

DOUGLAS SANTOS ALVES  
MURILO DOROTA ANDRETT

**MANIPULADOR ROBÓTICO DE ESTRUTURA PARALELA E  
ASSIMÉTRICA**

São Paulo  
2011

DOUGLAS SANTOS ALVES  
MURILO DOROTA ANDRETTTO

## **MANIPULADOR ROBÓTICO DE ESTRUTURA PARALELA ASSIMÉTRICA**

Trabalho Parcial de Conclusão de Curso  
apresentado à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para a obtenção do  
título de Bacharel em Engenharia Mecatrônica.

Área de Concentração:  
Engenharia Mecatrônica

Orientador:  
Prof. Dr. Tarcisio Antonio Hess Coelho

São Paulo  
2011

## FICHA CATALOGRÁFICA

**Alves, Douglas Santos**  
**Manipulador robótico de estrutura paralela e assimétrica /**  
**D.S. Alves, M.D. Andretto. -- São Paulo, 2011.**  
**95 p.**

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade  
de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de  
Sistemas Mecânicos.**

**1.Manipuladores mecânicos 2.Robôs 3.Robótica I.Andretto,  
Murilo Dorota II.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.  
Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecâ-  
nicos III.t.**

## **AGRADECIMENTOS**

DOUGLAS

Agradeço aos técnicos da oficina da Escola Politécnica pela ajuda e críticas em todos os anos em que frequentei a oficina, mas principalmente para a conclusão deste trabalho.

Agradeço ao senhor Décio Rinaudi pelo apoio, sugestões e trocas de experiência para a realização do trabalho, mesmo não possuindo um vínculo anterior sua ajuda foi essencial para o andamento do trabalho.

Agradeço ao meu pai por sempre me apoiar e tentar me passar parte de suas experiências, as quais nem sempre foram compreendidas e aceitas de imediato. Além de tudo agradeço a paciência e o esforço desmedido para com o meu aprendizado.

Agradeço também a toda minha família pelo apoio e preocupação em todos os anos da faculdade e a bondade de relevarem os momentos importantes em que não pude estar presente.

Por fim agradeço aos amigos, que sempre que possível estiveram ao meu lado e sem saber colaboraram com o meu crescimento.

## **AGRADECIMENTOS**

MURILO

Agradeço a todos os familiares, amigos, professores e técnicos que me ajudaram na realização deste trabalho.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura planejada para o manipulador.....	4
Figura 2 – Esquema do manipulador.....	5
Figura 3 – Situação atual do manipulador, com ênfase na base e nos braços centrais.....	7
Figura 4 – Sequência de imagens para o movimento de translação do membro central.....	7
Figura 5 – União para membro central.....	8
Figura 6 – Exemplo de folha de processo.....	11
Figura 7 – Junta esférica IGUS® WGRM-05.....	14
Figura 8 – Modelo das juntas esféricas compradas para teste.....	15
Figura 9 – Desenho de montagem e legenda da junta esférica.....	17
Figura 10 – Junta esférica usinada para o robô manipulador.....	19
Figura 11 – Junta esférica montada nos braços do robô.....	20
Figura 12 – Exemplo do segundo par de juntas esféricas.....	20
Figura 13 – Órgão terminal usinado para o robô manipulador I.....	21
Figura 14 – Fabricação do órgão terminal, ênfase na rota da ferramenta.....	22
Figura 15 – Conclusão da operação da peça no centro de usinagem.....	22
Figura 16 – Imagem frontal do órgão terminal.....	23
Figura 17 – Órgão terminal integrado aos outros componentes fabricados.....	23
Figura 18 – Estrutura completa do robô.....	24
Figura 19 – Imagem de um encoder incremental.....	29
Figura 20 – Diagrama de blocos para um inverter de frequências.....	29
Figura 21 – Exemplo de energização feito pelo inverter através de transistores de potência.....	30
Figura 22 – Tela para escolha de configuração do EMC2.....	31
Figura 23 – Circuito para acionamento de motor de passo para correntes de no máximo 2A.....	32
Figura 24 – Diagrama de blocos para controle da articulação desejada.....	35
Figura 25 – Diagrama de ligações para o subsistema de controle.....	35
Figura 26 – Controlador PID do EMC2.....	38

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Matriz de decisão para a escolha do atuador adequado.....33

## RESUMO

O manipulador robótico de estrutura paralela e assimétrica surgiu como resposta para redução de tempos de ciclo e diminuição da potência consumida nas operações por estruturas robóticas convencionais, que por sua vez são caracterizadas por um único membro, com sistema de atuação em série. Neste sentido, foi desenvolvida uma estrutura robótica paralela e assimétrica de três graus de liberdade (3-dof) para posicionamento de objetos num espaço tridimensional. Parte deste presente trabalho consiste na usinagem e aquisição dos componentes mecânicos restantes à estrutura, a saber, juntas esféricas e membros laterais para a plataforma móvel. Outra parte consiste na proposição de uma estratégia de controle compatível com a manipulação de objetos, além do estudo para decisão dos atuadores adequados para o processo do controle. Por fim, espera-se iniciar a integração dos subsistemas mecânico, de atuação e de controle do manipulador.

**Palavras-chave:** manipulador robótico, estrutura paralela e assimétrica, três graus de liberdade

## ABSTRACT

The robotic manipulator of parallel and asymmetric structure arose as a response to reduce cycle times and to lower the power consumption in operations realized by conventional robotic structures, which are characterized by a single member, with actuation system in series. In this sense, it was developed a three degrees of freedom (3-dof) parallel and asymmetric structure for positioning objects in three dimensional space. Part of this work consists in the machining and purchasing of the remaining components of the structure, namely, spherical joints and side members for the mobile platform. Another part consists in proposing a control strategy compatible with the manipulation of objects, and to study the decision of the appropriate actuators for the control process. Finally, it is expected to start the integration of the subsystems mechanic, actuation and control of the manipulator.

**Keywords:** robotic manipulator, asymmetric and parallel structure, three degrees of freedom

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>ESPECIFICAÇÕES DO MANIPULADOR ROBÓTICO DE ESTRUTURA PARALELA E ASSIMÉTRICA.....</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>CONTEXTO INICIAL E ATIVIDADES PARA PROJETO .....</b>	<b>5</b>
4.1	Situação inicial do projeto .....	5
4.2	Atividades a serem realizadas .....	7
<b>5</b>	<b>FABRICAÇÃO MECÂNICA.....</b>	<b>9</b>
5.1	Aspectos teóricos de usinagem .....	9
5.2	Visão Geral .....	11
5.3	Fabricação da junta esférica .....	13
5.3.1	Seleção de material .....	14
5.3.2	Planejamento e execução da usinagem .....	15
5.4	Fabricação do órgão terminal.....	20
<b>6</b>	<b>CARACTERÍSTICA DOS MOTORES .....</b>	<b>24</b>
6.1	Motores de indução AC.....	24
6.2	Motores DC .....	24
6.3	Motores de passo.....	25
<b>7</b>	<b>COMPONENTES DE CONTROLE.....</b>	<b>26</b>
7.1	Software .....	26
7.2	Hardware.....	27
7.2.1	Motores AC.....	27
7.2.2	Motores DC.....	30
7.2.3	Motores de Passo.....	30
<b>8</b>	<b>ESCOLHA DO ATUADOR E SEU CONTROLE .....</b>	<b>32</b>
8.1	Processo de escolha .....	32
8.2	Detalhamento da estratégia de controle.....	33
8.2.1	Aspectos teóricos .....	33
8.2.2	Implementação .....	34
<b>9</b>	<b>FUTUROS AVANÇOS.....</b>	<b>41</b>
<b>10</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>42</b>

<b>11 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>43</b>
<b>APÊNDICE A – DESENHOS DE FABRICAÇÃO.....</b>	<b>46</b>
<b>APÊNDICE B – PROGRAMAS PARA FABRICAÇÃO .....</b>	<b>55</b>
<b>APÊNDICE C – CÓDIGO G PARA FABRICAÇÃO .....</b>	<b>67</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, existem diversas aplicações na indústria em que uma tarefa de transporte rápida, do tipo pick and place, deve ser executada. Para esta problemática, os robôs manipuladores de cadeia cinemática fechada surgem como uma solução interessante.

Neste sentido, está em desenvolvimento um robô manipulador de estrutura paralela e assimétrica que consiste de três membros em paralelo, sendo que, em cada um deles, encontra-se uma junta ativa. Esta configuração apresenta rápida resposta dinâmica, leveza elevada e alta precisão.

Dois destes membros são semelhantes e podem ser expressos pela notação RSS, onde R representa uma articulação de rotação e S representa uma articulação esférica e o último membro é representado pela expressão PPaP, onde P representa uma junta prismática e Pa representa um paralelogramo articulado. O sublinhado indica junta ativa.

Na atual fase de desenvolvimento em que se encontra o manipulador em estudo, a fabricação dos braços laterais (RSS) necessita ser realizada, bem como deve ser proposta uma estratégia de controle compatível com os requisitos a que o mesmo está sujeito.

## 2 OBJETIVOS

Os objetivos que se pretendem atingir a partir do desenvolvimento do manipulador robótico de estrutura paralela e assimétrica dividem-se em duas frentes. Na primeira delas, a de fabricação mecânica, pretende-se concluir a usinagem das peças do robô, com exceção das partes relacionadas diretamente à fixação dos motores, a saber, flange e acoplamentos.

Na segunda frente, a de controle, pretende-se discutir a proposição de uma estratégia de controle compatível com a manipulação de objetos, quando serão discutidos atuadores softwares e componentes adequados para este fim.

Ademais, pode-se citar como objetivo o aprimoramento de conceitos teóricos obtidos ao longo do curso de Engenharia Mecatrônica. Neste sentido, destacam-se os conceitos relacionados à fabricação mecânica e ao controle de motores.

### 3 ESPECIFICAÇÕES DO MANIPULADOR ROBÓTICO DE ESTRUTURA PARALELA E ASSIMÉTRICA

A estrutura do manipulador robótico previamente estabelecida através de estudos dos pesquisadores do Departamento de Engenharia Mecatrônica e Sistemas Mecânicos da Escola Politécnica da USP consiste de três membros ativos.

Dois deles são do tipo RSS, onde R representa uma junta de revolução ativa, e S representa uma junta esférica. O terceiro é do tipo PPaP, onde P representa uma junta prismática e Pa representa um paralelogramo articulado. Mais uma vez, o sublinhado indica que uma das juntas prismáticas é ativa.

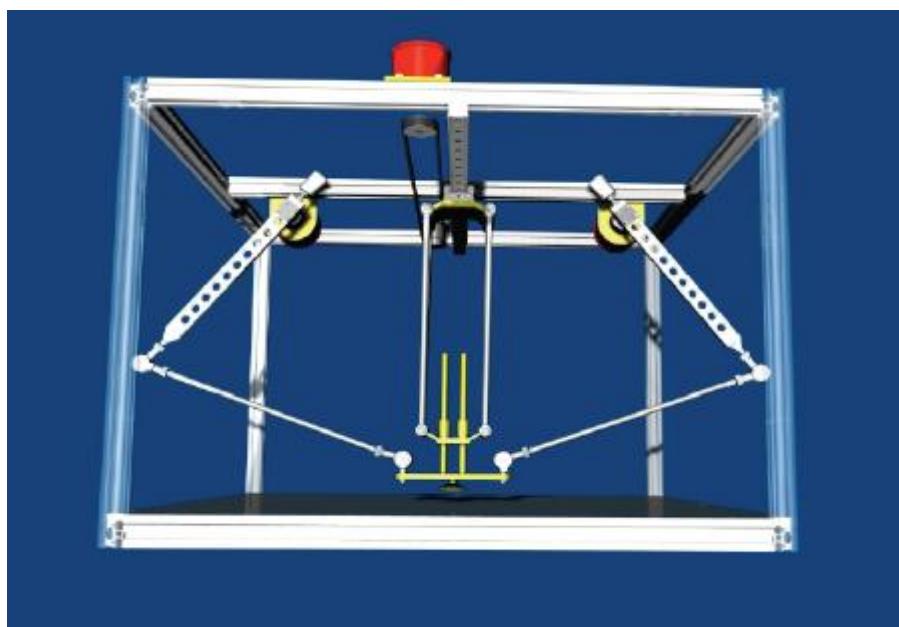


Figura 1 - Estrutura planejada para o manipulador

Portanto, resumidamente, podemos representar o manipulador esquematicamente entre a base fixa (parte superior) e a base móvel (parte inferior):

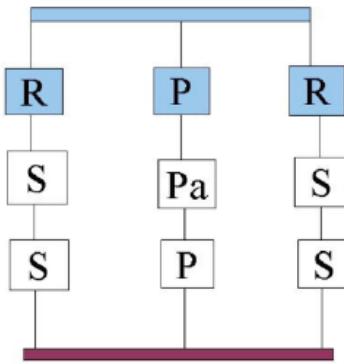


Figura 2 - Esquema do manipulador

Vale ressaltar as principais vantagens da estrutura planejada para o robô. As vantagens do paralelismo são próprias para manipuladores do tipo *pick and place* já que, em manipuladores dessa natureza, busca-se a elevada rigidez, leveza, rápida resposta dinâmica, alta precisão e elevada carga suportada. Já a assimetria garante o desacoplamento parcial entre as coordenadas da plataforma móvel, o que simplifica o modelo cinemático e proporciona um espaço de trabalho maior. Além disso, a assimetria ocasiona um custo de fabricação e montagem menor uma vez que essa estrutura é *non-overconstrained*, ou seja, não necessita de condições especiais para o posicionamento relativo de seus membros e a maioria de suas juntas.

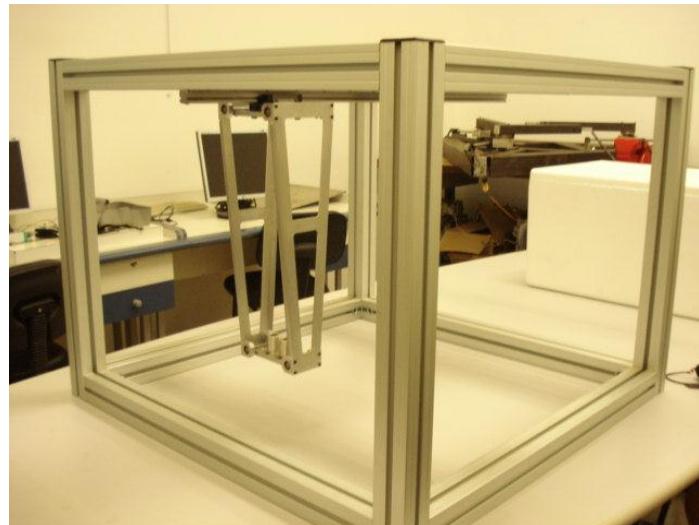
## 4 CONTEXTO INICIAL E ATIVIDADES PARA PROJETO

### 4.1 Situação inicial do projeto

O projeto cinemático do robô manipulador foi concluído em trabalhos anteriores, juntamente com a determinação das equações de posição, velocidade e torque. Dessa forma a planta para o projeto de controle está pronta.

Partes dos desenhos para a fabricação mecânica foram realizados com auxílio de computador e estão anexados ao relatório. Contudo, eles não foram disponibilizados integralmente, então parte das informações obtidas foi retirada de resumos e relatórios que versam sobre o tema.

Até o presente momento o manipulador possui a sua estrutura primária de sustentação, base, fabricada. Ela foi feita com perfis de alumínio para diminuir a massa. A guia para movimentação principal e os membros centrais para suporte também estão concluídos. Neste ponto já foram realizados testes iniciais para obtenção de valores para o dimensionamento e posterior controle do motor. O teste realizado teve o objetivo de determinar o atrito seco entre a guia principal e a peça que une os braços, chamada de união para membro central superior.

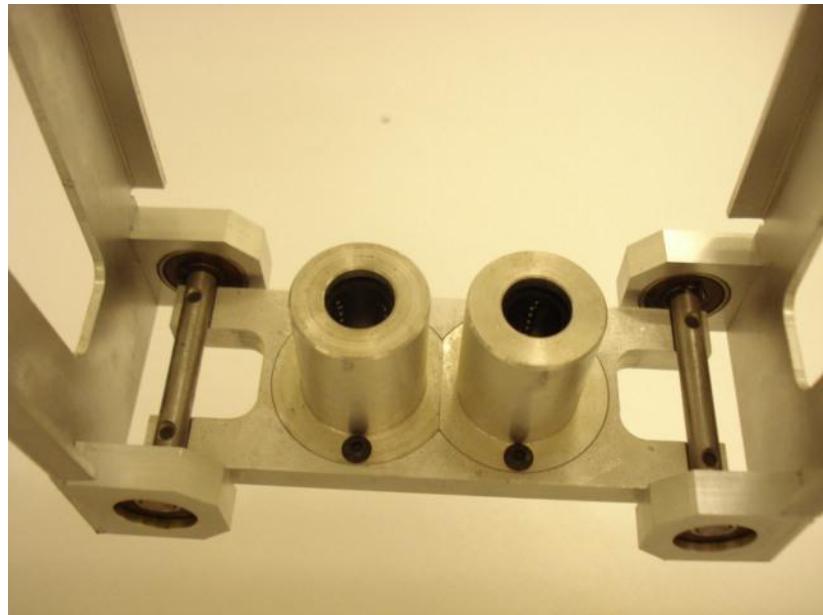


**Figura 3 - Situação inicial do manipulador, com ênfase na base e nos braços centrais**



**Figura 4 - Sequência de imagens para o movimento de translação do membro central**

Outro componente que está fabricado é a união para membro central superior. Ele possui duas buchas com esferas recirculantes para reduzir o atrito com os eixos que se movimentarão nessa região. Estes eixos serão retificados e a principal função será a de sustentar a plataforma móvel.



**Figura 5 - União para membro central**

#### **4.2 Atividades a serem realizadas**

A proposição inicial foi a de concluir a fabricação mecânica do robô. Para que isso fosse realizado seria preciso agir em duas frentes distintas, que são: fabricação mecânica, e controle do robô.

A primeira frente diz respeito à fabricação mecânica dos braços laterais, dos dispositivos de fixação dos motores, acoplamento entre eles e braços ativos e por fim o balanceamento estático para alívio de torque dos atuadores.

Quanto à parte de controle, é necessário definir uma estratégia compatível com a manipulação de objetos. Definida a estratégia a ser utilizada é preciso implementá-la, o entrave para esta atividade é fabricação mecânica.

Contudo no decorrer do projeto, verificou-se que algumas atividades e itens não foram realizados ou não estavam disponíveis para o uso. Por exemplo, o projeto mecânico não foi concluído e se perdeu os desenhos de fabricação que foram feitos por outros pesquisadores. Este fato atrasou o início da fabricação mecânica e impôs uma alteração nas atividades a serem realizadas, foi inserida uma fase de projeto mecânico para algumas peças.

Outro imprevisto foi a descoberta de que os motores apresentados inicialmente não eram adequados para o robô. Este fato gerou uma fase de levantamento bibliográfico sobre três tipos de motores que são: passo, corrente contínua e corrente alternada. A seleção deles não foi designada a este trabalho, então a contribuição foi referente à pesquisa e levantamento de dados para possíveis candidatos a atuadores.

Como decorrência dos fatos anteriores o cronograma foi readaptado para a fabricação mecânica dos membros laterais, proposta de balanceamento estático do robô, pesquisa sobre possíveis atuadores levando em consideração características mecânicas, estratégias e implementação de controle.

## 5 FABRICAÇÃO MECÂNICA

Esta seção visa fazer uma breve revisão bibliográfica para embasamento dos processos de usinagem utilizados. Além disso, mostrar as etapas e o planejamento da fabricação para as peças do robô manipulador. No primeiro tópico se mostrará o todo e nos seguintes será abordada a fabricação das peças que já estão concluídas.

### 5.1 Aspectos teóricos de usinagem

Para a usinagem ser feita da melhor maneira possível foram elaborados planos de fabricação de cada peça (figura 6). Cada plano continha as operações a serem realizadas como, por exemplo: fresamento, torneamento, rosqueamento e outros. Também a máquina em que o processo seria realizado como torno, fresadora, plaina, furadeira e por fim a ferramenta de corte: fresa de topo com o diâmetro especificado, broca com diâmetro especificado, macho, bedame, serra e outras.

Além dessas informações também foi especificada a velocidade de corte, avanço e rotação para cada processo, quando necessário. Não foram especificados os métodos de fixação da peça à máquina, pois não se possuía o conhecimento prévio de todos os dispositivos da oficina, mas este fato não criou problemas para a execução do trabalho.

Visando a qualidade da usinagem foi necessário determinar alguns parâmetros, como rotação da ferramenta e avanço. Então foram utilizadas fórmulas e tabelas de dados sobre materiais. As tabelas estão em anexo. Como exemplo, podemos citar as tabelas de velocidade de corte para uma gama de materiais e diferentes operações como: torneamento, furação e fresamento.

FOLHA DE PROCESSO				
PEÇA:	JUNTA_ESFERICA_A2			
OPERAÇÃO:	FRESAR			
MÁQUINA:	CENTRO DE USINAGEM ROMI D800			
MATERIAL:	AISI 52100			
CROQUI:				
DESCRIÇÃO				
FRESAR E FURAR COMPLETO CONFORME CROQUI.				
FERRAMENTA	DIÂMETRO (mm)	VC (m/min)	RPM	AVANÇO (mm/min)
FRESA DE TOPO	20	650	6750	603
FRESA DE TOPO	8	65	6750	607
BROCA HELICOIDAL	3	35	4500	0.10
ELABORADO POR: DOUGLAS	APROVADO POR: MURILO	REVISÃO: 01	DATA 03/09/2011	

Figura 6: Exemplo de folha de processo

A seguir, cálculos de rotação e avanço da máquina ou ferramenta descritos pelas Equações 5.1 e 5.2 (Ferraresi, 1985).

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot d} \quad (5.1)$$

Onde d é o diâmetro da ferramenta em milímetros (para o caso de furação e fresamento) ou o diâmetro do material a ser usinado (para o caso de torneamento). A rotação da ferramenta é designada pela variável n e é dada em RPM. E  $v_c$  é a velocidade de corte em m/min, fornecida por fabricantes de ferramentas e disponibilizada em catálogos.

A velocidade de corte depende do material da ferramenta e do material da peça e seu valor muda de acordo com a operação, por exemplo, torneamento e fresamento.

Outro parâmetro importante é a velocidade de avanço da ferramenta ou da mesa da máquina-ferramenta. Um avanço errado pode trazer consequências no acabamento da peça e pode chegar a quebrar a ferramenta e/ou a peça. O cálculo do avanço é:

$$v = f \times z \times n \quad (5.2)$$

Onde, z é o número de facas por dente, n é a rotação da ferramenta em RPM e f é um parâmetro fornecido pelos catálogos de fabricante de ferramenta.

Com esses parâmetros foi possível criar um plano de fabricação em que o técnico possuía as informações necessárias para a fabricação das peças.

## 5.2 Visão Geral

Este projeto pode ser dividido em três frentes para alcançar o objetivo de concluir a fabricação mecânica. A primeira frente se refere às juntas esféricas, ao todos serão dois pares distintos de juntas esféricas que possuem arquitetura diferente do ponto de vista de resistência mecânica. A segunda é pertinente

aos braços do robô, em que se deve minimizar a massa sem comprometer a rigidez estrutural. Por fim, a última parte se refere ao efetuador do robô ou órgão terminal e também guias para a última articulação prismática.

A primeira fase deste projeto é a conclusão da fabricação do robô de estrutura paralela e assimétrica. Como foi apresentado na seção anterior, a fabricação e montagem foram iniciadas, mas falta a concepção de alguns componentes, usinagem e posterior montagem.

Outra parte do projeto, a ser implementada, é a conclusão da usinagem do braço passivo. A maior parte da usinagem está concluída restando apenas realizar operações de usinagem para construir uma rosca métrica de seis milímetros e depois chanfros na extremidade próxima a rosca, cujo intuito é a redução de massa.

Para a usinagem do braço passivo, a dificuldade está em encontrar a matéria-prima necessária. Precisa-se de um tubo redondo com diâmetro externo de três oitavos de polegada e parede com espessura superior a dois milímetros. Possuindo-se a matéria-prima, a usinagem é rápida, limitando-se a corte na dimensão especificada da barra e posterior abertura de rosca métrica de seis milímetros. Operação esta a ser realizada em torno mecânico.

Caso não se obtenha o desenho definitivo desta peça será calculado o fator de concentração de tensões, da barra exposta em anexo. Para isso se usará dois softwares o MSC Patran 2010.1.2 e o MSC Nastran 2010.1.3, ambos com licença disponível para alunos. Para este cálculo, o elemento axisimétrico disponível no “solver” MSC Nastran 2010 parece atender os propósitos.

Outras peças a serem fabricadas são eixos que servem como guia para a plataforma móvel e que passam pelas buchas com esferas recirculantes da união do braço central inferior. Este eixo será torneado e depois retificado para que seja obtido o ajuste deslizante especificado no desenho de fabricação, que está em anexo.

O empecilho nesta etapa é quanto ao material a ser utilizado, o ideal é alumínio, contudo para retificar este material é preciso um rebolo especial para que ele não empaste. Tal rebolo não está disponível na oficina da escola, então uma das soluções é utilizar alguma liga de baixo carbono no lugar da liga de alumínio.

Após a fabricação dessas peças restará fazer a fixação dos motores. Contudo, eles ainda não foram escolhidos, logo não foi possível projetar um dispositivo de fixação nem pensar nos processos a serem utilizados para sua usinagem.

### 5.3 Fabricação da junta esférica

A primeira proposta para as juntas esféricas foi a aquisição das mesmas. Compraram-se dois pares distintos de juntas. O primeiro par, que une a plataforma móvel ao braço passivo, é uma junta da empresa IGUS® e o modelo é KGLM-05. Para a sua seleção se levou em consideração a força axial suportada, que é de quinhentos Newtons, e o ângulo de movimentação, o qual é de aproximadamente trinta graus.

Outro par de juntas comprado, também da empresa IGUS®, é o modelo WGRM-05 LCMS. Ela seria utilizada entre o braço passivo e o braço ativo. Para esta junta o pino poderia ser de material polimérico ou de metal. Optou-se pelo pino de metal pelo fato dele suportar maior carregamento. O catálogo desta junta está em anexo. A figura 9, retirada do site da empresa IGUS®, ilustra este modelo de junta com pino metálico.



Figura 7: Junta esférica IGUS® WGRM-05

As características delas são:

- Baixo peso;
- Montagem rápida e fácil;

- Resistente à sujeira e à poeira;
- Amortecimento de vibrações;



**Figura 8: Modelo das juntas esféricas compradas para teste**

Contudo, no decorrer do projeto, questionou-se a resistência mecânica destas juntas e também a capacidade de movimentação que ela possuía, pois parecia muito reduzida.

Então, foi iniciado a fabricação de uma junta esférica, com complexidade maior e que se julgou que atenderá todos os requisitos do projeto sem dúvidas referentes à resistência mecânica e liberdade de movimentação.

### **5.3.1 Seleção de material**

Na fabricação da junta esférica, a primeira preocupação está relacionada à seleção do material. Fazer isto corretamente implica em uma boa vida útil da peça, a respeito da integridade do componente e precisão dele. Mas, para selecionar, é preciso examinar as condições de trabalho da peça.

Para a junta esférica entre os braços do robô a principal preocupação foi quanto ao desgaste. Sabe-se que os esforços de flexão e torsão são pequenos (esse conhecimento foi obtido por meio de simulações e do aprendizado de protótipos anteriores). Haverá um atrito considerável entre as partes móveis, dessa forma o material deve ter uma dureza elevada.

Quanto aos possíveis materiais a serem utilizados se cogitou o alumínio, aços de baixo carbono e um aço utilizado para rolamentos denominado SAE 52100. Pela exigência de dureza elevada o alumínio foi excluído. Levando-se em conta que haverá esferas de aço inox 420 para fazer a rotação de dois eixos, optou-se pela maior dureza do aço SAE 52100. A dificuldade de se trabalhar com este material está na usinagem, contudo estes problemas serão abordados posteriormente.

### ***5.3.2 Planejamento e execução da usinagem***

Estiveram disponíveis para usinagem um torno CNC, um centro de usinagem, um torno mecânico automático e uma fresadora vertical. A maior parte das operações foi realizada em máquinas do tipo CNC, isto foi feito devido à precisão que este tipo de máquina fornece. A contrapartida é que foi preciso aprender a programar nas máquinas que seriam utilizadas, isso fez com que o processo de fabricação demorasse mais do que o esperado.

Possuindo os desenhos de projeto, iniciou-se a elaboração dos processos, sempre pensando em como fixar as peças na máquina e como a força de corte estaria agindo para evitar quebra ou deformação do material.

A figura 9 ilustra as peças que compõe a junta esférica e uma legenda para facilitar a identificação. Ao analisar a junta, verifica-se que a maior parte das operações é de torneamento, sendo que todas são iniciadas por este método de fabricação e posteriormente são realizados outros procedimentos como furação, fresagem e rosqueamento.

