatidão do desenho gerado no sistema CAD, maior será a exatidão dos caminhos de ferramenta gerados pelo CAM e, conseqüentemente, será produzida uma peça de maior qualidade dimensional e de forma.

Neste processo, os usuários ainda podem usar sua experiência, conhecimento e criatividade para formar uma interação do sistema entre o homem-computador, a fim de melhorar a qualidade do projeto e eficiência do perfil que se deseja usinar (HUANGFU; PEI, 2010).

2.1.2 – Principais Tipos de Sistemas Computacionais

Como já comentado anteriormente, os termos CAD/CAM estão diretamente relacionados com a redução de custos de projeto e fabricação de um produto por meio da utilização de computadores, eliminando a necessidade e o custo de se realizar experimentos com protótipos. Após a confecção do projeto no programa CAD, este arquivo (modelo) deve ser exportado para o sistema CAM.

Alguns programas mais modernos já possuem integração entre os sistemas CAD/CAM por meio de módulos para o modelamento/fabricação de produtos como apresentado na Fig. 2.1.

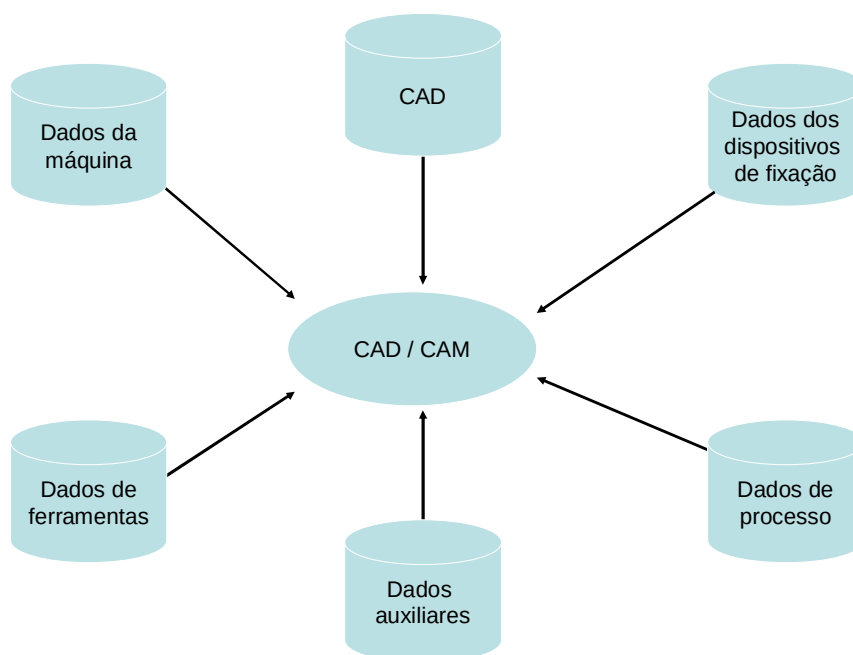


Figura 2.1 – Bancos de dados associados aos sistemas CAD/CAM (SIMÕES, 1999).

Os sistemas CAM utilizam computadores indiretamente como ferramenta de suporte para as operações de produção. Ainda não se tem conhecimentos sobre a existência de uma interface direta do sistema computacional com o processo de manufatura. O sistema é utilizado de forma *off-line* para auxiliar no planejamento, programação, previsão e controle de instruções e informações para o processo produtivo. Em aplicações de usinagem, a utilização do sistema CAM constitui a última fase para a fabricação do modelo da peça, pois com ele é possível simular dentre outras a trajetória da ferramenta, conhecer a sequência de operações da máquina, o tempo de usinagem, o tamanho do arquivo. Indiretamente ao utilizar o sistema CAM, é possível ter idéia do custo total de materiais e produção. As aplicações de sistemas CAM estão relacionadas com o planejamento de processos e, principalmente, com a automação da programação de máquina CNC (MENEHELLO, 2003).

Dentre as várias aplicações dos sistemas CAM, pode-se citar a fabricação de superfícies complexas como a de moldes e matrizes, que envolve etapas de usinagem (geralmente classificadas em desbaste, semi-acabamento, acabamento, limpeza, polimento e tratamento final). Na operação de desbaste, a maior parte do material é removida da superfície para gerar uma forma aproximada da superfície real. No semi-acabamento esta operação tem por objetivo remover menor quantidade de material que no estágio do desbaste, preparando a superfície para operação de acabamento final a peça. Na fase de acabamento, a superfície gerada é esperada para ser aquela solicitada de acordo com o projeto com especificações e tolerâncias. O acabamento final dos moldes e matrizes desempenha um papel fundamental na redução do tempo, pois prepara a peça para a operação de polimento. A etapa de polimento normalmente é realizada manualmente e requer muita habilidade do operador. A etapa de tratamento final é aquela em que a peça irá sofrer tratamento termo-químico, ou térmico (LASEMI et al., 2010).

Sabe-se que existem vários programas computacionais dedicados a modelamento de sólidos das mais diversas áreas (mecânica, elétrica, madeiras, odontológica, polímeros, etc) que podem ser utilizados para a elaboração de modelos simples, até mais complexos. Alguns destes programas com tecnologia CAD são o AutoCad, TopSolid, Catia, SolidWorks, SolidEdge, Unigraphics NX, Mechanical Desktop, Alibre Design, Acis 6.3, Pro-Engineer, Inventor, Microstation, DXF 13, Google Sketchup, Space Claim, HiCAD, Parasolid 11.1, Turbo CAD. Outros programas também utilizados para elaborar projetos genéricos, são o FreeCad, QCad, Blender e o Wings. Em relação aos sistemas CAM, alguns deles podem ser encontrados de forma associada e integradas com aqueles sistemas CAD, como é o caso do TopSolid CAD/CAM, SolidWorks CAM, SolidCAM, EdgeCAM, VISI-Machining 3d, ZW3D

CAD/CAM, NX-CAM, Shop Floor CAM, CNC Programmer COM, Work NC CAM/CAD, MasterCAM e Powermill CAM.

Algumas das mais importantes empresas mundiais fabricantes de programas CAM são: Dassault Systèmes, Siemens PLM Software, Delcam, Missler Software, Vero Software Plc, Planit Holdings, PTC, Tebis, Cimatron, Open Mind Technologies, Software e CNC.

Atualmente é possível fabricar peças ou gerar as mais diversas superfícies utilizando programas CAD/CAM aliada a técnicas que utilizam à prototipagem rápida para verificar a funcionalidade da peça antes mesmo que seja fabricada e enviada para o mercado. Um programa CAM pode ser integrado ao sistema CAD por meio de um projeto (desenho ou modelo). O mesmo é aberto em um programa CAM que possui um banco de dados com informações sobre comandos de programação de vários tipos diferentes de máquinas e ferramentas. Na Fig. 2.2 é apresentada uma tela de um programa CAD/CAM com as ferramentas de trabalho e com detalhes da biblioteca de ferramentas de corte que podem ser selecionadas.

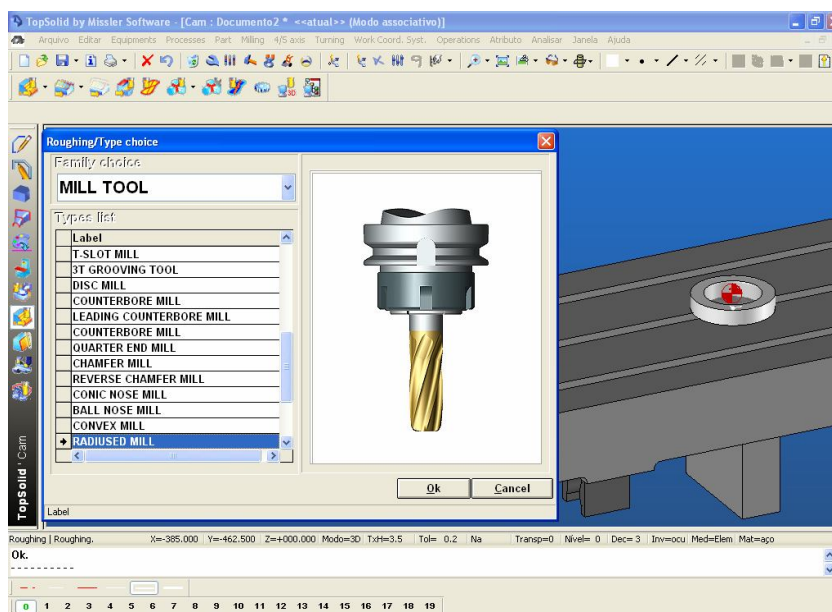


Figura 2.2 – Tela programa CAD/CAM com biblioteca de ferramentas de corte (TopSolid, 2008).

Para peças com grande complexidade, como é o caso de alguns moldes para injeção de plástico, o sistema CAM auxilia na transferência, por exemplo, de programa com cinquenta mil (50.000) linhas em pouco menos de cinco (5) minutos, o que seria um trabalho extremamente árduo para o programador/operador realizar a digitação de tal programa na máquina da forma manual.

2.1.3 – Integração CAD/CAM/CNC

Os sistemas integrados CAD/CAM/CNC são formas de automação programável baseada em comandos que formam um programa de instruções projetado para uma tarefa de usinagem. Quando a tarefa é alterada, o programa de instruções também deve ser modificado e essa capacidade de mudança confere flexibilidade ao equipamento. Um programa de usinagem CNC é uma lista de instruções codificada (letras, números e símbolos) que descrevem como a peça projetada será usinada. Cada linha do programa é chamada de bloco, e estes blocos são executados sequencialmente. Uma linha de comando de um programa pode conter informações sobre o movimento da ferramenta, velocidade e avanço, os números que junto às letras, definem a modalidade da operação, ou informações que acionam funções auxiliares, como por exemplo, movimentar os eixos e ligar o fluido refrigerante (DEMENICI, 2006). A obtenção dessas informações depende, sobretudo, dos dados da peça a ser usinada. O programa de comando numérico, elaborado em linguagem própria desenvolvida para um equipamento, define as sequências de operações a serem realizadas pela máquina. Podem ser inseridos de modo direto (manual) MDI (do inglês *Manual Data Input* que significa Entrada de Dados Manual) ou indireto nas máquinas com auxílio de dispositivos de entrada de dados como programas CAD/CAM (FAROUKI et al. (1999); DEMENICI (2006)). Na Tab. 2.1 são apresentados exemplos de alguns caracteres que estão presentes em um programa CNC.

Tabela 2.1 – Caracteres de um programa CNC (DEMENICI, 2006).

Caractere	Significado
N	Número da linha (bloco)
G	Função preparatória (define a máquina o que deve fazer, preparado-a para executar um tipo de operação, ou para receber uma determinada informação)
X	Movimento no eixo X
Y	Movimento no eixo Y
Z	Movimento no eixo Z
I	Distância incremental paralela ao eixo X
J	Distância incremental paralela ao eixo Y
K	Distância incremental paralela ao eixo Z
M	Função miscelânea (relacionadas aos recursos da máquina não cobertos pelas funções preparatórias)
S	Rotação do eixo árvore
F	Avanço
"#" ou "L _f "	Fim do programa

Existem no mercado vários programas CAM que visam facilitar e agilizar o processo de fabricação e automatização das etapas de programação para execução de uma tarefa. Estes programas normalmente se adaptam a certas aplicações, oferecendo recursos específicos, mas possuem também limitações. Algoritmos para otimização de trajetórias da ferramenta, interpolações de diversos tipos, estudos para melhorar o acabamento, acessibilidade das ferramentas, usinagem em alta velocidade de corte (HSM) e para simulação da usinagem são constantemente desenvolvidos e aprimorados para atender as mais diversas aplicações em usinagem (DEMENICIS, 2006). Embora os estudos para desenvolvimentos de algoritmos para otimização do percurso da ferramenta para operações e geometrias complexas sejam cada vez mais frequentes, ainda é escassa a mão de obra para gerar modelos no CAD e CAM e ao mesmo tempo operar e ajustar parâmetros de corte na máquina ferramenta.

2.1.4 – Programa CAD/CAM TopSolid

O programa TopSolid assim como outros programas CAD/CAM foi elaborado para atender as necessidades de empresas que trabalham com processos de fabricação, principalmente no setor de usinagem. A simulação da máquina, verificação de colisão, sincronização dos fusos, atualização da peça em bruto e visualização da remoção de material, são alguns dos aplicativos presentes neste programa que são indispensáveis para a programação do caminho da ferramenta (PASCHOAL et al., 2006).

Para criar uma peça em três dimensões (3D) primeiramente deve-se fazer o desenho em duas dimensões (2D). O programa TopSolid CAD contém em sua biblioteca ferramentas para criar superfícies geométricas (como linha, quadrado, circunferência, etc). O programa TopSolid CAD é um programa que permite a modelagem por sólido, ou seja, ele descreve um modelo em termos de sua forma volumétrica. Esta característica é muito importante nos programas CAD/CAM modernos, pois possibilita uma completa descrição de um objeto evitando erros que existiam em outros tipos de modelagem (PASCHOAL et al., 2006). A Fig. 2.3 (a) apresenta um objeto modelado no programa TopSolid CAD. Após a elaboração do desenho no programa CAD, o mesmo deve ser exportado para o programa CAM. O programa TopSolid CAM contém em sua biblioteca opções, como tipos de interpolação (linear, circular e polinomial) que é um dos importantes aspectos de contorno utilizado na usinagem com programação NC, como também, tipos de máquinas CNC's, ferramentas de corte. Ele ainda permite selecionar os parâmetros de corte (V_c , f_z , a_p), trajetória da ferramenta, interpolação, tolerância e realizar a simulação da operação de usinagem (Fig. 2.3 (b)).

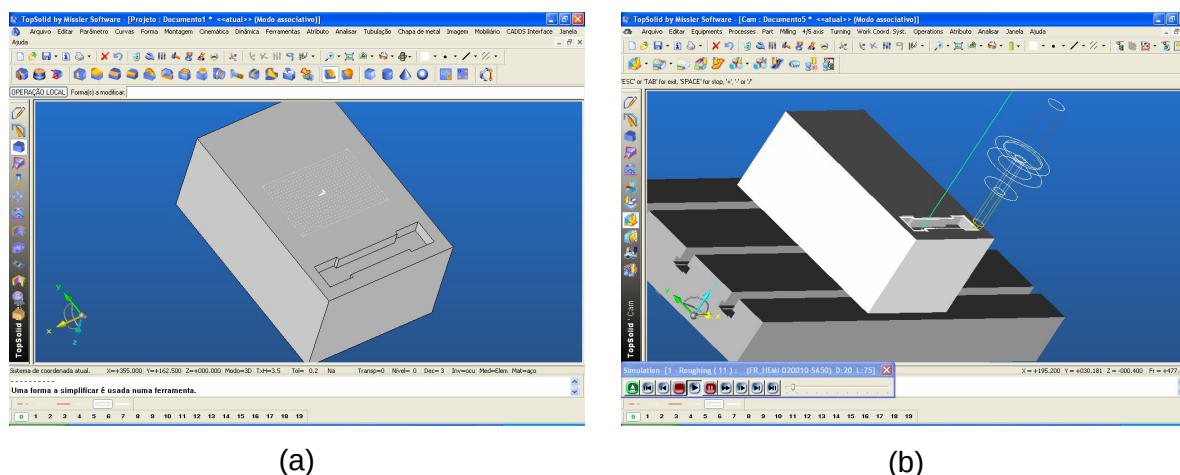


Figura 2.3 – Tela programa TopSolid: a) projeto na plataforma CAD; peça já posicionada sobre a mesa da máquina CNC e ferramenta simulando a usinagem na plataforma CAM (TopSolid, 2008).

O programa CAM ajusta a trajetória da ferramenta dentro de uma banda de tolerância definida pelo usuário. Quanto menor a banda, mais próxima a ferramenta estará da geometria CAD, e, por conseguinte, da geometria real da peça. Entretanto, menores serão os segmentos de retas. Além disso, os programas CNC apresentam um maior volume de dados, pois mais linhas irão compor o programa e esta característica poderá ser uma limitação em termos de velocidade de avanço durante a operação de usinagem, em especial para formas complexas. Alguns programas CAM permitem determinar limites de tolerâncias por meio de uma banda de variação com possibilidade de desvio da trajetória para dentro e/ou para fora da geometria desejada. Daí, a importância do conhecimento destas características presentes nos programas CAM de usinagem pelo usuário (DE SOUZA; ULBRICH, 2009).

O programa TopSolid apresenta três estratégias para o caminho da ferramenta (Fig. 2.4). Segundo Hatna et al. (1998) estas estratégias para a operação de fresamento de *pockets* podem ser classificadas em:

- **Contorno paralelo:** o caminho da ferramenta (também chamado tipo espiral). A ferramenta segue, com movimentos em espiral, desloca os elementos do *pocket* e reduz as entradas de fora para dentro do contorno (Fig. 2.4 (a));
- **Fresamento zig-zag:** (também chamada de direção paralela, *sweep*) a ferramenta segue caminhos paralelos equidistantes de uma linha de referência mapeando a área do *pocket* para um ponto inicial na direção indicada (Fig. 2.4 (b));

- **Componente de deslocamento padrão:** (também chamado de contorno sucessivo) os caminhos das ferramentas são gerados pelos sucessivos deslocamentos paralelos externos para os contornos internos. Os caminhos da ferramenta além da quantidade de contornos substituem por um rápido movimento de avanço ou rápido transversais (Fig. 2.4 (c)); Nestas figuras também são indicados os pontos onde a ferramenta inicia o corte (ponto inicial).

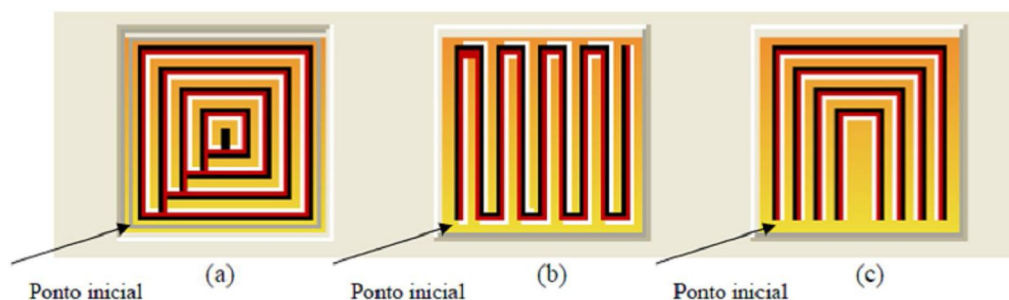


Figura 2.4 – Percursos para a ferramenta de corte a partir do vértice: (a) espiral (b) sweep ou zig-zag (c) contornos sucessivos (programa TopSolid'Cam, 2008).

Para a escolha apropriada dessas trajetórias de uma ferramenta para uma dada aplicação é importante atentar-se para as características de cada método de interpolação, pois isso irá influenciar no número de linhas do código de máquina, no tempo de usinagem e no acabamento final da peça (GROOVER, 2001).

No passado, as operações de usinagem eram realizadas por meio de programação manual e em geral ponto a ponto. A ferramenta deslocava-se da posição inicial para posição programada sem considerações da trajetória, e para isso ela empregava a menor distância entre estas duas posições. À medida que as máquinas-ferramentas foram se evoluindo, novas técnicas de movimentação tridimensional com interpolação entre eixos foram também incorporadas nestas máquinas. A interpolação é a estimativa de um valor funcional, não existente, por uma média de valores funcionais conhecidos, e que estão dispostos ao redor. Isso é o que ocorre na trajetória de movimentação de uma máquina-ferramenta CNC. Neste contexto, o interpolador é aquele dispositivo do comando numérico responsável por calcular os valores intermediários de movimentação entre dois pontos da trajetória, A (x_A , y_A , z_A) e B (x_B , y_B , z_B), dividindo a trajetória em n segmentos. Assim, o interpolador dividirá também a trajetória em n intervalos de movimentação para cada eixo, individualmente. Logo, quanto maior o número de impulsos por unidade de tempo, menor será a unidade de incremento e, portanto, maior será a exatidão de movimentação (DE SOUZA, ULBRICH, 2009).

Schützer e Helleno (2009) classificam os tipos de interpolação em linear, circular e polinomial que são descritas a seguir e ilustrada na Fig. 2.5.

- **Interpolação Linear:** é considerado o tipo mais simples, ela é empregada quando se deseja um trajeto de linha reta a ser gerada em trajetória contínua NC. Dois e três eixos de interpolação linear são distinguidos, na prática, mas conceitualmente são os mesmos. O programador especifica o ponto inicial e o ponto final da reta. É o computador através de algoritmos que calcula o trajeto de cada um dos dois (ou três) eixos para que a ferramenta descreva a trajetória desejada. Neste método o sistema CAM determina a trajetória da ferramenta através de segmentos de retas que melhor se adaptam à tolerância aplicada (Fig. 2.5 (a));
- **Interpolação Circular:** este tipo baseia-se em determinar a trajetória da ferramenta por meio da programação de um arco circular, especificando os seguintes parâmetros: (1) as coordenadas do ponto de partida; (2) as coordenadas do ponto final; (3) o centro ou o raio do arco e (4) a direção do corte ao longo do arco. O trajeto da ferramenta é composto por uma série de pequenos segmentos de retas calculados pelo módulo de interpolação do programa (Fig. 2.5 (b)). A ferramenta irá usinar ao longo de cada segmento de linha, um por um para gerar o melhor trajeto circular. A limitação da interpolação circular é que o plano em que o arco circular está deve ser um plano definido pelos dois eixos do sistema NC (x-y, x-z, ou y-z). Neste método, além da geração de segmentos de reta, são utilizados também arcos que permitem uma melhor adaptação à faixa de tolerância aplicada. Estes arcos permitem que a trajetória da ferramenta seja mais suave, e consequentemente recomendada para usinagem de superfícies complexas que contém arredondamentos, partes côncavas ou convexas, por exemplo, evitando o chamado “faceteamento” da superfície deixado pela interpolação Linear (Fig. 2.5 (a)).
- **Interpolação Polinomial Nurbs (*spline*):** neste método, são utilizados segmentos de curvas, baseados em modelos matemáticos, que geram uma trajetória da ferramenta mais suave e também mais precisa dentro da faixa de tolerância aplicada ao modelo (Fig. 2.5 (c)).

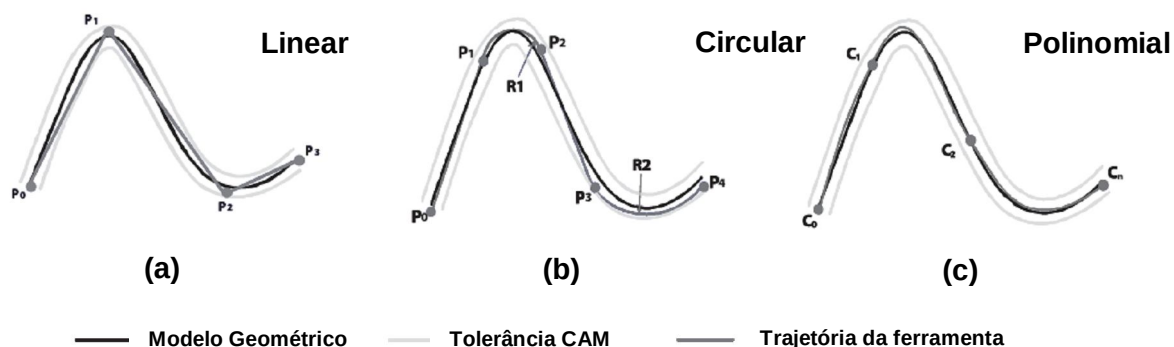


Figura 2.5 – Diferenças entre os tipos de interpolação (adaptado de SCHÜTZER; HELLENO, 2009).

Utilizando a interpolação linear, circular e *spline* a trajetória da ferramenta aproxima-se mais do caminho real a ser percorrido.

Onde:

P0, P1, P2, P3: Trajetória da ferramenta em linha reta;

R1, R2: Raio de curvatura;

C0, C1, C2, Cn: Trajetória da ferramenta em *spline*.

Lasemi et al. (2010) classificam em três os métodos principais de geração do caminho da ferramenta que são: iso-paramétrico, iso-planar e *iso-scallop*.

- **Iso-paramétrico:** os caminhos da ferramenta são planejados no espaço paramétrico. A ferramenta é movida por pontos igualmente espaçados na direção de u e na direção de v da superfície (u e v são os parâmetros da superfície). Cada ponto selecionado do domínio $u - v$ corresponde a um ponto (x, y, z) na superfície da peça e pode ser usado no caminho da ferramenta (Fig. 2.6 (a));
- **Iso-planar:** este método de planejamento de caminho usa as curvas de intersecção entre a superfície e um plano como caminho da ferramenta. E, portanto, um método de geração de caminho no espaço de trabalho, que utiliza um plano como superfície definida pelo usuário, e é considerado um caso específico do APT. Tal método é caracterizado pela distância constante entre os planos que determinam caminhos adjacentes da ferramenta (Fig. 2.6 (b));
- **Iso-scallop:** este método de geração de caminho proporciona um caminho da ferramenta com menor comprimento total quando comparado com os outros métodos (Fig. 2.6 (c)).

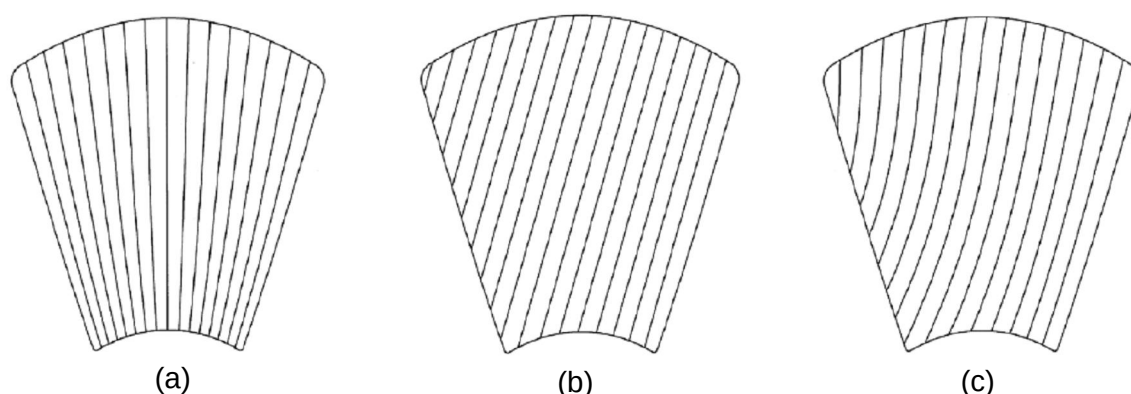


Figura 2.6 – Métodos de geração de caminhos – (a) iso-paramétrico, (b) iso-planar, (c) *iso-scallop* (FENG; LI, 2002).

Esses três métodos principais de geração do caminho da ferramenta têm uma característica em comum. Quanto maior o nível de exatidão do caminho, em termos de qualidade dos pontos do caminho da ferramenta na superfície, maior o requisito de memória da máquina. Da mesma forma que quanto menores as tolerância aplicada às peças menores serão os comprimentos dos segmentos de reta ou arcos, na qual o caminho da ferramenta deverá seguir o modelo geométrico com maior exatidão (Fig. 2.7) (DE SOUZA (2004); DE AZEVEDO (2009)).

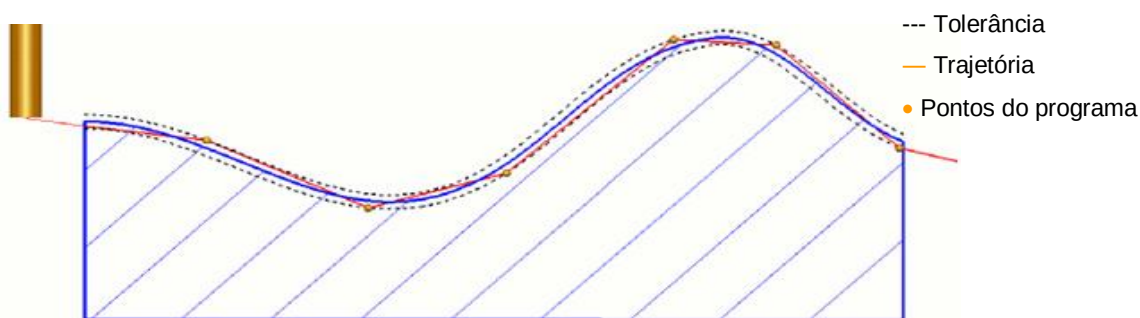


Figura 2.7 – Tolerância de cálculo dos programas NC (DE SOUZA; COELHO, 2003).

Após a seleção de todos os parâmetros necessários para uma operação, estes são alimentados no CAM que irá gerar os códigos NC através do pós-processador que transforma a linguagem do sistema CAM para linguagens da máquina. O sistema CAM gera um arquivo NC específico para cada tipo de máquina com controle numérico. Este arquivo é conhecido como CLF (do inglês *Cutter Location File* que significa Arquivo Local de Corte). Este arquivo é caracterizado por informações compatíveis à máquina NC, o qual utiliza apenas o percurso da ferramenta representado por coordenadas no plano cartesiano (SCHULTZ, 1999). Na Fig. 2.8 são mostradas as etapas necessárias para geração de um programa NC.

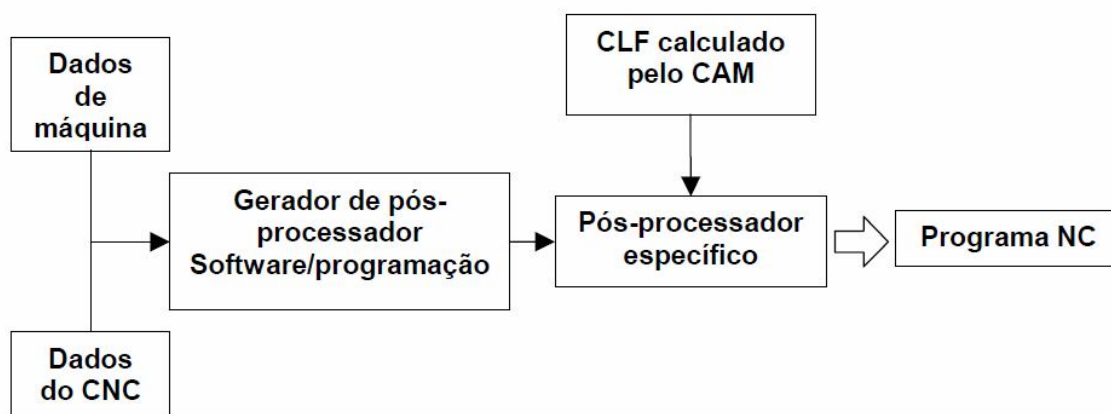


Figura 2.8 – Etapas para pós-processamento de programas NC (DE SOUZA, 2004).

As instruções de saídas são geradas pelo pós-processador em um arquivo de NC, gerando assim o código G conforme apresentado na Fig. 2.9 (NEWMAN et al., 2008).

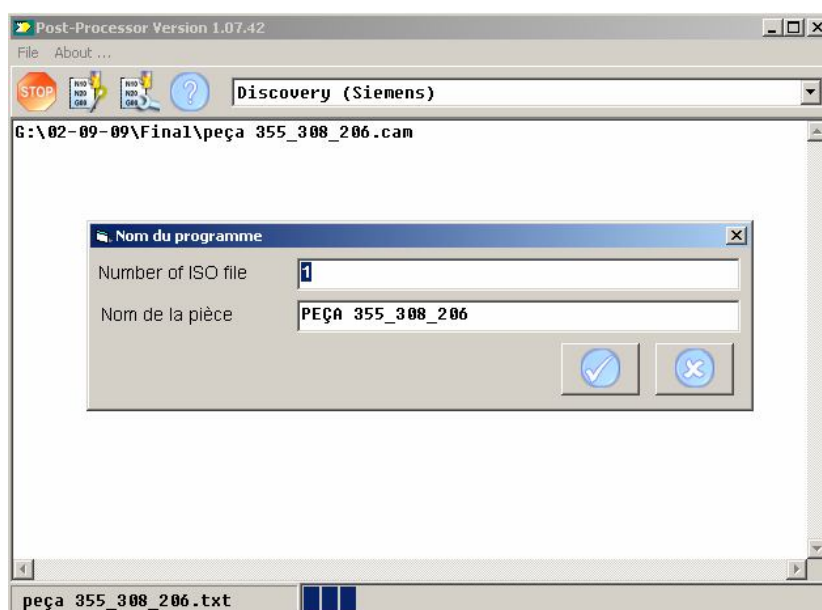


Figura 2.9 – Tela do pós-processador gerador dos códigos NC (TopSolid, 2008).

Alguns autores investigaram a influência dos parâmetros selecionados no programa CAD/CAM na fabricação e na produtividade do setor de manufatura.

Marinac (2001) investigou o impacto da usinagem a alta velocidade sobre as técnicas de programação da trajetória da ferramenta, para levar em conta os movimentos que proporcionam volume constante de remoção de cavacos com a ferramenta em movimento constante. Isto foi obtido reduzindo-se a profundidade de corte, que mantêm estável as forças de corte e permite que os cavacos fossem removidos eficientemente. Os parâmetro de entrada otimizada produzem a usinagem inteligente que gera uma trajetória da

ferramenta inteligente que também reduz o tempo total de usinagem. As suas características incluem opções para examinar os dados entre camadas Z; conexões de avanço da HSM, usinagem de controle de inclinação da geometria para a usinagem a alta velocidade. Esta também inclui a função helicoidal e em rampa, que é usada para a usinagem de cavidades, e a função de acabamento otimizado com um comprimento restrito da ferramenta. Esses parâmetros de entrada serão baseados em experiência do operador e o sistema proporcionará aos usuários a flexibilidade de armazenar as suas próprias técnicas de manufatura.

Kim e Choi (2002) mencionaram que, apesar do caminho em zig-zag (com cantos vivos) resultar em um maior tempo de processamento em comparação com contorno sucessivo, o contorno sucessivo na usinagem de moldes e matrizes causa aumento constante das cargas.

Gyldenfeld e Stroh (2003) avaliaram que a trajetória da ferramenta na interpolação nurb reduz o volume de dados nos programas NC. As trajetórias que as ferramentas descrevem são mais lisas e constantes do que as trajetórias com interpolação linear. A capacidade de aceleração da máquina não fica sobrecarregada, porque a ferramenta se desloca sobre a trajetória com velocidade uniforme e constante.

De Oliveira et al. (2004) avaliaram um estudo de caso de fresamento a alta velocidade da cavidade de um molde de injeção, que utilizou um sistema CAM para gerar o programa NC. Foram avaliados diferentes recursos apresentados pelos sistemas, tais como o emprego de raios nas mudanças de direção e suavização das trajetórias da ferramenta de corte, utilização de arcos verticais da aproximação e saída da ferramenta na área de trabalho e a utilização de arcos na ligação entre passadas adjacentes. O emprego desses recursos na programação via CAM viabilizou a redução do tempo total de usinagem da cavidade em torno de 21%, comparada à programação convencional sem aplicação de tais recursos.

Schützer et al. (2006) estudaram a relação entre as estratégias de corte, o tempo de usinagem e a qualidade da superfície de aço AISI 1045 (Fig. 2.10). Segundo estes autores, durante a programação CAM, o tempo de programação para a estratégia zig-zag 45° foi menor comparado com o tempo quando aplicada à estratégia definida. Eles atribuíram este resultado ao fato que na estratégia zig-zag é necessário selecionar um tipo geométrico apenas, enquanto no conjunto de estratégias (definida) devem ser selecionados diversos tipos geométricos, bem como configurar os parâmetros para cada um. Estes resultados confirmam que a seleção de geometrias é um fator dependente do tempo de programação CAM e no tempo de usinagem. Devido à baixa variação da rugosidade superficial obtida, foi

possível concluir que a influência das estratégias é perceptível só no tempo de programação CAM.

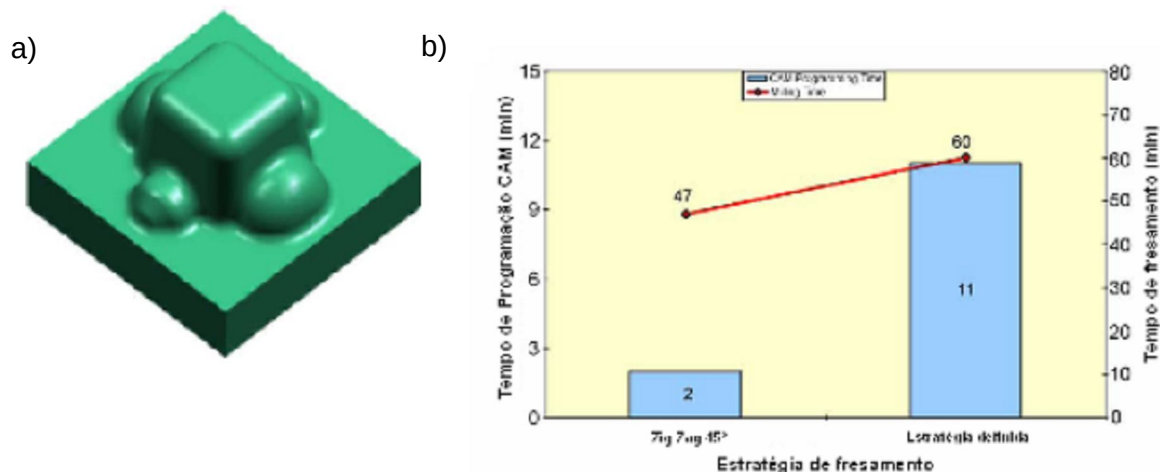


Figura 2.10 – (a) Modelo geométrico (b) Tempo para geração do programa CAM (SCHÜTZER et al., 2006).

De Oliveira (2007) investigou a influência das interpolações linear e polinomial sobre a exatidão final na usinagem de moldes e matrizes com altas velocidades, variando a tolerância CAM para verificar a influência do tempo na fabricação de peças. Verificou-se que a interpolação polinomial melhora a qualidade da superfície, assim como a redução do tempo de usinagem em virtude da não diminuição da velocidade de avanço nas condições de corte empregadas. A interpolação polinomial demonstrou ser uma nova estratégia para a usinagem de moldes e matrizes, uma vez que seu desempenho em relação aos tempos de usinagem é melhor que a interpolação linear.

De Souza e Arias (2008) avaliaram que as funções *spline* são utilizadas com sucesso para representar curvas e superfícies complexas em sistemas CAD. Uma vertente de desenvolvimento atual é aplicar uma *spline* para descrever trajetórias complexas de ferramentas, em substituição a tradicional interpolação linear de segmentos de retas. A curva nurbs representa o estado da arte da ferramenta e propicia melhor controle da curva, ao permitir edições locais.

Para Nunes et al. (2008) ao gerarem um programa pelo CAM com método de interpolação polinomial com a tolerância de 0,001 mm eles observaram um ganho na velocidade efetiva de usinagem em relação à interpolação, como mostrado na Fig. 2.11. Nesta figura pode ser observado que no programa gerado e executado com a interpolação polinomial, a menor velocidade de avanço não foi inferior a 1700 m/min, enquanto que a interpolação linear chegou a velocidades de avanço inferiores a 500 m/min. Isto significa que para um mesmo comprimento usinado implicaria em menor tempo de usinagem com a

interpolação polinomial. A redução do tempo de usinagem da peça, em torno de 20 minutos, equivalente a um benefício de 36% aproximadamente, quanto ao tempo total da operação. Fato este que deve ser considerado na produção de peças complexas. Os autores atribuíram esta vantagem ao aumento da exigência de processamento do controlador e ao pequeno programa gerado pelo CAM para o comando da máquina. Por outro lado, eles informaram que o método de interpolação linear e programação CAM equivalente à especificação da máquina (0,025 mm), produziram um acabamento superficial da peça ligeiramente superior aquele produzido pelo método de interpolação polinomial.

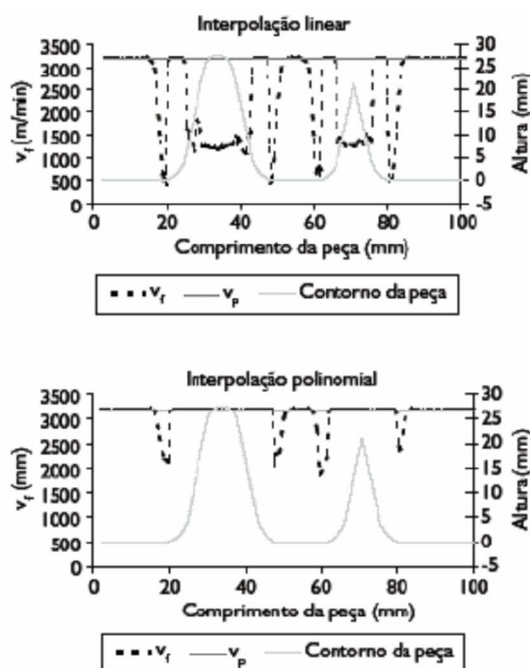


Figura 2.11 – Velocidade em função do comprimento da peça usinada e do tipo de interpolação empregado e tolerância de 0,001mm na geração do programa CAM e usinagem da peça (NUNES et al., 2008).

Rodrigues (2009) avaliou o desgaste das ferramentas de corte e do acabamento superficial no aço não endurecido VP50 IM a partir de diferentes estratégias CAD/CAM, e verificou que diferentes interpolações em usinagem (linear e circular) no fresamento de topo tanto o corte concordante quanto o corte discordante afetam significativamente na rugosidade superficial. A interpolação circular usando o corte concordante produziu os melhores resultados com relação ao acabamento superficial e menor taxa de desgaste da ferramenta de corte, pois ao utilizar o corte concordante este minimiza as vibrações no processo de usinagem e assim melhora a qualidade superficial da peça.

Da Silva et al. (2010) investigaram a estratégia de percurso da ferramenta conhecida como contornos sucessivos e variaram-se duas interpolações (linear e circular) e três

tolerâncias (0,01 mm; 0,05 mm e 0,2 mm) no fresamento de topo de anéis de alumínio. Neste estudo mostraram que o fresamento com interpolação circular e tolerância igual 0,01 mm produziu os menores desvios de diâmetro, isto é, valores mais próximos do valor nominal igual a 70 mm. Já ao empregar a interpolação linear com a tolerância de 0,2 mm, em geral, produziram-se os valores mais distantes do diâmetro desejado. O desvio de circularidade apresentou menores variações ao empregar a interpolação circular com tolerância de 0,05 mm comprovando que esta interpolação apresentou-se mais estável nas condições de testes aplicadas. Além disso, observou-se que ao diminuir a tolerância, independente da interpolação, menores desvios de diâmetro e circularidade foram alcançados.

Em outro trabalho sobre este tema, De Oliveira et al. (2010) desenvolveram um estudo na usinagem de peças com geometria de revolução ascendente variando diferentes estratégias sugeridas pelo programa CAM e mediram os desvios geométricos da peça usinada em relação à superfície ideal projetada. Foi utilizada a interpolação *spline*, com estratégias da ferramenta em trajetória ascendente, descendente e circular. Foram repetidas três vezes. Eles observaram uma nítida desvantagem da usinagem com trajetória descendente em relação às demais, pois esta estratégia proporciona mudanças repentinas na configuração das forças de corte na medida em que a ferramenta desce rapidamente pelo eixo Z. Os melhores resultados foram obtidos com a usinagem com trajetória ascendente, sugerindo que a variação do ângulo durante o percurso da ferramenta era um fator menos crítico para este tipo de erro que a direção do esforço. Os autores comentaram ainda que as estratégias com trajetória circular apresentassem valores médios de erros de forma, o que não era esperado, pois teoricamente esta estratégia seria aquela com uma mudança mais suave na configuração de forças, na medida em que a ferramenta descesse lentamente pelo eixo Z.

Recentemente, Da Silva et al. (2011), investigaram a influência de diferentes parâmetros de corte (velocidade de corte, avanço, profundidade de corte e passo lateral) na rugosidade da peça, tempo de usinagem e número de linhas durante o fresamento do aço endurecido VP50 com fresa *ball nose* e estratégia em contorno sucessivo e interpolação linear com tolerância de 0,1 mm. Estes autores observaram que a rugosidade quase não sofreu alteração, mas o número de linhas e o tempo de usinagem sofreram influência do avanço, principalmente. Eles também constataram que nas condições investigadas um programa com maior tempo de usinagem não necessariamente será aquele com maior número de linhas.

2.2 – Linguagens de Programação

Nesta sessão serão apresentadas as linguagens de programação voltadas para Comando Numérico Computadorizado (CNC). Serão abordadas as formas de programação NC que podem ser Manualmente ou Programação Assistida por Computador utilizando programas CAD/CAM voltadas para a usinagem convencional.

2.2.1 – Programação NC

O controle numérico (NC) é uma forma de automação programável nas quais certas funções das máquinas-ferramenta são controladas por um programa. O programa é formado por números, letras e símbolos que definem como uma peça particular pode ser feita (GROOVER; ZIMMERS, 1984). Se o projeto da peça ou o método para a fabricação são alterados, a programação também deve ser alterada. A elaboração de um programa NC envolve uma série de dados relacionados com a geometria e material da peça a ser produzida, com o tipo de máquina a ser utilizada, com as ferramentas disponíveis, com as características do comando numérico e ainda com todos os fundamentos de usinagem envolvidos em cada operação (MASTELARI, 2004).

A programação NC classifica-se basicamente em quatro tipos (QUEIROZ; STEMMER, 1986):

- Programação manual;
- Programação do tipo APT;
- Sistema gráfico-interativo;
- Sistema CAD/CAM.

Nos dois primeiros tipos de programação (manual e APT), o programador é quem elabora o programa, que geralmente é verificado através de sistemas de simulação e/ou é testado diretamente na máquina. Nos dois últimos (gráfico interativo e CAD/CAM) a elaboração do programa é realizada com auxílio do computador e onde todos os dados necessários para a operação são informados pelo operador ou programador que os seleciona na biblioteca do programa, mas a geração final é feita pelo sistema de programação assistida por computador. Todo código NC começa a ser elaborado a partir de um desenho da peça a ser produzida. O programador, ou o sistema de auxílio, deve então definir a forma de fixação da peça, a sequência de operações a serem executadas, as ferramentas que serão utilizadas e as condições de corte. A próxima etapa é a codificação

do programa, que pode ser feita diretamente nos códigos de programação da máquina CNC ou então em uma linguagem do tipo APT que deverá ser pós-processada para a geração das posições da ferramenta (OLIVEIRA (1997); SIMÕES (1999)).

Os comandos de um programa NC são os responsáveis pelo acionamento de uma máquina-ferramenta em geral constituída de dois a até oito eixos de movimento. Em usinagem elas são: furadeiras, mandrilhadoras, centros de usinagem, fresadoras, retíficas dentre outras, como apresentado na Fig. 2.12. Outros equipamentos para processos não convencionais de usinagem como eletro-erosão, corte a laser, corte a plasma, também são dotados de comando numérico computadorizado (DEMENICIS, 2006).

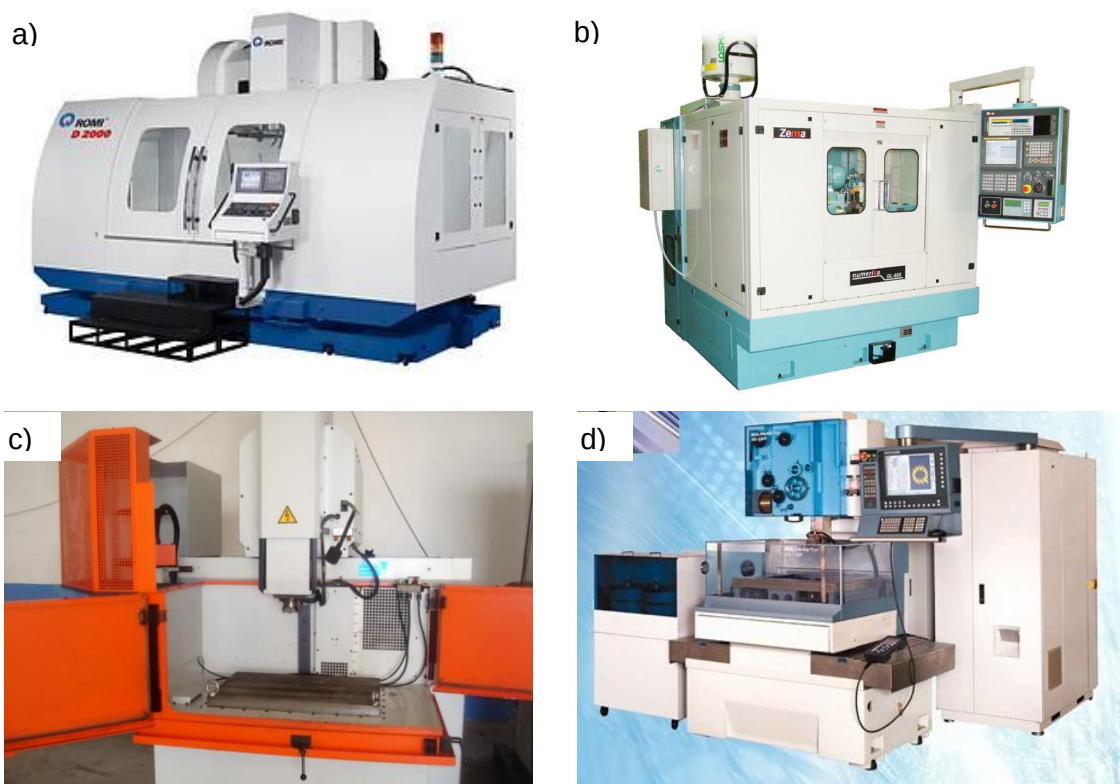


Figura 2.12 – Máquinas equipadas com comando numérico computadorizado: a) Centro de Usinagem (ROMI, 2010), b) Retificadora Cilíndrica Externa CNC Numerika GL 600 (ZEMA, 2011), c) Máquina para corte a laser (ALIBABA, 2011), d) Máquina de eletro-erosão (ABADIA, 2011).

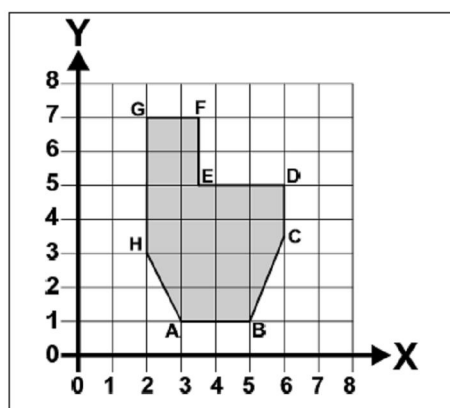
2.2.2 – Programação Manual *versus* Programação Assistida por Computador aplicado à Usinagem Convencional

A programação manual consiste na elaboração de um programa na linguagem do comando numérico computadorizado da máquina a ser utilizado para a usinagem. Na

programação manual faz-se primeiramente uma série de cálculos das relações dimensionais entre a ferramenta, a peça e a área de trabalho, com base nos desenhos da peça proveniente da engenharia. Neste caso, um formulário é preparado com detalhes das informações necessárias para a realização da operação particular. O programa da peça é preparado com base nestas informações (GIBBIS, (1987); SIMÕES, (1999)).

Quando é realizada a programação manual ou APT existe a possibilidade de ocorrer erros ao calcular a trajetória, na coordenada, na escrita, nas funções e etc, além de ser um processo mais demorado que a programação assistida por computador. Consequentemente, a programação manual é utilizada para aplicações simples, ponto a ponto, como operações de furação ou em operações de torneamento ou ainda de fresamento. Embora estas fases confirmem uma identidade separada, elas estão muito interligadas e não podem ser tratadas isoladamente. Uma vez selecionada a máquina ferramenta, a próxima tarefa é elaborar o programa da peça e decidir a sequência adequada de operações. Para fazer isso de forma eficiente, o programador deve, idealmente, ter inicialmente tem bons conhecimentos práticos e teóricos sobre usinagem, conhecer os procedimentos para programação de máquinas CNC, das capacidades e procedimentos operacionais associados à máquina, e um conhecimento adequado do equipamento de trabalho e exploração de ferramentas que podem ser empregadas (LYNCH, (1992); HATNA et al. (1998)).

Para a programação CNC, é fundamental conseguir analisar um desenho e obter dele suas coordenadas. A Fig. 2.13 apresenta as coordenadas de uma peça modelo.



(a)

Ponto	Coordenada	
	X	Y
A	3	1
B	5	1
C	6	3,5
D	6	5
E	3,5	5
F	3,5	7
G	2	7
H	2	3

(b)

Figura 2.13 – Sistema de coordenadas associado com programação manual da peça: (a) formas geométricas em plano cartesiano definido por pontos; (b) coordenadas dos respectivos pontos (adaptado de TAVARES; FONSECA, 2009).

Na Programação Assistida por Computador (CAP), os cálculos requeridos na programação manual são efetuados por meio de sistemas computacionais CAD/CAM. O CAP é o processo de usar um computador para auxílio das ferramentas na preparação dos programas. Isso economiza tempo e resulta num programa mais preciso e mais eficiente. O CAP refere-se especificamente ao uso de um computador (em conjunto com um sistema do programa) para simular um circuito em rede para fins de determinação de parâmetros de teste.

Outros conceitos de tecnologia computacional de redes de comunicação auxiliam a fabricação, como o DNC (do inglês *Direct Numerical Control* que significa Controle Numérico Distribuído). O DNC pode ser definido como um sistema de manufatura, no qual uma quantidade de máquinas é controlada pelo computador através de uma conexão direta em tempo real (MENEGHELLO, 2003). Neste tipo de sistema o programa da peça é transmitido do em um computador central diretamente à máquina-ferramenta pelo pós-processador para sua execução, como apresentado na Fig. 2.14.

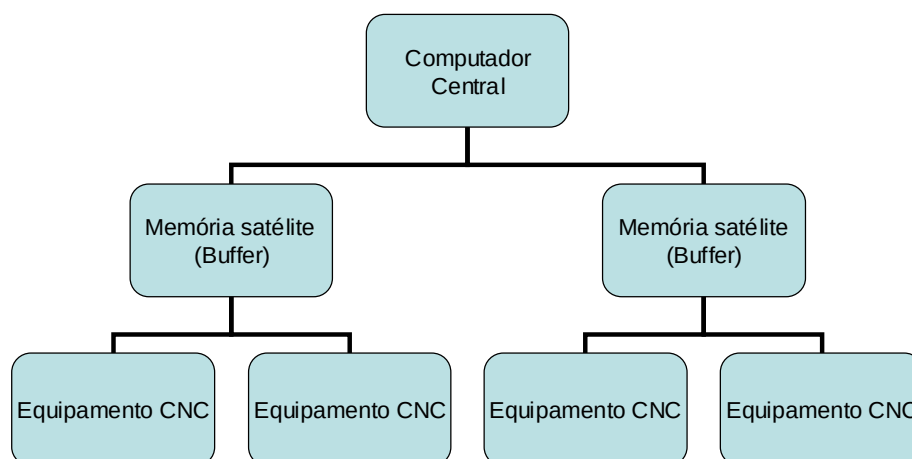


Figura 2.14 – Fluxo de informações em um sistema DNC (MENEGHELLO, 2003).

As instruções de controles e programas de peças são transmitidas via linhas de comunicação do computador central para as máquinas-ferramenta que também podem retornar informações relativas ao estado atual da máquina e dados do processo. Todo este fluxo de informações ocorre em tempo real, permitindo que toda requisição de instrução seja satisfeita quase que simultaneamente. Estes sistemas operam em tempo real com um programa que interliga os computadores e máquinas, controlando e estabelecendo prioridades de comunicação (GROOVER; ZIMMERS, 1984).

O pós-processamento tem a função de converter o arquivo neutro em um programa NC específico para uma determinada máquina ferramenta, visto que existem diferentes tipos

de comandos numéricos com consequentes diferentes em suas características e capacidade. Uma vez gerados os códigos NC pelo pós-processador, deve-se repassar os códigos para a máquina a ser utilizada, usando um programa compatível que faz a interface entre o computador e a máquina CNC. Esses dados são transmitidos por um cabo de conexão RS-232.

Os códigos NC são armazenados na máquina e o programa poderá ser iniciado. Os benefícios na utilização destes sistemas vão além da fabricação. Sua utilização proporciona economia na definição da geometria, pois este processo passa a ser desenvolvido durante o projeto, possibilitando diminuição de erros através da simulação dinâmica do processo e a flexibilização de máquinas ferramentas, viabilizada por modificações rápidas no programa. Segundo De Souza (2004) neste sistema, a partir da representação geométrica da peça disponível em formato digital, é possível, além da programação, simular trajetórias de ferramentas e o processo de usinagem obtendo-se maior exatidão da operação e diminuição do tempo de programação (setup) em comparação com a programação manual, reduzindo desta forma a estimativa de erros grosseiros e consequentemente garantindo a produção de peças com maior qualidade.

2.3 – Interface Homem – Máquina Programa CNC

Nesta sessão serão apresentadas as formas de comunicação com a máquina-ferramenta CNC e os fatores a serem considerados na seleção dos sistemas CAD/CAM.

2.3.1 – Comunicação de Dados

A comunicação de dados entre uma máquina e um computador dentro da indústria pode ser definida pelo termo de teleoperação ou operação monitorada. Ela é um processo contínuo de controle direto de uma máquina-ferramenta à distância (ÁLVARES; FERREIRA, 2006). Inicialmente desenvolvida para a manipulação de materiais radioativos, a teleoperação permite a um operador controlar uma máquina e seus movimentos através de dados visuais, sonoros ou táteis. Com a introdução de teleoperação na tecnologia de fabricação é possível o desenvolvimento de interfaces capazes de proporcionar uma maior interação entre homem e máquina. Na Fig. 2.15 é apresentada a tela com várias janelas com detalhes do programa CNC, das máquinas e de outras partes de uma célula de manufatura.

