

# **Prototipagem e controlo de plataforma robotizada educativa**

Carlos Manuel Mesquita Oliveira

Relatório da Dissertação Final apresentada à

**Escola Superior de Tecnologia e Gestão**

**Instituto Politécnico de Bragança**

para obtenção do Grau de Mestre em

**Engenharia Industrial**

**Área de especialização em Engenharia Mecânica**

Orientadores:

Prof. Dr. José Alexandre de Carvalho Gonçalves

Prof. Dr. João Eduardo Pinto Castro Ribeiro

Julho de 2018

*“Se estás a trabalhar em algo excitante e do qual tu gostas mesmo muito, não precisas de ser pressionado para ter mais resultados. A tua própria visão puxa-te para a frente.”*

(Steve Jobs - Citador,2018)

# Agradecimentos

Concluir esta etapa foi um pouco complicado, mas não seria possível sem a força que me foi transmitida pelos meus colegas e amigos.

Quero agradecer ao Professor José Gonçalves e ao Professor João Ribeiro por toda a ajuda prestada, sempre se mostrarem disponíveis para ajudar na realização deste trabalho.

Agradecimento especial aos meus pais, por me terem educado da melhor forma possível, por me transmitirem os bons princípios e por me terem transformado na pessoa que sou hoje.

Ao Fernando Oliveira, meu irmão por quem tenho muito carinho e tenho como pessoa modelo na minha vida.

À minha namorada, Ana Carvalho que sempre esteve ao meu lado durante a realização deste desafio, a sua enorme paciência para lidar comigo durante este período.

Por último, e não menos importante agradecer à minha Tia Fernanda, a minha segunda mãe, aos meus avós e ao meu padrinho, Nuno Monteiro que sempre foi um conselheiro ao longo da minha vida.

Obrigado a todos que durante o meu percurso académico lidaram comigo.

# Resumo

Neste documento descreve-se o trabalho desenvolvido para criação de um modelo didático composto por um braço robótico e um tapete de transporte. O desenvolvimento deste trabalho foi composto por duas componentes, a da eletrónica e de controlo e o projeto mecânico e fabrico da estrutura do braço e do tapete.

Na fase inicial do trabalho, foram desenhados componentes estruturais do braço do robot. Durante essa fase, foram avaliadas diferentes geometrias dos componentes estruturais, bem como, um estudo cinemático do movimento do braço robótico. Para este estudo foi utilizado o software de CAD/CAE SolidWorks®, onde foram desenhados todos os elementos do braço, efetuadas simulações numéricas com o método dos elementos finitos para estudar o estado de tensão dos diferentes elementos e a sua resistência mecânica. O referido estudo cinemático foi, também, efetuado no mesmo software. Na fase seguinte, foram fabricados os elementos estruturais do braço robótico com recurso a uma impressora 3D. Após o fabrico dos elementos estruturais, realizou-se a sua montagem e integraram-se servo motores que são controlados por um Arduino.

Para o tapete de transporte, foi necessário desenvolver uma estrutura que suporte as cargas que serão utilizadas, de modo a permitir que possa ser integrado com o braço robótico.

Uma vez o tapete construído, programa-se o braço e o tapete de forma a que seja possível introduzir uma peça, este transporte a peça pelo tapete até que seja detetada, aciona o braço e este seja capaz de transportar a peça de um lado para outro previamente definido.

Para o tapete de transporte se movimentar utiliza-se um motor DC e para detetar as peças recorre-se a um sensor de medição de distância, de referir que os servo motores são controlados através do Arduino e neste é possível obter as leituras efetuadas através dos sensores.

**Palavras chave:** Braço robótico; Tapete de Transporte, componente eletrónica; controlo; estrutura; construção; servo motor; Arduino; Motor DC

# Abstract

This paper describes the work developed to create a didactic model composed of a robotic arm and a conveyor belt. The development of this work was composed of two components, the electronics and control, and the mechanical design and manufacture of the arm and carpet structure.

In the initial phase of the work, structural components of the robot arm were designed. During this phase, different geometries of the structural components were evaluated, as well as a kinematic study of the movement of the robotic arm. For this study, CAD / CAE SolidWorks® software was used, where all elements of the arm were designed, numerical simulations using the finite element method to study the stress state of the different elements and their mechanical resistance. This kinematic study was also performed in the same software. In the next phase, the structural elements of the robotic arm were made using a 3D printer. After the structural elements were fabricated, they were assembled, and servo motors were integrated, which are controlled by an Arduino.

For the carpet, it was necessary to develop a structure that supports the loads that will be used, so that it can be integrated with the robotic arm.

Once the carpet is constructed, the arm and carpet are programmed so that it is possible to insert a piece, to carry the piece on the carpet until it is detected, to activate the arm and to be able to carry the piece from one side to the other. other previously defined.

A DC motor is used to move the carpet and to detect the parts, a distance measuring sensor is used. The servo motors are controlled through the Arduino and it is possible to obtain the readings through the sensors. sensors.

**Key-words:** Robotic arm; conveyor belt, electronic component; control; structure; construction; servo motors; Arduino; DC motor

# Índice

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO .....</b>	<b>2</b>
1.1 OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO .....	2
1.1.1: <i>Geral</i> .....	2
1.1.2: <i>Específico</i> .....	2
1.2 ESTRUTURA DO DOCUMENTO .....	3
<b>CAPÍTULO 2: ESTADO DA ARTE .....</b>	<b>6</b>
2.1 FASE INICIAL AO DIA ATUAL .....	6
2.2 ESTRUTURA DE UM BRAÇO ROBÓTICO .....	8
2.3 TIPOS DE ROBÔS MANIPULADORES.....	9
2.3.1 <i>Antropomórfico</i> .....	9
2.3.2 <i>Cartesiano</i> .....	10
2.3.3 <i>Cilíndrico</i> .....	10
2.3.4 <i>Esférico</i> .....	11
2.3.5 <i>SCARA</i> .....	11
2.4 BRAÇOS ROBÓTICOS DESENVOLVIDOS.....	12
2.4.1 <i>uArm Swift</i> .....	12
2.5.2 <i>Makerarm</i> .....	13
2.5.3 <i>DOBOT Magician</i> .....	14
2.5.4 <i>Niryo One</i> .....	14
2.6 PROTÓTIPOS ROBÔS COM SERVOS .....	15
2.6.1 <i>Humanoides</i> .....	15
2.6.2 <i>Robôs com pernas</i> .....	16
2.6.3 <i>Robôs com lagartas (servos de rotação contínua)</i> .....	16
2.6.4 <i>Braço robótico</i> .....	17
<b>CAPÍTULO 3: O BRAÇO ROBÓTICO.....</b>	<b>19</b>
3.1 ARQUITETURA DO BRAÇO .....	19
3.2 CONSTRUÇÃO DO BRAÇO .....	19
3.2.1 <i>Base</i> .....	20
3.2.2 <i>Braço</i> .....	21
3.2.3 <i>Antebraço</i> .....	22
3.2.4 <i>Garra</i> .....	22
3.3 MOTORES E COMPONENTES UTILIZADOS PARA O CONTROLO DO BRAÇO ROBÓTICO.....	23
3.3.1 <i>Servo motores</i> .....	23

3.3.2 Servo motores utilizados .....	26
3.3.3 Arduino.....	26
3.3.4 Finalidade do Arduino no Braço Robótico.....	28
<b>CAPÍTULO 4: O TAPETE DE TRANSPORTE.....</b>	<b>30</b>
4.1 ARQUITETURA DO TAPETE DE TRANSPORTE .....	30
4.2 CONSTRUÇÃO DO TAPETE DE TRANSPORTE.....	30
4.2.1 Base do Tapete de Transporte .....	31
4.2.2 Suporte Rolos .....	31
4.2.3 Rolos.....	32
4.2.4 Sistema junta peças .....	33
4.2.5 Tapete utilizado .....	34
4.3 SISTEMA UTILIZADO PARA TRANSMITIR MOVIMENTO AO TAPETE E SENSOR DE MEDIÇÃO DE DISTÂNCIA .....	35
4.3.1 Sistema utilizado para transmitir movimento ao tapete .....	35
4.3.2 Sensor de medição de distância .....	38
<b>CAPÍTULO 5: PROGRAMAÇÃO DA LINHA DE PRODUÇÃO .....</b>	<b>41</b>
5.1 ABORDAGENS INICIAIS.....	41
5.1.1 Teste do robô e restrições mecânicas .....	41
5.1.2 Teste do sensor SHARP.....	42
5.1.3 Teste do tapete rolante.....	43
5.2 PROGRAMAÇÃO DESENVOLVIDA.....	43
<b>CAPÍTULO 6: CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>47</b>
6.1 CONCLUSÕES .....	47
6.2 TRABALHOS FUTUROS .....	48
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>50</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>54</b>
ANEXO I: DESENHOS COTADOS BRAÇO ROBÓTICO.....	54
ANEXO II: DESENHOS COTADOS TAPETE DE TRANSPORTE.....	73
ANEXO III: DESENHO COTADO ASSEMBLY BRAÇO ROBÓTICO E TAPETE DE TRANSPORTE .....	85

# Abreviaturas

*3D* – Três dimensões;

*A/D* – Analógico/Digital;

*CAD* – Desenho Assistido por Computador (*Computer-Aided design*);

*CAE* – Engenharia Assistida por Computador (*Computer-Aided Engineering*);

*CES* – Exposição Internacional de Eletrônica de Consumo (*International Consumer Electronics Show*);

*CPU* – Processador (*Central Processing Unit*);

*DC* – Corrente contínua (*Direct Current*);

*DOF*- Graus de liberdade (*Degree of freedom*);

*FFF*- Fabricação de Filamentos Fundidos;

*IRED* – Díodo de sinais infravermelhos;

*MDF* – Fibra de média densidade (*Medium Density Fiberboard*);

*PSD* – Sensor sensível de posição;

*PWM* – Modelação por largura de pulso (*Pulse Width Modulation*);

*R. U. R* – *Rossum's Universal Robots*;

*SCARA* – *Selective Compliance Assembly Robot Arm*;

# Lista de Figuras

Figura 1 - Robot Unimate [3].	7
Figura 2- Robot industrial para soldadura [5].	8
Figura 3 - Braço robótico [7].	8
Figura 4 - Robot antropomórfico [6].	9
Figura 5- Robot cartesiano [8].	10
Figura 6 - Robot cilíndrico [8].	10
Figura 7 - Robot esférico [8].	11
Figura 8 - Robot Scara [6].	12
Figura 9- uArm Swift [10].	13
Figura 10- Makerarm [11].	13
Figura 11 - DOBOT Magician [12].	14
Figura 12 -- Niryo One [14].	15
Figura 13- Alpha 1 pro [16].	15
Figura 14- Lynxmotion Phoenix Hexapod [17].	16
Figura 15 - EasyTankDS [18].	16
Figura 16- EasyArmDSmini [19].	17
Figura 17- Impressora 3D utilizada.	20
Figura 18- Componentes do Braço Robótico	20
Figura 19 - Vista explodida da base.	21
Figura 20- Vista explodida do braço.	21
Figura 21- Vista explodida do antebraço.	22
Figura 22- Vista explodida da garra.	23
Figura 23- Componentes do Servo motor [21].	24
Figura 24- Vista interna do servo motor [23].	24
Figura 25- Sinais de controlo do servo motor [25].	25
Figura 26- Arduino Uno [31].	28
Figura 27- Peças desenvolvidas para a construção do tapete.	30
Figura 28- Base do tapete.	31
Figura 29- Base do tapete com o suporte dos rolos	32
Figura 30- Rolo puxador.	32
Figura 31- Rolo normal.	33

Figura 32– Tapete com rolos montados. ....	33
Figura 33 – Tapete com sistema junta peças. ....	34
Figura 34– Lona utilizada no tapete. ....	35
Figura 35– 19:1 Gearmotor [34].....	36
Figura 36– Ponte H L298n [35].....	37
Figura 37– Suporte desenvolvido para o motor. ....	38
Figura 38– Acoplador entre o veio do rolo tração com o do motor. ....	38
Figura 39- Sensor utilizado SHARP.....	39
Figura 40– Ligações efetuadas para controlo do braço robótico. ....	42
Figura 41- Esquema das ligações. ....	44
Figura 42– Maquete final. ....	44
Figura 43 – Fluxograma do funcionamento da maquete desenvolvida.....	45

# Lista de Tabelas

Tabela 1– Especificações DFServo S03NF STD [26].....	26
Tabela 2– Especificações GS-9025MG [27].....	26
Tabela 3– Dimensões do motor escolhido [32].....	36
Tabela 4– Especificações gerais [32]. ....	36

# CAPÍTULO 1

# Capítulo 1: Introdução

O presente trabalho será direcionado para o ensino em robótica, através de um projeto de um braço robótico e um tapete de transporte. Neste capítulo serão apresentadas as bases deste projeto, nas quais estão incluídas a motivação, objetivos e o resumo de cada capítulo deste trabalho.

## 1.1 Objetivo da dissertação

### 1.1.1: Geral

O principal objetivo deste trabalho é a criação de uma linha de produção composta por um braço robótico e um tapete de transporte de pequenas dimensões. Este trabalho é realizado para fins didáticos, possibilitando que estes venham a ser utilizados para o ensino no IPB, mais propriamente na ESTIG.

### 1.1.2: Específico

- **Procurar informações de manipuladores robóticos;**

Deve-se ter em conta os vários modelos de braços robóticos, alguns deles já disponíveis no mercado e os que estão referenciados no estado da arte.

- **Desenvolver a sua estrutura;**

Posteriormente à pesquisa realizada, deve-se desenvolver a estrutura para o braço robótico e para o tapete de transporte. Para isso será utilizado o programa SolidWorks®.

- **Transformação do projeto virtual em modelo real;**

Esta transformação será feita através da impressora 3D. Após as peças serem imprimidas deve-se fazer uma inspeção às mesmas e retificar as que possuam defeitos. Posteriormente, procede-se à montagem.

- **Sistema eletrônico e programação;**

Nesta etapa irão ser efetuadas as ligações necessárias do servo motor, sensor e motor DC. Após o passo anterior, será desenvolvido um código de forma cumprir o objetivo pretendido.

- **Testar a maquete desenvolvida;**

- **Melhorias que poderiam ser efetuadas;**

## **1.2 Estrutura do documento**

O primeiro capítulo tem por finalidade apresentar um enquadramento do trabalho, fazendo referência aos seus objetivos, e uma breve descrição da estrutura da dissertação apresentada, para que o leitor tenha, desde logo, uma visão alargada do que vai ler.

No capítulo 2, encontra-se uma pesquisa do tema do trabalho, os tipos de braços robóticos que existem, os que se encontram no mercado e projetos desenvolvidos com servo motores.

O capítulo 3, destina-se à construção do braço robótico. É possível observar como se construiu, passo a passo, o material necessário e os servos motores utilizados.

No capítulo 4, observa-se o desenvolvimento do tapete de transporte. Começa-se por escolher a sua arquitetura, o sistema desenvolvido para juntar as peças a serem

transportadas, o sistema utilizado para transmitir movimento ao tapete e o sensor de medição de distância.

O capítulo 5 refere-se à programação do braço robótico e do tapete de transporte. Neste, são referidas as abordagens iniciais, bem como os testes efetuados individualmente para conferir o bom funcionamento.

No capítulo 6 apresentam-se as conclusões relativas ao trabalho desenvolvido e os trabalhos futuros.

# CAPÍTULO 2

# Capítulo 2: Estado da Arte

## 2.1 Fase inicial ao dia atual

Tudo começou quando o homem teve a ideia de criar um mecanismo que fosse capaz de imitar as capacidades humanas. Leonardo Da Vinci surgiu como um dos pioneiros na robótica, tendo feito esboços de um cavaleiro mecânico.

O termo robot vem da palavra Checa *robot*, sendo o seu significado trabalho. Esta foi referida pela primeira vez pelo Checo Karel Capek, numa peça de teatro – R.U.R (*Rossum's Universal Robots*), em janeiro de 1921 [1].

Isaac Asimov trouxe maior evidência ao termo robótica em 1950, na sua ficção *I Robot*, no qual ele fazia referência às três principais leis da robótica:

1. Um robot não pode fazer mal a um ser humano e nem, por omissão, permitir que algum mal lhe aconteça;
2. Um robot deve obedecer às ordens dos seres humanos, exceto quando estas contrariarem a Primeira Lei;
3. Um robot deve proteger a sua integridade física, desde que, com isso, não contrarie as leis anteriores [2].

Visando um aumento de produtividade e a melhoria da qualidade dos produtos, a ideia de construir robôs surge no início do século XX. Devido à Primeira e Segunda Guerra Mundial, houve necessidade de agilizar o processo de criação de robôs industriais. Após a Segunda Guerra Mundial, nas décadas de 50/60, começaram a surgir os primeiros robôs manipuladores industriais. O primeiro foi desenvolvido por *George Devol* e *Joseph Engelberger* na companhia americana *Unimation Inc.*, sendo esta a primeira fábrica a desenvolver robôs industriais, tendo sido instalado numa fábrica da *General Motors(GM)*, em New Jersey. Na figura 1 é possível observar o robot *Unimate*.



Figura 1 - Robot Unimate [3].

Nas décadas de 50 e 60, realizaram-se vários projetos de investigação e desenvolvimento, que levaram ao aparecimento dos primeiros robôs controlados por computador, com retroação sensorial, tais como o *Tool of The Future* (T3), em 1974; *Stanford*, em finais da década de 60 e início da década de 70, sendo que mais tarde, em 1978 deu origem ao *PUMA*, que utilizava a retroação de força e visual; o manipulador da IBM em 1975; e o *SCARA* (*Selective Compliance Assembly robot Arm*), desenvolvido entre 1978 e 1979 [4].