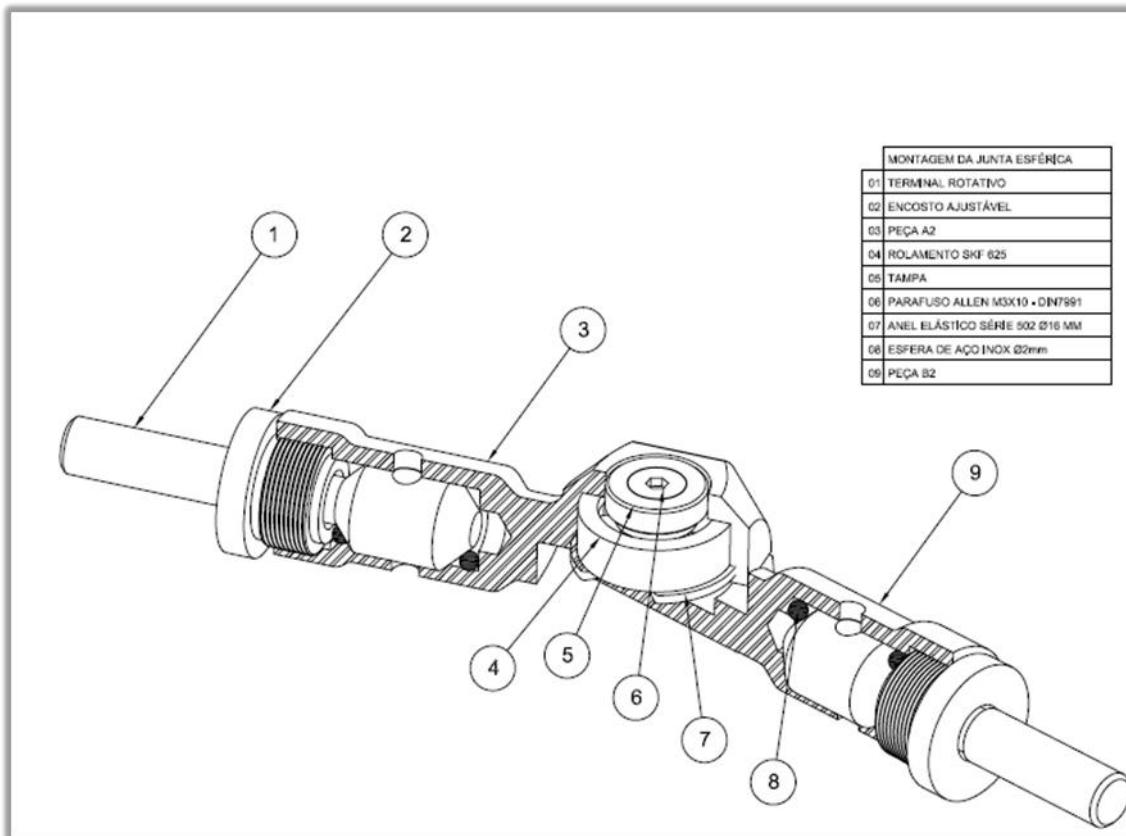


Figura 9: Desenho de montagem e legenda da junta esférica

A primeira peça a ser discutida será o terminal rotativo. Ele possui operações de torneamento, rosqueamento e furação. Esta peça é a responsável por fixar a junta esférica aos braços do robô. Esta fixação é feita por meio de uma rosca métrica de seis milímetros. O furo existente é passante e tem a função de facilitar a montagem do robô, pois ao colocar-se um pino evitar-se-á a rotação e dessa forma será possível rosquear o parafuso.

A operação de torneamento precisou ser muito cuidadosa, pois a rugosidade da parte cônica e cilíndrica interna precisa ser muita baixa, para diminuir o atrito. Além da rugosidade, a precisão dimensional é um fator crítico, pois esferas de aço inox 420 promoverão o contato pontual entre o terminal rotativo e as peças A2 e B2. Um desvio além do especificado trará um movimento de translação não desejado a esta peça.

A segunda peça é o encosto ajustável que possui operações de torneamento, furação e rosqueamento. As operações de torneamento e rosqueamento não possuem grandes problemas, a usinagem convencional com tolerâncias gerais de dimensão e forma é suficiente, o detalhe importante é quanto à rosca a ser usinada. Trata-se de uma rosca métrica de doze

milímetros passo fino, ou seja, passo de um milímetro. Foi escolhido este passo devido à precisão necessária ao deslocamento desta peça, pois é ela que dará pressão nas esferas que por sua vez permitirão apenas a rotação do terminal rotativo. A precisão no deslocamento é importante, pois se a força de contato com as esferas for pequena haverá uma rotação indesejada e se a força de contato for grande o atrito será elevado, o que trará uma dificuldade no movimento de rotação, exigindo uma força para movimentação maior.

As peças A2 e B2 são as mais trabalhosas da junta esférica. Possuem operações de torneamento externo, furações precisas, fresagem com dificuldade de fixação de peça, rosqueamento e usinagem de alojamento para rolamentos, o que exige precisão milesimal. As operações iniciais para estas peças são idênticas, então tanto na A2 como na B2 iniciou-se a fabricação com o torneamento externo em torno CNC. Após essa operação a peça foi levada ao torno automático convencional onde foram usinados os chanfros no lado oposto ao terminal rotativo. Após isso a peça foi fixada na mesma máquina, mas na ponta oposta para a operação de furação. Esta operação de furação foi delicada, pois não se consegue obter precisões elevadas neste tipo de processo e o agravante é que a tolerância dimensional para a profundidade do furo era muito pequena devido ao fato das esferas entrarem em contato com estas peças no fundo do furo.

A partir deste ponto cada uma das peças possui uma fabricação distinta, então se inicia a discussão pela peça A2. A operação seguinte foi a de fresagem e a dificuldade nesta fase foi a fixação da peça. Havia pouca área disponível para fixação, por este fato se optou por utilizar velocidades de avanço menores para evitar o desprendimento e possível quebra da peça, ferramenta ou algum acidente. Esta operação foi realizada no centro de usinagem e isto facilitou a etapa final que é a usinagem no alojamento para os rolamentos. Uma interpolação circular simples fez o alojamento e utilizando o corretor de ferramenta da máquina se obteve a precisão milesimal desejada. Para fazer a medida do diâmetro do alojamento se utilizou um micrômetro interno.

A terceira fase da peça B2 é mais complicada, pois as operações de fresagem envolvem mais interpolações circulares, com elevada precisão e o produto final é uma estrutura delicada que pode quebrar facilmente com o

esforço de corte. Também foi preciso usinar um rebaixo estreito, cuja função era de reduzir a massa, que exigia uma fresa com diâmetro reduzido e por isso foi feito com muita cautela para evitar a quebra da ferramenta e também a quebra da peça.

As demais peças foram compradas, como as esferas. No total foram utilizadas 96 esferas de aço inox 420 para montar duas juntas esféricas. Dois rolamentos série 625.

A figura 10, apresentada a seguir, ilustra a junta esférica concluída e pronta para uso.



**Figura 10: Junta esférica usinada para o robô manipulador**



**Figura 11: Junta esférica montada nos braços do robô**

O segundo par de juntas esféricas foi uma composição de soluções, formada de uma junta esférica de material polimérico que não atendia aos requisitos de rotação, com uma parte usinada para se adicionar um rolamento.



**Figura 12: Exemplo do segundo par de juntas esféricas**

A fabricação desta peça está mais relacionada com a fabricação do órgão terminal, que é detalhada a seguir.

#### 5.4 Fabricação do órgão terminal

O órgão terminal é a peça em que será acoplado o efetuador do robô. Por hora, o robô manipulador é uma máquina genérica, pois é o efetuador que fornece as características finais de uso.

Dessa forma, optou-se por fazer do órgão terminal uma peça extremamente leve. Por este motivo o material utilizado foi o alumínio. O desenho de projeto da peça está mostrado na figura 13. Vale ressaltar que uma análise de otimização seria válida para diminuir a massa e manter a rigidez da peça.

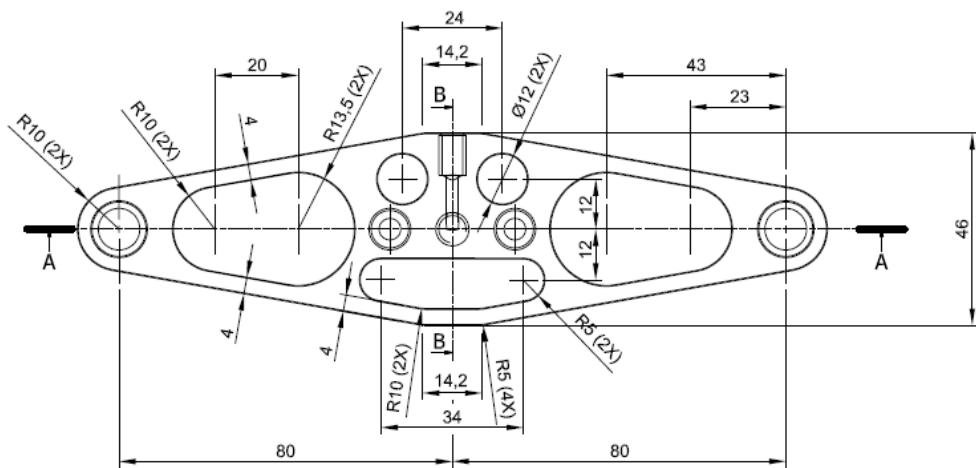


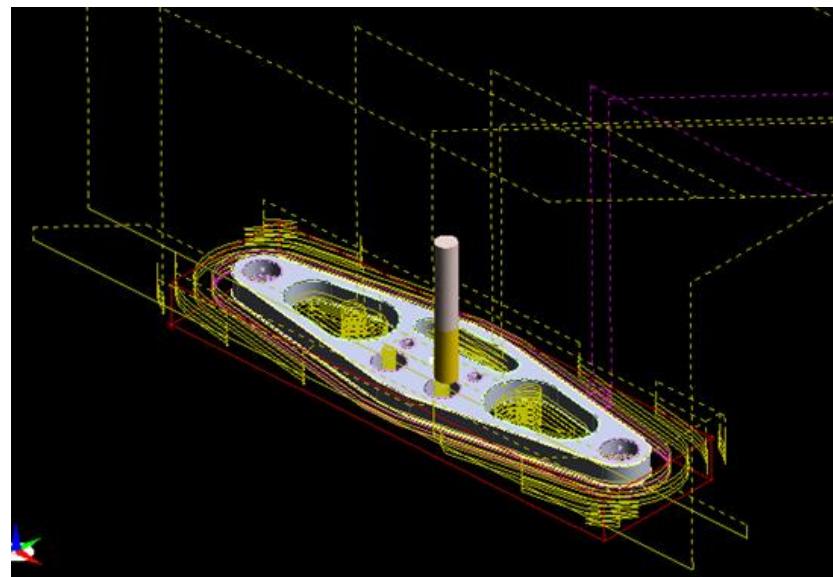
Figura 13: Órgão terminal usinado para o robô manipulador

Como se pode ver, a maior parte das operações é de fresagem. Além disso, se levou em consideração a dificuldade de obter as formas desejadas, então se optou por fazer a usinagem em um centro de usinagem.

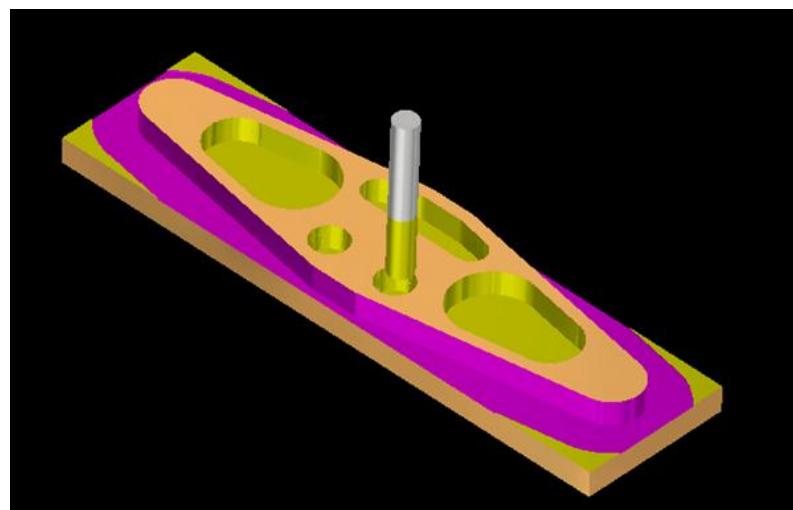
Referente à criação do código G para a realização do trabalho, utilizou-se o processo CAD-CAM. Com a utilização de um software de CAD (Computer Aided Design) se desenhou a geometria da peça. O passo seguinte foi exportar a geometria modelada para um software de CAM (Computer Aided Manufacturing). Neste programa, foi criado, de maneira rápida, o código para a

usinagem e foi possível realizar este procedimento porque o programa possuía informações sobre o driver do centro de usinagem que seria utilizado.

A seguir imagens na fase de planejamento da usinagem com o auxílio de computador:



**Figura 14: Fabricação do órgão terminal, ênfase na rota da ferramenta**



**Figura 15: Conclusão da operação da peça no centro de usinagem**

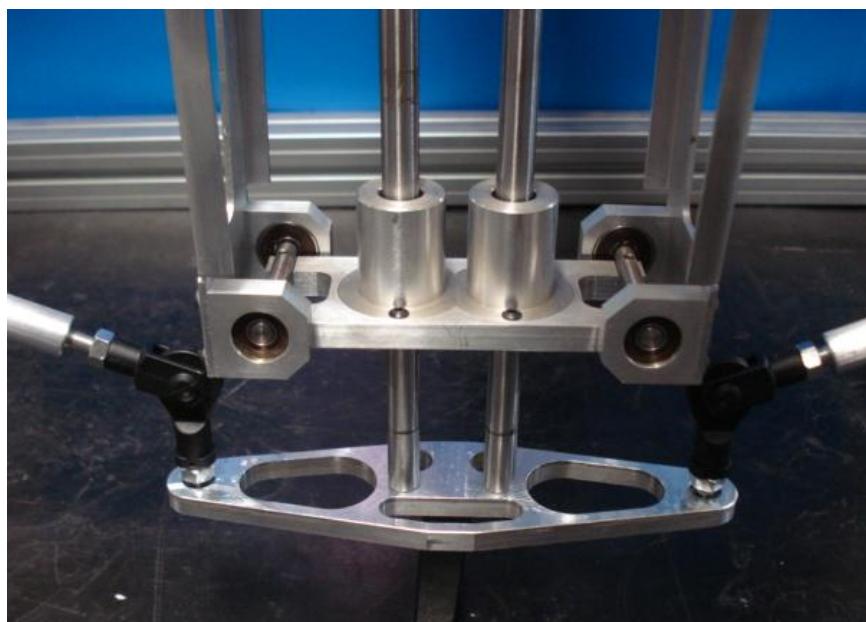
Vale ressaltar que a maior parte dos detalhes da peça visa à redução de massa, por isso não houve uma preocupação excessiva quanto à tolerância dimensional. Mas, alguns furos como alojamento para rolamento e furo para as guias móveis são de elevada precisão, sendo que o primeiro atinge precisões milésimais.

Sabendo desta informação, para os furos citados, utilizou-se o recurso de corretor de ferramenta. Foi criado um pequeno programa para que a interpolação circular destes alojamentos produzisse a dimensão exigida no projeto.

Uma informação adicional, que foi observada após a usinagem, é que o fluido de corte utilizado pode ter reagido quimicamente com o alumínio, realizando um ataque superficial. Desconfia-se disso porque a superfície usinada está mais escura.

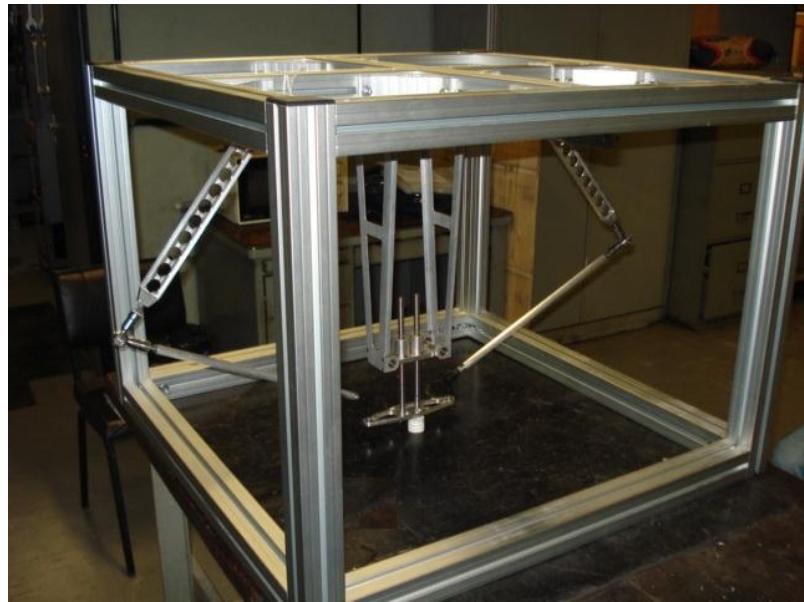


**Figura 16: Imagem frontal do órgão terminal**



**Figura 17: Órgão terminal integrado aos outros componentes fabricados**

Por fim, ilustra-se a estrutura completa do robô manipulador.



**Figura 18: Estrutura completa do robô**

## 6 CARACTERÍSTICA DOS MOTORES

Em seguida, serão descritos os tipos de motores que foram considerados para o projeto e cujo estudo de suas características, principalmente relacionadas o controle dos mesmos, serviram de base para a escolha do atuador mais apropriado. Destacam-se a seguir seus aspectos teóricos principais. São eles os motores:

- Motores de indução de corrente alternada;
- Motores de corrente contínua;
- Motores de passo;

### 6.1 Motores de indução AC

Os motores de indução de corrente alternada (AC) são os mais utilizados em controle de sistemas de movimento industriais. Seu design simples e robusto, o baixo custo, necessidade de pouca manutenção e a capacidade de conexão direta com uma fonte de alimentação AC são as principais vantagens desse tipo de motor (Parekh, 2003).

### 6.2 Motores DC

Os motores de corrente contínua (DC) são caracterizados por oferecerem alto torque na partida ou em baixas rotações. Além disso, tem como principais vantagens a ampla variação de velocidades a que podem ser submetidos e o controle para essa variação de velocidades, que é de fácil execução. Pelo lado negativo, em geral são mais caros e maiores que os motores de indução AC para uma mesma potência, além de necessitarem de mais manutenção devido aos comutadores, no caso de motores DC com escovas (Honda, 2006).

### 6.3 Motores de passo

A principal vantagem da utilização de motores de passo reside no fato de que se pode projetar o controle em malha aberta, ou seja, garante-se o conhecimento da posição do motor tomando como parâmetro apenas o número de pulsos de entrada, sem que qualquer realimentação seja necessária. Com isso, dispensa-se também a utilização de sensores como encoders, que podem elevar demasiadamente o custo do controle [12].

Particularmente, destaca-se ainda como vantagem dos motores de passo a familiaridade que os estudantes do curso de Engenharia Mecatrônica da Escola Politécnica da USP possuem com relação a eles, visto que projetos do curso, entre eles uma máquina fresadora e um absorvedor de vibrações, exigiram dos alunos a capacidade de controlá-los.

## 7 COMPONENTES DE CONTROLE

Nesta seção, descrevem-se componentes de hardware e software que são comumente utilizados em sistemas de controle dos atuadores considerados.

### 7.1 Software

No que diz respeito a softwares para o controle de diversos tipos de atuadores, encontrou-se uma unanimidade no programa Enhanced Machine Controller 2 (EMC2).

O EMC2 é um software livre inicialmente desenvolvido pela National Institute of Standards and Technology para o controle de máquinas CNC como fresadoras de três eixos, que comumente utilizam motores de passo na movimentação de seus eixos. Desta forma, o software propõe uma interface gráfica extremamente simples através da qual é possível configurar a porta paralela tradicionalmente presente em computadores para enviar sinais ao driver de acionamento de motores de passo, e assim executar um programa em código G escrito pelo usuário.

Entretanto, dada sua elevada flexibilidade de configuração, o software pode ser adaptado para o controle de diversos tipos de atuadores. Neste sentido, explicita-se as diversas partes que compõem o EMC2:

- EMCMOT: responsável pelo controle dos motores
- EMCIO: responsável pelo controle das entradas e saídas digitais
- EMCTASK: gerencia as duas partes anteriores
- GUI: responsável pela interface gráfica

Estes núcleos são configuráveis através da atribuição de valores às variáveis correspondentes de cada parte, definidas no arquivo de configuração INI.

## 7.2 Hardware

Nesta seção, descrevem-se os componentes de hardware específicos para cada tipo de atuador.

### 7.2.1 Motores AC

#### 7.2.1.1 Encoders

Os encoders são transdutores de movimento capazes de converter movimentos lineares ou angulares em informações elétricas. Estas informações podem ser transformadas em dados binários para interpretações de distância, velocidade e etc. (Marchett, 2004).

Os encoders podem ser de dois tipos, incrementais ou absolutos. Os incrementais funcionam por meio da contagem de zonas claras e escuras, que representam a passagem do disco sem furo pelo feixe de luz emitido. Com este tipo se pode determinar a velocidade e o sentido de movimento. Um dos problemas deste tipo de encoder é que, caso ocorra uma queda de energia, a posição é perdida. Já os encoders absolutos possuem diversos sensores ópticos que podem ser combinados para formar um código binário que representa uma posição angular específica. Em geral, o funcionamento desses dois tipos de encoders é parecido já que ambos convertem pulsos luminosos em pulsos elétricos.



Figura 19 - Imagem de um encoder incremental

#### 7.2.1.2 Inversores de Frequência

A figura a seguir exemplifica o inversor de frequências através de um diagrama de blocos [14].

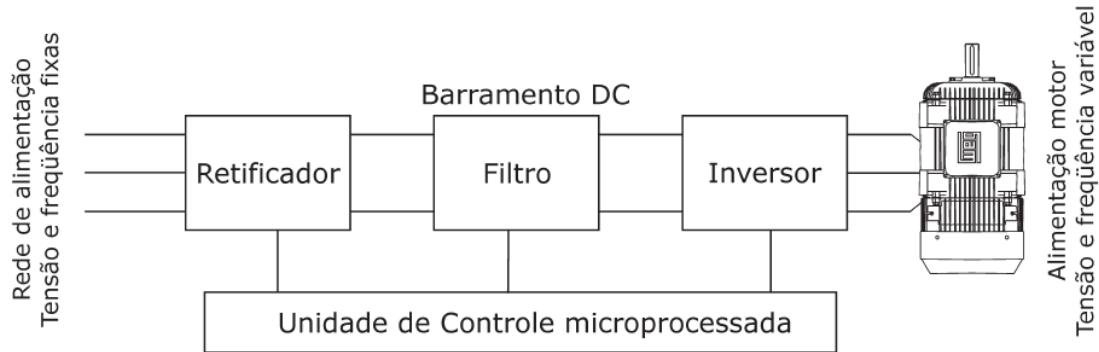
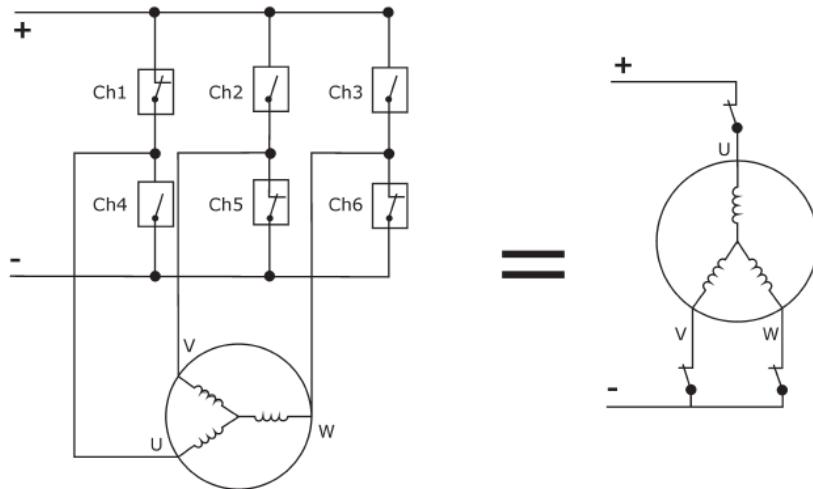


Figura 20 - Diagrama de blocos para um inversor de frequências

O retificador tem a função de gerar tensão contínua que é posteriormente filtrada e encaminhada para um inversor.

O inversor, por sua vez, é constituído de um conjunto de seis transistores que tem seu funcionamento semelhante ao funcionamento de uma chave (aberta ou fechada). Dessa maneira, cada uma das três bobinas do motor pode ser energizada positiva ou negativamente, vide figura abaixo:



**Figura 21 - Exemplo de energização feito pelo inverter através de transistores de potência**

O princípio de comando da maioria dos inversores de potência é bem simples: a velocidade de rotação que se deseja no motor é proporcional ao sinal analógico de entrada e, em geral, varia de -10Vcc a +10Vcc.

#### 7.2.1.3 Placa Motenc-Lite

A placa Motenc-Lite, da fabricante Vital Systems, é projetada para integrar o controle de até quatro eixos e possui como principais características:

- 8 saídas analógicas,  $\pm 10V$ , 13 bits de resolução
- 8 entradas analógicas,  $\pm 5V$ , 14 bits de resolução
- 4 entradas para encoders, 32 bits de resolução
- Frequência de encoder máxima de 2MHz

Neste sentido, destaca-se o papel fundamental da placa na realimentação de um sistema de controle já que ela será a principal responsável por integrar os sinais provenientes do encoder ao software de controle.

Cita-se ainda como característica principal deste componente a sua facilidade de integração com o software que será utilizado no controle, o EMC2, que pode ser inicialmente pré-configurado baseado na placa Motenc-Lite. Esta configuração é feita na tela de seleção de configuração de máquina (figura 22) exibida ao se iniciar o programa.

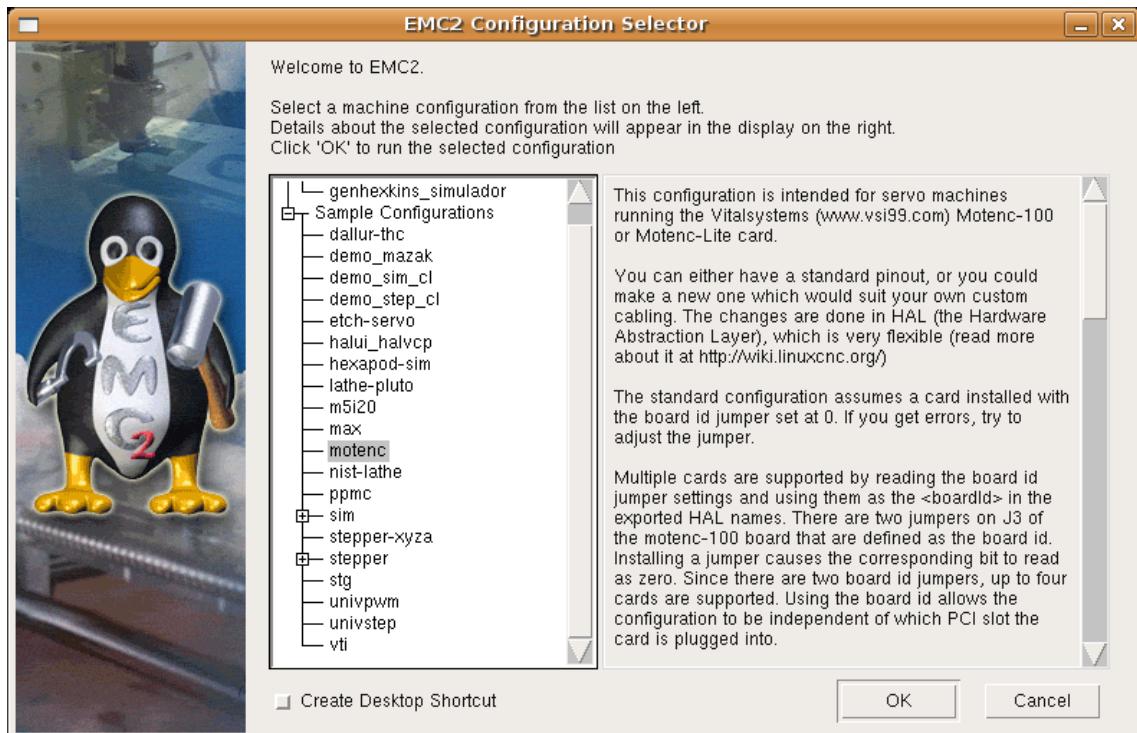


Figura 22 - Tela para escolha de configuração do EMC2

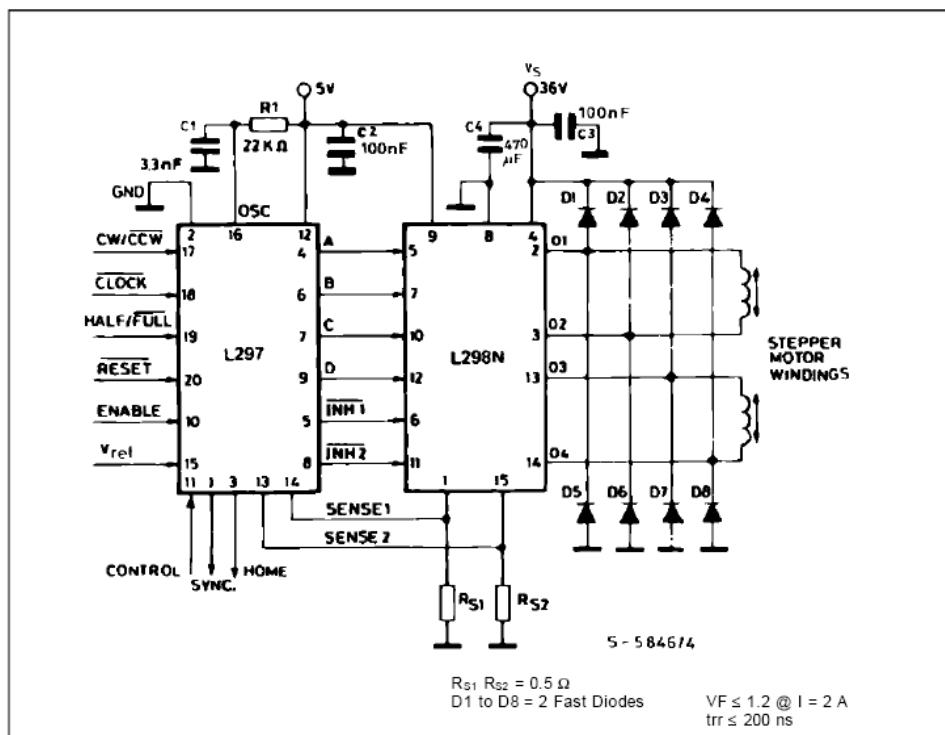
### 7.2.2 Motores DC

Além de encoders e da placa Motenc-Lite, componentes que integram tanto o sistema de controle de motores AC quanto o sistema de controle de motores DC, é fundamental a ação de um driver para pulse width modulation (PWM).