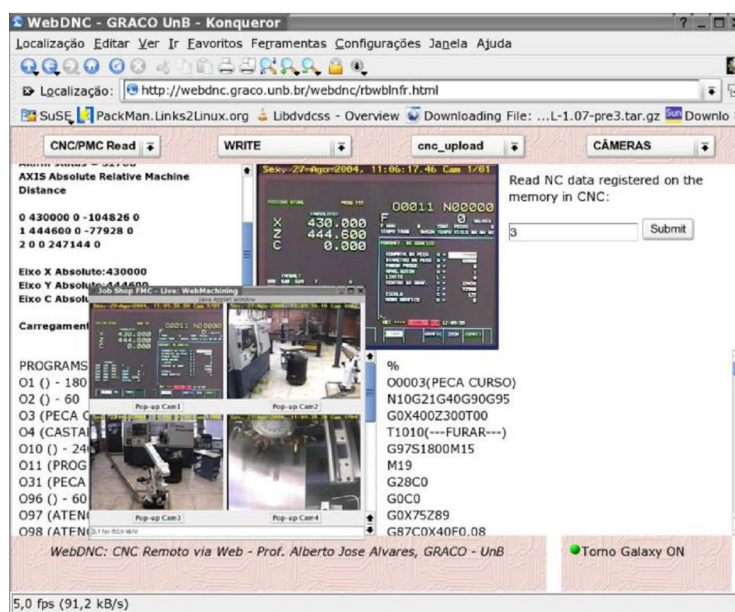


Figura 2.15 – WebTurning: teleoperação e monitoramento remoto do torno galaxy (ÁLVARES; FERREIRA, 2006).

Existem vários sistemas de classificação para descrever a teleoperação. Um desses classifica a teleoperação como sendo um sistema baseado no seu próprio grau de automação. Em um espectro variando da mínima para a máxima autonomia, a teleoperação pode ser dos seguintes tipos (ÁLVARES; FERREIRA, 2006):

- Controle manual sem auxílio computacional;
- Controle manual com significativo auxílio ou transformação computacional;
- Controle supervisão com predomínio do controle realizado pelo operador humano;
- Controle supervisão com predomínio do controle realizado pelo computador;
- Controle completamente automático, onde os operadores humanos observam o processo sem intervenções do homem sobre as operações.

A comunicação de dados para o sistema de máquinas disponíveis pode ser comandada diretamente ou indiretamente como apresentada na Fig. 2.16.

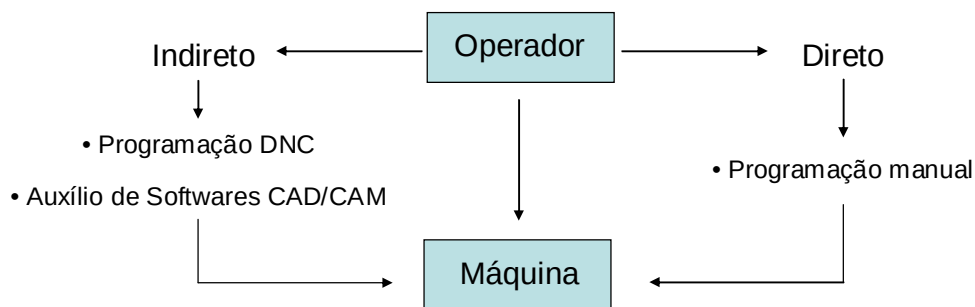


Figura 2.16 – Comunicação de dados com a máquina.

Lal e Onwubolu (2007) utilizaram um sistema teleoperado via internet para auxiliar na operação de furação com furadeira CNC. Segundo estes autores, este sistema ofereceu segurança, já que houve o controle com sistemas tecnológicos como módulos de firewall de autenticação, protocolo de segurança (Fig. 2.17).

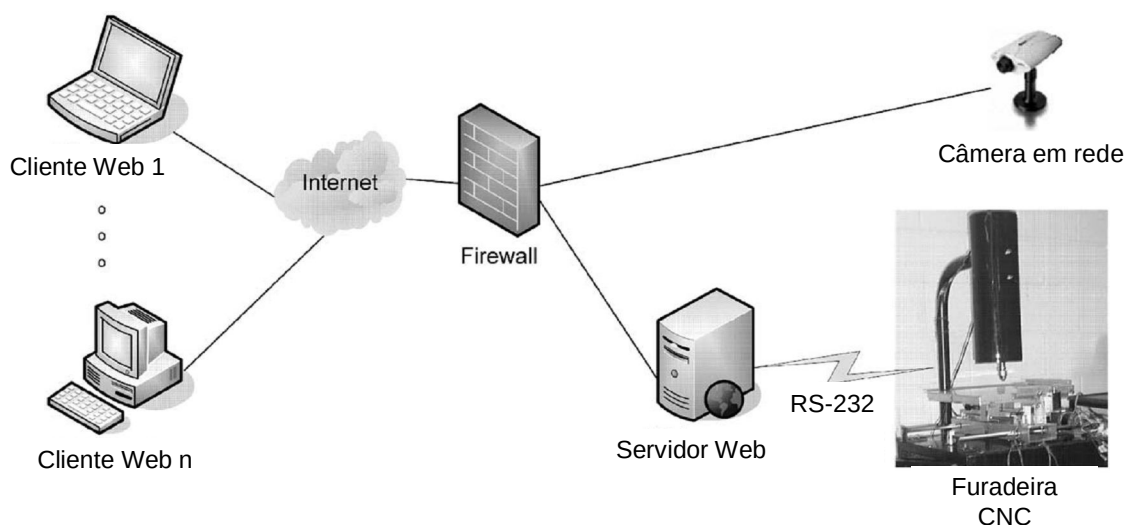


Figura 2.17 – Esquema com vários componentes (subsistemas) de um sistema de produção baseado em teleoperação via web (LAL; ONWUBOLU, 2007).

2.3.2 – Seleção e Gerenciamento de Sistemas CAD/CAM

Ao realizar a seleção de sistemas CAD/CAM é preciso atentar-se para as necessidades e variedade de programas de preferência com aplicações 3D, com bibliotecas que tenham ferramentas com interface amigável e com relativa facilidade para gerar geometrias que estão relacionadas com o seu modelador geométrico, que é o núcleo do

programa. Este núcleo pode ser do tipo modelador de sólidos, modeladores de superfície e modelador híbrido (DE SOUZA; COELHO, 2003).

- **Sistema CAD Modelador de Sólido:** os sistemas CAD modeladores de sólido descrevem um modelo em termos de sua forma volumétrica. Esta característica é muito importante nos programas modernos, pois possibilita uma completa descrição de um objeto evitando erros que existiam em outros tipos de modelagem. Nestes programas é possível realizar soma, intersecção e subtração, (Fig. 2.18), entre geometrias, o que torna bastante ágil o trabalho (DE SOUZA; COELHO, 2003).

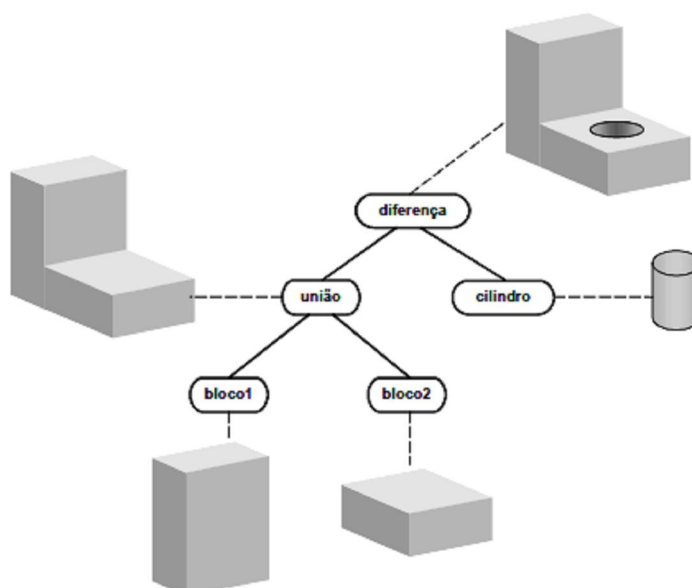


Figura 2.18 – Estrutura de dados em árvore topológica (DE SOUZA; COELHO, 2003).

Neste sistema todas as etapas são armazenadas e assim a peça final possui um “histórico” das operações realizadas para sua construção, chamado de árvore topológica, e que contém entre outras, as informações das operações booleanas realizadas e as características geométricas de cada objeto utilizado na criação do produto final. Em alguns programas, esta árvore topológica pode ser disponível ao usuário. Alterações nesta árvore representam à possibilidade de uma fácil modificação da peça modelada. Por exemplo, se for necessária uma alteração dos diâmetros dos furos realizados pela operação de subtração dos cilindros, o usuário deverá apenas alterar o diâmetro destes cilindros na árvore topológica, e o programa irá automaticamente atualizar as informações gerando o novo objeto modificado (SIMÕES, (1999); DA CUNHA (2000)).

- **Sistema CAD Modelador de Superfície:** estes sistemas utilizam formulações matemáticas complexas, conhecidas como funções *spline* para constituir superfícies. Esta metodologia permite o modelamento tridimensional de formas geométricas complexas, que é a característica principal desta classe de sistemas CAD. As geometrias criadas são superfícies e não possuem espessura. Qualquer ponto de uma superfície pode ser editado. As posições (direções X, Y, Z) de cada ponto podem ser alteradas, mantendo o objeto tridimensional (Fig. 2.19), o que possibilita o modelamento de formas complexas (BEDWORTH, 1991).

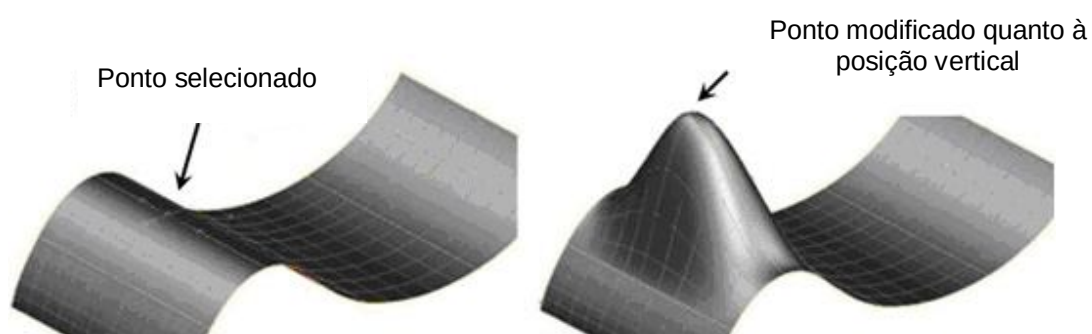


Figura 2.19 – Superfície editada pela alteração da coordenada Z de um ponto (DE SOUZA; COELHO, 2003).

A Fig. 2.20 ilustra que o ponto selecionado possui quatro vetores, laterais e longitudinais à superfície. As edições ainda podem ser realizadas por esses vetores, com duas possibilidades: A e B.

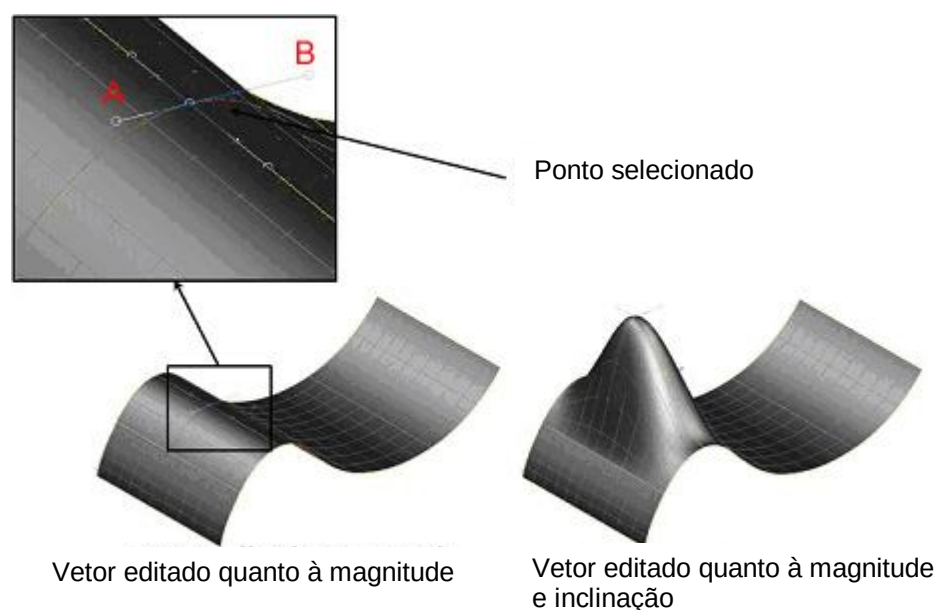


Figura 2.20 – Superfície editada pela alteração da coordenada Z de um ponto quanto à magnitude (DE SOUZA; COELHO, 2003).

Um sistema CAD modelador de superfícies não permite a utilização de operações booleanas para a intersecção entre geometrias, tornando o trabalho mais penoso. Em geral, os programas desta classe possuem custo mais elevado, devido à complexidade destes sistemas, se comparado aos modeladores de objetos sólidos. Contudo, estes programas permitem a geração de formas complexas, que são necessárias em determinadas aplicações (DE SOUZA; COELHO, 2003).

- **Sistema CAD Modelador Híbrido:** são aqueles sistemas mais robustos que apresentam como principal característica a utilização de complexos algoritmos matemáticos, possibilitando usufruir os recursos das duas classes anteriores, de forma direta e integrada, aplicando o modelamento mais adequado para cada situação específica. Isto representa uma grande versatilidade de trabalho, em geral, são sistemas de maior custo e requerem usuários mais treinados.

Outra classificação para os sistemas CAD/CAM é aquela que se baseia em três categorias: *low*, *middle* e *high-end*. A classe CAD *low-end* é a classe de programas CAD composta por sistemas que utilizam representações geométricas em duas dimensões. Como características principais eles apresentam: baixo custo, comunicação de baixa ordem com outros sistemas. Os sistemas CAD *middle-end* são muito utilizados em aplicações de mecânica, trazem também produtos com grande capacidade de soluções, para problemas específicos, como montagens, modelamento de sólidos e superfícies, etc. Os programas de

CAD *high-end* são aqueles mais robustos, e dotados de elevada capacidade de solução e englobam todos os recursos dos sistemas anteriores, acrescentando: capacidade de modelamento híbrido, recursos de visualização fotográfica; integrados com diversos módulos (CAM, CAE, CAI, etc), em um único programa ou módulos (GAMA, 1999).

2.4 – Qualidades de superfícies usinadas

Nesta sessão serão abordados os conceitos de tolerâncias e desvios geométricos (rugosidade superficial e circularidade) de superfícies usinadas principalmente pela operação de fresamento. Além disso, serão apresentados alguns resultados de trabalhos que investigaram estes desvios, assim como quais parâmetros de usinagem e fatores podem ser alterados para minimizar os desvios geométricos.

2.4.1 – Tolerâncias e Desvios

Sempre que uma operação de usinagem é realizada, o objetivo principal é produzir componentes com o máximo de funcionalidade e intercambialidade a baixo custo e alta produção. Isso significa que cada peça ou conjunto de um produto final seja feito de acordo com as especificações definidas quanto às dimensões, forma e acabamento da superfície. Durante a fabricação, a forma e o posicionamento relativo desses elementos geométricos são desviados da situação ideal. Se estes desvios irão comprometer a funcionalidade da peça, tolerâncias deverão ser aplicadas aos mesmos (ROSAS, 1983). As tolerâncias desses desvios (tolerância de forma, de orientação, de posição e de batimento) constituem as chamadas tolerâncias geométricas. Estes se classificam em: erro de circularidade, cilindridade, rugosidade, retilidade, etc (ROSAS, (1983); DA SILVA, (2001)).

Como o enfoque deste trabalho é na operação de fresamento, o comentário a seguir está relacionada às tolerâncias e desvios de peças que foram usinadas por fresamento. No fresamento, a qualidade e a integridade superficial são preocupações frequentes devido ao seu impacto na apresentação do produto, em termos de comportamento funcional e estabilidade dimensional. Essa qualidade é influenciada por diversos fatores, tais como avanço, velocidade, profundidade e tempo de corte, raio e ângulo da ferramenta, forma da peça, dureza do material, estabilidade da máquina, uso de fluidos de corte, etc. A questão dimensional também é importante, pois deve garantir que as exigências feitas a um produto sejam realmente alcançadas no processo de fabricação. Após fabricar um componente, é necessário determinar as dimensões obtidas da peça pronta e verificar os desvios relacionados com as dimensões pré-determinadas pelo projetista. Estes desvios devem

estar situados dentro de certas tolerâncias, que definem a utilização da peça para sua função específica. O trabalho mecânico efetivo empregado para a usinagem é transformado, em sua maior parte, em energia térmica, sendo que as principais fontes de calor estão na região de cisalhamento e nas regiões de atrito da ferramenta. Em operações de usinagem de precisão, aumentos em velocidade de corte e avanço para usinagem com alta produtividade são geralmente restritos, pois o aumento da temperatura causa um rápido desgaste da ferramenta e variações dimensionais (MACHADO et al., 2009).

No estudo da qualidade superficial e do desvio dimensional, é de suma importância considerar todas as etapas envolvidas no processo. O processo de fresamento efetua operações de desbaste e acabamento, sendo que esta última operação fornece a qualidade superficial e, principalmente, a dimensão final da peça (TEDESCO et al., 2006).

2.4.1.1 – Desvios Geométricos

As superfícies geradas nos processos de fabricação não são superfícies perfeitas. Existem detalhes que só podem ser observados quando estas são ampliadas várias vezes em relação ao seu tamanho original. Quando são observadas com recursos apropriados estas superfícies apresentam irregularidades que dependem do tipo de processo que deu origem à superfície. Os desvios geométricos devem estar situados dentro de certas tolerâncias, que definem a utilização para a função específica da peça. Os desvios geométricos podem ser classificados como macrogeométrico (desvio de forma de uma linha qualquer, circularidade, cilindridade, retilineidade) e microgeométricos (rugosidade superficial) (ARENCIBIA, 2010).

Na Fig. 2.21 é apresentada a superfície em forma de cavidade de revolução de uma peça sendo usinada com fresa *ball nose*. Normalmente, superfícies com estas características devem ser inspecionadas ao final da operação a fim de quantificar os desvios de forma, tais como, o desvio de circularidade, principalmente.

O desvio conhecido como rugosidade superficial são os resultados de sulcos ou marcas deixados pela ferramenta de corte durante a usinagem da superfície da peça. A rugosidade desempenha um papel importante no comportamento dos componentes mecânicos, já que influencia na qualidade de deslizamento, na resistência ao desgaste, na possibilidade de ajuste do acoplamento forçado, na resistência oferecida pela superfície ao escoamento de fluidos e lubrificantes, na qualidade de aderência que a estrutura oferece as camadas protetoras, na resistência à corrosão e a fadiga, na vedação e na aparência da peça. A grandeza a orientação e o grau de irregularidade da rugosidade podem indicar suas causas que, entre outras, podem ser imperfeições nos mecanismos das máquinas-

ferramenta, vibrações no sistema peça-ferramenta, desgaste das ferramentas ou o próprio método de conformação da peça (NBR ISO 4287, 2002).



Figura 2.21 – Usinagem de cavidade em um molde (SANDVIK, 2010).

Tomando-se uma pequena porção da superfície, observam-se certos elementos que a compõem, como mostrado na Fig. 2.22, e explicados a seguir:

- A - Rugosidade ou textura primária é o conjunto de irregularidades causadas pelo processo de produção, que são as impressões deixadas pela ferramenta.
- B - Ondulação ou textura secundária é o conjunto das irregularidades causadas por vibrações ou deflexões do sistema de produção ou tratamento térmico.
- C - Orientação das irregularidades é a direção geral dos componentes da textura, e são classificados como:
 - Orientação ou perfil periódico – quando os sulcos têm direções definidas;
 - Orientação ou perfil aperiódico – quando os sulcos não têm direções definidas.
- D - Passo das irregularidades é a média das distâncias entre as saliências.
 - D1: passo das irregularidades da textura primária;
 - D2: passo das irregularidades da textura secundária;
 - O passo pode ser designado pela frequência das irregularidades.
- E - Altura das irregularidades ou amplitude das irregularidades.

O comprimento de amostragem *cut-off* é definido da seguinte maneira: toma-se o perfil efetivo de uma superfície num comprimento (L), comprimento total de avaliação. Chama-se o comprimento (le) de comprimento de amostragem. O comprimento de amostragem nos aparelhos eletrônicos, chamado de *cut-off* (le), não deve ser confundido com a distância total (lt) percorrida pelo apalpador sobre a superfície (ROSA, 2005).

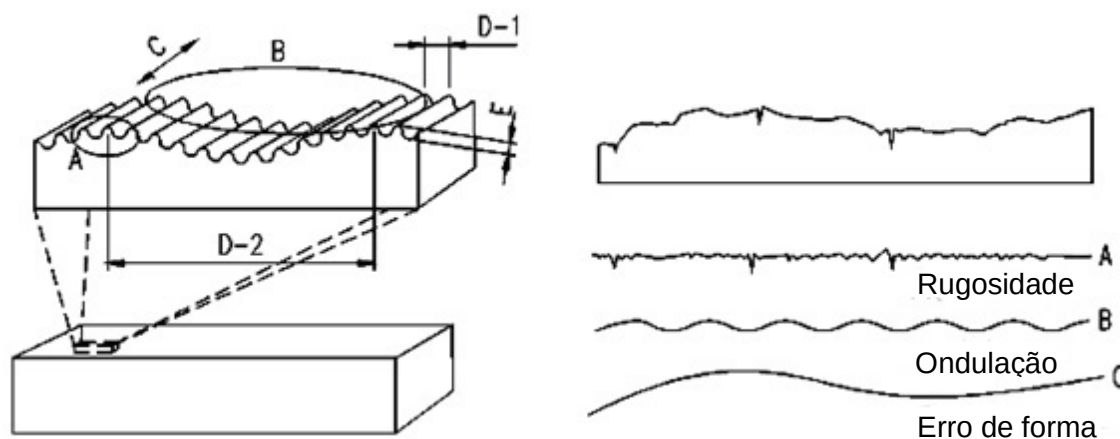


Figura 2.22 – Elementos que compõem a superfície (ROSA, 2005).

Normalmente, para peças produzidas por operações de fresamento se utilizam os parâmetros de rugosidade: R_a , R_q , R_z , R_t , R_c , $R_{máx}$ (NBR ISO 4287, 2002). Dentre os parâmetros utilizados para a medição da qualidade superficial a rugosidade média (R_a) é o parâmetro de medição mais utilizado em todo o mundo. É aplicável à maioria dos processos de fabricação devido a sua grande utilização. Quase todos os equipamentos apresentam esse parâmetro (de forma analógica ou digital eletrônica). Para a maioria das superfícies, o valor da rugosidade nesse parâmetro está de acordo com a curva de Gauss, que caracteriza a distribuição de amplitude (REBRAC, 2010).

➤ Desvio aritmético médio (Rugosidade – R_a)

Rugosidade R_a é a média aritmética dos valores absolutos das distâncias dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro dos percursos de medições (Equação 2.1) (Fig. 2.23) (ARENCEBIA, 2010).

$$R_a = \frac{1}{l_0} \int_0^l |Z(x)| dx \quad (2.1)$$

Onde:

$Z(x)$: ordenada;

l : número de ordenadas consideradas.

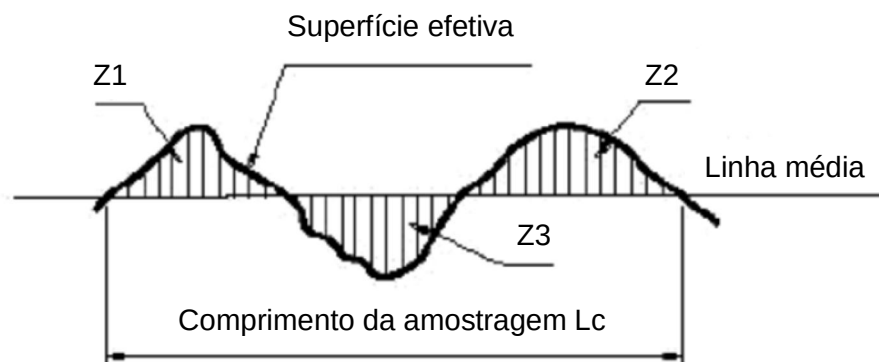


Figura 2.23 – Esquema para obtenção do parâmetro Ra; e comprimento de amostragem (ARENCIBIA, 2010).

➤ **Altura total do perfil (Rugosidade – Rt)**

Corresponde a distância vertical entre o pico mais alto e o vale mais profundo no comprimento de avaliação (l_m), independente dos valores de rugosidade parcial (Z_i). Na Fig. 2.24, pode-se observar que o pico mais alto está no retângulo Z1, e que o vale mais fundo encontra-se no retângulo Z3. Ambos configuram a profundidade total da rugosidade Rt.

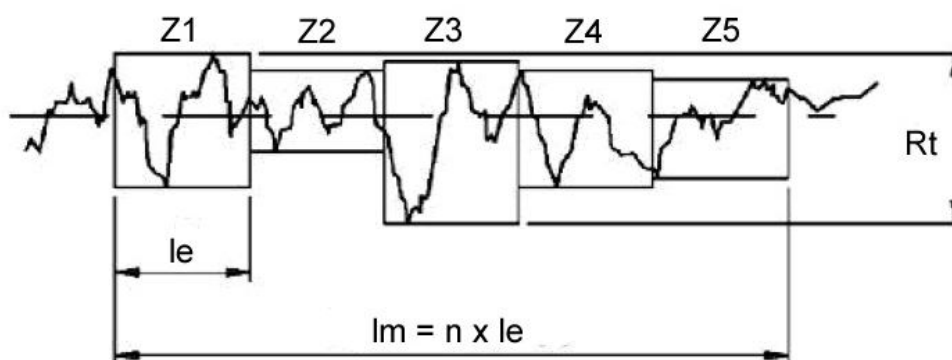


Figura 2.24 – Definição da rugosidade Rt (adaptado de ROSA, 2005).

➤ **Desvio aritmético quadrado (Rugosidade – Rq)**

Corresponde à raiz quadrada da média dos valores das ordenadas, $Z(x)$, no comprimento de amostragem (Equação 2.2) (NBR ISO 4287, 2002).

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{l_0} \int Z^2(x) dx} \quad (2.2)$$

➤ **Média aritmética das alturas pico vale na curva R (Rugosidade – Rz)**

Corresponde à média aritmética dos valores de rugosidade parcial Z_i medidos por linhas paralelas à linha média. Geralmente o percurso de medição é de $5 l_e$ porém poderá ser considerado de $3 l_e$ quando não houver superfície suficiente para medir (Equação 2.3) (Fig. 2.25) (ARENCIBIA, 2010).

$$R_z = \frac{(Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n)}{n} \quad (2.3)$$

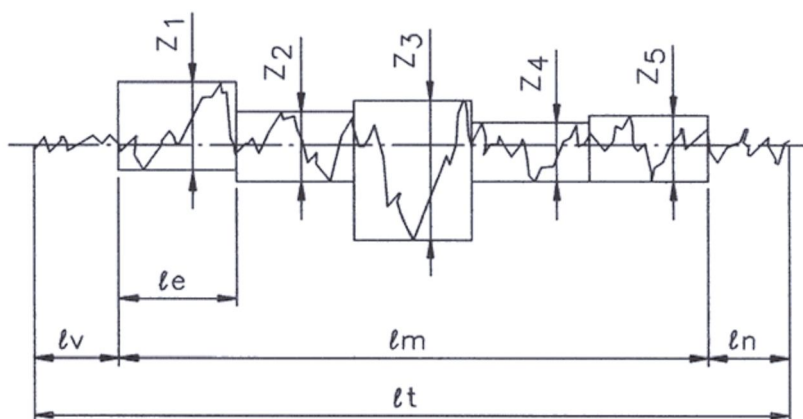


Figura 2.25 – Definição da rugosidade Rz (NBR ISO 4287, 2002).

➤ **Desvio de forma de uma linha qualquer**

O campo de tolerância é limitado por duas linhas geradas por círculos ou arcos de raio “r”, cujo centro situa-se sobre uma linha geométrica teórica (Fig. 2.26) (NBR 6409, 1997).

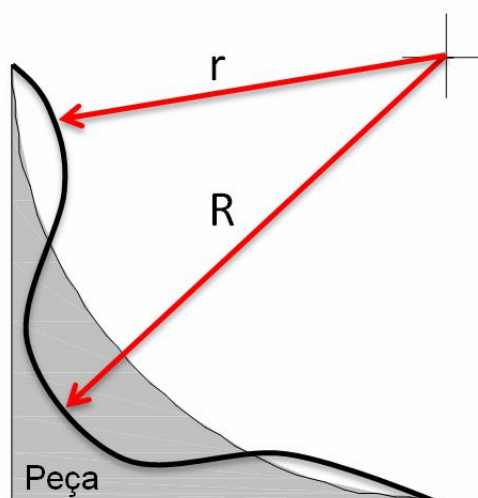


Figura 2.26 – Desvio de forma de uma linha qualquer.

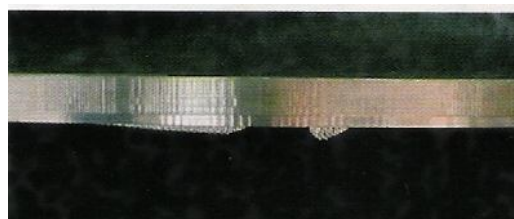
2.4.2 – Estudos em operações de fresamento com monitoramento do acabamento superficial

O controle geométrico envolve procedimentos de determinação de dimensões, forma e posição de elementos sólidos. Sabe-se que durante a fabricação de uma peça não se consegue obter a forma geométrica perfeita. Assim, ao usinar um cilindro tem-se erros de circularidade, cilindridade e rugosidade superficial na seção transversal. Os desvios geométricos gerados durante a usinagem recebem influência de vários parâmetros de usinagem, pois estes estão relacionados com a integridade superficial da peça tais como avanço, velocidade de corte, profundidade e tempo de corte, raio e ângulo da ferramenta, forma da peça, dureza do material, estabilidade da máquina, uso de fluidos de corte, etc (MACHADO et al., 2009).

As condições de corte (V_c , f_z , a_p , a_e) exercem grande efeito na rugosidade superficial. Em baixas velocidades de corte, por exemplo, a superfície usinada apresentará um acabamento rugoso. Para obter um melhor acabamento superficial devem-se alterar alguns parâmetros de corte, assim com o aumento da velocidade de corte que em combinação com baixo avanço e baixa profundidade de corte irá obter-se uma maior qualidade da superfície. A altura dos picos e a profundidade dos vales das marcas de avanço tendem a aumentar com o avanço. A profundidade de corte aumenta as forças e, portanto as deflexões. As alturas das ondulações também são aumentadas com a profundidade de corte. Outro parâmetro que influencia na rugosidade superficial é a geometria da ferramenta que tem grande efeito na rugosidade, principalmente o raio de ponta r_n . Este deve ser suficientemente grande para diminuir o efeito dos dentes de serra das marcas de avanço, com apreciável melhora na rugosidade. Entretanto, um raio de ponta excessivo pode gerar vibrações. A má qualidade de acabamento é muitas vezes consequência de uma geometria de corte e parâmetros de corte escolhidos incorretamente (DINIZ et al. (2006); MACHADO et al. (2009)).

A literatura conta com vários trabalhos sobre investigação da influência de vários parâmetros de usinagem tais como: V_c , f_z , a_p , atmosfera de usinagem e revestimento da ferramenta, dentre outros no acabamento da superfície. Schutzer et al. (2001) investigaram fatores que influenciam na manufatura de moldes e matrizes em operação de fresamento utilizando a interpolação linear e circular com avanço de 3.600 mm/min para avaliar o acabamento superficial. Eles observaram em análise visual que a interpolação linear apresentou um acabamento superficial insatisfatório, devido exclusivamente as vibrações durante a usinagem. Já a interpolação circular obteve uma qualidade superficial muito superior (Fig. 2.27).

Acabamento considerado insatisfatório
(Interpolação linear)



Acabamento considerado satisfatório
(Interpolação circular)



Figura 2.27 – Ensaaios práticos de interpolações de trajetórias de ferramenta para usinagem HSC (SCHUTZER et al., 2001).

Silveira (2002) apresentou um estudo baseado na rugosidade da superficial do aço ABNT H13 utilizando fresa toroidal de 12 mm de diâmetro. Utilizaram-se parâmetros de corte $V_c = 300$ m/min, $f_z = 0,16$ mm/dente e $a_p = 1$ mm. Na Fig. 2.28 é apresentada a rugosidade medida na direção longitudinal e transversal ao avanço. Observa-se que há um pequeno aumento da rugosidade quando esta é medida na direção longitudinal ao avanço. Porém, esta diferença não chega a ser significativa. A influência do avanço por dente (f_z) na rugosidade da peça é pequena devido ao elevado valor do raio de ponta da ferramenta.

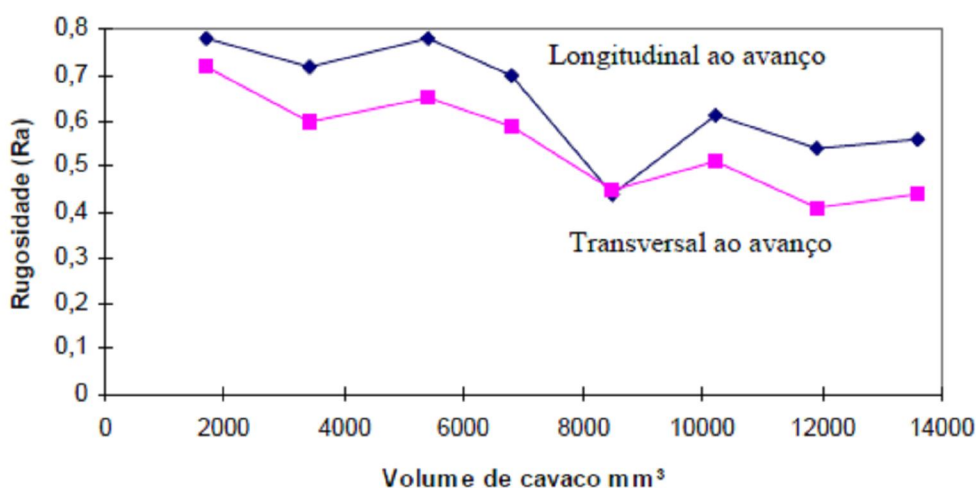


Figura 2.28 – Rugosidade na direção longitudinal e transversal ao avanço (SILVEIRA, 2002).

Coelho et al. (2004) investigaram a circularidade e a rugosidade do aço endurecido AISI H13 (52 HRC) durante a operação de fresamento de topo. Estes autores utilizaram fresas inteiriças de metal duro de 20 mm de diâmetro com revestimento de TiCN na

usinagem a seco com os seguintes parâmetros de corte: $V_c = 25$ m/min, $f_z = 0,08$ mm/dente, $a_p = 0,5$ mm. Foram gerados cavidades cilíndricas de 50 mm de diâmetro utilizando a interpolação circular para descrever a trajetória da ferramenta. Estes autores observaram que os erros de circularidade foram de $3,75$ μ m enquanto que para a rugosidade superficial (Ra) os valores foram iguais a $0,41$ μ m na parede da cavidade cilíndrica.

De Souza (2004) analisou a rugosidade do aço AISI P20 (30 HRC) durante a operação de fresamento de topo utilizando fresas *ball nose* de 6 mm de diâmetro em condição de acabamento com os seguintes parâmetros de corte: $V_c = 395$ m/min, $V_f = 4500$ mm/min, $a_p = 0,2$ mm. Foram gerados semicírculos utilizando diferentes metodologias para descrever a trajetória da ferramenta, dentre estas a interpolação linear, circular e *spline* aplicando tolerâncias de $0,005$ mm para todos os casos. Ele obteve valores de rugosidade (Ra) entre $0,964$ μ m a $1,546$ μ m para a interpolação linear, $0,802$ μ m a $1,236$ μ m para a interpolação circular e valores entre $0,868$ μ m a $1,184$ μ m para a interpolação *spline*.

Korkut e Donerta (2007) investigaram a rugosidade média (Ra) no fresamento tangencial dos aços AISI 1020 e AISI 1040 variando a velocidade de corte de (44, 71 e 111 m/min) com avanço 83 mm/min e profundidade de corte de 2 mm. As medições mostraram que os valores da rugosidade da superfície diminuíram com o aumento da velocidade de corte (Fig. 2.29). Estes autores ainda observaram que ao aumentar a velocidade de corte, diminui-se o comprimento de contato cavaco-ferramenta, diminuindo a área de contato na superfície de saída. No entanto, os valores da rugosidade média (Ra) foram maiores utilizando o aço AISI 1040, devida a maior granulação dos microconstituintes deste material.

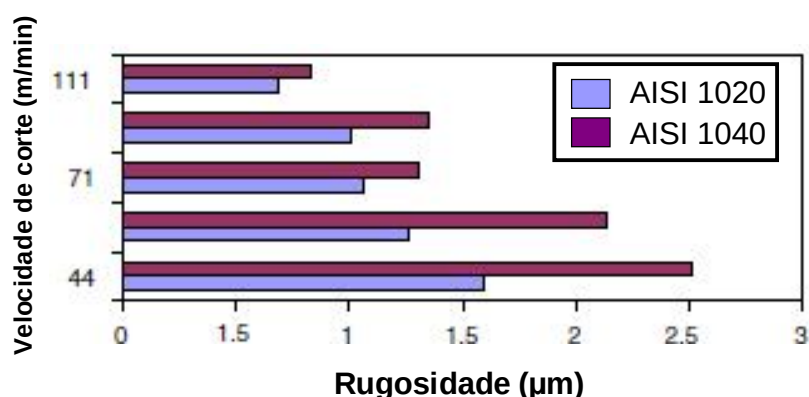


Figura 2.29 – Rugosidade da superfície em operação de fresamento tangencial dos aços AISI 1020 e AISI 1040 com ($V_c = 44, 71, 111$ m/min; $f = 83$ mm/min; $a_p = 2$ mm) (KORKUT; DONERTA, 2007).

Em outro trabalho, De Souza et al. (2007) investigaram a influência do tipo de interpolação (linear e polinomial) na rugosidade média (R_a) no acabamento de superfícies complexas na liga de Ti6Al4V. A operação foi o fresamento de topo do tipo concordante e foram empregadas ferramentas de metal duro classe P10A revestidas com TiAlN, com fluido de corte. Na Fig. 2.30 é apresentado o modelo proposto em CAD/CAM e a superfície real usinada. Na Fig. 2.31 apresentados os resultados referentes à rugosidade média (R_a) em função de cada tipo de interpolação, no início e no fim de vida das ferramentas de corte. Eles observaram que ao variar as interpolações os valores de desgastes no início e no fim de vida das ferramentas, não apresentaram grandes variações. Já a rugosidade média (R_a) apresentou menores valores utilizando a interpolação polinomial, tanto para análise dos resultados obtidos na direção perpendicular ao avanço da ferramenta quanto para aquela paralela ao avanço, apresentando melhor acabamento superficial da peça usinada.

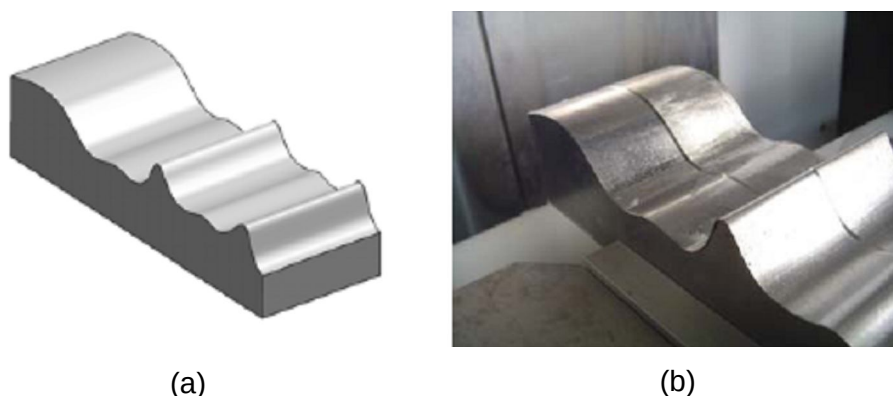


Figura 2.30 – (a) Superfície proposta em CAD/CAM (b) Superfície real usinada (DE SOUZA et al., 2007).

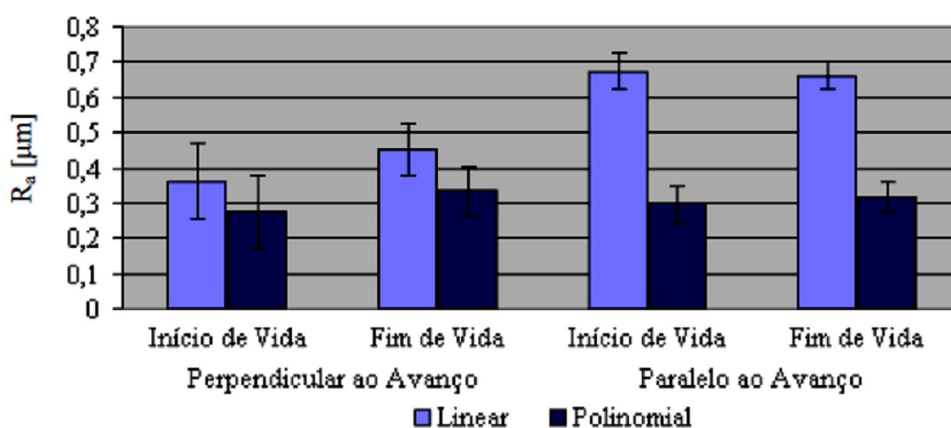


Figura 2.31 – Rugosidade média (R_a) da superfície usinada na comparação dos tipos de interpolação (DE SOUZA et al., 2007).

Amin et al. (2007), em estudo experimental, investigaram a influência do fresamento de topo no aço AISI 1020 utilizando fresas de metal duro com pontas arredondadas de 32 mm de diâmetro, revestidas por TiN. Como parâmetros de corte foram utilizados velocidade de corte de 50, 100, 150, 200 m/min, avanço por dente, $f_z = 0,1$ e $0,2$ mm/dente e profundidade de corte, $a_p = 1$ mm. Foi analisada como parâmetro de saída a rugosidade. Eles constataram que menores taxas de avanço em combinação com maiores velocidades de corte, exerceram melhora considerável na rugosidade da superfície, assim como apresentada na Fig. 2.32.

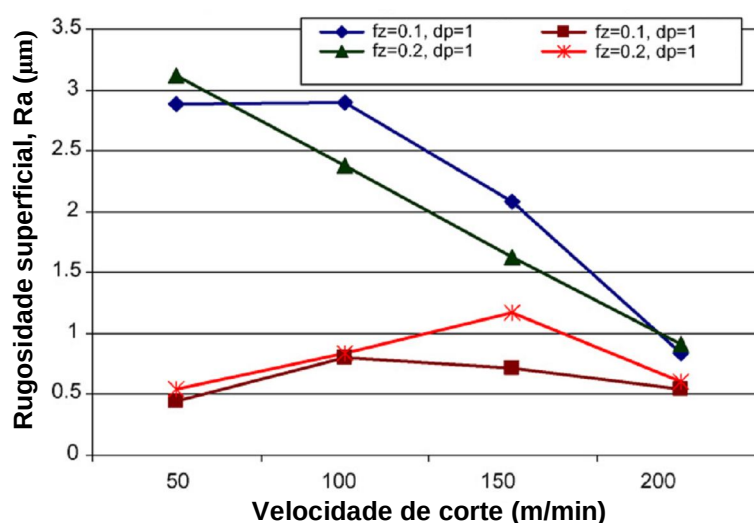


Figura 2.32 – Rugosidade superficial versus velocidade de corte após fresamento de topo do aço AISI 1020 com fresas de metal duro revestidas por TiN (AMIN et al., 2007).

Nunes et al. (2008) geraram programas pelo CAM com método de interpolação linear e polinomial e tolerâncias de 0,001 e 0,025 mm a fim de verificar o comportamento da rugosidade superficial da liga de alumínio 7050 durante o fresamento de topo. Foram utilizados fresas de topo esférico com diâmetro de 10 mm de metal duro. Os parâmetros de corte empregados foram: velocidade de corte $V_c = 500$ m/min, avanço $f_z = 0,1$ mm/dente e profundidade de corte $a_p = 0,3$ mm. Eles constataram que a interpolação linear com tolerância de 0,025 mm resultou no pior acabamento superficial da peça comparada com a interpolação polinomial. Tanto os parâmetros de rugosidades R_a quanto o R_z resultaram em valores maiores para a tolerância de 0,001 mm, se comparada com os valores relatados para a tolerância de 0,025 mm (Fig. 2.33).

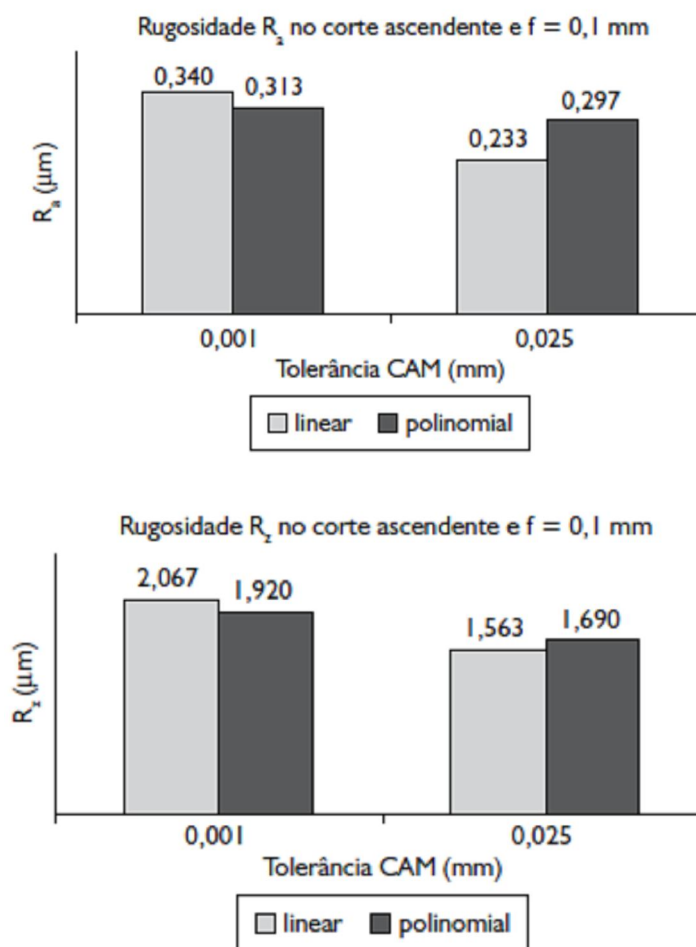


Figura 2.33 – Parâmetros de rugosidade superficial R_a e R_z em função do tipo de interpolação e tolerância (NUNES et al., 2008).

Wrublak et al. (2008) investigaram quais os parâmetros e métodos mais adequados para que um melhor acabamento seja alcançado no processo de fresamento. Eles constataram que para um melhor acabamento é necessário empregar velocidades de corte elevadas, em combinação com baixos avanços e baixas profundidades de corte, para minimizar a deflexão da ferramenta de corte. Grandes velocidades de corte tendem a aumentar a temperatura da peça, assim melhora o mecanismo de cisalhamento que, em combinação com menores avanços por dente e baixa profundidade de corte, tendem a diminuir a altura dos picos e a profundidade dos vales.

Costa et al. (2010) verificaram em trabalhos experimentais usando o aço VP50 em operação de fresamento de topo com fresa *ball nose* que ao variar a condição de corte com $V_c = 80$ m/min; $f_z = 0,08$ mm/dente e $a_p = 0,25$ mm para $V_c = 150$ m/min; $f_z = 0,1$ mm/dente e $a_p = 0,45$ mm não se obteve variações significativas da rugosidade (R_a , R_z). Eles informaram que os valores de R_a situaram-se entre 0,66 e 0,75 μm , e o parâmetro de R_z com valores entre 3,93 e 4,23 μm .

2.5 – Análise de Variância

Ao se realizar a análise dos resultados por meio de métodos estatísticos procura-se identificar se existem diferenças entre as respostas médias de tratamentos. O procedimento utilizado para inferir se tais diferenças de fato existem é chamado de Análise de Variância (ANOVA). Da mesma forma para o tratamento de dados experimentais e análise dos resultados é imprescindível o uso de métodos estatísticos (OGLIARI; PACHECO, 2004). Depois de admitido o modelo e satisfeitas às condições de normalidade e homocedasticidade (igualdade das variâncias – este pressuposto exige que o nível de dispersão da variável dentro dos grupos seja similar), a comparação entre os tratamentos é feita através de uma análise de variância (ANOVA), a qual permite relacionar uma variável dependente com uma ou mais variáveis independentes (fatores), que por sua vez possibilitará uma análise dos dados experimentais que foram previamente estabelecidos através de um planejamento. Para se verificar se os resultados foram significativos, garantindo maior confiança as variáveis de saída terão que apresentar o valor de p maior do que 0,05 (nível de confiabilidade de 95%) em todas as análises (Fig. 2.34).

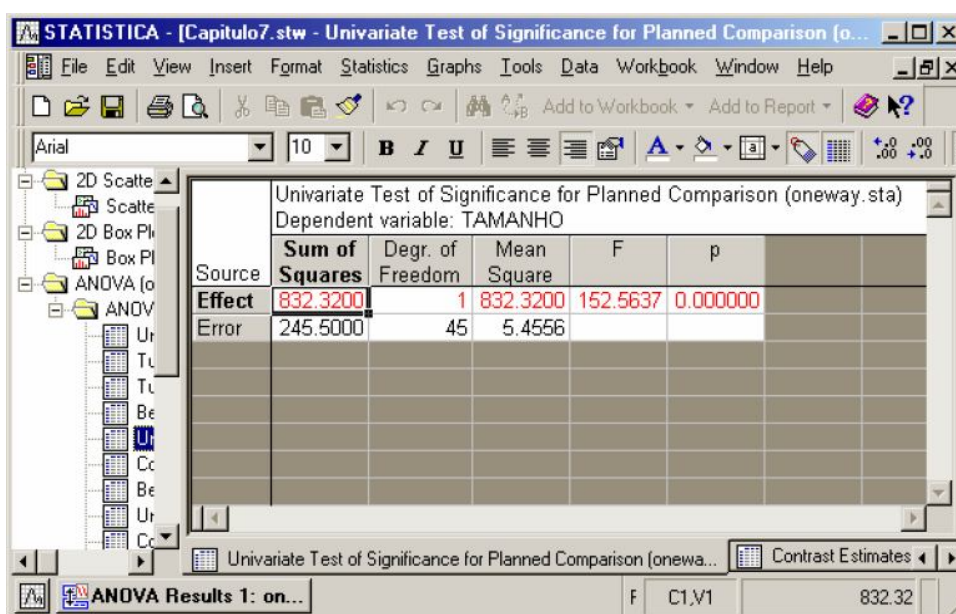


Figura 2.34 – Tela do programa *Statistica* utilizado para o cálculo da ANOVA.

A decomposição da variação (variância) em:

- Variação atribuída às diferenças entre as unidades experimentais;
- Variação atribuída às diferenças entre as unidades experimentais e atribuída às diferenças causadas pelos tratamentos.

O teste baseia-se em duas hipóteses:

- H_0 : as médias dos tratamentos são todas iguais;
- H_a : as médias dos tratamentos não são todas iguais.

A primeira hipótese H_0 , também chamado de hipótese de nulidade, admite que não existam diferenças significativas entre as médias. Já a segunda hipótese, H_a , também chamada de hipótese alternativa, considera que existe diferença significativa entre as médias e, portanto, elas não são todas iguais. Após a verificação de que realmente existe diferença entre os tratamentos através da análise de variância é feita uma nova análise, comparando-os dois a dois utilizando-se do teste t student e então se estipula um nível α de significância para verificar se rejeita ou não a hipótese nula, através de teste bilateral ou unilateral.

CAPÍTULO III

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste capítulo serão apresentados o material de trabalho, os equipamentos, acessórios e instrumentos de medição utilizados para a realização deste trabalho, assim como a metodologia adotada para a realização deste trabalho. O fluxograma da Fig. 3.1 apresenta as etapas da metodologia. Os ensaios experimentais foram realizados no Laboratório de Ensino e Pesquisa de Usinagem (LEPU) da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia.

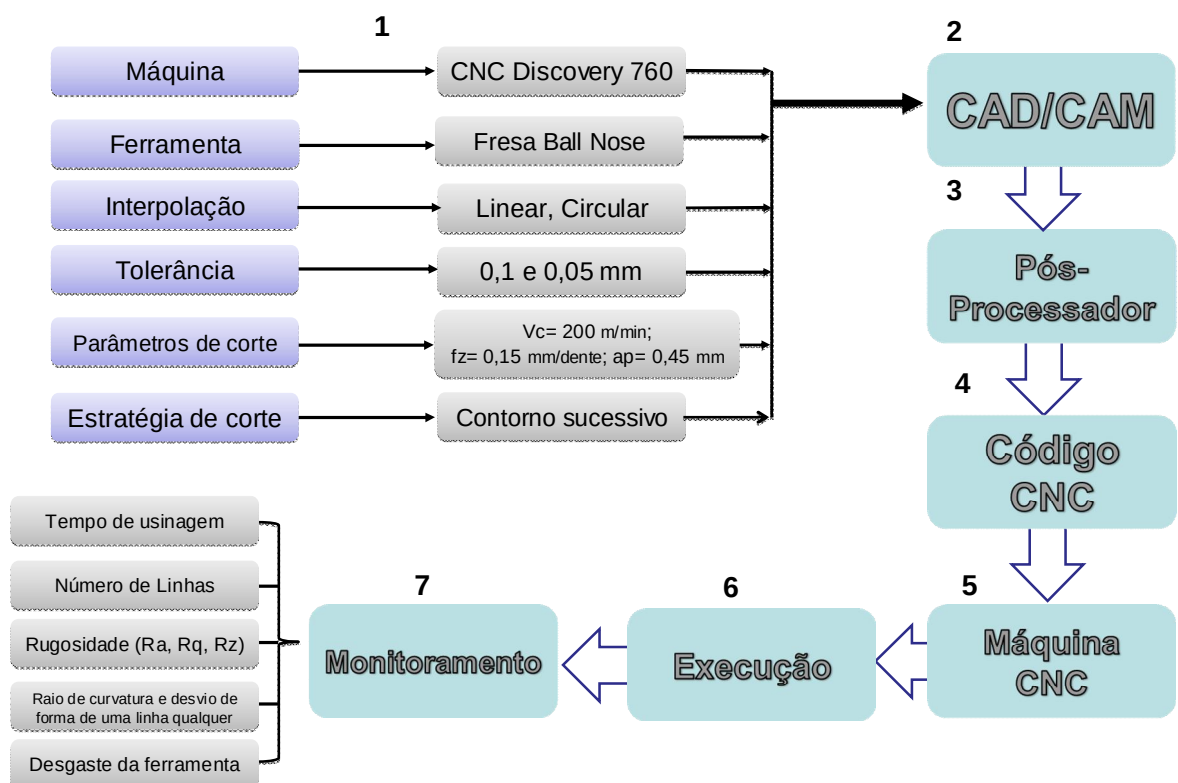


Figura 3.1 – Fluxograma da metodologia utilizada para a execução deste trabalho.

A seguir serão descritas as etapas informadas na Fig. 3.1:

- **Etapa 1:** esta etapa consistiu na seleção e preparação da máquina-ferramenta para o recebimento dos programas gerados na plataforma CAM, na seleção das ferramentas

para a operação de fresamento de topo, dos tipos de interpolação, da tolerâncias e estratégia de usinagem a serem ajustados no programa CAM e que definem o percurso da ferramenta, dos parâmetros de corte (velocidade de corte, avanço e profundidade de corte). Os tipos de interpolação e os valores de tolerâncias foram selecionados com base em dados de artigos, dissertações e teses sobre o tema. As ferramentas foram selecionadas a partir de recomendações do fabricante em função do material de trabalho, aço VP 50. Os parâmetros de corte foram determinados a partir de pré-testes e de dados obtidos da literatura sobre o tema (artigos, dissertações e teses);

- **Etapa 2:** nesta etapa foram elaborados o modelo (desenho) na plataforma CAD. Este modelo foi baseado em um molde para tampa da bateria de um aparelho celular. A geometria deste molde foi simplificada em relação à forma real para que apenas uma ferramenta (fresa) fosse empregada e para facilitar as medições dos desvios. Após a criação do modelo com as dimensões especificadas, o mesmo foi transferido para a plataforma CAM. Nesta etapa foi selecionada, na biblioteca do programa a ferramenta, os parâmetros de corte, interpolação, estratégia de usinagem e tolerância do percurso da ferramenta, como também o caminho que a ferramenta irá percorrer para que a forma final da fosse atingida. Em seguida, neste próprio programa CAM foi gerado o programa com instruções para a geração da forma desejada na peça;
- **Etapa 3:** nesta etapa um novo programa, conhecido como Pós-Processador, foi aberto e utilizado para converter o programa anterior gerado na plataforma CAM em programa compatível com a linguagem da máquina-ferramenta, código G ou linguagem de programação;
- **Etapa 4:** nesta etapa o programa, código G, gerado pelo pós-processador é transferido à máquina-ferramenta por meio de um cabo de dados RS-232;
- **Etapa 5:** esta etapa consiste em verificar e testar o programa na máquina CNC. Ao ser transferido, normalmente este programa deve ser testado antes de se iniciar a operação de usinagem para se evitar problemas tais como colisões entre ferramentas e a peça, o que pode causar prejuízos. Algumas máquinas CNC possuem o aplicativo para realização de simulação da operação de usinagem para esse mesmo fim. Nesta etapa também foi configurada a máquina CNC para referência do zero peça (origem – coordenadas) a partir de onde a ferramenta iniciou a operação. Foi nesta etapa que se fixou a peça, bloco de aço VP50, na mesa da máquina-ferramenta por meio de castanhas de fixação, como também a ferramenta de corte;
- **Etapa 6:** nesta etapa foi iniciada a operação de fresamento da peça de acordo com as condições de corte e parâmetros para a trajetória da ferramenta (interpolações linear e circular com tolerâncias de 0,1mm e 0,05 mm). Para a condição de usinagem com

interpolação circular, inicialmente é realizada a operação de desbaste identicamente como foi realizado com a interpolação linear. Em seguida, ao final desta operação, é gerado um último passe para a operação de acabamento final;

- **Etapa 7:** nesta etapa foram monitoradas as variáveis de saída: tempo de usinagem, o número de linhas, a rugosidade superficial (R_a , R_q , R_z), o raio de curvatura, o desvio de forma de uma linha qualquer e o desgaste da ferramenta de corte.