Desde que foram criados até ao presente, os robôs manipuladores, evoluíram muito derivado aos materiais utilizados na sua construção. A complexidade das garras e pinças, os atuadores, as transmissões, controladores e algoritmos de controlo possibilitam aos robôs uma melhor velocidade e repetibilidade.

Tendo em conta as necessidades de mercado, os construtores de robôs industriais desenvolveram-nos para funções específicas, resultando, assim, em melhores desempenhos e preços mais económicos. Desta forma, pode-se encontrar robôs industriais dedicados à pintura, soldadura ou transporte. Na figura 2 pode-se observar um exemplo de um robot dedicado à soldadura.



Figura 2- Robot industrial para soldadura [5].

## 2.2 Estrutura de um braço robótico

Um braço robótico é composto pelos elos (componente rígida que se move em conformidade com a junta), juntas (articulação do braço), punho e pinça. Estes componentes podem ser de diversos géneros, de acordo com a sua finalidade, como tocha para soldar, garra para transporte, etc. Cada componente tem a sua tarefa, o braço possibilita a mobilidade ao robot, o punho agilidade e a pinça permite realizar a tarefa pretendida [6]. Na figura 3, pode-se observar um modelo de um braço com as suas partes estruturais.

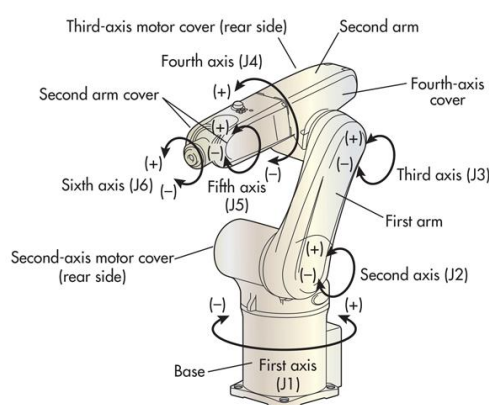


Figura 3 - Braço robótico [7].

Um braço pode ser determinado como uma cadeia cinemática aberta ou fechada. A cadeia aberta tem apenas uma sequência de elos e juntas que une a base do robô ao manipulador, sendo que a de cadeia fechada apresenta mais do que uma possibilidade.

O movimento de um robô depende principalmente do tipo de junta, prismática ou rotativa. A prismática permite movimentos de translação, enquanto que a rotativa permite um movimento de rotação relativo a elos adjacentes à junta. Na cadeia cinemática aberta, cada junta tem um grau de liberdade ou DOF (*degree of freedom*).

Seguidamente serão apresentados os principais tipos de robôs manipuladores.

## 2.3 Tipos de robôs manipuladores

É possível observar vários modelos de robôs manipuladores com variadas características, podendo tratar-se do seu espectro, precisão de movimentos, velocidade de execução, etc. Os modelos mais notórios serão referidos de seguida [6].

### 2.3.1 Antropomórfico

Este tipo de braço é semelhante ao do ser humano, sendo constituído apenas por juntas em que é permitida a rotação. Trata-se de uma das estruturas mais ágeis derivado ao seu tipo de junta, mas a precisão do seu posicionamento varia no volume de trabalho. Na figura 4 é possível observar o modelo deste robot [6].

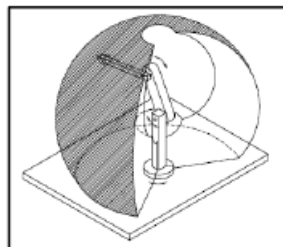


Figura 4 - Robot antropomórfico [6].

### 2.3.2 Cartesiano

Este tipo de robot apresenta um volume semelhante a um paralelepípedo, com juntas do tipo prismáticas. O movimento deste é linear, tendo 3 graus de liberdade, como é possível comprovar na figura 5 [6].

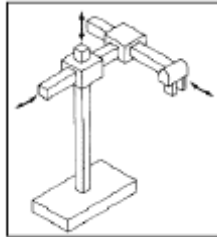


Figura 5- Robot cartesiano [8].

### 2.3.3 Cilíndrico

Estes robôs possuem o seu volume de trabalho semelhante à de um cilindro. A principal diferença entre este robot e o cartesiano é a junta da base, sendo que uma é rotativa em vez de prismática. A estrutura proporciona uma boa resistência mecânica, contudo a exatidão da “pega” é inversamente proporcional ao alongamento da junta prismática horizontal, como se pode ver na figura 6 [6].

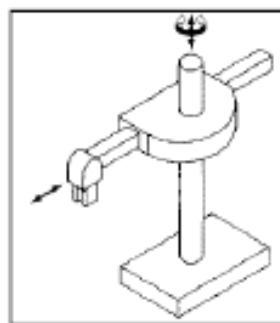


Figura 6 - Robot cilíndrico [8].

Este apresenta boa capacidade para atividades em que seja necessário carregar objetos não muito pesados, contudo, se for necessário efetuar maior esforço, opta-se por utilizar acionamentos pneumáticos.

### 2.3.4 Esférico

Comparando este modelo com o cilíndrico, a segunda junta é substituída por uma do tipo rotacional, possibilitando assim um volume de trabalho de uma semiesfera, figura 7. Assim sendo, a resistência mecânica é afetada, logo a exatidão do órgão terminal diminui com o aumento da distância radial da última junta (prismática) [6].

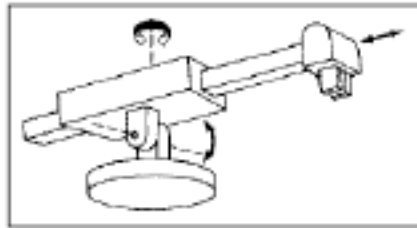


Figura 7 - Robot esférico [8].

Um aspecto vantajoso deste modelo é a rapidez nos movimentos, apresentando uma geração de trajetórias mais simples que o antropomórfico.

### 2.3.5 SCARA

Esta terminologia significa *Selective Compliance Assembly Robot Arm*. Este modelo possui o mesmo tipo de junta do robot referido anteriormente (esférico), mas os eixos de cada junta são paralelos entre si, como é possível comprovar na figura 8. Desta forma, garante uma alta resistência mecânica para movimentos com carga na direção vertical. Esta configuração é utilizada para mover pequenos objetos.

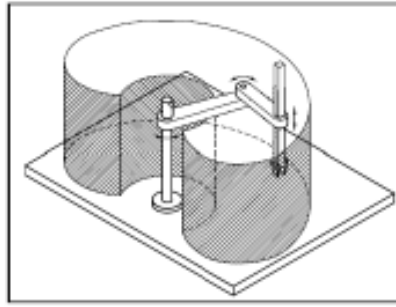


Figura 8 - Robot Scara [6].

## 2.4 Braços robóticos desenvolvidos

Para se abordar um tema deve-se fazer previamente uma pesquisa e obter algum conhecimento sobre este, visando assim uma melhor abordagem e compreensão. De seguida serão apresentados alguns modelos já desenvolvidos.

### 2.4.1 uArm Swift

O uArm Swift trata-se de um braço robótico antropomórfico desenvolvido pela *UFACTORY*. Este robô é pode ser utilizado para vários fins, visto que é possível alternar entre uma pega de sucção, impressora 3D, Laser, Garra e etc.

A programação deste robô é através de um software de nome *Blockly*, desenvolvido pela *Google*. Este utiliza blocos gráficos para representar códigos, como variáveis, expressões lógicas, *loops* permitindo que as pessoas programem sem que se preocupem com a sintaxe. Este braço robótico tem um peso de 1,2 kg, quatro graus de liberdade, repetibilidade de 5mm e uma carga máxima de 500g [9].

Na figura 9 é possível observar o uArm Swift.



Figura 9– uArm Swift [10].

### 2.5.2 Makerarm

Makerarm é um braço robótico SCARA desenvolvido pela *Makerarm*. Tal como o braço robótico referido anteriormente, neste é possível alternar a cabeça para diversas aplicações como impressão 3D, fresagem, laser e etc. Este possui controlo por Wireless, uma larga área de trabalho e possuindo 3 eixos, que pode ser expandido até 4 eixos. Este tem um peso de 8.2 kg, uma precisão de 0,1 mm e suporta até 1 kg [11].

Na figura 10 observa-se o Makerarm.



Figura 10– Makerarm [11].

### 2.5.3 DOBOT Magician

DOBOT Magician é um braço robótico multifuncional antropomórfico desenvolvido pela *DOBOT* para o treino da educação prática. Este possui diferentes tipos de ferramentas, podendo realizar funções interessantes, como laser, escrever, desenhar e impressão 3D. Este robô ganhou o prêmio *CES 2018 Innovation awards* e *iF DESIGN AWARD 2018*. Este é composto por quatro eixos, a suporta 500g e a sua repetibilidade é de 0,2 mm [12].

Na figura 11 observa-se o DOBOT Magician.



Figura 11 - DOBOT Magician [12].

### 2.5.4 Niryo One

Nityo One é um braço robótico antropomórfico de 6 eixos desenvolvido pela *NIRYO*. Esta braço é totalmente customizado para impressão 3D. A programação deste braço é feita com Arduino e Raspberry Pi. Tem um peso de 3,2 kg, suporta uma carga até 500 g e a sua repetibilidade é aproximadamente 1 mm [13].

Na figura 12 observa-se o Nirvo One.



Figura 12 — Niryo One [14].

## 2.6 Protótipos robôs com servos

### 2.6.1 Humanoides

Alpha 1 Pro é um robot humanoide de alta qualidade, que apresenta uma boa resistência a choques. Os seus movimentos são programados através de um software para computador e podem ser controlados através de uma aplicação para telemóvel. Este é composto por 16 servomotores de alta precisão. Tem uma bateria de duração máxima de 2 horas. As suas dimensões são 208x398x122 mm, sendo largura, altura e profundidade respetivamente. O seu peso é de 1600g [15].

Na figura 13 observa-se o Alpha 1 pro.

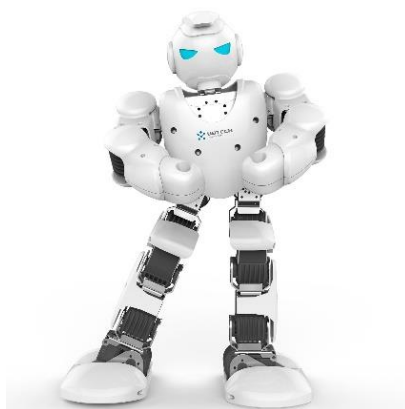


Figura 13– Alpha 1 pro [16].

### 2.6.2 Robôs com pernas

Lynxmotion Phoenix Hexapod é um robô com pernas que apresenta três graus de liberdade por cada perna, sendo capaz de andar em qualquer direção. Este robô foi construído para usar dezoito servo motores HS-645 para as suas pernas [17].

Na figura 14 observa-se o Lynxmotion Phoenix Hexapod.



Figura 14– Lynxmotion Phoenix Hexapod [17].

### 2.6.3 Robôs com lagartas (servos de rotação contínua)

EasyTankDS é um kit robótico de um tanque de lagartas com canhão atirador de elásticos. Os seus motores de tração são por servos de rotação contínua AS3103 ou similar, o gatilho do canhão e a sua base giratória são acionados por servos. Ligação direta ao ARDUINO, não necessitando de motor drivers [18].

Na figura 15 observa-se o EasyTankDS.



Figura 15 - EasyTankDS [18].

## 2.6.4 Braço robótico

EasyARMDSmini é um braço robótico simples e barato dedicado ao ensino de robótica, possibilitando que se aprendam conceitos como controlar servo motores através do ARDUINO. A sua estrutura é feita em MDF cortada a laser, é constituído por 6 servos que lhe possibilitam 4 graus de liberdade [19].

Na figura 16 observa-se o EasyArmDSmini.



Figura 16– EasyArmDSmini [19].

# CAPÍTULO 3

# Capítulo 3: O Braço Robótico

## 3.1 Arquitetura do Braço

Para a escolha da arquitetura do braço é necessário ter em conta alguns fatores, como a estrutura de fácil compreensão, uma manutenção rápida e que apresente boa mobilidade.

Optou-se por uma arquitetura dividida em 19 elementos, com três graus de liberdade, orientação da garra constante, o que simplifica o facto de, para aplicações simples, não existir necessidade de calcular a cinemática inversa uma vez que a garra não muda de orientação.

A impressão das peças foi realizada através de uma impressora 3D, uma vez que confere uma boa resistência à estrutura do braço robótico e é uma alternativa de baixo custo.

## 3.2 Construção do braço

O processo de construção do braço é relativamente simples de efetuar. Cada um dos elementos do braço robótico foi fabricado numa impressora 3D, marca Fusion3, modelo F400-S com a tecnologia de impressão Fabricação de Filamentos Fundidos (FFF). Na figura 17 observa-se a impressora 3D utilizada. Posteriormente à impressão das peças, procedeu-se a uma “inspeção” das mesmas, na qual se teve de remover todo o material em excesso ou, até mesmo, efetuar alguns furos que, devido ao seu pequeno diâmetro, a impressora não tinha a resolução suficiente para os efetuar.

Para a construção do braço foi necessário, para além dos elementos impressos, a utilização de um rolamento 606zz, 25 esferas de 6mm de diâmetro, parafusos, porcas e anilhas. Na figura 18 é possível observar os componentes do braço.



Figura 17- Impressora 3D utilizada.

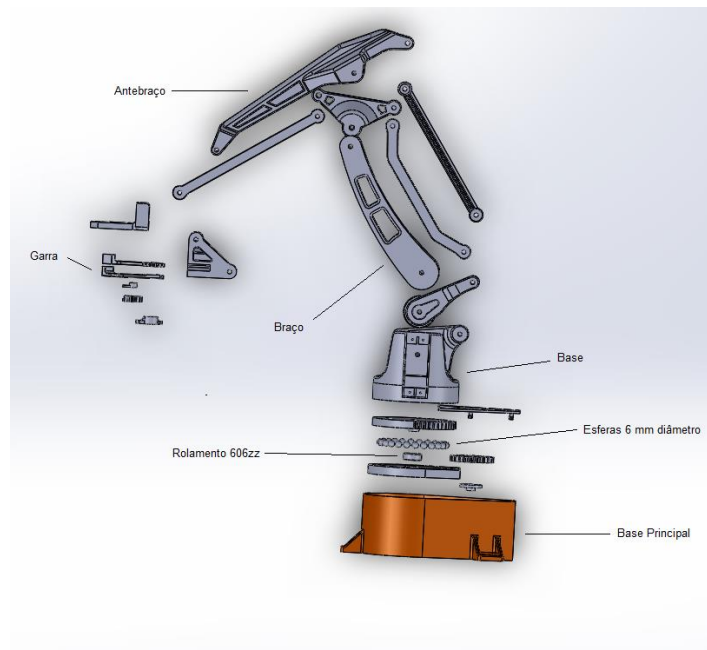


Figura 18- Componentes do Braço Robótico

### 3.2.1 Base

A base tem como função o suporte da estrutura do braço robótico, e possibilita com que o braço seja capaz de girar para os lados. Esta é composta por 5 peças, e para o seu correto funcionamento são necessárias 25 esferas de diâmetro 6mm e um rolamento 606zz. Na figura 19 é possível observar a vista explodida da base.

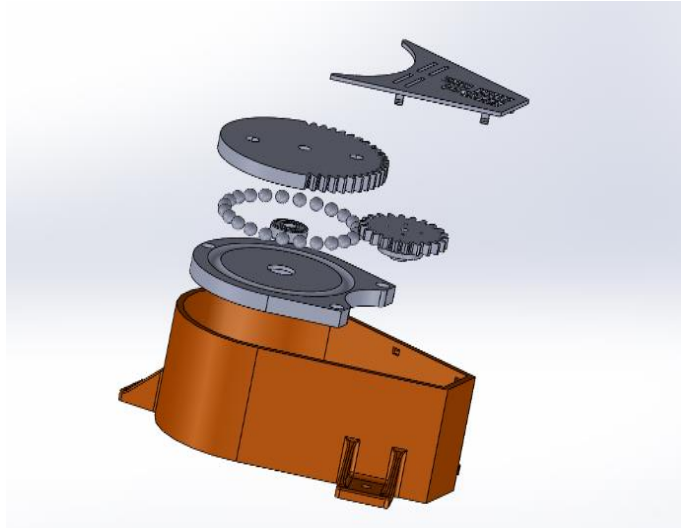


Figura 19 - Vista explodida da base.

### 3.2.2 Braço

O braço é um componente da estrutura que permite que o robot suporte cargas na sua garra. Este possibilita o movimento para cima e para baixo e é composto por 4 peças. Na figura 20 pode-se observar a sua vista explodida.

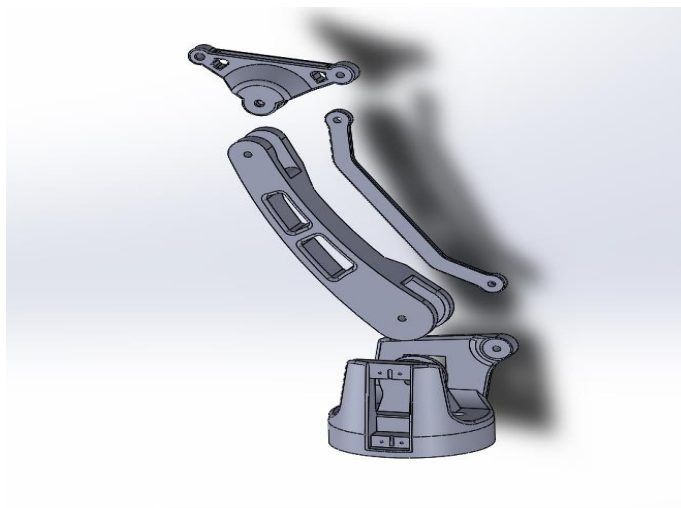


Figura 20– Vista explodida do braço.