### 7.2.3 Motores de Passo

No que diz respeito ao hardware para controladores de motores de passo, a combinação dos circuitos integrados L297 e L298 é largamente utilizada para esse propósito. Todavia, deve-se levar em conta a magnitude da corrente que estará circulando nas bobinas do motor. No caso de um motor de passo bipolar, se essa magnitude for maior que 2A, a combinação dos circuitos integrados citados eventualmente poderá ser utilizada, mas o circuito

comumente empregado (figura 23) deverá ser aprimorado com transistores de potência.



**Figura 23 - Circuito para acionamento de motor de passo para correntes de no máximo 2A**

Por fim, cita-se ainda a possibilidade de utilização de drivers de acionamento comerciais que têm como base os circuitos integrados L297 e L298.

## 8 ESCOLHA DO ATUADOR E SEU CONTROLE

### 8.1 Processo de escolha

Após o estudo detalhado dos diferentes atuadores e as respectivas estratégias de controle que poderiam ser adotadas para cada um deles, verificou-se a opção mais adequada e plausível para o manipulador através de uma matriz de decisão.

Os critérios utilizados no processo de escolha foram, em ordem decrescente de pesos, resposta dinâmica, controle de posição, controle de velocidades e custo.

Dados os critérios, faz-se necessário justificar a atribuição de pesos. Neste sentido, tomou-se como base os requisitos de desenvolvimento de projeto do robô manipulador, que se mesclam com suas características principais: rápida resposta dinâmica, elevada precisão e leveza.

Assim, considerou-se como maior peso a resposta dinâmica do sistema de controle que seria obtida com a utilização de cada tipo de atuador. Seguiu-se como segundo peso a qualidade de precisão do controle de posição que poderia ser obtida. O terceiro maior peso caracterizou-se pela facilidade de implementação de um controle de velocidades e, por fim, o menor peso deu-se pelo custo total do projeto de controle, por tratar-se de um projeto acadêmico.

A seguir, exibe-se a matriz de decisão final, da onde se concluiu que o atuador mais indicado é o motor AC. A atribuição de valores variou na escala de 1 a 10.

Critérios	Peso	Motor de Passo	Motor DC	Motor AC
Reposta Dinâmica	4	3	8	8
Controle de Posição	3	5	9	9
Controle de Velocidade	2	5	8	8
Custo	1	10	7	8
<b>TOTAL</b>		47	82	83

**Tabela 1: Matriz de decisão para a escolha do atuador adequado**

Observa-se que os motores AC e DC destacam-se no critério resposta dinâmica por habilitar a estrutura do manipulador a responder rapidamente a

solicitações de torque e acelerações elevadas. É fácil perceber que o motor AC levou pequena vantagem em relação aos motores DC graças ao seu custo reduzido, já que os componentes de hardware que seriam utilizados no subsistema de controle representariam valores semelhantes.

Além disso, deve-se pontuar que os motores de passo demonstraram ser a solução menos adequada para o manipulador em questão devido ao seu comportamento em altos e variáveis torques. Desta forma, por estarem num sistema de controle de malha aberta, a qualidade do controle de posição poderia ser comprometida.

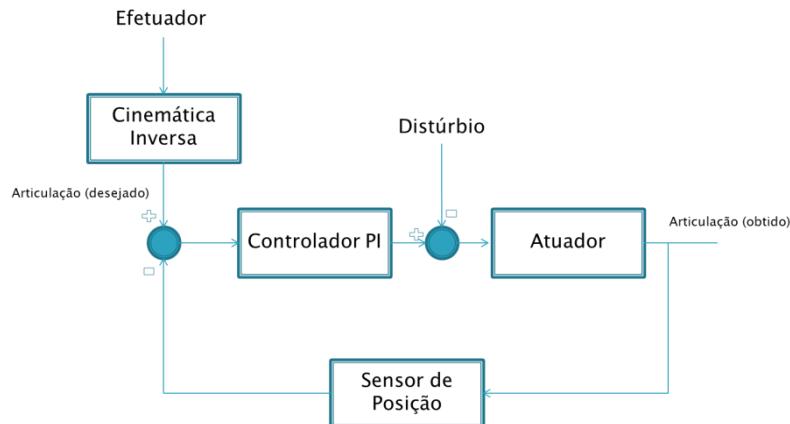
## **8.2 Detalhamento da estratégia de controle**

### **8.2.1 Aspectos teóricos**

O controle a ser discutido nesta seção baseia-se na estratégia single-input/single-output (SISO). Nela, analisa-se o controle de cada junta ativa do manipulador independentemente, tratando a influência das demais como entradas de distúrbios ao sistema.

Esta estratégia de controle requer a ação de um controlador do tipo PI para garantir que a influência das outras juntas no controle da junta de interesse possa ser desprezada (Sciavicco et. al, 1996).

Inicialmente, propõe-se um sistema de controle com realimentação de posição. O diagrama de blocos generalizado para esta estratégia de controle pode ser visualizado na figura 24.



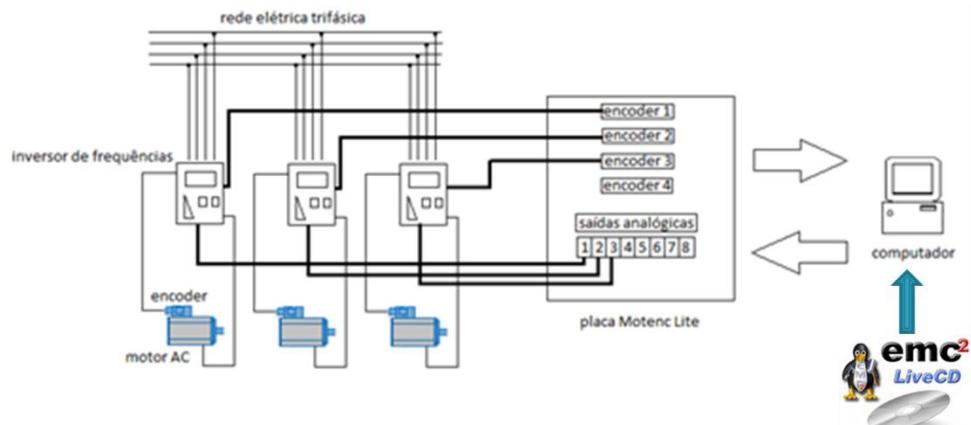
**Figura 24: Diagrama de blocos para controle da articulação desejada**

Como se sabe, a cinemática inversa dos robôs manipuladores de estrutura paralela é fácil de ser obtida se comparada a sua cinemática direta. Desta forma, pontua-se que a entrada do sistema de controle seria a posição desejada para o efetuador, da onde se obteria a posição desejada de suas articulações ativas através de sua cinemática inversa.

### 8.2.2 Implementação

A implementação da teoria de controle descrita baseia-se na integração dos componentes de hardware e software descritos na seção 7.2.1, além dos próprios motores AC.

A figura 25 descreve o sistema através das ligações entre os diversos componentes.



**Figura 25: Diagrama de ligações para o subsistema de controle**

Desta forma, é importante destacar as configurações que devem ser realizadas no EMC2 para o controle do manipulador. As variáveis de configuração que serão descritas têm a função de implementar o controle descrito teoricamente e, portanto, a atribuição de valores numéricos às mesmas será feita em trabalhos futuros, já que muitos desses valores dependem, por exemplo, de propriedades dos motores a serem adquiridos.

Neste sentido, focar-se-á na correta descrição das variáveis de configuração do EMC2, que estarão divididas nas seções do arquivo de configuração INI. Serão aprofundadas as configurações relacionadas ao controlador PI, cerne do sistema de controle em estudo. As demais configurações serão explicadas brevemente.

### **8.2.2.1 Seção EMC**

Nesta seção, podem ser configurados parâmetros de pouca relevância para o projeto em questão, como nome para exibição na janela de interface gráfica e a versão da configuração criada.

### **8.2.2.2 Seção DISPLAY**

Aqui, configuram-se parâmetros relacionados à interface gráfica. As variáveis relevantes desta seção são:

- **PROGRAM\_PREFIX**

Diretório para armazenar arquivos de código G que podem ser executados na máquina.

- **CYCLE\_TIME**

Tempo (em segundos) para atualização da interface gráfica.

### **8.2.2.3 Seção TASK**

Utilizada para parametrizar o EMCTASK. São duas variáveis:

- **TASK**

Nome arbitrário para a parte EMCTASK detalhada na arquitetura do software.

- **CYCLE\_TIME**

Tempo (em segundos) entre cada execução do EMCTASK.

#### **8.2.2.4 Seção RS274NGC**

Contém variáveis relacionadas com o interpretador de código G. Não devem ser modificadas.

#### **8.2.2.5 Seção EMCMOT**

Variáveis para o kernel que controla a movimentação dos motores. As principais são:

- **COMM\_WAIT**

Tempo (em segundos) entre cada tentativa de execução do EMCMOT.

- **BASE\_PERIOD**

Período base (em nano segundos) da rotina mais rápida do software. Este valor pode ser decisivo em computadores antigos. Entretanto, no caso da existência de um controle PI ele é irrelevante, já que o próprio PI determinará este período.

- **SERVO\_PERIOD**

Período (em nano segundos) da rotina de acionamento dos servo motores. Deve ser múltiplo inteiro de CYCLE\_TIME.

- **TRAJ\_PERIOD**

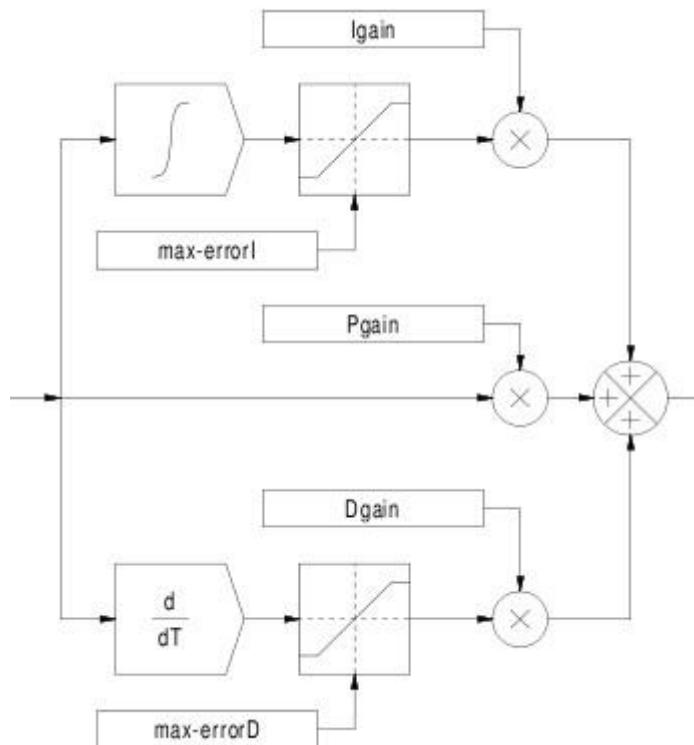
Período base (em nano segundos) da rotina de processamento de trajetórias. Deve ser múltiplo inteiro de CYCLE\_TIME.

#### **8.2.2.6 Seção HAL**

Contém variáveis de configuração dos arquivos HAL (Hardware Abstraction Layer). Nesta seção, diversos elementos de software que fazem a interligação com o hardware são configurados. Estes elementos possuem entradas e saídas bem definidas, de forma que é possível enxergá-los como

caixas-pretas. Alguns exemplos de componentes HAL seriam o encoder e o controlador PID.

O EMC2 possui uma estrutura de controlador PID previamente implementada (figura 26). Desta forma, atribui-se o valor 0 à variável Dgain, a fim de que apenas os efeitos proporcionais e integrativos do controlador atuem no sistema. Isto pode ser feito alterando-se o valor da variável **setp pid.0.Dgain [AXIS\_0] D** para zero. Este processo deve ser repetido para os três eixos de controle (AXIS\_0, AXIS\_1 e AXIS\_2).



**Figura 26: Controlador PID do EMC2**

Os parâmetros da parte proporcional e integrativa do controlador são definidas como se segue:

- **SETP pid.0.Pgain [AXIS\_0] P**  
Parâmetro do controlador correspondente à parte proporcional.
  - **SETP pid.0.Igain [AXIS\_0] I**  
Parâmetro do controlador correspondente à parte integral.
  - **SETP pid.0.Dgain [AXIS\_0] D**  
Parâmetro do controlador correspondente à parte derivativa.

### 8.2.2.7 Seção *TRAJ*

Nesta seção, são estabelecidas variáveis relacionadas ao planejamento de trajetórias. As principais são:

- **AXES**  
Número de eixos disponíveis. O máximo permitido pelo EMC é 6.
- **COORDINATES**  
Nome dos eixos a serem controlados. Os aceitos pelo programa são XYZRPW.
- **HOME**  
Posição inicial dos eixos. Para uma máquina de três eixos, esse valor poderia ser estabelecido como HOME = 0 0 0.
- **LINEAR\_UNITS**  
Para que a unidade de trabalho seja o milímetro, essa variável deve receber o valor 1.0.
- **DEFAULT\_VELOCITY**  
Velocidade default utilizada pela máquina quando o programa é iniciado.
- **MAX\_VELOCITY**  
Máxima velocidade que a máquina controlada pode atingir.
- **DEFAULT\_ACCELERATION**  
Aceleração default utilizada pela máquina quando o programa é iniciado.
- **MAX\_ACCELERATION**  
Máxima aceleração que a máquina controlada pode atingir.

### 8.2.2.8 Seção *[AXIS\_N]*

Aqui, podem ser configuradas variáveis independentes para cada eixo controlado.

- **TYPE**  
O tipo de eixo controlado. Pode ser linear ou angular.

- **UNITS**  
Unidade de trabalho do eixo, comumente configurada para milímetros.
- **HOME**  
Posição de partida do eixo.
- **MAX\_VELOCITY**  
Velocidade máxima do eixo.
- **MAX\_ACCELERATION**  
Aceleração máxima do eixo.
- **INPUT\_SCALE**  
Número de pulsos do encoder dividido pelo avanço do eixo para uma revolução completa. Exemplo: para um encoder de 4096 pulsos por volta em um eixo que se movimenta 100mm por volta, esse valor seria  $4096/100 = 40,96$  pulsos/mm. Este variável ainda pode receber um segundo parâmetro caso correções de hardware necessitem ser realizadas.
- **MIN\_LIMIT**  
Limite de posição mínima em unidades do sistema. Se este limite for excedido, a movimentação do eixo é interrompida.
- **MAX\_LIMIT**  
Limite de posição máxima em unidades do sistema. Se este limite for excedido, a movimentação do eixo é interrompida.
- **P, I, D**  
Parâmetros do controlador proporcional integral derivativo para cada eixo.

#### **8.2.2.9 Seção [EMCIO]**

Aqui, podem ser configuradas variáveis relacionadas aos pinos de entrada e saída da placa Motenc-Lite. Duas principais:

- **EMCIO**  
Nome do controlador das entradas e saídas digitais da placa.
- **CICLE\_TIME**

Período entre ciclos de leitura e escrita na placa.

## 9 FUTUROS AVANÇOS

No âmbito da fabricação, a diretriz principal para futuros avanços reside no projeto de fixadores para os motores que serão acoplados aos membros laterais. Uma diretriz secundária estaria na fabricação de mais duas juntas esféricas como as que já foram usinadas e discutidas neste trabalho, e seriam utilizadas para eventual substituição das juntas poliméricas adquiridas.

No âmbito do controle, a principal diretriz para trabalhos futuros deve focar a correta configuração das diversas variáveis do software EMC2. Existe ainda a necessidade de se inserir equações de configuração de cinemática inversa para o manipulador nos arquivos de código-fonte do software EMC2 para que, no futuro, um arquivo de código G seja executado pelo programa e uma sequência completa de “pega e põe” seja realizada.

## 10 CONCLUSÃO

Os objetivos nesta fase de desenvolvimento do robô manipulador, a saber, a conclusão da fabricação mecânica, por meio da usinagem e aquisição dos componentes restantes ao robô, e também a proposição de estratégia de controle compatível com a manipulação de objetos, através da escolha de um atuador adequado e sua integração com os componentes do sistema controle, foram atingidos.

Quanto à fabricação da junta esférica foi possível atingir as precisões estipuladas no projeto mecânico e não houve folga entre as peças e o rolamento, fato este essencial para a integridade do conjunto. A característica de baixo atrito entre as partes móveis, principalmente os conectores que possuíam esferas, também foi atingida. Isto evidencia a correta definição na rugosidade superficial e nas tolerâncias dimensionais.

Referente à fabricação do ramo central, membro PPaP, a usinagem do órgão terminal cumpriu as exigências geométricas e também a precisão para o encaixe com interferência para o rolamento de esferas. Não houve folga entre a guia e a bucha de esferas recirculantes, fato que propiciou a obtenção de um movimento suave, com a ausência de trancos.

Quanto à estratégia de controle, conclui-se que a mais adequada à manipulação de objetos deve-se basear na utilização de motores AC, que se sobressaem por possuírem rápida resposta dinâmica e baixo custo. Além disso, os motores devem estar integrados a componentes específicos de hardware e software, a saber, inversores de frequência, a placa Motenc-Lite e ao programa EMC2.

A continuidade do trabalho deve se iniciar na decisão e aquisição dos atuadores. Tanto as frentes de projeto mecânico como a fabricação e o controle estão limitadas a esta seleção de atuadores. Este foi o motivo de não ser projetado e fabricado a flange e o acoplamento para o robô e também posta em prática a solução de controle proposta.

## 11 REFERÊNCIAS

- [1] Thomas, N.; Poongodi, D. P.; Position Control of DC Motor Using Genetic Algorithm Based PID Controller. **WCE 2009**, (2), 2009 , pp.1–5.
- [2] altayef, J. a.; Qun-xiong, Z.; Real –Time DC Motor Position Control by (FPID) Controllers and design (FLC) Using Labview Software Simulation. **Int. J. Engng. Studies**, (1), 2009, pp. 247–256.
- [3] Chamsai, T.; Jirawattana, P.; Radpukdee, T.; Sliding Mode Control with PID Tuning Technique: An Application to a DC Servo Motor Position Tracking Control. **Energy Research Journal**, (1), 2010, pp. 55–61.
- [4] Supriyo, B.; Tawi, K. B.; Jamaluddin, H.; Ariyono, S.; DC Motor Position Control for Pulley Axial Movement of an Electromechanical Dual Acting Pulley (EMDAP) CVT System. Malasia.
- [5] Namazov, M.; Basturk, O.; DC motor position control using fuzzy proportional-derivative controllers with different defuzzification methods. **TJFS: Turkish Journal of Fuzzy Systems**, (1), 2010, pp. 36–64.
- [6] Sharifian, M.B.B.; Rahnavard, R.; Delavari, H.; Velocity Control of DC Motor Based Intelligent methods and Optimal Integral State Feedback Controller. **International Journal of Computer Theory and Engineering**, (1), 2009, pp. 1793–8201.
- [7] Kettle, P.; Murray, A.; Moynihan, F.; Sensorless Control of a Brushless DC motor using an Extended Kalman estimator. **CIM'98 INTELLIGANT MOTION**,1998, pp. 385–392.
- [8] Karadeniz, M.; İskender, İ; Yüncü, S.; ADAPTIVE NEURAL NETWORK CONTROL OF A DC MOTOR. Ankara.

- [9] Hyalij, G. S.; Deshpande, A. U; Shendge, P. D.; Patre. B. M.; Real Time Implementation of Time Delay Controller for DC Motor Speed Control. **International Journal of Recent Trends in Engineering**, (1), 2009, pp. 353–358.
- [10] Ayasun, S.; Karbeyaz, G.; DC Motor Speed Control Methods Using MATLAB/Simulink and Their Integration into Undergraduate Electric Machinery Courses. **Wiley Periodicals Inc**, 2007, pp. 347–354.
- [11] Parekh, R.; AC Induction Motor Fundamentals. **Microship Technology Inc**, 2003, pp. 1–24.
- [12] Industrial Circuits Application Note: Stepper Motor Basics.
- [13] Honda, F.; Motores de Corrente Contínua: Guia Rápido para uma Especificação Precisa. **Siemens Ltda**, 2006, pp. 1–36.
- [14] Mascheroni, J. M.; Lichtblau, M.; Gerardi, D.; Guia de Aplicação de Inversores de Frequência. **WEG Automação**, pp. 1–264.
- [15] Coelho, T. A. H.; Batalha G. F.; Moraes, D. T. B.; Bockzko, M.; Didatic Prototype of a Machine Tool Based on Parallel Kinematic Mechanism. **University of São Paulo**, pp. 1–8.
- [16] Almeida, R. Z. H.; Hess-Coelho, T. A.; Dynamic Model of a 3-dof Asymmetric Parallel Mechanism. **The Open Mechanical Engng J**, (4), 2010, pp. 48–5.
- [17] Kumazawa, V. D.; **Desenvolvimento de Robô Paralelo**. 2008. 89 p. Trabalho de Curso (Bacharel em Engenharia Mecânica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- [18] Marchett, D. M.; Antonello, J. P.; Damassini, L.; Tibolla, V. V.; **Encoder**. 2004. 16 p. Trabalho de Curso (INSTRUMENTAÇÃO) – Centro de Ciências

Exatas e Tecnologia em Automatização Industrial, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2004.

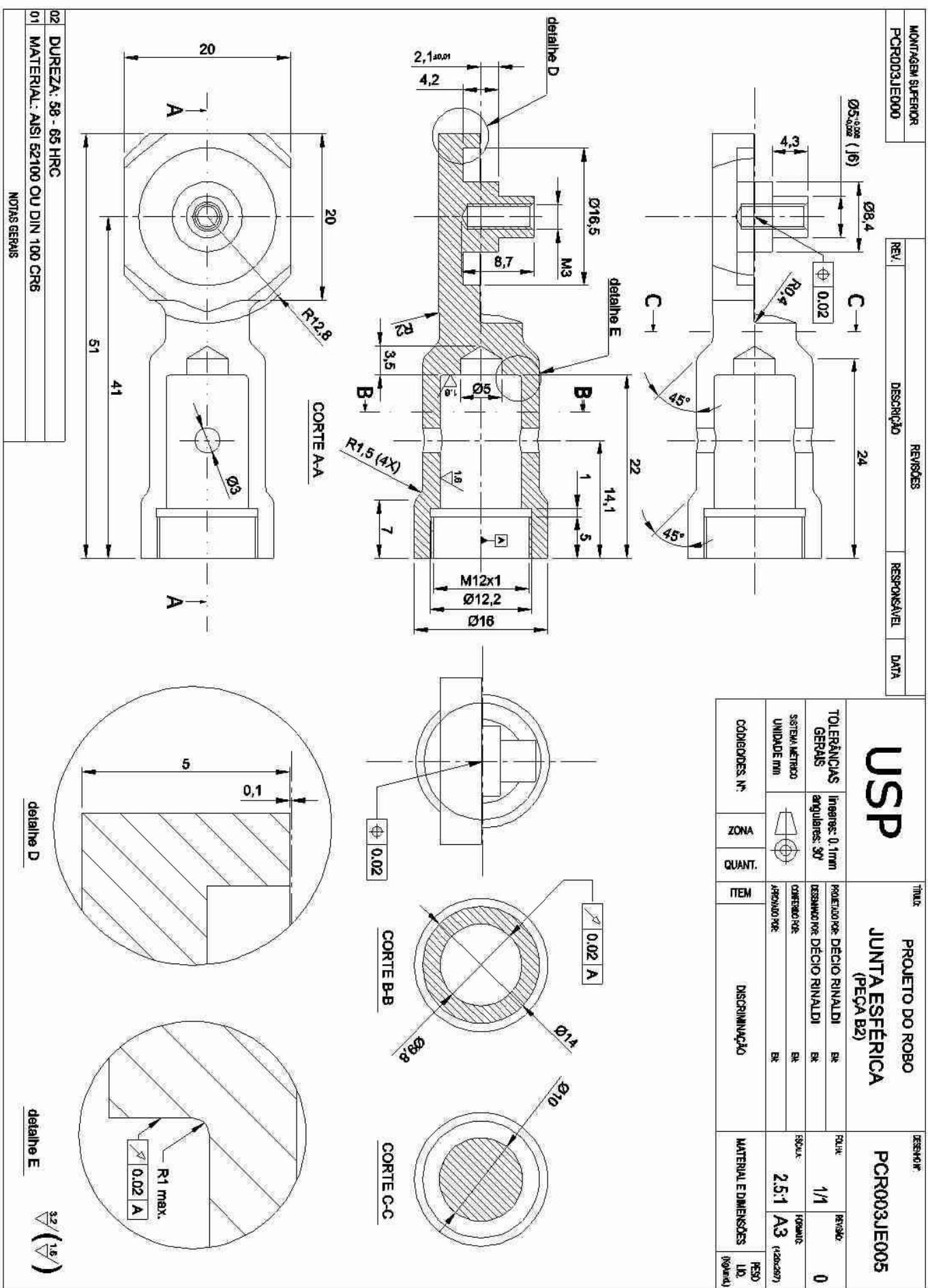
[19] EMC PARA EL CONTROL DE MANIPULADORES. Disponível em: <<http://www.imac.unavarra.es/~cnc/>>. Acesso em: 18 out. 2011.

[20] Sciavicco, L.; Siciliano, B.; **Modeling and Control of Robot Manipulators**. Nápoles, Itália: The McGraw-Hill Companies, Inc., 1996, pp. 203-208.

[21] García, J. N.; **Modelado y Control SISO de un Manipulador Paralelo Tipo Hexaglide**. Automática para Ingenieros Técnicos Mecánicos. pp. 1-5.

## **APÊNDICE A – DESENHOS DE FABRICAÇÃO**

NOSSA FIRMA MANTÉM SEMPRE O DIREITO DE PROPRIEDADE DESTE  
DESENHO E ANEXOS, CONFIDIAIS PESSOALMENTE AO DESTINATÁRIO.  
ELES NÃO DEVEM, SEM NOSSA AUTORIZAÇÃO ESCRITA, SEREM COPIADOS,  
REPRODUZIDOS, COMUNICADOS A TERCEIROS OU POSTOS À SUA DISPOSIÇÃO.



NOSSA FIRMA MANTÉM SEMPRE O DIREITO DE PROPRIEDADE DESTE  
DESENHO E ANEXOS, CONFIDUAIS PESSOALMENTE AO DESTINATÁRIO.  
ELES NÃO DEVERÃO SER NOSSA AUTORIZAÇÃO ESCRITA, SEREM CORRIDOS,  
REPRODUZIDOS, COMUNICADOS A TERCEIROS OU POSTOS À SUA DISPOSIÇÃO.

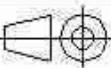
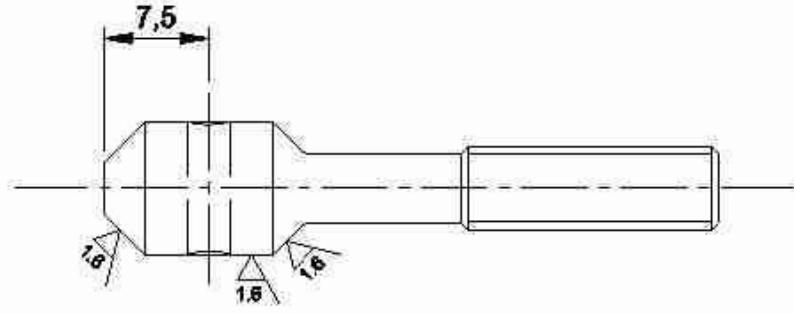
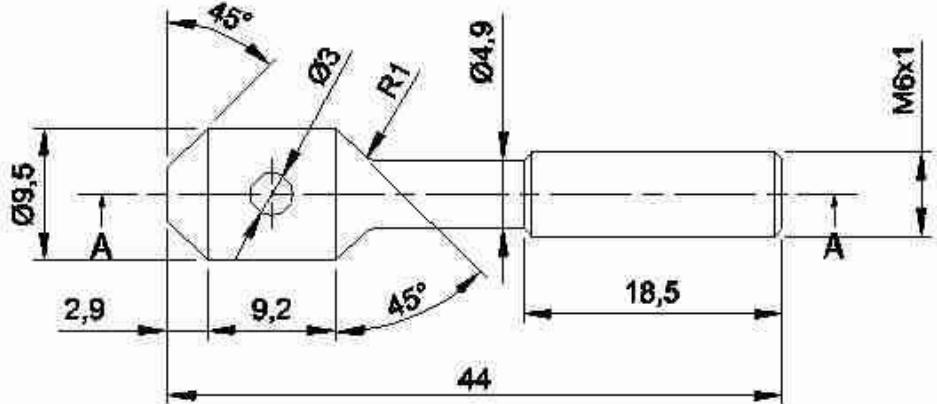
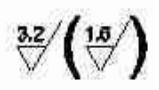
USP		TÍTULO: <b>TAMPA</b>		DESENHO N.º: <b>PCR003JE004</b>									
TOLERÂNCIAS GERAIS	lineares: 0,1 mm angulares: 30'	PROJETADO POR: DÉCIO RINALDI REVISÃO: 0	1/1	DESENHADO POR: DÉCIO RINALDI	FORMATO: 5:1 A4 (210x297)								
SISTEMA MÉTRICO UNIDADE mm		CONFIRMADO POR: APROVADO POR:	ESCALA:										
CÓDIGO/DES. N.º:	ZONA:	ITEM:	DISCRIMINAÇÃO		MATERIAL E DIMENSÕES PESO LÍQ. (Kg/unid.)								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">REVISÕES</th> </tr> <tr> <th>REV.</th> <th>DESCRIÇÃO</th> <th>RESPONSÁVEL</th> <th>DATA</th> </tr> </thead> </table>						REVISÕES				REV.	DESCRIÇÃO	RESPONSÁVEL	DATA
REVISÕES													
REV.	DESCRIÇÃO	RESPONSÁVEL	DATA										
<p><b>CORTE A-A</b></p>													
<p>02 DUREZA: 58 - 65 HRC</p> <p>01 MATERIAL: AISI 52100 OU DIN 100 CR6</p> <p>NOTAS GERAIS</p>													
<p>PCR003JE000</p> <p>MONTAGEM SUPERIOR</p>													

NOSSA FIRMA MANTÉM SEMPRE O DIREITO DE PROPRIEDADE DESTE  
DESENHO E ANEXOS, CONFIDADOS PESSOALMENTE AO DESTINATÁRIO.  
ELES NÃO DEVEM, SEM NOSSA AUTORIZAÇÃO ESCRITA, SEREM COPIADOS,  
REPRODUCIDOS, COMUNICADOS A TERCEIROS OU POSTOS À SUA DISPOSIÇÃO.