Além das etapas informadas anteriormente, à medida que os ensaios foram concluídos, os resultados obtidos tabulados e organizados em forma de tabelas e gráficos para as análises. Ressalta-se que para a análise dos resultados dos parâmetros de rugosidade, do desvio de forma de uma linha qualquer e o desgaste da ferramenta utilizou-se a ferramenta ANOVA.

3.1 – Material da peça

Neste trabalho foi utilizado o aço ferramenta VP 50 com dureza de 38 HRC, na forma de blocos com dimensões de 218 mm x 210 mm x 25 mm. O aço VP 50 foi endurecido por precipitação, desenvolvido especialmente para a fabricação de moldes para a injeção e extrusão de termoplásticos. Este material apresenta melhor usinabilidade, comparada aos outros aços para moldes e matrizes. Este aço é fornecimento no estado solubilizado, para posterior envelhecimento, ou solubilizado e envelhecido, dispensando o tratamento térmico final. Na Tab. 3.1 é apresentada a composição química do aço VP50. O aço VP 50 possui as seguintes características (VILLARES METALS, 2010):

- Excelentes propriedades mecânicas em qualquer direção;
- Elevado grau de pureza;
- Excelente usinabilidade;
- Boa polibilidade e resposta a texturização;
- Excelente resposta à nitretação;
- Boa resistência ao desgaste;
- Excelente soldabilidade;
- Elevada estabilidade dimensional e de forma.

Tabela 3.1 – Composição química VP50 % em peso (VILLARES METALS, 2010).

C	Si	Mn	Mo	Ni	Al	Cu	S	Fe
0,15	0,30	1,55	0,30	3,00	1,00	1,00	0,10	Balanço

Para remover as irregularidades na superfície do bloco como também para a remoção de camadas de óxidos, foi necessário realizar a operação de fresamento de topo. Na Fig. 3.2 é apresentada a micrografia do VP50, sendo constituída de uma estrutura bainítica/martensítica.

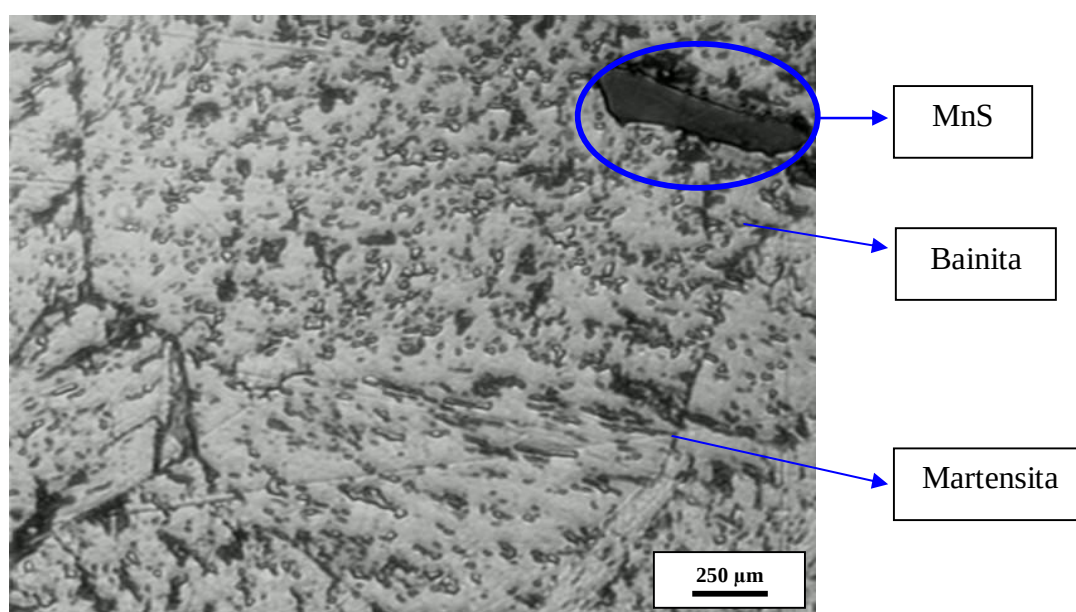


Figura 3.2 – Micrografia do aço VP50 com ataque de nital a 2% (SILVA et al., 2009).

3.2 – Máquina-Ferramenta

Os testes de fresamento de topo foram executados no Centro de Usinagem CNC, modelo Discovery 760, fabricado pela Romi, com potência de 11 KW e rotação máxima de 10.000 rpm (Fig. 3.3). A máquina é equipada com CNC Siemens Sinumerk 810D com alta capacidade de processamento, com capacidade de 2,5 Mbytes de memória disponível para armazenagem de programas.

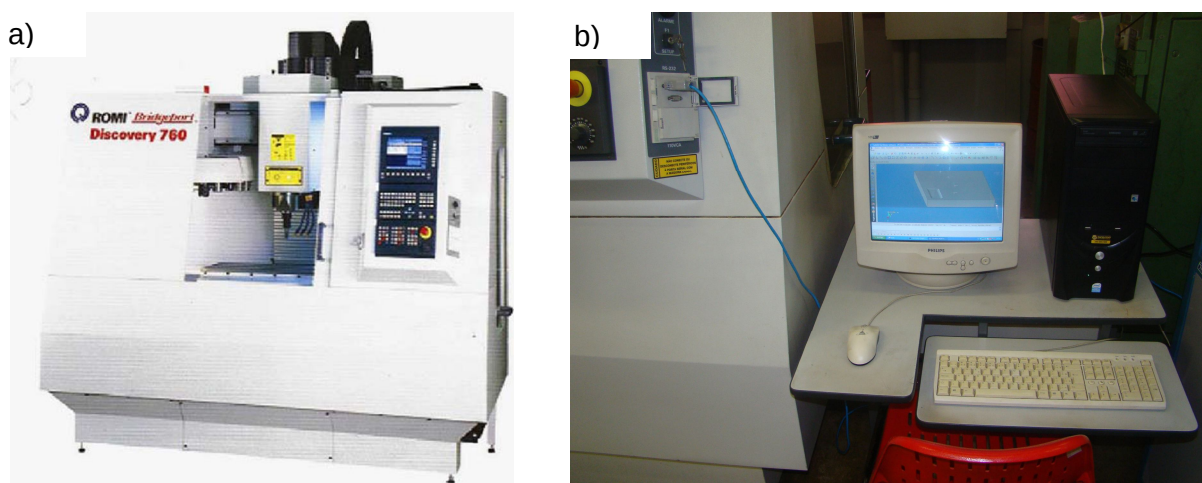


Figura 3.3 – (a) Centro de Usinagem CNC Discovery 760 (b) Sistema montado (computador-cabo-máquina CNC) para a transferência do programa gerado na plataforma CAM para a memória da máquina CNC.

3.3 – Ferramenta de corte

Para a realização dos ensaios foram utilizados inserto de metal duro de ponta esférica (*ball nose*) GC-1010 (H10) revestido com TiAlN pela técnica PVD (Fig. 3.4 (a)). Este inserto possui espessura (s) = 3,97 mm e comprimento (l) = 20 mm. Esta geometria e classe são aquelas típicas para fresamento de topo de aços endurecidos com dureza a partir de 36 HRC, podendo também atender a uma grande parte das exigências de usinagem, de operações de desbaste ao acabamento. Elas possuem aplicações para operações de usinagem para gerar perfis ou cavidades com formas tridimensionais (*sculptured surfaces*). Estas ferramentas possuem elevada resistência à deformação plástica, fissuras térmicas e boa resistência ao desgaste, em condições severas de usinagem (SANDVIK, 2010).

Estes insertos foram montados em um cabeçote porta-fresa de especificação R216-20T1020 com dimensões de diâmetro de 20 mm e comprimento igual a 185 mm – rotação máxima 6000 rpm, com acomodação para 2 insertos, fabricado pela empresa Sandvik Coromant (Fig. 3.4 (b)). Na Fig. 3.4 (c) é mostrado o inserto e seus detalhes geométricos.

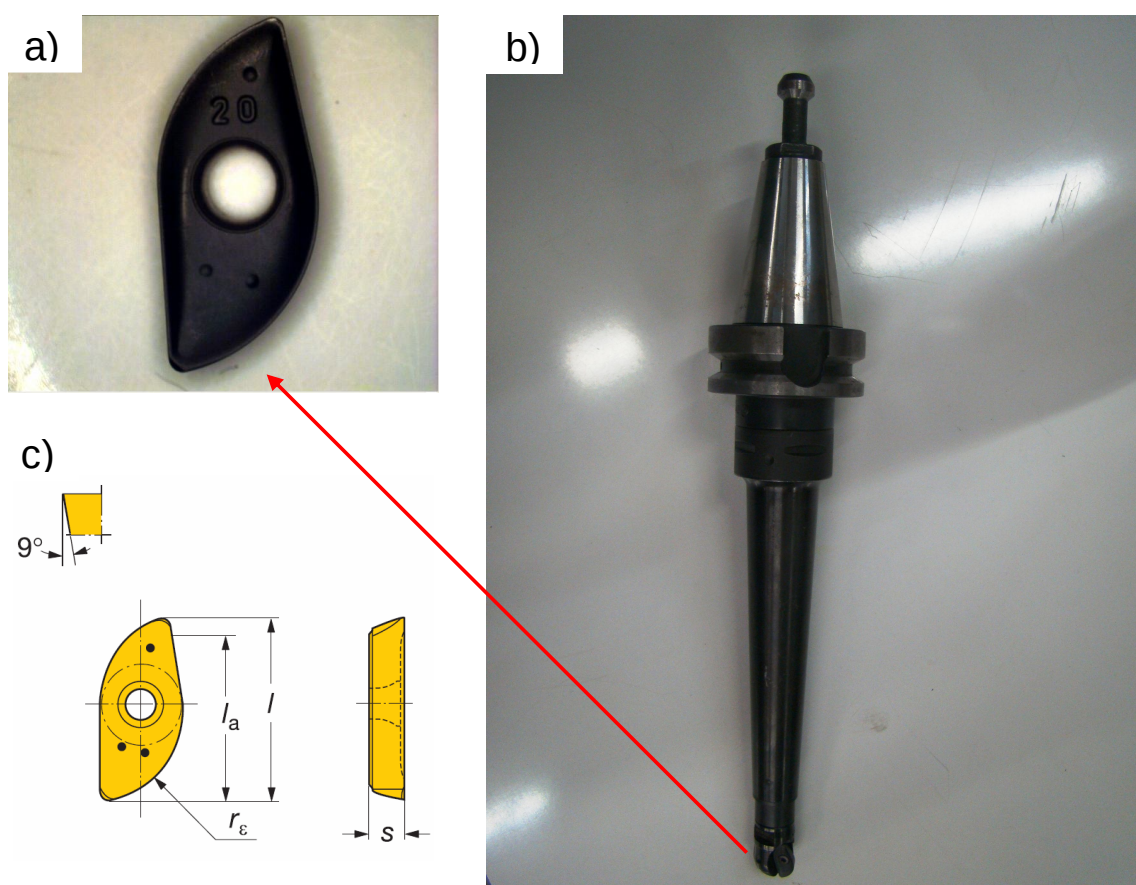


Figura 3.4 – (a) Inserto de ponta esférica; (b) Cabeçote porta-fresa (Fresa *Ball Nose*) com inserto; (c) detalhes da geometria do inserto.

3.4 – Parâmetros de corte

Para a realização deste trabalho foi necessário ajustar os parâmetros de corte, e assim foram realizados pré-testes. Os parâmetros de corte para os pré-testes são mostrados na Tab. 3.2.

Tabela 3.2 – Parâmetros de corte utilizados na etapa de pré-testes.

Vc (m/min)	80	100	110	150	200
fz (mm/dente)	0,08	0,08	0,1	0,1	0,15
ap (mm)	0,25	0,35	0,40	0,45	0,45
Passo lateral (mm)	2	1,5	1	1	1

Em seguida foram realizados os experimentos definitivos. As velocidades de corte, o avanço e a profundidade de corte (Tab. 3.3) foram baseados em valores recomendados pelo fabricante dos insertos sempre se respeitando o limite da máquina utilizada, como também através de dados da literatura sobre usinagem de moldes e matrizes em aços endurecidos. Para facilitar a análise dos resultados adotou-se a nomenclatura “C” para indicar cada teste com os respectivos parâmetros de corte.

Para cada condição foram realizados um ensaio e duas réplicas, totalizando três ensaios para cada condição, totalizando doze (12) testes.

Tabela 3.3 – Parâmetros de corte definitivos.

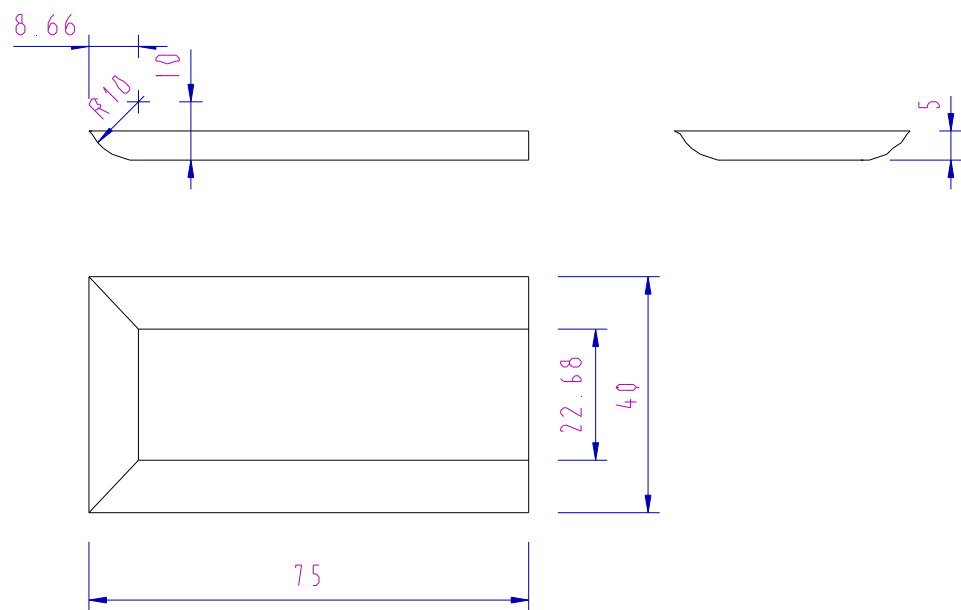
Condição (C)	Tipo de interpolação	Vc (m/min)	ap (mm)	fz (mm/dente)	Passo lateral (mm)	Tolerância (mm)
C1	Linear	200	0,45	0,15	1	0,1
C2						0,05
C3	Circular					0,1
C4						0,05

3.5 – Geração de modelo e programa na plataforma CAD/CAM

Para execução deste trabalho foi gerado um modelo 3D com o auxílio do programa TopSolid CAD. Este modelo possui a geometria simplificada de uma tampa de bateria de um aparelho celular com as dimensões de 75 mm x 40 mm x 5 mm. Na Tab. 3.4 é apresentada às tolerâncias dimensionais calculadas e utilizada para a fabricação da peça proposta, de acordo com as dimensões da Fig. 3.5.

Tabela 3.4 – Tolerâncias dimensionais para fabricação da peça proposta.

Parâmetros Dimensão (mm)	Interferência, $I_{máx}$ (μm)	Folga, $F_{máx}$ (μm)
75	73	2
40	59	5



UFU	Nome: Gustavo Guilherme dos Santos Costa	LEPU
Escala: 1:1	Nome da peça: Cavidade simplificada de um molde para tampa de celular	Data: 11/04/2011
Unidade: mm		Nº do desenho: 01

Figura 3.5 – Vistas ortogonais da peça confeccionada em plataforma CAD 2D.

Em seguida, este modelo em 2D foi elaborado na plataforma CAD do programa TopSolid desenvolvido pela empresa *Missler Software* (Fig. 3.6).

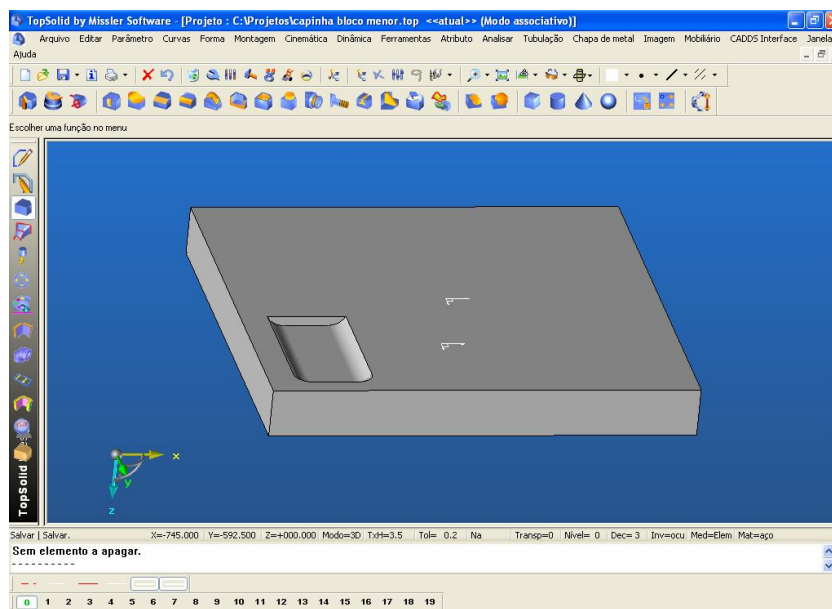


Figura 3.6 – Modelo gerado na tela programa TopSolid CAD 2008.

Ao ser aberto na plataforma CAD do programa TopSolid o modelo foi verificado quanto as dimensões. Em seguida, abriu-se o aplicativo CAM do programa TopSolid e importou-se o modelo armazenado na plataforma CAD (Fig. 3.7).

Ao acessar o modelo, selecionaram-se os parâmetros de corte e os parâmetros de interpolação e a trajetória da ferramenta. Para este trabalho foi mantida, em todos os ensaios, a estratégia de corte conhecida como contorno sucessivo, no sentido de fora para dentro da peça. Todos estes parâmetros foram selecionados em campos de preenchimentos que solicitados no programa CAM à medida que se progride no projeto e escolha dos itens a máquina-ferramenta, sistema de fixação, operação de usinagem, ferramenta, condição de usinagem (acabamento/desbaste) etc.

Os parâmetros de corte utilizados e alimentados no programa CAM estão indicados na Tab. 3.3. Na Fig. 3.8 é apresentada a ferramenta no momento de usinagem da cavidade que foi modelada na plataforma CAD e cujo programa foi gerado pela plataforma CAM.

Após final da operação de usinagem, a peça foi cortada e preparada para medição da rugosidade (Fig.3.9 (a)), raio de curvatura e o desvio de forma de uma linha qualquer (Fig. 3.9 (b)). Nesta figura também são mostradas as direções para medição dos parâmetros de rugosidade. A rugosidade foi medida na direção paralela e também na direção perpendicular às marcas de avanço da ferramenta, sempre no final do processo (mesma posição em que

ferramenta deixava a peça). Para a medição do raio adotou-se como referência a linha de contorno.

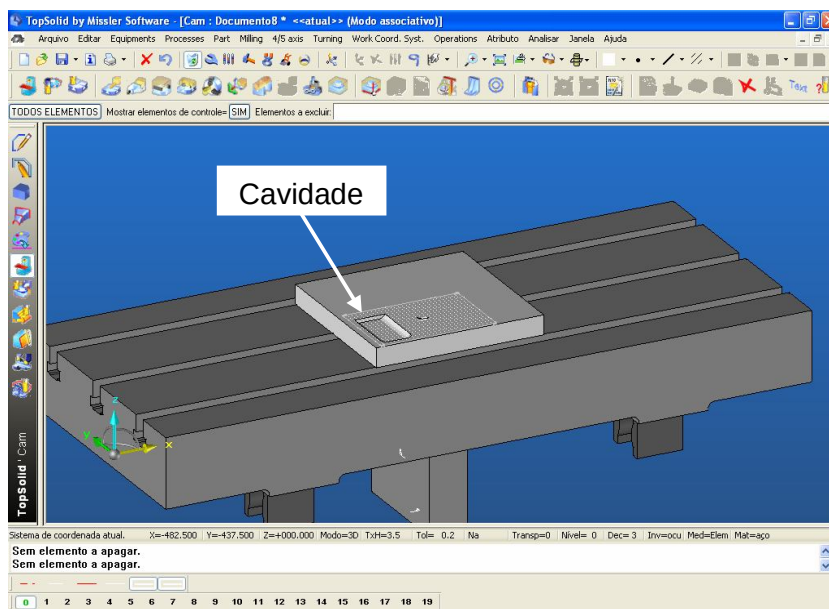


Figura 3.7 – Tela programa TopSolid CAM ilustrando o bloco com a cavidade a ser usinada.



Figura 3.8 – Ferramenta em operação de fresamento de topo da cavidade usinada, para a qual foram elaborados o modelo e programa com auxílio do programa CAD/CAM.

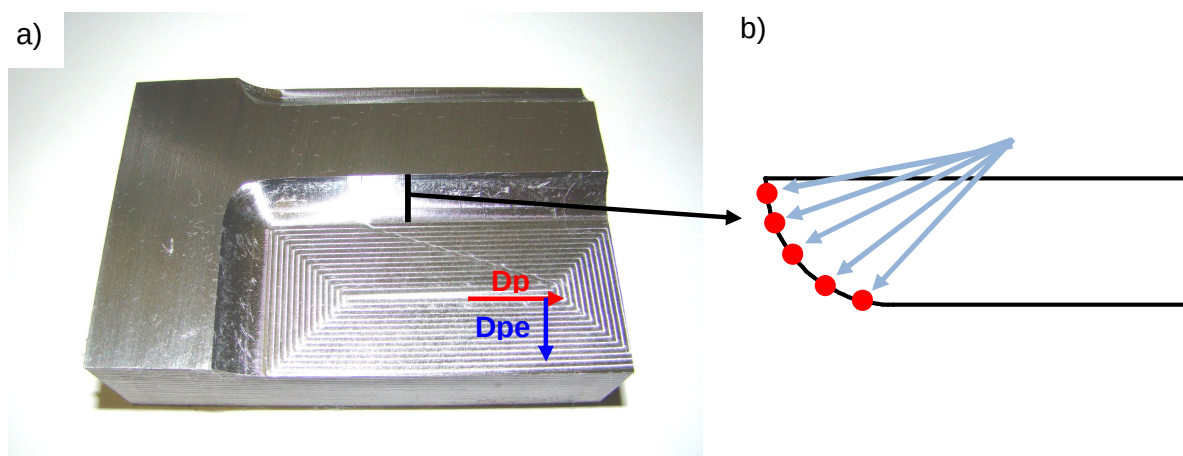


Figura 3.9 – (a) Direção de medição dos parâmetros de rugosidade: D_p – direção paralela; D_{pe} – direção perpendicular, (b) Localização do arco que contém os pontos distribuídos ao longo do raio para avaliação.

3.6 – Parâmetros de saída

Os parâmetros de saída investigados neste trabalho foram:

- a) Tempo de usinagem;
- b) Número de linhas;
- c) Rugosidade superficial (R_a , R_q e R_z);
- d) Raio de curvatura e desvio de forma de uma linha qualquer;
- e) Desgaste das ferramentas.

a) Tempo de usinagem: esta variável é informada após geração do programa pela plataforma CAM. Este também foi conferido com a utilização do cronômetro digital, marca Technos, modelo Cronus, com resolução de 0,01 segundos. O tempo de usinagem estipulado pelo programa foi comparado com o tempo monitorado pelo cronômetro.

b) Número de linhas: de maneira análoga ao tempo de usinagem, o número de linhas é informado pelo programa TopSolid CAM e pode ser conferido no painel de operação da máquina ferramenta.

c) Rugosidade superficial: para medição dos parâmetros da rugosidade superficial (R_a , R_q , R_z) foi utilizado o rugosímetro portátil Surtronic 3+, modelo 112/1590 fabricado pela Taylor Hobson. Para realizar as medições foi necessário seccionar a peça para melhor acesso do rugosímetro a região a ser medida (Fig. 3.10). Executaram-se medições dos parâmetros de rugosidade na direção paralela final às marcas de avanço da ferramenta.

Como foi realizado um (1) teste mais duas (2) réplicas para cada condição de usinagem, a rugosidade foi medida em cada uma das superfícies e o valor obtido foi calculado pela média das três (3) medições. Foram analisados os parâmetro Ra, Rq e Rz, utilizando um *cut-off* de 0,8 mm com comprimento de avaliação de 5 mm.



Figura 3.10 – Montagem do rugosímetro portátil surtronic 3+ para medição das peças usinadas.

d) Raio de curvatura e desvio de forma de uma linha qualquer: para as medições do raio de curvatura e do desvio de forma de uma linha qualquer das peças usinadas foram utilizados a máquina de medição de três coordenadas (MM3C) (Fig 3.11 (a)) do tipo ponte móvel com resolução de 1 μm fabricado pela Mitutoyo modelo BR – M443 com volume de trabalho de 400mm x 400mm x 300mm para os eixos x, y e z, respectivamente. Durante a medição foi utilizada uma ponta única com esfera de rubi de 2mm de diâmetro. A origem do sistema de coordenadas foi transferida para a peça como indicado na (Fig. 3.11 (b)).

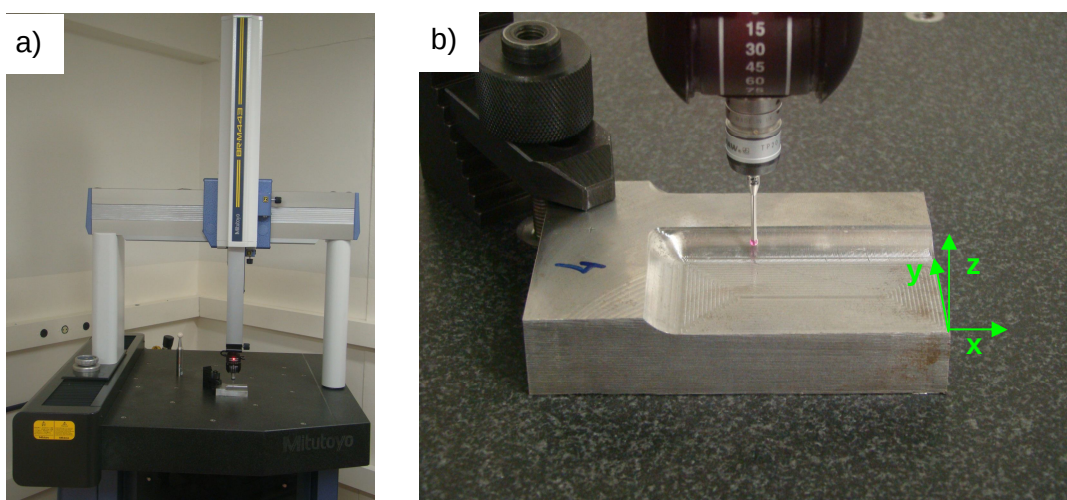


Figura 3.11 – (a) Máquina de medição de três coordenadas (MM3C); (b) Sistema de coordenada aplicado na peça e ponta de medição.

e) Desgaste das ferramentas: o monitoramento do desgaste dos insertos foi feito ao final de cada teste por meio de um estéreo microscópio marca Olympus modelo SZ6145TR, com aumento de 45 x acoplado com câmera CCD, com auxílio do programa de captura de imagens Image Pro-Express (Fig. 3.12). O desgaste foi medido obedecendo-se a norma ISO 3685 para operações de acabamento.



Figura 3.12 – Estéreo microscópio olympus e sistema de aquisição de imagens.

Para este trabalho, adotou-se como critério para parada dos testes a produção da cavidade pela operação de fresamento de topo. Para cada cavidade e condição foi utilizado um par de ferramentas novas.

Neste trabalho ainda foi aplicada a Análise de Variância (ANOVA) para verificar se existe variação significativa dos resultados obtidos (rugosidade, desvio de forma de uma linha qualquer, desgaste) em função do tipo de interpolação e tolerâncias sob o ponto de vista estatístico. Neste sentido, foram gerados gráficos da influência da interpolação e tolerância no acabamento superficial após a confecção das cavidades. Com este fim, realizou-se tratamento estatístico dos dados experimentais admitindo-se que foram satisfeitas às condições de normalidade e homocedasticidade do modelo (igualdade das variâncias – este pressuposto exige que o nível de dispersão da variável dentro dos grupos seja similar).

Ao se utilizar a ferramenta ANOVA, é possível efetuar a comparação entre os tratamentos a fim de identificar se existe relação entre uma variável dependente (rugosidade e desgaste) com uma ou mais variáveis independentes (interpolação e tolerância). Em seguida, os resultados da ANOVA informam se existe ou não relação entre as variáveis de entrada e de saída investigadas. Caso o valor de p seja maior do que 0,05 (que indica nível

de confiabilidade de 95%) não existem influência significativa das variáveis de entrada sobre as variáveis de saída analisada. Após a verificação da existência de diferença entre os tratamentos através da análise de variância é feita uma nova análise, comparando-os dois a dois utilizando-se do teste “t” *student* e, finalmente, estipulou-se um nível α de significância para verificar se rejeitaria ou não a hipótese nula, através de teste bilateral ou unilateral.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados e discussões dos ensaios experimentais descritos no Capítulo 3. Foi estudado o efeito do tipo de interpolação e tolerância nas variáveis de saída: tempo de usinagem, número de linhas, rugosidade superficial (R_a , R_q , R_z), raio de curvatura, desvio de forma de uma linha qualquer e o desgaste das ferramentas de corte. O planejamento dos experimentos bem como a ANOVA dos resultados obtidos foram realizados no programa *Statística* para que se pudesse determinar, ao final, se houve variação significativa nas variáveis de saída investigadas; desta forma é possível avaliar os resultados com nível de confiabilidade de 95%.

4.1 – Tempo de usinagem

A programação assistida por computador, além de auxiliar na geração do programa NC e realizar simulações e conferências da operação, calcula o tempo de usinagem da operação de usinagem. Entretanto, o programa CAM TopSolid necessita de informações que devem ser alimentadas pelo usuário no programa antes da geração do programa. Este usuário deve ter conhecimento sobre variáveis e de seus valores a serem selecionados para usinagem, como também das ferramentas de corte a serem empregadas.

O tempo de usinagem calculado pelo programa CAM foi comparado com o tempo de usinagem medido no cronômetro. Constatou-se que os valores foram praticamente iguais para as duas técnicas. Na Tab. 4.1 são apresentados os tempos de usinagem referentes a cada condição proposta neste trabalho, conforme Tab. 3.3. Na Fig. 4.1 é mostrado na forma de gráfico o tempo de usinagem calculado pelo programa TopSolid CAM para as condições de teste.

Observa-se na Tab. 4.1 e na Fig. 4.1 que não houve variação significativa no tempo de usinagem ao se passar da interpolação linear com tolerância de 0,1 para a tolerância de 0,05mm. O mesmo se observou para a variação entre a tolerância de 0,1 para 0,05mm utilizando a interpolação circular. Além disso, observa-se que a alteração na tolerância não afeta o tempo de usinagem para um mesmo tipo de interpolação. Ao utilizar a interpolação

linear obteve-se menor tempo de usinagem em relação à interpolação circular que foi de 2 min e 33 seg menor, o que correspondeu a uma redução de 8,5%.

Tabela 4.1 – Tempo de usinagem calculado pelo programa TopSolid CAM para fabricação de toda a cavidade.

Condição (Interpolação / Tolerância)	Tempo (seg.)
Linear 0,1	1623 (27 min e 03 seg.)
Linear 0,05	1623 (27 min e 03 seg.)
Circular 0,1	1776 (29 min e 36 seg.)
Circular 0,05	1776 (29 min e 36 seg.)

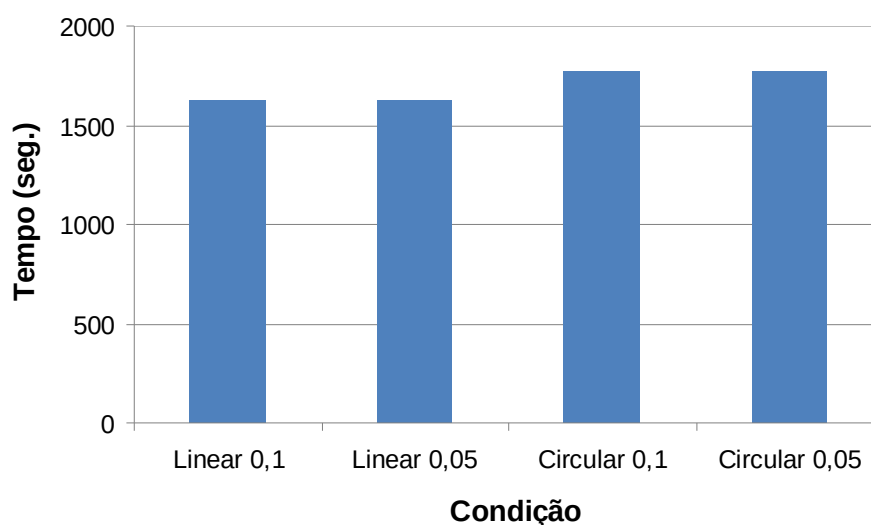


Figura 4.1 – Tempo de usinagem x Condição de usinagem para o fresamento de topo do aço VP50 com insertos de metal duro com ponta esférica.

Ao empregar a interpolação circular observou-se um maior tempo de usinagem, pois esta interpolação é recomendada para a condição de acabamento da peça. Em geral, na literatura, tem-se registro de que peças primeiramente são usinadas na condição de desbaste utilizando-se a interpolação linear e em seguida pela interpolação circular para a condição de acabamento. Teoricamente, isso já era esperado porque a interpolação linear utiliza um tipo específico de algoritmo para cálculo da trajetória da ferramenta que aproxima os pontos segundo uma reta, portanto, com caminho e tempo de usinagem mais curta que aqueles para a interpolação circular.

4.2 – Números de linhas

Ao utilizar a programação assistida por computador com auxílio do programa CAM TopSolid reduziu-se o tempo de programação da máquina CNC, como também, ofereceu maior confiabilidade no programa e maior agilidade em relação à programação manual. A Tab. 4.2 apresenta o número de linhas gerado pelo programa TopSolid CAM em função da condição de usinagem empregada. Na Fig. 4.2 é apresentado em forma gráfica o número de linhas em função da condição de interpolação e tolerância utilizadas neste trabalho.

Tabela 4.2 – Número de linhas em função da condição de interpolação e tolerância empregada.

Condição	Número de linhas	Tamanho do programa em Kb
Linear 0,1	1305	32
Linear 0,05	1316	32
Circular 0,1	1508	36
Circular 0,05	1636	39

Conforme pode se observar da Tab. 4.2 e Fig. 4.2 o número de linhas foi influenciado pelo tipo de interpolação e tolerâncias empregadas. Observa-se que quando interpolação linear foi empregada, independente da tolerância, o número de linhas foi menor que aquele gerado quando se selecionou a interpolação circular. Para a condição de usinagem com interpolação circular, inicialmente é realizada a operação de desbaste identicamente como foi realizado com a interpolação linear. Em seguida, ao final, são geradas as linhas necessárias para um último passe para acabamento final. Ao comparar a interpolação linear e circular com tolerância de 0,1 mm obteve-se um aumento de 15%; houve também um aumento de 24% no número de linhas ao se empregar a interpolação circular com tolerância 0,05 em relação à interpolação linear. Na literatura, alguns trabalhos avaliaram a influência da tolerância no número de linhas, como exemplo aqueles desenvolvidos por Helleno, Schützer (2004) e Da Silva et al. (2010). Estes autores investigaram fatores que influenciam na manufatura com altas velocidades de corte e observaram que ao utilizar tolerâncias menores provoca um aumento do número de linhas do código da máquina, programa NC. Em geral, ao empregar menores valores de tolerâncias em operação de usinagem o programa TopSolid CAM irá gerar segmentos de retas ou arcos menores em relação a

tolerâncias maiores. Com isso, são gerados menores segmentos, porém em maior número para se aproximar mais fielmente da trajetória real da ferramenta ao usinar a peça.

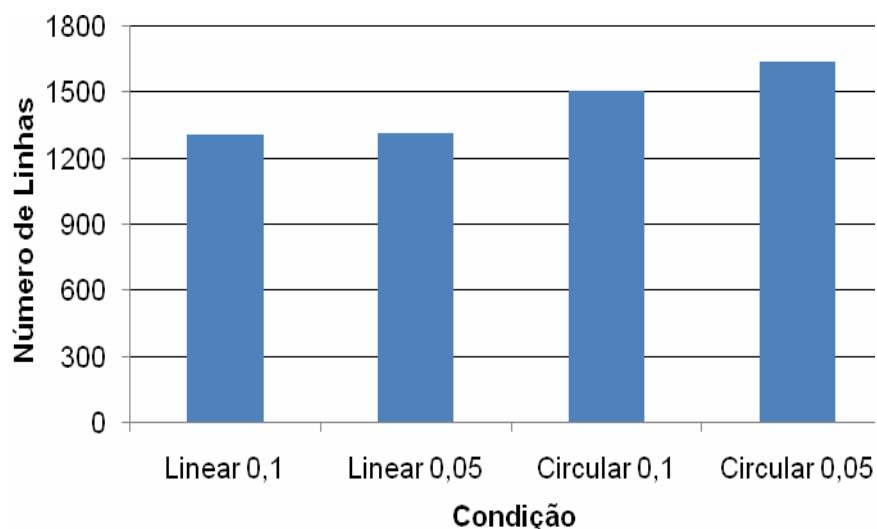


Figura 4.2 – Número de linhas do programa NC em função da interpolação e tolerâncias selecionadas no programa TopSolid CAM.

Os programas gerados pela tecnologia CAM do programa TopSolid que foram transferidos à máquina-ferramenta, para cada uma das condições investigadas, encontram-se no Anexo 1.

4.3 – Parâmetros de Rugosidade

Os três parâmetros de rugosidade que foram medidos nestes testes: Ra, Rq e Rz. Na Fig. 4.3 são apresentadas algumas das superfícies geradas ao variar o tipo de interpolação e tolerância aplicada.

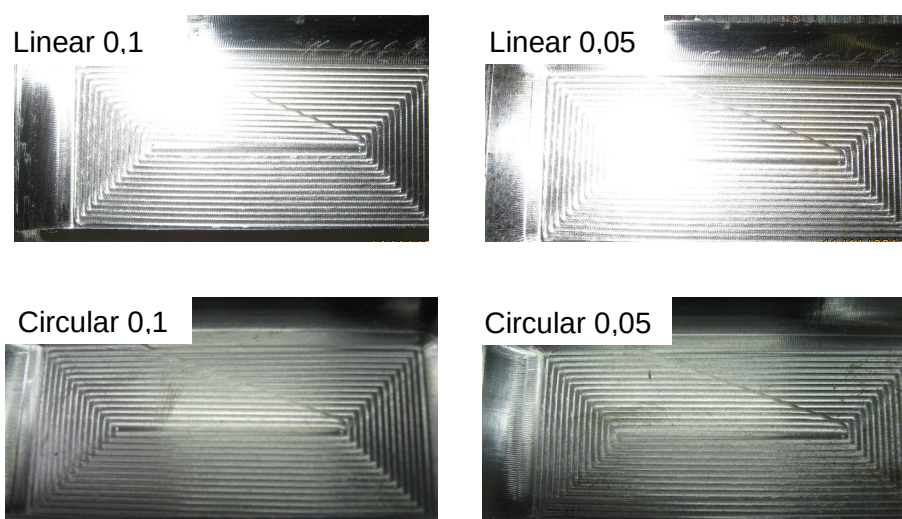


Figura 4.3 – Superfícies geradas pelo fresamento de topo em diferentes condições de interpolação e tolerâncias.

Os resultados apresentados para estes parâmetros são apresentados na Tab. 4.3 e em forma gráfica na Fig. 4.4 (os valores médios dos parâmetros de rugosidade na direção paralela e na direção perpendicular). Ressalta-se que foram realizados três testes para cada condição e medidos os parâmetros de rugosidade.

Tabela 4.3 – Resultados das rugosidades em μm para cada condição da Tabela 3.3, na direção paralela (Dp) e perpendicular (Dpe).

Condição Parâmetro (μm)	Linear 0,1	Linear 0,05	Circular 0,1	Circular 0,05
Ra (Dp)	1,68	1,24	1,22	0,66
	0,40	0,80	1,40	0,98
	0,94	1,02	0,56	1,30
Média	1,01	1,02	1,06	0,98
Desvio Padrão	0,64	0,22	0,44	0,32
Ra (Dpe)	1,80	1,66	1,72	1,60
	1,92	1,74	1,86	1,98
	1,78	1,60	1,74	1,76
Média	1,83	1,67	1,77	1,78
Desvio Padrão	0,08	0,07	0,08	0,19
Rq (Dp)	2,00	1,50	1,44	0,84
	0,52	1,02	1,80	1,26
	1,22	1,28	0,76	1,56
Média	1,25	1,27	1,33	1,22
Desvio Padrão	0,74	0,24	0,53	0,36
Rq (Dpe)	2,26	2,12	2,22	2,08
	2,54	2,22	2,50	2,44
	2,20	2,00	2,30	2,26
Média	2,33	2,11	2,34	2,26
Desvio Padrão	0,18	0,11	0,14	0,18
Rz (Dp)	8,10	6,10	6,10	3,90
	2,20	4,90	6,30	5,80
	4,30	5,60	4,50	6,30
Média	4,87	5,53	5,63	5,33
Desvio Padrão	2,99	0,60	0,99	1,27
Rz (Dpe)	8,20	9,00	8,60	7,80
	10,30	9,50	10,30	9,70
	8,60	7,70	9,10	9,40
Média	9,03	8,73	9,33	8,97
Desvio Padrão	1,12	0,93	0,87	1,02

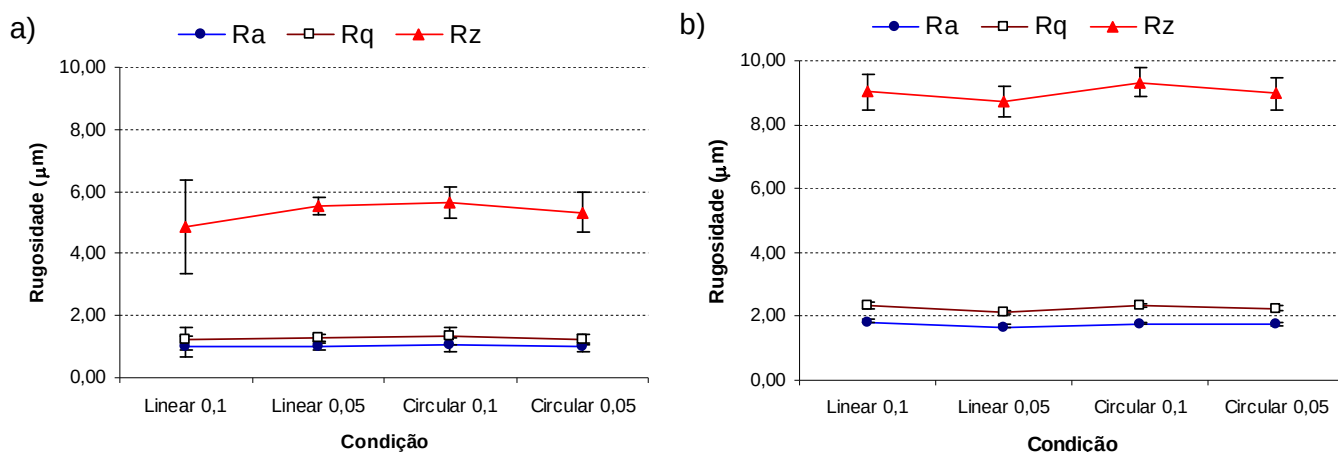


Figura 4.4 – Rugosidade em função da interpolação e tolerância: a) direção paralela b) direção perpendicular.

Da Tab. 4.3 e da Fig. 4.4, ao analisar apenas os parâmetros obtidos na direção paralela, pode observar que os valores de para parâmetro Ra variam entre 0,4 e 1,68 μm ; para o parâmetro Rq, variam entre 0,52 e 2,00 μm ; já para o parâmetro Rz, como esperado, variam entre 2,20 e 8,10 μm . Embora se tenha notado desprezível variação dos valores de Ra e Rq em todas as condições na direção paralela, o mesmo não foi observado para o parâmetro Rz (Fig. 4.5). Em geral, os valores deste último foram ligeiramente inferiores quando se empregou a interpolação linear.

Na direção perpendicular os parâmetros Ra e Rq não apresentaram grande variação nas condições avaliadas. No entanto, para o parâmetro Rz foram observados menores valores de rugosidade quando se empregou a condição linear com tolerância de 0,05 mm. Em relação aos valores para os parâmetros de rugosidade obtidos após medição na direção perpendicular às marcas de avanço, observou-se que eles variam entre 1,60 e 1,98 μm para o parâmetro Ra; 2,00 e 2,54 μm para Rq; e entre 7,70 e 10,30 μm para Rz nas condições investigadas.

Para ambas as direções de medição dos valores de Ra, pode se afirmar que são valores típicos desta operação de fresamento de aços endurecidos com tais ferramentas de metal duro com ponta esférica. Resultados semelhantes foram divulgados por De Souza (2004) e Nunes et al. (2008). Da Fig. 4.5, pode-se observar que, em geral, os valores para todos os parâmetros de rugosidade (Ra, Rq e Rz) obtidos após a medição na direção perpendicular às marcas de avanço da ferramenta são superiores aqueles obtidos na medição na direção paralela. Isso já seria esperado porque na direção perpendicular é que ocorre o deslocamento da ferramenta, onde de fato estão marcas avanço deixadas na

superfície pela ferramenta. Vale lembrar que para cada passe a ferramenta se desloca 1mm em relação ao centro da ferramenta, o que é denominado de *step over* no programa CAM.

Ao considerar a análise de variância (ANOVA) para os valores de rugosidade de acordo com a Tab. 4.3, estes resultados foram então tratados e agora apresentados nas Tab. 4.4 e 4.5 para a direção paralela e perpendicular, respectivamente. Os resultados apresentados na Tab. 4.3 foram utilizados para os cálculos estatísticos que permitem realizar a análise fatorial e análise de variância (ANOVA) visando melhor confiabilidade nos resultados e filtrar quais níveis dos elementos residuais são mais influentes nas condições utilizadas na usinabilidade do aço VP 50.

Os parâmetros de entradas utilizados para ANOVA foram os tipos de interpolação em combinação com a tolerância. Observa-se da Tab. 4.4 que nenhuma variável apresentou influência significativa sob o ponto de vista estatístico nos parâmetros de rugosidade R_a , R_q e R_z na direção paralela. Isso pode ser comprovado pelos valores de p fornecidos pelo programa *Statistica*, os quais são maiores que 0,05, pela hipótese, com 95% de confiança.

Ao se utilizar a ANOVA alguns elementos são fornecidos pelo programa *Statistica*, conforme podem ser identificados na Tab. 4.4. Estes elementos são descritos a seguir:

SS = soma de quadrados;

Df = graus de liberdade;

MS = quadrado médio;

F = f calculado;

p = p-valor.

Tabela 4.4 – Análise de variância para os parâmetros R_a , R_q e R_z na direção paralela.

Elementos estatísticos Parâmetro	SS	Df	MS	F	p
R_a	0,01000	3	0,00333	0,01756	0,996569
R_q	0,02107	3	0,00702	0,02766	0,993300
R_z	1,0425	3	0,3475	0,1170	0,947621

Da mesma forma, na Tab. 4.5 estão os resultados para os valores dos parâmetros R_a , R_q e R_z obtidos na direção perpendicular, após tratamento estatístico, utilizando a ANOVA. Semelhantemente aos resultados da ANOVA para os parâmetros de rugosidade obtidos na direção paralela (Tab. 4.4), observou-se que nenhuma variável apresentou influência significativa sob o ponto de vista estatístico nos parâmetros de rugosidade. Isto pode ser

comprovado pelos valores de p fornecidos pelo programa *Statistica*, os quais são maiores que 0,05, pela hipótese, com 95% de confiança.

Tabela 4.5 – Análise de variância para os parâmetros Ra, Rq e Rz na direção perpendicular.

Elementos estatísticos Parâmetro	SS	Df	MS	F	p
Ra	0,04387	3	0,01462	1,108	0,401041
Rq	0,09983	3	0,03328	1,355	0,324086
Rz	0,5500	3	0,1833	0,1874	0,902038

4.4 – Raio de curvatura e desvio de forma de uma linha qualquer

Na Tab. 4.6 são apresentados os valores do raio de curvatura da peça conforme diferentes condições de interpolações e tolerâncias. Nesta tabela são apresentados, além dos valores obtidos, a média e do desvio padrão calculados a partir destes valores.

Tabela 4.6 – Raio de curvatura da peça (mm).

	Linear 0,1	Linear 0,05	Circular 0,1	Circular 0,05
Teste 1	10,550	9,918	10,227	10,559
Replica 1	9,986	10,502	10,472	10,724
Replica 2	9,979	10,117	10,366	10,478
Média	10,172	10,179	10,355	10,587
Desvio Padrão	0,268	0,242	0,100	0,102

Observa-se da Tab. 4.6 que os valores médios do raio de curvatura não apresentam variação significativa, principalmente comparando-se as médias para cada condição. No entanto, o valor médio para o raio de curvatura igual a 10,172mm, obtido após usinagem na condição com a interpolação linear e tolerância de 0,1 mm, foi o mais próximo do valor estipulado no projeto. Isto demonstra que as peças fabricadas nesta condição apresentam uma maior exatidão. As menores variações do desvio padrão foram obtidas quando se usinou utilizando a interpolação circular, confirmando a afirmação que esta interpolação é mais estável que a interpolação linear, portanto o processo de fabricação apresenta a maior precisão.

Os valores encontrados para o desvio de forma de uma linha qualquer são apresentados na Tab. 4.7 e em forma gráfica na Fig. 4.5.

Tabela 4.7 – Desvio de forma de uma linha qualquer em função do tipo de interpolação e da tolerância (μm).

	Linear 0,1	Linear 0,05	Circular 0,1	Circular 0,05
Teste 1	2	3	3	7
Replica 1	8	4	3	5
Replica 2	4	3	3	4
Média	4,67	3,33	3,00	5,33
Desvio Padrão	2,49	0,47	0,00	1,25

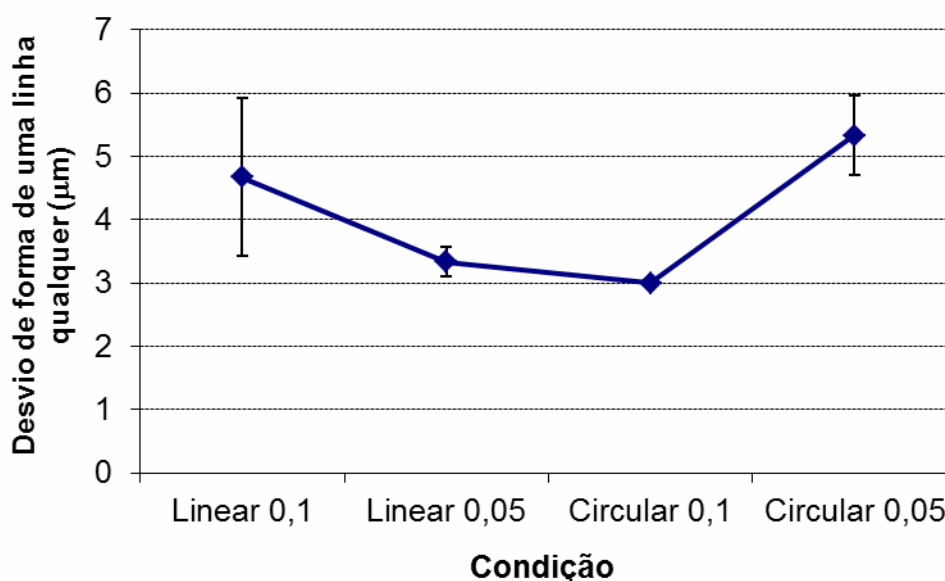


Figura 4.5 – Desvio de forma de uma linha qualquer em função da interpolação e tolerância.

Da Tab. 4.7 e Fig. 4.5 pode-se observar que ao usar nas condições linear 0,05 e circular 0,1 foram gerados os menores desvios de forma de uma linha qualquer. Os valores de desvio padrão (dp) associados à medição desta grandeza oscilaram no intervalo de 0,100 a 0,268. A condição que apresentou menor desvio de forma de uma linha qualquer e os menores valores do desvio padrão foi obtida na condição circular com tolerância de 0,1 mm. Os valores médios deste desvio apresentaram pouca variação nas condições de teste avaliadas, devido as menores tolerâncias aplicadas na trajetória da ferramenta. Embora não se tenha encontrado na literatura resultados de medições deste desvio de

forma de uma linha qualquer, nos trabalhos de Da Silva et al. (2010) e Coelho et al. (2004) eles verificaram similar tendência para o desvio de cilindridade.

Na Tab. 4.8 foi gerada ANOVA para os resultados do desvio de forma de uma linha qualquer nas condições de testes investigadas, sob a óptica estatística observou-se que nenhuma variável de entrada apresentou influência significativa, isto pode ser comprovado pelos valores de p que foram maiores que 0,05, pela hipótese, com 95% de confiança.

Tabela 4.8 – Análise de variância para o desvio de forma de uma linha qualquer.

	SS	Df	MS	F	p
Desvio de forma de uma linha qualquer	10,9167	3	3,6389	1,21296	0,365893

4.5 – Desgastes das ferramentas de metal duro

Após os ensaios de fresamento de topo nas condições especificadas, as ferramentas *ball nose* foram levadas a um estereomicroscópio para a medição do desgaste. Em cada cavidade usinada foram removidos cerca de 13300 mm³ de material, uma vez que as dimensões de projeto da cavidade não sofreram variações. Como foram utilizados dois insertos, foi adotada a nomenclatura “inserto 1” (que possui apenas uma marca) para designar o inserto que estava montado na posição 1 (Fig. 4.6a) e “inserto 2” para designar o inserto montado na posição 2 que possui duas marcas (Fig. 4.6b). Ressalta-se que o inserto 2 encontra-se em posição mais avançada que o inserto 1 durante a montagem no cabeçote da fresa, e este é um aspecto de projeto deste tipo de cabeçote.

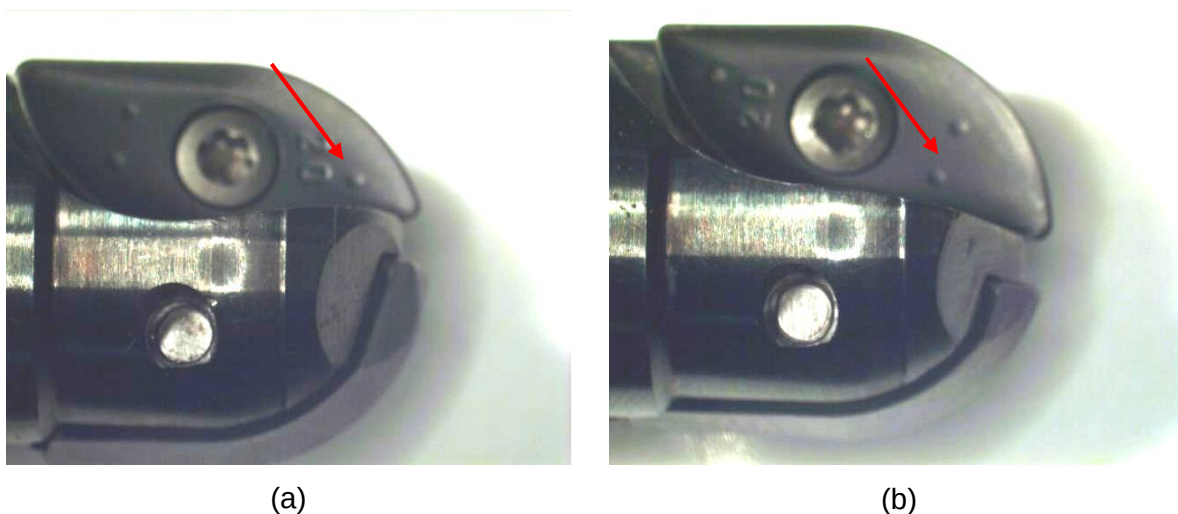


Figura 4.6 – Disposição dos insertos para medição do desgaste: (a) Inserto 1; (b) Inserto 2.

Na Tab. 4.9 são apresentados os valores de desgaste das ferramentas de corte (inserto 1 e inserto 2) após usinagem nas condições apresentadas na Tab. 3.3. Na Fig. 4.7 estes valores são apresentados na forma gráfica.

Tabela 4.9 – Desgaste dos pares de insertos em função de cada condição de usinagem de acordo com a Tabela 3.3.