### 3.2.3 Antebraço

O antebraço trata-se de um componente do braço robótico que possibilita com que este estique e encolha, realizando assim uma aproximação a um dado objeto ou afastamento. Este é composto por 3 peças. Na figura 21 observa-se a vista explodida deste componente.



Figura 21– Vista explodida do antebraço.

### 3.2.4 Garra

A garra trata-se do componente que torna possível agarrar os objetos e transportá-los para um dado sítio predefinido. Esta é composta por 7 peças. Na figura 22 observa-se a sua vista explodida.

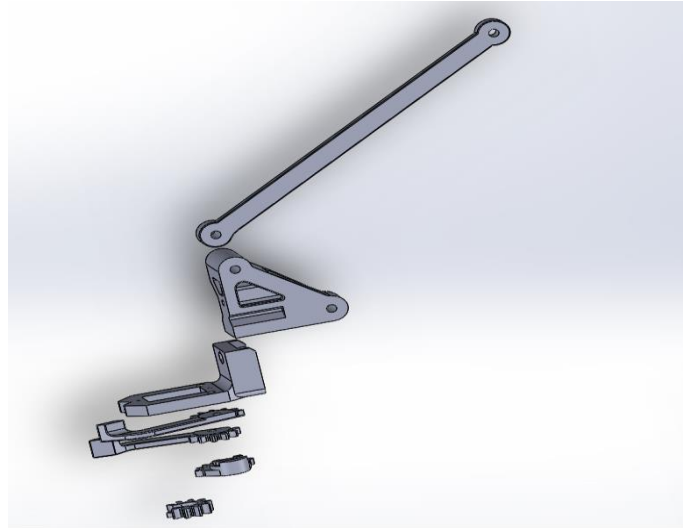


Figura 22– Vista explodida da garra.

### 3.3 Motores e componentes utilizados para o controlo do braço robótico

Para o braço robótico se movimentar será necessário recorrer ao uso de motores. Neste caso foram utilizados quatro servo motores, sendo um para a base (rodar para a esquerda e para a direita), um para movimentar o braço, outro para transmitir movimento ao antebraço e, por fim, um para a garra abrir e fechar. Derivado à necessidade de controlar os servomotores e ler os valores dos sensores utilizou-se um Arduino. Este é uma plataforma *open-source* de prototipagem eletrónica com hardware e software flexíveis e fáceis de utilizar, destinado a qualquer pessoa interessada em desenvolver objetos ou ambientes interativos.

#### 3.3.1 Servo motores

O servo motor é um componente eletromecânico que, através de um sinal elétrico na sua entrada, pode ter o seu eixo posicionado numa determinada posição angular. Estes componentes são pequenos e compactos, permitindo um posicionamento preciso do seu eixo. Estes dispositivos são comuns em robótica e modelismo. Na figura 23 é possível observar os componentes do servo motor [20].

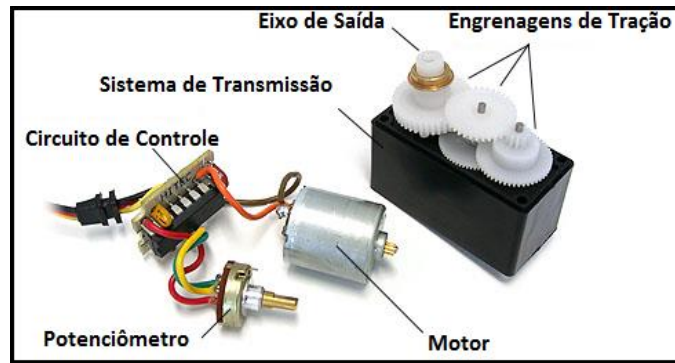


Figura 23– Componentes do Servo motor [21].

### Componentes do Servo motor

- Circuito de controlo – este é responsável pela monitorização do potenciômetro e acionamento do motor, possibilitando assim uma posição pré-determinada.
- Potenciômetro – está ligado ao eixo de saída do servo, este determina a posição do mesmo.
- Motor – responsável por movimentar as engrenagens e o eixo principal do servo.
- Engrenagens – possibilitam a redução da rotação do motor, transferem mais binário ao eixo principal de saída e movimentam o potenciômetro juntamente com o eixo.
- Caixa do servo – caixa onde estão os componentes referidos acima [22].

Na figura 24 pode-se observar a vista interna do servo motor.



Figura 24– Vista interna do servo motor [23].

## Controlar um Servo Motor

O servo motor é alimentado com tensões de 5 V e recebe um sinal de PWM (*Pulse Width Modulation*). Este sinal é 0 V ou 5 V. O sinal de controlo tem um período de 20 ms, tal como pode ser observado na figura 25. Se, neste intervalo de tempo, for detetado uma alteração na largura do sinal, este altera a posição do eixo para que a sua posição coincida com o sinal recebido.

- Um sinal com largura de pulso 1 ms corresponde a uma posição do servo à esquerda, ou 0 graus.
- Um sinal com largura de pulso de 1,5 ms corresponde à posição central do servo, ou 90 graus.
- Um sinal com largura de pulso de 2 ms corresponde à posição do servo todo a direita. Ou 180 graus [24].

Na figura 25 observa-se os sinais de controlo de um servo motor.

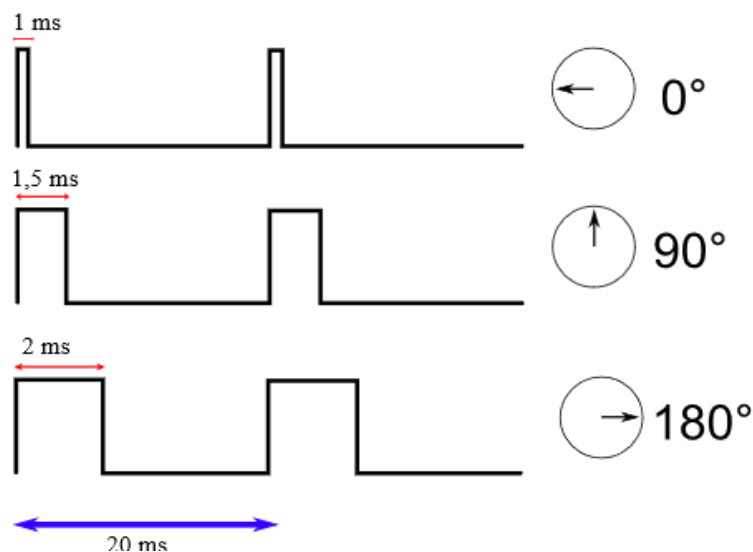


Figura 25– Sinais de controlo do servo motor [25].

O servo motor recebe um sinal de 1,5ms, este verifica se o potenciómetro se encontra na posição correspondente, se estiver, não ocorre nenhuma ação. Se este não se encontrar na posição correspondente ao sinal recebido, o circuito de controlo aciona o motor até que o potenciómetro fique na posição certa [22].

### 3.3.2 Servo motores utilizados

Para o funcionamento do braço robótico são utilizados 3 servo motores DGServo S03NF STD e um Micro servo GS-9025MG.

Na tabela 1 pode-se ver as especificações do servo DGServo S03NF STD.

Tabela 1– Especificações DGServo S03NF STD [26].

<b>Speed 6V:</b>	0.18 sec/60°
<b>Stall torque 6V:</b>	4.0 kg·cm
<b>Speed 4.8V:</b>	0.23 sec/60°
<b>Stall torque 4.8V:</b>	3.4 kg·cm
<b>Lead length:</b>	270 mm

Na tabela 2 apresentam-se as especificações do servo utilizado GS-9025 MG.

Tabela 2– Especificações GS-9025MG [27].

<b>Speed 6V:</b>	0.10 sec/60°
<b>Stall torque 6V:</b>	2.5 kg·cm
<b>Speed 4.8V:</b>	0.12 sec/60°
<b>Stall torque 4.8V:</b>	2.3 kg·cm
<b>Lead length:</b>	180 mm

### 3.3.3 Arduino

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrónica, criada por David Cuartielles e Massimo Banzi, em 2005 com a finalidade de possibilitar o desenvolvimento de controlo de sistemas interativos de baixo custo, com fácil acessibilidade [28].

Através deste, é possível enviar e receber informações de quase todos os outros sistemas eletrónicos. Assim sendo, pode-se criar um sistema em que sejam captados dados de sensores, como temperatura ou iluminação, processar esses dados e enviar para um sistema remoto, ou apresenta-los em um ecrã. Todo o material (hardware, software, bibliotecas) é *open-source*, ou seja, pode ser utilizado por qualquer um sem necessidade de pagamento de *royalties* ou direitos de autores [29].

A plataforma Arduino é composta por duas partes, o *Hardware* e *Software*. A linguagem de programação do Arduino é uma implementação do *Wiring*, uma plataforma física semelhante, que é baseada no ambiente de programação *Processing*, desenvolvido em *Java* [28].

### ***Hardware do Arduino***

O *Hardware* do Arduino é simples e muito eficiente. Todas as placas Arduino têm uma constituição semelhante, sendo compostas pelos seguintes blocos:

- Alimentação – Recebe energia externa e converte esta entrada em duas tensões reguladas e filtradas;
- Núcleo CPU – Microcontrolador responsável por todo o processamento;
- Entradas e saídas – A CPU tem diversos dispositivos embebidos dentro do *chip*;
- Pinos com funções especiais – Alguns pinos possuem *hardware* embebidos para funções especiais.
- *Firmware* – Programa que se carrega dentro da CPU com instruções de funcionamento da placa [30].

Na figura 26 observa-se o Arduino Uno.

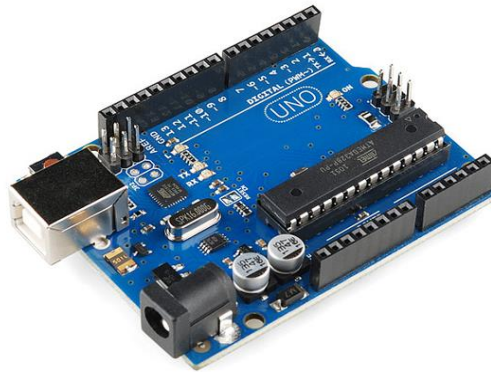


Figura 26– Arduino Uno [31].

### **3.3.4 Finalidade do Arduino no Braço Robótico**

Para o controlo dos diferentes componentes do braço robótico é necessário a utilização do Arduino. Através deste, é possível controlar os 4 servo motores utilizados na construção do braço. No capítulo 5 será descrito como foi desenvolvida a programação para o seu controlo.

# CAPÍTULO 4

# Capítulo 4: O Tapete de Transporte

## 4.1 Arquitetura do Tapete de Transporte

No desenvolvimento da arquitetura do tapete de transporte optou-se por desenvolver uma estrutura apelativa, simples e uma boa relação qualidade/custo.

Para a sua criação e desenvolvimento foi utilizado o *software* SolidWorks®, um programa de modelação geométrica 3D e CAE.

O tapete é composto por 20 peças que foram fabricados através de uma impressora 3D, marca Fusion3, modelo F400-S com a tecnologia de impressão Fabricação de Filamentos Fundidos (FFF).

## 4.2 Construção do Tapete de Transporte

Após a impressão 3D das peças, foi necessário proceder a uma inspeção das mesmas, podendo ser necessário retirar algumas imperfeições que tenham resultado da sua impressão. Como não foram utilizados rolamentos na construção do tapete deve-se ter em atenção a superfície de contacto entre o rolo e a peça que o irá suportar. Para a sua construção utilizados 32 parafusos M3.

Na figura 27 observa-se as peças desenvolvidas para a construção do tapete.

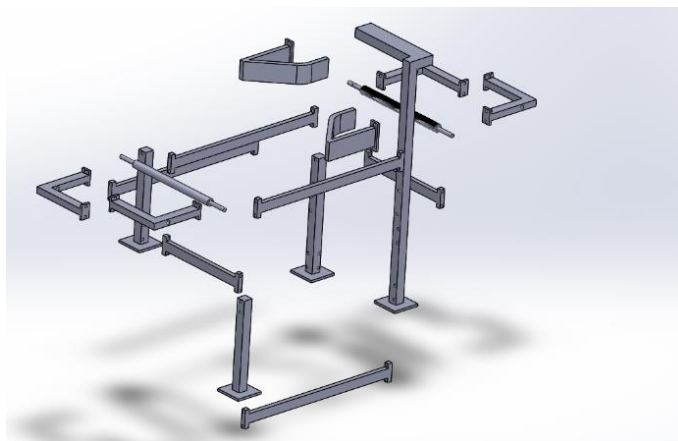


Figura 27– Peças desenvolvidas para a construção do tapete.

### 4.2.1 Base do Tapete de Transporte

Para base do tapete optou-se por fazer quatro colunas, em que a base dessas colunas é um quadrado, possibilitando, assim, uma maior área de contacto. Essas colunas estão ligadas através de duas vigas paralelas longitudinais e uma viga transversal, conferindo assim uma maior rigidez à base do tapete

Na figura 28 observa-se a base do tapete montada.

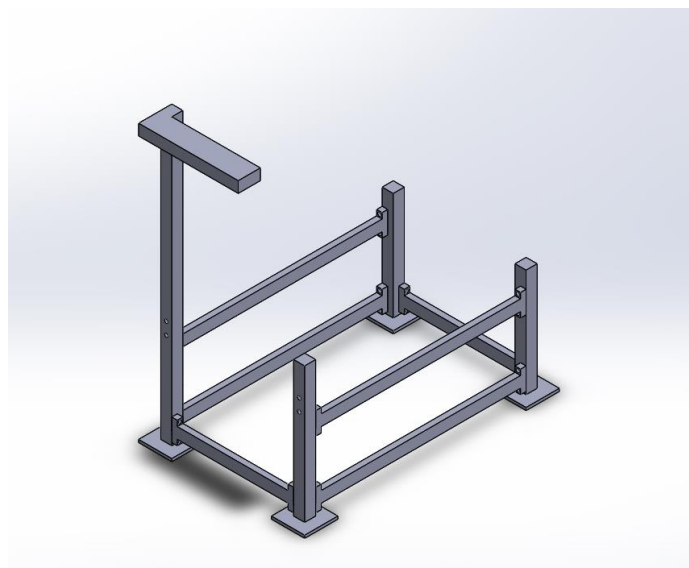


Figura 28– Base do tapete.

### 4.2.2 Suporte Rolos

De forma a suportar os rolos desenvolvidos optou-se por utilizar uma viga. Esta é aparafusada à coluna e possui uma junção que possibilita que se retire o rolo e, desta forma, a colocação do tapete seja um processo mais simples de se realizar.

Na figura 29 observa-se a base do tapete com o suporte dos rolos.

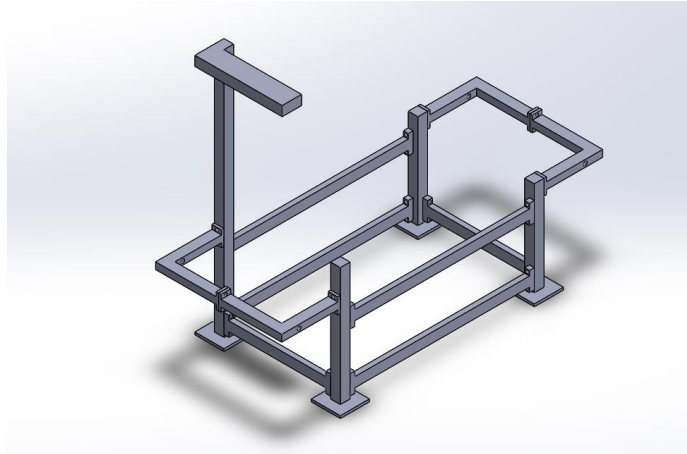


Figura 29– Base do tapete com o suporte dos rolos

#### 4.2.3 Rolos

Desenvolveram-se dois rolos, um designado por rolo de tração e outro o rolo tracionado. Estes dois apenas diferem na superfície, sendo que o rolo de tração apresenta uma superfície rugosa, conferindo a este um maior coeficiente de atrito para puxar o tapete. Os rolos desenvolvidos serão suportados pelas vigas referidas anteriormente.

O rolo de tração apresentava um pequeno orifício na sua extremidade, como se pode observar na figura 30, onde foi acoplado o motor que confere o movimento ao tapete.

Na figura 31 observa-se o rolo normal e na figura 32 a estrutura com os rolos montados.



Figura 30– Rolo puxador.

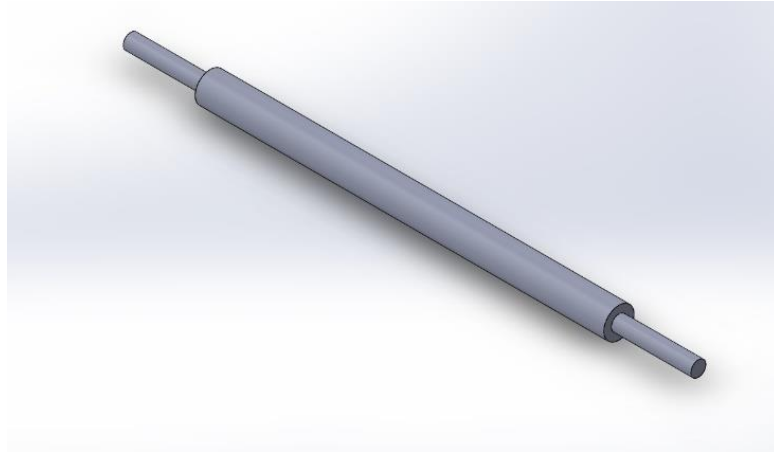


Figura 31– Rolo normal.