NOSSA FIRMA MANTÉM SEMPRE O DIREITO DE PROPRIEDADE DESTE  
DESENHO E ANEXOS, CONFIDIAIS PESSOALMENTE AO DESTINATÁRIO.  
ELES NÃO DEVERÃO SER NOSSA AUTORIZAÇÃO ESCRITA, SEREM COPIADOS,  
REPRODUZIDOS, COMUNICADOS A TERCEIROS OU POSTOS À SUA DISPOSIÇÃO.

USP		TÍTULO: <b>ENCOSTO AJUSTÁVEL</b>		DESENHO N°: <b>PCR003JE002</b>					
TOLERÂNCIAS GERAIS	lineares: 0,1 mm angulares: 30°	PROJETADO POR: DÉCIO RINALDI EM: DESENHADO POR: DÉCIO RINALDI EM:	FOLHA: <b>1/1</b>	REVISÃO: <b>1</b>					
SISTEMA MÉTRICO UNIDADE mm		CONFIRMADO POR: EM: APROVADO POR: EM:	ESCALA: <b>2,5:1</b>	FORMATO: <b>A4 (210x297)</b>					
CÓDIGO/DES. N°:	ZONA	QUANT.	ITEM	DISCRIMINAÇÃO	MATERIAL E DIMENSÕES PESO LÍQ. (Kg/unid.)				
<b>REVISÕES</b>									
REV.	Descrição		Responsável	Data					
<b>CORTE A-A</b>									
02	DUREZA: 58 - 65 HRC								
01	MATERIAL: AISI 52100 OU DIN 100 CR6		PCR003JE000						
NOTAS GERAIS			MONTAGEM SUPERIOR						

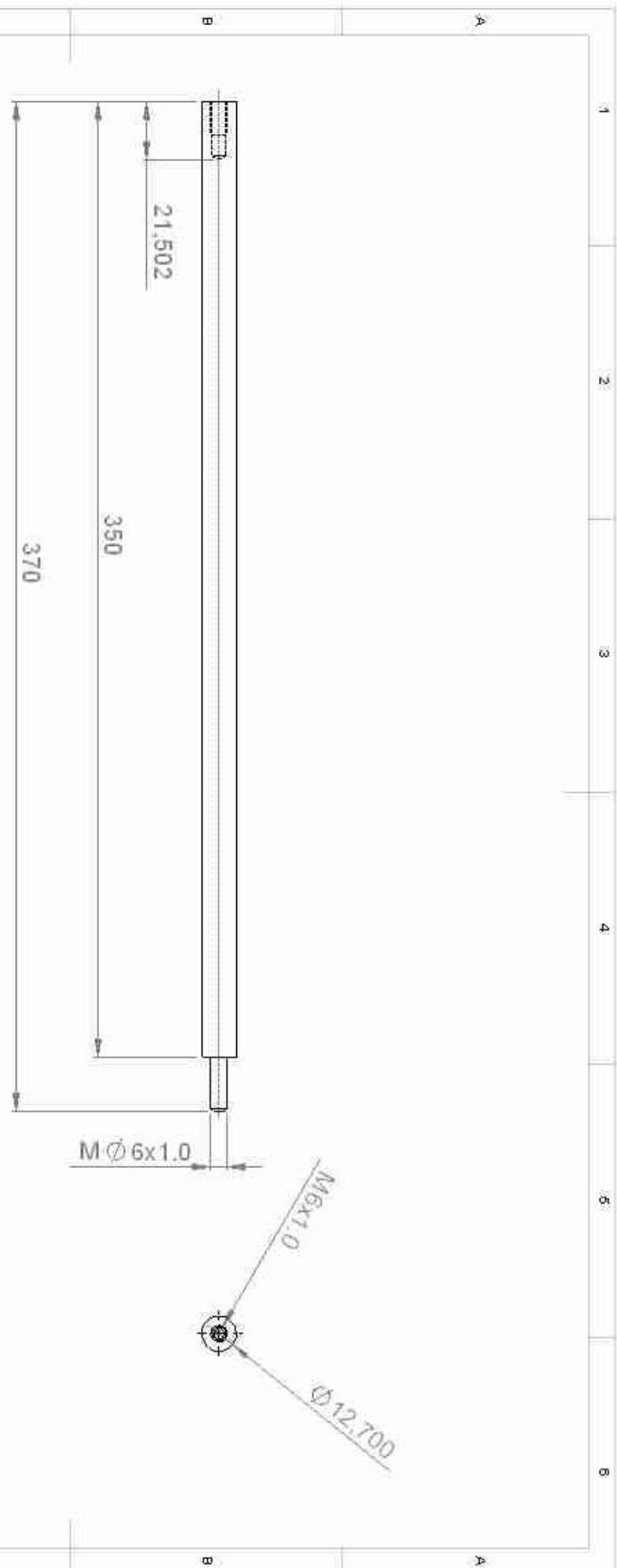
NOSSA FIRMA MANTÉM SEMPRE O DIREITO DE PROPRIEDADE DESSE  
DESENHO E ANEXOS, CONFIDIA OS PESSOALMENTE AO DESTINATÁRIO.  
ELES NÃO DEVERÃO SER NOSSA AUTORIZAÇÃO ESCRITA, SEREM COMBINADOS,  
REPRODUZIDOS, COMUNICADOS A TERCEIROS OU POSTOS À SUA DISPOSIÇÃO.

USP			TÍTULO TERMINAL		DESENHO N°: PCR003JE001									
TOLERÂNCIAS GERAIS	lineares: 0,1 mm angulares: 30°		PROJETADO POR: DÉCIO RINALDI EM DESENHADO POR: DÉCIO RINALDI EM		FOURA: 1/1	REVISÃO: 0								
SISTEMA MÉTRICO UNIDADE mm			CONFERIDO POR: EM APROVADO POR: EM		ESCALA: 2:1	FORMATO: A4 (210x297mm)								
CÓDIGO/DES. N°:	ZONA	QUANT.	ITEM	DISCRIMINAÇÃO	MATERIAL E DIMENSÕES	PESO LÍQ. (Kg/unid.)								
			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">REVISÕES</th> </tr> <tr> <th>REV.</th><th>DESCRIÇÃO</th><th>RESPONSÁVEL</th><th>DATA</th></tr> </thead> </table>				REVISÕES				REV.	DESCRIÇÃO	RESPONSÁVEL	DATA
REVISÕES														
REV.	DESCRIÇÃO	RESPONSÁVEL	DATA											
														
														
														
02	DUREZA: 58 - 65 HRC			PCR003JE000										
01	MATERIAL: AISI 52100 OU DIN 100 CR6			MONTAGEM SUPERIOR										
NOTAS GERAIS														

NOSSA FIRMA MANTÉM SEMPRE O DIREITO DE PROPRIEDADE DESTE  
DESENHO E ANEXOS, CONFIDIAOS PESSOALMENTE AO DESTINATÁRIO.  
ELES NÃO DEVEM, SEM NOSSA AUTORIZAÇÃO ESCRITA, SEREM COPIADOS,  
REPRODUCIDOS, COMUNICADOS A TERCEIROS OU POSTOS À SUA DISPOSIÇÃO.

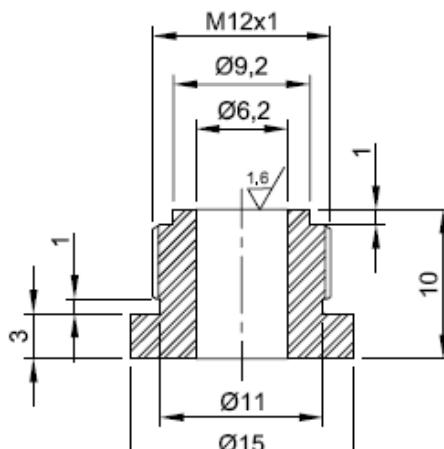
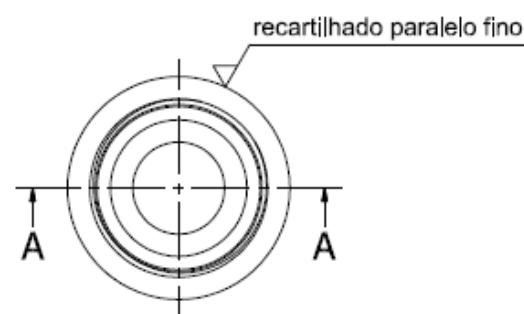
NOSSA FIRMA MANTÉM SEMPRE O DIREITO DE PROPRIEDADE DESTE DESENHO E ANEXOS, CONFIDADOS PESSOALMENTE AO DESTINATÁRIO. ELES NÃO DEVEM, SEM NOSSA AUTORIZAÇÃO ESCRITA, SEREM COPIADOS, REPRODUZIDOS, COMUNICADOS A TERCEIROS OU POSTOS À SUA DISPOSIÇÃO.

MONTAGEM SUPERIOR		PCR003JE000	
REV.	DESCRIÇÃO	RESPONSÁVEL	DATA
		<b>USP</b> <b>ORGÃO TERMINAL</b>	
<b>CORTE A-A</b> <b>ESCALA 1:1</b>		<b>PROJETO DO ROBO</b> <b>PCR003XXXX</b>	
		<b>TOLERÂNCIAS GERAIS CONFORME NBR ISO 2768</b>	
		<b>PROJETADO POR:</b> DÉCIO RINALDI <b>RE:</b> <b>DESENHADOR:</b> DÉCIO RINALDI <b>RE:</b> <b>COMPROV. P/R:</b> <b>RE:</b> <b>ARROMBO P/R:</b> <b>RE:</b>	<b>REVISÃO:</b> <b>1/1</b> <b>REV.:</b> <b>0</b>
		<b>DISCRIMINAÇÃO</b> <b>MATERIAL E DIMENSÕES</b> <b>PESO</b> <b>10,00</b> <b>kg</b>	<b>SISTEMA MÉTRICO</b> <b>UNIDADE MM</b> <b>CÓDIGO DE COR:</b> A3 <b>FORMATO:</b> (420x297) <b>ARQ. CAD:</b> (420x297)
<b>CORTE B-B</b> <b>ESCALA 2:1</b>			
		<b>NOTAS GERAIS</b> <b>01 MATERIAL: ALUMÍNIO 7075-T651</b>	



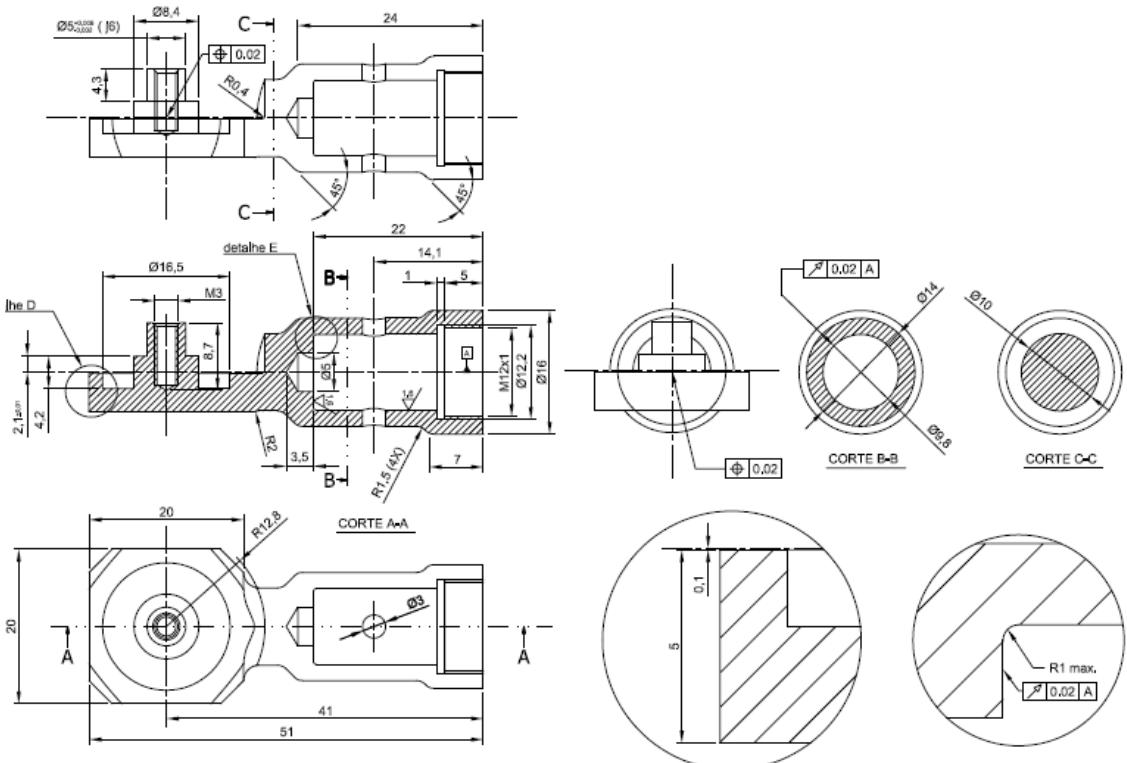
bie la \_secundária

## **APÊNDICE B – PROGRAMAS PARA FABRICAÇÃO**

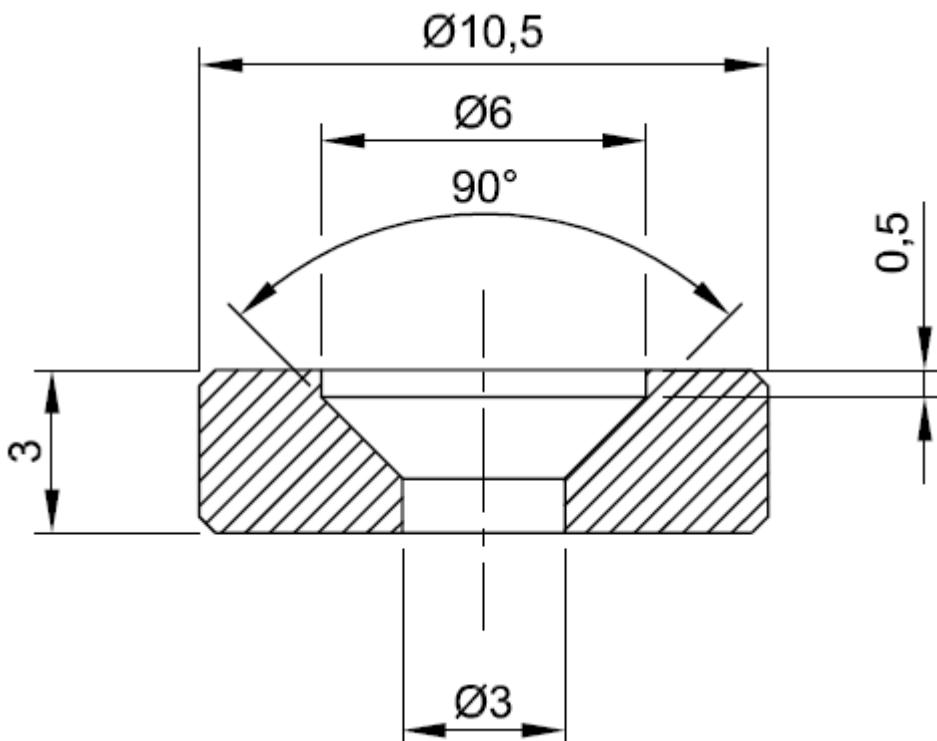
FOLHA DE PROCESSO										
PEÇA:	ENCOSTO AJUSTÁVEL									
OPERAÇÃO:	TORNEAR		Nº 010							
MÁQUINA:	TORNO CNC HARDINGE GS150									
MATERIAL:	AISI 52100									
CROQUI:										
CORTE A-A										
										
Descrição										
TORNEAR E FURAR E USINAR INTERNO CONFORME CROQUI										
FERRAMENTA	DIÂMETRO (mm)	VC (m/min)	RPM	AVANÇO (mm/rot)						
FERRAMENTA PARA DESBASTAR E FACEAR	-	250	4500	0.30						
FERRAMENTA PARA ACABAMENTO	-	300	5000	0.20						
FERRAMENTA PARA ROSCAR	-	150	1200	0.5						
BROCA HELICOIDAL	3	35	4500	0.10						
FERRAMENTA PARATORNEAR INTERNO	-	250	4500	0.15						
ELABORADO POR: DOUGLAS	APROVADO POR: MURILO	REVISÃO: 01	DATA 03/09/2011							

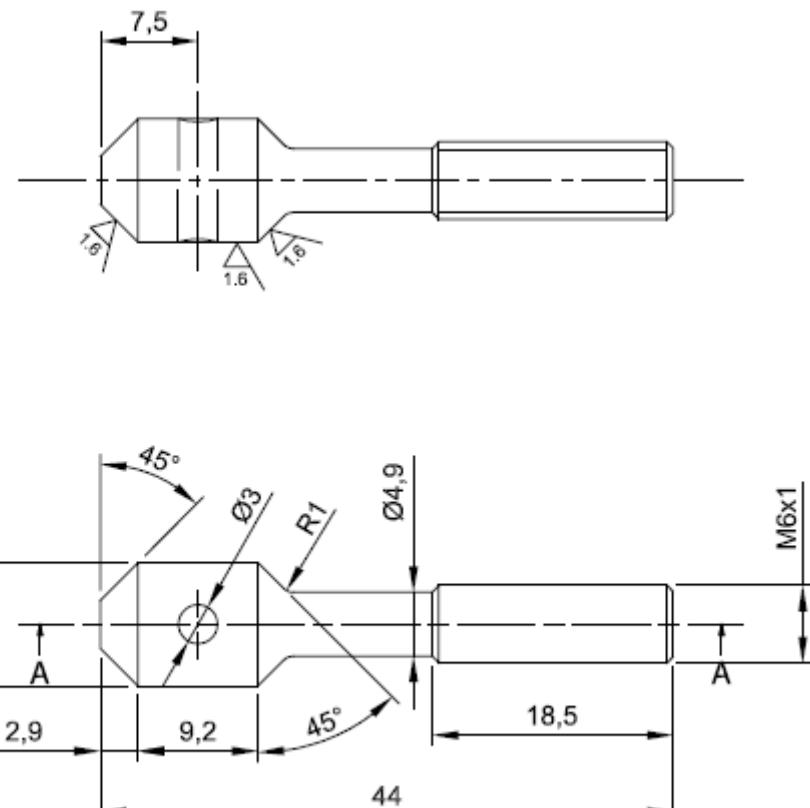
FOLHA DE PROCESSO				
PEÇA:	JUNTA_ESFERICA_A2			
OPERAÇÃO:	FRESAR			
MÁQUINA:	CENTRO DE USINAGEM ROMI D800			
MATERIAL:	AISI 52100			
CROQUI:				
DESCRIÇÃO	<p>FRESAR E FURAR COMPLETO CONFORME CROQUI.</p>			
FERRAMENTA	DIÂMETRO (mm)	VC (m/min)	RPM	AVANÇO (mm/min)
FRESA DE TOPO	20	650	6750	603
FRESA DE TOPO	8	65	6750	607
BROCA HELICOIDAL	3	35	4500	0.10
ELABORADO POR: DOUGLAS	APROVADO POR: MURILO	REVISÃO: 01	DATA 03/09/2011	

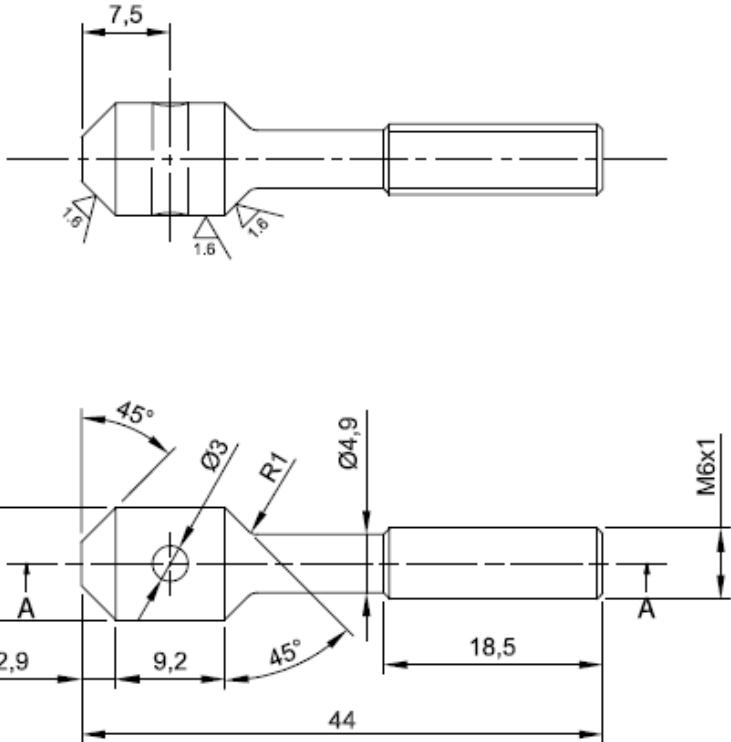


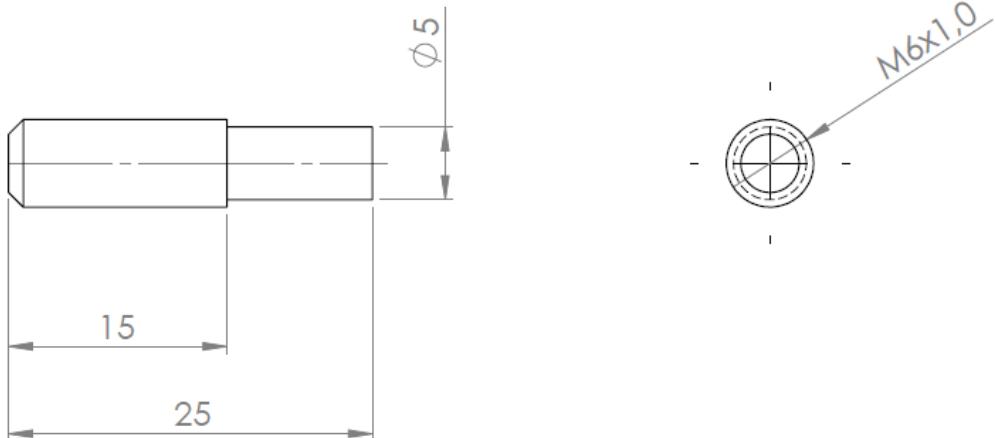
FOLHA DE PROCESSO				
PEÇA:	JUNTA_ESFERICA_B2			
OPERAÇÃO:	FRESAR			
MÁQUINA:	CENTRO DE USINAGEM ROMI D800			
MATERIAL:	AISI 52100			
CROQUI:				
DESCRÍÇÃO				
FRESAR E FURAR COMPLETO CONFORME CROQUI.				
FERRAMENTA	DIÂMETRO (mm)	VC (m/min)	RPM	AVANÇO (mm/min)
FRESA DE TOPO	20	650	6750	603
FRESA DE TOPO	8	65	6750	607
BROCA HELICOIDAL	3	35	4500	0.10
ELABORADO POR: DOUGLAS	APROVADO POR: MURILO	REVISÃO: 01	DATA 03/09/2011	

FOLHA DE PROCESSO				
PEÇA:	JUNTA ESFÉRICA B2			
OPERAÇÃO:	TORNEAR			Nº 020
MÁQUINA:	TORNO CNC HARDINGE GS150			
MATERIAL:	AISI 52100			
CROQUI:				
DESCRÍÇÃO	TORNEAR, FURAR E USINAR INTERNO CONFORME CROQUI			
FERRAMENTA	DIÂMETRO (mm)	VC (m/min)	RPM	AVANÇO (mm/rot)
FERRAMENTA PARA DESBASTAR E FACEAR	-	250	4500	0.30
FERRAMENTA PARA ACABAMENTO	-	300	5000	0.20
BROCA HELICOIDAL	5	35	4500	0.10
FERRAMENTA PARATORNEAR INTERNO	-	250	4500	0.15
FERRAMENTA PARAROSCAR INTERNO	-	95	1200	1
ELABORADO POR: DOUGLAS	APROVADO POR: MURILO	REVISÃO: 01	DATA 03/09/2011	

FOLHA DE PROCESSO								
PEÇA:	TAMPA							
OPERAÇÃO:	TORNEAR			Nº 010				
MÁQUINA:	TORNO CNC HARDINGE GS150							
MATERIAL:	AISI 52100							
CROQUI:								
Descrição								
TORNEAR E FURAR CONFORME CROQUI								
FERRAMENTA	DIÂMETRO (mm)	VC (m/min)	RPM	AVANÇO (mm/rot)				
FERRAMENTA DE DESBASTAR E FACEAR	-	250	4500	0.30				
FERRAMENTA DE ACABAMENTO	-	300	5000	0.20				
BROCA HELICOIDAL	3	35	4500	0.10				
ESCAREADOR	6X90°	25	800	0.10				
ELABORADO POR: DOUGLAS	APROVADO POR: MURILO	REVISÃO: 01	DATA 03/09/2011					

FOLHA DE PROCESSO								
PEÇA:	TERMINAL							
OPERAÇÃO:	TORNEAR			Nº 010				
MÁQUINA:	TORNO CNC HARDINGE GS150							
MATERIAL:	AISI 52100							
CROQUI:								
DESCRIÇÃO								
TORNEAR CONFORME CROQUI								
FERRAMENTA	DIÂMETRO (mm)	VC (m/min)	RPM	AVANÇO (mm/rot)				
FERRAMENTA DE DESBASTAR E FACEAR	-	250	4500	0.30				
FERRAMENTA DE ACABAMENTO	-	300	5000	0.20				
FERRAMENTA PARA ROSCAR	-	150	1200	1				
ELABORADO POR: DOUGLAS	APROVADO POR: MURILO	REVISÃO: 01	DATA 03/09/2011					

FOLHA DE PROCESSO										
PEÇA:	TERMINAL									
OPERAÇÃO:	FURAR		Nº 020							
MÁQUINA:	FURADEIRA DE COORDENADAS FELMAN									
MATERIAL:	AISI 52100									
CROQUI:										
Descrição										
FURAR DIÂM. 3mm CONFORME CROQUI										
FERRAMENTA	DIÂMETRO (mm)	VC (m/min)	RPM	AVANÇO (mm/rot)						
BROCA HELICOIDAL	3	35	4500	0.10						
ELABORADO POR: DOUGLAS	APROVADO POR: MURILO	REVISÃO: 01	DATA 03/09/2011							

FOLHA DE PROCESSO								
PEÇA:	JUNÇÃO D							
OPERAÇÃO:	TORNEAR			Nº 010				
MÁQUINA:	TORNO CNC HARDINGE GS150							
MATERIAL:	AISI 52100							
CROQUI:								
Descrição								
TORNEAR CONFORME CROQUI								
FERRAMENTA	DIÂMETRO (mm)	VC (m/min)	RPM	AVANÇO (mm/rot)				
FERRAMENTA PARA DESBASTAR E FACEAR	-	250	4500	0.30				
FERRAMENTA PARA ACABAMENTO	-	300	5000	0.20				
FERRAMENTA PARA ROSCA	-	115	3500	1				
ELABORADO POR: DOUGLAS	APROVADO POR: MURILO	REVISÃO: 01	DATA 03/09/2011					

FOLHA DE PROCESSO								
PEÇA:	BIELA SECUNDÁRIA							
OPERAÇÃO:	TORNEAR			Nº 010				
MÁQUINA:	TORNO CNC HARDINGE GS150							
MATERIAL:	AISI 52100							
CROQUI:								
Descrição								
TORNEAR E FURAR CONFORME CROQUI								
FERRAMENTA	DIÂMETRO (mm)	VC (m/min)	RPM	AVANÇO (mm/rot)				
FERRAMENTA DE DESBASTAR E FACEAR	-	250	4500	0.30				
FERRAMENTA DE ACABAMENTO	-	300	5000	0.20				
FERRAMENTA PARA ROSCAR	-	150	1200	1				
ELABORADO POR: DOUGLAS	APROVADO POR: MURILO	REVISÃO: 01	DATA 03/09/2011					

FOLHA DE PROCESSO								
PEÇA:	ORGÃO TERMINAL							
OPERAÇÃO:	FRESAR			Nº 010				
MÁQUINA:	CENTRO DE USINAGEM ROMI D800							
MATERIAL:	ALUMINIO							
CROQUI:								
DESCRIÇÃO								
FRESAR E FURAR COMPLETO CONFORME CROQUI.								
FERRAMENTA	DIÂMETRO (mm)	VC (m/min)	RPM	AVANÇO (mm/min)				
FRESA DE TOPO PARA FACEAR	80	550	2188	1300				
FRESA DE TOPO	20	650	6750	603				
FRESA DE TOPO	8	65	6750	607				
BROCA HELICOIDAL	9	65	2300	230				
BROCA HELICOIDAL	5.2	65	4000	400				
ELABORADO POR: DOUGLAS	APROVADO POR: MURILO	REVISÃO: 01	DATA 03/09/2011					