Condição Desgaste (mm)	Linear 0,1	Linear 0,05	Circular 0,1	Circular 0,05
Inserto 1	0,053	0,027	0,032	0,016
	0,037	0,037	0,021	0,027
	0,021	0,032	0,021	0,019
Média	0,037	0,032	0,025	0,020
Desvio Padrão	0,016	0,005	0,006	0,006
Inserto 2	0,061	0,093	0,077	0,061
	0,088	0,096	0,077	0,053
	0,066	0,064	0,074	0,080
Média	0,072	0,084	0,076	0,065
Desvio Padrão	0,014	0,018	0,002	0,014

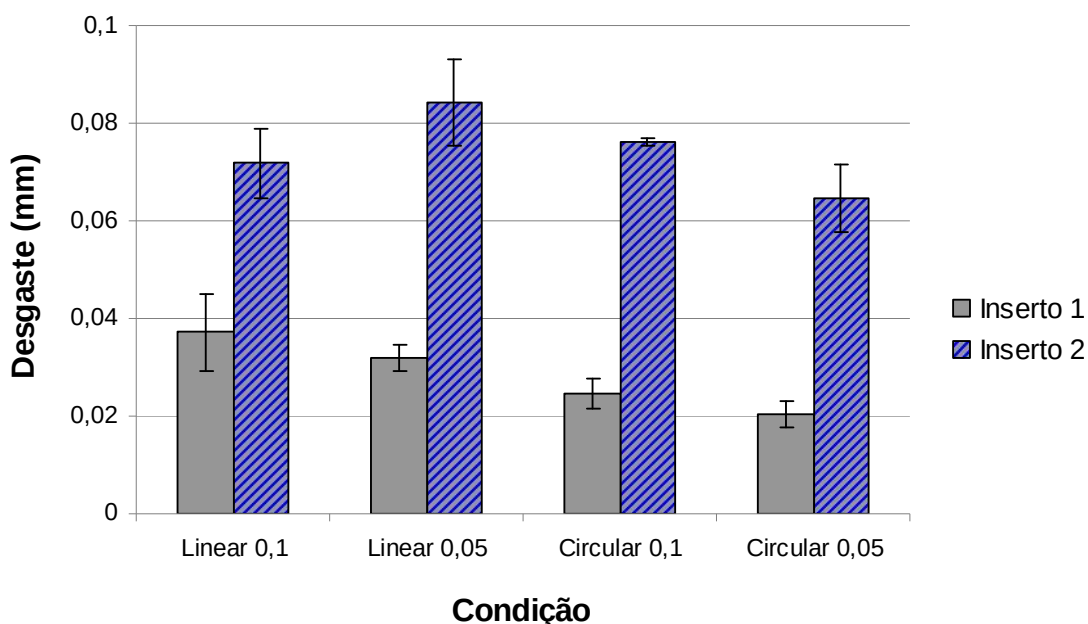


Figura 4.7 – Desgaste dos insertos 1 e 2 em função da condição de interpolação e tolerância empregada.

Da Tab. 4.9 e Fig. 4.7 observa-se que houve uma redução de 15% no desgaste do inserto 1 quando utilizou-se a interpolação linear com tolerância igual a 0,05 mm comparado com o desgaste produzido pelo emprego da interpolação linear com tolerância igual a 0,1mm. Para este mesmo inserto, ao utilizar-se a interpolação circular com tolerância igual a 0,05mm observou-se uma redução de 21% no desgaste comparado com a interpolação circular com tolerância igual a 0,1mm. Em geral, para o inserto 1, independente da interpolação, a menor tolerância resultou em menores valores de desgaste.

Em relação ao inserto 2, quando empregou-se a interpolação linear com tolerância igual a 0,05mm observou-se um aumento de 17% no valor do desgaste em relação aquele observado quando empregou-se a interpolação linear com tolerância de 0,1 mm. Em relação à interpolação circular empregada para este mesmo inserto, observou-se que ao empregar a menor tolerância de 0,05mm houve uma redução de 17% comparada com a tolerância de 0,1mm. Observa-se da Fig. 4.7 que o desgaste do inserto 2 foi bem superior ao desgaste do inserto 1 em todas as condições testadas. Isso já era esperado porque este inserto encontra-se um pouco mais à frente que o inserto 1 quando montado no cabeçote da fresa, de forma que a área de contato com a superfície da peça sendo usinada é maior que aquela área de contato ocupada pelo inserto 1.

Em relação a estes resultados, sabe-se que as menores tolerâncias aplicadas na trajetória da ferramenta durante a usinagem fazem com que a ferramenta desvie-se menos no caminho a ser percorrido para a usinagem da peça, e com isso ela irá percorrer menor

área em relação a uma tolerância maior, consequentemente solicitando menos da ferramenta que por sua vez sofre menor desgaste.

Para os resultados apresentados na Tab. 4.9 também se empregou o programa *Statistica* para o cálculo e análise de variância (ANOVA) dos resultados de desgaste das ferramentas de corte. Os resultados das interações das variáveis entre si são apresentados na Tab. 4.10 para os desgastes da ferramenta nos insertos 1 e 2.

Com base nos valores de p apresentados na Tab. 4.10, assim como foi observado para os parâmetros de rugosidade verificou-se que não houve influência significativa sob o ponto de vista estatístico dos fatores interpolação e tolerância nos resultados de desgaste devido ao valor de p que foi superior a 0,05 (nível de confiabilidade de 95%) em todos os resultados, valores estes comprovado por De Souza et al. (2007).

Tabela 4.10 – Análise de variância para os insertos 1 e 2.

Elementos estatísticos	SS	Df	MS	F	p
Inserto					
1	0,000500	3	0,000167	1,8969	0,208586
2	0,000603	3	0,000201	1,1485	0,386983

Nas condições investigadas neste trabalho observou-se que houve predominância do desgaste de flanco nos insertos em todas as condições. Nas Figs. 4.8 a 4.11 são apresentadas as imagens das ferramentas após usinagem do aço VP50 em diferentes condições de interpolação e tolerância.

Nas Figs. 4.8a e 4.8b são apresentadas, respectivamente, as imagens do inserto 1 e do inserto 2 após usinagem nas condições de interpolação linear com tolerância igual a 0,1mm. Observa-se que em ambos insertos as arestas de corte permanecem íntegras (desgaste VB_B menor que 0,09 mm), mesmo após 27 min de usinagem.

Destas imagens em geral, constata-se que o nível de desgaste foi muito pequeno já que todos os valores médios (Fig. 4.8) estão abaixo de 0,09 mm, muito aquém do critério de fim de vida da ferramenta normalmente empregado para estas operações.

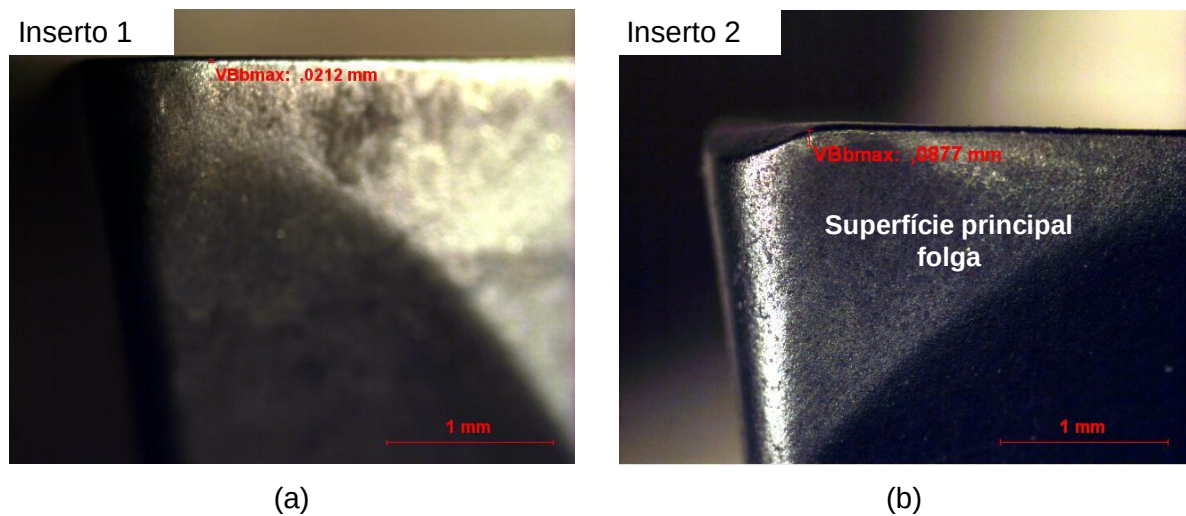


Figura 4.8 – Desgaste de flanco para interpolação linear com tolerância igual a 0,1 mm.

Na Fig. 4.9 é apresentada a imagem da superfície de saída da ferramenta que apresentou maior desgaste na condição de interpolação linear com tolerância igual a 0,1mm, confirmando que não apresentou desgaste de cratera na condição investigada.



Figura 4.9 – Imagem da superfície de saída do inserto 2 (interpolação linear com tolerância igual a 0,1 mm).

Nas Figs. 4.10a e 4.10b são apresentadas as imagens dos insertos 1 e 2, respectivamente após usinagem de aço VP 50 com interpolação linear e tolerância igual 0,05mm. Em geral o desgaste em ambos insertos está bem distribuído ao longo do flanco da ferramenta e foi mais severo, e visível, para o inserto 2.

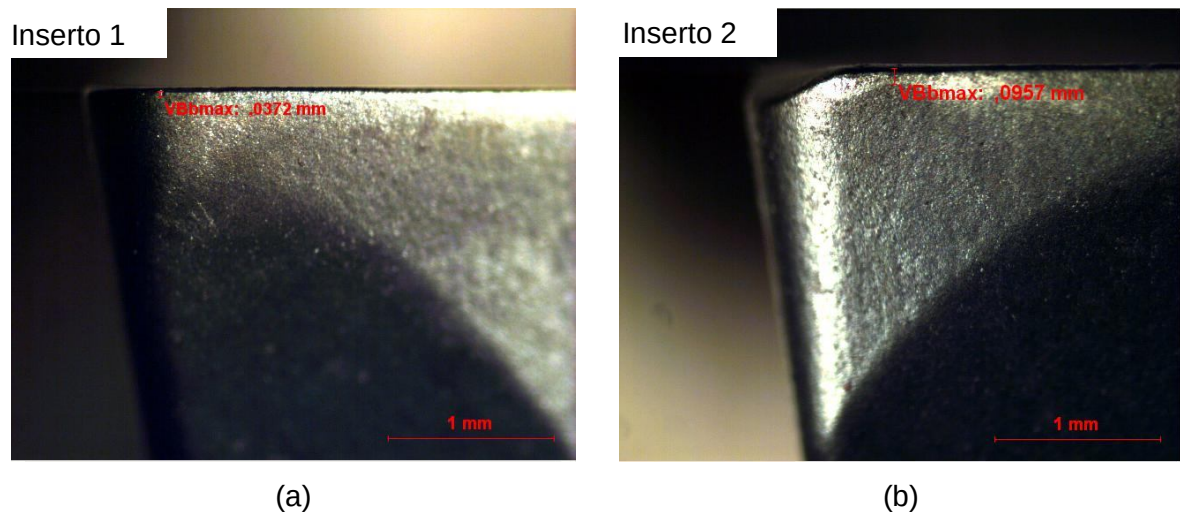


Figura 4.10 – Desgaste de flanco para interpolação linear com tolerância igual a 0,05 mm.

Na Fig. 4.11 é apresentada a imagem da superfície de saída do inserto 2 após usinagem com interpolação linear com tolerância igual 0,05mm confirmando também a não evidência de desgaste de cratera na condição investigada.



Figura 4.11 – Imagem da superfície de saída do inserto 2 após usinagem na condição linear com tolerância igual a 0,05 mm.

Nas Figs. 4.12 e 4.13 são apresentados imagens dos inserts 1 e 2 após usinagem nas condições de interpolação circular 0,1mm e circular 0,05mm, respectivamente. Destas figuras observa-se que o desgaste foi bem distribuído ao longo da aresta de corte das

ferramentas. Não houve evidência de desgaste de cratera e nem de lascamento nas ferramentas em todas as condições investigadas.

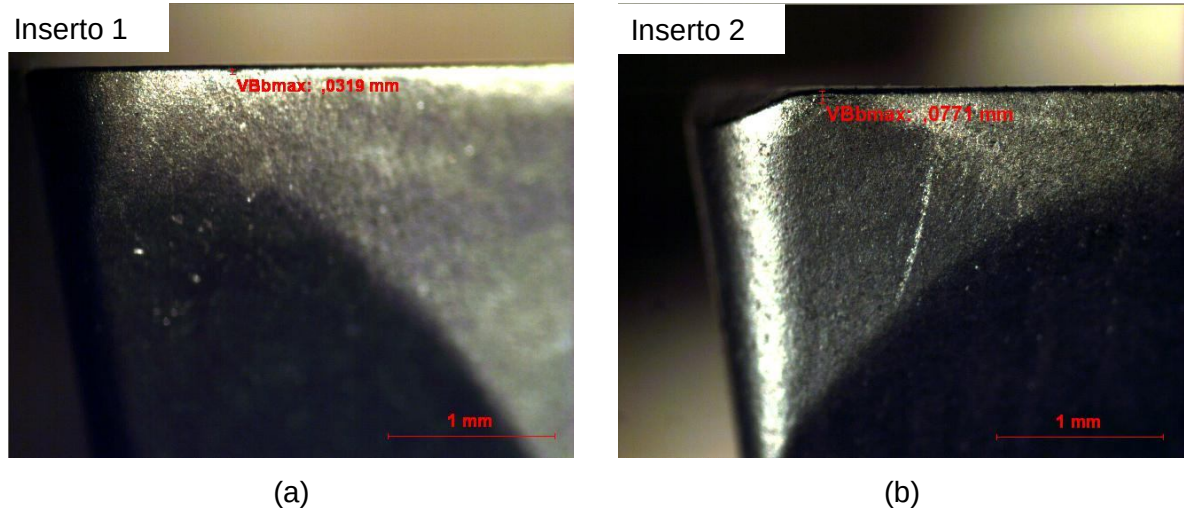


Figura 4.12 – Desgaste de flanco para condição de interpolação circular igual a 0,1 mm.

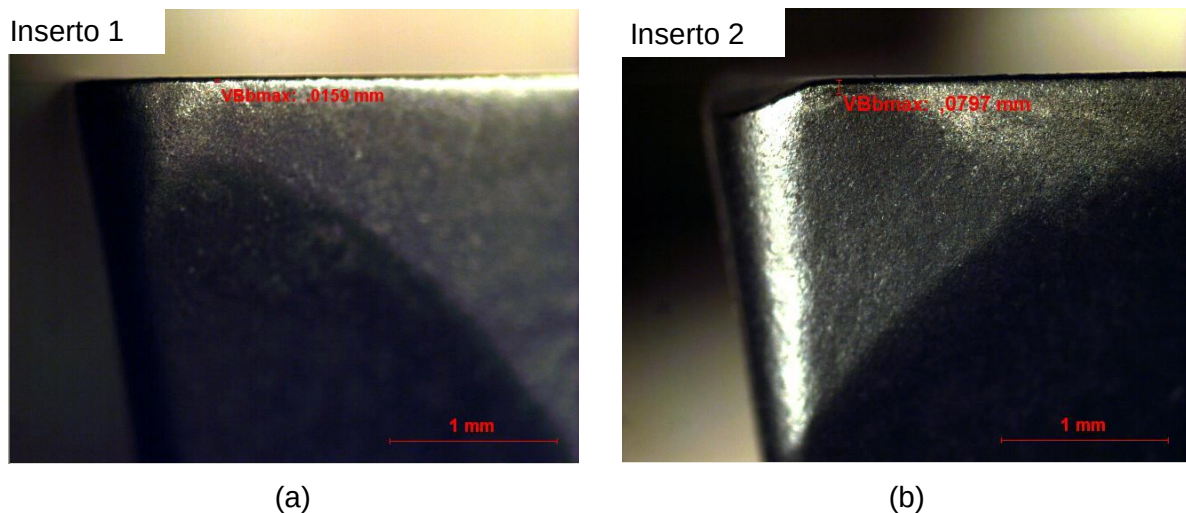


Figura 4.13 – Desgaste de flanco para condição de interpolação circular igual a 0,05 mm.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

Dada à importância da expansão dos conhecimentos na área de fabricação de peças por processos de usinagem, principalmente pelas operações de fresamento na produção de cavidades, *pockets*, com o auxílio da tecnologia CAD/CAM, este trabalho buscou gerar uma contribuição para o setor de moldes e matrizes.

No que diz respeito ao fresamento de topo na produção de superfícies em material para moldes e matrizes variando parâmetros selecionados no programa CAM, percebeu-se que este processo ainda tem muitos parâmetros a serem explorados devido ao vasto campo de aplicação, e um forte potencial de ganhos de produtividade. A correta seleção da ferramenta de corte, das condições de usinagem e o entendimento dos parâmetros da trajetória da ferramenta a serem selecionados no sistema CAM podem implicar em redução dos tempos e custos de fabricação.

Portanto, após as análises dos resultados desta investigação, as seguintes conclusões podem ser extraídas deste trabalho:

1) O tipo de interpolação e tolerância empregadas na trajetória da ferramenta influenciou no tempo de usinagem nas condições investigadas. Entretanto, para um mesmo tipo de interpolação ao se variar a tolerância de 0,05 para 0,1 mm o tempo de usinagem não é afetado. Ao empregar a interpolação linear obteve-se menor tempo de usinagem em relação à interpolação circular, independente da tolerância utilizadas. Esta diferença foi igual a 2 min e 33 seg correspondeu a uma redução de 8,5%.

2) O número de linhas dos programas gerados pelo programa CAM também sofreram influência do tipo de interpolação e tolerâncias. A interpolação linear resultou em um programa com um menor número de linhas, comparado a interpolação circular, independente da tolerância. Um aumento de 15% foi verificado quando se empregou a interpolação circular com tolerância igual a 0,1mm em relação à interpolação linear. Este aumento ainda foi maior (24%) quando se empregou a tolerância de 0,05mm.

3) Em relação aos parâmetros de rugosidade, os valores de rugosidade na direção paralela para o parâmetro R_a situaram-se na faixa de 0,4 e 1,68 μm , 0,52 e 2,00 μm para o parâmetro R_q e 2,20 a 8,10 μm para o parâmetro R_z para todas as condições investigadas,

valores estes condizentes com aqueles observados em diversos trabalhos da literatura para operações de fresamento de materiais endurecidos. Como para estes parâmetros foram utilizados a ANOVA, observou-se que nenhuma variável (interpolação e tolerância) influenciou significativamente nestes parâmetros de rugosidade, já que os valores p fornecidos pelo programa Statística são maiores que 0,05, pela hipótese, com 95% de confiança.

4) Em relação aos valores para os parâmetros de rugosidade obtidos após medição na direção perpendicular às marcas de avanço, observou-se que eles variam entre 1,60 e 1,98 μm para o parâmetro R_a ; 2,00 e 2,54 μm para R_q ; e entre 7,70 e 10,30 μm para R_z nas condições investigadas. Em geral, todos estes valores medidos nesta direção, para todos os parâmetros, foram superiores aqueles obtidos na direção paralela.

5) Ao utilizar a interpolação linear com tolerância de 0,1 mm foi obtido o menor valor médio para o raio de curvatura avaliado, que ficou mais próximo do valor estipulado no projeto. As menores variações deste desvio observadas para os resultados obtidos com interpolação circular indicaram esta condição como mais estável que a interpolação linear, e consequentemente, conduzindo a um processo de maior precisão.

6) A condição que apresentou menor desvio de forma de uma linha qualquer foi a interpolação circular com tolerância de 0,1 mm. Pelos valores desvio padrão observados, conclui-se que houve pouca variação nas condições de teste avaliadas devido as menores tolerâncias aplicadas na trajetória da ferramenta. Após análise de ANOVA, observou-se que nenhuma variável (interpolação e tolerância) influenciou significativamente no desvio de forma de uma linha qualquer.

7) Em relação ao desgaste dos insertos, pela utilização da ANOVA, também, como aconteceu com a rugosidade da superfície, não houve influência significativa dos fatores interpolação e tolerância no valor do desgaste observado em cada ferramenta nas condições investigadas. No entanto, os resultados sem aplicação da ANOVA mostraram que os valores médios de desgaste são menores quando se emprega a interpolação circular. Ao analisar as ferramentas desgastadas observou-se que o desgaste de flanco foi predominante, sem a ocorrência de lascamento ou desgaste de cratera. Em geral, os valores permaneceram abaixo de 0,09 mm mesmo após 27 min de usinagem.

CAPÍTULO VI

Sugestões para trabalhos futuros

- Realizar ensaios de longa duração, para determinar o fim de vida da ferramenta de corte ao usinar o aço VP50 nas mesmas condições investigadas e então avaliar tanto a rugosidade das peças usinadas em toda operação quanto à evolução do desgaste das ferramentas, já que este material é cada vez mais utilizado na produção de moldes para injeção de plástico.
- Verificar a influência de diferentes tipos de fluidos de corte sobre a qualidade dimensional e geométrica de cavidades com geometria cilíndrica, variando também a estratégia de corte e ampliando a faixa dos valores de interpolação e tolerâncias.
- Empregar pelo menos três velocidades de corte, dois diferentes avanços e profundidades de corte, como também outros tipos de interpolação e faixa maior de tolerância; e observar o comportamento da rugosidade das peças e desgaste das ferramentas.
- Comparar os resultados obtidos (número de linhas, tempo de usinagem, rugosidade Ra e desgaste de ferramentas) após geração de programas envolvendo diferentes interpolações e tolerâncias selecionadas em dois diferentes programas CAM, de diferentes fabricantes.
- Estudar as forças envolvidas, utilizando plataforma dinamométrica, já que os estudos envolvidos para este assunto são bem reduzidos.
- Avaliar diferentes formas de entrada (penetração axial) da ferramenta de corte (rampa, helicoidal, etc).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABADIA, Disponível em: <http://abadia-porto.olx.pt/electroerosion-edm-charmilles-roboform-54p-iid-129737229>. Acesso em: 02/02/2011.

ABDI, “Caracterização da Cadeia Petroquímica e da Transformação de Plásticos”. Apostila, Copacabana Consultoria e Treinamento, São Paulo – 2009, 285 p.

ALIBABA, Disponível em: <http://portuguese.alibaba.com/product-free/-7-moldmaster-cnc-wire-cut-edm-103379961.html>. Acesso em: 02/02/2011.

ÁLVARES, A. J.; FERREIRA, J. C. E., “WebTurning: Teleoperation of a CNC turning center through the Internet”. Journal of Materials Processing Technology, Volume 179, Issues 1-3, 20 October 2006, pp. 251-259.

AMIN, A. K. M. N.; ABRAHAM, I.; KHAIRUSSHIMA, N.; AHMED, M. I., “Influence of preheating on performance of circular carbide inserts in end milling of carbon steel”. Journal of Materials Processing Technology, Volume 185, Issues 1-3, 30 April 2007, pp. 97-105.

ARENCIBIA, R. V., “Tolerâncias Geométricas”. Apostila, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – 2010, 86 p.

BEDWORTH, D. D., “Computer Integrated Design and Manufacturing”. 1ª ed., McGraw –Hill, USA, 1991, 653 p.

BORTOLOTI, F. D., “História da computação gráfica”. Disponível em: <http://www.ltc.ufes.br/fgr/02%20-%20Hist%C3%B3ria.pdf>. Acesso em: 01/06/2010.

COELHO, R. T.; WATANUKI, H. M.; ARAI, R., “Furação com fresa de topo usando estratégia helicoidal em aço endurecido AISI H13”. Revista O Mundo da Usinagem, São Paulo, v. 1, p. 30 – 34, 2004.

COSTA, G. G. S.; DA SILVA, R. B.; DUARTE R. F., “Influência de parâmetros de corte ajustados em programa CAM na rugosidade da superfície, no tempo de usinagem e número

de linhas em fresamento de aço VP50". 14º Colóquio de Usinagem. Universidade Federal de Uberlândia, 2010.

DA CUNHA, R. R. M., "Estudo e desenvolvimento de metodologias na troca de dados em CAD/CAM". Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2000, 139 p.

DA SILVA, R. B., "Alargamento cônico de ferro fundido nodular GGG40". Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, 2001, 107 p.

DA SILVA, R. B.; MACHADO, A. R.; COSTA, G. G. S.; DUARTE, R. F., "Influência das condições de corte no acabamento e tempo de usinagem durante o fresamento de cavidade em aço VP50 com fresa ball nose". 6º COBEF – Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Caxias do Sul, RS, 2011.

DA SILVA, R. B.; RODRIGUES, B. C.; MACHADO, A. R.; ARENCIBIA, R. V.; LIMA, F. F., "Contribuição ao estudo de utilização de sistemas CAD/CAM/CNC na operação de fresamento". Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica. Feira e Congresso Usinagem 2010, São Paulo, 2010.

DE AZEVEDO, A. L., "Os Primórdios do controle numérico". Disponível em: <http://www.mundocnc.com.br/historico.php>. Acesso em: 07/12/2009.

DE OLIVEIRA, A. C.; AHRENS, C. H.; SCHROETER, R. B., "Estudo de caso de fresamento HSC em cavidade de molde de injeção", Máquinas e Metais, ISSN 0025-2700, Ano XL, Nº 461, Editora Aranda, São Paulo, SP, Junho, 2004, pág. 176-187.

DE OLIVEIRA, B. B., "Investigação da influência de métodos de interpolação sobre a exatidão final na usinagem de moldes e matrizes". 15º Congresso de Iniciação Científica, Universidade Metodista de Piracicaba, SP, 2007.

DE OLIVEIRA, B. B.; SCHUTZER, K., "Avaliação de recursos no sistema CAD para a geração direta da trajetória da ferramenta da manufatura de superfícies complexas". 16º Congresso de Iniciação Científica, Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, SP, 2008.

DE OLIVEIRA, E. M.; LEITE, W. O.; RUBIO, J. C. C., "Análise das estratégias de usinagem de sistemas CAD-CAM". 14º Colóquio de Usinagem. Universidade Federal de Uberlândia, 2010.

DE SOUZA, A. F., "Contribuições ao fresamento de geometrias complexas aplicando a tecnologia de usinagem com altas velocidades de corte". Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo – USP, 2004, 186 p.

DE SOUZA, A. F.; ARIAS, M., "Descrição matemática das funções Spline". Máquinas e Metais, Ano XLIV, Nº 507, Editora Aranda, São Paulo, SP, 2008, pág. 209-311.

DE SOUZA, A. F.; COELHO, R. T., "Tecnologia CAD/CAM – Definições e estado da arte visando auxiliar sua implantação em um ambiente fabril". XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção - Ouro Preto, MG, 2003.

DE SOUZA, A. F.; ULBRICH, C. B. L., "Engenharia Integrada por Computador e Sistemas CAD/CAM/CNC – Princípios e Aplicações", São Paulo: Editora Artliber, 2009, 332 p.

DE SOUZA, G. O.; GOMES, J. O.; SCHROETER, R. B., "Influência do tipo de interpolação na vida da ferramenta usinando Ti6Al4V". 8º Congresso Iberoamericano de Ingenieria Mecânica (Cibim), Outubro 2007, Cusco, Peru.

DEMENICIS, L. E. S., "Construção e análise de célula robótica para usinagem de modelos tridimensionais aplicados a estruturas navais". Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 2006, 144 p.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L., "Tecnologia da usinagem dos materiais". 5º ed. São Paulo: Artlibler Editora, 2006, 253 p.

FAROUKI, R. T.; MANJUNATHAIAH, J.; YUAN, G. F., "G codes for the specification of Pythagorean-hodograph tool paths and associated feed rate functions on open-architecture CNC machines". International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 39, Issue 1, January 1999, pp. 123-142.

FENG, H. Y.; LI, H., "Constant scallop-height tool path generation for three-axis sculptured surface machining". Computer-Aided Design, Volume 34, Issue 9, August 2002, pp. 647-654.

GAMA, E. B., "CAD x AutoCad". Revista Cadware, Ano 3, nº 11, 1999, 6 p.

GIBBIS, D., "CNC part programming a practical guide". Cassell Publishers Limited – Grã-Bretanha – Inglaterra, 1987, 186 p.

GROOVER, M. P., "Automation, production systems and computer integrated manufacturing". 2ª ed., Prentice-Hall, Upper Saddle River, USA, 2001, 856 p.

GROOVER, M. P.; ZIMMERS, J. E. W., "CAD/CAM Computer Aided Design and Manufacturing". New Jersey: Prentice- Hall, Englewood Cliffs, 1984, 489 p.

GYLDENFELD, C. V.; STROH, C., "CAM: automático, integrado, virtual e simples". Instituto de Gerenciamento de Produção, Tecnologia e Máquinas-ferramenta (PTW). Universidade Técnica de Darmstadt (Alemanha) 2003.

HATNA, A.; GRIEVE, R. J.; BROOMHEAD, P., "Automatic CNC milling of pockets: geometric and technological issues". Computer Integrated Manufacturing Systems, Volume 11, Issue 4, October 1998, pp. 309-330.

HELLENO, A. L.; SCHÜTZER, K., "Fatores que influenciam a usinagem de moldes e matrizes com altas velocidades". Revista de Ciência & Tecnologia, V. 12, Nº 23 – 2004, págs. 7-14.

HUANGFU, D.; PEI, X., "Research on the key technologies of cad / cam integrated system". Department of Industrial Engineering, Tianjin University of Technology. Tianjin, China 2010.
ISO 3685, "Tool life testing with single-point turning tools". 1993.

JACKSON, R. H., "The application of CAD/CAM in a mechanical engineering company". Microelectronics and Reliability, Volume 21, Issue 4, 1981, pp. 620.

KAO, Y. C.; LINT, G. C., "CAD/CAM Collaboration and Remote Machining". Computer Integrated Manufacturing Systems, Volume 9, Issue 3, July 1996, pp. 149-160.

KIM, B. H.; CHOI, B. K., "Machining efficiency comparison direction-parallel tool path with contour-parallel tool path". Computer-Aided Design, Volume 34, Issue 2, February 2002, pp. 89-95.

KOREN, Y., "Computer control of manufacturing systems". Singapore: Mcgraw – Hill, 1986, 287 p.

KORKUT, I.; DONERTA, M. A., "The influence of feed rate and cutting speed on the cutting forces, surface roughness and tool–chip contact length during face milling". *Materials & Design*, Volume 28, Issue 1, 2007, pp. 308-312.

LAL, S. P.; ONWUBOLU, G. C., "Three tiered web-based manufacturing system – Part1: System development". *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Volume 23, Issue 1, February 2007, pp. 138-151.

LASEMI, A.; XUE, D.; GU, P., "Recent development in CNC machining of freeform surfaces: A state-of-the-art review". *Computer-Aided Design*, Volume 42, Issue 7, July 2010, pp. 641-654.

LYNCH, M., "Computer numerical control for machining". United States of America, McGraw-Hill 1992, 288 p.

MACHADO, A. R.; COELHO, R. T.; ABRÃO, A. M.; DA SILVA, M. B., "Teoria da usinagem dos materiais". Editora Blucher, 2009, 384 p.

MARINAC, D., "Estratégias de trajetória da ferramenta". *Revista Máquinas e Metais*, nº 425, julho 2001, pág. 110 – 123.

MASTELARI, N., "Contribuição ao Processo de Integração de Informações da Manufatura para Empresas de Pequeno e Médio Porte". Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 2004, 186 p.

MENEGHELLO, G. P., "Aplicação de um Sistema Robótico Utilizando Recursos de Sistemas CAD/CAM para o Processo de Fresamento". Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2003, 119 p.

NBR 6409, 1997, "Tolerâncias geométricas – Tolerâncias de forma, orientação, posição e batimento - Generalidades, símbolos, definições e indicações em desenho". ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1997, 19 p.

NBR ISO 4287, 2002, “Especificações Geométricas do Produto (GPS) – Rugosidade: Método do perfil – Termos, definições e parâmetros de rugosidade”. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2002, 18 p.

NEWMAN, S. T.; NASSEHI, A.; XU, X. W.; ROSSO, R. S. U.; WANG, L.; YUSOF, Y.; ALI, L.; LIU, R.; ZHENG, L. Y.; KUMAR, S.; VICHARE, P.; DHOKIA, V., “Strategic advantages of interoperability for global manufacturing using CNC technology”. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Volume 24, Issue 6, December 2008, pp. 699-708.

NUNES, J. M.; GOMES, J. O.; SOUZA, G. G.; SUTÉRIO, R., “Influência da interpolação da trajetória da ferramenta no fresamento a altas velocidades de superfícies complexas”. *Tecnologia em Metalurgia e Materiais*, São Paulo, v.4, n.4, p. 37-42, abr.-jun. 2008. Disponível em: <http://www.abmbrasil.com.br/materias/download/1016260.pdf>. Acesso em: 26/08/2010.

OGLIARI, P. J.; PACHECO, J. A., “Análise estatística usando o Statistica 6.0”. Apostila, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004, 131 p.

OLIVEIRA, L. C., “Um sistema de geração de trajetórias de ferramentas em três eixos”. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 1997, 93 p.

PASCHOAL, F. H.; KAYAKI, A. S. Y.; LEBANTE, H., “Usinagem 3D”. Apostila de TopSolid’Cam 2006. São Paulo, 2006, 166 p.

PEREIRA, A. G., “Desenvolvimento e avaliação de um editor para programação CN em centros de usinagem”. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná – UFPR, 2003, 122 p.

QUEIROZ, A. A.; STEMMER, C., “Cenário da programação CN – da programação manual ao CAD/CAM”. Simpósio sobre CAD/CAM – Revisão da situação Brasileira, Anais, SOBRACON, São Paulo, 1986.

REBRAC, “Rugosidade parâmetros” Disponível em: <http://www.rebrac.com.br/downloads/RUGOSIDADE%20-par%C3%A2metros-.pdf>. Acesso em: 08/11/2010.

RODRIGUES, M. A., “Desgaste das ferramentas de corte e do acabamento superficial a partir de diferentes estratégias CAD/CAM”. Revista Máquinas e Metais, Aranda Editora, Ano XLV nº 516, Janeiro 2009, pág. 112-141.

ROMI, “Catálogo linha técnica Centros de Usinagem Verticais”. Disponível em: http://www.romi.com.br/fileadmin/Editores/MF/Catalogos/Portugues/cat_discovery_po_ai.pdf. Acesso em: 07/04/2010.

ROSA, L. C., “Acabamento de superfícies – rugosidade superficial”. Apostila, OMA – Oficina Mecânica para Automação, Unesp, Sorocaba, 2005, 14 p.

ROSAS, N., “Tolerâncias geométricas”. Apostila de Treinamento de empregados da Embraer, 1983, 82 p.

RUDLOFF, “O Sistema CAD-CAM”, Boletim Usinagem Mecânica, p. 3, Disponível em: http://www.rudloff.com.br/downloads/usinagem/USINAGEM2008-pg_3-revA.pdf. Acesso em: 15/04/2011.

SANDVIK, “Catálogo – Fresamento, Technical Guide”. Disponível em: <http://www.sandvik.coromant.com/br>. Acesso em: 23/08/2010.

SCHULTZ, D. F. (1999). “What's wrong with postprocessor”. Metalworking Technology Guide. Disponível em: <<http://www.mmsonline.com/articles/mtg9808.html>>. Acesso em: 29/04/2010.

SCHÜTZER, K.; HELLENO, A. L., “Contribution for the manufacturing of sculptures surfaces with high-speeds based on new methods of tool path interpolation”. COBEM 2009, 20th International Congress of Mechanical Engineering Copyright © 2009 by ABCM November 15-20, 2009, Gramado, RS, Brazil.

SCHÜTZER, K.; HELLENO, A. L.; PEREIRA, S. C., "The influence of the manufacturing strategy on the production of molds and dies". Journal of Materials Processing Technology, Volume 179, Issues 1-3, 20 October 2006, pp. 172-177.

SCHÜTZER, K.; DE SOUZA, A. F.; STANIK, M., "A usinagem HSC na manufatura de moldes e matrizes". Revista Máquinas e Metais, Aranda Editora – Ano XXXVII nº 420 – Janeiro 2001 pág. 92 – 103.

SILVA, F. C. S.; MEDEIROS, M. A.; AGUIAR, F. M.; MACHADO, A. R.; DA SILVA, M. B., "Machinability of three different steels for plastic injection mould considering the cutting forces in turning". International Congress of Mechanical Engineering, COBEM, 2009.

SILVEIRA, J. F., "Fresamento toroidal do aço ABNT H13 endurecido, com ferramentas de cermet e de metal duro". Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, 2002, 101 p.

SIMÕES, F. M. S., "Implementação de um Sistema CAD/CAM para fresadora CNC a partir de funções CAM integradas no CAD". Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Uberlândia – UFU, 1999, 143 p.

TAVARES, J. M. R. S.; FONSECA, J. O. "Introdução ao controlo numérico computadorizado – II referenciais e trajectórias". Apostila, Universidade do Porto. Faculdade de Engenharia – FEUP. 2009, 34 p.

TEDESCO, M. E.; ZEILMANN, R. P.; TENTARDINI, E. K; BAUMVOL, I. J. R., "Estudo sobre qualidade superficial e desvio dimensional do aço AISI 4140 submetido ao processo de torneamento". 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, PR, 2006.

TELECURSO 2000, Introdução à Automação, Telecurso 2000 Profissionalizante, FRM-FIESP-CIESP-SESI/SP-SENAI/SP, Editora Globo, 1996, Aula 1, 8 p.

VILLARES METALS, "Catálogo de aços para moldes". Disponível em: http://www.villaresmetals.com.br/portuguese/files/Cat_Acos_Moldes.pdf. Acesso em: 22/11/2010.

WRUBLAK, O.; PILATTI, L. A.; PEDROSO, B., “Parâmetros e métodos de usinagem e sua relação com os custos do processo e o acabamento final do produto”. 4º Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais. Ponta Grossa PR, 2008.

ZEMA, Disponível em: http://www.zema.com.br/?pagina=info_produtos.php&titulo=Produtos&catid=2&id=26. Acesso em: 10/04/2011.

ANEXO: Programas utilizados para fresamento de acordo com condições investigadas.

CONDIÇÃO 1: Interpolação linear e tolerância igual a 0,1 mm

```
%_N_1_P_TUB_MPF
;$ PATH=/ N_MPF_DIRLINEAR_CAPINHA
N1 G64 G40 G90 G17
;BALL NOSE MILL FR_HEMI-020010-SA50
N2 D0
N3 T6
N4 M6
N5 S3183 M3
N6 G64 F954.93 CFTCP
N7 G54 D1
N8 G0 X61.834 Y40.494
N9 Z22 M9
N10 Z2
N11 G1 X62.034 Y40.694 I=AC(61.834)
J=AC(40.694)
N12 G1 Y87.443 Z-.45
N13 Y25.233
N14 G1 X61.616 Y23.826 I=AC(59.661)
J=AC(25.173)
N15 G1 X59.767 Y22.966 I=AC(59.897)
J=AC(25.103)
N16 G1 X25.233
N17 G1 X22.966 Y25.233 I=AC(25.103)
J=AC(25.103)
N18 G1 X22.967 Y97.034
N19 X62.033
N20 X62.034 Y87.443
N21 G1 X61.534 Y86.12 I=AC(60.034)
J=AC(87.443)
N22 G1 X61.034 Y84.797 I=AC(63.034)
J=AC(84.797)
N23 G1 Y25.208
N24 G1 X59.828 Y23.964 I=AC(59.896)
J=AC(25.105)
N25 G1 X25.172
N26 G1 X23.964 Y25.172 I=AC(25.103)
J=AC(25.103)
N27 G1 X23.967 Y96.034
N28 X61.033
N29 X61.034 Y84.797
N30 G1 X60.534 Y83.475 I=AC(59.034)
J=AC(84.797)
N31 G1 X60.034 Y82.152 I=AC(62.034)
J=AC(82.152)
N32 G1 X60.035 Y25.183
N33 G1 X59.767 Y24.966 I=AC(59.833)
J=AC(25.158)
N34 G1 X25.112 Y24.962
N35 G1 X24.966 Y25.233 I=AC(25.166)
J=AC(25.166)
N36 G1 X24.967 Y95.034
N37 X60.033
N38 X60.034 Y82.152
N39 G1 X59.534 Y80.829 I=AC(58.034)
J=AC(82.152)
N40 G1 X59.034 Y79.506 I=AC(61.034)
J=AC(79.506)
N41 G1 Y25.966
N42 X25.966
N43 X25.967 Y94.034
N44 X59.033
N45 X59.034 Y79.506
N46 G1 X58.534 Y78.183 I=AC(57.034)
J=AC(79.506)
N47 G1 X58.034 Y76.86 I=AC(60.034)
J=AC(76.86)
N48 G1 Y26.966
N49 X26.966
N50 X26.967 Y93.034
N51 X58.034
N52 Y76.86
N53 G1 X57.534 Y75.537 I=AC(56.034)
J=AC(76.86)
N54 G1 X57.034 Y74.214 I=AC(59.034)
J=AC(74.214)
N55 G1 Y27.966
N56 X27.966
N57 X27.967 Y92.034
N58 X57.034
N59 Y74.214
N60 G1 X56.534 Y72.892 I=AC(55.034)
J=AC(74.214)
N61 G1 X56.034 Y71.569 I=AC(58.034)
J=AC(71.569)
N62 G1 Y28.966
N63 X28.966
N64 Y91.034
N65 X56.034
N66 Y71.569
N67 G1 X55.534 Y70.246 I=AC(54.034)
J=AC(71.569)
N68 G1 X55.034 Y68.923 I=AC(57.034)
J=AC(68.923)
N69 G1 Y29.966
N70 X29.966
N71 Y90.034
N72 X55.034
N73 Y68.923
N74 G1 X54.534 Y67.6 I=AC(53.034)
J=AC(68.923)
N75 G1 X54.034 Y66.277 I=AC(56.034)
J=AC(66.277)
N76 G1 Y30.966
N77 X30.966
N78 Y89.034
N79 X54.034
N80 Y66.277
N81 G1 X53.534 Y64.954 I=AC(52.034)
J=AC(66.277)
N82 G1 X53.034 Y63.631 I=AC(55.034)
J=AC(63.631)
N83 G1 Y31.966
N84 X31.966
N85 Y88.034
N86 X53.034
N87 Y63.631
N88 G1 X52.534 Y62.308 I=AC(51.034)
J=AC(63.631)
N89 G1 X52.034 Y60.986 I=AC(54.034)
J=AC(60.986)
N90 G1 Y32.966
N91 X32.966
N92 Y87.034
N93 X52.034
N94 Y60.986
N95 G1 X51.534 Y59.663 I=AC(50.034)
J=AC(60.986)
N96 G1 X51.034 Y58.34 I=AC(53.034)
J=AC(58.34)
N97 G1 Y33.966
N98 X33.966
N99 Y86.034
N100 X51.034
N101 Y58.34
N102 G1 X50.534 Y57.017 I=AC(49.034)
J=AC(58.34)
N103 G1 X50.034 Y55.694 I=AC(52.034)
J=AC(55.694)
N104 G1 Y34.966
N105 X34.966
N106 Y85.034
N107 X50.034
N108 Y55.694
N109 G1 X49.534 Y54.371 I=AC(48.034)
J=AC(55.694)
N110 G1 X49.034 Y53.048 I=AC(51.034)
J=AC(53.048)
N111 G1 Y35.966
N112 X35.966
N113 Y84.034
N114 X49.034
N115 Y53.048
N116 G1 X48.534 Y51.725 I=AC(47.034)
J=AC(53.048)
N117 G1 X48.034 Y50.403 I=AC(50.034)
J=AC(50.403)
N118 G1 Y36.966
N119 X36.966
N120 Y83.034
N121 X48.034
N122 Y50.403
N123 G1 X47.534 Y49.08 I=AC(46.034)
J=AC(50.403)
N124 G1 X47.034 Y47.757 I=AC(49.034)
J=AC(47.757)
N125 G1 Y37.966
N126 X37.966
N127 Y82.034
N128 X47.034
N129 Y47.757
N130 G1 X46.534 Y46.434 I=AC(45.034)
J=AC(47.757)
N131 G1 X46.034 Y45.111 I=AC(48.034)
J=AC(45.111)
N132 G1 Y38.966
N133 X38.966
N134 Y81.034
N135 X46.034
N136 Y45.111
N137 G1 X45.534 Y43.788 I=AC(44.034)
J=AC(45.111)
N138 G1 X45.034 Y42.465 I=AC(47.034)
J=AC(42.465)
N139 G1 Y39.966
N140 X39.966
N141 Y80.034
N142 X45.034
N143 Y42.465
N144 G1 X43.5 Y40.966 I=AC(43.534)
J=AC(42.465)
N145 G1 X40.966
N146 Y79.034
N147 X44.034
N148 Y40.966
N149 X43.466
N150 G1 X41.966 Y42.483 I=AC(43.466)
J=AC(42.466)
N151 G1 Y78.034
N152 X43.034
N153 Y41.966
N154 G0 Z3.55
N155 X60.654 Y41.144
N156 Z1.55
N157 G1 X60.854 Y41.344 I=AC(60.654)
J=AC(41.344)
N158 G1 Y88.092 Z-.9
N159 Y25.326
N160 G1 X60.472 Y24.351 I=AC(59.706)
J=AC(25.214)
N161 G1 X59.674 Y24.146 I=AC(59.757)
J=AC(25.476)
N162 G1 X25.327
N163 G1 X24.351 Y24.528 I=AC(25.214)
J=AC(25.295)
N164 G1 X24.146 Y25.326 I=AC(25.476)
J=AC(25.244)
N165 G1 X24.147 Y95.854
N166 X60.854
N167 Y88.092
N168 G1 X60.354 Y86.77 I=AC(58.854)
J=AC(88.092)
N169 G1 X59.854 Y85.447 I=AC(61.854)
J=AC(85.447)
N170 G1 X59.848 Y25.156
N171 X25.156 Y25.152
N172 X25.147 Y94.854
N173 X59.854
N174 Y85.447
N175 G1 X59.354 Y84.124 I=AC(57.854)
J=AC(85.447)
N176 G1 X58.854 Y82.801 I=AC(60.854)
J=AC(82.801)
N177 G1 Y26.146
N178 X26.146
N179 X26.147 Y93.854
N180 X58.854
N181 Y82.801
N182 G1 X58.354 Y81.478 I=AC(56.854)
J=AC(82.801)
N183 G1 X57.854 Y80.155 I=AC(59.854)
J=AC(80.155)
N184 G1 Y27.146
N185 X27.146
N186 X27.147 Y92.854
N187 X57.854
N188 Y80.155
N189 G1 X57.354 Y78.832 I=AC(55.854)
J=AC(80.155)
N190 G1 X56.854 Y77.509 I=AC(58.854)
J=AC(77.509)
N191 G1 Y28.146
N192 X28.146
N193 Y91.854
N194 X56.854
N195 Y77.509
N196 G1 X56.354 Y76.187 I=AC(54.854)
J=AC(77.509)
N197 G1 X55.854 Y74.864 I=AC(57.854)
J=AC(74.864)
N198 G1 Y29.146
N199 X29.146
N200 Y90.854
N201 X55.854
N202 Y74.864
N203 G1 X55.354 Y73.541 I=AC(53.854)
J=AC(74.864)
N204 G1 X54.854 Y72.218 I=AC(56.854)
J=AC(72.218)
N205 G1 Y30.146
N206 X30.146
N207 Y89.854
N208 X54.854
```

N209 Y72.218
 N210 G1 X54.354 Y70.895 I=AC(52.854)
 J=AC(72.218)
 N211 G1 X53.854 Y69.572 I=AC(55.854)
 J=AC(69.572)
 N212 G1 Y31.146
 N213 X31.146
 N214 Y88.854
 N215 X53.854
 N216 Y69.572
 N217 G1 X53.354 Y68.249 I=AC(51.854)
 J=AC(69.572)
 N218 G1 X52.854 Y66.926 I=AC(54.854)
 J=AC(66.926)
 N219 G1 Y32.146
 N220 X32.146
 N221 Y87.854
 N222 X52.854
 N223 Y66.926
 N224 G1 X52.354 Y65.604 I=AC(50.854)
 J=AC(66.926)
 N225 G1 X51.854 Y64.281 I=AC(53.854)
 J=AC(64.281)
 N226 G1 Y33.146
 N227 X33.146
 N228 Y86.854
 N229 X51.854
 N230 Y64.281
 N231 G1 X51.354 Y62.958 I=AC(49.854)
 J=AC(64.281)
 N232 G1 X50.854 Y61.635 I=AC(52.854)
 J=AC(61.635)
 N233 G1 Y34.146
 N234 X34.146
 N235 Y85.854
 N236 X50.854
 N237 Y61.635
 N238 G1 X50.354 Y60.312 I=AC(48.854)
 J=AC(61.635)
 N239 G1 X49.854 Y58.989 I=AC(51.854)
 J=AC(58.989)
 N240 G1 Y35.146
 N241 X35.146
 N242 Y84.854
 N243 X49.854
 N244 Y58.989
 N245 G1 X49.354 Y57.666 I=AC(47.854)
 J=AC(58.989)
 N246 G1 X48.854 Y56.343 I=AC(50.854)
 J=AC(56.343)
 N247 G1 Y36.146
 N248 X36.146
 N249 Y83.854
 N250 X48.854
 N251 Y56.343
 N252 G1 X48.354 Y55.021 I=AC(46.854)
 J=AC(56.343)
 N253 G1 X47.854 Y53.698 I=AC(49.854)
 J=AC(53.698)
 N254 G1 Y37.146
 N255 X37.146
 N256 Y82.854
 N257 X47.854
 N258 Y53.698
 N259 G1 X47.354 Y52.375 I=AC(45.854)
 J=AC(53.698)
 N260 G1 X46.854 Y51.052 I=AC(48.854)
 J=AC(51.052)
 N261 G1 Y38.146
 N262 X38.146
 N263 Y81.854
 N264 X46.854
 N265 Y51.052
 N266 G1 X46.354 Y49.729 I=AC(44.854)
 J=AC(51.052)
 N267 G1 X45.854 Y48.406 I=AC(47.854)
 J=AC(48.406)
 N268 G1 Y39.146
 N269 X39.146
 N270 Y80.854
 N271 X45.854
 N272 Y48.406
 N273 G1 X45.354 Y47.083 I=AC(43.854)
 J=AC(48.406)
 N274 G1 X44.854 Y45.76 I=AC(46.854)
 J=AC(45.76)
 N275 G1 Y40.146
 N276 X40.146
 N277 Y79.854
 N278 X44.854
 N279 Y45.76
 N280 G1 X44.354 Y44.437 I=AC(42.854)
 J=AC(45.76)
 N281 G1 X43.854 Y43.115 I=AC(45.854)
 J=AC(43.115)
 N282 G1 Y41.146
 N283 X41.146
 N284 Y78.854
 N285 X43.854
 N286 Y43.115

N287 G1 X42.677 Y42.13 I=AC(42.854)
 J=AC(43.115)
 N288 G1 X42.146 Y42.146
 N289 Y77.854
 N290 G0 Z3.1
 N291 X25.218 Y79.472
 N292 Z1.1
 N293 G1 X25.018 Y79.272 I=AC(25.218)
 J=AC(79.272)
 N294 G1 Y32.524 Z-1.35
 N295 Y94.981
 N296 X59.982 Y94.982
 N297 Y25.395
 N298 X59.931 Y25.07
 N299 X59.605 Y25.018
 N300 X25.395
 N301 X25.07 Y25.069
 N302 X25.018 Y25.395
 N303 Y32.524
 N304 G1 X25.518 Y33.847 I=AC(27.018)
 J=AC(32.524)
 N305 G1 X26.018 Y35.169 I=AC(24.018)
 J=AC(35.169)
 N306 G1 Y93.981
 N307 X58.982 Y93.982
 N308 Y26.018
 N309 X26.018
 N310 Y35.169
 N311 G1 X26.518 Y36.492 I=AC(28.018)
 J=AC(35.169)
 N312 G1 X27.018 Y37.815 I=AC(25.018)
 J=AC(37.815)
 N313 G1 Y92.982
 N314 X57.982
 N315 Y27.018
 N316 X27.018
 N317 Y37.815
 N318 G1 X27.518 Y39.138 I=AC(29.018)
 J=AC(37.815)
 N319 G1 X28.018 Y40.461 I=AC(26.018)
 J=AC(40.461)
 N320 G1 Y91.982
 N321 X56.982
 N322 Y28.018
 N323 X28.018
 N324 Y40.461
 N325 G1 X28.518 Y41.784 I=AC(30.018)
 J=AC(40.461)
 N326 G1 X29.018 Y43.107 I=AC(27.018)
 J=AC(43.107)
 N327 G1 Y90.982
 N328 X55.982
 N329 Y29.018
 N330 X29.018
 N331 Y43.107
 N332 G1 X29.518 Y44.43 I=AC(31.018)
 J=AC(43.107)
 N333 G1 X30.018 Y45.752 I=AC(28.018)
 J=AC(45.752)
 N334 G1 Y89.982
 N335 X54.982
 N336 Y30.018
 N337 X30.018
 N338 Y45.752
 N339 G1 X30.518 Y47.075 I=AC(32.018)
 J=AC(45.752)
 N340 G1 X31.018 Y48.398 I=AC(29.018)
 J=AC(48.398)
 N341 G1 Y88.982
 N342 X53.982
 N343 Y31.018
 N344 X31.018
 N345 Y48.398
 N346 G1 X31.518 Y49.721 I=AC(33.018)
 J=AC(48.398)
 N347 G1 X32.018 Y51.044 I=AC(30.018)
 J=AC(51.044)
 N348 G1 Y87.982
 N349 X52.982
 N350 Y32.018
 N351 X32.018
 N352 Y51.044
 N353 G1 X32.518 Y52.367 I=AC(34.018)
 J=AC(51.044)
 N354 G1 X33.018 Y53.69 I=AC(31.018)
 J=AC(53.69)
 N355 G1 Y86.982
 N356 X51.982
 N357 Y33.018
 N358 X33.018
 N359 Y53.69
 N360 G1 X33.518 Y55.013 I=AC(35.018)
 J=AC(53.69)
 N361 G1 X34.018 Y56.335 I=AC(32.018)
 J=AC(56.335)
 N362 G1 Y85.982
 N363 X50.982
 N364 Y34.018
 N365 X34.018
 N366 Y56.335

N367 G1 X34.518 Y57.658 I=AC(36.018)
 J=AC(56.335)
 N368 G1 X35.018 Y58.981 I=AC(33.018)
 J=AC(58.981)
 N369 G1 Y84.982
 N370 X49.982
 N371 Y35.018
 N372 X35.018
 N373 Y58.981
 N374 G1 X35.518 Y60.304 I=AC(37.018)
 J=AC(58.981)
 N375 G1 X36.018 Y61.627 I=AC(34.018)
 J=AC(61.627)
 N376 G1 Y83.982
 N377 X48.982
 N378 Y36.018
 N379 X36.018
 N380 Y61.627
 N381 G1 X36.518 Y62.95 I=AC(38.018)
 J=AC(61.627)
 N382 G1 X37.018 Y64.273 I=AC(35.018)
 J=AC(64.273)
 N383 G1 Y82.982
 N384 X47.982
 N385 Y37.018
 N386 X37.018
 N387 Y64.273
 N388 G1 X37.518 Y65.596 I=AC(39.018)
 J=AC(64.273)
 N389 G1 X38.018 Y66.918 I=AC(36.018)
 J=AC(66.918)
 N390 G1 Y81.982
 N391 X46.982
 N392 Y38.018
 N393 X38.018
 N394 Y66.918
 N395 G1 X38.518 Y68.241 I=AC(40.018)
 J=AC(66.918)
 N396 G1 X39.018 Y69.564 I=AC(37.018)
 J=AC(69.564)
 N397 G1 Y80.982
 N398 X45.982
 N399 Y39.018
 N400 X39.018
 N401 Y69.564
 N402 G1 X39.518 Y70.887 I=AC(41.018)
 J=AC(69.564)
 N403 G1 X40.018 Y72.21 I=AC(38.018)
 J=AC(72.21)
 N404 G1 Y79.982
 N405 X44.982
 N406 Y40.018
 N407 X40.018
 N408 Y72.21
 N409 G1 X40.518 Y73.533 I=AC(42.018)
 J=AC(72.21)
 N410 G1 X41.018 Y74.856 I=AC(39.018)
 J=AC(74.856)
 N411 G1 Y78.982
 N412 X43.982
 N413 Y41.018
 N414 X41.018
 N415 Y74.856
 N416 G1 X41.518 Y76.179 I=AC(43.018)
 J=AC(74.856)
 N417 G1 X42.018 Y77.982 I=AC(39.382)
 J=AC(77.742)
 N418 G1 X42.982
 N419 Y42.018
 N420 G0 Z2.65
 N421 X59.076 Y35.948
 N422 Z.65
 N423 G1 X59.276 Y36.148 I=AC(59.076)
 J=AC(36.148)
 N424 G1 Y82.897 Z-1.8
 N425 Y25.724
 N426 X25.724
 N427 Y94.276
 N428 X59.276
 N429 Y82.897
 N430 G1 X58.776 Y81.574 I=AC(57.276)
 J=AC(82.897)
 N431 G1 X58.276 Y80.251 I=AC(60.276)
 J=AC(80.251)
 N432 G1 Y26.724
 N433 X26.724
 N434 Y93.276
 N435 X58.276
 N436 Y80.251
 N437 G1 X57.776 Y78.929 I=AC(56.276)
 J=AC(80.251)
 N438 G1 X57.276 Y77.606 I=AC(59.276)
 J=AC(77.606)
 N439 G1 Y27.724
 N440 X27.724
 N441 Y92.276
 N442 X57.276
 N443 Y77.606
 N444 G1 X56.776 Y76.283 I=AC(55.276)
 J=AC(77.606)