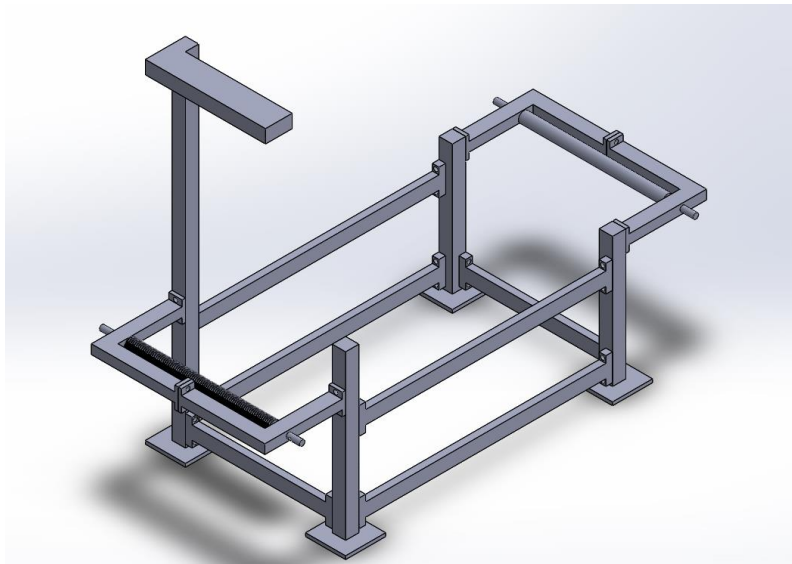


Figura 32– Tapete com rolos montados.

#### 4.2.4 Sistema junta peças

Uma vez que, posteriormente, foi aplicado um tapete nos rolos, foi necessário desenvolver um sistema que permitisse o alinhamento das peças que irão ser detetadas pelo sensor. Desta forma, todas as peças irão chegar sempre na mesma posição ao braço robótico. Devido a essa necessidade, implementou-se um guia mecânico capaz de

direcionar os objetos que irão ser detetados pelo sensor. Desta forma, se estes objetos não estiverem alinhados, o sistema desenvolvido irá fazer com que se alinhem.

Na figura 33 observa-se o tapete com o sistema junta peças montado.

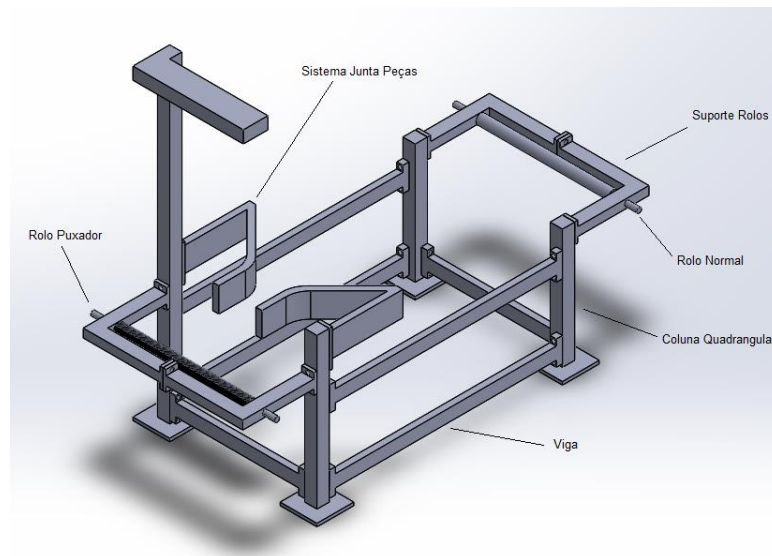


Figura 33 – Tapete com sistema junta peças.

#### 4.2.5 Tapete utilizado

Para tapete foi utilizado uma lona, com dimensões adequadas ao modelo desenvolvido.

Na figura 34 pode-se observar o tapete com a lona utilizada.



Figura 34– Lona utilizada no tapete.

### **4.3 Sistema utilizado para transmitir movimento ao tapete e Sensor de medição de distância**

#### **4.3.1 Sistema utilizado para transmitir movimento ao tapete**

Para se transmitir movimento ao tapete optou-se por utilizar um motor DC. O motor DC utilizado foi o 19:1 Metal Gearmotor 37dx52L mm com 64 CPR Encoder.

Este é um motor DC de 12V com uma caixa de redutora metálica de 18,75:1 e um *encoder* integrado que fornece uma resolução de 64 contagens por rotação do eixo do motor, o que corresponde a 1200 contagens por rotação do eixo de saída da caixa redutora. Na figura 35 observa-se o motor utilizado, na tabela 3 e 4 podem se observar as suas dimensões, bem como, as especificações gerais [32, 33].

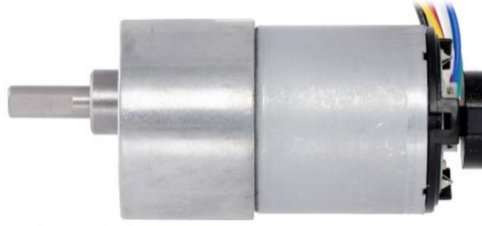


Figura 35– 19:1 Gearmotor [34].

Tabela 3– Dimensões do motor escolhido [32].

<b>Size:</b>	37D x 64L mm
<b>Weight:</b>	210 g
<b>Shaft diameter:</b>	6 mm

Tabela 4– Especificações gerais [32].

<b>Gear ratio:</b>	19:1
<b>Free-run speed @ 12V:</b>	500 rpm
<b>Free-run current @ 12V:</b>	300 mA
<b>Stall current @ 12V:</b>	5000 mA
<b>Free-run speed @ 6V:</b>	256 rpm
<b>Free-run current @ 6V:</b>	250 mA
<b>Stall current @ 6V:</b>	2500 mA

De forma a controlar a velocidade do motor utilizou-se um *driver* motor Ponte H L298n. Este *driver* é baseado no *chip* L298N, e é utilizado para controlar cargas indutivas como relés, motores DC e motores de paço. Com este *driver* é possível controlar, independentemente, a velocidade e rotação de 2 motores DC ou 1 motor de passo [35, 36].

Na figura 36 observa-se a ponte H utilizada no controlo do motor DC.

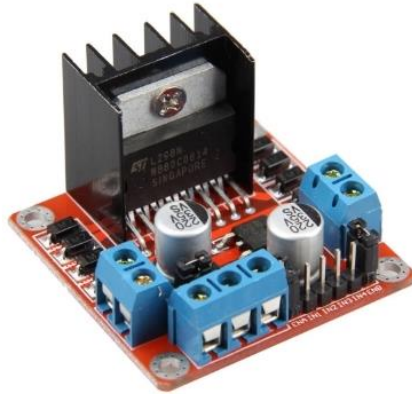


Figura 36– Ponte H L298n [35].

#### **Especificações:**

- Tensão de Operação: 4~35V;
- *Chip*: ST L298N;
- Possibilidade de controlar 2 motores DC ou 1 motor de passo;
- Corrente de Operação máxima: 2A por canal ou 4A max;
- Tensão: 5V;
- Corrente: 0~36mA;
- Limites de Temperatura: -20 a +135°C;
- Potência Máxima: 25W;
- Dimensões: 43 x 43 x 27mm;
- Peso: 30g [35].

Para se ligar o motor ao rolo de tração desenvolveu-se um suporte para manter o motor ao mesmo nível que o tapete. Na figura 37 é possível ver o suporte desenvolvido.

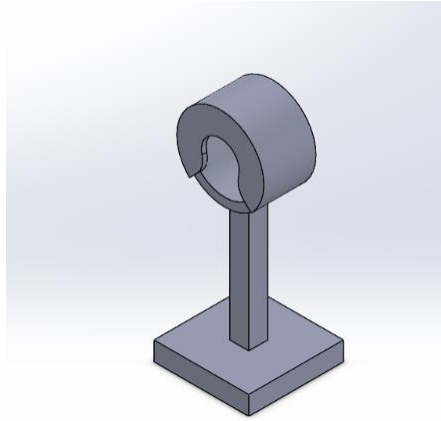


Figura 37– Suporte desenvolvido para o motor.

Com a finalidade de ligar o veio do motor ao orifício do rolo de tração criou-se um acoplador para realizar esse efeito. Na figura 38 pode-se ver a peça desenvolvida.

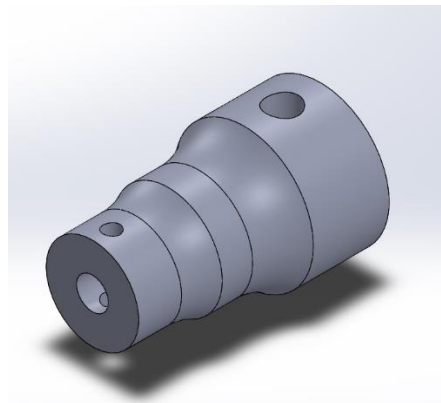


Figura 38– Acoplador entre o veio do rolo tração com o do motor.

#### 4.3.2 Sensor de medição de distância

O sensor para a utilizado para detetar os objetos foi o SHARP GP2Y0A21YK0F. Este é um sensor de medida de unidades de distância, composto por uma combinação de integrações de PSD (sensor sensitivo de posição), IRED (díodo de sinais infravermelhos) e um circuito de processamento de sinal. A variação da reflexibilidade do objeto, a temperatura ambiente e a duração da operação não influenciam facilmente a distância detetada, uma vez que o método adotado é a triangulação. Este dispositivo à saída

apresenta a tensão elétrica correspondente à distância detetada. Assim sendo, este sensor também pode ser usado como sensor de aproximação [37, 38].

Neste trabalho o sensor foi utilizado para detetar a existência de uma peça, podendo diferencia-las.

Na figura 39 pode-se observar o sensor.

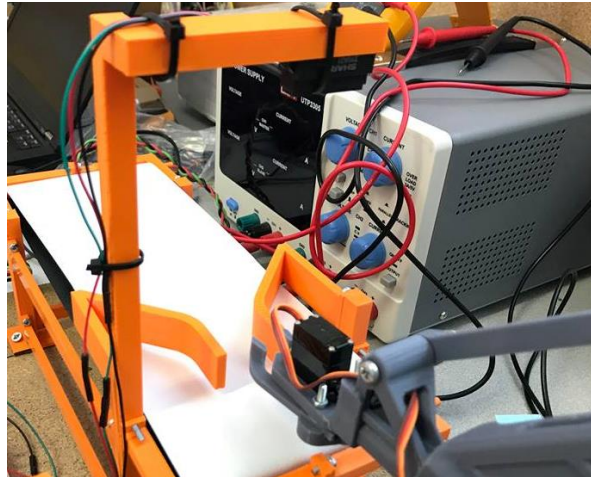


Figura 39- Sensor utilizado SHARP.

### Especificações

- Alcance de medição de distância: 10 a 80 cm;
- Saída do tipo analógica;
- Dimensões: 29.5x13x13.5mm;
- Corrente de consumo: 30 mA;
- Tensão elétrica: 4.5V a 5.5V.

### Aplicações

- Interruptores sem toque (equipamentos sanitários, controlo de iluminação, etc.);
- Robot de limpeza;
- Sensor de poupança de energia (multibanco, máquina de fotocópias, máquinas de venda);
- Equipamentos de diversão (Robôs, máquinas de jogos).

# CAPÍTULO 5

# Capítulo 5: Programação da linha de produção

## 5.1 Abordagens iniciais

Uma vez construído o robot e o tapete rolante, a fase seguinte correspondeu a efetuar todas as ligações correspondentes aos servomotores, motor DC e Sensor SHARP. Foi necessário utilizar uma fonte para alimentar o motor DC, que poderá atingir valores até 12V, uma fonte a 5V para alimentar os servos motores e o Arduino que estará ligado ao computador que irá funcionar como fonte de alimentação ao sensor SHARP. Também foi utilizada uma Ponte H para controlar o motor DC (controlo de velocidade e o sentido do motor).

Após a ligação de todos os cabos, pôde-se proceder à programação do braço robótico e do tapete de transporte. Para a programação do braço robótico irá ser utilizada a biblioteca *braccio*, possibilitando que o braço se mova com comandos simples.

### 5.1.1 Teste do robô e restrições mecânicas

Numa fase prévia à programação e testes experimentais, foi efetuado um estudo de simulação recorrendo ao programa de CAD/CAE SolidWorks®. Com esta simulação foi possível avaliar a cinemática do braço robótico, bem como, a determinação precisa do volume de trabalho.

Posteriormente, efetuou-se um estudo experimental com robô desenvolvido neste trabalho. Neste estudo foi possível avaliar o comportamento dos servomotores relativamente à estrutura mecânica do robô. Para o efeito, foi implementado um código no Arduino visando testar o comportamento do braço. Na figura 40 observa-se as ligações efetuadas para testar o braço robótico.

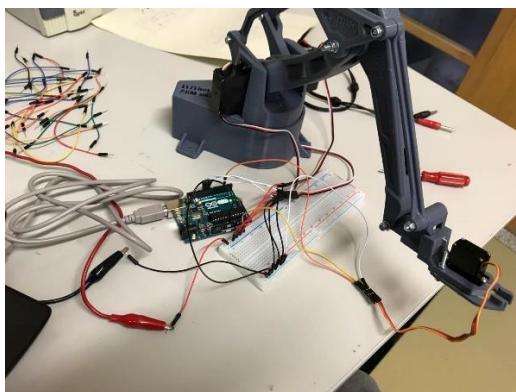


Figura 40– Ligações efetuadas para controlo do braço robótico.

Através da biblioteca *braccio*, que é utilizada no *Kit braccio*, foi possível mover o braço de forma incremental, sem efetuar movimentos repentinos que possam danificar a estrutura ou mesmo os servos motores. De forma a possibilitar uma movimentação sem ser repentina, recorre-se ao *Step Delay*. Este trata-se do tempo entre movimentos dos servos motores, sendo possível variar os valores de 10 a 30 ms.

Optou-se por fazer vários testes com graus diferentes para cada servo motor, sendo, possível determinar as suas restrições mecânicas. Os valores limites encontrados para cada servo motor são os seguintes:

- Servo Base: 0 a 150 graus;
- Servo “Ombro”: 45 a 120 graus;
- Servo “Cotovelo”: 60 a 0 graus;
- Servo “Garra”: 0 a 180 graus.

### 5.1.2 Teste do sensor SHARP

De forma a garantir o bom funcionamento do sensor, optou-se por testar previamente o sensor de forma independente. Para se realizar o teste foi necessário recorrer a um código desenvolvido para o Arduino.

As ligações efetuadas ao Arduino são efetuadas na porta analógica. A plataforma Arduino possui funções para trabalhar com entradas analógicas, as quais prescindem da

configuração do conversor A/D, assim como selecionam o canal conforme o pino passado como parâmetro.

Através do código desenvolvido, pode-se ler os valores no Monitor Série do programa Arduino. De referir que esses valores variam com a distância a que se encontram os objetos.

### **5.1.3 Teste do tapete rolante**

Inicialmente, para garantir um correto funcionamento do tapete de transporte, optou-se por testar apenas o motor, conferindo se este se movimentava.

De forma a realizar o teste foi utilizada uma ponte H e uma fonte de alimentação. A ponte H utilizada é baseada no integrado L298, suportando tensões entre 6 a 35 V, podendo ser controlado a velocidade do motor e a sua direção. O motor utilizado é de 12V, contudo a velocidade ideal para a rotação do motor regista-se a uma tensão mais baixa, sendo esta controlada por PWM ou reduzindo a tensão de alimentação. O controlo do motor foi realizado em malha aberta.

## **5.2 Programação desenvolvida**

Uma vez testados todos os componentes individualmente e, comprovado o seu correto funcionamento, passou-se à programação final. Para tal, é necessário fazer as ligações de todos os componentes para que o sistema braço robótico – tapete de transporte funcionem corretamente, como se pode observar na figura 41.

Na figura 42 observa-se a maquete final, que contém o braço robótico e o tapete de transporte.

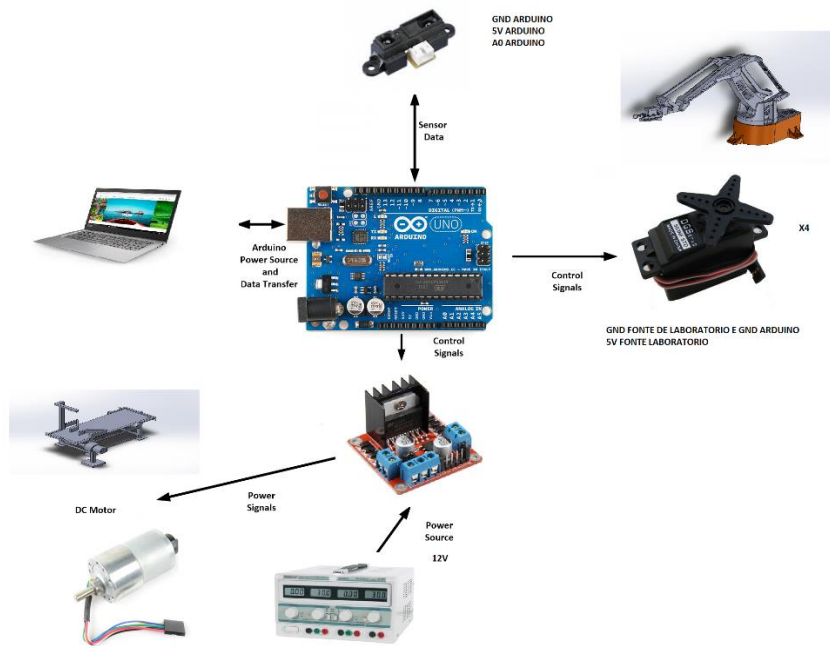


Figura 41- Esquema das ligações.