## APÊNDICE C – CÓDIGO G PARA FABRICAÇÃO

**%00001(JUNTA\_ESFERICA\_A2)**  
 G17 G21 G90 G94  
**(OPERAÇÃO DE FURAÇÃO PARA FRESAMENTO)**  
 G53 G0 Z0 H0  
 T01  
 M06  
 G54  
 S5000 M03  
 G0 X0.0 Y0.0  
 G43 Z5 H01 M8  
 G99 G81 Z-3.0 R5.0 F300  
 G80  
 G53 G0 Z0 H0 M05  
 T02  
 M06  
 G54  
 S4000 M03  
 G0 X0.0 Y0.0  
 G43 Z5 H02 M8  
 G99 G83 Z-27.803 R5.0 F300 Q5.0  
 G80  
**(DEFINIR OPERAÇÕES : DESBASTE)**  
 G53 G0 Z0 H0 M05  
 T03  
 M06  
 G54  
 S5000 M03  
 G0 X2.532 Y1.681  
 G43 Z10 H03 M8  
 G0 Z5  
 G1 X3.314 Y3.034 Z4.922 F480  
 G1 X3.639 Y4.562 Z4.843  
 G1 X3.476 Y6.117 Z4.765  
 G1 X2.841 Y7.545 Z4.686  
 G1 X1.796 Y8.706 Z4.608  
 G1 X0.443 Y9.488 Z4.529  
 G1 X-1.086 Y9.813 Z4.451  
 G1 X-2.64 Y9.65 Z4.372  
 G1 X-4.068 Y9.015 Z4.294  
 G1 X-5.23 Y7.97 Z4.215  
 G1 X-6.012 Y6.617 Z4.137  
 G1 X-6.337 Y5.088 Z4.058  
 G1 X-6.174 Y3.534 Z3.98  
 G1 X-5.539 Y2.106 Z3.902  
 G1 X-4.493 Y0.944 Z3.823  
 G1 X-3.14 Y0.163 Z3.745  
 G1 X-1.612 Y-0.163 Z3.666  
 G1 X-0.057 Y0.0 Z3.588  
 G1 X1.37 Y0.635 Z3.509  
 G1 X2.532 Y1.681 Z3.431  
 G1 X3.314 Y3.034 Z3.352  
 G1 X3.639 Y4.562 Z3.274  
 G1 X3.476 Y6.117 Z3.195  
 G1 X2.841 Y7.545 Z3.117  
 G1 X1.796 Y8.706 Z3.038  
 G1 X0.443 Y9.488 Z2.96  
 G1 X-1.086 Y9.813 Z2.882  
 G1 X-2.64 Y9.65 Z2.803  
 G1 X-4.068 Y9.015 Z2.725  
 G1 X-5.23 Y7.97 Z2.646  
 G1 X-6.012 Y6.617 Z2.568  
 G1 X-6.337 Y5.088 Z2.489  
 G1 X-6.174 Y3.534 Z2.411  
 G1 X-5.539 Y2.106 Z2.332  
 G1 X-4.493 Y0.944 Z2.254  
 G1 X-3.14 Y0.163 Z2.175  
 G1 X-1.612 Y-0.163 Z2.097

G1 X-0.057 Y0.0 Z2.018  
 G1 X1.37 Y0.635 Z1.94  
 G1 X2.532 Y1.681 Z1.862  
 G1 X3.314 Y3.034 Z1.783  
 G1 X3.639 Y4.562 Z1.705  
 G1 X3.476 Y6.117 Z1.626  
 G1 X2.841 Y7.545 Z1.548  
 G1 X1.796 Y8.706 Z1.469  
 G1 X0.443 Y9.488 Z1.391  
 G1 X-1.086 Y9.813 Z1.312  
 G1 X-2.64 Y9.65 Z1.234  
 G1 X-4.068 Y9.015 Z1.155  
 G1 X-5.23 Y7.97 Z1.077  
 G1 X-6.012 Y6.617 Z0.998  
 G1 X-6.337 Y5.088 Z0.92  
 G1 X-6.174 Y3.534 Z0.842  
 G1 X-5.539 Y2.106 Z0.763  
 G1 X-4.493 Y0.944 Z0.685  
 G1 X-3.14 Y0.163 Z0.606  
 G1 X-1.612 Y-0.163 Z0.528  
 G1 X-0.057 Y0.0 Z0.449  
 G1 X1.37 Y0.635 Z0.371  
 G1 X2.532 Y1.681 Z0.292  
 G1 X3.314 Y3.034 Z0.214  
 G1 X3.639 Y4.562 Z0.135  
 G1 X3.476 Y6.117 Z0.057  
 G1 X2.841 Y7.545 Z-0.022  
 G1 X1.796 Y8.706 Z-0.1  
 G1 X0.443 Y9.488 Z-0.178  
 G1 X-1.086 Y9.813 Z-0.257  
 G1 X-2.64 Y9.65 Z-0.335  
 G1 X-4.068 Y9.015 Z-0.414  
 G1 X-5.23 Y7.97 Z-0.492  
 G1 X-6.012 Y6.617 Z-0.571  
 G1 X-6.337 Y5.088 Z-0.649  
 G1 X-6.174 Y3.534 Z-0.728  
 G1 X-5.539 Y2.106 Z-0.806  
 G1 X-4.493 Y0.944 Z-0.885  
 G1 X-3.14 Y0.163 Z-0.963  
 G1 X-2.434 Y-0.051 Z-1  
 G17 G2 X-0.24 Y-0.752 R12.659  
 G3 X0.29 Y-0.734 R0.79  
 G2 X1.18 Y-0.39 R20.685  
 G3 X2.422 Y0.355 R4.111  
 G3 X2.905 Y1.048 R1.861  
 G3 X2.946 Y1.815 R1.252  
 G3 X2.504 Y2.45 R1.387  
 G3 X1.101 Y2.982 R2.48  
 G1 X0.89 Y2.99  
 G1 X-0.89  
 G3 X-2.367 Y2.555 R2.608  
 G3 X-2.894 Y1.954 R1.555  
 G3 X-2.982 Y1.322 R1.139  
 G3 X-2.771 Y0.112 R6.101  
 G3 X-2.72 Y0.011 R0.293  
 G2 X-2.501 Y-0.161 R0.833  
 G2 X-1.183 Y-1.737 R16.555  
 G1 X1.647 Y-5.554  
 G3 X4.175 Y-6.798 R3.078  
 G1 X5 Y-6.783  
 G1 X10  
 G1 Y10  
 G1 X-10  
 G1 Y-6.783  
 G1 X-5  
 G2 X-3.047 Y-7.18 R5.0  
 G3 X3.047 R7.8  
 G2 X4.818 Y-6.786 R5.0  
 G1 X4.933 Y-6.784  
 G1 X4.895 Y-6.692  
 G1 X3.06 Y7.174  
 G1 X2.118 Y8.421 Z-2.078  
 G1 X0.837 Y9.316 Z-2.157  
 G1 X-0.658 Y9.772 Z-2.235  
 G1 X-2.22 Y9.744 Z-2.314  
 G1 X-3.697 Y9.234 Z-2.392  
 G1 X-4.945 Y8.292 Z-2.471  
 G1 X-5.84 Y7.011 Z-2.549  
 G1 X-6.296 Y5.517 Z-2.628  
 G1 X-6.267 Y3.954 Z-2.706  
 G1 X-5.757 Y2.477 Z-2.785  
 G1 X-4.816 Y1.229 Z-2.863  
 G1 X-3.535 Y0.334 Z-2.942  
 G1 X-2.434 Y-0.051 Z-3  
 G2 X-0.24 Y-0.752 R12.659  
 G3 X0.29 Y-0.734 R0.79  
 G2 X1.18 Y-0.39 R20.685  
 G3 X2.422 Y0.355 R4.111  
 G3 X2.905 Y1.048 R1.861  
 G3 X2.946 Y1.815 R1.252  
 G3 X2.504 Y2.45 R1.387  
 G3 X1.101 Y2.982 R2.48  
 G1 X0.89 Y2.99  
 G1 X-0.89

G3 X-2.367 Y2.555 R2.608  
 G3 X-2.894 Y1.954 R1.555  
 G3 X-2.982 Y1.322 R1.139  
 G3 X-2.771 Y0.112 R6.101  
 G3 X-2.72 Y0.011 R0.293  
 G2 X-2.501 Y-0.161 R0.833  
 G2 X-1.183 Y-1.737 R16.555  
 G1 X1.647 Y-5.554  
 G3 X4.175 Y-6.798 R3.078  
 G1 X5 Y-6.783  
 G1 X10  
 G1 Y10  
 G1 X-10  
 G1 Y-6.783  
 G1 X-5  
 G2 X-3.047 Y-7.18 R5.0  
 G3 X3.047 R7.8  
 G2 X4.818 Y-6.786 R5.0  
 G1 X4.933 Y-6.784  
 G1 X4.895 Y-6.692  
 G1 X3.06 Y7.174  
 G1 X2.118 Y8.421 Z-3.078  
 G1 X0.837 Y9.316 Z-3.157  
 G1 X-0.658 Y9.772 Z-3.235  
 G1 X-2.22 Y9.744 Z-3.314  
 G1 X-3.697 Y9.234 Z-3.392  
 G1 X-4.945 Y8.292 Z-3.471  
 G1 X-5.84 Y7.011 Z-3.549  
 G1 X-6.296 Y5.517 Z-3.628  
 G1 X-6.267 Y3.954 Z-3.706  
 G1 X-5.757 Y2.477 Z-3.785  
 G1 X-4.816 Y1.229 Z-3.863  
 G1 X-3.535 Y0.334 Z-3.942  
 G1 X-2.434 Y-0.051 Z-4  
 G2 X-0.24 Y-0.752 R12.659  
 G3 X0.29 Y-0.734 R0.79  
 G2 X1.18 Y-0.39 R20.685  
 G3 X2.422 Y0.355 R4.111  
 G3 X2.905 Y1.048 R1.861  
 G3 X2.946 Y1.815 R1.252  
 G3 X2.504 Y2.45 R1.387  
 G3 X1.101 Y2.982 R2.48  
 G1 X0.89 Y2.99  
 G1 X-0.89  
 G3 X-2.367 Y2.555 R2.608  
 G3 X-2.894 Y1.954 R1.555  
 G3 X-2.982 Y1.322 R1.139  
 G3 X-2.771 Y0.112 R6.101  
 G3 X-2.72 Y0.011 R0.293  
 G2 X-2.501 Y-0.161 R0.833  
 G2 X-1.183 Y-1.737 R16.555  
 G1 X1.647 Y-5.554  
 G3 X4.175 Y-6.798 R3.078  
 G1 X5 Y-6.783  
 G1 X10  
 G1 Y10  
 G1 X-10  
 G1 Y-6.783  
 G1 X-5  
 G2 X-3.047 Y-7.18 R5.0  
 G3 X3.047 R7.8  
 G2 X4.818 Y-6.786 R5.0  
 G1 X4.933 Y-6.784  
 G1 X4.895 Y-6.692  
 G1 X3.06 Y7.174  
 G1 X2.118 Y8.421 Z-5.078  
 G1 X0.837 Y9.316 Z-5.157  
 G1 X-0.658 Y9.772 Z-5.235  
 G1 X-2.22 Y9.744 Z-5.314  
 G1 X-3.697 Y9.234 Z-5.392  
 G1 X-4.945 Y8.292 Z-5.471  
 G1 X-5.84 Y7.011 Z-5.549  
 G1 X-6.296 Y5.517 Z-5.628  
 G1 X-6.267 Y3.954 Z-5.706  
 G1 X-5.757 Y2.477 Z-5.785  
 G1 X-4.816 Y1.229 Z-5.863  
 G1 X-3.535 Y0.334 Z-5.942  
 G1 X-2.434 Y-0.051 Z-6  
 G2 X-0.24 Y-0.752 R12.659  
 G3 X0.29 Y-0.734 R0.79  
 G2 X1.18 Y-0.39 R20.685  
 G3 X2.422 Y0.355 R4.111  
 G3 X2.905 Y1.048 R1.861  
 G3 X2.946 Y1.815 R1.252  
 G3 X2.504 Y2.45 R1.387  
 G3 X1.101 Y2.982 R2.48  
 G1 X0.89 Y2.99  
 G1 X-0.89  
 G3 X-2.367 Y2.555 R2.608  
 G3 X-2.894 Y1.954 R1.555  
 G3 X-2.982 Y1.322 R1.139  
 G3 X-2.771 Y0.112 R6.101  
 G3 X-2.72 Y0.011 R0.293  
 G2 X-2.501 Y-0.161 R0.833  
 G2 X-1.183 Y-1.737 R16.555  
 G1 X1.647 Y-5.554  
 G3 X4.175 Y-6.798 R3.078  
 G1 X5 Y-6.783  
 G1 X10  
 G1 Y10  
 G1 X-10  
 G1 Y-6.783  
 G1 X-5  
 G2 X-3.047 Y-7.18 R5.0  
 G3 X3.047 R7.8  
 G2 X4.818 Y-6.786 R5.0  
 G1 X4.933 Y-6.784  
 G1 X4.895 Y-6.692  
 G1 X3.06 Y7.174  
 G1 X2.118 Y8.421 Z-4.078  
 G1 X0.837 Y9.316 Z-4.157  
 G1 X-0.658 Y9.772 Z-4.235  
 G1 X-2.22 Y9.744 Z-4.314  
 G1 X-3.697 Y9.234 Z-4.392  
 G1 X-4.945 Y8.292 Z-4.471  
 G1 X-5.84 Y7.011 Z-4.549  
 G1 X-6.296 Y5.517 Z-4.628  
 G1 X-6.267 Y3.954 Z-4.706  
 G1 X-5.757 Y2.477 Z-4.785  
 G1 X-4.816 Y1.229 Z-4.863  
 G1 X-3.535 Y0.334 Z-4.942  
 G1 X-2.434 Y-0.051 Z-5  
 G2 X-0.24 Y-0.752 R12.659  
 G3 X0.29 Y-0.734 R0.79  
 G2 X1.18 Y-0.39 R20.685  
 G3 X2.422 Y0.355 R4.111  
 G3 X2.905 Y1.048 R1.861  
 G3 X2.946 Y1.815 R1.252  
 G3 X2.504 Y2.45 R1.387  
 G3 X1.101 Y2.982 R2.48  
 G1 X0.89 Y2.99  
 G1 X-0.89  
 G3 X-2.367 Y2.555 R2.608  
 G3 X-2.894 Y1.954 R1.555  
 G3 X-2.982 Y1.322 R1.139  
 G3 X-2.771 Y0.112 R6.101  
 G3 X-2.72 Y0.011 R0.293  
 G2 X-2.501 Y-0.161 R0.833  
 G2 X-1.183 Y-1.737 R16.555  
 G1 X1.647 Y-5.554  
 G3 X4.175 Y-6.798 R3.078  
 G1 X5 Y-6.783  
 G1 X10  
 G1 Y10  
 G1 X-10  
 G1 Y-6.783  
 G1 X-5  
 G2 X-3.047 Y-7.18 R5.0  
 G3 X3.047 R7.8  
 G2 X4.818 Y-6.786 R5.0  
 G1 X4.933 Y-6.784  
 G1 X4.895 Y-6.692  
 G1 X3.06 Y7.174  
 G1 X2.118 Y8.421 Z-4.078  
 G1 X0.837 Y9.316 Z-4.157  
 G1 X-0.658 Y9.772 Z-4.235  
 G1 X-2.22 Y9.744 Z-4.314  
 G1 X-3.697 Y9.234 Z-4.392  
 G1 X-4.945 Y8.292 Z-4.471  
 G1 X-5.84 Y7.011 Z-4.549  
 G1 X-6.296 Y5.517 Z-4.628  
 G1 X-6.267 Y3.954 Z-4.706  
 G1 X-5.757 Y2.477 Z-4.785  
 G1 X-4.816 Y1.229 Z-4.863  
 G1 X-3.535 Y0.334 Z-4.942  
 G1 X-2.434 Y-0.051 Z-5  
 G2 X-0.24 Y-0.752 R12.659  
 G3 X0.29 Y-0.734 R0.79  
 G2 X1.18 Y-0.39 R20.685  
 G3 X2.422 Y0.355 R4.111  
 G3 X2.905 Y1.048 R1.861  
 G3 X2.946 Y1.815 R1.252  
 G3 X2.504 Y2.45 R1.387  
 G3 X1.101 Y2.982 R2.48  
 G1 X0.89 Y2.99  
 G1 X-0.89  
 G3 X-2.367 Y2.555 R2.608  
 G3 X-2.894 Y1.954 R1.555  
 G3 X-2.982 Y1.322 R1.139  
 G3 X-2.771 Y0.112 R6.101  
 G3 X-2.72 Y0.011 R0.293  
 G2 X-2.501 Y-0.161 R0.833  
 G2 X-1.183 Y-1.737 R16.555  
 G1 X1.647 Y-5.554

G3 X4.175 Y-6.798 R3.078  
 G1 X5 Y-6.783  
 G1 X10  
 G1 Y10  
 G1 X-10  
 G1 Y-6.783  
 G1 X-5  
 G2 X-3.047 Y-7.18 R5.0  
 G3 X3.047 R7.8  
 G2 X4.818 Y-6.786 R5.0  
 G1 X4.933 Y-6.784  
 G1 X4.895 Y-6.692  
 G1 X3.06 Y7.174  
 G1 X2.118 Y8.421 Z-8.078  
 G1 X0.837 Y9.316 Z-8.157  
 G1 X-0.658 Y9.772 Z-8.235  
 G1 X-2.22 Y9.744 Z-8.314  
 G1 X-3.697 Y9.234 Z-8.392  
 G1 X-4.945 Y8.292 Z-8.471  
 G1 X-5.84 Y7.011 Z-8.549  
 G1 X-6.296 Y5.517 Z-8.628  
 G1 X-6.267 Y3.954 Z-8.706  
 G1 X-5.757 Y2.477 Z-8.785  
 G1 X-4.816 Y1.229 Z-8.863  
 G1 X-3.535 Y0.334 Z-8.942  
 G1 X-2.434 Y-0.051 Z-9  
 G2 X-0.24 Y-0.752 R12.659  
 G3 X0.29 Y-0.734 R0.79  
 G2 X1.18 Y-0.39 R20.685  
 G3 X2.422 Y0.355 R4.111  
 G3 X2.905 Y1.048 R1.861  
 G3 X2.946 Y1.815 R1.252  
 G3 X2.504 Y2.45 R1.387  
 G3 X1.101 Y2.982 R2.48  
 G1 X0.89 Y2.99  
 G1 X-0.89  
 G3 X-2.367 Y2.555 R2.608  
 G3 X-2.894 Y1.954 R1.555  
 G3 X-2.982 Y1.322 R1.139  
 G3 X-2.771 Y0.112 R6.101  
 G3 X-2.72 Y0.011 R0.293  
 G2 X-2.501 Y-0.161 R0.833  
 G2 X-1.183 Y-1.737 R16.555  
 G1 X1.647 Y-5.554  
 G3 X4.175 Y-6.798 R3.078  
 G1 X5 Y-6.783  
 G1 X10  
 G1 Y10  
 G1 X-10  
 G1 Y-6.783  
 G1 X-5  
 G2 X-3.047 Y-7.18 R5.0  
 G3 X3.047 R7.8  
 G2 X4.818 Y-6.786 R5.0  
 G1 X4.933 Y-6.784  
 G1 X4.895 Y-6.692  
 G1 X3.06 Y7.174  
 G1 X2.118 Y8.421 Z-10.078  
 G1 X0.837 Y9.316 Z-10.157  
 G1 X-0.658 Y9.772 Z-10.235  
 G1 X-2.22 Y9.744 Z-10.314  
 G1 X-3.697 Y9.234 Z-10.392  
 G1 X-4.945 Y8.292 Z-10.471  
 G1 X-5.84 Y7.011 Z-10.549  
 G1 X-6.296 Y5.517 Z-10.628  
 G1 X-6.267 Y3.954 Z-10.706  
 G1 X-5.757 Y2.477 Z-10.785  
 G1 X-4.816 Y1.229 Z-10.863  
 G1 X-3.535 Y0.334 Z-10.942  
 G1 X-2.434 Y-0.051 Z-11  
 G2 X-0.24 Y-0.752 R12.659  
 G3 X0.29 Y-0.734 R0.79  
 G2 X1.18 Y-0.39 R20.685  
 G3 X2.422 Y0.355 R4.111  
 G3 X2.905 Y1.048 R1.861  
 G3 X2.946 Y1.815 R1.252  
 G3 X2.504 Y2.45 R1.387  
 G3 X1.101 Y2.982 R2.48  
 G1 X0.89 Y2.99  
 G1 X-0.89  
 G3 X-2.367 Y2.555 R2.608  
 G3 X-2.894 Y1.954 R1.555  
 G3 X-2.982 Y1.322 R1.139  
 G3 X-2.771 Y0.112 R6.101  
 G3 X-2.72 Y0.011 R0.293  
 G2 X-2.501 Y-0.161 R0.833  
 G2 X-1.183 Y-1.737 R16.555  
 G1 X1.647 Y-5.554  
 G3 X4.175 Y-6.798 R3.078  
 G1 X5 Y-6.783  
 G1 X10  
 G1 Y10  
 G1 X-10  
 G1 Y-6.783  
 G1 X-5  
 G2 X-3.047 Y-7.18 R5.0  
 G3 X3.047 R7.8  
 G2 X4.818 Y-6.786 R5.0  
 G1 X4.933 Y-6.784  
 G1 X4.895 Y-6.692  
 G1 X3.06 Y7.174  
 G1 X2.118 Y8.421 Z-11.078  
 G1 X0.837 Y9.316 Z-11.157  
 G1 X-0.658 Y9.772 Z-11.235  
 G1 X-2.22 Y9.744 Z-11.314  
 G1 X-3.697 Y9.234 Z-11.392  
 G1 X-4.945 Y8.292 Z-11.471  
 G1 X-5.84 Y7.011 Z-11.549  
 G1 X-6.296 Y5.517 Z-11.628  
 G1 X-6.267 Y3.954 Z-11.706  
 G1 X-5.757 Y2.477 Z-11.785  
 G1 X-4.816 Y1.229 Z-11.863  
 G1 X-3.535 Y0.334 Z-11.942  
 G1 X-2.434 Y-0.051 Z-12  
 G2 X-0.24 Y-0.752 R12.659  
 G3 X0.29 Y-0.734 R0.79  
 G2 X1.18 Y-0.39 R20.685  
 G3 X2.422 Y0.355 R4.111  
 G3 X2.905 Y1.048 R1.861  
 G3 X2.946 Y1.815 R1.252  
 G3 X2.504 Y2.45 R1.387  
 G3 X1.101 Y2.982 R2.48  
 G1 X0.89 Y2.99  
 G1 X-0.89  
 G3 X-2.367 Y2.555 R2.608  
 G3 X-2.894 Y1.954 R1.555  
 G3 X-2.982 Y1.322 R1.139  
 G3 X-2.771 Y0.112 R6.101  
 G3 X-2.72 Y0.011 R0.293  
 G2 X-2.501 Y-0.161 R0.833  
 G2 X-1.183 Y-1.737 R16.555  
 G1 X1.647 Y-5.554  
 G3 X4.175 Y-6.798 R3.078  
 G1 X5 Y-6.783  
 G1 X10  
 G1 Y10  
 G1 X-10  
 G1 Y-6.783  
 G1 X-5  
 G2 X-3.047 Y-7.18 R5.0  
 G3 X3.047 R7.8  
 G2 X4.818 Y-6.786 R5.0  
 G1 X4.933 Y-6.784  
 G1 X4.895 Y-6.692  
 G0 Z10  
 (DEFINIR OPERAÇÃOES :  
 DESBASTE)  
 G53 G0 Z0 H0 M05  
 T03  
 M06  
 G54

S5000 M03  
 G0 X0.132 Y2.797  
 G43 Z10 H03 M8  
 G0 Z-7.1  
 G1 X0.0 Y2.8 Z-7.107 F500  
 G1 X-0.865 Y2.663 Z-7.153  
 G1 X-1.646 Y2.265 Z-7.199  
 G1 X-2.265 Y1.646 Z-7.245  
 G1 X-2.663 Y0.865 Z-7.291  
 G1 X-2.8 Y0.0 Z-7.337  
 G1 X-2.663 Y-0.865 Z-7.384  
 G1 X-2.265 Y-1.646 Z-7.43  
 G1 X-1.646 Y-2.265 Z-7.476  
 G1 X-0.865 Y-2.663 Z-7.522  
 G1 X0.0 Y-2.8 Z-7.568  
 G1 X0.865 Y-2.663 Z-7.614  
 G1 X1.646 Y-2.265 Z-7.66  
 G1 X2.265 Y-1.646 Z-7.706  
 G1 X2.663 Y-0.865 Z-7.752  
 G1 X2.8 Y0.0 Z-7.798  
 G1 X2.663 Y0.865 Z-7.845  
 G1 X2.265 Y1.646 Z-7.891  
 G1 X1.646 Y2.265 Z-7.937  
 G1 X0.865 Y2.663 Z-7.983  
 G1 X0.0 Y2.8 Z-8.029  
 G1 X-0.865 Y2.663 Z-8.075  
 G1 X-1.646 Y2.265 Z-8.121  
 G1 X-2.265 Y1.646 Z-8.167  
 G1 X-2.663 Y0.865 Z-8.213  
 G1 X-2.8 Y0.0 Z-8.259  
 G1 X-2.663 Y-0.865 Z-8.306  
 G1 X-2.265 Y-1.646 Z-8.352  
 G1 X-1.646 Y-2.265 Z-8.398  
 G1 X-0.865 Y-2.663 Z-8.444  
 G1 X0.0 Y-2.8 Z-8.49  
 G1 X0.865 Y-2.663 Z-8.536  
 G1 X1.646 Y-2.265 Z-8.582  
 G1 X2.265 Y-1.646 Z-8.628  
 G1 X2.663 Y-0.865 Z-8.674  
 G1 X2.8 Y0.0 Z-8.72  
 G1 X2.663 Y0.865 Z-8.767  
 G1 X2.265 Y1.646 Z-8.813  
 G1 X1.646 Y2.265 Z-8.859  
 G1 X0.865 Y2.663 Z-8.905  
 G1 X0.0 Y2.8 Z-8.951  
 G1 X-0.865 Y2.663 Z-8.997  
 G1 X-1.646 Y2.265 Z-9.043  
 G1 X-2.265 Y1.646 Z-9.089  
 G1 X-2.663 Y0.865 Z-9.135  
 G1 X-2.8 Y0.0 Z-9.181  
 G1 X-2.663 Y-0.865 Z-9.228  
 G1 X-2.265 Y-1.646 Z-9.274  
 G1 X-1.646 Y-2.265 Z-9.32  
 G1 X-0.865 Y-2.663 Z-9.366  
 G1 X0.0 Y-2.8 Z-9.412  
 G1 X0.865 Y-2.663 Z-9.458  
 G1 X1.646 Y-2.265 Z-9.504  
 G1 X2.265 Y-1.646 Z-9.55  
 G1 X2.663 Y-0.865 Z-9.596  
 G1 X2.8 Y0.0 Z-9.642  
 G1 X2.663 Y0.865 Z-9.689  
 G1 X2.265 Y1.646 Z-9.735  
 G1 X1.646 Y2.265 Z-9.781  
 G1 X0.865 Y2.663 Z-9.827  
 G1 X0.0 Y2.8 Z-9.873  
 G1 X-0.865 Y2.663 Z-9.919  
 G1 X-1.646 Y2.265 Z-9.965  
 G1 X-2.265 Y1.646 Z-10.011  
 G1 X-2.663 Y0.865 Z-10.057  
 G1 X-2.8 Y0.0 Z-10.103  
 G1 X-2.663 Y-0.865 Z-10.15  
 G1 X-2.265 Y-1.646 Z-10.196  
 G1 X-1.646 Y-2.265 Z-10.242  
 G1 X-0.865 Y-2.663 Z-10.288  
 G1 X0.0 Y-2.8 Z-10.334  
 G1 X0.865 Y-2.663 Z-10.38  
 G1 X1.646 Y-2.265 Z-10.426  
 G1 X2.265 Y-1.646 Z-10.472  
 G1 X2.663 Y-0.865 Z-10.518  
 G1 X2.8 Y0.0 Z-10.564  
 G1 X2.663 Y0.865 Z-10.611  
 G1 X2.265 Y1.646 Z-10.657  
 G1 X1.646 Y2.265 Z-10.703  
 G1 X0.865 Y2.663 Z-10.749  
 G1 X0.0 Y2.8 Z-10.795  
 G1 X-0.865 Y2.663 Z-10.841  
 G1 X-1.646 Y2.265 Z-10.887  
 G1 X-2.265 Y1.646 Z-10.933  
 G1 X-2.663 Y0.865 Z-10.979  
 G1 X-2.8 Y0.0 Z-11.025  
 G1 X-2.663 Y-0.865 Z-11.072  
 G1 X-2.265 Y-1.646 Z-11.118  
 G1 X-1.646 Y-2.265 Z-11.164  
 G1 X-0.865 Y-2.663 Z-11.21  
 G1 X0.0 Y-2.8 Z-11.256  
 G1 X0.865 Y-2.663 Z-11.302  
 G1 X1.646 Y-2.265 Z-11.348  
 G1 X2.265 Y-1.646 Z-11.394  
 G1 X2.663 Y-0.865 Z-11.44  
 G1 X2.8 Y0.0 Z-11.486  
 G1 X2.663 Y0.865 Z-11.533  
 G1 X2.265 Y1.646 Z-11.579  
 G1 X1.646 Y2.265 Z-11.625  
 G1 X0.865 Y2.663 Z-11.671  
 G1 X0.0 Y2.8 Z-11.717  
 G1 X-0.865 Y2.663 Z-11.763  
 G1 X-1.646 Y2.265 Z-11.809  
 G1 X-2.265 Y1.646 Z-11.855  
 G1 X-2.663 Y0.865 Z-11.901  
 G1 X-2.8 Y0.0 Z-11.947  
 G1 X-2.663 Y-0.865 Z-11.994  
 G1 X-2.265 Y-1.646 Z-12.04  
 G1 X-1.646 Y-2.265 Z-12.086  
 G1 X-0.865 Y-2.663 Z-12.132  
 G1 X0.0 Y-2.8 Z-12.178  
 G1 X0.865 Y-2.663 Z-12.224  
 G1 X1.646 Y-2.265 Z-12.27  
 G1 X2.265 Y-1.646 Z-12.316  
 G1 X2.663 Y-0.865 Z-12.362  
 G1 X2.8 Y0.0 Z-12.409  
 G1 X2.663 Y0.865 Z-12.455  
 G1 X2.265 Y1.646 Z-12.501  
 G1 X1.646 Y2.265 Z-12.547  
 G1 X0.865 Y2.663 Z-12.593  
 G1 X0.0 Y2.8 Z-12.639  
 G1 X-0.865 Y2.663 Z-12.685  
 G1 X-1.646 Y2.265 Z-12.731  
 G1 X-2.265 Y1.646 Z-12.777  
 G1 X-2.663 Y0.865 Z-12.823  
 G1 X-2.8 Y0.0 Z-12.87  
 G1 X-2.663 Y-0.865 Z-12.916  
 G1 X-2.265 Y-1.646 Z-12.962  
 G1 X-1.646 Y-2.265 Z-13.008  
 G1 X-0.865 Y-2.663 Z-13.054  
 G1 X0.0 Y-2.8 Z-13.1  
 G3 I0.0 J2.8  
 G1 Y-2.7  
 G1 X-1.419 Y-2.414  
 G1 X-0.604 Y-2.734 Z-13.146  
 G1 X0.0 Y-2.8 Z-13.178  
 G1 X0.865 Y-2.663 Z-13.224  
 G1 X1.646 Y-2.265 Z-13.27  
 G1 X2.265 Y-1.646 Z-13.316  
 G1 X2.663 Y-0.865 Z-13.362  
 G1 X2.8 Y0.0 Z-13.409  
 G1 X2.663 Y0.865 Z-13.455  
 G1 X2.265 Y1.646 Z-13.501  
 G1 X1.646 Y2.265 Z-13.547  
 G1 X0.865 Y2.663 Z-13.593  
 G1 X0.0 Y2.8 Z-13.639  
 G1 X-0.865 Y2.663 Z-13.685  
 G1 X-1.646 Y2.265 Z-13.731  
 G1 X-2.265 Y1.646 Z-13.777  
 G1 X-2.663 Y0.865 Z-13.823  
 G1 X-2.8 Y0.0 Z-13.87  
 G1 X-2.663 Y-0.865 Z-13.916  
 G1 X-2.265 Y-1.646 Z-13.962  
 G1 X-1.646 Y-2.265 Z-14.008  
 G1 X-0.865 Y-2.663 Z-14.054  
 G1 X0.0 Y-2.8 Z-14.1  
 G3 I0.0 J2.8  
 G1 Y-2.7  
 G1 X-1.419 Y-2.414  
 G1 X-0.604 Y-2.734 Z-14.146  
 G1 X0.0 Y-2.8 Z-14.178  
 G1 X0.865 Y-2.663 Z-14.224  
 G1 X1.646 Y-2.265 Z-14.27  
 G1 X2.265 Y-1.646 Z-14.316  
 G1 X2.663 Y-0.865 Z-14.362  
 G1 X2.8 Y0.0 Z-14.409  
 G1 X2.663 Y0.865 Z-14.455  
 G1 X2.265 Y1.646 Z-14.501  
 G1 X1.646 Y2.265 Z-14.547  
 G1 X0.865 Y2.663 Z-14.593  
 G1 X0.0 Y2.8 Z-14.639  
 G1 X-0.865 Y2.663 Z-14.685  
 G1 X-1.646 Y2.265 Z-14.731  
 G1 X-2.265 Y1.646 Z-14.777  
 G1 X-2.663 Y0.865 Z-14.823  
 G1 X-2.8 Y0.0 Z-14.87  
 G1 X-2.663 Y-0.865 Z-14.916  
 G1 X-2.265 Y-1.646 Z-14.962  
 G1 X-1.646 Y-2.265 Z-15.008  
 G1 X-0.865 Y-2.663 Z-15.054  
 G1 X0.0 Y-2.8 Z-15.1  
 G3 I0.0 J2.8  
 G1 Y-2.7  
 G1 X-1.419 Y-2.414  
 G1 X-0.604 Y-2.734 Z-15.146  
 G1 X0.0 Y-2.8 Z-15.178  
 G1 X0.865 Y-2.663 Z-15.224  
 G1 X1.646 Y-2.265 Z-15.27  
 G1 X2.265 Y-1.646 Z-15.316  
 G1 X2.663 Y-0.865 Z-15.362  
 G1 X2.8 Y0.0 Z-15.409  
 G1 X2.663 Y0.865 Z-15.455  
 G1 X2.265 Y1.646 Z-15.501  
 G1 X1.646 Y2.265 Z-15.547  
 G1 X0.865 Y2.663 Z-15.593  
 G1 X0.0 Y2.8 Z-15.639  
 G1 X-0.865 Y2.663 Z-15.685  
 G1 X-1.646 Y2.265 Z-15.731  
 G1 X-2.265 Y1.646 Z-15.777  
 G1 X-2.663 Y0.865 Z-15.823  
 G1 X-2.8 Y0.0 Z-15.87  
 G1 X-2.663 Y-0.865 Z-15.916  
 G1 X-2.265 Y-1.646 Z-15.962  
 G1 X-1.646 Y-2.265 Z-16.008  
 G1 X-0.865 Y-2.663 Z-16.054  
 G1 X0.0 Y-2.8 Z-16.1  
 G3 I0.0 J2.8  
 G1 Y-2.7  
 G1 X-1.419 Y-2.414  
 G1 X-0.604 Y-2.734 Z-16.146  
 G1 X0.0 Y-2.8 Z-16.178  
 G1 X0.865 Y-2.663 Z-16.224  
 G1 X1.646 Y-2.265 Z-16.27  
 G1 X2.265 Y-1.646 Z-16.316  
 G1 X2.663 Y-0.865 Z-16.362  
 G1 X2.8 Y0.0 Z-16.409  
 G1 X2.663 Y0.865 Z-16.455  
 G1 X2.265 Y1.646 Z-16.501  
 G1 X1.646 Y2.265 Z-16.547  
 G1 X0.865 Y2.663 Z-16.593  
 G1 X0.0 Y2.8 Z-16.639  
 G1 X-0.865 Y2.663 Z-16.685  
 G1 X-1.646 Y2.265 Z-16.731  
 G1 X-2.265 Y1.646 Z-16.777