N445 G1 X56.276 Y74.96 I=AC(58.276)
 J=AC(74.96)
 N446 G1 Y28.724
 N447 X28.724
 N448 Y91.276
 N449 X56.276
 N450 Y74.96
 N451 G1 X55.776 Y73.637 I=AC(54.276)
 J=AC(74.96)
 N452 G1 X55.276 Y72.314 I=AC(57.276)
 J=AC(72.314)
 N453 G1 Y29.724
 N454 X29.724
 N455 Y90.276
 N456 X55.276
 N457 Y72.314
 N458 G1 X54.776 Y70.991 I=AC(53.276)
 J=AC(72.314)
 N459 G1 X54.276 Y69.668 I=AC(56.276)
 J=AC(69.668)
 N460 G1 Y30.724
 N461 X30.724
 N462 Y89.276
 N463 X54.276
 N464 Y69.668
 N465 G1 X53.776 Y68.346 I=AC(52.276)
 J=AC(69.668)
 N466 G1 X53.276 Y67.023 I=AC(55.276)
 J=AC(67.023)
 N467 G1 Y31.724
 N468 X31.724
 N469 Y88.276
 N470 X53.276
 N471 Y67.023
 N472 G1 X52.776 Y65.7 I=AC(51.276)
 J=AC(67.023)
 N473 G1 X52.276 Y64.377 I=AC(54.276)
 J=AC(64.377)
 N474 G1 Y32.724
 N475 X32.724
 N476 Y87.276
 N477 X52.276
 N478 Y64.377
 N479 G1 X51.776 Y63.054 I=AC(50.276)
 J=AC(64.377)
 N480 G1 X51.276 Y61.731 I=AC(53.276)
 J=AC(61.731)
 N481 G1 Y33.724
 N482 X33.724
 N483 Y86.276
 N484 X51.276
 N485 Y61.731
 N486 G1 X50.776 Y60.408 I=AC(49.276)
 J=AC(61.731)
 N487 G1 X50.276 Y59.085 I=AC(52.276)
 J=AC(59.085)
 N488 G1 Y34.724
 N489 X34.724
 N490 Y85.276
 N491 X50.276
 N492 Y59.085
 N493 G1 X49.776 Y57.763 I=AC(48.276)
 J=AC(59.085)
 N494 G1 X49.276 Y56.44 I=AC(51.276)
 J=AC(56.44)
 N495 G1 Y35.724
 N496 X35.724
 N497 Y84.276
 N498 X49.276
 N499 Y56.44
 N500 G1 X48.776 Y55.117 I=AC(47.276)
 J=AC(56.44)
 N501 G1 X48.276 Y53.794 I=AC(50.276)
 J=AC(53.794)
 N502 G1 Y36.724
 N503 X36.724
 N504 Y83.276
 N505 X48.276
 N506 Y53.794
 N507 G1 X47.776 Y52.471 I=AC(46.276)
 J=AC(53.794)
 N508 G1 X47.276 Y51.148 I=AC(49.276)
 J=AC(51.148)
 N509 G1 Y37.724
 N510 X37.724
 N511 Y82.276
 N512 X47.276
 N513 Y51.148
 N514 G1 X46.776 Y49.825 I=AC(45.276)
 J=AC(51.148)
 N515 G1 X46.276 Y48.502 I=AC(48.276)
 J=AC(48.502)
 N516 G1 Y38.724
 N517 X38.724
 N518 Y81.276
 N519 X46.276
 N520 Y48.502
 N521 G1 X45.776 Y47.18 I=AC(44.276)
 J=AC(48.502)
 N522 G1 X45.276 Y45.857 I=AC(47.276)
 J=AC(45.857)

N523 G1 Y39.724
 N524 X39.724
 N525 Y80.276
 N526 X45.276
 N527 Y45.857
 N528 G1 X44.776 Y44.534 I=AC(43.276)
 J=AC(45.857)
 N529 G1 X44.276 Y43.211 I=AC(46.276)
 J=AC(43.211)
 N530 G1 Y40.724
 N531 X40.724
 N532 Y79.276
 N533 X44.276
 N534 Y43.211
 N535 G1 X42.639 Y41.717 I=AC(42.776)
 J=AC(43.211)
 N536 G1 X41.724 Y41.724
 N537 Y78.276
 N538 X43.276
 N539 Y41.724
 N540 G0 Z2.2
 N541 X58.48 Y36.049
 N542 Z.2
 N543 G1 X58.68 Y36.249 I=AC(58.48)
 J=AC(36.249)
 N544 G1 Y82.998 Z-2.25
 N545 Y26.32
 N546 X26.32
 N547 Y93.68
 N548 X58.68
 N549 Y82.998
 N550 G1 X58.18 Y81.675 I=AC(56.68)
 J=AC(82.998)
 N551 G1 X57.68 Y80.352 I=AC(59.68)
 J=AC(80.352)
 N552 G1 Y27.32
 N553 X27.32
 N554 Y92.68
 N555 X57.68
 N556 Y80.352
 N557 G1 X57.18 Y79.029 I=AC(55.68)
 J=AC(80.352)
 N558 G1 X56.68 Y77.706 I=AC(58.68)
 J=AC(77.706)
 N559 G1 Y28.32
 N560 X28.32
 N561 Y91.68
 N562 X56.68
 N563 Y77.706
 N564 G1 X56.18 Y76.383 I=AC(54.68)
 J=AC(77.706)
 N565 G1 X55.68 Y75.061 I=AC(57.68)
 J=AC(75.061)
 N566 G1 Y29.32
 N567 X29.32
 N568 Y90.68
 N569 X55.68
 N570 Y75.061
 N571 G1 X55.18 Y73.738 I=AC(53.68)
 J=AC(75.061)
 N572 G1 X54.68 Y72.415 I=AC(56.68)
 J=AC(72.415)
 N573 G1 Y30.32
 N574 X30.32
 N575 Y89.68
 N576 X54.68
 N577 Y72.415
 N578 G1 X54.18 Y71.092 I=AC(52.68)
 J=AC(72.415)
 N579 G1 X53.68 Y69.769 I=AC(55.68)
 J=AC(69.769)
 N580 G1 Y31.32
 N581 X31.32
 N582 Y88.68
 N583 X53.68
 N584 Y69.769
 N585 G1 X53.18 Y68.446 I=AC(51.68)
 J=AC(69.769)
 N586 G1 X52.68 Y67.123 I=AC(54.68)
 J=AC(67.123)
 N587 G1 Y32.32
 N588 X32.32
 N589 Y87.68
 N590 X52.68
 N591 Y67.123
 N592 G1 X52.18 Y65.8 I=AC(50.68)
 J=AC(67.123)
 N593 G1 X51.68 Y64.478 I=AC(53.68)
 J=AC(64.478)
 N594 G1 Y33.32
 N595 X33.32
 N596 Y86.68
 N597 X51.68
 N598 Y64.478
 N599 G1 X51.18 Y63.155 I=AC(49.68)
 J=AC(64.478)
 N600 G1 X50.68 Y61.832 I=AC(52.68)
 J=AC(61.832)
 N601 G1 Y34.32
 N602 X34.32
 N603 Y85.68

N604 X50.68
 N605 Y61.832
 N606 G1 X50.18 Y60.509 I=AC(48.68)
 J=AC(61.832)
 N607 G1 X49.68 Y59.186 I=AC(51.68)
 J=AC(59.186)
 N608 G1 Y35.32
 N609 X35.32
 N610 Y84.68
 N611 X49.68
 N612 Y59.186
 N613 G1 X49.18 Y57.863 I=AC(47.68)
 J=AC(59.186)
 N614 G1 X48.68 Y56.54 I=AC(50.68)
 J=AC(56.54)
 N615 G1 Y36.32
 N616 X36.32
 N617 Y83.68
 N618 X48.68
 N619 Y56.54
 N620 G1 X48.18 Y55.217 I=AC(46.68)
 J=AC(56.54)
 N621 G1 X47.68 Y53.895 I=AC(49.68)
 J=AC(53.895)
 N622 G1 Y37.32
 N623 X37.32
 N624 Y82.68
 N625 X47.68
 N626 Y53.895
 N627 G1 X47.18 Y52.572 I=AC(45.68)
 J=AC(53.895)
 N628 G1 X46.68 Y51.249 I=AC(48.68)
 J=AC(51.249)
 N629 G1 Y38.32
 N630 X38.32
 N631 Y81.68
 N632 X46.68
 N633 Y51.249
 N634 G1 X46.18 Y49.926 I=AC(44.68)
 J=AC(51.249)
 N635 G1 X45.68 Y48.603 I=AC(47.68)
 J=AC(48.603)
 N636 G1 Y39.32
 N637 X39.32
 N638 Y80.68
 N639 X45.68
 N640 Y48.603
 N641 G1 X45.18 Y47.28 I=AC(43.68)
 J=AC(48.603)
 N642 G1 X44.68 Y45.957 I=AC(46.68)
 J=AC(45.957)
 N643 G1 Y40.32
 N644 X40.32
 N645 Y79.68
 N646 X44.68
 N647 Y45.957
 N648 G1 X44.18 Y44.634 I=AC(42.68)
 J=AC(45.957)
 N649 G1 X43.68 Y43.312 I=AC(45.68)
 J=AC(43.312)
 N650 G1 Y41.32
 N651 X41.32
 N652 Y78.68
 N653 X43.68
 N654 Y43.312
 N655 G1 X42.501 Y42.32 I=AC(42.595)
 J=AC(43.405)
 N656 G1 X42.32
 N657 Y77.68
 N658 G0 Z2
 N659 X27.034 Y84.764
 N660 Z-.25
 N661 G1 X26.834 Y84.564 I=AC(27.034)
 J=AC(84.564)
 N662 G1 Y37.815 Z-2.7
 N663 Y93.166
 N664 X58.166
 N665 Y26.834
 N666 X26.834
 N667 Y37.815
 N668 G1 X27.334 Y39.138 I=AC(28.834)
 J=AC(37.815)
 N669 G1 X27.834 Y40.461 I=AC(25.834)
 J=AC(40.461)
 N670 G1 Y92.166
 N671 X57.166
 N672 Y27.834
 N673 X27.834
 N674 Y40.461
 N675 G1 X28.334 Y41.784 I=AC(29.834)
 J=AC(40.461)
 N676 G1 X28.834 Y43.107 I=AC(26.834)
 J=AC(43.107)
 N677 G1 Y91.166
 N678 X56.166
 N679 Y28.834
 N680 X28.834
 N681 Y43.107
 N682 G1 X29.334 Y44.43 I=AC(30.834)
 J=AC(43.107)

N683 G1 X29.834 Y45.752 I=AC(27.834)
 J=AC(45.752)
 N684 G1 Y90.166
 N685 X55.166
 N686 Y29.834
 N687 X29.834
 N688 Y45.752
 N689 G1 X30.334 Y47.075 I=AC(31.834)
 J=AC(45.752)
 N690 G1 X30.834 Y48.398 I=AC(28.834)
 J=AC(48.398)
 N691 G1 Y89.166
 N692 X54.166
 N693 Y30.834
 N694 X30.834
 N695 Y48.398
 N696 G1 X31.334 Y49.721 I=AC(32.834)
 J=AC(48.398)
 N697 G1 X31.834 Y51.044 I=AC(29.834)
 J=AC(51.044)
 N698 G1 Y88.166
 N699 X53.166
 N700 Y31.834
 N701 X31.834
 N702 Y51.044
 N703 G1 X32.334 Y52.367 I=AC(33.834)
 J=AC(51.044)
 N704 G1 X32.834 Y53.69 I=AC(30.834)
 J=AC(53.69)
 N705 G1 Y87.166
 N706 X52.166
 N707 Y32.834
 N708 X32.834
 N709 Y53.69
 N710 G1 X33.334 Y55.013 I=AC(34.834)
 J=AC(53.69)
 N711 G1 X33.834 Y56.335 I=AC(31.834)
 J=AC(56.335)
 N712 G1 Y86.166
 N713 X51.166
 N714 Y33.834
 N715 X33.834
 N716 Y56.335
 N717 G1 X34.334 Y57.658 I=AC(35.834)
 J=AC(56.335)
 N718 G1 X34.834 Y58.981 I=AC(32.834)
 J=AC(58.981)
 N719 G1 Y85.166
 N720 X50.166
 N721 Y34.834
 N722 X34.834
 N723 Y58.981
 N724 G1 X35.334 Y60.304 I=AC(36.834)
 J=AC(58.981)
 N725 G1 X35.834 Y61.627 I=AC(33.834)
 J=AC(61.627)
 N726 G1 Y84.166
 N727 X49.166
 N728 Y35.834
 N729 X35.834
 N730 Y61.627
 N731 G1 X36.334 Y62.95 I=AC(37.834)
 J=AC(61.627)
 N732 G1 X36.834 Y64.273 I=AC(34.834)
 J=AC(64.273)
 N733 G1 Y83.166
 N734 X48.166
 N735 Y36.834
 N736 X36.834
 N737 Y64.273
 N738 G1 X37.334 Y65.596 I=AC(38.834)
 J=AC(64.273)
 N739 G1 X37.834 Y66.918 I=AC(35.834)
 J=AC(66.918)
 N740 G1 Y82.166
 N741 X47.166
 N742 Y37.834
 N743 X37.834
 N744 Y66.918
 N745 G1 X38.334 Y68.241 I=AC(39.834)
 J=AC(66.918)
 N746 G1 X38.834 Y69.564 I=AC(36.834)
 J=AC(69.564)
 N747 G1 Y81.166
 N748 X46.166
 N749 Y38.834
 N750 X38.834
 N751 Y69.564
 N752 G1 X39.334 Y70.887 I=AC(40.834)
 J=AC(69.564)
 N753 G1 X39.834 Y72.21 I=AC(37.834)
 J=AC(72.21)
 N754 G1 Y80.166
 N755 X45.166
 N756 Y39.834
 N757 X39.834
 N758 Y72.21
 N759 G1 X40.334 Y73.533 I=AC(41.834)
 J=AC(72.21)
 N760 G1 X40.834 Y74.856 I=AC(38.834)
 J=AC(74.856)

N761 G1 Y79.166
 N762 X44.166
 N763 Y40.834
 N764 X40.834
 N765 Y74.856
 N766 G1 X41.334 Y76.179 I=AC(42.834)
 J=AC(74.856)
 N767 G1 X41.834 Y77.68 I=AC(39.598)
 J=AC(77.591)
 N768 G1 Y78.166
 N769 X43.166
 N770 Y41.834
 N771 X41.834
 N772 Y77.501
 N773 G0 Z2
 N774 X27.485 Y84.764
 N775 Z-7
 N776 G1 X27.285 Y84.564 I=AC(27.485)
 J=AC(84.564)
 N777 G1 Y37.815 Z-3.15
 N778 Y92.715
 N779 X57.715
 N780 Y27.285
 N781 X27.285
 N782 Y37.815
 N783 G1 X27.785 Y39.138 I=AC(29.285)
 J=AC(37.815)
 N784 G1 X28.285 Y40.461 I=AC(26.285)
 J=AC(40.461)
 N785 G1 Y91.715
 N786 X56.715
 N787 Y28.285
 N788 X28.285
 N789 Y40.461
 N790 G1 X28.785 Y41.784 I=AC(30.285)
 J=AC(40.461)
 N791 G1 X29.285 Y43.107 I=AC(27.285)
 J=AC(43.107)
 N792 G1 Y90.715
 N793 X55.715
 N794 Y29.285
 N795 X29.285
 N796 Y43.107
 N797 G1 X29.785 Y44.43 I=AC(31.285)
 J=AC(43.107)
 N798 G1 X30.285 Y45.753 I=AC(28.285)
 J=AC(45.753)
 N799 G1 Y89.715
 N800 X54.715
 N801 Y30.285
 N802 X30.285
 N803 Y45.753
 N804 G1 X30.785 Y47.076 I=AC(32.285)
 J=AC(45.753)
 N805 G1 X31.285 Y48.398 I=AC(29.285)
 J=AC(48.398)
 N806 G1 Y88.715
 N807 X53.715
 N808 Y31.285
 N809 X31.285
 N810 Y48.398
 N811 G1 X31.785 Y49.721 I=AC(33.285)
 J=AC(48.398)
 N812 G1 X32.285 Y51.044 I=AC(30.285)
 J=AC(51.044)
 N813 G1 Y87.715
 N814 X52.715
 N815 Y32.285
 N816 X32.285
 N817 Y51.044
 N818 G1 X32.785 Y52.367 I=AC(34.285)
 J=AC(51.044)
 N819 G1 X33.285 Y53.69 I=AC(31.285)
 J=AC(53.69)
 N820 G1 Y86.715
 N821 X51.715
 N822 Y33.285
 N823 X33.285
 N824 Y53.69
 N825 G1 X33.785 Y55.013 I=AC(35.285)
 J=AC(53.69)
 N826 G1 X34.285 Y56.336 I=AC(32.285)
 J=AC(56.336)
 N827 G1 Y85.715
 N828 X50.715
 N829 Y34.285
 N830 X34.285
 N831 Y56.336
 N832 G1 X34.785 Y57.659 I=AC(36.285)
 J=AC(56.336)
 N833 G1 X35.285 Y58.981 I=AC(33.285)
 J=AC(58.981)
 N834 G1 Y84.715
 N835 X49.715
 N836 Y35.285
 N837 X35.285
 N838 Y58.981
 N839 G1 X35.785 Y60.304 I=AC(37.285)
 J=AC(58.981)
 N840 G1 X36.285 Y61.627 I=AC(34.285)
 J=AC(61.627)

N841 G1 Y83.715
 N842 X48.715
 N843 Y36.285
 N844 X36.285
 N845 Y61.627
 N846 G1 X36.785 Y62.95 I=AC(38.285)
 J=AC(61.627)
 N847 G1 X37.285 Y64.273 I=AC(35.285)
 J=AC(64.273)
 N848 G1 Y82.715
 N849 X47.715
 N850 Y37.285
 N851 X37.285
 N852 Y64.273
 N853 G1 X37.785 Y65.596 I=AC(39.285)
 J=AC(64.273)
 N854 G1 X38.285 Y66.919 I=AC(36.285)
 J=AC(66.919)
 N855 G1 Y81.715
 N856 X46.715
 N857 Y38.285
 N858 X38.285
 N859 Y66.919
 N860 G1 X38.785 Y68.242 I=AC(40.285)
 J=AC(66.919)
 N861 G1 X39.285 Y69.564 I=AC(37.285)
 J=AC(69.564)
 N862 G1 Y80.715
 N863 X45.715
 N864 Y39.285
 N865 X39.285
 N866 Y69.564
 N867 G1 X39.785 Y70.887 I=AC(41.285)
 J=AC(69.564)
 N868 G1 X40.285 Y72.21 I=AC(38.285)
 J=AC(72.21)
 N869 G1 Y79.715
 N870 X44.715
 N871 Y40.285
 N872 X40.285
 N873 Y72.21
 N874 G1 X40.785 Y73.533 I=AC(42.285)
 J=AC(72.21)
 N875 G1 X41.285 Y74.856 I=AC(39.285)
 J=AC(74.856)
 N876 G1 Y78.715
 N877 X43.715
 N878 Y41.285
 N879 X41.285
 N880 Y74.856
 N881 G1 X41.785 Y76.179 I=AC(43.285)
 J=AC(74.856)
 N882 G1 X42.285 Y77.715 I=AC(40.004)
 J=AC(77.608)
 N883 G1 X42.715
 N884 Y42.285
 N885 G0 Z2
 N886 X57.116 Y30.613
 N887 Z-1.15
 N888 G1 X57.316 Y30.813 I=AC(57.116)
 J=AC(30.813)
 N889 G1 Y77.562 Z-3.6
 N890 Y27.684
 N891 X27.684
 N892 Y92.316
 N893 X57.316
 N894 Y77.562
 N895 G1 X56.816 Y76.239 I=AC(55.316)
 J=AC(77.562)
 N896 G1 X56.316 Y74.916 I=AC(58.316)
 J=AC(74.916)
 N897 G1 Y28.684
 N898 X28.684
 N899 Y91.316
 N900 X56.316
 N901 Y74.916
 N902 G1 X55.816 Y73.593 I=AC(54.316)
 J=AC(74.916)
 N903 G1 X55.316 Y72.27 I=AC(57.316)
 J=AC(72.27)
 N904 G1 Y29.684
 N905 X29.684
 N906 Y90.316
 N907 X55.316
 N908 Y72.27
 N909 G1 X54.816 Y70.947 I=AC(53.316)
 J=AC(72.27)
 N910 G1 X54.316 Y69.624 I=AC(56.316)
 J=AC(69.624)
 N911 G1 Y30.684
 N912 X30.684
 N913 Y89.316
 N914 X54.316
 N915 Y69.624
 N916 G1 X53.816 Y68.301 I=AC(52.316)
 J=AC(69.624)
 N917 G1 X53.316 Y66.979 I=AC(55.316)
 J=AC(66.979)
 N918 G1 Y31.684
 N919 X31.684
 N920 Y88.316

N921 X53.316
 N922 Y66.979
 N923 G1 X52.816 Y65.656 I=AC(51.316)
 J=AC(66.979)
 N924 G1 X52.316 Y64.333 I=AC(54.316)
 J=AC(64.333)
 N925 G1 Y32.684
 N926 X32.684
 N927 Y87.316
 N928 X52.316
 N929 Y64.333
 N930 G1 X51.816 Y63.01 I=AC(50.316)
 J=AC(64.333)
 N931 G1 X51.316 Y61.687 I=AC(53.316)
 J=AC(61.687)
 N932 G1 Y33.684
 N933 X33.684
 N934 Y86.316
 N935 X51.316
 N936 Y61.687
 N937 G1 X50.816 Y60.364 I=AC(49.316)
 J=AC(61.687)
 N938 G1 X50.316 Y59.041 I=AC(52.316)
 J=AC(59.041)
 N939 G1 Y34.684
 N940 X34.684
 N941 Y85.316
 N942 X50.316
 N943 Y59.041
 N944 G1 X49.816 Y57.718 I=AC(48.316)
 J=AC(59.041)
 N945 G1 X49.316 Y56.396 I=AC(51.316)
 J=AC(56.396)
 N946 G1 Y35.684
 N947 X35.684
 N948 Y84.316
 N949 X49.316
 N950 Y56.396
 N951 G1 X48.816 Y55.073 I=AC(47.316)
 J=AC(56.396)
 N952 G1 X48.316 Y53.75 I=AC(50.316)
 J=AC(53.75)
 N953 G1 Y36.684
 N954 X36.684
 N955 Y83.316
 N956 X48.316
 N957 Y53.75
 N958 G1 X47.816 Y52.427 I=AC(46.316)
 J=AC(53.75)
 N959 G1 X47.316 Y51.104 I=AC(49.316)
 J=AC(51.104)
 N960 G1 Y37.684
 N961 X37.684
 N962 Y82.316
 N963 X47.316
 N964 Y51.104
 N965 G1 X46.816 Y49.781 I=AC(45.316)
 J=AC(51.104)
 N966 G1 X46.316 Y48.458 I=AC(48.316)
 J=AC(48.458)
 N967 G1 Y38.684
 N968 X38.684
 N969 Y81.316
 N970 X46.316
 N971 Y48.458
 N972 G1 X45.816 Y47.135 I=AC(44.316)
 J=AC(48.458)
 N973 G1 X45.316 Y45.813 I=AC(47.316)
 J=AC(45.813)
 N974 G1 Y39.684
 N975 X39.684
 N976 Y80.316
 N977 X45.316
 N978 Y45.813
 N979 G1 X44.816 Y44.49 I=AC(43.316)
 J=AC(45.813)
 N980 G1 X44.316 Y43.167 I=AC(46.316)
 J=AC(43.167)
 N981 G1 Y40.684
 N982 X40.684
 N983 Y79.316
 N984 X44.316
 N985 Y43.167
 N986 G1 X42.657 Y41.675 I=AC(42.816)
 J=AC(43.167)
 N987 G1 X41.684 Y41.684
 N988 Y78.316
 N989 X43.316
 N990 Y41.684
 N991 G0 Z2
 N992 X56.763 Y30.429
 N993 Z-1.6
 N994 G1 X56.963 Y30.629 I=AC(56.763)
 J=AC(30.629)
 N995 G1 Y77.378 Z-4.05
 N996 Y28.037
 N997 X28.037
 N998 Y91.963
 N999 X56.963
 N1000 Y77.378

N1001 G1 X56.463 Y76.055 I=AC(54.963)
 J=AC(77.378)
 N1002 G1 X55.963 Y74.732 I=AC(57.963)
 J=AC(74.732)
 N1003 G1 Y29.037
 N1004 X29.037
 N1005 Y90.963
 N1006 X55.963
 N1007 Y74.732
 N1008 G1 X55.463 Y73.41 I=AC(53.963)
 J=AC(74.732)
 N1009 G1 X54.963 Y72.087 I=AC(56.963)
 J=AC(72.087)
 N1010 G1 Y30.037
 N1011 X30.037
 N1012 Y89.963
 N1013 X54.963
 N1014 Y72.087
 N1015 G1 X54.463 Y70.764 I=AC(52.963)
 J=AC(72.087)
 N1016 G1 X53.963 Y69.441 I=AC(55.963)
 J=AC(69.441)
 N1017 G1 Y31.037
 N1018 X31.037
 N1019 Y88.963
 N1020 X53.963
 N1021 Y69.441
 N1022 G1 X53.463 Y68.118 I=AC(51.963)
 J=AC(69.441)
 N1023 G1 X52.963 Y66.795 I=AC(54.963)
 J=AC(66.795)
 N1024 G1 Y32.037
 N1025 X32.037
 N1026 Y87.963
 N1027 X52.963
 N1028 Y66.795
 N1029 G1 X52.463 Y65.472 I=AC(50.963)
 J=AC(66.795)
 N1030 G1 X51.963 Y64.149 I=AC(53.963)
 J=AC(64.149)
 N1031 G1 Y33.037
 N1032 X33.037
 N1033 Y86.963
 N1034 X51.963
 N1035 Y64.149
 N1036 G1 X51.463 Y62.827 I=AC(49.963)
 J=AC(64.149)
 N1037 G1 X50.963 Y61.504 I=AC(52.963)
 J=AC(61.504)
 N1038 G1 Y34.037
 N1039 X34.037
 N1040 Y85.963
 N1041 X50.963
 N1042 Y61.504
 N1043 G1 X50.463 Y60.181 I=AC(48.963)
 J=AC(61.504)
 N1044 G1 X49.963 Y58.858 I=AC(51.963)
 J=AC(58.858)
 N1045 G1 Y35.037
 N1046 X35.037
 N1047 Y84.963
 N1048 X49.963
 N1049 Y58.858
 N1050 G1 X49.463 Y57.535 I=AC(47.963)
 J=AC(58.858)
 N1051 G1 X48.963 Y56.212 I=AC(50.963)
 J=AC(56.212)
 N1052 G1 Y36.037
 N1053 X36.037
 N1054 Y83.963
 N1055 X48.963
 N1056 Y56.212
 N1057 G1 X48.463 Y54.889 I=AC(46.963)
 J=AC(56.212)
 N1058 G1 X47.963 Y53.566 I=AC(49.963)
 J=AC(53.566)
 N1059 G1 Y37.037
 N1060 X37.037
 N1061 Y82.963
 N1062 X47.963
 N1063 Y53.566
 N1064 G1 X47.463 Y52.244 I=AC(45.963)
 J=AC(53.566)
 N1065 G1 X46.963 Y50.921 I=AC(48.963)
 J=AC(50.921)
 N1066 G1 Y38.037
 N1067 X38.037
 N1068 Y81.963
 N1069 X46.963
 N1070 Y50.921
 N1071 G1 X46.463 Y49.598 I=AC(44.963)
 J=AC(50.921)
 N1072 G1 X45.963 Y48.275 I=AC(47.963)
 J=AC(48.275)
 N1073 G1 Y39.037
 N1074 X39.037
 N1075 Y80.963
 N1076 X45.963
 N1077 Y48.275
 N1078 G1 X45.463 Y46.952 I=AC(43.963)
 J=AC(48.275)

N1079 G1 X44.963 Y45.629 I=AC(46.963)
 J=AC(45.629)
 N1080 G1 Y40.037
 N1081 X40.037
 N1082 Y79.963
 N1083 X44.963
 N1084 Y45.629
 N1085 G1 X44.463 Y44.306 I=AC(42.963)
 J=AC(45.629)
 N1086 G1 X43.963 Y42.983 I=AC(45.963)
 J=AC(42.983)
 N1087 G1 Y41.037
 N1088 X41.037
 N1089 Y78.963
 N1090 X43.963
 N1091 Y42.983
 N1092 G1 X42.732 Y42.01 I=AC(42.963)
 J=AC(42.983)
 N1093 G1 X42.037 Y42.037
 N1094 Y77.963
 N1095 G0 Z2
 N1096 X28.552 Y87.41
 N1097 Z-2.05
 N1098 G1 X28.352 Y87.21 I=AC(28.552)
 J=AC(87.21)
 N1099 G1 Y40.461 Z-4.5
 N1100 Y91.648
 N1101 X56.648
 N1102 Y28.352
 N1103 X28.352
 N1104 Y40.461
 N1105 G1 X28.852 Y41.784 I=AC(30.352)
 J=AC(40.461)
 N1106 G1 X29.352 Y43.107 I=AC(27.352)
 J=AC(43.107)
 N1107 G1 Y90.648
 N1108 X55.648
 N1109 Y29.352
 N1110 X29.352
 N1111 Y43.107
 N1112 G1 X29.852 Y44.43 I=AC(31.352)
 J=AC(43.107)
 N1113 G1 X30.352 Y45.753 I=AC(28.352)
 J=AC(45.753)
 N1114 G1 Y89.648
 N1115 X54.648
 N1116 Y30.352
 N1117 X30.352
 N1118 Y45.753
 N1119 G1 X30.852 Y47.076 I=AC(32.352)
 J=AC(45.753)
 N1120 G1 X31.352 Y48.399 I=AC(29.352)
 J=AC(48.399)
 N1121 G1 Y88.648
 N1122 X53.648
 N1123 Y31.352
 N1124 X31.352
 N1125 Y48.399
 N1126 G1 X31.852 Y49.721 I=AC(33.352)
 J=AC(48.399)
 N1127 G1 X32.352 Y51.044 I=AC(30.352)
 J=AC(51.044)
 N1128 G1 Y87.648
 N1129 X52.648
 N1130 Y32.352
 N1131 X32.352
 N1132 Y51.044
 N1133 G1 X32.852 Y52.367 I=AC(34.352)
 J=AC(51.044)
 N1134 G1 X33.352 Y53.69 I=AC(31.352)
 J=AC(53.69)
 N1135 G1 Y86.648
 N1136 X51.648
 N1137 Y33.352
 N1138 X33.352
 N1139 Y53.69
 N1140 G1 X33.852 Y55.013 I=AC(35.352)
 J=AC(53.69)
 N1141 G1 X34.352 Y56.336 I=AC(32.352)
 J=AC(56.336)
 N1142 G1 Y85.648
 N1143 X50.648
 N1144 Y34.352
 N1145 X34.352
 N1146 Y56.336
 N1147 G1 X34.852 Y57.659 I=AC(36.352)
 J=AC(56.336)
 N1148 G1 X35.352 Y58.982 I=AC(33.352)
 J=AC(58.982)
 N1149 G1 Y84.648
 N1150 X49.648
 N1151 Y35.352
 N1152 X35.352
 N1153 Y58.982
 N1154 G1 X35.852 Y60.304 I=AC(37.352)
 J=AC(58.982)
 N1155 G1 X36.352 Y61.627 I=AC(34.352)
 J=AC(61.627)
 N1156 G1 Y83.648
 N1157 X48.648
 N1158 Y36.352

N1159 X36.352
 N1160 Y61.627
 N1161 G1 X36.852 Y62.95 I=AC(38.352)
 J=AC(61.627)
 N1162 G1 X37.352 Y64.273 I=AC(35.352)
 J=AC(64.273)
 N1163 G1 Y82.648
 N1164 X47.648
 N1165 Y37.352
 N1166 X37.352
 N1167 Y64.273
 N1168 G1 X37.852 Y65.596 I=AC(39.352)
 J=AC(64.273)
 N1169 G1 X38.352 Y66.919 I=AC(36.352)
 J=AC(66.919)
 N1170 G1 Y81.648
 N1171 X46.648
 N1172 Y38.352
 N1173 X38.352
 N1174 Y66.919
 N1175 G1 X38.852 Y68.242 I=AC(40.352)
 J=AC(66.919)
 N1176 G1 X39.352 Y69.565 I=AC(37.352)
 J=AC(69.565)
 N1177 G1 Y80.648
 N1178 X45.648
 N1179 Y39.352
 N1180 X39.352
 N1181 Y69.565
 N1182 G1 X39.852 Y70.888 I=AC(41.352)
 J=AC(69.565)
 N1183 G1 X40.352 Y72.21 I=AC(38.352)
 J=AC(72.21)
 N1184 G1 Y79.648
 N1185 X44.648
 N1186 Y40.352
 N1187 X40.352
 N1188 Y72.21
 N1189 G1 X40.852 Y73.533 I=AC(42.352)
 J=AC(72.21)
 N1190 G1 X41.352 Y74.856 I=AC(39.352)
 J=AC(74.856)
 N1191 G1 Y78.648
 N1192 X43.648
 N1193 Y41.352
 N1194 X41.352
 N1195 Y74.856
 N1196 G1 X41.852 Y76.179 I=AC(43.352)
 J=AC(74.856)
 N1197 G1 X42.352 Y77.648 I=AC(40.158)
 J=AC(77.575)
 N1198 G1 X42.648
 N1199 Y42.352
 N1200 G0 Z2
 N1201 X55.646 Y28.831
 N1202 Z-2.5
 N1203 G1 X55.846 Y28.631 I=AC(55.846)
 J=AC(28.831)
 N1204 G1 X56.369 Z-2.527
 N1205 Y74.857 Z-4.95
 N1206 Y28.631
 N1207 X28.631
 N1208 Y91.369
 N1209 X56.369
 N1210 Y74.857
 N1211 G1 X55.869 Y73.534 I=AC(54.369)
 J=AC(74.857)
 N1212 G1 X55.369 Y72.212 I=AC(57.369)
 J=AC(72.212)
 N1213 G1 Y29.631
 N1214 X29.631
 N1215 Y90.369
 N1216 X55.369
 N1217 Y72.212
 N1218 G1 X54.869 Y70.889 I=AC(53.369)
 J=AC(72.212)
 N1219 G1 X54.369 Y69.566 I=AC(56.369)
 J=AC(69.566)
 N1220 G1 Y30.631
 N1221 X30.631
 N1222 Y89.369
 N1223 X54.369
 N1224 Y69.566
 N1225 G1 X53.869 Y68.243 I=AC(52.369)
 J=AC(69.566)
 N1226 G1 X53.369 Y66.92 I=AC(55.369)
 J=AC(66.92)
 N1227 G1 Y31.631
 N1228 X31.631
 N1229 Y88.369
 N1230 X53.369
 N1231 Y66.92
 N1232 G1 X52.869 Y65.597 I=AC(51.369)
 J=AC(66.92)
 N1233 G1 X52.369 Y64.274 I=AC(54.369)
 J=AC(64.274)
 N1234 G1 Y32.631
 N1235 X32.631
 N1236 Y87.369
 N1237 X52.369
 N1238 Y64.274
 N1239 G1 X51.869 Y62.951 I=AC(50.369)
 J=AC(64.274)
 N1240 G1 X51.369 Y61.628 I=AC(53.369)
 J=AC(61.628)
 N1241 G1 Y33.631
 N1242 X33.631
 N1243 Y86.369
 N1244 X51.369
 N1245 Y61.628
 N1246 G1 X50.869 Y60.306 I=AC(49.369)
 J=AC(61.628)
 N1247 G1 X50.369 Y58.983 I=AC(52.369)
 J=AC(58.983)
 N1248 G1 Y34.631
 N1249 X34.631
 N1250 Y85.369
 N1251 X50.369
 N1252 Y58.983
 N1253 G1 X49.869 Y57.66 I=AC(48.369)
 J=AC(58.983)
 N1254 G1 X49.369 Y56.337 I=AC(51.369)
 J=AC(56.337)
 N1255 G1 Y35.631
 N1256 X35.631
 N1257 Y84.369
 N1258 X49.369
 N1259 Y56.337
 N1260 G1 X48.869 Y55.014 I=AC(47.369)
 J=AC(56.337)
 N1261 G1 X48.369 Y53.691 I=AC(50.369)
 J=AC(53.691)
 N1262 G1 Y36.631
 N1263 X36.631
 N1264 Y83.369
 N1265 X48.369
 N1266 Y53.691
 N1267 G1 X47.869 Y52.368 I=AC(46.369)
 J=AC(53.691)
 N1268 G1 X47.369 Y51.045 I=AC(49.369)
 J=AC(51.045)
 N1269 G1 Y37.631
 N1270 X37.631
 N1271 Y82.369
 N1272 X47.369
 N1273 Y51.045
 N1274 G1 X46.869 Y49.723 I=AC(45.369)
 J=AC(51.045)
 N1275 G1 X46.369 Y48.4 I=AC(48.369)
 J=AC(48.4)
 N1276 G1 Y38.631
 N1277 X38.631
 N1278 Y81.369
 N1279 X46.369
 N1280 Y48.4
 N1281 G1 X45.869 Y47.077 I=AC(44.369)
 J=AC(48.4)
 N1282 G1 X45.369 Y45.754 I=AC(47.369)
 J=AC(45.754)
 N1283 G1 Y39.631
 N1284 X39.631
 N1285 Y80.369
 N1286 X45.369
 N1287 Y45.754
 N1288 G1 X44.869 Y44.431 I=AC(43.369)
 J=AC(45.754)
 N1289 G1 X44.369 Y43.108 I=AC(46.369)
 J=AC(43.108)
 N1290 G1 Y40.631
 N1291 X40.631
 N1292 Y79.369
 N1293 X44.369
 N1294 Y43.108
 N1295 G1 X42.684 Y41.62 I=AC(42.869)
 J=AC(43.108)
 N1296 G1 X41.631 Y41.631
 N1297 Y78.369
 N1298 X43.369
 N1299 Y41.631
 N1300 G0 Z22
 N1301 Z22
 N1302 G0 G53 Z-110 D0
 N1303 M5
 N1304 G0 G53 X-280 Y0
 N1305 M30

CONDIÇÃO 2: Interpolação linear e tolerância igual a 0,05 mm.

```
%_N_1_P_TUB_MPF
;$ PATH=/_N_MPF_DIRLINEAR CAPINHA
N1 G64 G40 G90 G17
;BALL NOSE MILL FR_HEMI-020010-SA50
N2 D0
N3 T6
N4 M6
N5 S3183 M3
N6 G64 F954.93 CFTCP
N7 G54 D1
N8 G0 X61.834 Y40.494
N9 Z22 M9
N10 Z2
N11 G1 X62.034 Y40.694 I=AC(61.834)
J=AC(40.694)
N12 G1 Y87.443 Z-.45
N13 Y25.194
N14 X61.94 Y24.481
N15 G1 X60.52 Y23.06 I=AC(60) J=AC(25)
N16 G1 X59.806 Y22.966
N17 X25.194
N18 X24.48 Y23.06
N19 G1 X23.06 Y24.48 I=AC(25) J=AC(25)
N20 G1 X22.966 Y25.194
N21 Y97.033
N22 X62.033 Y97.034
N23 X62.034 Y87.443
N24 G1 X61.534 Y86.12 I=AC(60.034)
J=AC(87.443)
N25 G1 X61.034 Y84.797 I=AC(63.034)
J=AC(84.797)
N26 G1 Y25.26
N27 X60.959 Y24.687
N28 G1 X60.313 Y24.041 I=AC(60)
J=AC(25)
N29 G1 X59.74 Y23.966
N30 X25.26
N31 X24.687 Y24.041
N32 G1 X24.042 Y24.687 I=AC(25)
J=AC(25)
N33 G1 X23.966 Y25.259
N34 Y96.033
N35 X61.033 Y96.034
N36 X61.034 Y84.797
N37 G1 X60.534 Y83.475 I=AC(59.034)
J=AC(84.797)
N38 G1 X60.034 Y82.152 I=AC(62.034)
J=AC(82.152)
N39 G1 Y25.325
N40 X59.992 Y25.008
N41 X59.675 Y24.966
N42 X25.325
N43 X25.008 Y25.008
N44 X24.966 Y25.325
N45 Y95.033
N46 X60.033 Y95.034
N47 X60.034 Y82.152
N48 G1 X59.534 Y80.829 I=AC(58.034)
J=AC(82.152)
N49 G1 X59.034 Y79.506 I=AC(61.034)
J=AC(79.506)
N50 G1 Y25.966
N51 X25.966
N52 Y94.033
N53 X59.033 Y94.034
N54 X59.034 Y79.506
N55 G1 X58.534 Y78.183 I=AC(57.034)
J=AC(79.506)
N56 G1 X58.034 Y76.86 I=AC(60.034)
J=AC(76.86)
N57 G1 Y26.966
N58 X26.966
N59 Y93.033
N60 X58.034 Y93.034
N61 Y76.86
N62 G1 X57.534 Y75.537 I=AC(56.034)
J=AC(76.86)
N63 G1 X57.034 Y74.214 I=AC(59.034)
J=AC(74.214)
N64 G1 Y27.966
N65 X27.966
N66 Y92.033
N67 X57.034 Y92.034
N68 Y74.214
N69 G1 X56.534 Y72.892 I=AC(55.034)
J=AC(74.214)
N70 G1 X56.034 Y71.569 I=AC(58.034)
J=AC(71.569)
N71 G1 Y28.966
N72 X28.966
N73 Y91.033
N74 X56.034 Y91.034
N75 Y71.569
N76 G1 X55.534 Y70.246 I=AC(54.034)
J=AC(71.569)
N77 G1 X55.034 Y68.923 I=AC(57.034)
J=AC(68.923)
N78 G1 Y29.966
N79 X29.966
N80 Y90.033
N81 X55.034 Y90.034
N82 Y68.923
N83 G1 X54.534 Y67.6 I=AC(53.034)
J=AC(68.923)
N84 G1 X54.034 Y66.277 I=AC(56.034)
J=AC(66.277)
N85 G1 Y30.966
N86 X30.966
N87 Y89.033
N88 X54.034 Y89.034
N89 Y66.277
N90 G1 X53.534 Y64.954 I=AC(52.034)
J=AC(66.277)
N91 G1 X53.034 Y63.631 I=AC(55.034)
J=AC(63.631)
N92 G1 Y31.966
N93 X31.966
N94 Y88.033
N95 X53.034 Y88.034
N96 Y63.631
N97 G1 X52.534 Y62.308 I=AC(51.034)
J=AC(63.631)
N98 G1 X52.034 Y60.986 I=AC(54.034)
J=AC(60.986)
N99 G1 Y32.966
N100 X32.966
N101 Y87.033
N102 X52.034 Y87.034
N103 Y60.986
N104 G1 X51.534 Y59.663 I=AC(50.034)
J=AC(60.986)
N105 G1 X51.034 Y58.34 I=AC(53.034)
J=AC(58.34)
N106 G1 Y33.966
N107 X33.966
N108 Y86.033
N109 X51.034 Y86.034
N110 Y58.34
N111 G1 X50.534 Y57.017 I=AC(49.034)
J=AC(58.34)
N112 G1 X50.034 Y55.694 I=AC(52.034)
J=AC(55.694)
N113 G1 Y34.966
N114 X34.966
N115 Y85.033
N116 X50.034 Y85.034
N117 Y55.694
N118 G1 X49.534 Y54.371 I=AC(48.034)
J=AC(55.694)
N119 G1 X49.034 Y53.048 I=AC(51.034)
J=AC(53.048)
N120 G1 Y35.966
N121 X35.966
N122 Y84.033
N123 X49.034 Y84.034
N124 Y53.048
N125 G1 X48.534 Y51.725 I=AC(47.034)
J=AC(53.048)
N126 G1 X48.034 Y50.403 I=AC(50.034)
J=AC(50.403)
N127 G1 Y36.966
N128 X36.966
N129 Y83.033
N130 X48.034 Y83.034
N131 Y50.403
N132 G1 X47.534 Y49.08 I=AC(46.034)
J=AC(50.403)
N133 G1 X47.034 Y47.757 I=AC(49.034)
J=AC(47.757)
N134 G1 Y37.966
N135 X37.966
N136 Y82.033
N137 X47.034 Y82.034
N138 Y47.757
N139 G1 X46.534 Y46.434 I=AC(45.034)
J=AC(47.757)
N140 G1 X46.034 Y45.111 I=AC(48.034)
J=AC(45.111)
N141 G1 Y38.966
N142 X38.966
N143 Y81.033
N144 X46.034 Y81.034
N145 Y45.111
N146 G1 X45.534 Y43.788 I=AC(44.034)
J=AC(45.111)
N147 G1 X45.034 Y42.465 I=AC(47.034)
J=AC(42.465)
N148 G1 Y39.966
N149 X39.966
N150 Y80.033
N151 X45.034 Y80.034
N152 Y42.465
N153 G1 X43.5 Y40.966 I=AC(43.534)
J=AC(42.465)
N154 G1 X40.966
N155 Y79.034
N156 X44.034
N157 Y40.966
N158 X43.466
N159 G1 X41.966 Y42.483 I=AC(43.466)
J=AC(42.466)
N160 G1 Y78.034
N161 X43.034
N162 Y41.966
N163 G0 Z3.55
N164 X60.654 Y41.144
N165 Z1.55
N166 G1 X60.854 Y41.344 I=AC(60.654)
J=AC(41.344)
N167 G1 Y88.092 Z-.9
N168 Y25.272
N169 X60.79 Y24.788
N170 G1 X60.409 Y24.291 I=AC(60)
J=AC(25)
N171 G1 X59.729 Y24.146 I=AC(59.797)
J=AC(25.49)
N172 G1 X25.271
N173 X24.789 Y24.21
N174 G1 X24.292 Y24.591 I=AC(25)
J=AC(25)
N175 G1 X24.146 Y25.272 I=AC(25.488)
J=AC(25.203)
N176 G1 Y95.853
N177 X60.854 Y95.854
N178 Y88.092
N179 G1 X60.354 Y86.77 I=AC(58.854)
J=AC(88.092)
N180 G1 X59.854 Y85.447 I=AC(61.854)
J=AC(85.447)
N181 G1 X59.829 Y25.146
N182 X25.146 Y25.171
N183 Y94.853
N184 X59.854 Y94.854
N185 Y85.447
N186 G1 X59.354 Y84.124 I=AC(57.854)
J=AC(85.447)
N187 G1 X58.854 Y82.801 I=AC(60.854)
J=AC(82.801)
N188 G1 Y26.146
N189 X26.146
N190 Y93.853
N191 X58.854 Y93.854
N192 Y82.801
N193 G1 X58.354 Y81.478 I=AC(56.854)
J=AC(82.801)
N194 G1 X57.854 Y80.155 I=AC(59.854)
J=AC(80.155)
N195 G1 Y27.146
N196 X27.146
N197 Y92.853
N198 X57.854 Y92.854
N199 Y80.155
N200 G1 X57.354 Y78.832 I=AC(55.854)
J=AC(80.155)
N201 G1 X56.854 Y77.509 I=AC(58.854)
J=AC(77.509)
N202 G1 Y28.146
N203 X28.146
N204 Y91.853
N205 X56.854 Y91.854
N206 Y77.509
N207 G1 X56.354 Y76.187 I=AC(54.854)
J=AC(77.509)
N208 G1 X55.854 Y74.864 I=AC(57.854)
J=AC(74.864)
N209 G1 Y29.146
N210 X29.146
N211 Y90.853
N212 X55.854 Y90.854
N213 Y74.864
N214 G1 X55.354 Y73.541 I=AC(53.854)
J=AC(74.864)
N215 G1 X54.854 Y72.218 I=AC(56.854)
J=AC(72.218)
N216 G1 Y30.146
N217 X30.146
N218 Y89.853
N219 X54.854 Y89.854
N220 Y72.218
N221 G1 X54.354 Y70.895 I=AC(52.854)
J=AC(72.218)
N222 G1 X53.854 Y69.572 I=AC(55.854)
J=AC(69.572)
N223 G1 Y31.146
N224 X31.146
```

N225 Y88.853
 N226 X53.854 Y88.854
 N227 Y69.572
 N228 G1 X53.354 Y68.249 I=AC(51.854)
 J=AC(69.572)
 N229 G1 X52.854 Y66.926 I=AC(54.854)
 J=AC(66.926)
 N230 G1 Y32.146
 N231 X32.146
 N232 Y87.853
 N233 X52.854 Y87.854
 N234 Y66.926
 N235 G1 X52.354 Y65.604 I=AC(50.854)
 J=AC(66.926)
 N236 G1 X51.854 Y64.281 I=AC(53.854)
 J=AC(64.281)
 N237 G1 Y33.146
 N238 X33.146
 N239 Y86.854
 N240 X51.854
 N241 Y64.281
 N242 G1 X51.354 Y62.958 I=AC(49.854)
 J=AC(64.281)
 N243 G1 X50.854 Y61.635 I=AC(52.854)
 J=AC(61.635)
 N244 G1 Y34.146
 N245 X34.146
 N246 Y85.854
 N247 X50.854
 N248 Y61.635
 N249 G1 X50.354 Y60.312 I=AC(48.854)
 J=AC(61.635)
 N250 G1 X49.854 Y58.989 I=AC(51.854)
 J=AC(58.989)
 N251 G1 Y35.146
 N252 X35.146
 N253 Y84.854
 N254 X49.854
 N255 Y58.989
 N256 G1 X49.354 Y57.666 I=AC(47.854)
 J=AC(58.989)
 N257 G1 X48.854 Y56.343 I=AC(50.854)
 J=AC(56.343)
 N258 G1 Y36.146
 N259 X36.146
 N260 Y83.854
 N261 X48.854
 N262 Y56.343
 N263 G1 X48.354 Y55.021 I=AC(46.854)
 J=AC(56.343)
 N264 G1 X47.854 Y53.698 I=AC(49.854)
 J=AC(53.698)
 N265 G1 Y37.146
 N266 X37.146
 N267 Y82.854
 N268 X47.854
 N269 Y53.698
 N270 G1 X47.354 Y52.375 I=AC(45.854)
 J=AC(53.698)
 N271 G1 X46.854 Y51.052 I=AC(48.854)
 J=AC(51.052)
 N272 G1 Y38.146
 N273 X38.146
 N274 Y81.854
 N275 X46.854
 N276 Y51.052
 N277 G1 X46.354 Y49.729 I=AC(44.854)
 J=AC(51.052)
 N278 G1 X45.854 Y48.406 I=AC(47.854)
 J=AC(48.406)
 N279 G1 Y39.146
 N280 X39.146
 N281 Y80.854
 N282 X45.854
 N283 Y48.406
 N284 G1 X45.354 Y47.083 I=AC(43.854)
 J=AC(48.406)
 N285 G1 X44.854 Y45.76 I=AC(46.854)
 J=AC(45.76)
 N286 G1 Y40.146
 N287 X40.146
 N288 Y79.854
 N289 X44.854
 N290 Y45.76
 N291 G1 X44.354 Y44.437 I=AC(42.854)
 J=AC(45.76)
 N292 G1 X43.854 Y43.115 I=AC(45.854)
 J=AC(43.115)
 N293 G1 Y41.146
 N294 X41.146
 N295 Y78.854
 N296 X43.854
 N297 Y43.115
 N298 G1 X42.677 Y42.13 I=AC(42.854)
 J=AC(43.115)
 N299 G1 X42.146 Y42.146
 N300 Y77.854
 N301 G0 Z3.1
 N302 X25.218 Y79.472
 N303 Z1.1

N304 G1 X25.018 Y79.272 I=AC(25.218)
 J=AC(79.272)
 N305 G1 Y32.524 Z-1.35
 N306 Y94.981
 N307 X59.982 Y94.982
 N308 Y25.329
 N309 X59.946 Y25.054
 N310 X59.673 Y25.018
 N311 X25.329
 N312 X25.054 Y25.054
 N313 X25.018 Y25.329
 N314 Y32.524
 N315 G1 X25.518 Y33.847 I=AC(27.018)
 J=AC(32.524)
 N316 G1 X26.018 Y35.169 I=AC(24.018)
 J=AC(35.169)
 N317 G1 Y93.981
 N318 X58.982 Y93.982
 N319 Y26.018
 N320 X26.018
 N321 Y35.169
 N322 G1 X26.518 Y36.492 I=AC(28.018)
 J=AC(35.169)
 N323 G1 X27.018 Y37.815 I=AC(25.018)
 J=AC(37.815)
 N324 G1 Y92.982
 N325 X57.982
 N326 Y27.018
 N327 X27.018
 N328 Y37.815
 N329 G1 X27.518 Y39.138 I=AC(29.018)
 J=AC(37.815)
 N330 G1 X28.018 Y40.461 I=AC(26.018)
 J=AC(40.461)
 N331 G1 Y91.982
 N332 X56.982
 N333 Y28.018
 N334 X28.018
 N335 Y40.461
 N336 G1 X28.518 Y41.784 I=AC(30.018)
 J=AC(40.461)
 N337 G1 X29.018 Y43.107 I=AC(27.018)
 J=AC(43.107)
 N338 G1 Y90.982
 N339 X55.982
 N340 Y29.018
 N341 X29.018
 N342 Y43.107
 N343 G1 X29.518 Y44.43 I=AC(31.018)
 J=AC(43.107)
 N344 G1 X30.018 Y45.752 I=AC(28.018)
 J=AC(45.752)
 N345 G1 Y89.982
 N346 X54.982
 N347 Y30.018
 N348 X30.018
 N349 Y45.752
 N350 G1 X30.518 Y47.075 I=AC(32.018)
 J=AC(45.752)
 N351 G1 X31.018 Y48.398 I=AC(29.018)
 J=AC(48.398)
 N352 G1 Y88.982
 N353 X53.982
 N354 Y31.018
 N355 X31.018
 N356 Y48.398
 N357 G1 X31.518 Y49.721 I=AC(33.018)
 J=AC(48.398)
 N358 G1 X32.018 Y51.044 I=AC(30.018)
 J=AC(51.044)
 N359 G1 Y87.982
 N360 X52.982
 N361 Y32.018
 N362 X32.018
 N363 Y51.044
 N364 G1 X32.518 Y52.367 I=AC(34.018)
 J=AC(51.044)
 N365 G1 X33.018 Y53.69 I=AC(31.018)
 J=AC(53.69)
 N366 G1 Y86.982
 N367 X51.982
 N368 Y33.018
 N369 X33.018
 N370 Y53.69
 N371 G1 X33.518 Y55.013 I=AC(35.018)
 J=AC(53.69)
 N372 G1 X34.018 Y56.335 I=AC(32.018)
 J=AC(56.335)
 N373 G1 Y85.982
 N374 X50.982
 N375 Y34.018
 N376 X34.018
 N377 Y56.335
 N378 G1 X34.518 Y57.658 I=AC(36.018)
 J=AC(56.335)
 N379 G1 X35.018 Y58.981 I=AC(33.018)
 J=AC(58.981)
 N380 G1 Y84.982
 N381 X49.982
 N382 Y35.018
 N383 X35.018

N384 Y58.981
 N385 G1 X35.518 Y60.304 I=AC(37.018)
 J=AC(58.981)
 N386 G1 X36.018 Y61.627 I=AC(34.018)
 J=AC(61.627)
 N387 G1 Y83.982
 N388 X48.982
 N389 Y36.018
 N390 X36.018
 N391 Y61.627
 N392 G1 X36.518 Y62.95 I=AC(38.018)
 J=AC(61.627)
 N393 G1 X37.018 Y64.273 I=AC(35.018)
 J=AC(64.273)
 N394 G1 Y82.982
 N395 X47.982
 N396 Y37.018
 N397 X37.018
 N398 Y64.273
 N399 G1 X37.518 Y65.596 I=AC(39.018)
 J=AC(64.273)
 N400 G1 X38.018 Y66.918 I=AC(36.018)
 J=AC(66.918)
 N401 G1 Y81.982
 N402 X46.982
 N403 Y38.018
 N404 X38.018
 N405 Y66.918
 N406 G1 X38.518 Y68.241 I=AC(40.018)
 J=AC(66.918)
 N407 G1 X39.018 Y69.564 I=AC(37.018)
 J=AC(69.564)
 N408 G1 Y80.982
 N409 X45.982
 N410 Y39.018
 N411 X39.018
 N412 Y69.564
 N413 G1 X39.518 Y70.887 I=AC(41.018)
 J=AC(69.564)
 N414 G1 X40.018 Y72.21 I=AC(38.018)
 J=AC(72.21)
 N415 G1 Y79.982
 N416 X44.982
 N417 Y40.018
 N418 X40.018
 N419 Y72.21
 N420 G1 X40.518 Y73.533 I=AC(42.018)
 J=AC(72.21)
 N421 G1 X41.018 Y74.856 I=AC(39.018)
 J=AC(74.856)
 N422 G1 Y78.982
 N423 X43.982
 N424 Y41.018
 N425 X41.018
 N426 Y74.856
 N427 G1 X41.518 Y76.179 I=AC(43.018)
 J=AC(74.856)
 N428 G1 X42.018 Y77.982 I=AC(39.382)
 J=AC(77.742)
 N429 G1 X42.982
 N430 Y42.018
 N431 G0 Z2.65
 N432 X59.076 Y35.948
 N433 Z.65
 N434 G1 X59.276 Y36.148 I=AC(59.076)
 J=AC(36.148)
 N435 G1 Y82.897 Z-1.8
 N436 Y25.724
 N437 X25.724
 N438 Y94.276
 N439 X59.276
 N440 Y82.897
 N441 G1 X58.776 Y81.574 I=AC(57.276)
 J=AC(82.897)
 N442 G1 X58.276 Y80.251 I=AC(60.276)
 J=AC(80.251)
 N443 G1 Y26.724
 N444 X26.724
 N445 Y93.276
 N446 X58.276
 N447 Y80.251
 N448 G1 X57.776 Y78.929 I=AC(56.276)
 J=AC(80.251)
 N449 G1 X57.276 Y77.606 I=AC(59.276)
 J=AC(77.606)
 N450 G1 Y27.724
 N451 X27.724
 N452 Y92.276
 N453 X57.276
 N454 Y77.606
 N455 G1 X56.776 Y76.283 I=AC(55.276)
 J=AC(77.606)
 N456 G1 X56.276 Y74.96 I=AC(58.276)
 J=AC(74.96)
 N457 G1 Y28.724
 N458 X28.724
 N459 Y91.276
 N460 X56.276
 N461 Y74.96
 N462 G1 X55.776 Y73.637 I=AC(54.276)
 J=AC(74.96)