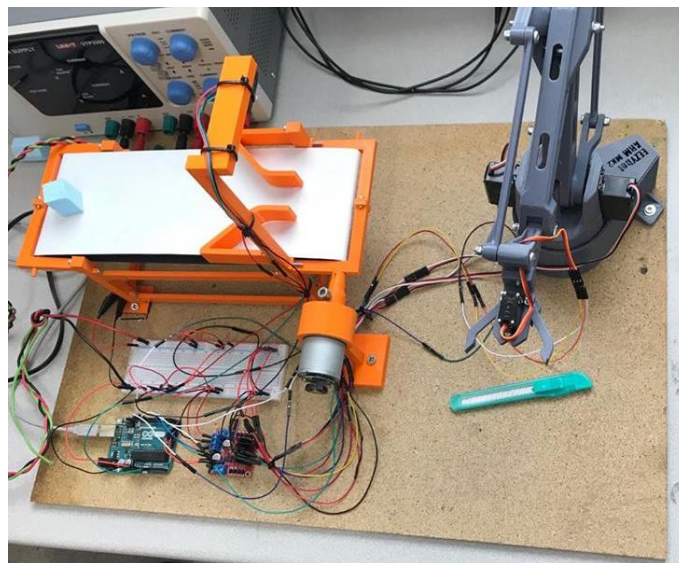


Figura 42- Maquete final.

Na figura 43 pode ser observado o fluxograma do funcionamento do protótipo didático.

Com a programação desenvolvida tem-se o objetivo de colocar a peça no momento em que o tapete está a rodar, se esta não estiver centrada será encaminhada pelo sistema junta peças.

Uma vez que a peça passe pelo sistema junta peças e seja detetada, o tapete irá parar e o braço robótico movimentar-se em direção a esta. Quando o braço chega à peça este irá agarrar a peça e movimentá-la para o canto livre da maquete. Nessa posição previamente definida, o braço irá abrir a sua garra, fazendo com que a peça caia. Depois de largar a peça, o braço irá permanecer em posição de repouso. Uma vez que este processo está completado, o motor irá ser novamente acionado e será repetida esta sequência.

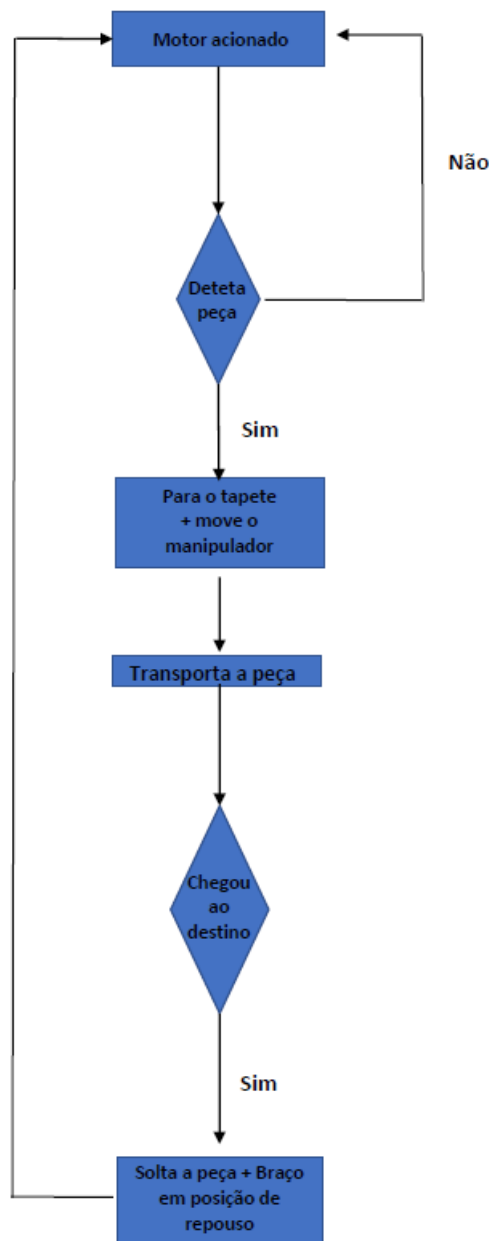


Figura 43 – Fluxograma do funcionamento da maquete desenvolvida

# CAPÍTULO 6

# Capítulo 6: Considerações Finais

## 6.1 Conclusões

O principal objetivo do trabalho foi alcançado, tendo sido projetado e construído um sistema didático de braço robótico. Este contém um tapete transportador e a sua programação, permitindo que o braço robótico retire um objeto do tapete quando este se aproxima do volume de trabalho do robô.

Foi possível verificar que o software de CAD/CAE Solidworks® permite criar modelos tridimensionais e efetuar simulações numéricas de estruturas complexas. Com esta ferramenta foi possível avaliar os pontos mais críticos e otimizar a geometria dos elementos estruturais de modo a aumentar a sua resistência mecânica sem acréscimo de peso, conseguindo, assim, obter estruturas resistentes e leves. Na mesma plataforma foi efetuada uma análise cinemática do braço robótico, bem como, determinar o seu volume de trabalho e a localização mais adequada para a integração com o tapete transportador.

A utilização do Arduino demonstrou ser uma escolha adequada, pois utiliza uma programação acessível e trata-se de um componente de baixo custo. Através deste foi possível controlar os servos motores e obter a leitura do sensor Sharp utilizado. A biblioteca utilizada no controlo do braço robótico designada por *Braccio* foi apropriada para o trabalho realizado, pois permitiu controlar até 6 servos, sendo eles o da base, ombro, cotovelo, rotação da garra, posição vertical e abrir e fechar garra. Com esta biblioteca foi possível controlar a velocidade do braço que executa os movimentos, uma vez que esta permite variar o tempo entre o movimento de cada servo entre 10 e 30ms.

O recurso à utilização de servo motores em trabalhos que envolvam precisão demonstrou ser uma opção aceitável, pois estes são muito precisos, têm um baixo custo e conferem uma ótima movimentação do braço.

A seleção do motor DC para movimentar o tapete de transporte foi adequada. Este apresenta alguma dificuldade em se movimentar, derivado ao tapete não possuir rolamentos e conter um elevado coeficiente de atrito. Mesmo assim, o motor superou as expectativas, pois o tapete movimentou-se corretamente.

A escolha do braço e o tapete ser impresso em 3D revelou-se uma opção muito viável, uma vez que o material confere uma boa resistência, baixo peso, e apresenta um baixo custo sendo uma ótima solução para quem pretende construir uma peça com uma boa relação qualidade/preço. Sempre que uma peça seja impressa em 3D deve-se ter em conta os seus orifícios e as suas faces, pois deste tipo de impressão resultam algumas imperfeições, sendo por vezes necessário uma inspeção da peça e reparação da mesma.

## **6.2 Trabalhos Futuros**

Para trabalhos futuros sugere-se a melhoria da garra do braço robótico, e um possível aumento de servo motores. Era interessante introduzir um servo motor capaz de rodar a garra e outro que possibilitasse movimentar a garra na vertical. A utilização de um sensor na garra era uma mais valia, pois quando esta detetasse um objeto a garra iria fechar. Relativamente ao tapete de transporte sugere-se a construção de um novo, em que se recorra à utilização de rolamentos, de forma a diminuir o atrito e possibilitar que este se movimente com maior facilidade, reduzindo assim a força necessária do motor. Sugere-se também o aumento de sensores, optando por exemplo por sensores de cor ou de tamanho, possibilitando assim uma divisão entre peças de cores diferentes ou com tamanho distintos.

## **Referências bibliográficas**

# Referências bibliográficas

- [1] Silva, Ricardo Sá. A automação Industrial é a tecnologia de aplicação. Robótica – Revista Técnico-Científica, nº87, 2º trimestre 2012.
- [2] Retro Robotics. The 3 Laws OF ROBOTICS. Website: “<https://retrorobotics.weebly.com/the-laws-of-robotics.html>”. Consultado em 12/03/18.
- [3] IFR, International Federation of Robotics. Robot History. Website: “<https://ifr.org/robot-history>”. Consultado em 12/03/18.
- [4] Pires, J.Norberto. 2007. Automação Industrial – 4º edição. Lisboa: ETEP – Edições Técnicas e Profissionais.
- [5] Metronic metal. Soldadura Robot. Website: “<http://metronicmetal.com/soldaduraRobot.php>”. Consultado em 12/03/18.
- [6] Siciliano, B.; Sciavicco, L.; Villani, L.; Oriolo, G. Robotics: Modelling, Planning and Control. 1st edition. Springer Science & Business Media, 2009. 632 p.
- [7] David J Bland, 6-Axis Robotic Arm. Website: “<https://medium.com/precoil/the-business-model-for-robot-food-136d461fbfb0>”. Consultado em 13/03/18
- [8] Fu, K.S.; Gonzalez, R.C.; Lee, C.S.G. Robotics: Control, Sensing, Vision and Intelligence. USA: McGraw-Hill, 1987.
- [9] UFACTORY, uArm STEAM Education Brochure, 2017
- [10] Seeed. uArm Swift. Website: “<https://www.seeedstudio.com/uArm-Swift-p-2958.html>”. Consultado em 20/03/18.
- [11] Kickstarter. Makerarm. Website: “<https://www.kickstarter.com/projects/1849283018/makerarm-the-first-robotic-arm-that-makes-anything>”. Consultado em 20/03/18.
- [12] Dobot. Dobot Magician Specs. Website: “<https://www.dobot.cc/dobot-magician/specification.html>”. Consultado em 25/03/18.
- [13] Niryo. Niryo One. Website: “<https://niryo.com/products/>”. Consultado 25/03/18.

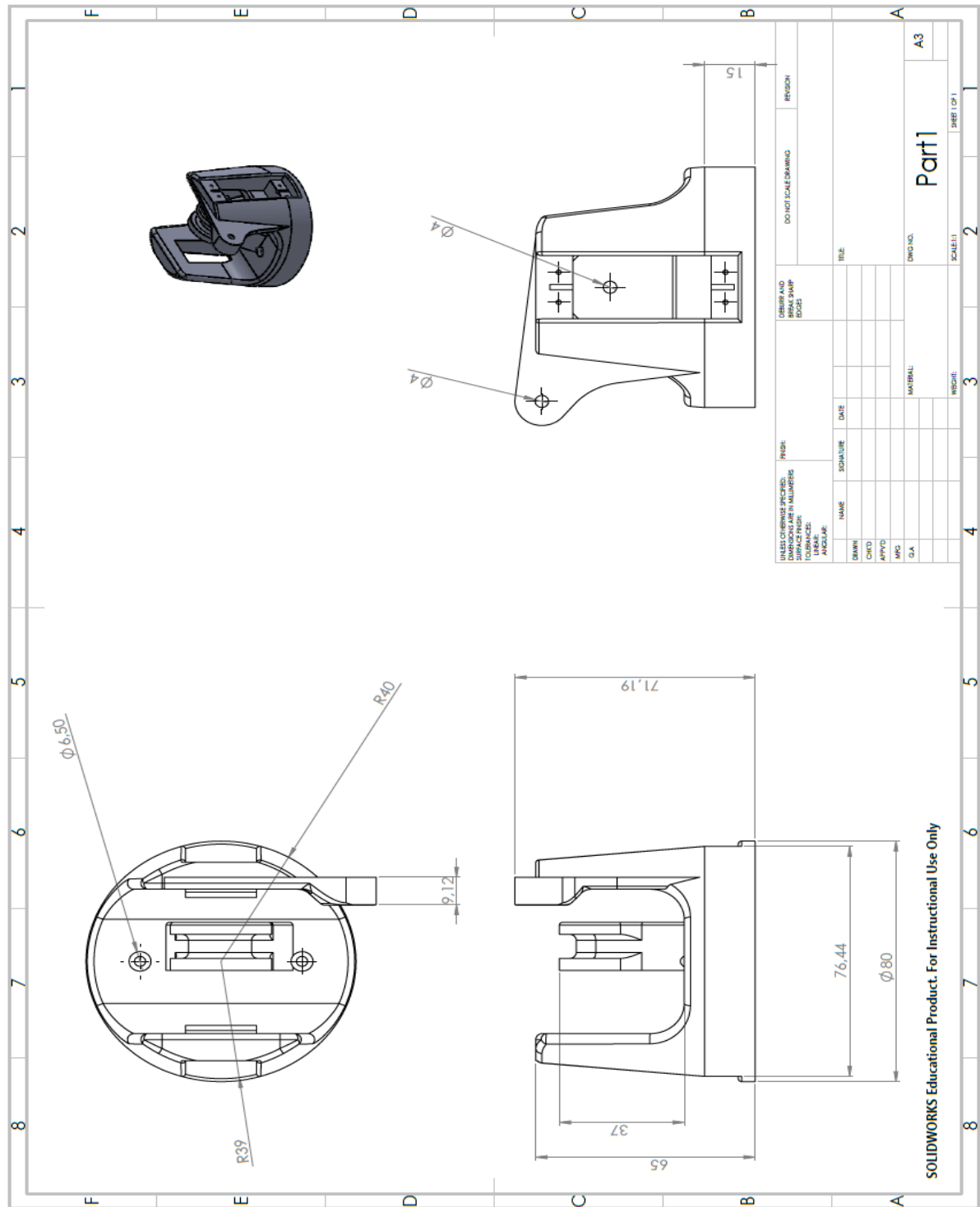
- [14] Digital Trends. Niryo One. website: “<https://www.digitaltrends.com/cool-tech/niryo-one-industrial-arm-robot-kickstarter/>”. Consultado em 02/04/18.
- [15] Electrofun. Alpha 1 Pro. Website: “[https://www.electrofun.pt/robot-humanoide-alpha-1-pro-ubtech#yt\\_tab\\_products3](https://www.electrofun.pt/robot-humanoide-alpha-1-pro-ubtech#yt_tab_products3)”. Consultado em 03/04/18.
- [16] Ban Leong. Ubtech Alpha 1 Pro. website: “<http://banleong.com/sg/estore/ubtech-alpha-1pro/>”. Consultado em 04/04/18
- [17] Robot Shop. Lynxmotion Phoenix 3DOF Hexapod. Website: “<https://www.robotshop.com/en/lynxmotion-phoenix-3dof-hexapod---black-no-servos--electronics.html>”. Consultado em 06/04/18.
- [18] Mauricio Duarte. EasyTankDS. Website: “<https://mauriciodgsantos.wixsite.com/easyds/easytankd>”. Consultado em 08/04/18.
- [19] Mauricio Duarte. EasyTankDS. Website: “[https://mauriciodgsantos.wixsite.com/easyds/about\\_us](https://mauriciodgsantos.wixsite.com/easyds/about_us)”. Consultado em 08/04/18.
- [20] André Santos, Servomotores, 2007.
- [21] Artur Barbosa. Utilização de circuitos microcontrolados para aplicações no campo da robótica. Website: “<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgFnUAG/utilizacao-circuitos-microcontrolados-aplicacoes-no-campo-robotica>”. Consultado em 14/04/18.
- [22] Feis Unesp. Servo Motor, 2013.
- [23] Imagem retirada de: “<https://skinnysatan.files.wordpress.com/2013/09/url.jpg>”. Consultado em 18/04/18.
- [24] Foresti, Henrique Braga – Desenvolvimento de um robô bípede autônomo. Pós-graduação. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2006.
- [25] Imagem retirada de: “<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f6/TiemposServo.svg>”. Consultado em 20/04/18.
- [26] Pololu. GWS S03N Standard Servo Specs. Website: “<https://www.pololu.com/product/519/specs>”. Consultado em 22/04/18.
- [27] Goteckrc. GS-9025MG Specs. Website: “<http://www.goteckrc.com/Download/GS-9025MG.pdf>”. Consultado em 23/04/18.
- [28] Arduino Portugal. O que é Arduino. Website: “<https://www.arduinoportugal.pt/o-que-e-arduino/>”. Consultado em 25/04/18.