G1 X-2.663 Y0.865 Z-16.823	G1 X0.0 Y2.8 Z-17.639	G1 X2.663 Y0.865 Z-18.455
G1 X-2.8 Y0.0 Z-16.87	G1 X-0.865 Y2.663 Z-17.685	G1 X2.265 Y1.646 Z-18.501
G1 X-2.663 Y-0.865 Z-16.916	G1 X-1.646 Y2.265 Z-17.731	G1 X1.646 Y2.265 Z-18.547
G1 X-2.265 Y-1.646 Z-16.962	G1 X-2.265 Y1.646 Z-17.777	G1 X0.865 Y2.663 Z-18.593
G1 X-1.646 Y-2.265 Z-17.008	G1 X-2.663 Y0.865 Z-17.823	G1 X0.0 Y2.8 Z-18.639
G1 X-0.865 Y-2.663 Z-17.054	G1 X-2.8 Y0.0 Z-17.87	G1 X-0.865 Y2.663 Z-18.685
G1 X0.0 Y-2.8 Z-17.1	G1 X-2.663 Y-0.865 Z-17.916	G1 X-1.646 Y2.265 Z-18.731
G3 I0.0 J2.8	G1 X-2.265 Y-1.646 Z-17.962	G1 X-2.265 Y1.646 Z-18.777
G1 Y-2.7	G1 X-1.646 Y-2.265 Z-18.008	G1 X-2.663 Y0.865 Z-18.823
G1 X-1.419 Y-2.414	G1 X-0.865 Y-2.663 Z-18.054	G1 X-2.8 Y0.0 Z-18.87
G1 X-0.604 Y-2.734 Z-17.146	G1 X0.0 Y-2.8 Z-18.1	G1 X-2.663 Y-0.865 Z-18.916
G1 X0.0 Y-2.8 Z-17.178	G3 I0.0 J2.8	G1 X-2.265 Y-1.646 Z-18.962
G1 X0.865 Y-2.663 Z-17.224	G1 Y-2.7	G1 X-1.646 Y-2.265 Z-19.008
G1 X1.646 Y-2.265 Z-17.27	G1 X-1.419 Y-2.414	G1 X-0.865 Y-2.663 Z-19.054
G1 X2.265 Y-1.646 Z-17.316	G1 X-0.604 Y-2.734 Z-18.146	G1 X0.0 Y-2.8 Z-19.1
G1 X2.663 Y-0.865 Z-17.362	G1 X0.0 Y-2.8 Z-18.178	G3 I0.0 J2.8
G1 X2.8 Y0.0 Z-17.409	G1 X0.865 Y-2.663 Z-18.224	G1 Y-2.7
G1 X2.663 Y0.865 Z-17.455	G1 X1.646 Y-2.265 Z-18.27	G0 Z10
G1 X2.265 Y1.646 Z-17.501	G1 X2.265 Y-1.646 Z-18.316	G53 G0 Z0 H0
G1 X1.646 Y2.265 Z-17.547	G1 X2.663 Y-0.865 Z-18.362	M30
G1 X0.865 Y2.663 Z-17.593	G1 X2.8 Y0.0 Z-18.409	

***%00001(JUNTA  
ESFERICA\_B2)  
G17 G21 G90 G94  
(FACEAMENTO)***  
G53 G0 Z0 H0  
T01  
M06

G54	G1 X-15.5
S5000 M03	G1 X-21.5
G0 X21.5 Y-12.5	G0 Z5
G43 Z5 H01 M8	G0 X21.5 Y-7.7
G0 Z4	G0 Z4
G1 Z-1 F500	G1 Z-1
G1 X15.5	G1 X15.5





G1 X6.75 Y0.0 Z-11.893	G1 X5.603 Y-1.044	G1 X6.65
G1 X3.376 Y-5.844 Z-12.246	G1 X5.701 Y-1.064	G1 X6.75
G1 X6.75 Y0.0 Z-12.6	G0 Z10	G1 X5.603 Y-1.044
G3 I-6.75 J0.0	G0 X4.867 Y-3.261	G1 X5.601 Y-1.06
G1 X6.65	G0 Z-12.09	G2 X5.636 Y-0.85 I-5.601 J1.06
G1 X6.75	G0 Z-13.09	G1 X5.603 Y-1.044
G1 X5.603 Y-1.044	G1 X3.376 Y-5.844 Z-13.246	G1 X5.701 Y-1.064
G1 X5.601 Y-1.06	G1 X6.75 Y0.0 Z-13.6	G0 Z10
G2 X5.636 Y-0.85 I-5.601 J1.06	G3 I-6.75 J0.0	<b>(OPERAçãO DE FURAçãO PARA FRESAMENTO)</b>
G1 X5.603 Y-1.044	G1 X6.65	
G1 X5.701 Y-1.064	G1 X6.75	G53 G0 Z0 H0 M05
G0 Z10	G1 X5.603 Y-1.044	T03
G0 X4.867 Y-3.261	G1 X5.601 Y-1.06	M06
G0 Z-11.59	G2 X5.636 Y-0.85 I-5.601 J1.06	G54
G0 Z-12.59	G1 X5.603 Y-1.044	S4000 M03
G1 X3.376 Y-5.844 Z-12.746	G1 X5.701 Y-1.064	G0 X0.0 Y0.0
G1 X6.75 Y0.0 Z-13.1	G0 Z10	G43 Z10 H03 M8
G3 I-6.75 J0.0	G0 X4.867 Y-3.261	G99 G81 Z-8.6 R10.0 F150
G1 X6.65	G0 Z-12.59	G80
G1 X6.75	G0 Z-13.59	G53 G0 Z0 H0
G1 X5.603 Y-1.044	G1 X3.376 Y-5.844 Z-13.746	M30
G1 X5.601 Y-1.06	G1 X6.75 Y0.0 Z-14.1	
G2 X5.636 Y-0.85 I-5.601 J1.06	G3 I-6.75 J0.0	

**%00001(terminal)**

G17 G21 G90 G94  
**(FACEAMENTO)**  
 G53 G0 Z0 H0  
 T00  
 M06  
 G54  
 S3000 M03  
 G0 X147.5 Y-37  
 G43 Z5 H00 M8  
 G1 Z0.0 F800

G1 X97.5 F1100  
 G1 X-97.5  
 G1 X-147.5  
 G0 Z5  
 G0 X147.5 Y-11  
 G1 Z0.0 F800  
 G1 X97.5 F1100  
 G1 X-97.5  
 G1 X-147.5  
 G0 Z5  
**(DESBASTE)**

G53 G0 Z0 H0 M05  
 T02  
 M06  
 G54  
 S4000 M03  
 G0 X-94.128 Y-32.488  
 G43 Z5 H02 M8  
 G0 Z-1  
 G1 Z-2 F80  
 G1 Y-31.987 F360  
 G17 G3 X-94.266 Y-31.737 R0.448

G3 X-95.151 Y-31.046 R4.419  
 G3 X-96.181 Y-30.481 R15.635  
 G2 X-102.98 Y-25.746 R34.453  
 G0 Z5  
 G0 X-65.61 Y-32.489  
 G0 Z-1  
 G1 Z-2 F80  
 G1 Y-31.987 F360  
 G3 X-65.7 Y-31.835 R0.262  
 G3 X-66.307 Y-31.488 R2.165  
 G3 X-67.382 Y-31.173 R5.264  
 G1 X-85.034 Y-28.062  
 G2 X-102.985 Y-16.866 R28.509  
 G0 Z5  
 G0 X103.979 Y-25.806  
 G0 Z-1  
 G1 Z-2 F80  
 G1 X103.48 Y-25.776 F360  
 G3 X103.079 Y-25.909 R1.048  
 G3 X101.55 Y-26.953 R10.15  
 G2 X94.128 Y-31.485 R34.453  
 G1 X103.989 Y-16.866  
 G1 X103.487  
 G3 X103.209 Y-16.985 R0.592  
 G3 X102.349 Y-17.754 R5.628  
 G3 X101.447 Y-18.784 R30.842  
 G2 X84.948 Y-28.077 R28.507  
 G1 X65.61 Y-31.485  
 G0 Z5  
 G0 X94.128 Y32.488  
 G0 Z-1  
 G1 Z-2 F80  
 G1 Y31.987 F360  
 G3 X94.266 Y31.737 R0.448  
 G3 X95.151 Y31.046 R4.419  
 G3 X96.181 Y30.481 R15.635  
 G2 X102.98 Y25.746 R34.453  
 G0 Z5  
 G0 X65.61 Y32.489  
 G0 Z-1  
 G1 Z-2 F80  
 G1 Y31.987 F360  
 G3 X65.7 Y31.835 R0.262  
 G3 X66.307 Y31.488 R2.165  
 G3 X67.382 Y31.173 R5.264  
 G1 X85.034 Y-28.062  
 G2 X-102.985 Y-16.866 R28.509  
 G0 Z5  
 G0 X-103.979 Y-25.806  
 G0 Z-1  
 G1 Z-2 F80  
 G1 X-103.48 Y-25.776 F360  
 G3 X-103.079 Y-25.909 R1.048  
 G3 X-101.55 Y-26.953 R10.15  
 G2 X-94.128 Y-31.485 R34.453  
 G1 X-103.989 Y-16.866  
 G1 X-103.487  
 G3 X-103.209 Y-16.985 R0.592  
 G3 X-102.349 Y-17.754 R5.628  
 G3 X-101.447 Y-18.784 R30.842  
 G2 X-84.948 Y-28.077 R28.507  
 G1 X-65.61 Y-31.485  
 G0 Z5  
 G0 X-31.035 Y-32.489  
 G0 Z-1  
 G1 Z-2 F80  
 G1 Y-31.987 F360  
 G3 X-31.126 Y-31.835 R0.262  
 G3 X-31.732 Y-31.488 R2.164  
 G3 X-32.808 Y-31.173 R5.262  
 G1 X-83.971 Y-22.157  
 G2 X-83.906 Y-22.168 R22.51  
 G1 X-31.035 Y-31.485  
 G0 Z5  
 G0 X31.035 Y-32.489  
 G0 Z-3  
 G1 Z-4 F80  
 G1 Y-31.987 F360  
 G3 X-31.126 Y-31.835 R0.262  
 G3 X-31.732 Y-31.488 R2.164  
 G3 X-32.808 Y-31.173 R5.262  
 G1 X-83.971 Y-22.157  
 G2 X-83.906 Y-22.168 R22.51  
 G1 X-31.035 Y-31.485  
 G0 Z5  
 G0 X31.035 Y-32.489  
 G0 Z-3  
 G1 Z-4 F80  
 G1 Y-31.987 F360  
 G3 X-31.126 Y-31.835 R0.262  
 G3 X-31.732 Y-31.488 R2.164  
 G3 X-32.808 Y-31.173 R5.262  
 G1 X-83.971 Y-22.157  
 G2 X-83.906 Y-22.168 R22.51  
 G1 X-31.035 Y-31.485  
 G0 Z5  
 G0 X-31.035 Y-32.489  
 G0 Z-3  
 G1 Z-4 F80  
 G1 Y-31.987 F360  
 G3 X-94.266 Y-31.737 R0.448  
 G3 X-95.151 Y-31.046 R4.419  
 G3 X-96.181 Y-30.481 R15.635  
 G2 X-102.98 Y-25.746 R34.453  
 G0 Z5  
 G0 X-65.61 Y-32.489  
 G0 Z-3  
 G1 Z-4 F80  
 G1 Y-31.987 F360  
 G3 X-94.266 Y-31.737 R0.448  
 G3 X-95.151 Y-31.046 R4.419  
 G3 X-96.181 Y-30.481 R15.635  
 G2 X-102.98 Y-25.746 R34.453  
 G0 Z5  
 G0 X-65.61 Y-32.489  
 G0 Z-3  
 G1 Z-4 F80  
 G1 Y-31.987 F360  
 G3 X-94.266 Y-31.737 R0.448  
 G3 X-95.151 Y-31.046 R4.419  
 G3 X-96.181 Y-30.481 R15.635  
 G2 X-102.98 Y-25.746 R34.453  
 G0 Z5  
 G0 X-65.61 Y-32.489  
 G0 Z-5  
 G1 Z-6 F80  
 G1 Y-31.987 F360  
 G3 X-94.266 Y-31.737 R0.448  
 G3 X-95.151 Y-31.046 R4.419  
 G3 X-96.181 Y-30.481 R15.635  
 G2 X-102.98 Y-25.746 R34.453  
 G0 Z5  
 G0 X-65.61 Y-32.489  
 G0 Z-5  
 G1 Z-6 F80  
 G1 Y-31.987 F360  
 G3 X-65.7 Y-31.835 R0.262  
 G3 X-66.307 Y-31.488 R2.165

G3 X-67.382 Y-31.173 R5.264  
 G1 X-85.034 Y-28.062  
 G2 X-102.985 Y-16.866 R28.509  
 G0 Z5  
 G0 X103.979 Y-25.806  
 G0 Z-5  
 G1 Z-6 F80  
 G1 X103.48 Y-25.776 F360  
 G3 X103.079 Y-25.909 R1.048  
 G3 X101.55 Y-26.953 R10.15  
 G2 X94.128 Y-31.485 R34.453  
 G1 X103.989 Y-16.866  
 G1 X103.487  
 G3 X103.209 Y-16.985 R0.592  
 G3 X102.349 Y-17.754 R5.628  
 G3 X101.447 Y-18.784 R30.842  
 G2 X84.948 Y-28.077 R28.507  
 G1 X65.61 Y-31.485  
 G0 Z5  
 G0 X94.128 Y32.488  
 G0 Z-5  
 G1 Z-6 F80  
 G1 Y31.987 F360  
 G3 X94.266 Y31.737 R0.448  
 G3 X95.151 Y31.046 R4.419  
 G3 X96.181 Y30.481 R15.635  
 G2 X102.98 Y25.746 R34.453  
 G0 Z5  
 G0 X65.61 Y32.489  
 G0 Z-5  
 G1 Z-6 F80  
 G1 Y31.987 F360  
 G3 X65.7 Y31.835 R0.262  
 G3 X66.307 Y31.488 R2.165  
 G3 X67.382 Y31.173 R5.264  
 G1 X85.034 Y28.062  
 G2 X102.985 Y16.866 R28.509  
 G0 Z5  
 G0 X-103.979 Y25.806  
 G0 Z-5  
 G1 Z-6 F80  
 G1 X-103.48 Y25.776 F360  
 G3 X-103.079 Y25.909 R1.048  
 G3 X-101.55 Y26.953 R10.15  
 G2 X-94.128 Y31.485 R34.453  
 G1 X-103.989 Y16.866  
 G1 X-103.487  
 G3 X-103.209 Y16.985 R0.592  
 G3 X-102.349 Y17.754 R5.628  
 G3 X-101.447 Y18.784 R30.842  
 G2 X-84.948 Y28.077 R28.507  
 G1 X-65.61 Y31.485  
 G0 Z5  
 G0 X-31.035 Y-32.489  
 G0 Z-5  
 G1 Z-6 F80  
 G1 Y-31.987 F360  
 G3 X-31.126 Y-31.835 R0.262  
 G3 X-31.732 Y-31.488 R2.164  
 G3 X-32.808 Y-31.173 R5.262  
 G1 X-83.971 Y-22.157  
 G2 X-83.906 Y22.168 R22.51  
 G1 X-31.035 Y31.485  
 G0 Z5  
 G0 X31.035 Y32.489  
 G0 Z-5  
 G1 Z-6 F80  
 G1 Y31.987 F360  
 G3 X31.126 Y31.835 R0.262  
 G3 X31.732 Y31.488 R2.164  
 G3 X32.808 Y31.173 R5.262  
 G1 X83.971 Y22.157  
 G2 X83.906 Y22.168 R22.51  
 G1 X32.808 Y-31.173 R5.262  
 G0 Z5  
 G0 X-103.979 Y25.806  
 G0 Z-5  
 G1 Z-6 F80  
 G1 X103.48 Y-25.776 F360  
 G3 X103.079 Y-25.909 R1.048  
 G3 X101.55 Y-26.953 R10.15  
 G2 X94.128 Y-31.485 R34.453  
 G1 X103.989 Y-16.866  
 G1 X103.487  
 G3 X103.209 Y-16.985 R0.592  
 G3 X102.349 Y-17.754 R5.628  
 G3 X101.447 Y-18.784 R30.842  
 G2 X84.948 Y-28.077 R28.507  
 G1 X65.61 Y-31.485  
 G0 Z5  
 G0 X94.128 Y32.488  
 G0 Z-5  
 G1 Z-6 F80  
 G1 Y31.987 F360  
 G3 X94.266 Y31.737 R0.448  
 G3 X95.151 Y31.046 R4.419  
 G3 X96.181 Y30.481 R15.635  
 G2 X102.98 Y25.746 R34.453  
 G0 Z5  
 G0 X65.61 Y32.489  
 G0 Z-5  
 G1 Z-6 F80  
 G1 Y31.987 F360  
 G3 X66.307 Y31.488 R2.165  
 G3 X67.382 Y31.173 R5.264  
 G1 X85.034 Y28.062  
 G2 X102.985 Y16.866 R28.509  
 G0 Z5  
 G0 X-103.979 Y25.806  
 G0 Z-5  
 G1 Z-6 F80  
 G1 X-103.48 Y25.776 F360  
 G3 X-103.079 Y25.909 R1.048

G3 X-101.55 Y26.953 R10.15  
 G2 X-94.128 Y31.485 R34.453  
 G1 X-103.989 Y16.866  
 G1 X-103.487  
 G3 X-103.209 Y16.985 R0.592  
 G3 X-102.349 Y17.754 R5.628  
 G3 X-101.447 Y18.784 R30.842  
 G2 X-84.948 Y-28.077 R28.507  
 G1 X-65.61 Y-31.485  
 G0 Z5  
 G0 X-31.035 Y-32.489  
 G0 Z-5  
 G1 Z-6 F80  
 G1 Y-31.987 F360  
 G3 X-31.126 Y-31.835 R0.262  
 G3 X-31.732 Y-31.488 R2.164  
 G3 X-32.808 Y-31.173 R5.262  
 G1 X-83.971 Y-22.157  
 G2 X-83.906 Y22.168 R22.51  
 G1 X-31.035 Y31.485  
 G0 Z5  
 G0 X31.035 Y32.489  
 G0 Z-5  
 G1 Z-6 F80  
 G1 Y-31.987 F360  
 G3 X31.126 Y31.835 R0.262  
 G3 X31.732 Y31.488 R2.164  
 G3 X32.808 Y31.173 R5.262  
 G1 X83.971 Y22.157  
 G2 X83.906 Y22.168 R22.51  
 G1 X32.808 Y-31.173 R5.262  
 G0 Z5  
 G0 X-103.979 Y25.806  
 G0 Z-5  
 G1 Z-6 F80  
 G1 X-103.48 Y25.776 F360  
 G3 X-103.079 Y25.909 R1.048

**(OPERAÇÃO DE PERFILAR)**

G53 G0 Z0 H0 M05  
 T02  
 M06  
 G54  
 S5000 M03  
 G0 X41.402 Y28.125  
 G43 Z5 H02 M8  
 G0 Z-2.5  
 G3 X45.459 Y22.333 R5.0 F300  
 G1 X82.777 Y15.757  
 G2 X96 Y0.0 R16.0  
 G2 X82.777 Y-15.757 R16.0  
 G1 X8.141 Y-28.909  
 G2 X7.1 Y-29 R6.0  
 G1 X-7.1  
 G2 X-8.141 Y-28.909 R6.0  
 G1 X-8.2.777 Y-15.757  
 G2 X-96 Y0.0 R16.0  
 G2 X-82.777 Y15.757 R16.0  
 G1 X-8.141 Y28.909  
 G2 X-7.1 Y29 R6.0  
 G1 X7.1  
 G2 X8.141 Y28.909 R6.0  
 G1 X45.459 Y22.333