N463 G1 X55.276 Y72.314 I=AC(57.276)
 J=AC(72.314)
 N464 G1 Y29.724
 N465 X29.724
 N466 Y90.276
 N467 X55.276
 N468 Y72.314
 N469 G1 X54.776 Y70.991 I=AC(53.276)
 J=AC(72.314)
 N470 G1 X54.276 Y69.668 I=AC(56.276)
 J=AC(69.668)
 N471 G1 Y30.724
 N472 X30.724
 N473 Y89.276
 N474 X54.276
 N475 Y69.668
 N476 G1 X53.776 Y68.346 I=AC(52.276)
 J=AC(69.668)
 N477 G1 X53.276 Y67.023 I=AC(55.276)
 J=AC(67.023)
 N478 G1 Y31.724
 N479 X31.724
 N480 Y88.276
 N481 X53.276
 N482 Y67.023
 N483 G1 X52.776 Y65.7 I=AC(51.276)
 J=AC(67.023)
 N484 G1 X52.276 Y64.377 I=AC(54.276)
 J=AC(64.377)
 N485 G1 Y32.724
 N486 X32.724
 N487 Y87.276
 N488 X52.276
 N489 Y64.377
 N490 G1 X51.776 Y63.054 I=AC(50.276)
 J=AC(64.377)
 N491 G1 X51.276 Y61.731 I=AC(53.276)
 J=AC(61.731)
 N492 G1 Y33.724
 N493 X33.724
 N494 Y86.276
 N495 X51.276
 N496 Y61.731
 N497 G1 X50.776 Y60.408 I=AC(49.276)
 J=AC(61.731)
 N498 G1 X50.276 Y59.085 I=AC(52.276)
 J=AC(59.085)
 N499 G1 Y34.724
 N500 X34.724
 N501 Y85.276
 N502 X50.276
 N503 Y59.085
 N504 G1 X49.776 Y57.763 I=AC(48.276)
 J=AC(59.085)
 N505 G1 X49.276 Y56.44 I=AC(51.276)
 J=AC(56.44)
 N506 G1 Y35.724
 N507 X35.724
 N508 Y84.276
 N509 X49.276
 N510 Y56.44
 N511 G1 X48.776 Y55.117 I=AC(47.276)
 J=AC(56.44)
 N512 G1 X48.276 Y53.794 I=AC(50.276)
 J=AC(53.794)
 N513 G1 Y36.724
 N514 X36.724
 N515 Y83.276
 N516 X48.276
 N517 Y53.794
 N518 G1 X47.776 Y52.471 I=AC(46.276)
 J=AC(53.794)
 N519 G1 X47.276 Y51.148 I=AC(49.276)
 J=AC(51.148)
 N520 G1 Y37.724
 N521 X37.724
 N522 Y82.276
 N523 X47.276
 N524 Y51.148
 N525 G1 X46.776 Y49.825 I=AC(45.276)
 J=AC(51.148)
 N526 G1 X46.276 Y48.502 I=AC(48.276)
 J=AC(48.502)
 N527 G1 Y38.724
 N528 X38.724
 N529 Y81.276
 N530 X46.276
 N531 Y48.502
 N532 G1 X45.776 Y47.18 I=AC(44.276)
 J=AC(48.502)
 N533 G1 X45.276 Y45.857 I=AC(47.276)
 J=AC(45.857)
 N534 G1 Y39.724
 N535 X39.724
 N536 Y80.276
 N537 X45.276
 N538 Y45.857
 N539 G1 X44.776 Y44.534 I=AC(43.276)
 J=AC(45.857)
 N540 G1 X44.276 Y43.211 I=AC(46.276)
 J=AC(43.211)

N541 G1 Y40.724
 N542 X40.724
 N543 Y79.276
 N544 X44.276
 N545 Y43.211
 N546 G1 X42.639 Y41.717 I=AC(42.776)
 J=AC(43.211)
 N547 G1 X41.724 Y41.724
 N548 Y78.276
 N549 X43.276
 N550 Y41.724
 N551 G0 Z2.2
 N552 X58.48 Y36.049
 N553 Z.2
 N554 G1 X58.68 Y36.249 I=AC(58.48)
 J=AC(36.249)
 N555 G1 Y82.998 Z-2.25
 N556 Y26.32
 N557 X26.32
 N558 Y93.68
 N559 X58.68
 N560 Y82.998
 N561 G1 X58.18 Y81.675 I=AC(56.68)
 J=AC(82.998)
 N562 G1 X57.68 Y80.352 I=AC(59.68)
 J=AC(80.352)
 N563 G1 Y27.32
 N564 X27.32
 N565 Y92.68
 N566 X57.68
 N567 Y80.352
 N568 G1 X57.18 Y79.029 I=AC(55.68)
 J=AC(80.352)
 N569 G1 X56.68 Y77.706 I=AC(58.68)
 J=AC(77.706)
 N570 G1 Y28.32
 N571 X28.32
 N572 Y91.68
 N573 X56.68
 N574 Y77.706
 N575 G1 X56.18 Y76.383 I=AC(54.68)
 J=AC(77.706)
 N576 G1 X55.68 Y75.061 I=AC(57.68)
 J=AC(75.061)
 N577 G1 Y29.32
 N578 X29.32
 N579 Y90.68
 N580 X55.68
 N581 Y75.061
 N582 G1 X55.18 Y73.738 I=AC(53.68)
 J=AC(75.061)
 N583 G1 X54.68 Y72.415 I=AC(56.68)
 J=AC(72.415)
 N584 G1 Y30.32
 N585 X30.32
 N586 Y89.68
 N587 X54.68
 N588 Y72.415
 N589 G1 X54.18 Y71.092 I=AC(52.68)
 J=AC(72.415)
 N590 G1 X53.68 Y69.769 I=AC(55.68)
 J=AC(69.769)
 N591 G1 Y31.32
 N592 X31.32
 N593 Y88.68
 N594 X53.68
 N595 Y69.769
 N596 G1 X53.18 Y68.446 I=AC(51.68)
 J=AC(69.769)
 N597 G1 X52.68 Y67.123 I=AC(54.68)
 J=AC(67.123)
 N598 G1 Y32.32
 N599 X32.32
 N600 Y87.68
 N601 X52.68
 N602 Y67.123
 N603 G1 X52.18 Y65.8 I=AC(50.68)
 J=AC(67.123)
 N604 G1 X51.68 Y64.478 I=AC(53.68)
 J=AC(64.478)
 N605 G1 Y33.32
 N606 X33.32
 N607 Y86.68
 N608 X51.68
 N609 Y64.478
 N610 G1 X51.18 Y63.155 I=AC(49.68)
 J=AC(64.478)
 N611 G1 X50.68 Y61.832 I=AC(52.68)
 J=AC(61.832)
 N612 G1 Y34.32
 N613 X34.32
 N614 Y85.68
 N615 X50.68
 N616 Y61.832
 N617 G1 X50.18 Y60.509 I=AC(48.68)
 J=AC(61.832)
 N618 G1 X49.68 Y59.186 I=AC(51.68)
 J=AC(59.186)
 N619 G1 Y35.32
 N620 X35.32
 N621 Y84.68

N622 X49.68
 N623 Y59.186
 N624 G1 X49.18 Y57.863 I=AC(47.68)
 J=AC(59.186)
 N625 G1 X48.68 Y56.54 I=AC(50.68)
 J=AC(56.54)
 N626 G1 Y36.32
 N627 X36.32
 N628 Y83.68
 N629 X48.68
 N630 Y56.54
 N631 G1 X48.18 Y55.217 I=AC(46.68)
 J=AC(56.54)
 N632 G1 X47.68 Y53.895 I=AC(49.68)
 J=AC(53.895)
 N633 G1 Y37.32
 N634 X37.32
 N635 Y82.68
 N636 X47.68
 N637 Y53.895
 N638 G1 X47.18 Y52.572 I=AC(45.68)
 J=AC(53.895)
 N639 G1 X46.68 Y51.249 I=AC(48.68)
 J=AC(51.249)
 N640 G1 Y38.32
 N641 X38.32
 N642 Y81.68
 N643 X46.68
 N644 Y51.249
 N645 G1 X46.18 Y49.926 I=AC(44.68)
 J=AC(51.249)
 N646 G1 X45.68 Y48.603 I=AC(47.68)
 J=AC(48.603)
 N647 G1 Y39.32
 N648 X39.32
 N649 Y80.68
 N650 X45.68
 N651 Y48.603
 N652 G1 X45.18 Y47.28 I=AC(43.68)
 J=AC(48.603)
 N653 G1 X44.68 Y45.957 I=AC(46.68)
 J=AC(45.957)
 N654 G1 Y40.32
 N655 X40.32
 N656 Y79.68
 N657 X44.68
 N658 Y45.957
 N659 G1 X44.18 Y44.634 I=AC(42.68)
 J=AC(45.957)
 N660 G1 X43.68 Y43.312 I=AC(45.68)
 J=AC(43.312)
 N661 G1 Y41.32
 N662 X41.32
 N663 Y78.68
 N664 X43.68
 N665 Y43.312
 N666 G1 X42.501 Y42.32 I=AC(42.595)
 J=AC(43.405)
 N667 G1 X42.32
 N668 Y77.68
 N669 G0 Z2
 N670 X27.034 Y84.764
 N671 Z-.25
 N672 G1 X26.834 Y84.564 I=AC(27.034)
 J=AC(84.564)
 N673 G1 Y37.815 Z-2.7
 N674 Y93.166
 N675 X58.166
 N676 Y26.834
 N677 X26.834
 N678 Y37.815
 N679 G1 X27.334 Y39.138 I=AC(28.834)
 J=AC(37.815)
 N680 G1 X27.834 Y40.461 I=AC(25.834)
 J=AC(40.461)
 N681 G1 Y92.166
 N682 X57.166
 N683 Y27.834
 N684 X27.834
 N685 Y40.461
 N686 G1 X28.334 Y41.784 I=AC(29.834)
 J=AC(40.461)
 N687 G1 X28.834 Y43.107 I=AC(26.834)
 J=AC(43.107)
 N688 G1 Y91.166
 N689 X56.166
 N690 Y28.834
 N691 X28.834
 N692 Y43.107
 N693 G1 X29.334 Y44.43 I=AC(30.834)
 J=AC(43.107)
 N694 G1 X29.834 Y45.752 I=AC(27.834)
 J=AC(45.752)
 N695 G1 Y90.166
 N696 X55.166
 N697 Y29.834
 N698 X29.834
 N699 Y45.752
 N700 G1 X30.334 Y47.075 I=AC(31.834)
 J=AC(45.752)

N701 G1 X30.834 Y48.398 I=AC(28.834)
 J=AC(48.398)
 N702 G1 Y89.166
 N703 X54.166
 N704 Y30.834
 N705 X30.834
 N706 Y48.398
 N707 G1 X31.334 Y49.721 I=AC(32.834)
 J=AC(48.398)
 N708 G1 X31.834 Y51.044 I=AC(29.834)
 J=AC(51.044)
 N709 G1 Y88.166
 N710 X53.166
 N711 Y31.834
 N712 X31.834
 N713 Y51.044
 N714 G1 X32.334 Y52.367 I=AC(33.834)
 J=AC(51.044)
 N715 G1 X32.834 Y53.69 I=AC(30.834)
 J=AC(53.69)
 N716 G1 Y87.166
 N717 X52.166
 N718 Y32.834
 N719 X32.834
 N720 Y53.69
 N721 G1 X33.334 Y55.013 I=AC(34.834)
 J=AC(53.69)
 N722 G1 X33.834 Y56.335 I=AC(31.834)
 J=AC(56.335)
 N723 G1 Y86.166
 N724 X51.166
 N725 Y33.834
 N726 X33.834
 N727 Y56.335
 N728 G1 X34.334 Y57.658 I=AC(35.834)
 J=AC(56.335)
 N729 G1 X34.834 Y58.981 I=AC(32.834)
 J=AC(58.981)
 N730 G1 Y85.166
 N731 X50.166
 N732 Y34.834
 N733 X34.834
 N734 Y58.981
 N735 G1 X35.334 Y60.304 I=AC(36.834)
 J=AC(58.981)
 N736 G1 X35.834 Y61.627 I=AC(33.834)
 J=AC(61.627)
 N737 G1 Y84.166
 N738 X49.166
 N739 Y35.834
 N740 X35.834
 N741 Y61.627
 N742 G1 X36.334 Y62.95 I=AC(37.834)
 J=AC(61.627)
 N743 G1 X36.834 Y64.273 I=AC(34.834)
 J=AC(64.273)
 N744 G1 Y83.166
 N745 X48.166
 N746 Y36.834
 N747 X36.834
 N748 Y64.273
 N749 G1 X37.334 Y65.596 I=AC(38.834)
 J=AC(64.273)
 N750 G1 X37.834 Y66.918 I=AC(35.834)
 J=AC(66.918)
 N751 G1 Y82.166
 N752 X47.166
 N753 Y37.834
 N754 X37.834
 N755 Y66.918
 N756 G1 X38.334 Y68.241 I=AC(39.834)
 J=AC(66.918)
 N757 G1 X38.834 Y69.564 I=AC(36.834)
 J=AC(69.564)
 N758 G1 Y81.166
 N759 X46.166
 N760 Y38.834
 N761 X38.834
 N762 Y69.564
 N763 G1 X39.334 Y70.887 I=AC(40.834)
 J=AC(69.564)
 N764 G1 X39.834 Y72.21 I=AC(37.834)
 J=AC(72.21)
 N765 G1 Y80.166
 N766 X45.166
 N767 Y39.834
 N768 X39.834
 N769 Y72.21
 N770 G1 X40.334 Y73.533 I=AC(41.834)
 J=AC(72.21)
 N771 G1 X40.834 Y74.856 I=AC(38.834)
 J=AC(74.856)
 N772 G1 Y79.166
 N773 X44.166
 N774 Y40.834
 N775 X40.834
 N776 Y74.856
 N777 G1 X41.334 Y76.179 I=AC(42.834)
 J=AC(74.856)
 N778 G1 X41.834 Y77.68 I=AC(39.598)
 J=AC(77.591)

N779 G1 Y78.166
 N780 X43.166
 N781 Y41.834
 N782 X41.834
 N783 Y77.501
 N784 G0 Z2
 N785 X27.485 Y84.764
 N786 Z-.7
 N787 G1 X27.285 Y84.564 I=AC(27.485)
 J=AC(84.564)
 N788 G1 Y37.815 Z-3.15
 N789 Y92.715
 N790 X57.715
 N791 Y27.285
 N792 X27.285
 N793 Y37.815
 N794 G1 X27.785 Y39.138 I=AC(29.285)
 J=AC(37.815)
 N795 G1 X28.285 Y40.461 I=AC(26.285)
 J=AC(40.461)
 N796 G1 Y91.715
 N797 X56.715
 N798 Y28.285
 N799 X28.285
 N800 Y40.461
 N801 G1 X28.785 Y41.784 I=AC(30.285)
 J=AC(40.461)
 N802 G1 X29.285 Y43.107 I=AC(27.285)
 J=AC(43.107)
 N803 G1 Y90.715
 N804 X55.715
 N805 Y29.285
 N806 X29.285
 N807 Y43.107
 N808 G1 X29.785 Y44.43 I=AC(31.285)
 J=AC(43.107)
 N809 G1 X30.285 Y45.753 I=AC(28.285)
 J=AC(45.753)
 N810 G1 Y89.715
 N811 X54.715
 N812 Y30.285
 N813 X30.285
 N814 Y45.753
 N815 G1 X30.785 Y47.076 I=AC(32.285)
 J=AC(45.753)
 N816 G1 X31.285 Y48.398 I=AC(29.285)
 J=AC(48.398)
 N817 G1 Y88.715
 N818 X53.715
 N819 Y31.285
 N820 X31.285
 N821 Y48.398
 N822 G1 X31.785 Y49.721 I=AC(33.285)
 J=AC(48.398)
 N823 G1 X32.285 Y51.044 I=AC(30.285)
 J=AC(51.044)
 N824 G1 Y87.715
 N825 X52.715
 N826 Y32.285
 N827 X32.285
 N828 Y51.044
 N829 G1 X32.785 Y52.367 I=AC(34.285)
 J=AC(51.044)
 N830 G1 X33.285 Y53.69 I=AC(31.285)
 J=AC(53.69)
 N831 G1 Y86.715
 N832 X51.715
 N833 Y33.285
 N834 X33.285
 N835 Y53.69
 N836 G1 X33.785 Y55.013 I=AC(35.285)
 J=AC(53.69)
 N837 G1 X34.285 Y56.336 I=AC(32.285)
 J=AC(56.336)
 N838 G1 Y85.715
 N839 X50.715
 N840 Y34.285
 N841 X34.285
 N842 Y56.336
 N843 G1 X34.785 Y57.659 I=AC(36.285)
 J=AC(56.336)
 N844 G1 X35.285 Y58.981 I=AC(33.285)
 J=AC(58.981)
 N845 G1 Y84.715
 N846 X49.715
 N847 Y35.285
 N848 X35.285
 N849 Y58.981
 N850 G1 X35.785 Y60.304 I=AC(37.285)
 J=AC(58.981)
 N851 G1 X36.285 Y61.627 I=AC(34.285)
 J=AC(61.627)
 N852 G1 Y83.715
 N853 X48.715
 N854 Y36.285
 N855 X36.285
 N856 Y61.627
 N857 G1 X36.785 Y62.95 I=AC(38.285)
 J=AC(61.627)
 N858 G1 X37.285 Y64.273 I=AC(35.285)
 J=AC(64.273)

N859 G1 Y82.715
 N860 X47.715
 N861 Y37.285
 N862 X37.285
 N863 Y64.273
 N864 G1 X37.785 Y65.596 I=AC(39.285)
 J=AC(64.273)
 N865 G1 X38.285 Y66.919 I=AC(36.285)
 J=AC(66.919)
 N866 G1 Y81.715
 N867 X46.715
 N868 Y38.285
 N869 X38.285
 N870 Y66.919
 N871 G1 X38.785 Y68.242 I=AC(40.285)
 J=AC(66.919)
 N872 G1 X39.285 Y69.564 I=AC(37.285)
 J=AC(69.564)
 N873 G1 Y80.715
 N874 X45.715
 N875 Y39.285
 N876 X39.285
 N877 Y69.564
 N878 G1 X39.785 Y70.887 I=AC(41.285)
 J=AC(69.564)
 N879 G1 X40.285 Y72.21 I=AC(38.285)
 J=AC(72.21)
 N880 G1 Y79.715
 N881 X44.715
 N882 Y40.285
 N883 X40.285
 N884 Y72.21
 N885 G1 X40.785 Y73.533 I=AC(42.285)
 J=AC(72.21)
 N886 G1 X41.285 Y74.856 I=AC(39.285)
 J=AC(74.856)
 N887 G1 Y78.715
 N888 X43.715
 N889 Y41.285
 N890 X41.285
 N891 Y74.856
 N892 G1 X41.785 Y76.179 I=AC(43.285)
 J=AC(74.856)
 N893 G1 X42.285 Y77.715 I=AC(40.004)
 J=AC(77.608)
 N894 G1 X42.715
 N895 Y42.285
 N896 G0 Z2
 N897 X57.116 Y30.613
 N898 Z-1.15
 N899 G1 X57.316 Y30.813 I=AC(57.116)
 J=AC(30.813)
 N900 G1 Y77.562 Z-3.6
 N901 Y27.684
 N902 X27.684
 N903 Y92.316
 N904 X57.316
 N905 Y77.562
 N906 G1 X56.816 Y76.239 I=AC(55.316)
 J=AC(77.562)
 N907 G1 X56.316 Y74.916 I=AC(58.316)
 J=AC(74.916)
 N908 G1 Y28.684
 N909 X28.684
 N910 Y91.316
 N911 X56.316
 N912 Y74.916
 N913 G1 X55.816 Y73.593 I=AC(54.316)
 J=AC(74.916)
 N914 G1 X55.316 Y72.27 I=AC(57.316)
 J=AC(72.27)
 N915 G1 Y29.684
 N916 X29.684
 N917 Y90.316
 N918 X55.316
 N919 Y72.27
 N920 G1 X54.816 Y70.947 I=AC(53.316)
 J=AC(72.27)
 N921 G1 X54.316 Y69.624 I=AC(56.316)
 J=AC(69.624)
 N922 G1 Y30.684
 N923 X30.684
 N924 Y89.316
 N925 X54.316
 N926 Y69.624
 N927 G1 X53.816 Y68.301 I=AC(52.316)
 J=AC(69.624)
 N928 G1 X53.316 Y66.979 I=AC(55.316)
 J=AC(66.979)
 N929 G1 Y31.684
 N930 X31.684
 N931 Y88.316
 N932 X53.316
 N933 Y66.979
 N934 G1 X52.816 Y65.656 I=AC(51.316)
 J=AC(66.979)
 N935 G1 X52.316 Y64.333 I=AC(54.316)
 J=AC(64.333)
 N936 G1 Y32.684
 N937 X32.684
 N938 Y87.316

N939 X52.316
 N940 Y64.333
 N941 G1 X51.816 Y63.01 I=AC(50.316)
 J=AC(64.333)
 N942 G1 X51.316 Y61.687 I=AC(53.316)
 J=AC(61.687)
 N943 G1 Y33.684
 N944 X33.684
 N945 Y86.316
 N946 X51.316
 N947 Y61.687
 N948 G1 X50.816 Y60.364 I=AC(49.316)
 J=AC(61.687)
 N949 G1 X50.316 Y59.041 I=AC(52.316)
 J=AC(59.041)
 N950 G1 Y34.684
 N951 X34.684
 N952 Y85.316
 N953 X50.316
 N954 Y59.041
 N955 G1 X49.816 Y57.718 I=AC(48.316)
 J=AC(59.041)
 N956 G1 X49.316 Y56.396 I=AC(51.316)
 J=AC(56.396)
 N957 G1 Y35.684
 N958 X35.684
 N959 Y84.316
 N960 X49.316
 N961 Y56.396
 N962 G1 X48.816 Y55.073 I=AC(47.316)
 J=AC(56.396)
 N963 G1 X48.316 Y53.75 I=AC(50.316)
 J=AC(53.75)
 N964 G1 Y36.684
 N965 X36.684
 N966 Y83.316
 N967 X48.316
 N968 Y53.75
 N969 G1 X47.816 Y52.427 I=AC(46.316)
 J=AC(53.75)
 N970 G1 X47.316 Y51.104 I=AC(49.316)
 J=AC(51.104)
 N971 G1 Y37.684
 N972 X37.684
 N973 Y82.316
 N974 X47.316
 N975 Y51.104
 N976 G1 X46.816 Y49.781 I=AC(45.316)
 J=AC(51.104)
 N977 G1 X46.316 Y48.458 I=AC(48.316)
 J=AC(48.458)
 N978 G1 Y38.684
 N979 X38.684
 N980 Y81.316
 N981 X46.316
 N982 Y48.458
 N983 G1 X45.816 Y47.135 I=AC(44.316)
 J=AC(48.458)
 N984 G1 X45.316 Y45.813 I=AC(47.316)
 J=AC(45.813)
 N985 G1 Y39.684
 N986 X39.684
 N987 Y80.316
 N988 X45.316
 N989 Y45.813
 N990 G1 X44.816 Y44.49 I=AC(43.316)
 J=AC(45.813)
 N991 G1 X44.316 Y43.167 I=AC(46.316)
 J=AC(43.167)
 N992 G1 Y40.684
 N993 X40.684
 N994 Y79.316
 N995 X44.316
 N996 Y43.167
 N997 G1 X42.657 Y41.675 I=AC(42.816)
 J=AC(43.167)
 N998 G1 X41.684 Y41.684
 N999 Y78.316
 N1000 X43.316
 N1001 Y41.684
 N1002 G0 Z2
 N1003 X56.763 Y30.429
 N1004 Z-1.6
 N1005 G1 X56.963 Y30.629 I=AC(56.763)
 J=AC(30.629)
 N1006 G1 Y77.378 Z-4.05
 N1007 Y28.037
 N1008 X28.037
 N1009 Y91.963
 N1010 X56.963
 N1011 Y77.378
 N1012 G1 X56.463 Y76.055 I=AC(54.963)
 J=AC(77.378)
 N1013 G1 X55.963 Y74.732 I=AC(57.963)
 J=AC(74.732)
 N1014 G1 Y29.037
 N1015 X29.037
 N1016 Y90.963
 N1017 X55.963
 N1018 Y74.732

N1019 G1 X55.463 Y73.41 I=AC(53.963)
 J=AC(74.732)
 N1020 G1 X54.963 Y72.087 I=AC(56.963)
 J=AC(72.087)
 N1021 G1 Y30.037
 N1022 X30.037
 N1023 Y89.963
 N1024 X54.963
 N1025 Y72.087
 N1026 G1 X54.463 Y70.764 I=AC(52.963)
 J=AC(72.087)
 N1027 G1 X53.963 Y69.441 I=AC(55.963)
 J=AC(69.441)
 N1028 G1 Y31.037
 N1029 X31.037
 N1030 Y88.963
 N1031 X53.963
 N1032 Y69.441
 N1033 G1 X53.463 Y68.118 I=AC(51.963)
 J=AC(69.441)
 N1034 G1 X52.963 Y66.795 I=AC(54.963)
 J=AC(66.795)
 N1035 G1 Y32.037
 N1036 X32.037
 N1037 Y87.963
 N1038 X52.963
 N1039 Y66.795
 N1040 G1 X52.463 Y65.472 I=AC(50.963)
 J=AC(66.795)
 N1041 G1 X51.963 Y64.149 I=AC(53.963)
 J=AC(64.149)
 N1042 G1 Y33.037
 N1043 X33.037
 N1044 Y86.963
 N1045 X51.963
 N1046 Y64.149
 N1047 G1 X51.463 Y62.827 I=AC(49.963)
 J=AC(64.149)
 N1048 G1 X50.963 Y61.504 I=AC(52.963)
 J=AC(61.504)
 N1049 G1 Y34.037
 N1050 X34.037
 N1051 Y85.963
 N1052 X50.963
 N1053 Y61.504
 N1054 G1 X50.463 Y60.181 I=AC(48.963)
 J=AC(61.504)
 N1055 G1 X49.963 Y58.858 I=AC(51.963)
 J=AC(58.858)
 N1056 G1 Y35.037
 N1057 X35.037
 N1058 Y84.963
 N1059 X49.963
 N1060 Y58.858
 N1061 G1 X49.463 Y57.535 I=AC(47.963)
 J=AC(58.858)
 N1062 G1 X48.963 Y56.212 I=AC(50.963)
 J=AC(56.212)
 N1063 G1 Y36.037
 N1064 X36.037
 N1065 Y83.963
 N1066 X48.963
 N1067 Y56.212
 N1068 G1 X48.463 Y54.889 I=AC(46.963)
 J=AC(56.212)
 N1069 G1 X47.963 Y53.566 I=AC(49.963)
 J=AC(53.566)
 N1070 G1 Y37.037
 N1071 X37.037
 N1072 Y82.963
 N1073 X47.963
 N1074 Y53.566
 N1075 G1 X47.463 Y52.244 I=AC(45.963)
 J=AC(53.566)
 N1076 G1 X46.963 Y50.921 I=AC(48.963)
 J=AC(50.921)
 N1077 G1 Y38.037
 N1078 X38.037
 N1079 Y81.963
 N1080 X46.963
 N1081 Y50.921
 N1082 G1 X46.463 Y49.598 I=AC(44.963)
 J=AC(50.921)
 N1083 G1 X45.963 Y48.275 I=AC(47.963)
 J=AC(48.275)
 N1084 G1 Y39.037
 N1085 X39.037
 N1086 Y80.963
 N1087 X45.963
 N1088 Y48.275
 N1089 G1 X45.463 Y46.952 I=AC(43.963)
 J=AC(48.275)
 N1090 G1 X44.963 Y45.629 I=AC(46.963)
 J=AC(45.629)
 N1091 G1 Y40.037
 N1092 X40.037
 N1093 Y79.963
 N1094 X44.963
 N1095 Y45.629
 N1096 G1 X44.463 Y44.306 I=AC(42.963)
 J=AC(45.629)

N1097 G1 X43.963 Y42.983 I=AC(45.963)
 J=AC(42.983)
 N1098 G1 Y41.037
 N1099 X41.037
 N1100 Y78.963
 N1101 X43.963
 N1102 Y42.983
 N1103 G1 X42.732 Y42.01 I=AC(42.963)
 J=AC(42.983)
 N1104 G1 X42.037 Y42.037
 N1105 Y77.963
 N1106 G0 Z2
 N1107 X28.552 Y87.41
 N1108 Z-2.05
 N1109 G1 X28.352 Y87.21 I=AC(28.552)
 J=AC(87.21)
 N1110 G1 Y40.461 Z-4.5
 N1111 Y91.648
 N1112 X56.648
 N1113 Y28.352
 N1114 X28.352
 N1115 Y40.461
 N1116 G1 X28.852 Y41.784 I=AC(30.352)
 J=AC(40.461)
 N1117 G1 X29.352 Y43.107 I=AC(27.352)
 J=AC(43.107)
 N1118 G1 Y90.648
 N1119 X55.648
 N1120 Y29.352
 N1121 X29.352
 N1122 Y43.107
 N1123 G1 X29.852 Y44.43 I=AC(31.352)
 J=AC(43.107)
 N1124 G1 X30.352 Y45.753 I=AC(28.352)
 J=AC(45.753)
 N1125 G1 Y89.648
 N1126 X54.648
 N1127 Y30.352
 N1128 X30.352
 N1129 Y45.753
 N1130 G1 X30.852 Y47.076 I=AC(32.352)
 J=AC(45.753)
 N1131 G1 X31.352 Y48.399 I=AC(29.352)
 J=AC(48.399)
 N1132 G1 Y88.648
 N1133 X53.648
 N1134 Y31.352
 N1135 X31.352
 N1136 Y48.399
 N1137 G1 X31.852 Y49.721 I=AC(33.352)
 J=AC(48.399)
 N1138 G1 X32.352 Y51.044 I=AC(30.352)
 J=AC(51.044)
 N1139 G1 Y87.648
 N1140 X52.648
 N1141 Y32.352
 N1142 X32.352
 N1143 Y51.044
 N1144 G1 X32.852 Y52.367 I=AC(34.352)
 J=AC(51.044)
 N1145 G1 X33.352 Y53.69 I=AC(31.352)
 J=AC(53.69)
 N1146 G1 Y86.648
 N1147 X51.648
 N1148 Y33.352
 N1149 X33.352
 N1150 Y53.69
 N1151 G1 X33.852 Y55.013 I=AC(35.352)
 J=AC(53.69)
 N1152 G1 X34.352 Y56.336 I=AC(32.352)
 J=AC(56.336)
 N1153 G1 Y85.648
 N1154 X50.648
 N1155 Y34.352
 N1156 X34.352
 N1157 Y56.336
 N1158 G1 X34.852 Y57.659 I=AC(36.352)
 J=AC(56.336)
 N1159 G1 X35.352 Y58.982 I=AC(33.352)
 J=AC(58.982)
 N1160 G1 Y84.648
 N1161 X49.648
 N1162 Y35.352
 N1163 X35.352
 N1164 Y58.982
 N1165 G1 X35.852 Y60.304 I=AC(37.352)
 J=AC(58.982)
 N1166 G1 X36.352 Y61.627 I=AC(34.352)
 J=AC(61.627)
 N1167 G1 Y83.648
 N1168 X48.648
 N1169 Y36.352
 N1170 X36.352
 N1171 Y61.627
 N1172 G1 X36.852 Y62.95 I=AC(38.352)
 J=AC(61.627)
 N1173 G1 X37.352 Y64.273 I=AC(35.352)
 J=AC(64.273)
 N1174 G1 Y82.648
 N1175 X47.648
 N1176 Y37.352

N1177 X37.352
 N1178 Y64.273
 N1179 G1 X37.852 Y65.596 I=AC(39.352)
 J=AC(64.273)
 N1180 G1 X38.352 Y66.919 I=AC(36.352)
 J=AC(66.919)
 N1181 G1 Y81.648
 N1182 X46.648
 N1183 Y38.352
 N1184 X38.352
 N1185 Y66.919
 N1186 G1 X38.852 Y68.242 I=AC(40.352)
 J=AC(66.919)
 N1187 G1 X39.352 Y69.565 I=AC(37.352)
 J=AC(69.565)
 N1188 G1 Y80.648
 N1189 X45.648
 N1190 Y39.352
 N1191 X39.352
 N1192 Y69.565
 N1193 G1 X39.852 Y70.888 I=AC(41.352)
 J=AC(69.565)
 N1194 G1 X40.352 Y72.21 I=AC(38.352)
 J=AC(72.21)
 N1195 G1 Y79.648
 N1196 X44.648
 N1197 Y40.352
 N1198 X40.352
 N1199 Y72.21
 N1200 G1 X40.852 Y73.533 I=AC(42.352)
 J=AC(72.21)
 N1201 G1 X41.352 Y74.856 I=AC(39.352)
 J=AC(74.856)
 N1202 G1 Y78.648
 N1203 X43.648
 N1204 Y41.352
 N1205 X41.352
 N1206 Y74.856
 N1207 G1 X41.852 Y76.179 I=AC(43.352)
 J=AC(74.856)
 N1208 G1 X42.352 Y77.648 I=AC(40.158)
 J=AC(77.575)
 N1209 G1 X42.648
 N1210 Y42.352
 N1211 G0 Z2
 N1212 X55.646 Y28.831
 N1213 Z-2.5
 N1214 G1 X55.846 Y28.631 I=AC(55.846)
 J=AC(28.831)
 N1215 G1 X56.369 Z-2.527
 N1216 Y74.857 Z-4.95
 N1217 Y28.631
 N1218 X28.631
 N1219 Y91.369
 N1220 X56.369
 N1221 Y74.857
 N1222 G1 X55.869 Y73.534 I=AC(54.369)
 J=AC(74.857)
 N1223 G1 X55.369 Y72.212 I=AC(57.369)
 J=AC(72.212)
 N1224 G1 Y29.631
 N1225 X29.631
 N1226 Y90.369
 N1227 X55.369
 N1228 Y72.212
 N1229 G1 X54.869 Y70.889 I=AC(53.369)
 J=AC(72.212)
 N1230 G1 X54.369 Y69.566 I=AC(56.369)
 J=AC(69.566)
 N1231 G1 Y30.631
 N1232 X30.631
 N1233 Y89.369
 N1234 X54.369
 N1235 Y69.566
 N1236 G1 X53.869 Y68.243 I=AC(52.369)
 J=AC(69.566)
 N1237 G1 X53.369 Y66.92 I=AC(55.369)
 J=AC(66.92)
 N1238 G1 Y31.631
 N1239 X31.631
 N1240 Y88.369
 N1241 X53.369
 N1242 Y66.92
 N1243 G1 X52.869 Y65.597 I=AC(51.369)
 J=AC(66.92)
 N1244 G1 X52.369 Y64.274 I=AC(54.369)
 J=AC(64.274)
 N1245 G1 Y32.631
 N1246 X32.631
 N1247 Y87.369
 N1248 X52.369
 N1249 Y64.274
 N1250 G1 X51.869 Y62.951 I=AC(50.369)
 J=AC(64.274)
 N1251 G1 X51.369 Y61.628 I=AC(53.369)
 J=AC(61.628)
 N1252 G1 Y33.631
 N1253 X33.631
 N1254 Y86.369
 N1255 X51.369
 N1256 Y61.628
 N1257 G1 X50.869 Y60.306 I=AC(49.369)
 J=AC(61.628)
 N1258 G1 X50.369 Y58.983 I=AC(52.369)
 J=AC(58.983)
 N1259 G1 Y34.631
 N1260 X34.631
 N1261 Y85.369
 N1262 X50.369
 N1263 Y58.983
 N1264 G1 X49.869 Y57.66 I=AC(48.369)
 J=AC(58.983)
 N1265 G1 X49.369 Y56.337 I=AC(51.369)
 J=AC(56.337)
 N1266 G1 Y35.631
 N1267 X35.631
 N1268 Y84.369
 N1269 X49.369
 N1270 Y56.337
 N1271 G1 X48.869 Y55.014 I=AC(47.369)
 J=AC(56.337)
 N1272 G1 X48.369 Y53.691 I=AC(50.369)
 J=AC(53.691)
 N1273 G1 Y36.631
 N1274 X36.631
 N1275 Y83.369
 N1276 X48.369
 N1277 Y53.691
 N1278 G1 X47.869 Y52.368 I=AC(46.369)
 J=AC(53.691)
 N1279 G1 X47.369 Y51.045 I=AC(49.369)
 J=AC(51.045)
 N1280 G1 Y37.631
 N1281 X37.631
 N1282 Y82.369
 N1283 X47.369
 N1284 Y51.045
 N1285 G1 X46.869 Y49.723 I=AC(45.369)
 J=AC(51.045)
 N1286 G1 X46.369 Y48.4 I=AC(48.369)
 J=AC(48.4)
 N1287 G1 Y38.631
 N1288 X38.631
 N1289 Y81.369
 N1290 X46.369
 N1291 Y48.4
 N1292 G1 X45.869 Y47.077 I=AC(44.369)
 J=AC(48.4)
 N1293 G1 X45.369 Y45.754 I=AC(47.369)
 J=AC(45.754)
 N1294 G1 Y39.631
 N1295 X39.631
 N1296 Y80.369
 N1297 X45.369
 N1298 Y45.754
 N1299 G1 X44.869 Y44.431 I=AC(43.369)
 J=AC(45.754)
 N1300 G1 X44.369 Y43.108 I=AC(46.369)
 J=AC(43.108)
 N1301 G1 Y40.631
 N1302 X40.631
 N1303 Y79.369
 N1304 X44.369
 N1305 Y43.108
 N1306 G1 X42.684 Y41.62 I=AC(42.869)
 J=AC(43.108)
 N1307 G1 X41.631 Y41.631
 N1308 Y78.369
 N1309 X43.369
 N1310 Y41.631
 N1311 G0 Z22
 N1312 Z22
 N1313 G0 G53 Z-110 D0
 N1314 M5
 N1315 G0 G53 X-280 Y0
 N1316 M30

CONDIÇÃO 3: Interpolação circular e tolerância igual a 0,1 mm.

```

%_N_1_P_TUB_MPF
;$_PATH=/_N_MPF_DIRCIRCULAR
CAPINHA
N1 G64 G40 G90 G17
;BALL NOSE MILL FR_HEMI-020010-SA50
N2 D0
N3 T6
N4 M6
N5 S3183 M3
N6 G64 F954.93 CFTCP
N7 G54 D1
N8 G0 X61.834 Y40.494
N9 Z22 M9
N10 Z2
N11 G3 X62.034 Y40.694 I=AC(61.834)
J=AC(40.694)
N12 G1 Y87.443 Z-.45
N13 Y25.233
N14 G2 X61.616 Y23.826 I=AC(59.661)
J=AC(25.173)
N15 G2 X59.767 Y22.966 I=AC(59.897)
J=AC(25.103)
N16 G1 X25.233
N17 G2 X22.966 Y25.233 I=AC(25.103)
J=AC(25.103)
N18 G1 X22.967 Y97.034
N19 X62.033
N20 X62.034 Y87.443
N21 G2 X61.534 Y86.12 I=AC(60.034)
J=AC(87.443)
N22 G3 X61.034 Y84.797 I=AC(63.034)
J=AC(84.797)
N23 G1 Y25.208
N24 G2 X59.828 Y23.964 I=AC(59.896)
J=AC(25.105)
N25 G1 X25.172
N26 G2 X23.964 Y25.172 I=AC(25.103)
J=AC(25.103)
N27 G1 X23.967 Y96.034
N28 X61.033
N29 X61.034 Y84.797
N30 G2 X60.534 Y83.475 I=AC(59.034)
J=AC(84.797)
N31 G3 X60.034 Y82.152 I=AC(62.034)
J=AC(82.152)
N32 G1 X60.035 Y25.183
N33 G2 X59.767 Y24.966 I=AC(59.833)
J=AC(25.158)
N34 G1 X25.112 Y24.962
N35 G2 X24.966 Y25.233 I=AC(25.166)
J=AC(25.166)
N36 G1 X24.967 Y95.034
N37 X60.033
N38 X60.034 Y82.152
N39 G2 X59.534 Y80.829 I=AC(58.034)
J=AC(82.152)
N40 G3 X59.034 Y79.506 I=AC(61.034)
J=AC(79.506)
N41 G1 Y25.966
N42 X25.966
N43 X25.967 Y94.034
N44 X59.033
N45 X59.034 Y79.506
N46 G2 X58.534 Y78.183 I=AC(57.034)
J=AC(79.506)
N47 G3 X58.034 Y76.86 I=AC(60.034)
J=AC(76.86)
N48 G1 Y26.966
N49 X26.966
N50 X26.967 Y93.034
N51 X58.034
N52 Y76.86
N53 G2 X57.534 Y75.537 I=AC(56.034)
J=AC(76.86)
N54 G3 X57.034 Y74.214 I=AC(59.034)
J=AC(74.214)
N55 G1 Y27.966
N56 X27.966
N57 X27.967 Y92.034
N58 X57.034
N59 Y74.214
N60 G2 X56.534 Y72.892 I=AC(55.034)
J=AC(74.214)
N61 G3 X56.034 Y71.569 I=AC(58.034)
J=AC(71.569)
N62 G1 Y28.966
N63 X28.966
N64 Y91.034
N65 X56.034
N66 Y71.569
N67 G2 X55.534 Y70.246 I=AC(54.034)
J=AC(71.569)
N68 G3 X55.034 Y68.923 I=AC(57.034)
J=AC(68.923)
N69 G1 Y29.966
N70 X29.966
N71 Y90.034
N72 X55.034
N73 Y68.923
N74 G2 X54.534 Y67.6 I=AC(53.034)
J=AC(68.923)
N75 G3 X54.034 Y66.277 I=AC(56.034)
J=AC(66.277)
N76 G1 Y30.966
N77 X30.966
N78 Y89.034
N79 X54.034
N80 Y66.277
N81 G2 X53.534 Y64.954 I=AC(52.034)
J=AC(66.277)
N82 G3 X53.034 Y63.631 I=AC(55.034)
J=AC(63.631)
N83 G1 Y31.966
N84 X31.966
N85 Y88.034
N86 X53.034
N87 Y63.631
N88 G2 X52.534 Y62.308 I=AC(51.034)
J=AC(63.631)
N89 G3 X52.034 Y60.986 I=AC(54.034)
J=AC(60.986)
N90 G1 Y32.966
N91 X32.966
N92 Y87.034
N93 X52.034
N94 Y60.986
N95 G2 X51.534 Y59.663 I=AC(50.034)
J=AC(60.986)
N96 G3 X51.034 Y58.34 I=AC(53.034)
J=AC(58.34)
N97 G1 Y33.966
N98 X33.966
N99 Y86.034
N100 X51.034
N101 Y58.34
N102 G2 X50.534 Y57.017 I=AC(49.034)
J=AC(58.34)
N103 G3 X50.034 Y55.694 I=AC(52.034)
J=AC(55.694)
N104 G1 Y34.966
N105 X34.966
N106 Y85.034
N107 X50.034
N108 Y55.694
N109 G2 X49.534 Y54.371 I=AC(48.034)
J=AC(55.694)
N110 G3 X49.034 Y53.048 I=AC(51.034)
J=AC(53.048)
N111 G1 Y35.966
N112 X35.966
N113 Y84.034
N114 X49.034
N115 Y53.048
N116 G2 X48.534 Y51.725 I=AC(47.034)
J=AC(53.048)
N117 G3 X48.034 Y50.403 I=AC(50.034)
J=AC(50.403)
N118 G1 Y36.966
N119 X36.966
N120 Y83.034
N121 X48.034
N122 Y50.403
N123 G2 X47.534 Y49.08 I=AC(46.034)
J=AC(50.403)
N124 G3 X47.034 Y47.757 I=AC(49.034)
J=AC(47.757)
N125 G1 Y37.966
N126 X37.966
N127 Y82.034
N128 X47.034
N129 Y47.757
N130 G2 X46.534 Y46.434 I=AC(45.034)
J=AC(47.757)
N131 G3 X46.034 Y45.111 I=AC(48.034)
J=AC(45.111)
N132 G1 Y38.966
N133 X38.966
N134 Y81.034
N135 X46.034
N136 Y45.111
N137 G2 X45.534 Y43.788 I=AC(44.034)
J=AC(45.111)
N138 G3 X45.034 Y42.465 I=AC(47.034)
J=AC(42.465)
N139 G1 Y39.966
N140 X39.966
N141 Y80.034
N142 X45.034
N143 Y42.465
N144 G2 X43.5 Y40.966 I=AC(43.534)
J=AC(42.465)
N145 G1 X40.966
N146 Y79.034
N147 X44.034
N148 Y40.966
N149 X43.466
N150 G2 X41.966 Y42.483 I=AC(43.466)
J=AC(42.466)
N151 G1 Y78.034
N152 X43.034
N153 Y41.966
N154 G0 Z3.55
N155 X60.654 Y41.144
N156 Z1.55
N157 G3 X60.854 Y41.344 I=AC(60.654)
J=AC(41.344)
N158 G1 Y88.092 Z-.9
N159 Y25.326
N160 G2 X60.472 Y24.351 I=AC(59.706)
J=AC(25.214)
N161 G2 X59.674 Y24.146 I=AC(59.757)
J=AC(25.476)
N162 G1 X25.327
N163 G2 X24.351 Y24.528 I=AC(25.214)
J=AC(25.295)
N164 G2 X24.146 Y25.326 I=AC(25.476)
J=AC(25.243)
N165 G1 X24.147 Y95.854
N166 X60.854
N167 Y88.092
N168 G2 X60.354 Y86.77 I=AC(58.854)
J=AC(88.092)
N169 G3 X59.854 Y85.447 I=AC(61.854)
J=AC(85.447)
N170 G1 X59.848 Y25.156
N171 X25.156 Y25.152
N172 X25.147 Y94.854
N173 X59.854
N174 Y85.447
N175 G2 X59.354 Y84.124 I=AC(57.854)
J=AC(85.447)
N176 G3 X58.854 Y82.801 I=AC(60.854)
J=AC(82.801)
N177 G1 Y26.146
N178 X26.146
N179 X26.147 Y93.854
N180 X58.854
N181 Y82.801
N182 G2 X58.354 Y81.478 I=AC(56.854)
J=AC(82.801)
N183 G3 X57.854 Y80.155 I=AC(59.854)
J=AC(80.155)
N184 G1 Y27.146
N185 X27.146
N186 X27.147 Y92.854
N187 X57.854
N188 Y80.155
N189 G2 X57.354 Y78.832 I=AC(55.854)
J=AC(80.155)
N190 G3 X56.854 Y77.509 I=AC(58.854)
J=AC(77.509)
N191 G1 Y28.146
N192 X28.146
N193 Y91.854
N194 X56.854
N195 Y77.509
N196 G2 X56.354 Y76.187 I=AC(54.854)
J=AC(77.509)
N197 G3 X55.854 Y74.864 I=AC(57.854)
J=AC(74.864)
N198 G1 Y29.146
N199 X29.146
N200 Y90.854
N201 X55.854
N202 Y74.864
N203 G2 X55.354 Y73.541 I=AC(53.854)
J=AC(74.864)
N204 G3 X54.854 Y72.218 I=AC(56.854)
J=AC(72.218)
N205 G1 Y30.146
N206 X30.146
N207 Y89.854
N208 X54.854
N209 Y72.218
N210 G2 X54.354 Y70.895 I=AC(52.854)
J=AC(72.218)
N211 G3 X53.854 Y69.572 I=AC(55.854)
J=AC(69.572)
N212 G1 Y31.146
N213 X31.146
N214 Y88.854
N215 X53.854
N216 Y69.572

```

N217 G2 X53.354 Y68.249 I=AC(51.854)
 J=AC(69.572)
 N218 G3 X52.854 Y66.926 I=AC(54.854)
 J=AC(66.926)
 N219 G1 Y32.146
 N220 X32.146
 N221 Y87.854
 N222 X52.854
 N223 Y66.926
 N224 G2 X52.354 Y65.604 I=AC(50.854)
 J=AC(66.926)
 N225 G3 X51.854 Y64.281 I=AC(53.854)
 J=AC(64.281)
 N226 G1 Y33.146
 N227 X33.146
 N228 Y86.854
 N229 X51.854
 N230 Y64.281
 N231 G2 X51.354 Y62.958 I=AC(49.854)
 J=AC(64.281)
 N232 G3 X50.854 Y61.635 I=AC(52.854)
 J=AC(61.635)
 N233 G1 Y34.146
 N234 X34.146
 N235 Y85.854
 N236 X50.854
 N237 Y61.635
 N238 G2 X50.354 Y60.312 I=AC(48.854)
 J=AC(61.635)
 N239 G3 X49.854 Y58.989 I=AC(51.854)
 J=AC(58.989)
 N240 G1 Y35.146
 N241 X35.146
 N242 Y84.854
 N243 X49.854
 N244 Y58.989
 N245 G2 X49.354 Y57.666 I=AC(47.854)
 J=AC(58.989)
 N246 G3 X48.854 Y56.343 I=AC(50.854)
 J=AC(56.343)
 N247 G1 Y36.146
 N248 X36.146
 N249 Y83.854
 N250 X48.854
 N251 Y56.343
 N252 G2 X48.354 Y55.021 I=AC(46.854)
 J=AC(56.343)
 N253 G3 X47.854 Y53.698 I=AC(49.854)
 J=AC(53.698)
 N254 G1 Y37.146
 N255 X37.146
 N256 Y82.854
 N257 X47.854
 N258 Y53.698
 N259 G2 X47.354 Y52.375 I=AC(45.854)
 J=AC(53.698)
 N260 G3 X46.854 Y51.052 I=AC(48.854)
 J=AC(51.052)
 N261 G1 Y38.146
 N262 X38.146
 N263 Y81.854
 N264 X46.854
 N265 Y51.052
 N266 G2 X46.354 Y49.729 I=AC(44.854)
 J=AC(51.052)
 N267 G3 X45.854 Y48.406 I=AC(47.854)
 J=AC(48.406)
 N268 G1 Y39.146
 N269 X39.146
 N270 Y80.854
 N271 X45.854
 N272 Y48.406
 N273 G2 X45.354 Y47.083 I=AC(43.854)
 J=AC(48.406)
 N274 G3 X44.854 Y45.76 I=AC(46.854)
 J=AC(45.76)
 N275 G1 Y40.146
 N276 X40.146
 N277 Y79.854
 N278 X44.854
 N279 Y45.76
 N280 G2 X44.354 Y44.437 I=AC(42.854)
 J=AC(45.76)
 N281 G3 X43.854 Y43.115 I=AC(45.854)
 J=AC(43.115)
 N282 G1 Y41.146
 N283 X41.146
 N284 Y78.854
 N285 X43.854
 N286 Y43.115
 N287 G2 X42.677 Y42.13 I=AC(42.854)
 J=AC(43.115)
 N288 G1 X42.146 Y42.146
 N289 Y77.854
 N290 G0 Z3.1
 N291 X25.218 Y79.472
 N292 Z1.1
 N293 G3 X25.018 Y79.272 I=AC(25.218)
 J=AC(79.272)
 N294 G1 Y32.524 Z-1.35
 N295 Y94.981

N296 X59.982 Y94.982
 N297 Y25.395
 N298 X59.931 Y25.07
 N299 X59.605 Y25.018
 N300 X25.395
 N301 X25.07 Y25.069
 N302 X25.018 Y25.395
 N303 Y32.524
 N304 G2 X25.518 Y33.847 I=AC(27.018)
 J=AC(32.524)
 N305 G3 X26.018 Y35.169 I=AC(24.018)
 J=AC(35.169)
 N306 G1 Y93.981
 N307 X58.982 Y93.982
 N308 Y26.018
 N309 X26.018
 N310 Y35.169
 N311 G2 X26.518 Y36.492 I=AC(28.018)
 J=AC(35.169)
 N312 G3 X27.018 Y37.815 I=AC(25.018)
 J=AC(37.815)
 N313 G1 Y92.982
 N314 X57.982
 N315 Y27.018
 N316 X27.018
 N317 Y37.815
 N318 G2 X27.518 Y39.138 I=AC(29.018)
 J=AC(37.815)
 N319 G3 X28.018 Y40.461 I=AC(26.018)
 J=AC(40.461)
 N320 G1 Y91.982
 N321 X56.982
 N322 Y28.018
 N323 X28.018
 N324 Y40.461
 N325 G2 X28.518 Y41.784 I=AC(30.018)
 J=AC(40.461)
 N326 G3 X29.018 Y43.107 I=AC(27.018)
 J=AC(43.107)
 N327 G1 Y90.982
 N328 X55.982
 N329 Y29.018
 N330 X29.018
 N331 Y43.107
 N332 G2 X29.518 Y44.43 I=AC(31.018)
 J=AC(43.107)
 N333 G3 X30.018 Y45.752 I=AC(28.018)
 J=AC(45.752)
 N334 G1 Y89.982
 N335 X54.982
 N336 Y30.018
 N337 X30.018
 N338 Y45.752
 N339 G2 X30.518 Y47.075 I=AC(32.018)
 J=AC(45.752)
 N340 G3 X31.018 Y48.398 I=AC(29.018)
 J=AC(48.398)
 N341 G1 Y88.982
 N342 X53.982
 N343 Y31.018
 N344 X31.018
 N345 Y48.398
 N346 G2 X31.518 Y49.721 I=AC(33.018)
 J=AC(48.398)
 N347 G3 X32.018 Y51.044 I=AC(30.018)
 J=AC(51.044)
 N348 G1 Y87.982
 N349 X52.982
 N350 Y32.018
 N351 X32.018
 N352 Y51.044
 N353 G2 X32.518 Y52.367 I=AC(34.018)
 J=AC(51.044)
 N354 G3 X33.018 Y53.69 I=AC(31.018)
 J=AC(53.69)
 N355 G1 Y86.982
 N356 X51.982
 N357 Y33.018
 N358 X33.018
 N359 Y53.69
 N360 G2 X33.518 Y55.013 I=AC(35.018)
 J=AC(53.69)
 N361 G3 X34.018 Y56.335 I=AC(32.018)
 J=AC(56.335)
 N362 G1 Y85.982
 N363 X50.982
 N364 Y34.018
 N365 X34.018
 N366 Y56.335
 N367 G2 X34.518 Y57.658 I=AC(36.018)
 J=AC(56.335)
 N368 G3 X35.018 Y58.981 I=AC(33.018)
 J=AC(58.981)
 N369 G1 Y84.982
 N370 X49.982
 N371 Y35.018
 N372 X35.018
 N373 Y58.981
 N374 G2 X35.518 Y60.304 I=AC(37.018)
 J=AC(58.981)

N375 G3 X36.018 Y61.627 I=AC(34.018)
 J=AC(61.627)
 N376 G1 Y83.982
 N377 X48.982
 N378 Y36.018
 N379 X36.018
 N380 Y61.627
 N381 G2 X36.518 Y62.95 I=AC(38.018)
 J=AC(61.627)
 N382 G3 X37.018 Y64.273 I=AC(35.018)
 J=AC(64.273)
 N383 G1 Y82.982
 N384 X47.982
 N385 Y37.018
 N386 X37.018
 N387 Y64.273
 N388 G2 X37.518 Y65.596 I=AC(39.018)
 J=AC(64.273)
 N389 G3 X38.018 Y66.918 I=AC(36.018)
 J=AC(66.918)
 N390 G1 Y81.982
 N391 X46.982
 N392 Y38.018
 N393 X38.018
 N394 Y66.918
 N395 G2 X38.518 Y68.241 I=AC(40.018)
 J=AC(66.918)
 N396 G3 X39.018 Y69.564 I=AC(37.018)
 J=AC(69.564)
 N397 G1 Y80.982
 N398 X45.982
 N399 Y39.018
 N400 X39.018
 N401 Y69.564
 N402 G2 X39.518 Y70.887 I=AC(41.018)
 J=AC(69.564)
 N403 G3 X40.018 Y72.21 I=AC(38.018)
 J=AC(72.21)
 N404 G1 Y79.982
 N405 X44.982
 N406 Y40.018
 N407 X40.018
 N408 Y72.21
 N409 G2 X40.518 Y73.533 I=AC(42.018)
 J=AC(72.21)
 N410 G3 X41.018 Y74.856 I=AC(39.018)
 J=AC(74.856)
 N411 G1 Y78.982
 N412 X43.982
 N413 Y41.018
 N414 X41.018
 N415 Y74.856
 N416 G2 X41.518 Y76.179 I=AC(43.018)
 J=AC(74.856)
 N417 G3 X42.018 Y77.982 I=AC(39.382)
 J=AC(77.982)
 N418 G1 X42.982
 N419 Y42.018
 N420 G0 Z2.65
 N421 X59.076 Y35.948
 N422 Z.65
 N423 G3 X59.276 Y36.148 I=AC(59.076)
 J=AC(36.148)
 N424 G1 Y82.897 Z-1.8
 N425 Y25.724
 N426 X25.724
 N427 Y94.276
 N428 X59.276
 N429 Y82.897
 N430 G2 X58.776 Y81.574 I=AC(57.276)
 J=AC(82.897)
 N431 G3 X58.276 Y80.251 I=AC(60.276)
 J=AC(80.251)
 N432 G1 Y26.724
 N433 X26.724
 N434 Y93.276
 N435 X58.276
 N436 Y80.251
 N437 G2 X57.776 Y78.929 I=AC(56.276)
 J=AC(80.251)
 N438 G3 X57.276 Y77.606 I=AC(59.276)
 J=AC(77.606)
 N439 G1 Y27.724
 N440 X27.724
 N441 Y92.276
 N442 X57.276
 N443 Y77.606
 N444 G2 X56.776 Y76.283 I=AC(55.276)
 J=AC(77.606)
 N445 G3 X56.276 Y74.96 I=AC(58.276)
 J=AC(74.96)
 N446 G1 Y28.724
 N447 X28.724
 N448 Y91.276
 N449 X56.276
 N450 Y74.96
 N451 G2 X55.776 Y73.637 I=AC(54.276)
 J=AC(74.96)
 N452 G3 X55.276 Y72.314 I=AC(57.276)
 J=AC(72.314)
 N453 G1 Y29.724