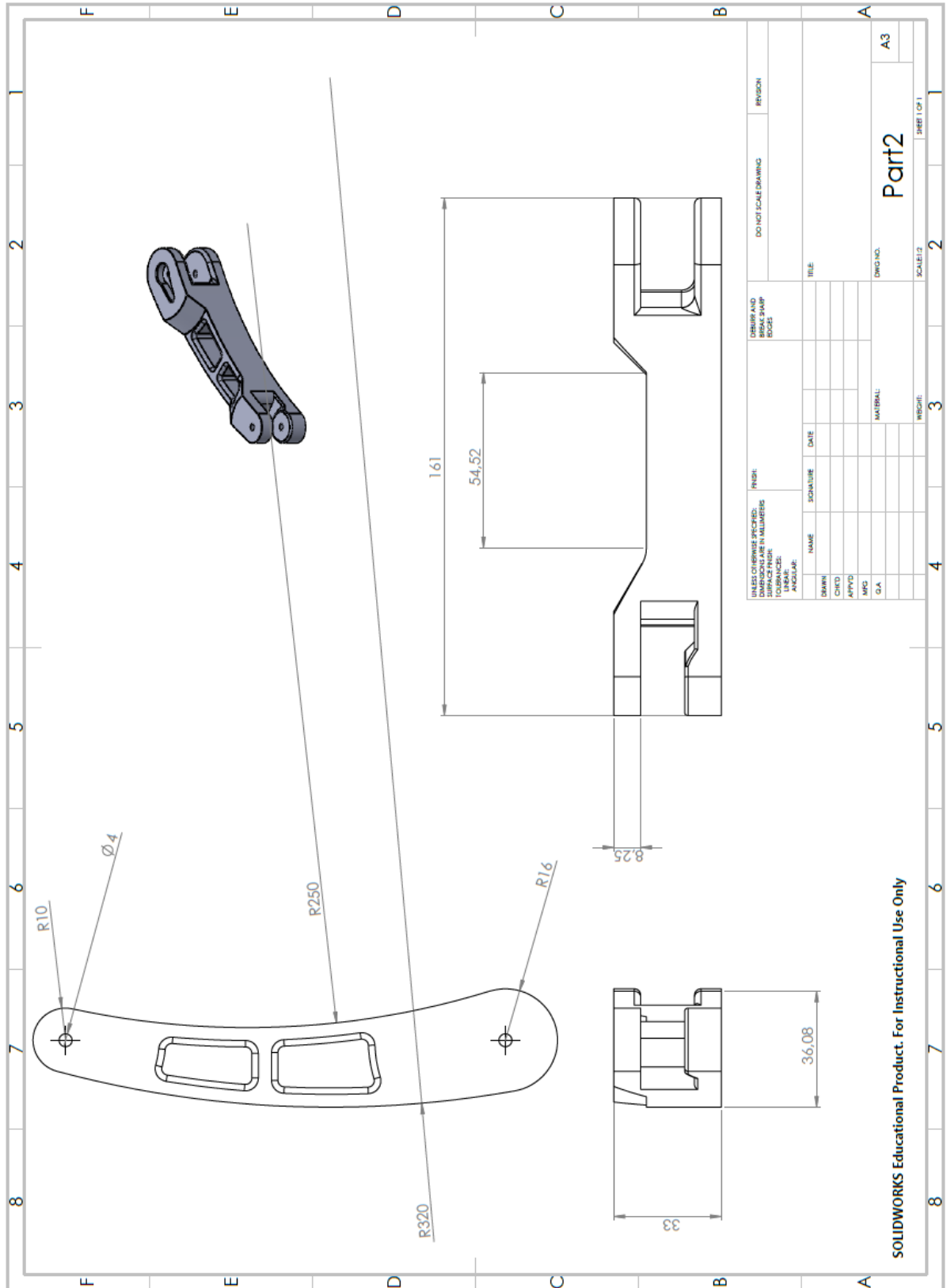
- [29] Cavalcante, Silva, Viana, Dantas – A Plataforma Arduino para fins didáticos: Estudo de caso com recolhimento de dados a partir do PLX-DAQ(2014).
- [30] Leo, Louis – Working Principle of Arduino and Using it as a Tool for Study and Research(2016).
- [31] FilipeFlop. Placa Uno. Website: “<https://www.filipeflop.com/produto/placa-uno-r3-cabo-usb-para-arduino/>”. Consultado em 27/04/18.
- [32] Pololu. 19:1 Metal Gearmotor Specs. Website: “<https://www.pololu.com/product/1442/specs>”. Consultado em 30/04/18.
- [33] Kennedy, Catherine Victoria – The Battery Charging Hand-Powered Washing Machine, 2015. Senior Desing Project.
- [34] Pololu. 19:1 Metal Gearmotor. Website: “<https://www.pololu.com/product/2822>”. Consultado em 02/05/18.
- [35] FilipeFlop. Driver Motor ponte h. Website: “<https://www.filipeflop.com/produto/driver-motor-ponte-h-l298n/>”. Consultado em 04/05/18.
- [36] Gonçalves, Silva, Jubilado, Marcelo – Castor e Pólux: robôs de baixo custo jogadores de futebol usando Arduino. 2015.
- [37] SHARP. Distance Measuring Sensor. Website: “[http://www.sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk\\_e.pdf](http://www.sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf)”. Consultado em 10/05/18.
- [38] P. Malheiros, J. Gonçalves, P. Costa, Towards a more accurate model for an infrared distance sensor. International Symposium on Computational Intelligence for Engineering Systems ISEP-Porto Portugal, 18-19 November 2009.

# **ANEXOS**

# Anexos

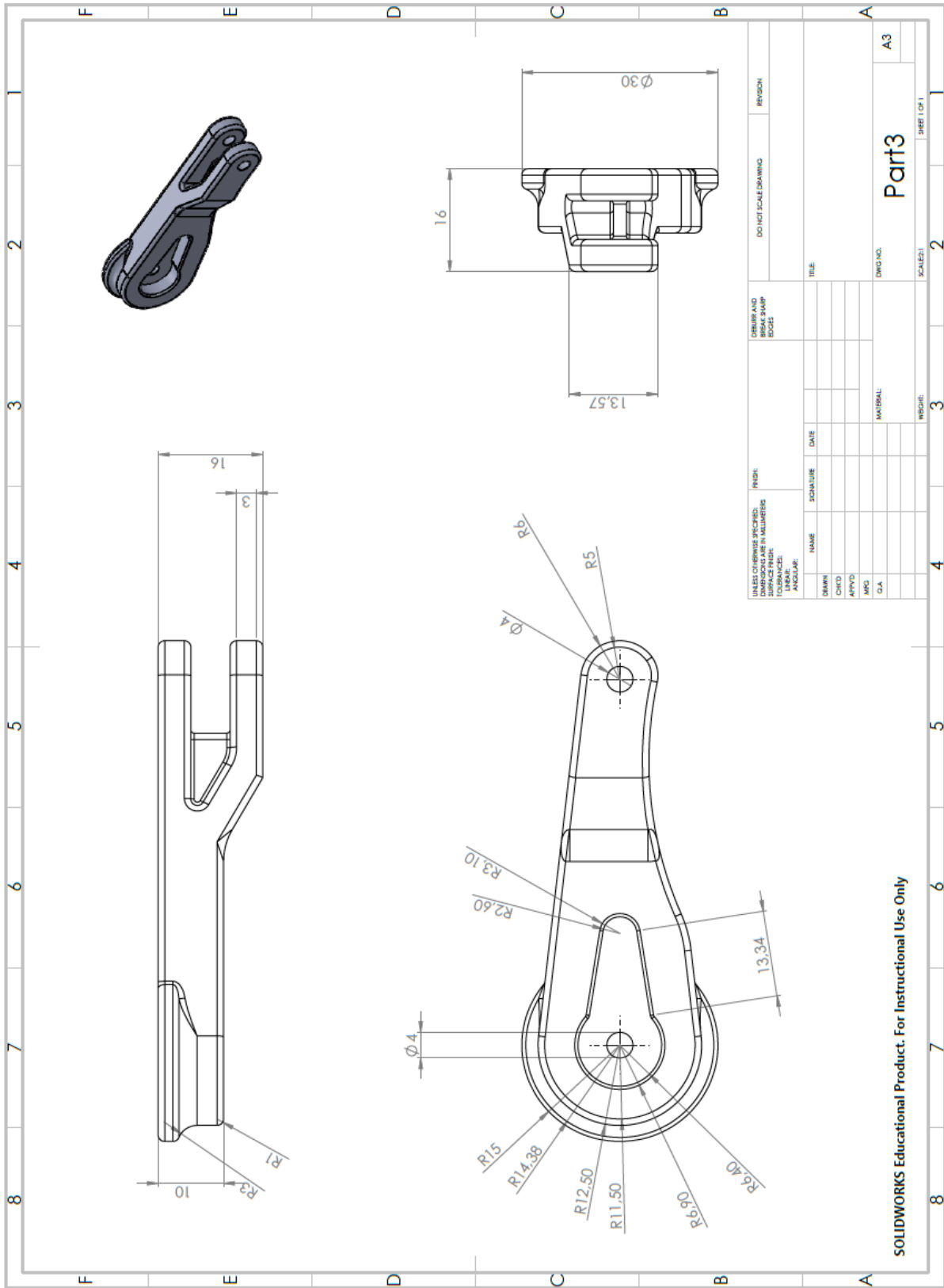
## Anexo I: Desenhos cotados Braço Robótico





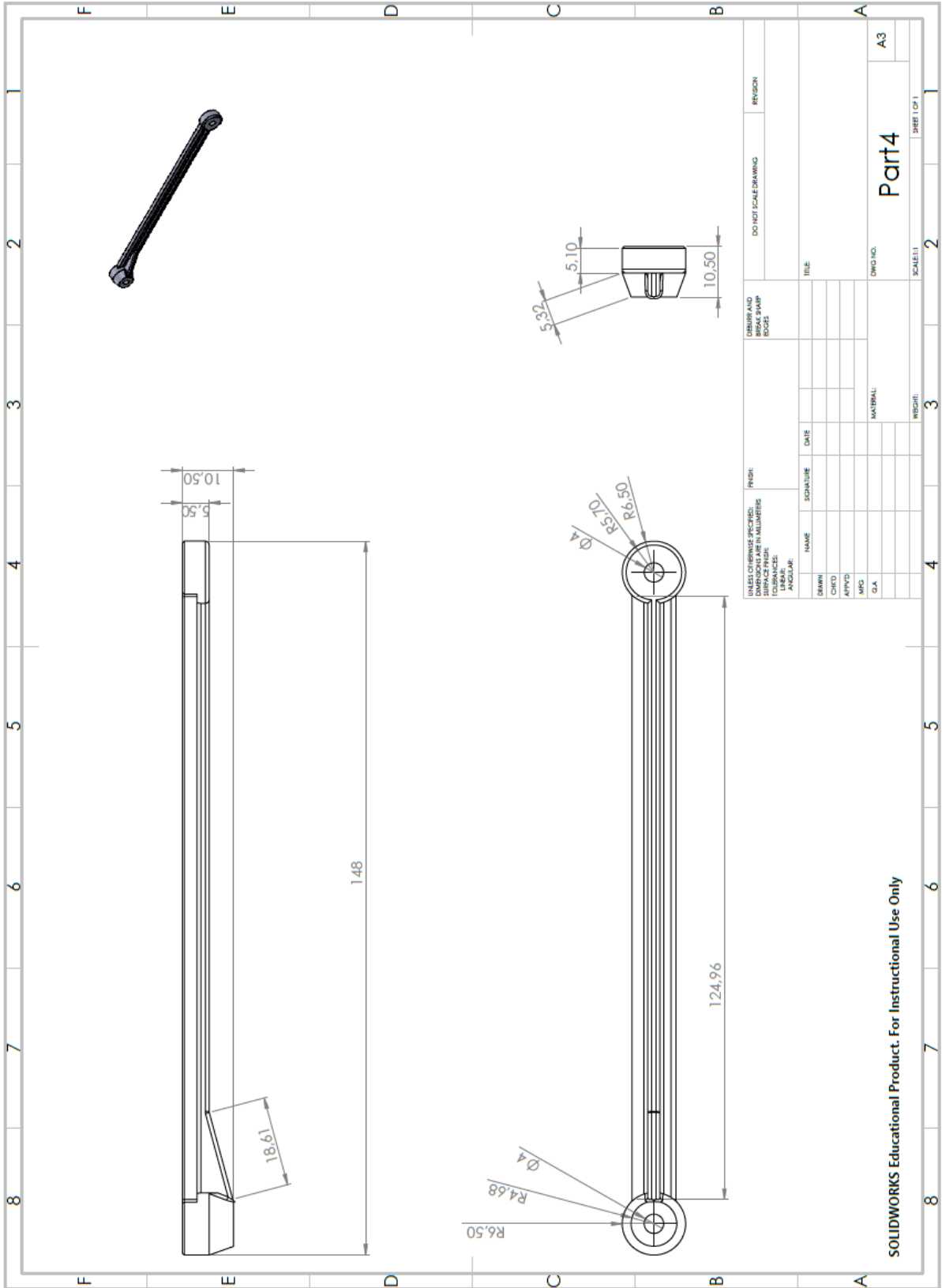
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS TOLERANCES: FRACTIONS DECIMALS ANGLES		FINISH: SURFACE		DRILL AND TAP BORES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
NAME	SIGNATURE	DATE							
DESIGN									
CHECK									
APPROV									
MFG									
QA									
MATERIAL:			DWG NO.		SCALE		SHEET		
			A3		1:2		1 OF 1		

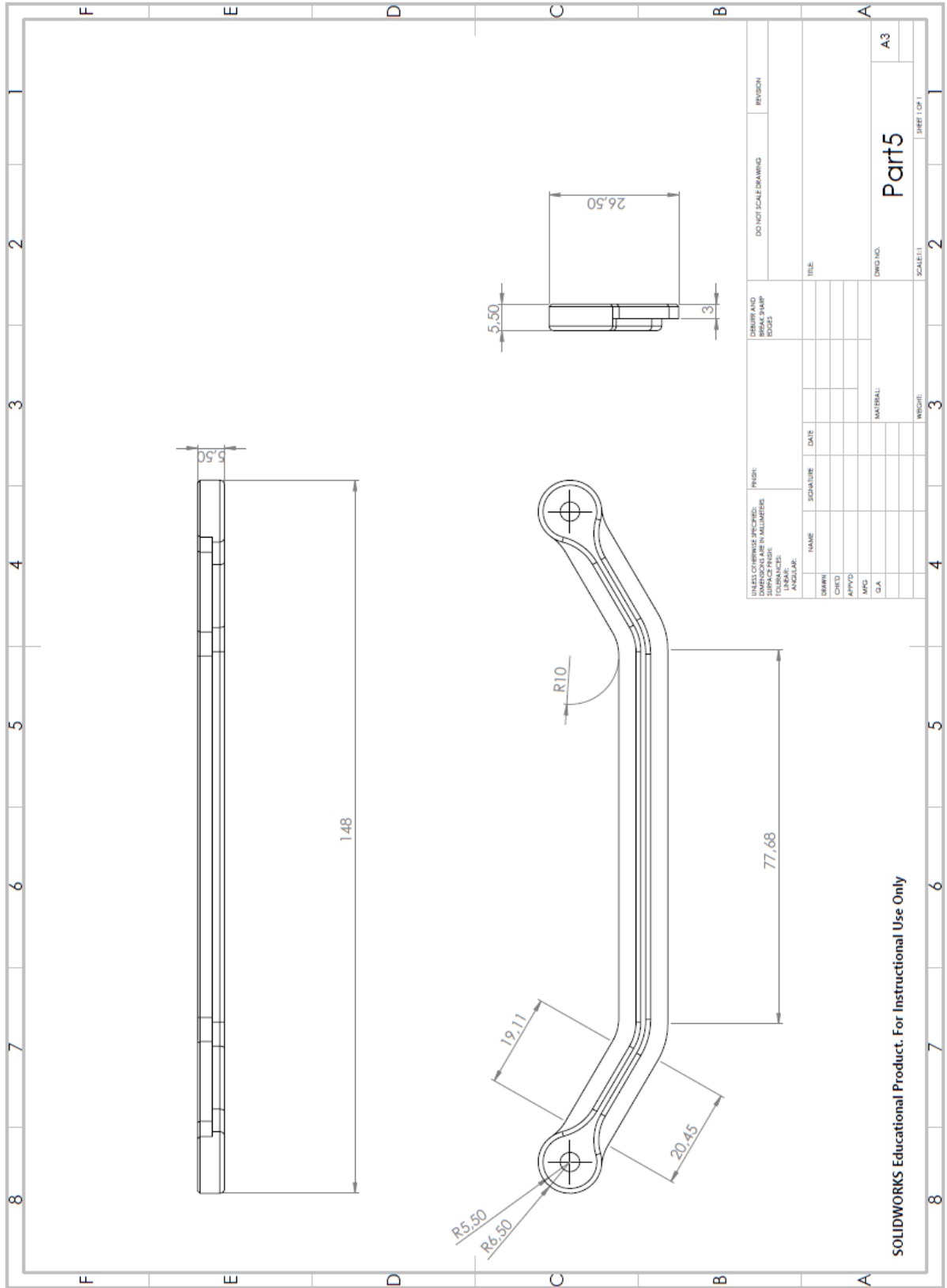
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS IN MILLIMETERS SURFACE FINISH TOLERANCES: ANGULAR:		FINISH:		DESIGN AND DRAWING REVISIONS	
NAME	SIGNATURE	DATE	FILE	DO NOT SCALE DRAWING	REASON
DRWN:					
CHKD:					
APPVD:					
MKS:					
D.A.					
MATERIAL:			DWG NO. A3		
SCALE: 1			SHEET 1 OF 1		