G3 X51.251 Y26.39 R5.0  
 G1 X41.402 Y28.125 Z-5  
 G3 X45.459 Y22.333 R5.0  
 G1 X82.777 Y15.757  
 G2 X96 Y0.0 R16.0  
 G2 X82.777 Y-15.757 R16.0  
 G1 X8.141 Y-28.909  
 G2 X7.1 Y-29 R6.0  
 G1 X-7.1  
 G2 X-8.141 Y-28.909 R6.0  
 G1 X-82.777 Y-15.757  
 G2 X-96 Y0.0 R16.0  
 G2 X-82.777 Y15.757 R16.0  
 G1 X-8.141 Y28.909  
 G2 X-7.1 Y29 R6.0  
 G1 X7.1  
 G2 X8.141 Y28.909 R6.0  
 G1 X45.459 Y22.333  
 G3 X51.251 Y26.39 R5.0  
 G1 X41.402 Y28.125 Z-7.5  
 G3 X45.459 Y22.333 R5.0  
 G1 X82.777 Y15.757  
 G2 X96 Y0.0 R16.0  
 G2 X82.777 Y-15.757 R16.0  
 G1 X8.141 Y-28.909  
 G2 X7.1 Y-29 R6.0  
 G1 X-7.1  
 G2 X-8.141 Y-28.909 R6.0  
 G1 X-82.777 Y-15.757  
 G2 X-96 Y0.0 R16.0  
 G2 X-82.777 Y15.757 R16.0  
 G1 X-8.141 Y28.909  
 G2 X-7.1 Y29 R6.0  
 G1 X7.1  
 G2 X8.141 Y28.909 R6.0  
 G1 X45.459 Y22.333  
 G3 X51.251 Y26.39 R5.0  
 G1 X41.402 Y28.125 Z-8  
 G3 X45.459 Y22.333 R5.0  
 G1 X82.777 Y15.757  
 G2 X96 Y0.0 R16.0  
 G2 X82.777 Y-15.757 R16.0  
 G1 X8.141 Y-28.909  
 G2 X7.1 Y-29 R6.0  
 G1 X-7.1  
 G2 X-8.141 Y-28.909 R6.0  
 G1 X-82.777 Y-15.757  
 G2 X-96 Y0.0 R16.0  
 G2 X-82.777 Y15.757 R16.0  
 G1 X-8.141 Y28.909  
 G2 X-7.1 Y29 R6.0  
 G1 X7.1  
 G2 X8.141 Y28.909 R6.0  
 G1 X45.459 Y22.333  
 G3 X51.251 Y26.39 R5.0  
 G1 X41.402 Y28.125 Z-8  
 G3 X45.459 Y22.333 R5.0  
 G1 X82.777 Y15.757  
 G2 X96 Y0.0 R16.0  
 G2 X82.777 Y-15.757 R16.0  
 G1 X8.141 Y-28.909  
 G2 X7.1 Y-29 R6.0  
 G1 X-7.1  
 G2 X-8.141 Y-28.909 R6.0  
 G1 X-82.777 Y-15.757  
 G2 X-96 Y0.0 R16.0  
 G2 X-82.777 Y15.757 R16.0  
 G1 X-8.141 Y28.909  
 G2 X-7.1 Y29 R6.0  
 G1 X7.1  
 G2 X8.141 Y28.909 R6.0  
 G1 X45.459 Y22.333  
 G3 X51.251 Y26.39 R5.0  
 G0 Z5  
**(DEFINIR OPERAçõES : DESBASTE)**  
 G53 G0 Z0 H0 M05  
 T03  
 M06  
 G54  
 S4000 M03  
 G0 X-39.813 Y2.27  
 G43 Z5 H03 M8  
 G1 X-40.841 Y1.559 Z4.934 F250  
 G1 X-41.6 Y0.566 Z4.868  
 G1 X-42.015 Y-0.613 Z4.803  
 G1 X-42.045 Y-1.862 Z4.737  
 G1 X-41.687 Y-3.06 Z4.671  
 G1 X-40.977 Y-4.089 Z4.605  
 G1 X-39.984 Y-4.848 Z4.54  
 G1 X-38.805 Y-5.262 Z4.474  
 G1 X-37.555 Y-5.292 Z4.408  
 G1 X-36.358 Y-4.935 Z4.342  
 G1 X-35.329 Y-4.225 Z4.276  
 G1 X-34.57 Y-3.231 Z4.211  
 G1 X-34.155 Y-2.052 Z4.145  
 G1 X-34.125 Y-0.803 Z4.079  
 G1 X-34.483 Y0.395 Z4.013  
 G1 X-35.193 Y1.424 Z3.948  
 G1 X-36.186 Y2.182 Z3.882  
 G1 X-37.365 Y2.597 Z3.816  
 G1 X-38.615 Y2.627 Z3.75  
 G1 X-39.813 Y2.27 Z3.684  
 G1 X-40.841 Y1.559 Z3.619  
 G1 X-41.6 Y0.566 Z3.553  
 G1 X-42.015 Y-0.613 Z3.487  
 G1 X-42.045 Y-1.862 Z3.421  
 G1 X-41.687 Y-3.06 Z3.356  
 G1 X-40.977 Y-4.089 Z3.29  
 G1 X-39.984 Y-4.848 Z3.224  
 G1 X-38.805 Y-5.262 Z3.158  
 G1 X-37.555 Y-5.292 Z3.093  
 G1 X-36.358 Y-4.935 Z3.027  
 G1 X-35.329 Y-4.225 Z2.961  
 G1 X-34.57 Y-3.231 Z2.895  
 G1 X-34.155 Y-2.052 Z2.829  
 G1 X-34.125 Y-0.803 Z2.764  
 G1 X-34.483 Y0.395 Z2.698  
 G1 X-35.193 Y1.424 Z2.632  
 G1 X-36.186 Y2.182 Z2.566  
 G1 X-37.365 Y2.597 Z2.501  
 G1 X-38.615 Y2.627 Z2.435  
 G1 X-39.813 Y2.27 Z2.369  
 G1 X-40.841 Y1.559 Z2.303  
 G1 X-41.6 Y0.566 Z2.237  
 G1 X-42.015 Y-0.613 Z2.172  
 G1 X-42.045 Y-1.862 Z2.106  
 G1 X-41.687 Y-3.06 Z2.04  
 G1 X-40.977 Y-4.089 Z1.974  
 G1 X-39.984 Y-4.848 Z1.909  
 G1 X-38.805 Y-5.262 Z1.843  
 G1 X-37.555 Y-5.292 Z1.777  
 G1 X-36.358 Y-4.935 Z1.711  
 G1 X-35.329 Y-4.225 Z1.645  
 G1 X-34.57 Y-3.231 Z1.58  
 G1 X-34.155 Y-2.052 Z1.514  
 G1 X-34.125 Y-0.803 Z1.448  
 G1 X-34.483 Y0.395 Z1.382  
 G1 X-35.193 Y1.424 Z1.317  
 G1 X-36.186 Y2.182 Z1.251  
 G1 X-37.365 Y2.597 Z1.185  
 G1 X-38.615 Y2.627 Z1.119  
 G1 X-39.813 Y2.27 Z1.053  
 G1 X-40.841 Y1.559 Z0.988  
 G1 X-41.6 Y0.566 Z0.922  
 G1 X-42.015 Y-0.613 Z0.856  
 G1 X-42.045 Y-1.862 Z0.79  
 G1 X-41.687 Y-3.06 Z0.725  
 G1 X-40.977 Y-4.089 Z0.659  
 G1 X-39.984 Y-4.848 Z0.593  
 G1 X-38.805 Y-5.262 Z0.527  
 G1 X-37.555 Y-5.292 Z0.462  
 G1 X-36.358 Y-4.935 Z0.396  
 G1 X-35.329 Y-4.225 Z0.33  
 G1 X-34.57 Y-3.231 Z0.264  
 G1 X-34.155 Y-2.052 Z0.198  
 G1 X-34.125 Y-0.803 Z0.133  
 G1 X-34.483 Y0.395 Z0.067  
 G1 X-35.193 Y1.424 Z0.001  
 G1 X-36.186 Y2.182 Z-0.065  
 G1 X-37.365 Y2.597 Z-0.13  
 G1 X-38.615 Y2.627 Z-0.196  
 G1 X-39.813 Y2.27 Z-0.262  
 G1 X-40.841 Y1.559 Z-0.328  
 G1 X-41.6 Y0.566 Z-0.394  
 G1 X-42.015 Y-0.613 Z-0.459  
 G1 X-42.045 Y-1.862 Z-0.525  
 G1 X-41.687 Y-3.06 Z-0.591  
 G1 X-40.977 Y-4.089 Z-0.657  
 G1 X-39.984 Y-4.848 Z-0.722  
 G1 X-38.805 Y-5.262 Z-0.788  
 G1 X-37.555 Y-5.292 Z-0.854  
 G1 X-36.358 Y-4.935 Z-0.92  
 G1 X-35.329 Y-4.225 Z-0.986  
 G1 X-34.57 Y-3.231 Z-1.051  
 G1 X-34.155 Y-2.052 Z-1.117  
 G1 X-34.125 Y-0.803 Z-1.183  
 G1 X-34.483 Y0.395 Z-1.249  
 G1 X-35.193 Y1.424 Z-1.314  
 G1 X-36.186 Y2.182 Z-1.38  
 G1 X-37.365 Y2.597 Z-1.446  
 G1 X-38.615 Y2.627 Z-1.512  
 G1 X-39.813 Y2.27 Z-1.578  
 G1 X-40.841 Y1.559 Z-1.643  
 G1 X-41.6 Y0.566 Z-1.709  
 G1 X-42.015 Y-0.613 Z-1.775  
 G1 X-42.045 Y-1.862 Z-1.841  
 G1 X-41.687 Y-3.06 Z-1.906  
 G1 X-40.977 Y-4.089 Z-1.972  
 G1 X-40.586 Y-4.448 Z-2  
 G1 X-39.34 Y-5.097  
 G1 X-37.94 Y-5.22  
 G1 X-36.6 Y-4.797  
 G1 X-35.524 Y-3.894  
 G1 X-34.874 Y-2.648  
 G1 X-34.752 Y-1.248  
 G1 X-35.174 Y0.092  
 G1 X-36.077 Y1.168  
 G3 X-37.315 Y1.457 R1.499  
 G1 X-44.404 Y0.208  
 G3 Y-0.208 R0.211  
 G1 X-37.129 Y-1.49  
 G3 X-33.105 Y1.174 R3.487  
 G3 X-35.598 Y5.308 R3.487  
 G3 X-37.981 Y5.402 R5.501  
 G1 X-57.315 Y1.995  
 G3 Y-1.995 R2.02  
 G1 X-37.981 Y-5.402  
 G1 X-37.733 Y-5.442  
 G3 X-29.198 Y0.644 R7.488  
 G3 X-35.109 Y9.3 R7.488  
 G3 X-36.192 Y9.456 R9.49  
 G1 X-36.297 Y9.473  
 G1 X-36.465 Y9.485  
 G3 X-38.649 Y9.356 R9.5  
 G1 X-58.046 Y5.938  
 G3 X-63.029 Y0.0 R6.029  
 G3 X-58.046 Y-5.938 R6.029  
 G1 X-38.649 Y-9.356  
 G3 X-27.58 Y-1.23 R9.5  
 G3 X-36.192 Y9.466 R9.5  
 G1 X-36.297 Y9.473  
 G1 X-36.304 Y9.373  
 G1 X-35.207 Y1.438  
 G1 X-36.205 Y2.192 Z-2.066  
 G1 X-37.386 Y2.601 Z-2.132  
 G1 X-38.635 Y2.624 Z-2.197  
 G1 X-39.831 Y2.261 Z-2.263  
 G1 X-40.856 Y1.545 Z-2.329  
 G1 X-41.61 Y0.548 Z-2.395  
 G1 X-42.018 Y-0.633 Z-2.46  
 G1 X-42.042 Y-1.883 Z-2.526  
 G1 X-41.678 Y-3.079 Z-2.592  
 G1 X-40.963 Y-4.104 Z-2.658  
 G1 X-39.966 Y-4.857 Z-2.724  
 G1 X-38.784 Y-5.266 Z-2.789  
 G1 X-37.535 Y-5.29 Z-2.855  
 G1 X-36.339 Y-4.926 Z-2.921  
 G1 X-35.314 Y-4.21 Z-2.987  
 G1 X-34.56 Y-3.213 Z-3.052  
 G1 X-34.152 Y-2.032 Z-3.118  
 G1 X-34.128 Y-0.782 Z-3.184  
 G1 X-34.492 Y0.414 Z-3.25  
 G1 X-35.207 Y1.438 Z-3.316  
 G1 X-36.205 Y2.192 Z-3.381  
 G1 X-37.386 Y2.601 Z-3.447

G1 X-38.635 Y2.624 Z-3.513  
 G1 X-39.831 Y2.261 Z-3.579  
 G1 X-40.856 Y1.545 Z-3.644  
 G1 X-41.61 Y0.548 Z-3.71  
 G1 X-42.018 Y-0.633 Z-3.776  
 G1 X-42.042 Y-1.883 Z-3.842  
 G1 X-41.678 Y-3.079 Z-3.907  
 G1 X-40.963 Y-4.104 Z-3.973  
 G1 X-40.586 Y-4.448 Z-4  
 G1 X-39.34 Y-5.097  
 G1 X-37.94 Y-5.22  
 G1 X-36.6 Y-4.797  
 G1 X-35.524 Y-3.894  
 G1 X-34.874 Y-2.648  
 G1 X-34.752 Y-1.248  
 G1 X-35.174 Y0.092  
 G1 X-36.077 Y1.168  
 G1 X-37.315 Y1.457 R1.499  
 G1 X-44.404 Y0.208  
 G3 Y-0.208 R0.211  
 G1 X-37.129 Y-1.49  
 G3 X-33.105 Y1.174 R3.487  
 G3 X-35.598 Y5.308 R3.487  
 G3 X-37.981 Y5.402 R5.501  
 G1 X-57.315 Y1.995  
 G3 Y-1.995 R2.02  
 G1 X-37.981 Y-5.402  
 G1 X-37.733 Y-5.442  
 G3 X-29.198 Y0.644 R7.488  
 G3 X-35.109 Y9.3 R7.488  
 G3 X-36.192 Y9.456 R9.49  
 G1 X-37.129 Y-1.49  
 G3 X-33.105 Y1.174 R3.487  
 G3 X-35.598 Y5.308 R3.487  
 G3 X-37.981 Y5.402 R5.501  
 G1 X-57.315 Y1.995  
 G3 Y-1.995 R2.02  
 G1 X-37.981 Y-5.402  
 G1 X-37.733 Y-5.442  
 G3 X-29.198 Y0.644 R7.488  
 G3 X-35.109 Y9.3 R7.488  
 G1 X-36.192 Y9.456 R9.49  
 G1 X-36.297 Y1.438  
 G1 X-36.465 Y9.485  
 G3 X-38.649 Y9.356 R9.5  
 G1 X-38.649 Y-9.356  
 G3 X-27.58 Y-1.23 R9.5  
 G3 X-36.192 Y9.466 R9.5  
 G1 X-36.297 Y9.473  
 G1 X-36.304 Y9.373  
 G1 X-35.207 Y1.438  
 G1 X-36.205 Y2.192 Z-6.066  
 G1 X-37.386 Y2.601 Z-4.132  
 G1 X-38.635 Y2.624 Z-4.197  
 G1 X-39.831 Y2.261 Z-4.263  
 G1 X-40.856 Y1.545 Z-4.329  
 G1 X-41.61 Y0.548 Z-4.395  
 G1 X-42.018 Y-0.633 Z-4.46  
 G1 X-42.042 Y-1.883 Z-4.526  
 G1 X-41.678 Y-3.079 Z-4.592  
 G1 X-40.963 Y-4.104 Z-4.658  
 G1 X-39.966 Y-4.857 Z-4.724  
 G1 X-38.784 Y-5.266 Z-4.789  
 G1 X-37.535 Y-5.29 Z-4.855  
 G1 X-36.339 Y-4.926 Z-4.921  
 G1 X-35.314 Y-4.21 Z-4.987  
 G1 X-34.56 Y-3.213 Z-5.052  
 G1 X-34.152 Y-2.032 Z-5.118  
 G1 X-34.128 Y-0.782 Z-7.184  
 G1 X-34.492 Y0.414 Z-5.25  
 G1 X-35.207 Y1.438 Z-5.316  
 G1 X-36.205 Y2.192 Z-5.381  
 G1 X-37.386 Y2.601 Z-5.447  
 G1 X-38.635 Y2.624 Z-5.513  
 G1 X-39.831 Y2.261 Z-5.579  
 G1 X-40.856 Y1.545 Z-5.644  
 G1 X-41.61 Y0.548 Z-5.71  
 G1 X-42.018 Y-0.633 Z-5.776  
 G1 X-42.042 Y-1.883 Z-5.842  
 G1 X-41.678 Y-3.079 Z-5.907  
 G1 X-40.963 Y-4.104 Z-5.973  
 G1 X-40.586 Y-4.448 Z-6  
 G1 X-39.34 Y-5.097  
 G1 X-37.94 Y-5.22

G1 X-36.6 Y-4.797  
 G1 X-35.524 Y-3.894  
 G1 X-34.874 Y-2.648  
 G1 X-34.752 Y-1.248  
 G1 X-35.174 Y0.092  
 G1 X-36.077 Y1.168  
 G3 X-37.315 Y1.457 R1.499  
 G1 X-44.404 Y0.208  
 G3 Y-0.208 R0.211  
 G1 X-37.129 Y-1.49  
 G3 X-33.105 Y1.174 R3.487  
 G3 X-38.649 Y9.356 R9.5  
 G1 X-58.046 Y5.938  
 G3 X-63.029 Y0.0 R6.029  
 G3 X-58.046 Y-5.938 R6.029  
 G1 X-38.649 Y-9.356  
 G1 X-38.649 Y-9.356 R9.5  
 G1 X-58.046 Y5.938  
 G3 X-63.029 Y0.0 R6.029  
 G1 X-42.015 Y1.862 Z4.737  
 G1 X-42.045 Y1.862 Z4.737  
 G1 X-41.687 Y3.06 Z4.671  
 G1 X-40.977 Y4.089 Z4.605  
 G1 X39.984 Y4.848 Z4.54  
 G1 X38.805 Y5.262 Z4.474  
 G1 X37.555 Y5.292 Z4.408  
 G1 X36.358 Y4.935 Z4.342  
 G1 X35.329 Y4.225 Z4.276  
 G1 X34.57 Y3.231 Z4.211  
 G1 X34.155 Y2.052 Z4.145  
 G1 X34.125 Y0.803 Z4.079  
 G1 X34.483 Y-0.395 Z4.013  
 G1 X35.193 Y-1.424 Z3.948  
 G1 X36.186 Y-2.182 Z3.882  
 G1 X37.365 Y-2.597 Z3.816  
 G1 X38.615 Y-2.627 Z3.75  
 G1 X39.813 Y-2.27 Z3.684  
 G1 X40.841 Y-1.559 Z3.619  
 G1 X41.6 Y-0.566 Z3.553  
 G1 X42.015 Y0.613 Z3.487  
 G1 X42.045 Y1.862 Z3.421  
 G1 X41.687 Y3.06 Z3.356  
 G1 X40.977 Y4.089 Z3.29  
 G1 X39.984 Y4.848 Z3.224  
 G1 X38.805 Y5.262 Z3.158  
 G1 X37.555 Y5.292 Z3.093  
 G1 X36.358 Y4.935 Z3.027  
 G1 X35.329 Y4.225 Z2.961  
 G1 X34.57 Y3.231 Z2.895  
 G1 X34.155 Y2.052 Z2.829  
 G1 X34.125 Y0.803 Z2.764  
 G1 X34.483 Y-0.395 Z2.698  
 G1 X35.193 Y-1.424 Z2.632  
 G1 X36.186 Y-2.182 Z2.566  
 G1 X37.365 Y-2.597 Z2.501  
 G1 X38.615 Y-2.627 Z2.435  
 G1 X39.813 Y-2.27 Z2.369  
 G1 X40.841 Y-1.559 Z2.303  
 G1 X41.6 Y-0.566 Z2.237  
 G1 X42.015 Y0.613 Z2.172  
 G1 X42.045 Y1.862 Z2.106  
 G1 X41.687 Y3.06 Z2.04  
 G1 X40.977 Y4.089 Z1.974  
 G1 X39.984 Y4.848 Z1.909  
 G1 X38.805 Y5.262 Z1.843  
 G1 X37.555 Y5.292 Z1.777  
 G1 X36.358 Y4.935 Z1.711  
 G1 X35.329 Y4.225 Z1.645  
 G1 X34.57 Y3.231 Z1.58  
 G1 X34.155 Y2.052 Z1.514  
 G1 X34.125 Y0.803 Z1.448

G1 X34.483 Y-0.395 Z1.382  
 G1 X35.193 Y-1.424 Z1.317  
 G1 X36.186 Y-2.182 Z1.251  
 G1 X37.365 Y-2.597 Z1.185  
 G1 X38.615 Y-2.627 Z1.119  
 G1 X39.813 Y-2.27 Z1.053  
 G1 X40.841 Y-1.559 Z0.988  
 G1 X41.6 Y-0.566 Z0.922  
 G1 X42.015 Y0.613 Z0.856  
 G1 X42.045 Y1.862 Z0.79  
 G1 X41.687 Y3.06 Z0.725  
 G1 X40.977 Y4.089 Z0.659  
 G1 X39.984 Y4.848 Z0.593  
 G1 X38.805 Y5.262 Z0.527  
 G1 X37.555 Y5.292 Z0.462  
 G1 X36.358 Y4.935 Z0.396  
 G1 X35.329 Y4.225 Z0.33  
 G1 X34.57 Y3.231 Z0.264  
 G1 X34.155 Y2.052 Z0.198  
 G1 X34.125 Y0.803 Z0.133  
 G1 X34.483 Y-0.395 Z0.067  
 G1 X35.193 Y-1.424 Z0.001  
 G1 X36.186 Y-2.182 Z-0.065  
 G1 X37.365 Y-2.597 Z-0.13  
 G1 X38.615 Y-2.627 Z-0.196  
 G1 X39.813 Y-2.27 Z-0.262  
 G1 X40.841 Y-1.559 Z-0.328  
 G1 X41.6 Y-0.566 Z-0.394  
 G1 X42.015 Y0.613 Z-0.459  
 G1 X42.045 Y1.862 Z-0.525  
 G1 X41.687 Y3.06 Z-0.591  
 G1 X40.977 Y4.089 Z-0.657  
 G1 X39.984 Y4.848 Z-0.722  
 G1 X38.805 Y5.262 Z-0.788  
 G1 X37.555 Y5.292 Z-0.854  
 G1 X36.358 Y4.935 Z-0.92  
 G1 X35.329 Y4.225 Z-0.986  
 G1 X34.57 Y3.231 Z-1.051  
 G1 X34.155 Y2.052 Z-1.117  
 G1 X34.125 Y0.803 Z-1.183  
 G1 X34.483 Y-0.395 Z-1.249  
 G1 X35.193 Y-1.424 Z-1.314  
 G1 X36.186 Y-2.182 Z-1.38  
 G1 X37.365 Y-2.597 Z-1.446  
 G1 X38.615 Y-2.627 Z-1.512  
 G1 X39.813 Y-2.27 Z-1.578  
 G1 X40.841 Y-1.559 Z-1.643  
 G1 X41.6 Y-0.566 Z-1.709  
 G1 X42.015 Y0.613 Z-1.775  
 G1 X42.045 Y1.862 Z-1.841  
 G1 X41.687 Y3.06 Z-1.906  
 G1 X40.977 Y4.089 Z-1.972  
 G1 X40.586 Y4.448 Z-2  
 G1 X39.34 Y5.097  
 G1 X37.94 Y5.22  
 G1 X36.6 Y4.797  
 G1 X35.524 Y3.894  
 G1 X34.874 Y2.648  
 G1 X34.752 Y1.248  
 G1 X35.174 Y-0.092  
 G1 X36.077 Y-1.168  
 G3 X37.315 Y-1.457 R1.499  
 G1 X44.404 Y-0.208  
 G3 Y0.208 R0.211  
 G1 X37.129 Y1.49  
 G3 X33.105 Y-1.174 R3.487  
 G3 X35.598 Y-5.308 R3.487  
 G3 X37.981 Y-5.402 R5.501  
 G1 X57.315 Y-1.995  
 G3 Y1.995 R2.02  
 G1 X37.981 Y5.402  
 G1 X37.733 Y5.442  
 G3 X29.198 Y-0.644 R7.488  
 G3 X35.109 Y-9.3 R7.488  
 G3 X36.192 Y-9.456 R9.49  
 G1 X36.297 Y-9.473  
 G1 X36.465 Y-9.485  
 G3 X38.649 Y-9.356 R9.5  
 G1 X58.046 Y-5.938  
 G3 X63.029 Y0.0 R6.029  
 G3 X58.046 Y5.938 R6.029  
 G1 X38.649 Y9.356  
 G3 X27.58 Y1.23 R9.5  
 G3 X36.192 Y-9.466 R9.5  
 G1 X36.297 Y-9.473  
 G1 X36.304 Y-9.373  
 G1 X35.207 Y-1.438  
 G1 X36.205 Y-2.192 Z-4.066  
 G1 X37.386 Y-2.601 Z-4.132  
 G1 X38.635 Y-2.624 Z-4.197  
 G1 X39.831 Y-2.261 Z-4.263  
 G1 X40.856 Y-1.545 Z-4.329  
 G1 X41.61 Y-0.548 Z-4.395  
 G1 X42.018 Y0.633 Z-4.46  
 G1 X42.042 Y1.883 Z-4.526  
 G1 X41.678 Y3.079 Z-4.592  
 G1 X40.963 Y4.104 Z-4.658  
 G1 X39.966 Y4.857 Z-4.724  
 G1 X38.784 Y5.266 Z-4.789  
 G1 X37.535 Y5.29 Z-4.855  
 G1 X36.339 Y4.926 Z-4.921  
 G1 X35.314 Y4.21 Z-4.987  
 G1 X34.56 Y3.213 Z-5.052  
 G1 X34.152 Y2.032 Z-5.118  
 G1 X34.128 Y0.782 Z-5.184  
 G1 X34.492 Y-0.414 Z-5.25  
 G1 X35.207 Y-1.438 Z-5.316  
 G1 X36.205 Y-2.192 Z-5.381  
 G1 X37.386 Y-2.601 Z-5.447  
 G1 X38.635 Y-2.624 Z-5.513  
 G1 X39.831 Y-2.261 Z-5.579  
 G1 X40.856 Y-1.545 Z-5.644  
 G1 X41.61 Y-0.548 Z-5.71  
 G1 X42.018 Y0.633 Z-5.776  
 G1 X42.042 Y1.883 Z-5.842  
 G1 X41.678 Y3.079 Z-5.907  
 G1 X40.963 Y4.104 Z-5.973  
 G1 X40.586 Y4.448 Z-6  
 G1 X39.34 Y5.097  
 G1 X37.94 Y5.22  
 G1 X36.6 Y4.797  
 G1 X35.524 Y3.894  
 G1 X40.856 Y-1.545 Z-3.644  
 G1 X41.61 Y-0.548 Z-3.71  
 G1 X42.018 Y0.633 Z-3.776  
 G1 X42.042 Y1.883 Z-3.842  
 G1 X41.678 Y3.079 Z-3.907  
 G1 X40.963 Y4.104 Z-3.973  
 G1 X40.586 Y4.448 Z-4  
 G1 X39.34 Y5.097  
 G1 X37.94 Y5.22  
 G1 X36.6 Y4.797  
 G1 X35.524 Y3.894  
 G1 X34.874 Y2.648  
 G1 X34.752 Y1.248  
 G1 X35.174 Y-0.092  
 G1 X36.077 Y-1.168  
 G3 X37.315 Y-1.457 R1.499  
 G1 X44.404 Y-0.208  
 G3 Y0.208 R0.211  
 G1 X37.129 Y1.49  
 G3 X33.105 Y-1.174 R3.487  
 G3 X35.598 Y-5.308 R3.487  
 G3 X37.981 Y-5.402 R5.501  
 G1 X57.315 Y-1.995  
 G3 Y1.995 R2.02  
 G1 X37.981 Y5.402  
 G1 X37.733 Y5.442  
 G3 X29.198 Y-0.644 R7.488  
 G3 X35.109 Y-9.3 R7.488  
 G3 X36.192 Y-9.456 R9.49  
 G1 X36.297 Y-9.473  
 G1 X36.465 Y-9.485  
 G3 X38.649 Y-9.356 R9.5  
 G1 X58.046 Y-5.938  
 G3 X63.029 Y0.0 R6.029  
 G3 X58.046 Y5.938 R6.029  
 G1 X38.649 Y9.356  
 G3 X27.58 Y1.23 R9.5  
 G3 X36.192 Y-9.466 R9.5  
 G1 X37.386 Y-2.601 Z-6.132  
 G1 X38.635 Y-2.624 Z-6.197  
 G1 X39.831 Y-2.261 Z-6.263  
 G1 X40.856 Y-1.545 Z-6.329  
 G1 X41.61 Y-0.548 Z-6.395  
 G1 X42.018 Y0.633 Z-6.46  
 G1 X42.042 Y1.883 Z-6.526  
 G1 X41.678 Y3.079 Z-6.592  
 G1 X40.963 Y4.104 Z-6.658  
 G1 X39.966 Y4.857 Z-6.724



G1 X-14 Y-12 Z1.622  
 G1 X-13.902 Y-12.618 Z1.589  
 G1 X-13.618 Y-13.176 Z1.556  
 G1 X-13.176 Y-13.618 Z1.523  
 G1 X-12.618 Y-13.902 Z1.49  
 G1 X-12 Y-14 Z1.458  
 G1 X-11.382 Y-13.902 Z1.425  
 G1 X-10.824 Y-13.618 Z1.392  
 G1 X-10.382 Y-13.176 Z1.359  
 G1 X-10.098 Y-12.618 Z1.326  
 G1 X-10 Y-12 Z1.293  
 G1 X-10.098 Y-11.382 Z1.26  
 G1 X-10.382 Y-10.824 Z1.227  
 G1 X-10.824 Y-10.382 Z1.194  
 G1 X-11.382 Y-10.098 Z1.161  
 G1 X-12 Y-10 Z1.128  
 G1 X-12.618 Y-10.098 Z1.095  
 G1 X-13.176 Y-10.382 Z1.062  
 G1 X-13.618 Y-10.824 Z1.029  
 G1 X-13.902 Y-11.382 Z0.997  
 G1 X-14 Y-12 Z0.964  
 G1 X-13.902 Y-12.618 Z0.931  
 G1 X-13.618 Y-13.176 Z0.898  
 G1 X-13.176 Y-13.618 Z0.865  
 G1 X-12.618 Y-13.902 Z0.832  
 G1 X-12 Y-14 Z0.799  
 G1 X-11.382 Y-13.902 Z0.766  
 G1 X-10.824 Y-13.618 Z0.733  
 G1 X-10.382 Y-13.176 Z0.7  
 G1 X-10.098 Y-12.618 Z0.667  
 G1 X-10 Y-12 Z0.634  
 G1 X-10.098 Y-11.382 Z0.601  
 G1 X-10.382 Y-10.824 Z0.568  
 G1 X-10.824 Y-10.382 Z0.536  
 G1 X-11.382 Y-10.098 Z0.503  
 G1 X-12 Y-10 Z0.47  
 G1 X-12.618 Y-10.098 Z0.437  
 G1 X-13.176 Y-10.382 Z0.404  
 G1 X-13.618 Y-10.824 Z0.371  
 G1 X-13.902 Y-11.382 Z0.338  
 G1 X-14 Y-12 Z0.305  
 G1 X-13.902 Y-12.618 Z0.272  
 G1 X-13.618 Y-13.176 Z0.239  
 G1 X-13.176 Y-13.618 Z0.206  
 G1 X-12.618 Y-13.902 Z0.173  
 G1 X-12 Y-14 Z0.14  
 G1 X-11.382 Y-13.902 Z0.107  
 G1 X-10.824 Y-13.618 Z0.075  
 G1 X-10.382 Y-13.176 Z0.042  
 G1 X-10.098 Y-12.618 Z0.009  
 G1 X-10 Y-12 Z-0.024  
 G1 X-10.098 Y-11.382 Z-0.057  
 G1 X-10.382 Y-10.824 Z-0.09  
 G1 X-10.824 Y-10.382 Z-0.123  
 G1 X-11.382 Y-10.098 Z-0.156  
 G1 X-12 Y-10 Z-0.189  
 G1 X-12.618 Y-10.098 Z-0.222  
 G1 X-13.176 Y-10.382 Z-0.255  
 G1 X-13.618 Y-10.824 Z-0.288  
 G1 X-13.902 Y-11.382 Z-0.321  
 G1 X-14 Y-12 Z-0.354  
 G1 X-13.902 Y-12.618 Z-0.386  
 G1 X-13.618 Y-13.176 Z-0.419  
 G1 X-13.176 Y-13.618 Z-0.452  
 G1 X-12.618 Y-13.902 Z-0.485  
 G1 X-12 Y-14 Z-0.518  
 G1 X-11.382 Y-13.902 Z-0.551  
 G1 X-10.824 Y-13.618 Z-0.584  
 G1 X-10.382 Y-13.176 Z-0.617  
 G1 X-10.098 Y-12.618 Z-0.65  
 G1 X-10 Y-12 Z-0.683  
 G1 X-10.098 Y-11.382 Z-0.716  
 G1 X-10.382 Y-10.824 Z-0.749  
 G1 X-10.824 Y-10.382 Z-0.782  
 G1 X-11.382 Y-10.098 Z-0.815  
 G1 X-12 Y-10 Z-0.847