N454 X29.724	N533 X44.276	N613 G2 X49.18 Y57.863 I=AC(47.68)
N455 Y90.276	N534 Y43.211	J=AC(59.186)
N456 X55.276	N535 G2 X42.639 Y41.717 I=AC(42.776)	N614 G3 X48.68 Y56.54 I=AC(50.68)
N457 Y72.314	J=AC(43.211)	J=AC(56.54)
N458 G2 X54.776 Y70.991 I=AC(53.276)	N536 G1 X41.724 Y41.724	N615 G1 Y36.32
J=AC(72.314)	N537 Y78.276	N616 X36.32
N459 G3 X54.276 Y69.668 I=AC(56.276)	N538 X43.276	N617 Y83.68
J=AC(69.668)	N539 Y41.724	N618 X48.68
N460 G1 Y30.724	N540 G0 Z2.2	N619 Y56.54
N461 X30.724	N541 X58.48 Y36.049	N620 G2 X48.18 Y55.217 I=AC(46.68)
N462 Y89.276	N542 Z.2	J=AC(56.54)
N463 X54.276	N543 G3 X58.68 Y36.249 I=AC(58.48)	N621 G3 X47.68 Y53.895 I=AC(49.68)
N464 Y69.668	J=AC(36.249)	J=AC(53.895)
N465 G2 X53.776 Y68.346 I=AC(52.276)	N544 G1 Y82.998 Z-2.25	N622 G1 Y37.32
J=AC(69.668)	N545 Y26.32	N623 X37.32
N466 G3 X53.276 Y67.023 I=AC(55.276)	N546 X26.32	N624 Y82.68
J=AC(67.023)	N547 Y93.68	N625 X47.68
N467 G1 Y31.724	N548 X58.68	N626 Y53.895
N468 X31.724	N549 Y82.998	N627 G2 X47.18 Y52.572 I=AC(45.68)
N469 Y88.276	N550 G2 X58.18 Y81.675 I=AC(56.68)	J=AC(53.895)
N470 X53.276	J=AC(82.998)	N628 G3 X46.68 Y51.249 I=AC(48.68)
N471 Y67.023	N551 G3 X57.68 Y80.352 I=AC(59.68)	J=AC(51.249)
N472 G2 X52.776 Y65.7 I=AC(51.276)	J=AC(80.352)	N629 G1 Y38.32
J=AC(67.023)	N552 G1 Y27.32	N630 X38.32
N473 G3 X52.276 Y64.377 I=AC(54.276)	N553 X27.32	N631 Y81.68
J=AC(64.377)	N554 Y92.68	N632 X46.68
N474 G1 Y32.724	N555 X57.68	N633 Y51.249
N475 X32.724	N556 Y80.352	N634 G2 X46.18 Y49.926 I=AC(44.68)
N476 Y87.276	N557 G2 X57.18 Y79.029 I=AC(55.68)	J=AC(51.249)
N477 X52.276	J=AC(80.352)	N635 G3 X45.68 Y48.603 I=AC(47.68)
N478 Y64.377	N558 G3 X56.68 Y77.706 I=AC(58.68)	J=AC(48.603)
N479 G2 X51.776 Y63.054 I=AC(50.276)	J=AC(77.706)	N636 G1 Y39.32
J=AC(64.377)	N559 G1 Y28.32	N637 X39.32
N480 G3 X51.276 Y61.731 I=AC(53.276)	N560 X28.32	N638 Y80.68
J=AC(61.731)	N561 Y91.68	N639 X45.68
N481 G1 Y33.724	N562 X56.68	N640 Y48.603
N482 X33.724	N563 Y77.706	N641 G2 X45.18 Y47.28 I=AC(43.68)
N483 Y86.276	N564 G2 X56.18 Y76.383 I=AC(54.68)	J=AC(48.603)
N484 X51.276	J=AC(77.706)	N642 G3 X44.68 Y45.957 I=AC(46.68)
N485 Y61.731	N565 G3 X55.68 Y75.061 I=AC(57.68)	J=AC(45.957)
N486 G2 X50.776 Y60.408 I=AC(49.276)	J=AC(75.061)	N643 G1 Y40.32
J=AC(61.731)	N566 G1 Y29.32	N644 X40.32
N487 G3 X50.276 Y59.085 I=AC(52.276)	N567 X29.32	N645 Y79.68
J=AC(59.085)	N568 Y90.68	N646 X44.68
N488 G1 Y34.724	N569 X55.68	N647 Y45.957
N489 X34.724	N570 Y75.061	N648 G2 X44.18 Y44.634 I=AC(42.68)
N490 Y85.276	N571 G2 X55.18 Y73.738 I=AC(53.68)	J=AC(45.957)
N491 X50.276	J=AC(75.061)	N649 G3 X43.68 Y43.312 I=AC(45.68)
N492 Y59.085	N572 G3 X54.68 Y72.415 I=AC(56.68)	J=AC(43.312)
N493 G2 X49.776 Y57.763 I=AC(48.276)	J=AC(72.415)	N650 G1 Y41.32
J=AC(59.085)	N573 G1 Y30.32	N651 X41.32
N494 G3 X49.276 Y56.44 I=AC(51.276)	N574 X30.32	N652 Y78.68
J=AC(56.44)	N575 Y89.68	N653 X43.68
N495 G1 Y35.724	N576 X54.68	N654 Y43.312
N496 X35.724	N577 Y72.415	N655 G2 X42.501 Y42.32 I=AC(42.595)
N497 Y84.276	N578 G2 X54.18 Y71.092 I=AC(52.68)	J=AC(43.405)
N498 X49.276	J=AC(72.415)	N656 G1 X42.32
N499 Y56.44	N579 G3 X53.68 Y69.769 I=AC(55.68)	N657 Y77.68
N500 G2 X48.776 Y55.117 I=AC(47.276)	J=AC(69.769)	N658 G0 Z2
J=AC(56.44)	N580 G1 Y31.32	N659 X27.034 Y84.764
N501 G3 X48.276 Y53.794 I=AC(50.276)	N581 X31.32	N660 Z-.25
J=AC(53.794)	N582 Y88.68	N661 G3 X26.834 Y84.564 I=AC(27.034)
N502 G1 Y36.724	N583 X53.68	J=AC(84.564)
N503 X36.724	N584 Y69.769	N662 G1 Y37.815 Z-2.7
N504 Y83.276	N585 G2 X53.18 Y68.446 I=AC(51.68)	N663 Y93.166
N505 X48.276	J=AC(69.769)	N664 X58.166
N506 Y53.794	N586 G3 X52.68 Y67.123 I=AC(54.68)	N665 Y26.834
N507 G2 X47.776 Y52.471 I=AC(46.276)	J=AC(67.123)	N666 X26.834
J=AC(53.794)	N587 G1 Y32.32	N667 Y37.815
N508 G3 X47.276 Y51.148 I=AC(49.276)	N588 X32.32	N668 G2 X27.334 Y39.138 I=AC(28.834)
J=AC(51.148)	N589 Y87.68	J=AC(37.815)
N509 G1 Y37.724	N590 X52.68	N669 G3 X27.834 Y40.461 I=AC(25.834)
N510 X37.724	N591 Y67.123	J=AC(40.461)
N511 Y82.276	N592 G2 X52.18 Y65.8 I=AC(50.68)	N670 G1 Y92.166
N512 X47.276	J=AC(67.123)	N671 X57.166
N513 Y51.148	N593 G3 X51.68 Y64.478 I=AC(53.68)	N672 Y27.834
N514 G2 X46.776 Y49.825 I=AC(45.276)	J=AC(64.478)	N673 X27.834
J=AC(51.148)	N594 G1 Y33.32	N674 Y40.461
N515 G3 X46.276 Y48.502 I=AC(48.276)	N595 X33.32	N675 G2 X28.334 Y41.784 I=AC(29.834)
J=AC(48.502)	N596 Y86.68	J=AC(40.461)
N516 G1 Y38.724	N597 X51.68	N676 G3 X28.834 Y43.107 I=AC(26.834)
N517 X38.724	N598 Y64.478	J=AC(43.107)
N518 Y81.276	N599 G2 X51.18 Y63.155 I=AC(49.68)	N677 G1 Y91.166
N519 X46.276	J=AC(64.478)	N678 X56.166
N520 Y48.502	N600 G3 X50.68 Y61.832 I=AC(52.68)	N679 Y28.834
N521 G2 X45.776 Y47.18 I=AC(44.276)	J=AC(61.832)	N680 X28.834
J=AC(48.502)	N601 G1 Y34.32	N681 Y43.107
N522 G3 X45.276 Y45.857 I=AC(47.276)	N602 X34.32	N682 G2 X29.334 Y44.43 I=AC(30.834)
J=AC(45.857)	N603 Y85.68	J=AC(43.107)
N523 G1 Y39.724	N604 X50.68	N683 G3 X29.834 Y45.752 I=AC(27.834)
N524 X39.724	N605 Y61.832	J=AC(45.752)
N525 Y80.276	N606 G2 X50.18 Y60.509 I=AC(48.68)	N684 G1 Y90.166
N526 X45.276	J=AC(61.832)	N685 X55.166
N527 Y45.857	N607 G3 X49.68 Y59.186 I=AC(51.68)	N686 Y29.834
N528 G2 X44.776 Y44.534 I=AC(43.276)	J=AC(59.186)	N687 X29.834
J=AC(45.857)	N608 G1 Y35.32	N688 Y45.752
N529 G3 X44.276 Y43.211 I=AC(46.276)	N609 X35.32	N689 G2 X30.334 Y47.075 I=AC(31.834)
J=AC(43.211)	N610 Y84.68	J=AC(45.752)
N530 G1 Y40.724	N611 X49.68	N690 G3 X30.834 Y48.398 I=AC(28.834)
N531 X40.724	N612 Y59.186	J=AC(48.398)
N532 Y79.276		N691 G1 Y89.166

N692 X54.166
 N693 Y30.834
 N694 X30.834
 N695 Y48.398
 N696 G2 X31.334 Y49.721 I=AC(32.834)
 J=AC(48.398)
 N697 G3 X31.834 Y51.044 I=AC(29.834)
 J=AC(51.044)
 N698 G1 Y88.166
 N699 X53.166
 N700 Y31.834
 N701 X31.834
 N702 Y51.044
 N703 G2 X32.334 Y52.367 I=AC(33.834)
 J=AC(51.044)
 N704 G3 X32.834 Y53.69 I=AC(30.834)
 J=AC(53.69)
 N705 G1 Y87.166
 N706 X52.166
 N707 Y32.834
 N708 X32.834
 N709 Y53.69
 N710 G2 X33.334 Y55.013 I=AC(34.834)
 J=AC(53.69)
 N711 G3 X33.834 Y56.335 I=AC(31.834)
 J=AC(56.335)
 N712 G1 Y86.166
 N713 X51.166
 N714 Y33.834
 N715 X33.834
 N716 Y56.335
 N717 G2 X34.334 Y57.658 I=AC(35.834)
 J=AC(56.335)
 N718 G3 X34.834 Y58.981 I=AC(32.834)
 J=AC(58.981)
 N719 G1 Y85.166
 N720 X50.166
 N721 Y34.834
 N722 X34.834
 N723 Y58.981
 N724 G2 X35.334 Y60.304 I=AC(36.834)
 J=AC(58.981)
 N725 G3 X35.834 Y61.627 I=AC(33.834)
 J=AC(61.627)
 N726 G1 Y84.166
 N727 X49.166
 N728 Y35.834
 N729 X35.834
 N730 Y61.627
 N731 G2 X36.334 Y62.95 I=AC(37.834)
 J=AC(61.627)
 N732 G3 X36.834 Y64.273 I=AC(34.834)
 J=AC(64.273)
 N733 G1 Y83.166
 N734 X48.166
 N735 Y36.834
 N736 X36.834
 N737 Y64.273
 N738 G2 X37.334 Y65.596 I=AC(38.834)
 J=AC(64.273)
 N739 G3 X37.834 Y66.918 I=AC(35.834)
 J=AC(66.918)
 N740 G1 Y82.166
 N741 X47.166
 N742 Y37.834
 N743 X37.834
 N744 Y66.918
 N745 G2 X38.334 Y68.241 I=AC(39.834)
 J=AC(66.918)
 N746 G3 X38.834 Y69.564 I=AC(36.834)
 J=AC(69.564)
 N747 G1 Y81.166
 N748 X46.166
 N749 Y38.834
 N750 X38.834
 N751 Y69.564
 N752 G2 X39.334 Y70.887 I=AC(40.834)
 J=AC(69.564)
 N753 G3 X39.834 Y72.21 I=AC(37.834)
 J=AC(72.21)
 N754 G1 Y80.166
 N755 X45.166
 N756 Y39.834
 N757 X39.834
 N758 Y72.21
 N759 G2 X40.334 Y73.533 I=AC(41.834)
 J=AC(72.21)
 N760 G3 X40.834 Y74.856 I=AC(38.834)
 J=AC(74.856)
 N761 G1 Y79.166
 N762 X44.166
 N763 Y40.834
 N764 X40.834
 N765 Y74.856
 N766 G2 X41.334 Y76.179 I=AC(42.834)
 J=AC(74.856)
 N767 G3 X41.834 Y77.68 I=AC(39.598)
 J=AC(77.591)
 N768 G1 Y78.166
 N769 X43.166
 N770 Y41.834
 N771 X41.834
 N772 Y77.501
 N773 G0 Z2
 N774 X27.485 Y84.764
 N775 Z-.7
 N776 G3 X27.285 Y84.564 I=AC(27.485)
 J=AC(84.564)
 N777 G1 Y37.815 Z-3.15
 N778 Y92.715
 N779 X57.715
 N780 Y27.285
 N781 X27.285
 N782 Y37.815
 N783 G2 X27.785 Y39.138 I=AC(29.285)
 J=AC(37.815)
 N784 G3 X28.285 Y40.461 I=AC(26.285)
 J=AC(40.461)
 N785 G1 Y91.715
 N786 X56.715
 N787 Y28.285
 N788 X28.285
 N789 Y40.461
 N790 G2 X28.785 Y41.784 I=AC(30.285)
 J=AC(40.461)
 N791 G3 X29.285 Y43.107 I=AC(27.285)
 J=AC(43.107)
 N792 G1 Y90.715
 N793 X55.715
 N794 Y29.285
 N795 X29.285
 N796 Y43.107
 N797 G2 X29.785 Y44.43 I=AC(31.285)
 J=AC(43.107)
 N798 G3 X30.285 Y45.753 I=AC(28.285)
 J=AC(45.753)
 N799 G1 Y89.715
 N800 X54.715
 N801 Y30.285
 N802 X30.285
 N803 Y45.753
 N804 G2 X30.785 Y47.076 I=AC(32.285)
 J=AC(45.753)
 N805 G3 X31.285 Y48.398 I=AC(29.285)
 J=AC(48.398)
 N806 G1 Y88.715
 N807 X53.715
 N808 Y31.285
 N809 X31.285
 N810 Y48.398
 N811 G2 X31.785 Y49.721 I=AC(33.285)
 J=AC(48.398)
 N812 G3 X32.285 Y51.044 I=AC(30.285)
 J=AC(51.044)
 N813 G1 Y87.715
 N814 X52.715
 N815 Y32.285
 N816 X32.285
 N817 Y51.044
 N818 G2 X32.785 Y52.367 I=AC(34.285)
 J=AC(51.044)
 N819 G3 X33.285 Y53.69 I=AC(31.285)
 J=AC(53.69)
 N820 G1 Y86.715
 N821 X51.715
 N822 Y33.285
 N823 X33.285
 N824 Y53.69
 N825 G2 X33.785 Y55.013 I=AC(35.285)
 J=AC(53.69)
 N826 G3 X34.285 Y56.336 I=AC(32.285)
 J=AC(56.336)
 N827 G1 Y85.715
 N828 X50.715
 N829 Y34.285
 N830 X34.285
 N831 Y56.336
 N832 G2 X34.785 Y57.659 I=AC(36.285)
 J=AC(56.336)
 N833 G3 X35.285 Y58.981 I=AC(33.285)
 J=AC(58.981)
 N834 G1 Y84.715
 N835 X49.715
 N836 Y35.285
 N837 X35.285
 N838 Y58.981
 N839 G2 X35.785 Y60.304 I=AC(37.285)
 J=AC(58.981)
 N840 G3 X36.285 Y61.627 I=AC(34.285)
 J=AC(61.627)
 N841 G1 Y83.715
 N842 X48.715
 N843 Y36.285
 N844 X36.285
 N845 Y61.627
 N846 G2 X36.785 Y62.95 I=AC(38.285)
 J=AC(61.627)
 N847 G3 X37.285 Y64.273 I=AC(35.285)
 J=AC(64.273)
 N848 G1 Y82.715
 N849 X47.715
 N850 Y37.285
 N851 X37.285
 N852 Y64.273
 N853 G2 X37.785 Y65.596 I=AC(39.285)
 J=AC(64.273)
 N854 G3 X38.285 Y66.919 I=AC(36.285)
 J=AC(66.919)
 N855 G1 Y81.715
 N856 X46.715
 N857 Y38.285
 N858 X38.285
 N859 Y66.919
 N860 G2 X38.785 Y68.242 I=AC(40.285)
 J=AC(66.919)
 N861 G3 X39.285 Y69.564 I=AC(37.285)
 J=AC(69.564)
 N862 G1 Y80.715
 N863 X45.715
 N864 Y39.285
 N865 X39.285
 N866 Y69.564
 N867 G2 X39.785 Y70.887 I=AC(41.285)
 J=AC(69.564)
 N868 G3 X40.285 Y72.21 I=AC(38.285)
 J=AC(72.21)
 N869 G1 Y79.715
 N870 X44.715
 N871 Y40.285
 N872 X40.285
 N873 Y72.21
 N874 G2 X40.785 Y73.533 I=AC(42.285)
 J=AC(72.21)
 N875 G3 X41.285 Y74.856 I=AC(39.285)
 J=AC(74.856)
 N876 G1 Y78.715
 N877 X43.715
 N878 Y41.285
 N879 X41.285
 N880 Y74.856
 N881 G2 X41.785 Y76.179 I=AC(43.285)
 J=AC(74.856)
 N882 G3 X42.285 Y77.715 I=AC(40.004)
 J=AC(77.608)
 N883 G1 X42.715
 N884 Y42.285
 N885 G0 Z2
 N886 X57.116 Y30.613
 N887 Z-1.15
 N888 G3 X57.316 Y30.813 I=AC(57.116)
 J=AC(30.813)
 N889 G1 Y77.562 Z-3.6
 N890 Y27.684
 N891 X27.684
 N892 Y92.316
 N893 X57.316
 N894 Y77.562
 N895 G2 X56.816 Y76.239 I=AC(55.316)
 J=AC(77.562)
 N896 G3 X56.316 Y74.916 I=AC(58.316)
 J=AC(74.916)
 N897 G1 Y28.684
 N898 X28.684
 N899 Y91.316
 N900 X56.316
 N901 Y74.916
 N902 G2 X55.816 Y73.593 I=AC(54.316)
 J=AC(74.916)
 N903 G3 X55.316 Y72.27 I=AC(57.316)
 J=AC(72.27)
 N904 G1 Y29.684
 N905 X29.684
 N906 Y90.316
 N907 X55.316
 N908 Y72.27
 N909 G2 X54.816 Y70.947 I=AC(53.316)
 J=AC(72.27)
 N910 G3 X54.316 Y69.624 I=AC(56.316)
 J=AC(69.624)
 N911 G1 Y30.684
 N912 X30.684
 N913 Y89.316
 N914 X54.316
 N915 Y69.624
 N916 G2 X53.816 Y68.301 I=AC(52.316)
 J=AC(69.624)
 N917 G3 X53.316 Y66.979 I=AC(55.316)
 J=AC(66.979)
 N918 G1 Y31.684
 N919 X31.684
 N920 Y88.316
 N921 X53.316
 N922 Y66.979
 N923 G2 X52.816 Y65.656 I=AC(51.316)
 J=AC(66.979)
 N924 G3 X52.316 Y64.333 I=AC(54.316)
 J=AC(64.333)
 N925 G1 Y32.684
 N926 X32.684
 N927 Y87.316
 N928 X52.316
 N929 Y64.333

N930 G2 X51.816 Y63.01 I=AC(50.316)
 J=AC(64.333)
 N931 G3 X51.316 Y61.687 I=AC(53.316)
 J=AC(61.687)
 N932 G1 Y33.684
 N933 X33.684
 N934 Y86.316
 N935 X51.316
 N936 Y61.687
 N937 G2 X50.816 Y60.364 I=AC(49.316)
 J=AC(61.687)
 N938 G3 X50.316 Y59.041 I=AC(52.316)
 J=AC(59.041)
 N939 G1 Y34.684
 N940 X34.684
 N941 Y85.316
 N942 X50.316
 N943 Y59.041
 N944 G2 X49.816 Y57.718 I=AC(48.316)
 J=AC(59.041)
 N945 G3 X49.316 Y56.396 I=AC(51.316)
 J=AC(56.396)
 N946 G1 Y35.684
 N947 X35.684
 N948 Y84.316
 N949 X49.316
 N950 Y56.396
 N951 G2 X48.816 Y55.073 I=AC(47.316)
 J=AC(56.396)
 N952 G3 X48.316 Y53.75 I=AC(50.316)
 J=AC(53.75)
 N953 G1 Y36.684
 N954 X36.684
 N955 Y83.316
 N956 X48.316
 N957 Y53.75
 N958 G2 X47.816 Y52.427 I=AC(46.316)
 J=AC(53.75)
 N959 G3 X47.316 Y51.104 I=AC(49.316)
 J=AC(51.104)
 N960 G1 Y37.684
 N961 X37.684
 N962 Y82.316
 N963 X47.316
 N964 Y51.104
 N965 G2 X46.816 Y49.781 I=AC(45.316)
 J=AC(51.104)
 N966 G3 X46.316 Y48.458 I=AC(48.316)
 J=AC(48.458)
 N967 G1 Y38.684
 N968 X38.684
 N969 Y81.316
 N970 X46.316
 N971 Y48.458
 N972 G2 X45.816 Y47.135 I=AC(44.316)
 J=AC(48.458)
 N973 G3 X45.316 Y45.813 I=AC(47.316)
 J=AC(45.813)
 N974 G1 Y39.684
 N975 X39.684
 N976 Y80.316
 N977 X45.316
 N978 Y45.813
 N979 G2 X44.816 Y44.49 I=AC(43.316)
 J=AC(45.813)
 N980 G3 X44.316 Y43.167 I=AC(46.316)
 J=AC(43.167)
 N981 G1 Y40.684
 N982 X40.684
 N983 Y79.316
 N984 X44.316
 N985 Y43.167
 N986 G2 X42.657 Y41.675 I=AC(42.816)
 J=AC(43.167)
 N987 G1 X41.684 Y41.684
 N988 Y78.316
 N989 X43.316
 N990 Y41.684
 N991 G0 Z2
 N992 X56.763 Y30.429
 N993 Z-1.6
 N994 G3 X56.963 Y30.629 I=AC(56.763)
 J=AC(30.629)
 N995 G1 Y77.378 Z-4.05
 N996 Y28.037
 N997 X28.037
 N998 Y91.963
 N999 X56.963
 N1000 Y77.378
 N1001 G2 X56.463 Y76.055 I=AC(54.963)
 J=AC(77.378)
 N1002 G3 X55.963 Y74.732 I=AC(57.963)
 J=AC(74.732)
 N1003 G1 Y29.037
 N1004 X29.037
 N1005 Y90.963
 N1006 X55.963
 N1007 Y74.732
 N1008 G2 X55.463 Y73.41 I=AC(53.963)
 J=AC(74.732)

N1009 G3 X54.963 Y72.087 I=AC(56.963)
 J=AC(72.087)
 N1010 G1 Y30.037
 N1011 X30.037
 N1012 Y89.963
 N1013 X54.963
 N1014 Y72.087
 N1015 G2 X54.463 Y70.764 I=AC(52.963)
 J=AC(72.087)
 N1016 G3 X53.963 Y69.441 I=AC(55.963)
 J=AC(69.441)
 N1017 G1 Y31.037
 N1018 X31.037
 N1019 Y88.963
 N1020 X53.963
 N1021 Y69.441
 N1022 G2 X53.463 Y68.118 I=AC(51.963)
 J=AC(69.441)
 N1023 G3 X52.963 Y66.795 I=AC(54.963)
 J=AC(66.795)
 N1024 G1 Y32.037
 N1025 X32.037
 N1026 Y87.963
 N1027 X52.963
 N1028 Y66.795
 N1029 G2 X52.463 Y65.472 I=AC(50.963)
 J=AC(66.795)
 N1030 G3 X51.963 Y64.149 I=AC(53.963)
 J=AC(64.149)
 N1031 G1 Y33.037
 N1032 X33.037
 N1033 Y86.963
 N1034 X51.963
 N1035 Y64.149
 N1036 G2 X51.463 Y62.827 I=AC(49.963)
 J=AC(64.149)
 N1037 G3 X50.963 Y61.504 I=AC(52.963)
 J=AC(61.504)
 N1038 G1 Y34.037
 N1039 X34.037
 N1040 Y85.963
 N1041 X50.963
 N1042 Y61.504
 N1043 G2 X50.463 Y60.181 I=AC(48.963)
 J=AC(61.504)
 N1044 G3 X49.963 Y58.858 I=AC(51.963)
 J=AC(58.858)
 N1045 G1 Y35.037
 N1046 X35.037
 N1047 Y84.963
 N1048 X49.963
 N1049 Y58.858
 N1050 G2 X49.463 Y57.535 I=AC(47.963)
 J=AC(58.858)
 N1051 G3 X48.963 Y56.212 I=AC(50.963)
 J=AC(56.212)
 N1052 G1 Y36.037
 N1053 X36.037
 N1054 Y83.963
 N1055 X48.963
 N1056 Y56.212
 N1057 G2 X48.463 Y54.889 I=AC(46.963)
 J=AC(56.212)
 N1058 G3 X47.963 Y53.566 I=AC(49.963)
 J=AC(53.566)
 N1059 G1 Y37.037
 N1060 X37.037
 N1061 Y82.963
 N1062 X47.963
 N1063 Y53.566
 N1064 G2 X47.463 Y52.244 I=AC(45.963)
 J=AC(53.566)
 N1065 G3 X46.963 Y50.921 I=AC(48.963)
 J=AC(50.921)
 N1066 G1 Y38.037
 N1067 X38.037
 N1068 Y81.963
 N1069 X46.963
 N1070 Y50.921
 N1071 G2 X46.463 Y49.598 I=AC(44.963)
 J=AC(50.921)
 N1072 G3 X45.963 Y48.275 I=AC(47.963)
 J=AC(48.275)
 N1073 G1 Y39.037
 N1074 X39.037
 N1075 Y80.963
 N1076 X45.963
 N1077 Y48.275
 N1078 G2 X45.463 Y46.952 I=AC(43.963)
 J=AC(48.275)
 N1079 G3 X44.963 Y45.629 I=AC(46.963)
 J=AC(45.629)
 N1080 G1 Y40.037
 N1081 X40.037
 N1082 Y79.963
 N1083 X44.963
 N1084 Y45.629
 N1085 G2 X44.463 Y44.306 I=AC(42.963)
 J=AC(45.629)
 N1086 G3 X43.963 Y42.983 I=AC(45.963)
 J=AC(42.983)

N1087 G1 Y41.037
 N1088 X41.037
 N1089 Y78.963
 N1090 X43.963
 N1091 Y42.983
 N1092 G2 X42.732 Y42.01 I=AC(42.963)
 J=AC(42.983)
 N1093 G1 X42.037 Y42.037
 N1094 Y77.963
 N1095 G0 Z2
 N1096 X28.552 Y87.41
 N1097 Z-2.05
 N1098 G3 X28.352 Y87.21 I=AC(28.552)
 J=AC(87.21)
 N1099 G1 Y40.461 Z-4.5
 N1100 Y91.648
 N1101 X56.648
 N1102 Y28.352
 N1103 X28.352
 N1104 Y40.461
 N1105 G2 X28.852 Y41.784 I=AC(30.352)
 J=AC(40.461)
 N1106 G3 X29.352 Y43.107 I=AC(27.352)
 J=AC(43.107)
 N1107 G1 Y90.648
 N1108 X55.648
 N1109 Y29.352
 N1110 X29.352
 N1111 Y43.107
 N1112 G2 X29.852 Y44.43 I=AC(31.352)
 J=AC(43.107)
 N1113 G3 X30.352 Y45.753 I=AC(28.352)
 J=AC(45.753)
 N1114 G1 Y89.648
 N1115 X54.648
 N1116 Y30.352
 N1117 X30.352
 N1118 Y45.753
 N1119 G2 X30.852 Y47.076 I=AC(32.352)
 J=AC(45.753)
 N1120 G3 X31.352 Y48.399 I=AC(29.352)
 J=AC(48.399)
 N1121 G1 Y88.648
 N1122 X53.648
 N1123 Y31.352
 N1124 X31.352
 N1125 Y48.399
 N1126 G2 X31.852 Y49.721 I=AC(33.352)
 J=AC(48.399)
 N1127 G3 X32.352 Y51.044 I=AC(30.352)
 J=AC(51.044)
 N1128 G1 Y87.648
 N1129 X52.648
 N1130 Y32.352
 N1131 X32.352
 N1132 Y51.044
 N1133 G2 X32.852 Y52.367 I=AC(34.352)
 J=AC(51.044)
 N1134 G3 X33.352 Y53.69 I=AC(31.352)
 J=AC(53.69)
 N1135 G1 Y86.648
 N1136 X51.648
 N1137 Y33.352
 N1138 X33.352
 N1139 Y53.69
 N1140 G2 X33.852 Y55.013 I=AC(35.352)
 J=AC(53.69)
 N1141 G3 X34.352 Y56.336 I=AC(32.352)
 J=AC(56.336)
 N1142 G1 Y85.648
 N1143 X50.648
 N1144 Y34.352
 N1145 X34.352
 N1146 Y56.336
 N1147 G2 X34.852 Y57.659 I=AC(36.352)
 J=AC(56.336)
 N1148 G3 X35.352 Y58.982 I=AC(33.352)
 J=AC(58.982)
 N1149 G1 Y84.648
 N1150 X49.648
 N1151 Y35.352
 N1152 X35.352
 N1153 Y58.982
 N1154 G2 X35.852 Y60.304 I=AC(37.352)
 J=AC(58.982)
 N1155 G3 X36.352 Y61.627 I=AC(34.352)
 J=AC(61.627)
 N1156 G1 Y83.648
 N1157 X48.648
 N1158 Y36.352
 N1159 X36.352
 N1160 Y61.627
 N1161 G2 X36.852 Y62.95 I=AC(38.352)
 J=AC(61.627)
 N1162 G3 X37.352 Y64.273 I=AC(35.352)
 J=AC(64.273)
 N1163 G1 Y82.648
 N1164 X47.648
 N1165 Y37.352
 N1166 X37.352
 N1167 Y64.273

N1168 G2 X37.852 Y65.596 I=AC(39.352)
 J=AC(64.273)
 N1169 G3 X38.352 Y66.919 I=AC(36.352)
 J=AC(66.919)
 N1170 G1 Y81.648
 N1171 X46.648
 N1172 Y38.352
 N1173 X38.352
 N1174 Y66.919
 N1175 G2 X38.852 Y68.242 I=AC(40.352)
 J=AC(66.919)
 N1176 G3 X39.352 Y69.565 I=AC(37.352)
 J=AC(69.565)
 N1177 G1 Y80.648
 N1178 X45.648
 N1179 Y39.352
 N1180 X39.352
 N1181 Y69.565
 N1182 G2 X39.852 Y70.888 I=AC(41.352)
 J=AC(69.565)
 N1183 G3 X40.352 Y72.21 I=AC(38.352)
 J=AC(72.21)
 N1184 G1 Y79.648
 N1185 X44.648
 N1186 Y40.352
 N1187 X40.352
 N1188 Y72.21
 N1189 G2 X40.852 Y73.533 I=AC(42.352)
 J=AC(72.21)
 N1190 G3 X41.352 Y74.856 I=AC(39.352)
 J=AC(74.856)
 N1191 G1 Y78.648
 N1192 X43.648
 N1193 Y41.352
 N1194 X41.352
 N1195 Y74.856
 N1196 G2 X41.852 Y76.179 I=AC(43.352)
 J=AC(74.856)
 N1197 G3 X42.352 Y77.648 I=AC(40.158)
 J=AC(77.575)
 N1198 G1 X42.648
 N1199 Y42.352
 N1200 G0 Z2
 N1201 X55.646 Y28.831
 N1202 Z-2.5
 N1203 G3 X55.846 Y28.631 I=AC(55.846)
 J=AC(28.831)
 N1204 G1 X56.369 Z-2.527
 N1205 Y74.857 Z-4.95
 N1206 Y28.631
 N1207 X28.631
 N1208 Y91.369
 N1209 X56.369
 N1210 Y74.857
 N1211 G2 X55.869 Y73.534 I=AC(54.369)
 J=AC(74.857)
 N1212 G3 X55.369 Y72.212 I=AC(57.369)
 J=AC(72.212)
 N1213 G1 Y29.631
 N1214 X29.631
 N1215 Y90.369
 N1216 X55.369
 N1217 Y72.212
 N1218 G2 X54.869 Y70.889 I=AC(53.369)
 J=AC(72.212)
 N1219 G3 X54.369 Y69.566 I=AC(56.369)
 J=AC(69.566)
 N1220 G1 Y30.631
 N1221 X30.631
 N1222 Y89.369
 N1223 X54.369
 N1224 Y69.566
 N1225 G2 X53.869 Y68.243 I=AC(52.369)
 J=AC(69.566)
 N1226 G3 X53.369 Y66.92 I=AC(55.369)
 J=AC(66.92)
 N1227 G1 Y31.631
 N1228 X31.631
 N1229 Y88.369
 N1230 X53.369
 N1231 Y66.92
 N1232 G2 X52.869 Y65.597 I=AC(51.369)
 J=AC(66.92)
 N1233 G3 X52.369 Y64.274 I=AC(54.369)
 J=AC(64.274)
 N1234 G1 Y32.631
 N1235 X32.631
 N1236 Y87.369
 N1237 X52.369
 N1238 Y64.274
 N1239 G2 X51.869 Y62.951 I=AC(50.369)
 J=AC(64.274)
 N1240 G3 X51.369 Y61.628 I=AC(53.369)
 J=AC(61.628)
 N1241 G1 Y33.631
 N1242 X33.631
 N1243 Y86.369
 N1244 X51.369
 N1245 Y61.628
 N1246 G2 X50.869 Y60.306 I=AC(49.369)
 J=AC(61.628)
 N1247 G3 X50.369 Y58.983 I=AC(52.369)
 J=AC(58.983)
 N1248 G1 Y34.631
 N1249 X34.631
 N1250 Y85.369
 N1251 X50.369
 N1252 Y58.983
 N1253 G2 X49.869 Y57.66 I=AC(48.369)
 J=AC(58.983)
 N1254 G3 X49.369 Y56.337 I=AC(51.369)
 J=AC(56.337)
 N1255 G1 Y35.631
 N1256 X35.631
 N1257 Y84.369
 N1258 X49.369
 N1259 Y56.337
 N1260 G2 X48.869 Y55.014 I=AC(47.369)
 J=AC(56.337)
 N1261 G3 X48.369 Y53.691 I=AC(50.369)
 J=AC(53.691)
 N1262 G1 Y36.631
 N1263 X36.631
 N1264 Y83.369
 N1265 X48.369
 N1266 Y53.691
 N1267 G2 X47.869 Y52.368 I=AC(46.369)
 J=AC(53.691)
 N1268 G3 X47.369 Y51.045 I=AC(49.369)
 J=AC(51.045)
 N1269 G1 Y37.631
 N1270 X37.631
 N1271 Y82.369
 N1272 X47.369
 N1273 Y51.045
 N1274 G2 X46.869 Y49.723 I=AC(45.369)
 J=AC(51.045)
 N1275 G3 X46.369 Y48.4 I=AC(48.369)
 J=AC(48.4)
 N1276 G1 Y38.631
 N1277 X38.631
 N1278 Y81.369
 N1279 X46.369
 N1280 Y48.4
 N1281 G2 X45.869 Y47.077 I=AC(44.369)
 J=AC(48.4)
 N1282 G3 X45.369 Y45.754 I=AC(47.369)
 J=AC(45.754)
 N1283 G1 Y39.631
 N1284 X39.631
 N1285 Y80.369
 N1286 X45.369
 N1287 Y45.754
 N1288 G2 X44.869 Y44.431 I=AC(43.369)
 J=AC(45.754)
 N1289 G3 X44.369 Y43.108 I=AC(46.369)
 J=AC(43.108)
 N1290 G1 Y40.631
 N1291 X40.631
 N1292 Y79.369
 N1293 X44.369
 N1294 Y43.108
 N1295 G2 X42.684 Y41.62 I=AC(42.869)
 J=AC(43.108)
 N1296 G1 X41.631 Y41.631
 N1297 Y78.369
 N1298 X43.369
 N1299 Y41.631
 N1300 G0 Z22
 N1301 X32.8 Y26.007
 N1302 Z17
 N1303 Z1.6
 N1304 G1 Z-4
 N1305 X22.8 Y26.006
 N1306 Y25.22
 N1307 G3 X24.331 Y22.941 I=AC(25.062)
 J=AC(25.086)
 N1308 G1 X25.22 Y22.8
 N1309 X59.779
 N1310 G3 X62.059 Y24.331 I=AC(59.914)
 J=AC(25.063)
 N1311 G1 X62.2 Y25.22
 N1312 Y97.199
 N1313 G3 X22.801 Y97.2 I=AC(36.007)
 J=AC(-329630.456)
 N1314 G1 X22.8 Y94.002
 N1315 Y35.194
 N1316 Y26.006
 N1317 X34.035
 N1318 Z-85
 N1319 X24.035
 N1320 G3 X24.717 Y24.13 I=AC(25.464)
 J=AC(25.464)
 N1321 G1 X25.317 Y24.035
 N1322 X51.996
 N1323 X59.683
 N1324 G3 X60.87 Y24.717 I=AC(59.859)
 J=AC(25.102)
 N1325 G1 X60.965 Y25.317
 N1326 Y95.965
 N1327 G3 X24.035 Y95.965 I=AC(36.633)
 J=AC(-452836.665)
 N1328 G1 Y88.401
 N1329 Y29.593
 N1330 Y26.006
 N1331 X34.931 Y26.007
 N1332 Z-1.3
 N1333 X24.931 Y26.006
 N1334 Y25.388
 N1335 X24.993 Y24.997
 N1336 X25.388 Y24.931
 N1337 X59.612
 N1338 X60.002 Y24.992
 N1339 X60.069 Y25.388
 N1340 Y95.069
 N1341 G3 X24.931 Y95.07 I=AC(37.082)
 J=AC(-366043.008)
 N1342 G1 Y88.401
 N1343 Y29.593
 N1344 Y26.006
 N1345 X35.651
 N1346 Z-1.75
 N1347 X25.651
 N1348 Y25.651
 N1349 X35.194
 N1350 X51.996
 N1351 X59.349
 N1352 Y35.194
 N1353 Y85.601
 N1354 Y94.349
 N1355 X51.996
 N1356 X43.595
 N1357 X35.194
 N1358 X25.651
 N1359 Y88.401
 N1360 Y29.593
 N1361 Y26.006
 N1362 X25.784 Y23.874 Z-.889
 N1363 X25.791 Y23.759 Z-.842
 N1364 X25.793 Y23.722 Z-.826
 N1365 X25.798 Y23.645 Z-.796
 N1366 X25.803 Y23.569 Z-.766
 N1367 X25.879 Y22.351 Z-.383
 N1368 X25.955 Y21.132 Z-.165
 N1369 X25.974 Y20.827 Z-.135
 N1370 X25.992 Y20.523 Z-.114
 N1371 X26.002 Y20.37 Z-.107
 N1372 X26.011 Y20.218 Z-.102
 N1373 X26.016 Y20.142 Z-.101
 N1374 X26.021 Y20.066 Z-.1
 N1375 X26.03 Y19.913
 N1376 X26.258 Y16.258
 N1377 Y19.591
 N1378 Y20.008
 N1379 Y20.216 Z-.102
 N1380 Y20.424 Z-.109
 N1381 Y20.841 Z-.136
 N1382 Y21.258 Z-.18
 N1383 Y22.091 Z-.323
 N1384 Y22.924 Z-.542
 N1385 Y23.758 Z-.841
 N1386 Y24.591 Z-1.229
 N1387 Y24.799 Z-1.341
 N1388 Y25.008 Z-1.46
 N1389 Y25.112 Z-1.522
 N1390 Y25.217 Z-1.586
 N1391 Y25.424 Z-1.714
 N1392 Y26.258 Z-2.2
 N1393 X32.393
 N1394 X49.196
 N1395 X58.742
 N1396 Y35.194
 N1397 Y85.601
 N1398 Y93.742
 N1399 X51.996
 N1400 X43.595
 N1401 X35.194
 N1402 X26.258
 N1403 Y88.401
 N1404 Y29.593
 N1405 Y26.258
 N1406 X26.781 Y36.781
 N1407 Z-2.65
 N1408 Y26.781
 N1409 X32.393
 N1410 X49.196
 N1411 X58.219
 N1412 Y35.194
 N1413 Y85.601
 N1414 Y93.219
 N1415 X51.996
 N1416 X43.595
 N1417 X35.194
 N1418 X26.781
 N1419 Y88.401
 N1420 Y29.593
 N1421 Y26.781
 N1422 X26.834 Y25.662 Z-1.879
 N1423 X26.838 Y25.588 Z-1.828
 N1424 X26.866 Y24.991 Z-1.45
 N1425 X26.895 Y24.395 Z-1.129
 N1426 X26.952 Y23.202 Z-.632
 N1427 X27.009 Y22.009 Z-.306

N1428 X27.038 Y21.413 Z-.201
N1429 X27.067 Y20.817 Z-.134
N1430 X27.081 Y20.518 Z-.114
N1431 X27.095 Y20.22 Z-.102
N1432 X27.099 Y20.146 Z-.101
N1433 X27.102 Y20.071 Z-.1
N1434 X27.109 Y19.922
N1435 X27.238 Y17.238
N1436 Y19.946
N1437 Y20.051
N1438 Y20.103 Z-.101
N1439 Y20.155
N1440 Y20.363 Z-.107
N1441 Y20.571 Z-.117
N1442 Y22.238 Z-.356
N1443 Y23.905 Z-.903
N1444 Y24.738 Z-1.307
N1445 Y25.571 Z-1.817
N1446 Y25.988 Z-2.116
N1447 Y26.406 Z-2.452
N1448 Y27.238 Z-3.1
N1449 X32.393
N1450 X49.196
N1451 X57.762
N1452 Y32.393
N1453 Y82.8
N1454 Y92.762
N1455 X51.996
N1456 X43.595
N1457 X35.194
N1458 X27.238
N1459 Y82.8
N1460 Y32.393
N1461 Y27.238
N1462 X27.642 Y37.642
N1463 Z-3.55
N1464 Y27.642
N1465 X32.393
N1466 X49.196
N1467 X57.358
N1468 Y32.393
N1469 Y82.8
N1470 Y92.358
N1471 X51.996
N1472 X43.595
N1473 X35.194
N1474 X27.642
N1475 Y82.8
N1476 Y32.393
N1477 Y27.642
N1478 X28 Y38
N1479 Z-4
N1480 Y28
N1481 X57
N1482 Y92
N1483 G3 X28 Y92 I=AC(52.05) J=AC(-
137468603.509)
N1484 G1 Y32.393
N1485 Y28
N1486 X28.319 Y38.319
N1487 Z-4.45
N1488 Y28.319
N1489 X56.682
N1490 Y91.682
N1491 G3 X28.319 Y91.682 I=AC(51.703)
J=AC(-125259331.822)
N1492 G1 Y32.393
N1493 Y28.319
N1494 X28.602 Y38.602
N1495 Z-4.9
N1496 Y28.602
N1497 X56.398
N1498 Y91.398
N1499 G3 X28.602 Y91.398 I=AC(51.555)
J=AC(-117048807.113)
N1500 G1 Y32.393
N1501 Y28.602
N1502 Z5.1
N1503 G0 Z17
N1504 Z17
N1505 G0 G53 Z-110 D0
N1506 M5
N1507 G0 G53 X-280 Y0
N1508 M30

CONDIÇÃO 4: Interpolação circular e tolerância igual a 0,05 mm.

```

%_N_1_P_TUB_MPF
;$_PATH=/_N_MPF_DIRCIRCULAR
CAPINHA
N1 G64 G40 G90 G17
;BALL NOSE MILL FR_HEMI-020010-SA50
N2 D0
N3 T6
N4 M6
N5 S3183 M3
N6 G64 F954.93 CFTCP
N7 G54 D1
N8 G0 X61.834 Y40.494
N9 Z22 M9
N10 Z2
N11 G3 X62.034 Y40.694 I=AC(61.834)
J=AC(40.694)
N12 G1 Y87.443 Z-.45
N13 Y25.194
N14 X61.94 Y24.481
N15 G2 X60.52 Y23.06 I=AC(60) J=AC(25)
N16 G1 X59.806 Y22.966
N17 X25.194
N18 X24.48 Y23.06
N19 G2 X23.06 Y24.48 I=AC(25) J=AC(25)
N20 G1 X22.966 Y25.194
N21 Y97.033
N22 X62.033 Y97.034
N23 X62.034 Y87.443
N24 G2 X61.534 Y86.12 I=AC(60.034)
J=AC(87.443)
N25 G3 X61.034 Y84.797 I=AC(63.034)
J=AC(84.797)
N26 G1 Y25.26
N27 X60.959 Y24.687
N28 G2 X60.313 Y24.041 I=AC(60)
J=AC(25)
N29 G1 X59.74 Y23.966
N30 X25.26
N31 X24.687 Y24.041
N32 G2 X24.042 Y24.687 I=AC(25)
J=AC(25)
N33 G1 X23.966 Y25.259
N34 Y96.033
N35 X61.033 Y96.034
N36 X61.034 Y84.797
N37 G2 X60.534 Y83.475 I=AC(59.034)
J=AC(84.797)
N38 G3 X60.034 Y82.152 I=AC(62.034)
J=AC(82.152)
N39 G1 Y25.325
N40 X59.992 Y25.008
N41 X59.675 Y24.966
N42 X25.325
N43 X25.008 Y25.008
N44 X24.966 Y25.325
N45 Y95.033
N46 X60.033 Y95.034
N47 X60.034 Y82.152
N48 G2 X59.534 Y80.829 I=AC(58.034)
J=AC(82.152)
N49 G3 X59.034 Y79.506 I=AC(61.034)
J=AC(79.506)
N50 G1 Y25.966
N51 X25.966
N52 Y94.033
N53 X59.033 Y94.034
N54 X59.034 Y79.506
N55 G2 X58.534 Y78.183 I=AC(57.034)
J=AC(79.506)
N56 G3 X58.034 Y76.86 I=AC(60.034)
J=AC(76.86)
N57 G1 Y26.966
N58 X26.966
N59 Y93.033
N60 X58.034 Y93.034
N61 Y76.86
N62 G2 X57.534 Y75.537 I=AC(56.034)
J=AC(76.86)
N63 G3 X57.034 Y74.214 I=AC(59.034)
J=AC(74.214)
N64 G1 Y27.966
N65 X27.966
N66 Y92.033
N67 X57.034 Y92.034
N68 Y74.214
N69 G2 X56.534 Y72.892 I=AC(55.034)
J=AC(74.214)
N70 G3 X56.034 Y71.569 I=AC(58.034)
J=AC(71.569)
N71 G1 Y28.966
N72 X28.966
N73 Y91.033
N74 X56.034 Y91.034
N75 Y71.569
N76 G2 X55.534 Y70.246 I=AC(54.034)
J=AC(71.569)
N77 G3 X55.034 Y68.923 I=AC(57.034)
J=AC(68.923)
N78 G1 Y29.966
N79 X29.966
N80 Y90.033
N81 X55.034 Y90.034
N82 Y68.923
N83 G2 X54.534 Y67.6 I=AC(53.034)
J=AC(68.923)
N84 G3 X54.034 Y66.277 I=AC(56.034)
J=AC(66.277)
N85 G1 Y30.966
N86 X30.966
N87 Y89.033
N88 X54.034 Y89.034
N89 Y66.277
N90 G2 X53.534 Y64.954 I=AC(52.034)
J=AC(66.277)
N91 G3 X53.034 Y63.631 I=AC(55.034)
J=AC(63.631)
N92 G1 Y31.966
N93 X31.966
N94 Y88.033
N95 X53.034 Y88.034
N96 Y63.631
N97 G2 X52.534 Y62.308 I=AC(51.034)
J=AC(63.631)
N98 G3 X52.034 Y60.986 I=AC(54.034)
J=AC(60.986)
N99 G1 Y32.966
N100 X32.966
N101 Y87.033
N102 X52.034 Y87.034
N103 Y60.986
N104 G2 X51.534 Y59.663 I=AC(50.034)
J=AC(60.986)
N105 G3 X51.034 Y58.34 I=AC(53.034)
J=AC(58.34)
N106 G1 Y33.966
N107 X33.966
N108 Y86.033
N109 X51.034 Y86.034
N110 Y58.34
N111 G2 X50.534 Y57.017 I=AC(49.034)
J=AC(58.34)
N112 G3 X50.034 Y55.694 I=AC(52.034)
J=AC(55.694)
N113 G1 Y34.966
N114 X34.966
N115 Y85.033
N116 X50.034 Y85.034
N117 Y55.694
N118 G2 X49.534 Y54.371 I=AC(48.034)
J=AC(55.694)
N119 G3 X49.034 Y53.048 I=AC(51.034)
J=AC(53.048)
N120 G1 Y35.966
N121 X35.966
N122 Y84.033
N123 X49.034 Y84.034
N124 Y53.048
N125 G2 X48.534 Y51.725 I=AC(47.034)
J=AC(53.048)
N126 G3 X48.034 Y50.403 I=AC(50.034)
J=AC(50.403)
N127 G1 Y36.966
N128 X36.966
N129 Y83.033
N130 X48.034 Y83.034
N131 Y50.403
N132 G2 X47.534 Y49.08 I=AC(46.034)
J=AC(50.403)
N133 G3 X47.034 Y47.757 I=AC(49.034)
J=AC(47.757)
N134 G1 Y37.966
N135 X37.966
N136 Y82.033
N137 X47.034 Y82.034
N138 Y47.757
N139 G2 X46.534 Y46.434 I=AC(45.034)
J=AC(47.757)
N140 G3 X46.034 Y45.111 I=AC(48.034)
J=AC(45.111)
N141 G1 Y38.966
N142 X38.966
N143 Y81.033
N144 X46.034 Y81.034
N145 Y45.111
N146 G2 X45.534 Y43.788 I=AC(44.034)
J=AC(45.111)
N147 G3 X45.034 Y42.465 I=AC(47.034)
J=AC(42.465)
N148 G1 Y39.966
N149 X39.966
N150 Y80.033
N151 X45.034 Y80.034
N152 Y42.465
N153 G2 X43.5 Y40.966 I=AC(43.534)
J=AC(42.465)
N154 G1 X40.966
N155 Y79.034
N156 X44.034
N157 Y40.966
N158 X43.466
N159 G2 X41.966 Y42.483 I=AC(43.466)
J=AC(42.466)
N160 G1 Y78.034
N161 X43.034
N162 Y41.966
N163 G0 Z3.55
N164 X60.654 Y41.144
N165 Z1.55
N166 G3 X60.854 Y41.344 I=AC(60.654)
J=AC(41.344)
N167 G1 Y88.092 Z-.9
N168 Y25.272
N169 X60.79 Y24.788
N170 G2 X60.409 Y24.291 I=AC(60)
J=AC(25)
N171 G2 X59.729 Y24.146 I=AC(59.797)
J=AC(25.49)
N172 G1 X25.271
N173 X24.789 Y24.21
N174 G2 X24.292 Y24.591 I=AC(25)
J=AC(25)
N175 G2 X24.146 Y25.272 I=AC(25.488)
J=AC(25.203)
N176 G1 Y95.853
N177 X60.854 Y95.854
N178 Y88.092
N179 G2 X60.354 Y86.77 I=AC(58.854)
J=AC(88.092)
N180 G3 X59.854 Y85.447 I=AC(61.854)
J=AC(85.447)
N181 G1 X59.829 Y25.146
N182 X25.146 Y25.171
N183 Y94.853
N184 X59.854 Y94.854
N185 Y85.447
N186 G2 X59.354 Y84.124 I=AC(57.854)
J=AC(85.447)
N187 G3 X58.854 Y82.801 I=AC(60.854)
J=AC(82.801)
N188 G1 Y26.146
N189 X26.146
N190 Y93.853
N191 X58.854 Y93.854
N192 Y82.801
N193 G2 X58.354 Y81.478 I=AC(56.854)
J=AC(82.801)
N194 G3 X57.854 Y80.155 I=AC(59.854)
J=AC(80.155)
N195 G1 Y27.146
N196 X27.146
N197 Y92.853
N198 X57.854 Y92.854
N199 Y80.155
N200 G2 X57.354 Y78.832 I=AC(55.854)
J=AC(80.155)
N201 G3 X56.854 Y77.509 I=AC(58.854)
J=AC(77.509)
N202 G1 Y28.146
N203 X28.146
N204 Y91.853
N205 X56.854 Y91.854
N206 Y77.509
N207 G2 X56.354 Y76.187 I=AC(54.854)
J=AC(77.509)
N208 G3 X55.854 Y74.864 I=AC(57.854)
J=AC(74.864)
N209 G1 Y29.146
N210 X29.146
N211 Y90.853
N212 X55.854 Y90.854
N213 Y74.864
N214 G2 X55.354 Y73.541 I=AC(53.854)
J=AC(74.864)
N215 G3 X54.854 Y72.218 I=AC(56.854)
J=AC(72.218)
N216 G1 Y30.146
N217 X30.146
N218 Y89.853
N219 X54.854 Y89.854
N220 Y72.218
N221 G2 X54.354 Y70.895 I=AC(52.854)
J=AC(72.218)
N222 G3 X53.854 Y69.572 I=AC(55.854)
J=AC(69.572)

```

N223 G1 Y31.146
 N224 X31.146
 N225 Y88.853
 N226 X53.854 Y88.854
 N227 Y69.572
 N228 G2 X53.354 Y68.249 I=AC(51.854)
 J=AC(69.572)
 N229 G3 X52.854 Y66.926 I=AC(54.854)
 J=AC(66.926)
 N230 G1 Y32.146
 N231 X32.146
 N232 Y87.853
 N233 X52.854 Y87.854
 N234 Y66.926
 N235 G2 X52.354 Y65.604 I=AC(50.854)
 J=AC(66.926)
 N236 G3 X51.854 Y64.281 I=AC(53.854)
 J=AC(64.281)
 N237 G1 Y33.146
 N238 X33.146
 N239 Y86.854
 N240 X51.854
 N241 Y64.281
 N242 G2 X51.354 Y62.958 I=AC(49.854)
 J=AC(64.281)
 N243 G3 X50.854 Y61.635 I=AC(52.854)
 J=AC(61.635)
 N244 G1 Y34.146
 N245 X34.146
 N246 Y85.854
 N247 X50.854
 N248 Y61.635
 N249 G2 X50.354 Y60.312 I=AC(48.854)
 J=AC(61.635)
 N250 G3 X49.854 Y58.989 I=AC(51.854)
 J=AC(58.989)
 N251 G1 Y35.146
 N252 X35.146
 N253 Y84.854
 N254 X49.854
 N255 Y58.989
 N256 G2 X49.354 Y57.666 I=AC(47.854)
 J=AC(58.989)
 N257 G3 X48.854 Y56.343 I=AC(50.854)
 J=AC(56.343)
 N258 G1 Y36.146
 N259 X36.146
 N260 Y83.854
 N261 X48.854
 N262 Y56.343
 N263 G2 X48.354 Y55.021 I=AC(46.854)
 J=AC(56.343)
 N264 G3 X47.854 Y53.698 I=AC(49.854)
 J=AC(53.698)
 N265 G1 Y37.146
 N266 X37.146
 N267 Y82.854
 N268 X47.854
 N269 Y53.698
 N270 G2 X47.354 Y52.375 I=AC(45.854)
 J=AC(53.698)
 N271 G3 X46.854 Y51.052 I=AC(48.854)
 J=AC(51.052)
 N272 G1 Y38.146
 N273 X38.146
 N274 Y81.854
 N275 X46.854
 N276 Y51.052
 N277 G2 X46.354 Y49.729 I=AC(44.854)
 J=AC(51.052)
 N278 G3 X45.854 Y48.406 I=AC(47.854)
 J=AC(48.406)
 N279 G1 Y39.146
 N280 X39.146
 N281 Y80.854
 N282 X45.854
 N283 Y48.406
 N284 G2 X45.354 Y47.083 I=AC(43.854)
 J=AC(48.406)
 N285 G3 X44.854 Y45.76 I=AC(46.854)
 J=AC(45.76)
 N286 G1 Y40.146
 N287 X40.146
 N288 Y79.854
 N289 X44.854
 N290 Y45.76
 N291 G2 X44.354 Y44.437 I=AC(42.854)
 J=AC(45.76)
 N292 G3 X43.854 Y43.115 I=AC(45.854)
 J=AC(43.115)
 N293 G1 Y41.146
 N294 X41.146
 N295 Y78.854
 N296 X43.854
 N297 Y43.115
 N298 G2 X42.677 Y42.13 I=AC(42.854)
 J=AC(43.115)
 N299 G1 X42.146 Y42.146
 N300 Y77.854
 N301 G0 Z3.1
 N302 X25.218 Y79.472