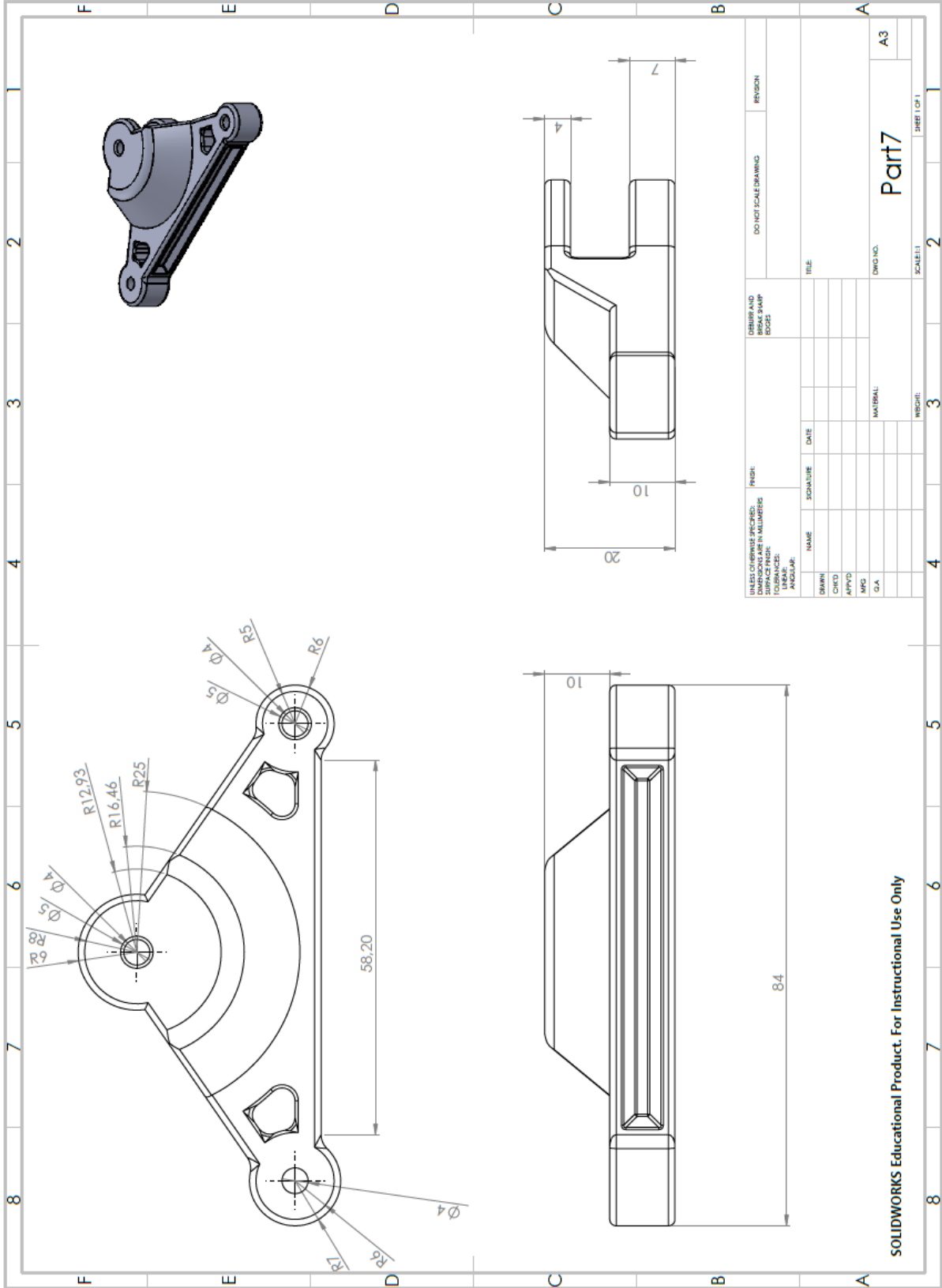
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



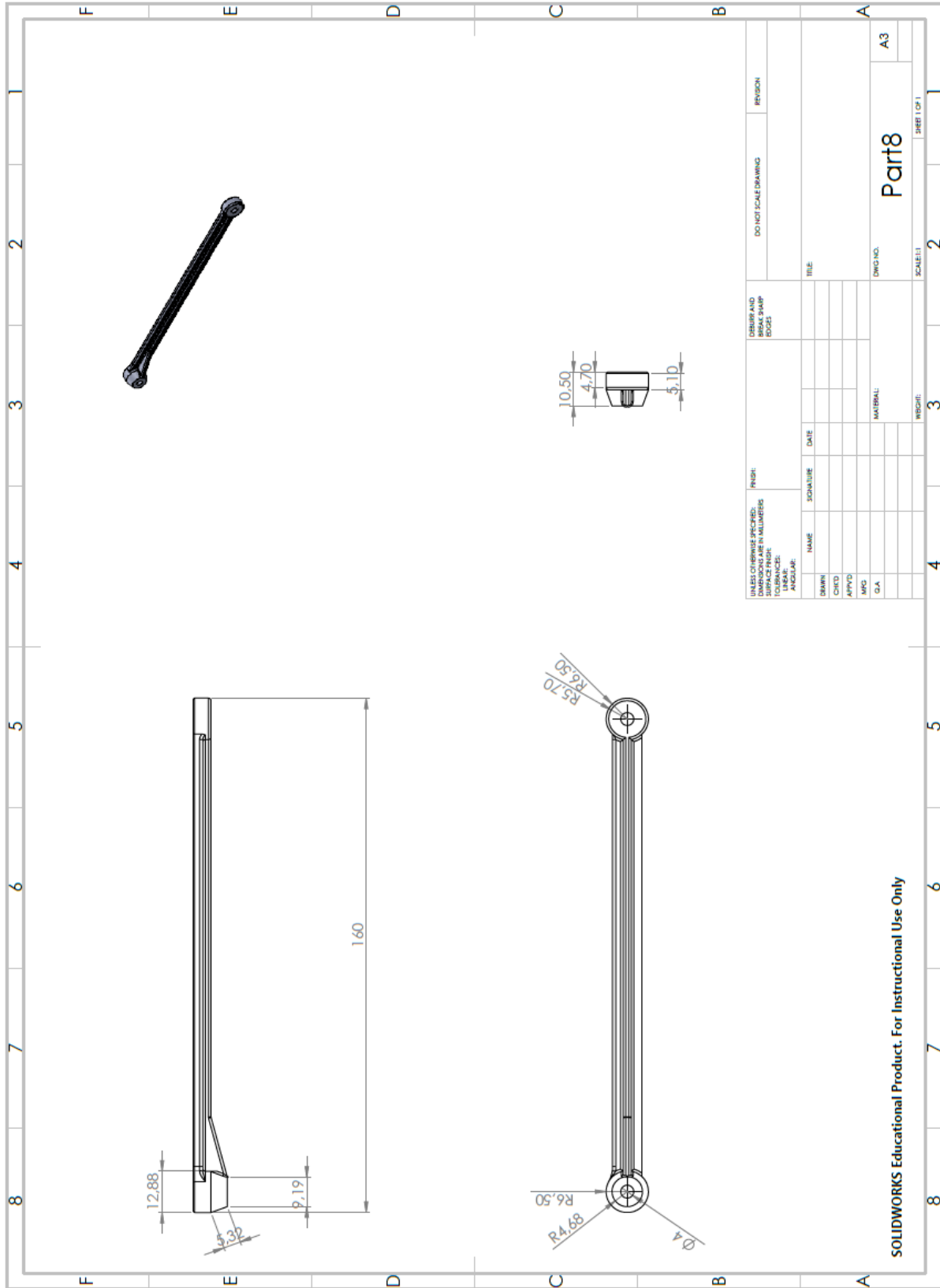


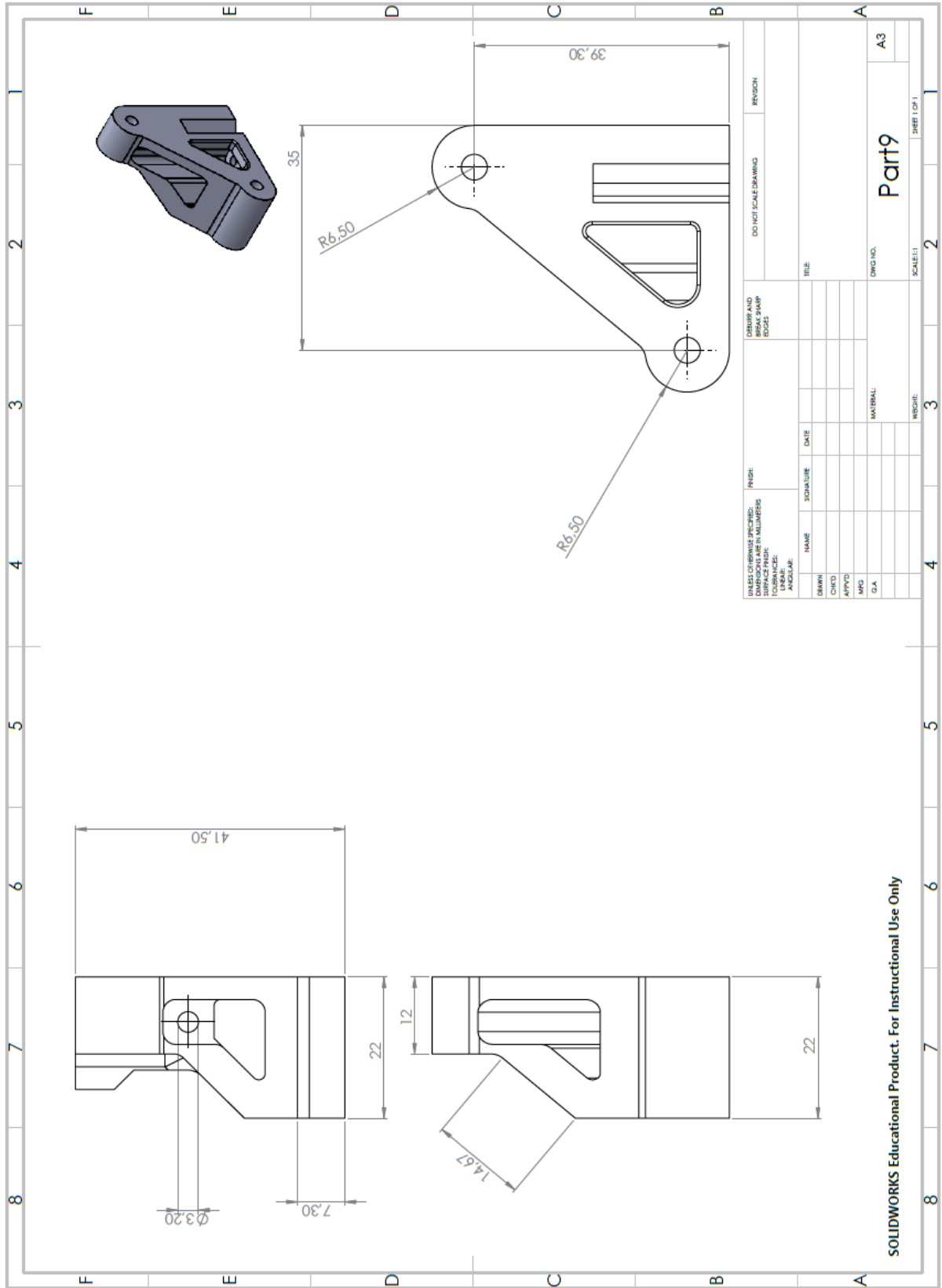
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



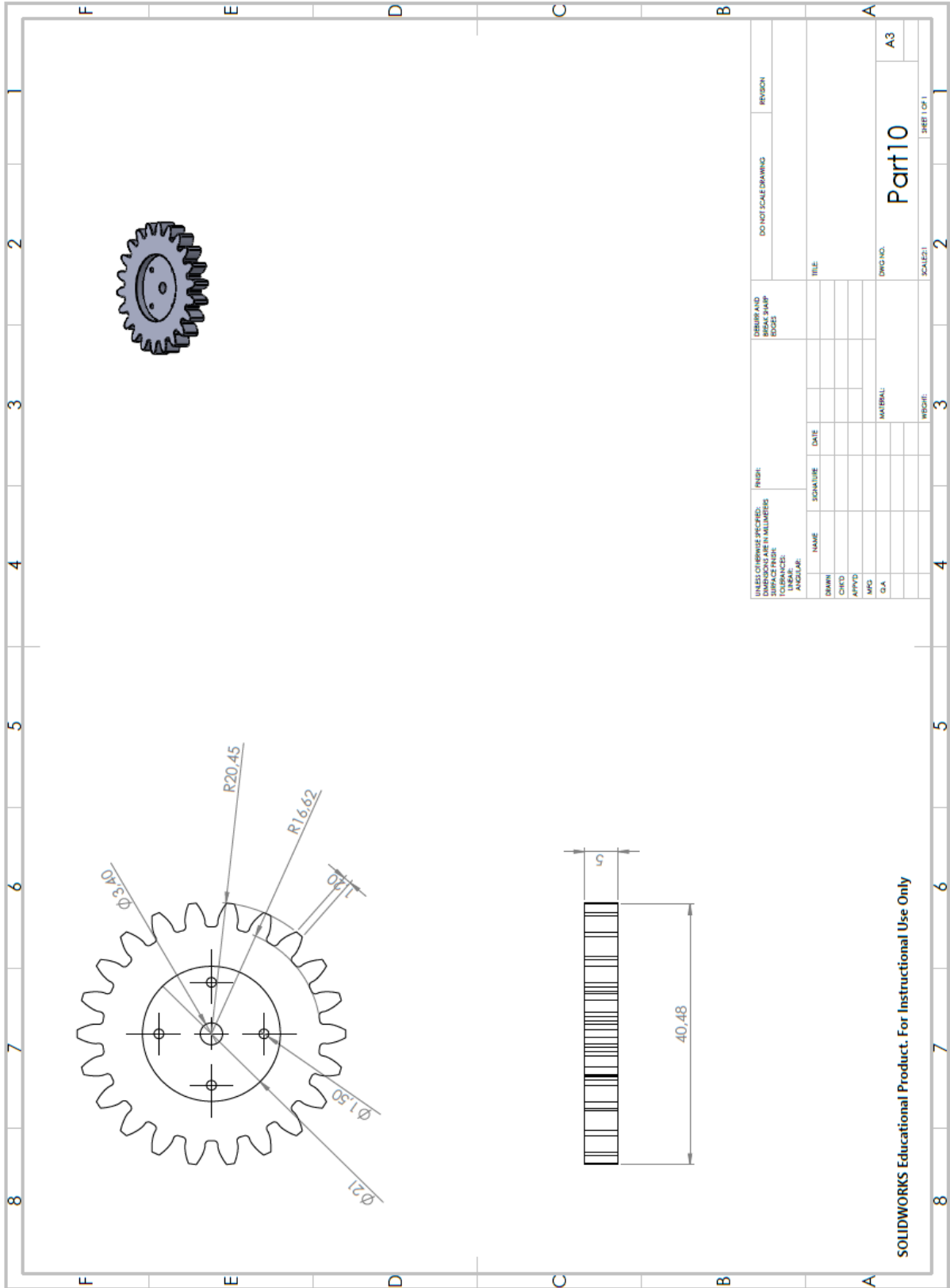


SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only





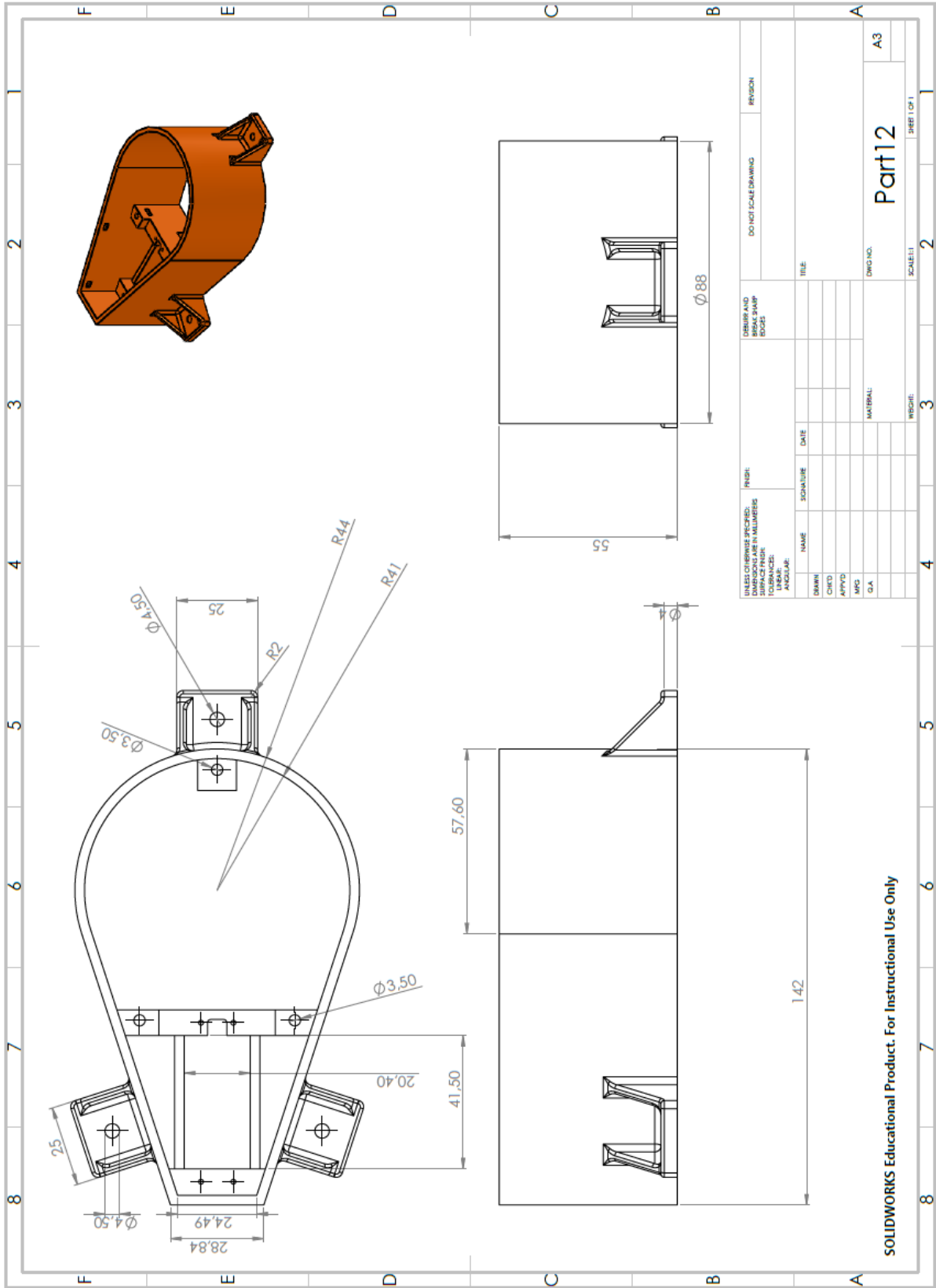
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