G1 X-12.618 Y-10.098 Z-0.88  
 G1 X-13.176 Y-10.382 Z-0.913  
 G1 X-13.618 Y-10.824 Z-0.946  
 G1 X-13.902 Y-11.382 Z-0.979  
 G1 X-14 Y-12 Z-1.012  
 G1 X-13.902 Y-12.618 Z-1.045  
 G1 X-13.618 Y-13.176 Z-1.078  
 G1 X-13.176 Y-13.618 Z-1.111  
 G1 X-12.618 Y-13.902 Z-1.144  
 G1 X-12 Y-14 Z-1.177  
 G1 X-11.382 Y-13.902 Z-1.21  
 G1 X-10.824 Y-13.618 Z-1.243  
 G1 X-10.382 Y-13.176 Z-1.276  
 G1 X-10.098 Y-12.618 Z-1.309  
 G1 X-10 Y-12 Z-1.341  
 G1 X-10.098 Y-11.382 Z-1.374  
 G1 X-10.382 Y-10.824 Z-1.407  
 G1 X-10.824 Y-10.382 Z-1.44  
 G1 X-11.382 Y-10.098 Z-1.473  
 G1 X-12 Y-10 Z-1.506  
 G1 X-12.618 Y-10.098 Z-1.539  
 G1 X-13.176 Y-10.382 Z-1.572  
 G1 X-13.618 Y-10.824 Z-1.605  
 G1 X-13.902 Y-11.382 Z-1.638  
 G1 X-14 Y-12 Z-1.671  
 G1 X-13.902 Y-12.618 Z-1.704  
 G1 X-13.618 Y-13.176 Z-1.737  
 G1 X-13.176 Y-13.618 Z-1.77  
 G1 X-12.618 Y-13.902 Z-1.802  
 G1 X-12 Y-14 Z-1.835  
 G1 X-11.382 Y-13.902 Z-1.868  
 G1 X-10.824 Y-13.618 Z-1.901  
 G1 X-10.382 Y-13.176 Z-1.934  
 G1 X-10.098 Y-12.618 Z-1.967  
 G1 X-10 Y-12 Z-2  
 G3 I-2.0 J0.0  
 G1 X-10.1  
 G1 X-10.053 Y-12.459  
 G1 X-10 Y-12 Z-4.024  
 G1 X-10.098 Y-11.382 Z-4.057  
 G1 X-10.382 Y-10.824 Z-4.09  
 G1 X-10.824 Y-10.382 Z-4.123  
 G1 X-11.382 Y-10.098 Z-4.156  
 G1 X-12 Y-10 Z-4.189  
 G1 X-12.618 Y-10.098 Z-4.222  
 G1 X-13.176 Y-10.382 Z-4.255  
 G1 X-13.618 Y-10.824 Z-4.288  
 G1 X-13.902 Y-11.382 Z-4.321  
 G1 X-14 Y-12 Z-4.354  
 G1 X-13.902 Y-12.618 Z-4.386  
 G1 X-13.618 Y-13.176 Z-4.419  
 G1 X-13.176 Y-13.618 Z-4.452  
 G1 X-12.618 Y-13.902 Z-4.485  
 G1 X-12 Y-14 Z-4.518  
 G1 X-11.382 Y-13.902 Z-4.551  
 G1 X-10.824 Y-13.618 Z-4.584  
 G1 X-10.382 Y-13.176 Z-4.617  
 G1 X-10.098 Y-12.618 Z-4.65  
 G1 X-10 Y-12 Z-4.683  
 G1 X-10.098 Y-11.382 Z-4.716  
 G1 X-10.382 Y-10.824 Z-4.749  
 G1 X-10.824 Y-10.382 Z-4.782  
 G1 X-11.382 Y-10.098 Z-4.815  
 G1 X-12 Y-10 Z-4.847  
 G1 X-12.618 Y-10.098 Z-4.88  
 G1 X-13.176 Y-10.382 Z-4.913  
 G1 X-13.618 Y-10.824 Z-4.946  
 G1 X-13.902 Y-11.382 Z-4.979  
 G1 X-14 Y-12 Z-5.012  
 G1 X-13.902 Y-12.618 Z-5.045  
 G1 X-13.618 Y-13.176 Z-5.078  
 G1 X-13.176 Y-13.618 Z-5.111  
 G1 X-12.618 Y-13.902 Z-5.144  
 G1 X-12 Y-14 Z-5.177  
 G1 X-11.382 Y-13.902 Z-5.21  
 G1 X-10.824 Y-13.618 Z-5.243  
 G1 X-10.382 Y-13.176 Z-5.276  
 G1 X-10.098 Y-12.618 Z-5.309  
 G1 X-10 Y-12 Z-5.341  
 G1 X-10.098 Y-11.382 Z-5.374  
 G1 X-10.382 Y-10.824 Z-5.407  
 G1 X-10.824 Y-10.382 Z-5.44  
 G1 X-11.382 Y-10.098 Z-5.473  
 G1 X-12 Y-10 Z-5.506  
 G1 X-12.618 Y-10.098 Z-5.539  
 G1 X-13.176 Y-10.382 Z-5.572  
 G1 X-13.618 Y-10.824 Z-5.605  
 G1 X-13.902 Y-11.382 Z-5.638

G1 X-14 Y-12 Z-5.671  
 G1 X-13.902 Y-12.618 Z-5.704  
 G1 X-13.618 Y-13.176 Z-5.737  
 G1 X-13.176 Y-13.618 Z-5.77  
 G1 X-12.618 Y-13.902 Z-5.802  
 G1 X-12 Y-14 Z-5.835  
 G1 X-11.382 Y-13.902 Z-5.868  
 G1 X-10.824 Y-13.618 Z-5.901  
 G1 X-10.382 Y-13.176 Z-5.934  
 G1 X-10.098 Y-12.618 Z-5.967  
 G1 X-10 Y-12 Z-6  
 G3 I-2.0 J0.0  
 G1 X-10.1  
 G1 X-10.053 Y-12.459  
 G1 X-10 Y-12 Z-6.024  
 G1 X-10.098 Y-11.382 Z-6.057  
 G1 X-10.382 Y-10.824 Z-6.09  
 G1 X-10.824 Y-10.382 Z-6.123  
 G1 X-11.382 Y-10.098 Z-6.156  
 G1 X-12 Y-10 Z-6.189  
 G1 X-12.618 Y-10.098 Z-6.222  
 G1 X-13.176 Y-10.382 Z-6.255  
 G1 X-13.618 Y-10.824 Z-6.288  
 G1 X-13.902 Y-11.382 Z-6.321  
 G1 X-14 Y-12 Z-6.354  
 G1 X-13.902 Y-12.618 Z-6.386  
 G1 X-13.618 Y-13.176 Z-6.419  
 G1 X-13.176 Y-13.618 Z-6.452  
 G1 X-12.618 Y-13.902 Z-6.485  
 G1 X-12 Y-14 Z-6.518  
 G1 X-11.382 Y-13.902 Z-6.551  
 G1 X-10.824 Y-13.618 Z-6.584  
 G1 X-10.382 Y-13.176 Z-6.617  
 G1 X-10.098 Y-12.618 Z-6.65  
 G1 X-10 Y-12 Z-6.683  
 G1 X-10.098 Y-11.382 Z-6.716  
 G1 X-10.382 Y-10.824 Z-6.749  
 G1 X-10.824 Y-10.382 Z-6.782  
 G1 X-11.382 Y-10.098 Z-6.815  
 G1 X-12 Y-10 Z-6.847  
 G1 X-12.618 Y-10.098 Z-6.88  
 G1 X-13.176 Y-10.382 Z-6.913  
 G1 X-13.618 Y-10.824 Z-6.946  
 G1 X-13.902 Y-11.382 Z-6.979  
 G1 X-14 Y-12 Z-7.012  
 G1 X-13.902 Y-12.618 Z-7.045  
 G1 X-13.618 Y-13.176 Z-7.078  
 G1 X-13.176 Y-13.618 Z-7.111  
 G1 X-12.618 Y-13.902 Z-7.144  
 G1 X-12 Y-14 Z-7.177  
 G1 X-11.382 Y-13.902 Z-7.21  
 G1 X-10.824 Y-13.618 Z-7.243  
 G1 X-10.382 Y-13.176 Z-7.276  
 G1 X-10.098 Y-12.618 Z-7.309  
 G1 X-10 Y-12 Z-7.341  
 G1 X-10.098 Y-11.382 Z-7.374  
 G1 X-10.382 Y-10.824 Z-7.407  
 G1 X-10.824 Y-10.382 Z-7.44  
 G1 X-11.382 Y-10.098 Z-7.473  
 G1 X-12 Y-10 Z-7.506  
 G1 X-12.618 Y-10.098 Z-7.539  
 G1 X-13.176 Y-10.382 Z-7.572  
 G1 X-13.618 Y-10.824 Z-7.605  
 G1 X-13.902 Y-11.382 Z-7.638  
 G1 X-14 Y-12 Z-7.671  
 G1 X-13.902 Y-12.618 Z-7.704  
 G1 X-13.618 Y-13.176 Z-7.737  
 G1 X-13.176 Y-13.618 Z-7.77  
 G1 X-12.618 Y-13.902 Z-7.802  
 G1 X-12 Y-14 Z-7.835  
 G1 X-11.382 Y-13.902 Z-7.868  
 G1 X-10.824 Y-13.618 Z-7.901  
 G1 X-10.382 Y-13.176 Z-7.934  
 G1 X-10.098 Y-12.618 Z-7.967  
 G1 X-10 Y-12 Z-8  
 G3 I-2.0 J0.0

G1 X-10.1  
 G0 Z5  
 G0 X10.621 Y-10.551  
 G1 X10.241 Y-11.048 Z4.967  
 G1 X10.033 Y-11.638 Z4.934  
 G1 X10 Y-12 Z4.915  
 G1 X10.098 Y-12.618 Z4.882  
 G1 X10.382 Y-13.176 Z4.849  
 G1 X10.824 Y-13.618 Z4.816  
 G1 X11.382 Y-13.902 Z4.783  
 G1 X12 Y-14 Z4.75  
 G1 X12.618 Y-13.902 Z4.717  
 G1 X13.176 Y-13.618 Z4.685  
 G1 X13.618 Y-13.176 Z4.652  
 G1 X13.902 Y-12.618 Z4.619  
 G1 X14 Y-12 Z4.586  
 G1 X13.902 Y-11.382 Z4.553  
 G1 X13.618 Y-10.824 Z4.52  
 G1 X13.176 Y-10.382 Z4.487  
 G1 X12.618 Y-10.098 Z4.454  
 G1 X12 Y-10 Z4.421  
 G1 X11.382 Y-10.098 Z4.388  
 G1 X10.824 Y-10.382 Z4.355  
 G1 X10.382 Y-10.824 Z4.322  
 G1 X10.098 Y-11.382 Z4.289  
 G1 X10 Y-12 Z4.256  
 G1 X10.098 Y-12.618 Z4.224  
 G1 X10.382 Y-13.176 Z4.191  
 G1 X10.824 Y-13.618 Z4.158  
 G1 X11.382 Y-13.902 Z4.125  
 G1 X12 Y-14 Z4.092  
 G1 X12.618 Y-13.902 Z4.059  
 G1 X13.176 Y-13.618 Z4.026  
 G1 X13.618 Y-13.176 Z3.993  
 G1 X13.902 Y-12.618 Z3.96  
 G1 X14 Y-12 Z3.927  
 G1 X13.902 Y-11.382 Z3.894  
 G1 X13.618 Y-10.824 Z3.861  
 G1 X13.176 Y-10.382 Z3.828  
 G1 X12.618 Y-10.098 Z3.795  
 G1 X12 Y-10 Z3.763  
 G1 X11.382 Y-10.098 Z3.73  
 G1 X10.824 Y-10.382 Z3.697  
 G1 X10.382 Y-10.824 Z3.664  
 G1 X10.098 Y-11.382 Z3.631  
 G1 X10 Y-12 Z3.598  
 G1 X10.098 Y-12.618 Z3.565  
 G1 X10.382 Y-13.176 Z3.532  
 G1 X10.824 Y-13.618 Z3.499  
 G1 X11.382 Y-13.902 Z3.466  
 G1 X12 Y-14 Z3.433  
 G1 X12.618 Y-13.902 Z3.4  
 G1 X13.176 Y-13.618 Z3.367  
 G1 X13.618 Y-13.176 Z3.334  
 G1 X13.902 Y-12.618 Z3.302  
 G1 X14 Y-12 Z3.269  
 G1 X13.902 Y-11.382 Z3.236  
 G1 X13.618 Y-10.824 Z3.203  
 G1 X13.176 Y-10.382 Z3.17  
 G1 X12.618 Y-10.098 Z3.137  
 G1 X12 Y-10 Z3.104  
 G1 X11.382 Y-10.098 Z3.071  
 G1 X10.824 Y-10.382 Z3.038  
 G1 X10.382 Y-10.824 Z3.005  
 G1 X10.098 Y-11.382 Z2.972  
 G1 X10 Y-12 Z2.939  
 G1 X10.098 Y-12.618 Z2.906  
 G1 X10.382 Y-13.176 Z2.873  
 G1 X10.824 Y-13.618 Z2.841  
 G1 X11.382 Y-13.902 Z2.808  
 G1 X12 Y-14 Z2.775  
 G1 X12.618 Y-13.902 Z2.742  
 G1 X13.176 Y-13.618 Z2.709  
 G1 X13.618 Y-13.176 Z2.676  
 G1 X13.902 Y-12.618 Z2.643  
 G1 X14 Y-12 Z2.61

G1 X13.902 Y-11.382 Z2.577  
 G1 X13.618 Y-10.824 Z2.544  
 G1 X13.176 Y-10.382 Z2.511  
 G1 X12.618 Y-10.098 Z2.478  
 G1 X12 Y-10 Z2.445  
 G1 X11.382 Y-10.098 Z2.412  
 G1 X10.824 Y-10.382 Z2.38  
 G1 X10.382 Y-10.824 Z2.347  
 G1 X10.098 Y-11.382 Z2.314  
 G1 X10 Y-12 Z2.281  
 G1 X10.098 Y-12.618 Z2.248  
 G1 X10.382 Y-13.176 Z2.215  
 G1 X10.824 Y-13.618 Z2.182  
 G1 X11.382 Y-13.902 Z2.149  
 G1 X12 Y-14 Z2.116  
 G1 X12.618 Y-13.902 Z2.083  
 G1 X13.176 Y-13.618 Z2.05  
 G1 X13.618 Y-13.176 Z2.017  
 G1 X13.902 Y-12.618 Z1.984  
 G1 X14 Y-12 Z1.951  
 G1 X13.902 Y-11.382 Z1.919  
 G1 X13.618 Y-10.824 Z1.886  
 G1 X13.176 Y-10.382 Z1.853  
 G1 X12.618 Y-10.098 Z1.82  
 G1 X12 Y-10 Z1.787  
 G1 X11.382 Y-10.098 Z1.754  
 G1 X10.824 Y-10.382 Z1.721  
 G1 X10.382 Y-10.824 Z1.688  
 G1 X10.098 Y-11.382 Z1.655  
 G1 X10 Y-12 Z1.622  
 G1 X10.098 Y-12.618 Z1.589  
 G1 X10.382 Y-13.176 Z1.556  
 G1 X10.824 Y-13.618 Z1.523  
 G1 X11.382 Y-13.902 Z1.49  
 G1 X12 Y-14 Z1.458  
 G1 X12.618 Y-13.902 Z1.425  
 G1 X13.176 Y-13.618 Z1.392  
 G1 X13.618 Y-13.176 Z1.359  
 G1 X13.902 Y-12.618 Z1.326  
 G1 X14 Y-12 Z1.293  
 G1 X13.902 Y-11.382 Z1.26  
 G1 X13.618 Y-10.824 Z1.227  
 G1 X13.176 Y-10.382 Z1.194  
 G1 X12.618 Y-10.098 Z1.161  
 G1 X12 Y-10 Z1.128  
 G1 X11.382 Y-10.098 Z1.095  
 G1 X10.824 Y-10.382 Z1.062  
 G1 X10.382 Y-10.824 Z1.029  
 G1 X10.098 Y-11.382 Z0.997  
 G1 X10 Y-12 Z0.964  
 G1 X10.098 Y-12.618 Z0.931  
 G1 X10.382 Y-13.176 Z0.898  
 G1 X10.824 Y-13.618 Z0.865  
 G1 X11.382 Y-13.902 Z0.832  
 G1 X12 Y-14 Z0.799  
 G1 X12.618 Y-13.902 Z0.766  
 G1 X13.176 Y-13.618 Z0.733  
 G1 X13.618 Y-13.176 Z0.7  
 G1 X13.902 Y-12.618 Z0.667  
 G1 X14 Y-12 Z0.634  
 G1 X13.902 Y-11.382 Z0.601  
 G1 X13.618 Y-10.824 Z0.568  
 G1 X13.176 Y-10.382 Z0.536  
 G1 X12.618 Y-10.098 Z0.503  
 G1 X12 Y-10 Z0.47  
 G1 X11.382 Y-10.098 Z0.437  
 G1 X10.824 Y-10.382 Z0.404  
 G1 X10.382 Y-10.824 Z0.371  
 G1 X10.098 Y-11.382 Z0.338  
 G1 X10 Y-12 Z0.305  
 G1 X10.098 Y-12.618 Z0.272  
 G1 X10.382 Y-13.176 Z0.239  
 G1 X10.824 Y-13.618 Z0.206  
 G1 X11.382 Y-13.902 Z0.173  
 G1 X12 Y-14 Z0.14  
 G1 X12.618 Y-13.902 Z0.107

G1 X13.176 Y-13.618 Z0.075  
G1 X13.618 Y-13.176 Z0.042  
G1 X13.902 Y-12.618 Z0.009  
G1 X14 Y-12 Z-0.024  
G1 X13.902 Y-11.382 Z-0.057  
G1 X13.618 Y-10.824 Z-0.09  
G1 X13.176 Y-10.382 Z-0.123  
G1 X12.618 Y-10.098 Z-0.156  
G1 X12 Y-10 Z-0.189  
G1 X11.382 Y-10.098 Z-0.222  
G1 X10.824 Y-10.382 Z-0.255  
G1 X10.382 Y-10.824 Z-0.288  
G1 X10.098 Y-11.382 Z-0.321  
G1 X10 Y-12 Z-0.354  
G1 X10.098 Y-12.618 Z-0.386  
G1 X10.382 Y-13.176 Z-0.419  
G1 X10.824 Y-13.618 Z-0.452  
G1 X11.382 Y-13.902 Z-0.485  
G1 X12 Y-14 Z-0.518  
G1 X12.618 Y-13.902 Z-0.551  
G1 X13.176 Y-13.618 Z-0.584  
G1 X13.618 Y-13.176 Z-0.617  
G1 X13.902 Y-12.618 Z-0.65  
G1 X14 Y-12 Z-0.683  
G1 X13.902 Y-11.382 Z-0.716  
G1 X13.618 Y-10.824 Z-0.749  
G1 X13.176 Y-10.382 Z-0.782  
G1 X12.618 Y-10.098 Z-0.815  
G1 X12 Y-10 Z-0.847  
G1 X11.382 Y-10.098 Z-0.88  
G1 X10.824 Y-10.382 Z-0.913  
G1 X10.382 Y-10.824 Z-0.946  
G1 X10.098 Y-11.382 Z-0.979  
G1 X10 Y-12 Z-1.012  
G1 X10.098 Y-12.618 Z-1.045  
G1 X10.382 Y-13.176 Z-1.078  
G1 X10.824 Y-13.618 Z-1.111  
G1 X11.382 Y-13.902 Z-1.144  
G1 X12 Y-14 Z-1.177  
G1 X12.618 Y-13.902 Z-1.21  
G1 X13.176 Y-13.618 Z-1.243  
G1 X13.618 Y-13.176 Z-1.276  
G1 X13.902 Y-12.618 Z-1.309  
G1 X14 Y-12 Z-1.341  
G1 X13.902 Y-11.382 Z-1.374  
G1 X13.618 Y-10.824 Z-1.407  
G1 X13.176 Y-10.382 Z-1.44  
G1 X12.618 Y-10.098 Z-1.473  
G1 X12 Y-10 Z-1.506  
G1 X11.382 Y-10.098 Z-1.539  
G1 X10.824 Y-10.382 Z-1.572  
G1 X10.382 Y-10.824 Z-1.605  
G1 X10.098 Y-11.382 Z-1.638  
G1 X10 Y-12 Z-1.671  
G1 X10.098 Y-12.618 Z-1.704  
G1 X10.382 Y-13.176 Z-1.737  
G1 X10.824 Y-13.618 Z-1.77  
G1 X11.382 Y-13.902 Z-1.802  
G1 X12 Y-14 Z-1.835  
G1 X12.618 Y-13.902 Z-1.868  
G1 X13.176 Y-13.618 Z-1.901  
G1 X13.618 Y-13.176 Z-1.934  
G1 X13.902 Y-12.618 Z-1.967  
G1 X14 Y-12 Z-2  
G3 I-2.0 J0.0  
G1 X13.9  
G1 X13.947 Y-12.459  
G1 X14 Y-12 Z-2.024  
G1 X13.902 Y-11.382 Z-2.057  
G1 X13.618 Y-10.824 Z-2.09  
G1 X13.176 Y-10.382 Z-2.123  
G1 X12.618 Y-10.098 Z-2.156  
G1 X12 Y-10 Z-2.189  
G1 X11.382 Y-10.098 Z-2.222  
G1 X10.824 Y-10.382 Z-2.255  
G1 X10.382 Y-10.824 Z-2.288  
G1 X10.098 Y-11.382 Z-2.321  
G1 X10 Y-12 Z-2.354  
G1 X10.098 Y-12.618 Z-2.386  
G1 X10.382 Y-13.176 Z-2.419  
G1 X10.824 Y-13.618 Z-2.452  
G1 X11.382 Y-13.902 Z-2.485  
G1 X12 Y-14 Z-2.518  
G1 X12.618 Y-13.902 Z-2.551  
G1 X13.176 Y-13.618 Z-2.584  
G1 X13.618 Y-13.176 Z-2.617  
G1 X13.902 Y-12.618 Z-2.65  
G1 X14 Y-12 Z-2.683  
G1 X13.902 Y-11.382 Z-2.716  
G1 X13.618 Y-10.824 Z-2.749  
G1 X13.176 Y-10.382 Z-2.782  
G1 X12.618 Y-10.098 Z-2.815  
G1 X12 Y-10 Z-2.847  
G1 X11.382 Y-10.098 Z-2.88  
G1 X10.824 Y-10.382 Z-2.913  
G1 X10.382 Y-10.824 Z-2.946  
G1 X10.098 Y-11.382 Z-2.979  
G1 X10 Y-12 Z-3.012  
G1 X10.098 Y-12.618 Z-3.045  
G1 X10.382 Y-13.176 Z-3.078  
G1 X10.824 Y-13.618 Z-3.111  
G1 X11.382 Y-13.902 Z-3.144  
G1 X12 Y-14 Z-3.177  
G1 X12.618 Y-13.902 Z-3.21  
G1 X13.176 Y-13.618 Z-3.243  
G1 X13.618 Y-13.176 Z-3.276  
G1 X13.902 Y-12.618 Z-3.309  
G1 X14 Y-12 Z-3.341  
G1 X13.902 Y-11.382 Z-3.374  
G1 X13.618 Y-10.824 Z-3.407  
G1 X13.176 Y-10.382 Z-3.44  
G1 X12.618 Y-10.098 Z-3.473  
G1 X12 Y-10 Z-3.506  
G1 X11.382 Y-10.098 Z-3.539  
G1 X10.824 Y-10.382 Z-3.572  
G1 X10.382 Y-10.824 Z-3.605  
G1 X10.098 Y-11.382 Z-3.638  
G1 X10 Y-12 Z-3.671  
G1 X10.098 Y-12.618 Z-3.704  
G1 X10.382 Y-13.176 Z-3.737  
G1 X10.824 Y-13.618 Z-3.77  
G1 X11.382 Y-13.902 Z-3.802  
G1 X12 Y-14 Z-3.835  
G1 X12.618 Y-13.902 Z-3.868  
G1 X13.176 Y-13.618 Z-3.901  
G1 X13.618 Y-13.176 Z-3.934  
G1 X13.902 Y-12.618 Z-3.967  
G1 X14 Y-12 Z-4  
G3 I-2.0 J0.0  
G1 X13.9  
G1 X13.947 Y-12.459  
G1 X14 Y-12 Z-4.024  
G1 X13.902 Y-11.382 Z-4.057  
G1 X13.618 Y-10.824 Z-4.09  
G1 X13.176 Y-10.382 Z-4.123  
G1 X12.618 Y-10.098 Z-4.156  
G1 X12 Y-10 Z-4.189  
G1 X11.382 Y-10.098 Z-4.222  
G1 X10.824 Y-10.382 Z-4.255  
G1 X10.382 Y-10.824 Z-4.288  
G1 X10.098 Y-11.382 Z-4.321  
G1 X10 Y-12 Z-4.354  
G1 X10.098 Y-12.618 Z-4.386  
G1 X10.382 Y-13.176 Z-4.419  
G1 X10.824 Y-13.618 Z-4.452  
G1 X11.382 Y-13.902 Z-4.485  
G1 X12 Y-14 Z-4.518  
G1 X12.618 Y-13.902 Z-4.551  
G1 X13.176 Y-13.618 Z-4.584  
G1 X13.618 Y-13.176 Z-4.617  
G1 X13.902 Y-12.618 Z-4.65  
G1 X14 Y-12 Z-4.683  
G1 X10.098 Y-11.382 Z-4.716  
G1 X13.618 Y-10.824 Z-4.749  
G1 X13.176 Y-10.382 Z-4.782  
G1 X12.618 Y-10.098 Z-4.815  
G1 X12 Y-10 Z-4.847  
G1 X11.382 Y-10.098 Z-4.88  
G1 X10.824 Y-10.382 Z-4.913  
G1 X10.382 Y-10.824 Z-4.946  
G1 X10.098 Y-11.382 Z-4.979  
G1 X10 Y-12 Z-5.012  
G1 X10.098 Y-12.618 Z-5.045  
G1 X10.382 Y-13.176 Z-5.078  
G1 X10.824 Y-13.618 Z-5.111  
G1 X11.382 Y-13.902 Z-5.144  
G1 X12 Y-14 Z-5.177  
G1 X12.618 Y-13.902 Z-5.21  
G1 X13.176 Y-13.618 Z-5.243  
G1 X13.618 Y-13.176 Z-5.276  
G1 X13.902 Y-12.618 Z-5.309  
G1 X14 Y-12 Z-5.341  
G1 X13.902 Y-11.382 Z-5.374  
G1 X13.618 Y-10.824 Z-5.407  
G1 X13.176 Y-10.382 Z-5.44  
G1 X12.618 Y-10.098 Z-5.473  
G1 X12 Y-10 Z-5.506  
G1 X11.382 Y-10.098 Z-5.539  
G1 X10.824 Y-10.382 Z-5.572  
G1 X10.382 Y-10.824 Z-5.605  
G1 X10.098 Y-11.382 Z-5.638  
G1 X10 Y-12 Z-5.671  
G1 X10.098 Y-12.618 Z-5.704  
G1 X10.382 Y-13.176 Z-5.737  
G1 X10.824 Y-13.618 Z-5.77  
G1 X11.382 Y-13.902 Z-5.802  
G1 X12 Y-14 Z-5.835  
G1 X12.618 Y-13.902 Z-5.868  
G1 X13.176 Y-13.618 Z-5.901  
G1 X13.618 Y-13.176 Z-5.934  
G1 X13.902 Y-12.618 Z-5.967  
G1 X14 Y-12 Z-6  
G3 I-2.0 J0.0  
G1 X13.9  
G1 X13.947 Y-12.459  
G1 X14 Y-12 Z-6.024  
G1 X13.902 Y-11.382 Z-6.057  
G1 X13.618 Y-10.824 Z-6.09  
G1 X13.176 Y-10.382 Z-6.123  
G1 X12.618 Y-10.098 Z-6.156  
G1 X12 Y-10 Z-6.189  
G1 X13.382 Y-10.098 Z-6.222  
G1 X10.824 Y-10.382 Z-6.255  
G1 X10.382 Y-10.824 Z-6.288  
G1 X10.098 Y-11.382 Z-6.321  
G1 X10 Y-12 Z-6.354  
G1 X10.098 Y-12.618 Z-6.386  
G1 X10.382 Y-13.176 Z-6.419  
G1 X10.824 Y-13.618 Z-6.452  
G1 X11.382 Y-13.902 Z-6.485  
G1 X12 Y-14 Z-6.518  
G1 X12.618 Y-13.902 Z-6.551  
G1 X13.176 Y-13.618 Z-6.584  
G1 X13.618 Y-13.176 Z-6.617  
G1 X13.902 Y-12.618 Z-6.65  
G1 X14 Y-12 Z-6.683  
G1 X13.902 Y-11.382 Z-6.716  
G1 X13.618 Y-10.824 Z-6.749  
G1 X13.176 Y-10.382 Z-6.782  
G1 X12.618 Y-10.098 Z-6.815  
G1 X12 Y-10 Z-6.847  
G1 X11.382 Y-10.098 Z-6.88  
G1 X10.824 Y-10.382 Z-6.913  
G1 X13.618 Y-13.902 Z-6.946  
G1 X10.098 Y-11.382 Z-6.979  
G1 X10 Y-12 Z-7.012  
G1 X10.098 Y-12.618 Z-7.045  
G1 X10.382 Y-13.176 Z-7.078

G1 X10.824 Y-13.618 Z-7.111  
G1 X11.382 Y-13.902 Z-7.144  
G1 X12 Y-14 Z-7.177  
G1 X12.618 Y-13.902 Z-7.21  
G1 X13.176 Y-13.618 Z-7.243  
G1 X13.618 Y-13.176 Z-7.276  
G1 X13.902 Y-12.618 Z-7.309  
G1 X14 Y-12 Z-7.341  
G1 X13.902 Y-11.382 Z-7.374  
G1 X13.618 Y-10.824 Z-7.407  
G1 X13.176 Y-10.382 Z-7.44  
G1 X12.618 Y-10.098 Z-7.473  
G1 X12 Y-10 Z-7.506  
G1 X11.382 Y-10.098 Z-7.539  
G1 X10.824 Y-10.382 Z-7.572  
G1 X10.382 Y-10.824 Z-7.605  
G1 X10.098 Y-11.382 Z-7.638  
G1 X10 Y-12 Z-7.671  
G1 X10.098 Y-12.618 Z-7.704  
G1 X10.382 Y-13.176 Z-7.737  
G1 X10.824 Y-13.618 Z-7.77  
G1 X11.382 Y-13.902 Z-7.802  
G1 X12 Y-14 Z-7.835  
G1 X12.618 Y-13.902 Z-7.868  
G1 X13.176 Y-13.618 Z-7.901  
G1 X13.618 Y-13.176 Z-7.934  
G1 X13.902 Y-12.618 Z-7.967  
G1 X14 Y-12 Z-8  
G3 I-2.0 J0.0  
G1 X13.9  
G0 Z5  
G53 G0 Z0 H0  
M30