N303 Z1.1
 N304 G3 X25.018 Y79.272 I=AC(25.218)
 J=AC(79.272)
 N305 G1 Y32.524 Z-1.35
 N306 Y94.981
 N307 X59.982 Y94.982
 N308 Y25.329
 N309 X59.946 Y25.054
 N310 X59.673 Y25.018
 N311 X25.329
 N312 X25.054 Y25.054
 N313 X25.018 Y25.329
 N314 Y32.524
 N315 G2 X25.518 Y33.847 I=AC(27.018)
 J=AC(32.524)
 N316 G3 X26.018 Y35.169 I=AC(24.018)
 J=AC(35.169)
 N317 G1 Y93.981
 N318 X58.982 Y93.982
 N319 Y26.018
 N320 X26.018
 N321 Y35.169
 N322 G2 X26.518 Y36.492 I=AC(28.018)
 J=AC(35.169)
 N323 G3 X27.018 Y37.815 I=AC(25.018)
 J=AC(37.815)
 N324 G1 Y92.982
 N325 X57.982
 N326 Y27.018
 N327 X27.018
 N328 Y37.815
 N329 G2 X27.518 Y39.138 I=AC(29.018)
 J=AC(37.815)
 N330 G3 X28.018 Y40.461 I=AC(26.018)
 J=AC(40.461)
 N331 G1 Y91.982
 N332 X56.982
 N333 Y28.018
 N334 X28.018
 N335 Y40.461
 N336 G2 X28.518 Y41.784 I=AC(30.018)
 J=AC(40.461)
 N337 G3 X29.018 Y43.107 I=AC(27.018)
 J=AC(43.107)
 N338 G1 Y90.982
 N339 X55.982
 N340 Y29.018
 N341 X29.018
 N342 Y43.107
 N343 G2 X29.518 Y44.43 I=AC(31.018)
 J=AC(43.107)
 N344 G3 X30.018 Y45.752 I=AC(28.018)
 J=AC(45.752)
 N345 G1 Y89.982
 N346 X54.982
 N347 Y30.018
 N348 X30.018
 N349 Y45.752
 N350 G2 X30.518 Y47.075 I=AC(32.018)
 J=AC(45.752)
 N351 G3 X31.018 Y48.398 I=AC(29.018)
 J=AC(48.398)
 N352 G1 Y88.982
 N353 X53.982
 N354 Y31.018
 N355 X31.018
 N356 Y48.398
 N357 G2 X31.518 Y49.721 I=AC(33.018)
 J=AC(48.398)
 N358 G3 X32.018 Y51.044 I=AC(30.018)
 J=AC(51.044)
 N359 G1 Y87.982
 N360 X52.982
 N361 Y32.018
 N362 X32.018
 N363 Y51.044
 N364 G2 X32.518 Y52.367 I=AC(34.018)
 J=AC(51.044)
 N365 G3 X33.018 Y53.69 I=AC(31.018)
 J=AC(53.69)
 N366 G1 Y86.982
 N367 X51.982
 N368 Y33.018
 N369 X33.018
 N370 Y53.69
 N371 G2 X33.518 Y55.013 I=AC(35.018)
 J=AC(53.69)
 N372 G3 X34.018 Y56.335 I=AC(32.018)
 J=AC(56.335)
 N373 G1 Y85.982
 N374 X50.982
 N375 Y34.018
 N376 X34.018
 N377 Y56.335
 N378 G2 X34.518 Y57.658 I=AC(36.018)
 J=AC(56.335)
 N379 G3 X35.018 Y58.981 I=AC(33.018)
 J=AC(58.981)
 N380 G1 Y84.982
 N381 X49.982
 N382 Y35.018

N383 X35.018
 N384 Y58.981
 N385 G2 X35.518 Y60.304 I=AC(37.018)
 J=AC(58.981)
 N386 G3 X36.018 Y61.627 I=AC(34.018)
 J=AC(61.627)
 N387 G1 Y83.982
 N388 X48.982
 N389 Y36.018
 N390 X36.018
 N391 Y61.627
 N392 G2 X36.518 Y62.95 I=AC(38.018)
 J=AC(61.627)
 N393 G3 X37.018 Y64.273 I=AC(35.018)
 J=AC(64.273)
 N394 G1 Y82.982
 N395 X47.982
 N396 Y37.018
 N397 X37.018
 N398 Y64.273
 N399 G2 X37.518 Y65.596 I=AC(39.018)
 J=AC(64.273)
 N400 G3 X38.018 Y66.918 I=AC(36.018)
 J=AC(66.918)
 N401 G1 Y81.982
 N402 X46.982
 N403 Y38.018
 N404 X38.018
 N405 Y66.918
 N406 G2 X38.518 Y68.241 I=AC(40.018)
 J=AC(66.918)
 N407 G3 X39.018 Y69.564 I=AC(37.018)
 J=AC(69.564)
 N408 G1 Y80.982
 N409 X45.982
 N410 Y39.018
 N411 X39.018
 N412 Y69.564
 N413 G2 X39.518 Y70.887 I=AC(41.018)
 J=AC(69.564)
 N414 G3 X40.018 Y72.21 I=AC(38.018)
 J=AC(72.21)
 N415 G1 Y79.982
 N416 X44.982
 N417 Y40.018
 N418 X40.018
 N419 Y72.21
 N420 G2 X40.518 Y73.533 I=AC(42.018)
 J=AC(72.21)
 N421 G3 X41.018 Y74.856 I=AC(39.018)
 J=AC(74.856)
 N422 G1 Y78.982
 N423 X43.982
 N424 Y41.018
 N425 X41.018
 N426 Y74.856
 N427 G2 X41.518 Y76.179 I=AC(43.018)
 J=AC(74.856)
 N428 G3 X42.018 Y77.982 I=AC(39.382)
 J=AC(77.982)
 N429 G1 X42.982
 N430 Y42.018
 N431 G0 Z2.65
 N432 X59.076 Y35.948
 N433 Z.65
 N434 G3 X59.276 Y36.148 I=AC(59.076)
 J=AC(36.148)
 N435 G1 Y82.897 Z-1.8
 N436 Y25.724
 N437 X25.724
 N438 Y94.276
 N439 X59.276
 N440 Y82.897
 N441 G2 X58.776 Y81.574 I=AC(57.276)
 J=AC(82.897)
 N442 G3 X58.276 Y80.251 I=AC(60.276)
 J=AC(80.251)
 N443 G1 Y26.724
 N444 X26.724
 N445 Y93.276
 N446 X58.276
 N447 Y80.251
 N448 G2 X57.776 Y78.929 I=AC(56.276)
 J=AC(80.251)
 N449 G3 X57.276 Y77.606 I=AC(59.276)
 J=AC(77.606)
 N450 G1 Y27.724
 N451 X27.724
 N452 Y92.276
 N453 X57.276
 N454 Y77.606
 N455 G2 X56.776 Y76.283 I=AC(55.276)
 J=AC(77.606)
 N456 G3 X56.276 Y74.96 I=AC(58.276)
 J=AC(74.96)
 N457 G1 Y28.724
 N458 X28.724
 N459 Y91.276
 N460 X56.276
 N461 Y74.96

N462 G2 X55.776 Y73.637 I=AC(54.276)
 J=AC(74.96)
 N463 G3 X55.276 Y72.314 I=AC(57.276)
 J=AC(72.314)
 N464 G1 Y29.724
 N465 X29.724
 N466 Y90.276
 N467 X55.276
 N468 Y72.314
 N469 G2 X54.776 Y70.991 I=AC(53.276)
 J=AC(72.314)
 N470 G3 X54.276 Y69.668 I=AC(56.276)
 J=AC(69.668)
 N471 G1 Y30.724
 N472 X30.724
 N473 Y89.276
 N474 X54.276
 N475 Y69.668
 N476 G2 X53.776 Y68.346 I=AC(52.276)
 J=AC(69.668)
 N477 G3 X53.276 Y67.023 I=AC(55.276)
 J=AC(67.023)
 N478 G1 Y31.724
 N479 X31.724
 N480 Y88.276
 N481 X53.276
 N482 Y67.023
 N483 G2 X52.776 Y65.7 I=AC(51.276)
 J=AC(67.023)
 N484 G3 X52.276 Y64.377 I=AC(54.276)
 J=AC(64.377)
 N485 G1 Y32.724
 N486 X32.724
 N487 Y87.276
 N488 X52.276
 N489 Y64.377
 N490 G2 X51.776 Y63.054 I=AC(50.276)
 J=AC(64.377)
 N491 G3 X51.276 Y61.731 I=AC(53.276)
 J=AC(61.731)
 N492 G1 Y33.724
 N493 X33.724
 N494 Y86.276
 N495 X51.276
 N496 Y61.731
 N497 G2 X50.776 Y60.408 I=AC(49.276)
 J=AC(61.731)
 N498 G3 X50.276 Y59.085 I=AC(52.276)
 J=AC(59.085)
 N499 G1 Y34.724
 N500 X34.724
 N501 Y85.276
 N502 X50.276
 N503 Y59.085
 N504 G2 X49.776 Y57.763 I=AC(48.276)
 J=AC(59.085)
 N505 G3 X49.276 Y56.44 I=AC(51.276)
 J=AC(56.44)
 N506 G1 Y35.724
 N507 X35.724
 N508 Y84.276
 N509 X49.276
 N510 Y56.44
 N511 G2 X48.776 Y55.117 I=AC(47.276)
 J=AC(56.44)
 N512 G3 X48.276 Y53.794 I=AC(50.276)
 J=AC(53.794)
 N513 G1 Y36.724
 N514 X36.724
 N515 Y83.276
 N516 X48.276
 N517 Y53.794
 N518 G2 X47.776 Y52.471 I=AC(46.276)
 J=AC(53.794)
 N519 G3 X47.276 Y51.148 I=AC(49.276)
 J=AC(51.148)
 N520 G1 Y37.724
 N521 X37.724
 N522 Y82.276
 N523 X47.276
 N524 Y51.148
 N525 G2 X46.776 Y49.825 I=AC(45.276)
 J=AC(51.148)
 N526 G3 X46.276 Y48.502 I=AC(48.276)
 J=AC(48.502)
 N527 G1 Y38.724
 N528 X38.724
 N529 Y81.276
 N530 X46.276
 N531 Y48.502
 N532 G2 X45.776 Y47.18 I=AC(44.276)
 J=AC(48.502)
 N533 G3 X45.276 Y45.857 I=AC(47.276)
 J=AC(45.857)
 N534 G1 Y39.724
 N535 X39.724
 N536 Y80.276
 N537 X45.276
 N538 Y45.857
 N539 G2 X44.776 Y44.534 I=AC(43.276)
 J=AC(45.857)
 N540 G3 X44.276 Y43.211 I=AC(46.276)
 J=AC(43.211)
 N541 G1 Y40.724
 N542 X40.724
 N543 Y79.276
 N544 X44.276
 N545 Y43.211
 N546 G2 X42.639 Y41.717 I=AC(42.776)
 J=AC(43.211)
 N547 G1 X41.724 Y41.724
 N548 Y78.276
 N549 X43.276
 N550 Y41.724
 N551 G0 Z2.2
 N552 X58.48 Y36.049
 N553 Z.2
 N554 G3 X58.68 Y36.249 I=AC(58.48)
 J=AC(36.249)
 N555 G1 Y82.998 Z-2.25
 N556 Y26.32
 N557 X26.32
 N558 Y93.68
 N559 X58.68
 N560 Y82.998
 N561 G2 X58.18 Y81.675 I=AC(56.68)
 J=AC(82.998)
 N562 G3 X57.68 Y80.352 I=AC(59.68)
 J=AC(80.352)
 N563 G1 Y27.32
 N564 X27.32
 N565 Y92.68
 N566 X57.68
 N567 Y80.352
 N568 G2 X57.18 Y79.029 I=AC(55.68)
 J=AC(80.352)
 N569 G3 X56.68 Y77.706 I=AC(58.68)
 J=AC(77.706)
 N570 G1 Y28.32
 N571 X28.32
 N572 Y91.68
 N573 X56.68
 N574 Y77.706
 N575 G2 X56.18 Y76.383 I=AC(54.68)
 J=AC(77.706)
 N576 G3 X55.68 Y75.061 I=AC(57.68)
 J=AC(75.061)
 N577 G1 Y29.32
 N578 X29.32
 N579 Y90.68
 N580 X55.68
 N581 Y75.061
 N582 G2 X55.18 Y73.738 I=AC(53.68)
 J=AC(75.061)
 N583 G3 X54.68 Y72.415 I=AC(56.68)
 J=AC(72.415)
 N584 G1 Y30.32
 N585 X30.32
 N586 Y89.68
 N587 X54.68
 N588 Y72.415
 N589 G2 X54.18 Y71.092 I=AC(52.68)
 J=AC(72.415)
 N590 G3 X53.68 Y69.769 I=AC(55.68)
 J=AC(69.769)
 N591 G1 Y31.32
 N592 X31.32
 N593 Y88.68
 N594 X53.68
 N595 Y69.769
 N596 G2 X53.18 Y68.446 I=AC(51.68)
 J=AC(69.769)
 N597 G3 X52.68 Y67.123 I=AC(54.68)
 J=AC(67.123)
 N598 G1 Y32.32
 N599 X32.32
 N600 Y87.68
 N601 X52.68
 N602 Y67.123
 N603 G2 X52.18 Y65.8 I=AC(50.68)
 J=AC(67.123)
 N604 G3 X51.68 Y64.478 I=AC(53.68)
 J=AC(64.478)
 N605 G1 Y33.32
 N606 X33.32
 N607 Y86.68
 N608 X51.68
 N609 Y64.478
 N610 G2 X51.18 Y63.155 I=AC(49.68)
 J=AC(64.478)
 N611 G3 X50.68 Y61.832 I=AC(52.68)
 J=AC(61.832)
 N612 G1 Y34.32
 N613 X34.32
 N614 Y85.68
 N615 X50.68
 N616 Y61.832
 N617 G2 X50.18 Y60.509 I=AC(48.68)
 J=AC(61.832)
 N618 G3 X49.68 Y59.186 I=AC(51.68)
 J=AC(59.186)
 N619 G1 Y35.32
 N620 X35.32
 N621 Y84.68
 N622 X49.68
 N623 Y59.186
 N624 G2 X49.18 Y57.863 I=AC(47.68)
 J=AC(59.186)
 N625 G3 X48.68 Y56.54 I=AC(50.68)
 J=AC(56.54)
 N626 G1 Y36.32
 N627 X36.32
 N628 Y83.68
 N629 X48.68
 N630 Y56.54
 N631 G2 X48.18 Y55.217 I=AC(46.68)
 J=AC(56.54)
 N632 G3 X47.68 Y53.895 I=AC(49.68)
 J=AC(53.895)
 N633 G1 Y37.32
 N634 X37.32
 N635 Y82.68
 N636 X47.68
 N637 Y53.895
 N638 G2 X47.18 Y52.572 I=AC(45.68)
 J=AC(53.895)
 N639 G3 X46.68 Y51.249 I=AC(48.68)
 J=AC(51.249)
 N640 G1 Y38.32
 N641 X38.32
 N642 Y81.68
 N643 X46.68
 N644 Y51.249
 N645 G2 X46.18 Y49.926 I=AC(44.68)
 J=AC(51.249)
 N646 G3 X45.68 Y48.603 I=AC(47.68)
 J=AC(48.603)
 N647 G1 Y39.32
 N648 X39.32
 N649 Y80.68
 N650 X45.68
 N651 Y48.603
 N652 G2 X45.18 Y47.28 I=AC(43.68)
 J=AC(48.603)
 N653 G3 X44.68 Y45.957 I=AC(46.68)
 J=AC(45.957)
 N654 G1 Y40.32
 N655 X40.32
 N656 Y79.68
 N657 X44.68
 N658 Y45.957
 N659 G2 X44.18 Y44.634 I=AC(42.68)
 J=AC(45.957)
 N660 G3 X43.68 Y43.312 I=AC(45.68)
 J=AC(43.312)
 N661 G1 Y41.32
 N662 X41.32
 N663 Y78.68
 N664 X43.68
 N665 Y43.312
 N666 G2 X42.501 Y42.32 I=AC(42.595)
 J=AC(43.405)
 N667 G1 X42.32
 N668 Y77.68
 N669 G0 Z2
 N670 X27.034 Y84.764
 N671 Z-.25
 N672 G3 X26.834 Y84.564 I=AC(27.034)
 J=AC(84.564)
 N673 G1 Y37.815 Z-2.7
 N674 Y93.166
 N675 X58.166
 N676 Y26.834
 N677 X26.834
 N678 Y37.815
 N679 G2 X27.334 Y39.138 I=AC(28.834)
 J=AC(37.815)
 N680 G3 X27.834 Y40.461 I=AC(25.834)
 J=AC(40.461)
 N681 G1 Y92.166
 N682 X57.166
 N683 Y27.834
 N684 X27.834
 N685 Y40.461
 N686 G2 X28.334 Y41.784 I=AC(29.834)
 J=AC(40.461)
 N687 G3 X28.834 Y43.107 I=AC(26.834)
 J=AC(43.107)
 N688 G1 Y91.166
 N689 X56.166
 N690 Y28.834
 N691 X28.834
 N692 Y43.107
 N693 G2 X29.334 Y44.43 I=AC(30.834)
 J=AC(43.107)
 N694 G3 X29.834 Y45.752 I=AC(27.834)
 J=AC(45.752)
 N695 G1 Y90.166
 N696 X55.166
 N697 Y29.834
 N698 X29.834
 N699 Y45.752

N700 G2 X30.334 Y47.075 I=AC(31.834)
 J=AC(45.752)
 N701 G3 X30.834 Y48.398 I=AC(28.834)
 J=AC(48.398)
 N702 G1 Y89.166
 N703 X54.166
 N704 Y30.834
 N705 X30.834
 N706 Y48.398
 N707 G2 X31.334 Y49.721 I=AC(32.834)
 J=AC(48.398)
 N708 G3 X31.834 Y51.044 I=AC(29.834)
 J=AC(51.044)
 N709 G1 Y88.166
 N710 X53.166
 N711 Y31.834
 N712 X31.834
 N713 Y51.044
 N714 G2 X32.334 Y52.367 I=AC(33.834)
 J=AC(51.044)
 N715 G3 X32.834 Y53.69 I=AC(30.834)
 J=AC(53.69)
 N716 G1 Y87.166
 N717 X52.166
 N718 Y32.834
 N719 X32.834
 N720 Y53.69
 N721 G2 X33.334 Y55.013 I=AC(34.834)
 J=AC(53.69)
 N722 G3 X33.834 Y56.335 I=AC(31.834)
 J=AC(56.335)
 N723 G1 Y86.166
 N724 X51.166
 N725 Y33.834
 N726 X33.834
 N727 Y56.335
 N728 G2 X34.334 Y57.658 I=AC(35.834)
 J=AC(56.335)
 N729 G3 X34.834 Y58.981 I=AC(32.834)
 J=AC(58.981)
 N730 G1 Y85.166
 N731 X50.166
 N732 Y34.834
 N733 X34.834
 N734 Y58.981
 N735 G2 X35.334 Y60.304 I=AC(36.834)
 J=AC(58.981)
 N736 G3 X35.834 Y61.627 I=AC(33.834)
 J=AC(61.627)
 N737 G1 Y84.166
 N738 X49.166
 N739 Y35.834
 N740 X35.834
 N741 Y61.627
 N742 G2 X36.334 Y62.95 I=AC(37.834)
 J=AC(61.627)
 N743 G3 X36.834 Y64.273 I=AC(34.834)
 J=AC(64.273)
 N744 G1 Y83.166
 N745 X48.166
 N746 Y36.834
 N747 X36.834
 N748 Y64.273
 N749 G2 X37.334 Y65.596 I=AC(38.834)
 J=AC(64.273)
 N750 G3 X37.834 Y66.918 I=AC(35.834)
 J=AC(66.918)
 N751 G1 Y82.166
 N752 X47.166
 N753 Y37.834
 N754 X37.834
 N755 Y66.918
 N756 G2 X38.334 Y68.241 I=AC(39.834)
 J=AC(66.918)
 N757 G3 X38.834 Y69.564 I=AC(36.834)
 J=AC(69.564)
 N758 G1 Y81.166
 N759 X46.166
 N760 Y38.834
 N761 X38.834
 N762 Y69.564
 N763 G2 X39.334 Y70.887 I=AC(40.834)
 J=AC(69.564)
 N764 G3 X39.834 Y72.21 I=AC(37.834)
 J=AC(72.21)
 N765 G1 Y80.166
 N766 X45.166
 N767 Y39.834
 N768 X39.834
 N769 Y72.21
 N770 G2 X40.334 Y73.533 I=AC(41.834)
 J=AC(72.21)
 N771 G3 X40.834 Y74.856 I=AC(38.834)
 J=AC(74.856)
 N772 G1 Y79.166
 N773 X44.166
 N774 Y40.834
 N775 X40.834
 N776 Y74.856
 N777 G2 X41.334 Y76.179 I=AC(42.834)
 J=AC(74.856)

N778 G3 X41.834 Y77.68 I=AC(39.598)
 J=AC(77.591)
 N779 G1 Y78.166
 N780 X43.166
 N781 Y41.834
 N782 X41.834
 N783 Y77.501
 N784 G0 Z2
 N785 X27.485 Y84.764
 N786 Z-7
 N787 G3 X27.285 Y84.564 I=AC(27.485)
 J=AC(84.564)
 N788 G1 Y37.815 Z-3.15
 N789 Y92.715
 N790 X57.715
 N791 Y27.285
 N792 X27.285
 N793 Y37.815
 N794 G2 X27.785 Y39.138 I=AC(29.285)
 J=AC(37.815)
 N795 G3 X28.285 Y40.461 I=AC(26.285)
 J=AC(40.461)
 N796 G1 Y91.715
 N797 X56.715
 N798 Y28.285
 N799 X28.285
 N800 Y40.461
 N801 G2 X28.785 Y41.784 I=AC(30.285)
 J=AC(40.461)
 N802 G3 X29.285 Y43.107 I=AC(27.285)
 J=AC(43.107)
 N803 G1 Y90.715
 N804 X55.715
 N805 Y29.285
 N806 X29.285
 N807 Y43.107
 N808 G2 X29.785 Y44.43 I=AC(31.285)
 J=AC(43.107)
 N809 G3 X30.285 Y45.753 I=AC(28.285)
 J=AC(45.753)
 N810 G1 Y89.715
 N811 X54.715
 N812 Y30.285
 N813 X30.285
 N814 Y45.753
 N815 G2 X30.785 Y47.076 I=AC(32.285)
 J=AC(45.753)
 N816 G3 X31.285 Y48.398 I=AC(29.285)
 J=AC(48.398)
 N817 G1 Y88.715
 N818 X53.715
 N819 Y31.285
 N820 X31.285
 N821 Y48.398
 N822 G2 X31.785 Y49.721 I=AC(33.285)
 J=AC(48.398)
 N823 G3 X32.285 Y51.044 I=AC(30.285)
 J=AC(51.044)
 N824 G1 Y87.715
 N825 X52.715
 N826 Y32.285
 N827 X32.285
 N828 Y51.044
 N829 G2 X32.785 Y52.367 I=AC(34.285)
 J=AC(51.044)
 N830 G3 X33.285 Y53.69 I=AC(31.285)
 J=AC(53.69)
 N831 G1 Y86.715
 N832 X51.715
 N833 Y33.285
 N834 X33.285
 N835 Y53.69
 N836 G2 X33.785 Y55.013 I=AC(35.285)
 J=AC(53.69)
 N837 G3 X34.285 Y56.336 I=AC(32.285)
 J=AC(56.336)
 N838 G1 Y85.715
 N839 X50.715
 N840 Y34.285
 N841 X34.285
 N842 Y56.336
 N843 G2 X34.785 Y57.659 I=AC(36.285)
 J=AC(56.336)
 N844 G3 X35.285 Y58.981 I=AC(33.285)
 J=AC(58.981)
 N845 G1 Y84.715
 N846 X49.715
 N847 Y35.285
 N848 X35.285
 N849 Y58.981
 N850 G2 X35.785 Y60.304 I=AC(37.285)
 J=AC(58.981)
 N851 G3 X36.285 Y61.627 I=AC(34.285)
 J=AC(61.627)
 N852 G1 Y83.715
 N853 X48.715
 N854 Y36.285
 N855 X36.285
 N856 Y61.627
 N857 G2 X36.785 Y62.95 I=AC(38.285)
 J=AC(61.627)

N858 G3 X37.285 Y64.273 I=AC(35.285)
 J=AC(64.273)
 N859 G1 Y82.715
 N860 X47.715
 N861 Y37.285
 N862 X37.285
 N863 Y64.273
 N864 G2 X37.785 Y65.596 I=AC(39.285)
 J=AC(64.273)
 N865 G3 X38.285 Y66.919 I=AC(36.285)
 J=AC(66.919)
 N866 G1 Y81.715
 N867 X46.715
 N868 Y38.285
 N869 X38.285
 N870 Y66.919
 N871 G2 X38.785 Y68.242 I=AC(40.285)
 J=AC(66.919)
 N872 G3 X39.285 Y69.564 I=AC(37.285)
 J=AC(69.564)
 N873 G1 Y80.715
 N874 X45.715
 N875 Y39.285
 N876 X39.285
 N877 Y69.564
 N878 G2 X39.785 Y70.887 I=AC(41.285)
 J=AC(69.564)
 N879 G3 X40.285 Y72.21 I=AC(38.285)
 J=AC(72.21)
 N880 G1 Y79.715
 N881 X44.715
 N882 Y40.285
 N883 X40.285
 N884 Y72.21
 N885 G2 X40.785 Y73.533 I=AC(42.285)
 J=AC(72.21)
 N886 G3 X41.285 Y74.856 I=AC(39.285)
 J=AC(74.856)
 N887 G1 Y78.715
 N888 X43.715
 N889 Y41.285
 N890 X41.285
 N891 Y74.856
 N892 G2 X41.785 Y76.179 I=AC(43.285)
 J=AC(74.856)
 N893 G3 X42.285 Y77.715 I=AC(40.004)
 J=AC(77.608)
 N894 G1 X42.715
 N895 Y42.285
 N896 G0 Z2
 N897 X57.116 Y30.613
 N898 Z-1.15
 N899 G3 X57.316 Y30.813 I=AC(57.116)
 J=AC(30.813)
 N900 G1 Y77.562 Z-3.6
 N901 Y27.684
 N902 X27.684
 N903 Y92.316
 N904 X57.316
 N905 Y77.562
 N906 G2 X56.816 Y76.239 I=AC(55.316)
 J=AC(77.562)
 N907 G3 X56.316 Y74.916 I=AC(58.316)
 J=AC(74.916)
 N908 G1 Y28.684
 N909 X28.684
 N910 Y91.316
 N911 X56.316
 N912 Y74.916
 N913 G2 X55.816 Y73.593 I=AC(54.316)
 J=AC(74.916)
 N914 G3 X55.316 Y72.27 I=AC(57.316)
 J=AC(72.27)
 N915 G1 Y29.684
 N916 X29.684
 N917 Y90.316
 N918 X55.316
 N919 Y72.27
 N920 G2 X54.816 Y70.947 I=AC(53.316)
 J=AC(72.27)
 N921 G3 X54.316 Y69.624 I=AC(56.316)
 J=AC(69.624)
 N922 G1 Y30.684
 N923 X30.684
 N924 Y89.316
 N925 X54.316
 N926 Y69.624
 N927 G2 X53.816 Y68.301 I=AC(52.316)
 J=AC(69.624)
 N928 G3 X53.316 Y66.979 I=AC(55.316)
 J=AC(66.979)
 N929 G1 Y31.684
 N930 X31.684
 N931 Y88.316
 N932 X53.316
 N933 Y66.979
 N934 G2 X52.816 Y65.656 I=AC(51.316)
 J=AC(66.979)
 N935 G3 X52.316 Y64.333 I=AC(54.316)
 J=AC(64.333)
 N936 G1 Y32.684

N937 X32.684
 N938 Y87.316
 N939 X52.316
 N940 Y64.333
 N941 G2 X51.816 Y63.01 I=AC(50.316)
 J=AC(64.333)
 N942 G3 X51.316 Y61.687 I=AC(53.316)
 J=AC(61.687)
 N943 G1 Y33.684
 N944 X33.684
 N945 Y86.316
 N946 X51.316
 N947 Y61.687
 N948 G2 X50.816 Y60.364 I=AC(49.316)
 J=AC(61.687)
 N949 G3 X50.316 Y59.041 I=AC(52.316)
 J=AC(59.041)
 N950 G1 Y34.684
 N951 X34.684
 N952 Y85.316
 N953 X50.316
 N954 Y59.041
 N955 G2 X49.816 Y57.718 I=AC(48.316)
 J=AC(59.041)
 N956 G3 X49.316 Y56.396 I=AC(51.316)
 J=AC(56.396)
 N957 G1 Y35.684
 N958 X35.684
 N959 Y84.316
 N960 X49.316
 N961 Y56.396
 N962 G2 X48.816 Y55.073 I=AC(47.316)
 J=AC(56.396)
 N963 G3 X48.316 Y53.75 I=AC(50.316)
 J=AC(53.75)
 N964 G1 Y36.684
 N965 X36.684
 N966 Y83.316
 N967 X48.316
 N968 Y53.75
 N969 G2 X47.816 Y52.427 I=AC(46.316)
 J=AC(53.75)
 N970 G3 X47.316 Y51.104 I=AC(49.316)
 J=AC(51.104)
 N971 G1 Y37.684
 N972 X37.684
 N973 Y82.316
 N974 X47.316
 N975 Y51.104
 N976 G2 X46.816 Y49.781 I=AC(45.316)
 J=AC(51.104)
 N977 G3 X46.316 Y48.458 I=AC(48.316)
 J=AC(48.458)
 N978 G1 Y38.684
 N979 X38.684
 N980 Y81.316
 N981 X46.316
 N982 Y48.458
 N983 G2 X45.816 Y47.135 I=AC(44.316)
 J=AC(48.458)
 N984 G3 X45.316 Y45.813 I=AC(47.316)
 J=AC(45.813)
 N985 G1 Y39.684
 N986 X39.684
 N987 Y80.316
 N988 X45.316
 N989 Y45.813
 N990 G2 X44.816 Y44.49 I=AC(43.316)
 J=AC(45.813)
 N991 G3 X44.316 Y43.167 I=AC(46.316)
 J=AC(43.167)
 N992 G1 Y40.684
 N993 X40.684
 N994 Y79.316
 N995 X44.316
 N996 Y43.167
 N997 G2 X42.657 Y41.675 I=AC(42.816)
 J=AC(43.167)
 N998 G1 X41.684 Y41.684
 N999 Y78.316
 N1000 X43.316
 N1001 Y41.684
 N1002 G0 Z2
 N1003 X56.763 Y30.429
 N1004 Z-1.6
 N1005 G3 X56.963 Y30.629 I=AC(56.763)
 J=AC(30.629)
 N1006 G1 Y77.378 Z-4.05
 N1007 Y28.037
 N1008 X28.037
 N1009 Y91.963
 N1010 X56.963
 N1011 Y77.378
 N1012 G2 X56.463 Y76.055 I=AC(54.963)
 J=AC(77.378)
 N1013 G3 X55.963 Y74.732 I=AC(57.963)
 J=AC(74.732)
 N1014 G1 Y29.037
 N1015 X29.037
 N1016 Y90.963
 N1017 X55.963

N1018 Y74.732
 N1019 G2 X55.463 Y73.41 I=AC(53.963)
 J=AC(74.732)
 N1020 G3 X54.963 Y72.087 I=AC(56.963)
 J=AC(72.087)
 N1021 G1 Y30.037
 N1022 X30.037
 N1023 Y89.963
 N1024 X54.963
 N1025 Y72.087
 N1026 G2 X54.463 Y70.764 I=AC(52.963)
 J=AC(72.087)
 N1027 G3 X53.963 Y69.441 I=AC(55.963)
 J=AC(69.441)
 N1028 G1 Y31.037
 N1029 X31.037
 N1030 Y88.963
 N1031 X53.963
 N1032 Y69.441
 N1033 G2 X53.463 Y68.118 I=AC(51.963)
 J=AC(69.441)
 N1034 G3 X52.963 Y66.795 I=AC(54.963)
 J=AC(66.795)
 N1035 G1 Y32.037
 N1036 X32.037
 N1037 Y87.963
 N1038 X52.963
 N1039 Y66.795
 N1040 G2 X52.463 Y65.472 I=AC(50.963)
 J=AC(66.795)
 N1041 G3 X51.963 Y64.149 I=AC(53.963)
 J=AC(64.149)
 N1042 G1 Y33.037
 N1043 X33.037
 N1044 Y86.963
 N1045 X51.963
 N1046 Y64.149
 N1047 G2 X51.463 Y62.827 I=AC(49.963)
 J=AC(64.149)
 N1048 G3 X50.963 Y61.504 I=AC(52.963)
 J=AC(61.504)
 N1049 G1 Y34.037
 N1050 X34.037
 N1051 Y85.963
 N1052 X50.963
 N1053 Y61.504
 N1054 G2 X50.463 Y60.181 I=AC(48.963)
 J=AC(61.504)
 N1055 G3 X49.963 Y58.858 I=AC(51.963)
 J=AC(58.858)
 N1056 G1 Y35.037
 N1057 X35.037
 N1058 Y84.963
 N1059 X49.963
 N1060 Y58.858
 N1061 G2 X49.463 Y57.535 I=AC(47.963)
 J=AC(58.858)
 N1062 G3 X48.963 Y56.212 I=AC(50.963)
 J=AC(56.212)
 N1063 G1 Y36.037
 N1064 X36.037
 N1065 Y83.963
 N1066 X48.963
 N1067 Y56.212
 N1068 G2 X48.463 Y54.889 I=AC(46.963)
 J=AC(56.212)
 N1069 G3 X47.963 Y53.566 I=AC(49.963)
 J=AC(53.566)
 N1070 G1 Y37.037
 N1071 X37.037
 N1072 Y82.963
 N1073 X47.963
 N1074 Y53.566
 N1075 G2 X47.463 Y52.244 I=AC(45.963)
 J=AC(53.566)
 N1076 G3 X46.963 Y50.921 I=AC(48.963)
 J=AC(50.921)
 N1077 G1 Y38.037
 N1078 X38.037
 N1079 Y81.963
 N1080 X46.963
 N1081 Y50.921
 N1082 G2 X46.463 Y49.598 I=AC(44.963)
 J=AC(50.921)
 N1083 G3 X45.963 Y48.275 I=AC(47.963)
 J=AC(48.275)
 N1084 G1 Y39.037
 N1085 X39.037
 N1086 Y80.963
 N1087 X45.963
 N1088 Y48.275
 N1089 G2 X45.463 Y46.952 I=AC(43.963)
 J=AC(48.275)
 N1090 G3 X44.963 Y45.629 I=AC(46.963)
 J=AC(45.629)
 N1091 G1 Y40.037
 N1092 X40.037
 N1093 Y79.963
 N1094 X44.963
 N1095 Y45.629

N1096 G2 X44.463 Y44.306 I=AC(42.963)
 J=AC(45.629)
 N1097 G3 X43.963 Y42.983 I=AC(45.963)
 J=AC(42.983)
 N1098 G1 Y41.037
 N1099 X41.037
 N1100 Y78.963
 N1101 X43.963
 N1102 Y42.983
 N1103 G2 X42.732 Y42.01 I=AC(42.963)
 J=AC(42.983)
 N1104 G1 X42.037 Y42.037
 N1105 Y77.963
 N1106 G0 Z2
 N1107 X28.552 Y87.41
 N1108 Z-2.05
 N1109 G3 X28.352 Y87.21 I=AC(28.552)
 J=AC(87.21)
 N1110 G1 Y40.461 Z-4.5
 N1111 Y91.648
 N1112 X56.648
 N1113 Y28.352
 N1114 X28.352
 N1115 Y40.461
 N1116 G2 X28.852 Y41.784 I=AC(30.352)
 J=AC(40.461)
 N1117 G3 X29.352 Y43.107 I=AC(27.352)
 J=AC(43.107)
 N1118 G1 Y90.648
 N1119 X55.648
 N1120 Y29.352
 N1121 X29.352
 N1122 Y43.107
 N1123 G2 X29.852 Y44.43 I=AC(31.352)
 J=AC(43.107)
 N1124 G3 X30.352 Y45.753 I=AC(28.352)
 J=AC(45.753)
 N1125 G1 Y89.648
 N1126 X54.648
 N1127 Y30.352
 N1128 X30.352
 N1129 Y45.753
 N1130 G2 X30.852 Y47.076 I=AC(32.352)
 J=AC(45.753)
 N1131 G3 X31.352 Y48.399 I=AC(29.352)
 J=AC(48.399)
 N1132 G1 Y88.648
 N1133 X53.648
 N1134 Y31.352
 N1135 X31.352
 N1136 Y48.399
 N1137 G2 X31.852 Y49.721 I=AC(33.352)
 J=AC(48.399)
 N1138 G3 X32.352 Y51.044 I=AC(30.352)
 J=AC(51.044)
 N1139 G1 Y87.648
 N1140 X52.648
 N1141 Y32.352
 N1142 X32.352
 N1143 Y51.044
 N1144 G2 X32.852 Y52.367 I=AC(34.352)
 J=AC(51.044)
 N1145 G3 X33.352 Y53.69 I=AC(31.352)
 J=AC(53.69)
 N1146 G1 Y86.648
 N1147 X51.648
 N1148 Y33.352
 N1149 X33.352
 N1150 Y53.69
 N1151 G2 X33.852 Y55.013 I=AC(35.352)
 J=AC(53.69)
 N1152 G3 X34.352 Y56.336 I=AC(32.352)
 J=AC(56.336)
 N1153 G1 Y85.648
 N1154 X50.648
 N1155 Y34.352
 N1156 X34.352
 N1157 Y56.336
 N1158 G2 X34.852 Y57.659 I=AC(36.352)
 J=AC(56.336)
 N1159 G3 X35.352 Y58.982 I=AC(33.352)
 J=AC(58.982)
 N1160 G1 Y84.648
 N1161 X49.648
 N1162 Y35.352
 N1163 X35.352
 N1164 Y58.982
 N1165 G2 X35.852 Y60.304 I=AC(37.352)
 J=AC(58.982)
 N1166 G3 X36.352 Y61.627 I=AC(34.352)
 J=AC(61.627)
 N1167 G1 Y83.648
 N1168 X48.648
 N1169 Y36.352
 N1170 X36.352
 N1171 Y61.627
 N1172 G2 X36.852 Y62.95 I=AC(38.352)
 J=AC(61.627)
 N1173 G3 X37.352 Y64.273 I=AC(35.352)
 J=AC(64.273)
 N1174 G1 Y82.648

N1175 X47.648
 N1176 Y37.352
 N1177 X37.352
 N1178 Y64.273
 N1179 G2 X37.852 Y65.596 I=AC(39.352)
 J=AC(64.273)
 N1180 G3 X38.352 Y66.919 I=AC(36.352)
 J=AC(66.919)
 N1181 G1 Y81.648
 N1182 X46.648
 N1183 Y38.352
 N1184 X38.352
 N1185 Y66.919
 N1186 G2 X38.852 Y68.242 I=AC(40.352)
 J=AC(66.919)
 N1187 G3 X39.352 Y69.565 I=AC(37.352)
 J=AC(69.565)
 N1188 G1 Y80.648
 N1189 X45.648
 N1190 Y39.352
 N1191 X39.352
 N1192 Y69.565
 N1193 G2 X39.852 Y70.888 I=AC(41.352)
 J=AC(69.565)
 N1194 G3 X40.352 Y72.21 I=AC(38.352)
 J=AC(72.21)
 N1195 G1 Y79.648
 N1196 X44.648
 N1197 Y40.352
 N1198 X40.352
 N1199 Y72.21
 N1200 G2 X40.852 Y73.533 I=AC(42.352)
 J=AC(72.21)
 N1201 G3 X41.352 Y74.856 I=AC(39.352)
 J=AC(74.856)
 N1202 G1 Y78.648
 N1203 X43.648
 N1204 Y41.352
 N1205 X41.352
 N1206 Y74.856
 N1207 G2 X41.852 Y76.179 I=AC(43.352)
 J=AC(74.856)
 N1208 G3 X42.352 Y77.648 I=AC(40.158)
 J=AC(77.575)
 N1209 G1 X42.648
 N1210 Y42.352
 N1211 G0 Z2
 N1212 X55.646 Y28.831
 N1213 Z-2.5
 N1214 G3 X55.846 Y28.631 I=AC(55.846)
 J=AC(28.831)
 N1215 G1 X56.369 Z-2.527
 N1216 Y74.857 Z-4.95
 N1217 Y28.631
 N1218 X28.631
 N1219 Y91.369
 N1220 X56.369
 N1221 Y74.857
 N1222 G2 X55.869 Y73.534 I=AC(54.369)
 J=AC(74.857)
 N1223 G3 X55.369 Y72.212 I=AC(57.369)
 J=AC(72.212)
 N1224 G1 Y29.631
 N1225 X29.631
 N1226 Y90.369
 N1227 X55.369
 N1228 Y72.212
 N1229 G2 X54.869 Y70.889 I=AC(53.369)
 J=AC(72.212)
 N1230 G3 X54.369 Y69.566 I=AC(56.369)
 J=AC(69.566)
 N1231 G1 Y30.631
 N1232 X30.631
 N1233 Y89.369
 N1234 X54.369
 N1235 Y69.566
 N1236 G2 X53.869 Y68.243 I=AC(52.369)
 J=AC(69.566)
 N1237 G3 X53.369 Y66.92 I=AC(55.369)
 J=AC(66.92)
 N1238 G1 Y31.631
 N1239 X31.631
 N1240 Y88.369
 N1241 X53.369
 N1242 Y66.92
 N1243 G2 X52.869 Y65.597 I=AC(51.369)
 J=AC(66.92)
 N1244 G3 X52.369 Y64.274 I=AC(54.369)
 J=AC(64.274)
 N1245 G1 Y32.631
 N1246 X32.631
 N1247 Y87.369
 N1248 X52.369
 N1249 Y64.274
 N1250 G2 X51.869 Y62.951 I=AC(50.369)
 J=AC(64.274)
 N1251 G3 X51.369 Y61.628 I=AC(53.369)
 J=AC(61.628)
 N1252 G1 Y33.631
 N1253 X33.631
 N1254 Y86.369
 N1255 X51.369
 N1256 Y61.628
 N1257 G2 X50.869 Y60.306 I=AC(49.369)
 J=AC(61.628)
 N1258 G3 X50.369 Y58.983 I=AC(52.369)
 J=AC(58.983)
 N1259 G1 Y34.631
 N1260 X34.631
 N1261 Y85.369
 N1262 X50.369
 N1263 Y58.983
 N1264 G2 X49.869 Y57.66 I=AC(48.369)
 J=AC(58.983)
 N1265 G3 X49.369 Y56.337 I=AC(51.369)
 J=AC(56.337)
 N1266 G1 Y35.631
 N1267 X35.631
 N1268 Y84.369
 N1269 X49.369
 N1270 Y56.337
 N1271 G2 X48.869 Y55.014 I=AC(47.369)
 J=AC(56.337)
 N1272 G3 X48.369 Y53.691 I=AC(50.369)
 J=AC(53.691)
 N1273 G1 Y36.631
 N1274 X36.631
 N1275 Y83.669
 N1276 X48.369
 N1277 Y53.691
 N1278 G2 X47.869 Y52.368 I=AC(46.369)
 J=AC(53.691)
 N1279 G3 X47.369 Y51.045 I=AC(49.369)
 J=AC(51.045)
 N1280 G1 Y37.631
 N1281 X37.631
 N1282 Y82.369
 N1283 X47.369
 N1284 Y51.045
 N1285 G2 X46.869 Y49.723 I=AC(45.369)
 J=AC(51.045)
 N1286 G3 X46.369 Y48.4 I=AC(48.369)
 J=AC(48.4)
 N1287 G1 Y38.631
 N1288 X38.631
 N1289 Y81.369
 N1290 X46.369
 N1291 Y48.4
 N1292 G2 X45.869 Y47.077 I=AC(44.369)
 J=AC(48.4)
 N1293 G3 X45.369 Y45.754 I=AC(47.369)
 J=AC(45.754)
 N1294 G1 Y39.631
 N1295 X39.631
 N1296 Y80.369
 N1297 X45.369
 N1298 Y45.754
 N1299 G2 X44.869 Y44.431 I=AC(43.369)
 J=AC(45.754)
 N1300 G3 X44.369 Y43.108 I=AC(46.369)
 J=AC(43.108)
 N1301 G1 Y40.631
 N1302 X40.631
 N1303 Y79.369
 N1304 X44.369
 N1305 Y43.108
 N1306 G2 X42.684 Y41.62 I=AC(42.869)
 J=AC(43.108)
 N1307 G1 X41.631 Y41.631
 N1308 Y78.369
 N1309 X43.369
 N1310 Y41.631
 N1311 G0 Z22
 N1312 X32.8 Y25.989
 N1313 Z17
 N1314 Z1.6
 N1315 G1 Z-.4
 N1316 X22.8 Y25.988
 N1317 Y25.183
 N1318 G3 X25.183 Y22.8 I=AC(25.066)
 J=AC(25.066)
 N1319 G1 X51.996
 N1320 X59.817
 N1321 G3 X62.2 Y25.183 I=AC(59.934)
 J=AC(25.066)
 N1322 G1 Y97.199
 N1323 G3 X22.801 Y97.2 I=AC(36.007)
 J=AC(-329630.456)
 N1324 G1 X22.8 Y94.002
 N1325 Y35.194
 N1326 Y25.988
 N1327 X34.035 Y25.989
 N1328 Z-.85
 N1329 X24.035 Y25.988
 N1330 Y25.264
 N1331 X24.101 Y24.759
 N1332 G3 X24.759 Y24.101 I=AC(25)
 J=AC(25)
 N1333 G1 X25.264 Y24.035
 N1334 X59.735
 N1335 G3 X60.899 Y24.76 I=AC(59.888)
 J=AC(25.086)
 N1336 G1 X60.965 Y25.264
 N1337 Y95.965
 N1338 G3 X24.035 Y95.965 I=AC(36.633)
 J=AC(-452836.665)
 N1339 G1 Y88.401
 N1340 Y29.593
 N1341 Y25.988
 N1342 X34.931
 N1343 Z-1.3
 N1344 X24.931
 N1345 Y25.323
 N1346 X24.974 Y24.993
 N1347 X25.323 Y24.931
 N1348 X51.996
 N1349 X59.677
 N1350 X60.007 Y24.974
 N1351 X60.069 Y25.323
 N1352 Y95.069
 N1353 G3 X24.931 Y95.07 I=AC(37.082)
 J=AC(-366043.008)
 N1354 G1 Y88.401
 N1355 Y29.593
 N1356 Y25.988
 N1357 X35.651
 N1358 Z-1.75
 N1359 X25.651
 N1360 Y25.651
 N1361 X35.194
 N1362 X51.996
 N1363 X59.349
 N1364 Y35.194
 N1365 Y85.601
 N1366 Y94.349
 N1367 X51.996
 N1368 X43.595
 N1369 X35.194
 N1370 X25.651
 N1371 Y88.401
 N1372 Y29.593
 N1373 Y25.988
 N1374 X25.727 Y24.771 Z-1.228
 N1375 X25.765 Y24.164 Z-.963
 N1376 X25.784 Y23.859 Z-.829
 N1377 X25.803 Y23.555 Z-.707
 N1378 X25.879 Y22.339 Z-.329
 N1379 X25.955 Y21.123 Z-.114
 N1380 X25.974 Y20.819 Z-.084
 N1381 X25.992 Y20.515 Z-.063
 N1382 X26.002 Y20.363 Z-.057
 N1383 X26.011 Y20.211 Z-.052
 N1384 X26.016 Y20.135 Z-.051
 N1385 X26.021 Y20.059 Z-.05
 N1386 X26.03 Y19.907
 N1387 X26.258 Y16.258
 N1388 Y19.591
 N1389 Y20.008
 N1390 Y20.216 Z-.052
 N1391 Y20.424 Z-.059
 N1392 Y20.841 Z-.086
 N1393 Y21.258 Z-.13
 N1394 Y22.091 Z-.272
 N1395 Y22.924 Z-.489
 N1396 Y23.758 Z-.787
 N1397 Y24.591 Z-1.173
 N1398 Y25.008 Z-1.402
 N1399 Y25.425 Z-1.659
 N1400 Y26.258 Z-2.2
 N1401 X32.393
 N1402 X49.196
 N1403 X58.742
 N1404 Y35.194
 N1405 Y85.601
 N1406 Y93.742
 N1407 X51.996
 N1408 X43.595
 N1409 X35.194
 N1410 X26.258
 N1411 Y88.401
 N1412 Y29.593
 N1413 Y26.258
 N1414 X26.29 Y25.665 Z-1.82
 N1415 X26.295 Y25.592 Z-1.77
 N1416 X26.297 Y25.554 Z-1.745
 N1417 X26.299 Y25.517 Z-1.72
 N1418 X26.303 Y25.443 Z-1.671
 N1419 X26.307 Y25.369 Z-1.623
 N1420 X26.315 Y25.221 Z-1.53
 N1421 X26.323 Y25.073 Z-1.44
 N1422 X26.356 Y24.481 Z-1.116
 N1423 X26.389 Y23.889 Z-.841
 N1424 X26.454 Y22.704 Z-.424
 N1425 X26.519 Y21.519 Z-.167
 N1426 X26.552 Y20.927 Z-.093
 N1427 X26.585 Y20.335 Z-.056
 N1428 X26.593 Y20.187 Z-.052
 N1429 X26.601 Y20.038 Z-.05
 N1430 X26.617 Y19.742
 N1431 X26.781 Y16.781
 N1432 Y20.114 Z-.051
 N1433 Y20.947 Z-.095
 N1434 Y21.781 Z-.211

N1435 Y22.614 Z-.4
 N1436 Y23.447 Z-.666
 N1437 Y24.281 Z-1.018
 N1438 Y25.114 Z-1.465
 N1439 Y25.531 Z-1.729
 N1440 Y25.948 Z-2.024
 N1441 Y25.973 Z-2.043
 N1442 Y26.052 Z-2.101
 N1443 Y26.781 Z-2.65
 N1444 X32.393
 N1445 X49.196
 N1446 X58.219
 N1447 Y35.194
 N1448 Y85.601
 N1449 Y93.219
 N1450 X51.996
 N1451 X43.595
 N1452 X35.194
 N1453 X26.781
 N1454 Y88.401
 N1455 Y29.593
 N1456 Y26.781
 N1457 X26.809 Y26.185 Z-2.206
 N1458 X26.824 Y25.886 Z-1.978
 N1459 X26.838 Y25.588 Z-1.767
 N1460 X26.866 Y24.991 Z-1.393
 N1461 X26.895 Y24.395 Z-1.073
 N1462 X26.952 Y23.202 Z-.579
 N1463 X27.009 Y22.009 Z-.255
 N1464 X27.038 Y21.413 Z-.151
 N1465 X27.067 Y20.817 Z-.084
 N1466 X27.081 Y20.518 Z-.064
 N1467 X27.095 Y20.22 Z-.052
 N1468 X27.099 Y20.146 Z-.051
 N1469 X27.102 Y20.071 Z-.05
 N1470 X27.109 Y19.922
 N1471 X27.238 Y17.238
 N1472 Y19.946
 N1473 Y20.051
 N1474 Y20.103 Z-.051
 N1475 Y20.155
 N1476 Y20.363 Z-.057
 N1477 Y20.571 Z-.066
 N1478 Y21.405 Z-.15
 N1479 Y22.238 Z-.305
 N1480 Y23.071 Z-.536
 N1481 Y23.905 Z-.848
 N1482 Y24.738 Z-1.251
 N1483 Y25.571 Z-1.756
 N1484 Y25.988 Z-2.054
 N1485 Y26.405 Z-2.385
 N1486 Y26.457 Z-2.43
 N1487 Y26.51 Z-2.475
 N1488 Y26.613 Z-2.564
 N1489 Y27.238 Z-3.1
 N1490 X32.393
 N1491 X49.196
 N1492 X57.762
 N1493 Y32.393
 N1494 Y82.8
 N1495 Y92.762
 N1496 X51.996
 N1497 X43.595
 N1498 X35.194
 N1499 X27.238
 N1500 Y82.8
 N1501 Y32.393
 N1502 Y27.238
 N1503 X27.263 Y26.639 Z-2.589
 N1504 X27.276 Y26.338 Z-2.33
 N1505 X27.289 Y26.039 Z-2.092
 N1506 X27.314 Y25.439 Z-1.668
 N1507 X27.339 Y24.839 Z-1.306
 N1508 X27.389 Y23.639 Z-.74
 N1509 X27.44 Y22.44 Z-.354
 N1510 X27.49 Y21.24 Z-.128
 N1511 X27.541 Y20.041 Z-.05
 N1512 X27.642 Y17.642
 N1513 Y19.933
 N1514 Y20.038
 N1515 Y20.09
 N1516 Y20.142 Z-.051
 N1517 Y20.558 Z-.066
 N1518 Y20.975 Z-.098
 N1519 Y21.808 Z-.216
 N1520 Y22.642 Z-.407
 N1521 Y23.475 Z-.677
 N1522 Y24.308 Z-1.031
 N1523 Y25.142 Z-1.482
 N1524 Y25.975 Z-2.044
 N1525 Y26.392 Z-2.375
 N1526 Y26.808 Z-2.744
 N1527 Y26.913 Z-2.843
 N1528 Y27.018 Z-2.946
 N1529 Y27.225 Z-3.147
 N1530 Y27.642 Z-3.55
 N1531 X32.393
 N1532 X49.196
 N1533 X57.358
 N1534 Y32.393
 N1535 Y82.8
 N1536 Y92.358
 N1537 X51.996
 N1538 X43.595
 N1539 X35.194
 N1540 X27.642
 N1541 Y82.8
 N1542 Y32.393
 N1543 Y27.642
 N1544 X27.664 Y27.04 Z-2.968
 N1545 X27.675 Y26.738 Z-2.679
 N1546 X27.687 Y26.437 Z-2.412
 N1547 X27.709 Y25.834 Z-1.94
 N1548 X27.731 Y25.231 Z-1.536
 N1549 X27.776 Y24.026 Z-.901
 N1550 X27.821 Y22.821 Z-.458
 N1551 X27.866 Y21.616 Z-.182
 N1552 X27.91 Y20.41 Z-.058
 N1553 X27.916 Y20.26 Z-.053
 N1554 X27.922 Y20.109 Z-.051
 N1555 X27.933 Y19.808 Z-.05
 N1556 X28 Y18
 N1557 Y19.667
 N1558 Y20.083
 N1559 Y20.292 Z-.054
 N1560 Y20.5 Z-.063
 N1561 Y20.917 Z-.092
 N1562 Y21.333 Z-.14
 N1563 Y22.167 Z-.289
 N1564 Y23 Z-.513
 N1565 Y23.833 Z-.818
 N1566 Y24.667 Z-1.212
 N1567 Y25.5 Z-1.708
 N1568 Y26.333 Z-2.326
 N1569 Y26.75 Z-2.69
 N1570 Y27.167 Z-3.098
 N1571 Y27.271 Z-3.208
 N1572 Y27.376 Z-3.322
 N1573 Y27.583 Z-3.549
 N1574 Y28 Z-4
 N1575 X57
 N1576 Y92
 N1577 G3 X28 Y92 I=AC(51.531) J=AC(-132303129.414)
 N1578 G1 Y32.393
 N1579 Y28
 N1580 X28.319 Y38.319
 N1581 Z-4.45
 N1582 Y28.319
 N1583 X56.682
 N1584 Y91.682
 N1585 G3 X28.319 Y91.682 I=AC(51.415)
 J=AC(-123439893.726)
 N1586 G1 Y32.393
 N1587 Y28.319
 N1588 X28.336 Y27.712 Z-3.713
 N1589 X28.345 Y27.408 Z-3.357
 N1590 X28.354 Y27.104 Z-3.033
 N1591 X28.372 Y26.497 Z-2.464
 N1592 X28.389 Y25.889 Z-1.98
 N1593 X28.425 Y24.675 Z-1.217
 N1594 X28.46 Y23.46 Z-.671
 N1595 X28.496 Y22.246 Z-.307
 N1596 X28.531 Y21.031 Z-.104
 N1597 X28.54 Y20.727 Z-.077
 N1598 X28.549 Y20.424 Z-.059
 N1599 X28.553 Y20.272 Z-.054
 N1600 X28.557 Y20.12 Z-.051
 N1601 X28.566 Y19.816 Z-.05
 N1602 X28.602 Y18.602
 N1603 Y19.852
 N1604 Y20.06
 N1605 Y20.164 Z-.051
 N1606 Y20.268 Z-.054
 N1607 Y21.102 Z-.111
 N1608 Y21.935 Z-.24
 N1609 Y22.768 Z-.443
 N1610 Y23.602 Z-.725
 N1611 Y24.435 Z-1.093
 N1612 Y25.268 Z-1.559
 N1613 Y26.102 Z-2.141
 N1614 Y26.935 Z-2.865
 N1615 Y27.352 Z-3.295
 N1616 Y27.768 Z-3.783
 N1617 Y27.873 Z-3.915
 N1618 Y27.977 Z-4.052
 N1619 Y28.029 Z-4.123
 N1620 Y28.081 Z-4.195
 N1621 Y28.107 Z-4.231
 N1622 Y28.134 Z-4.269
 N1623 Y28.185 Z-4.341
 N1624 Y28.602 Z-4.9
 N1625 X56.398
 N1626 Y91.398
 N1627 G3 X28.602 Y91.398 I=AC(51.314)
 J=AC(-114725286.724)
 N1628 G1 Y32.393
 N1629 Y28.602
 N1630 X38.602
 N1631 G0 Z17
 N1632 Z17
 N1633 G0 G53 Z-110 D0
 N1634 M5
 N1635 G0 G53 X-280 Y0
 N1636 M30