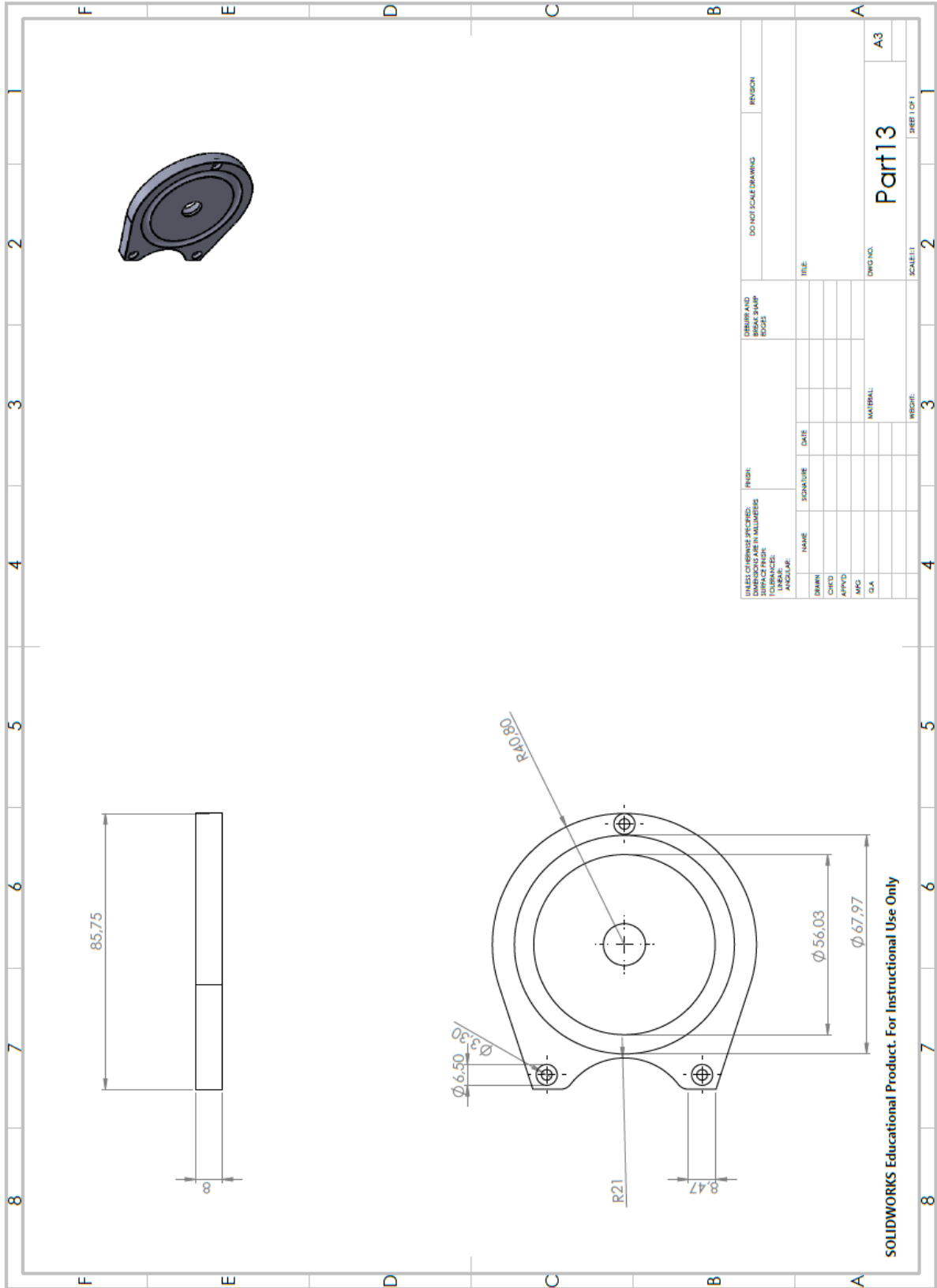
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

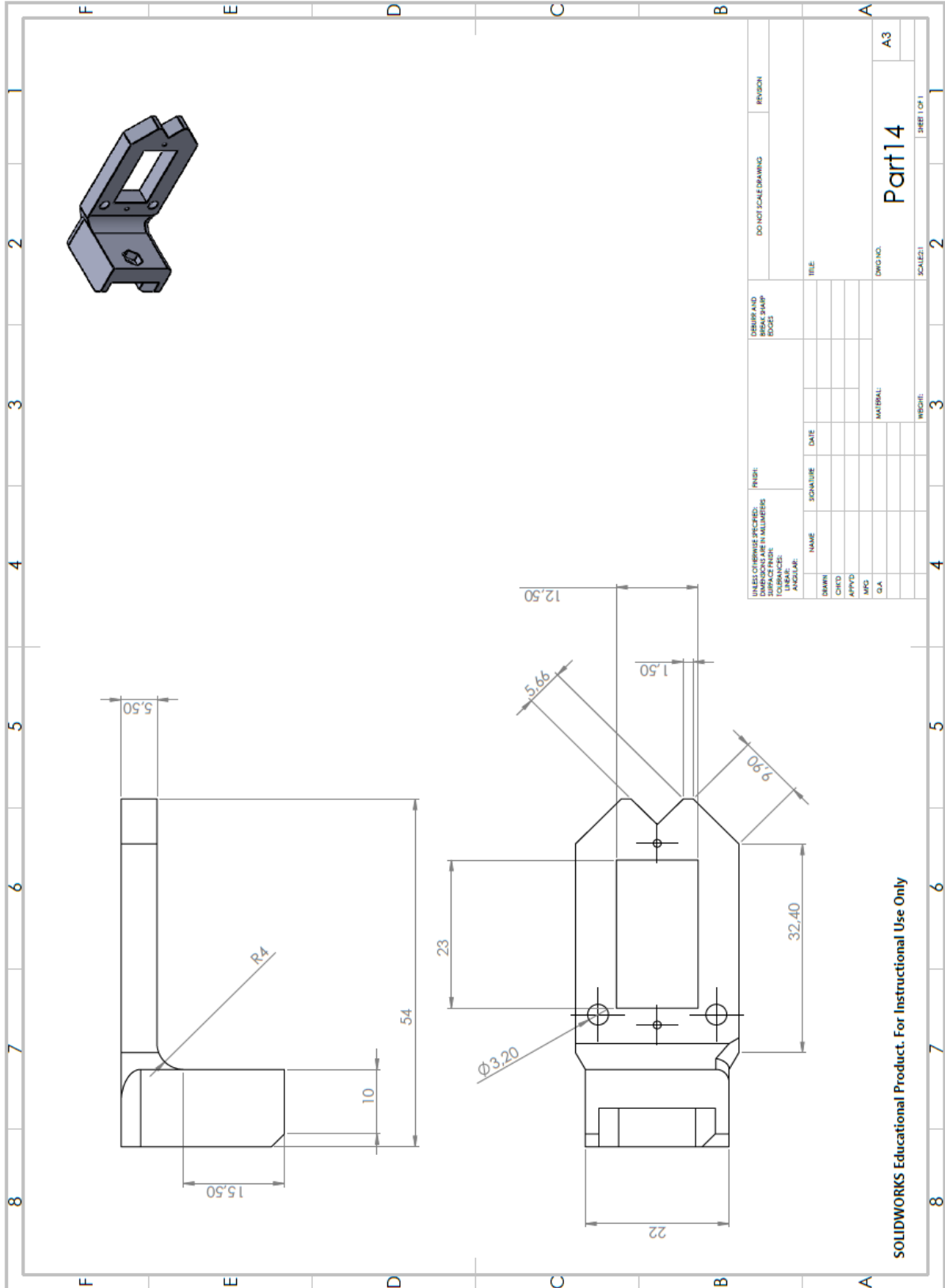
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS TOLERANCES: FRACTIONS DECIMALS		FINISH: SURFACE TEXTURE		DRESS AND WORKMANSHIP NOTES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRWNR	NAME	SIGNATURE	DATE	FILE					
CHKD									
APPVD									
MFG									
QA									
				MATERIAL:		DWG NO. A3		SHEET 1 OF 1	
				MISC#:		SCALE: 1		2	



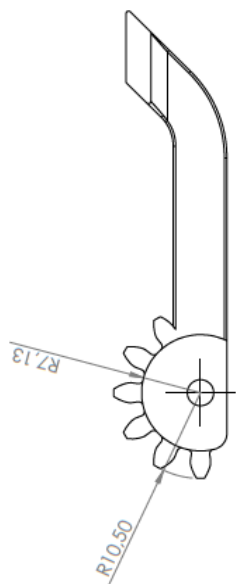
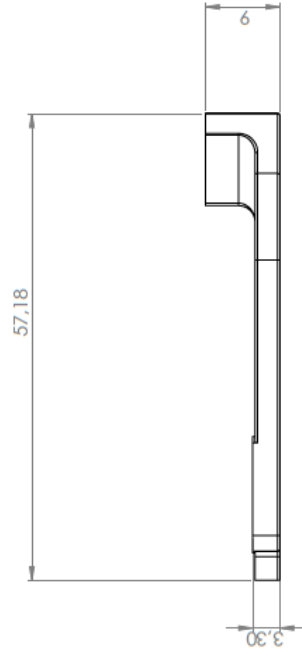
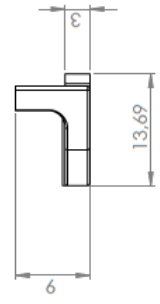
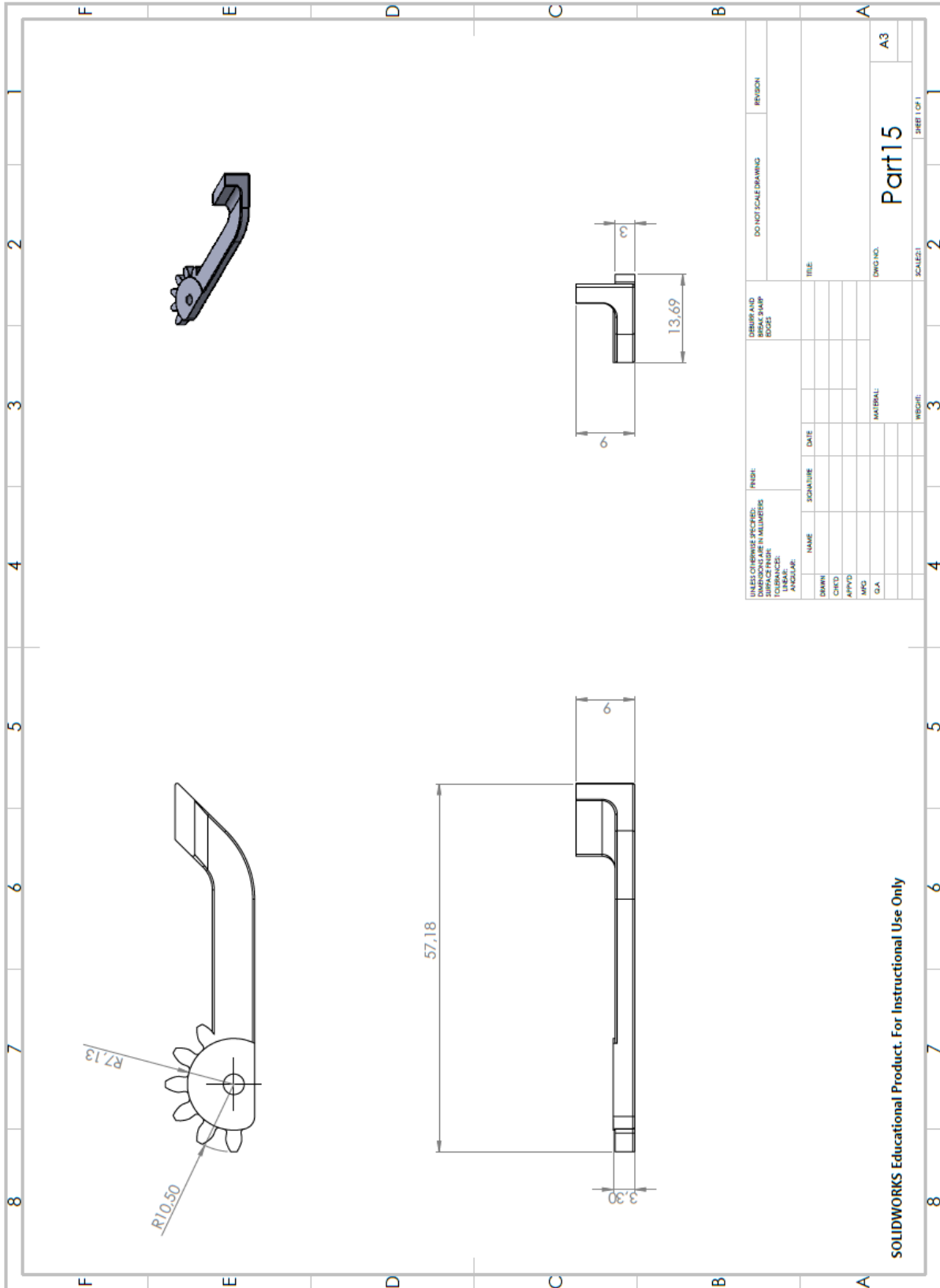


SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



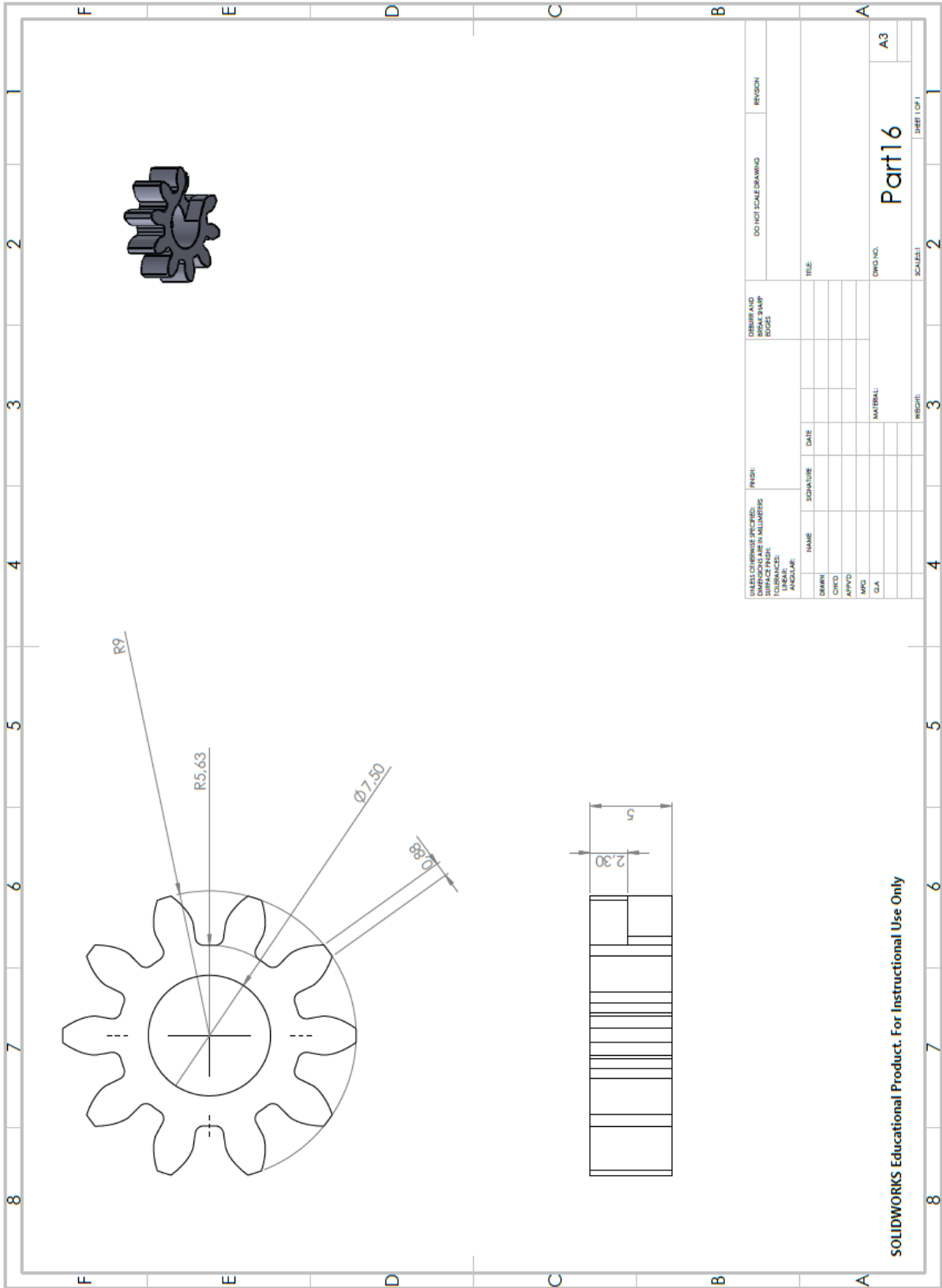


SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



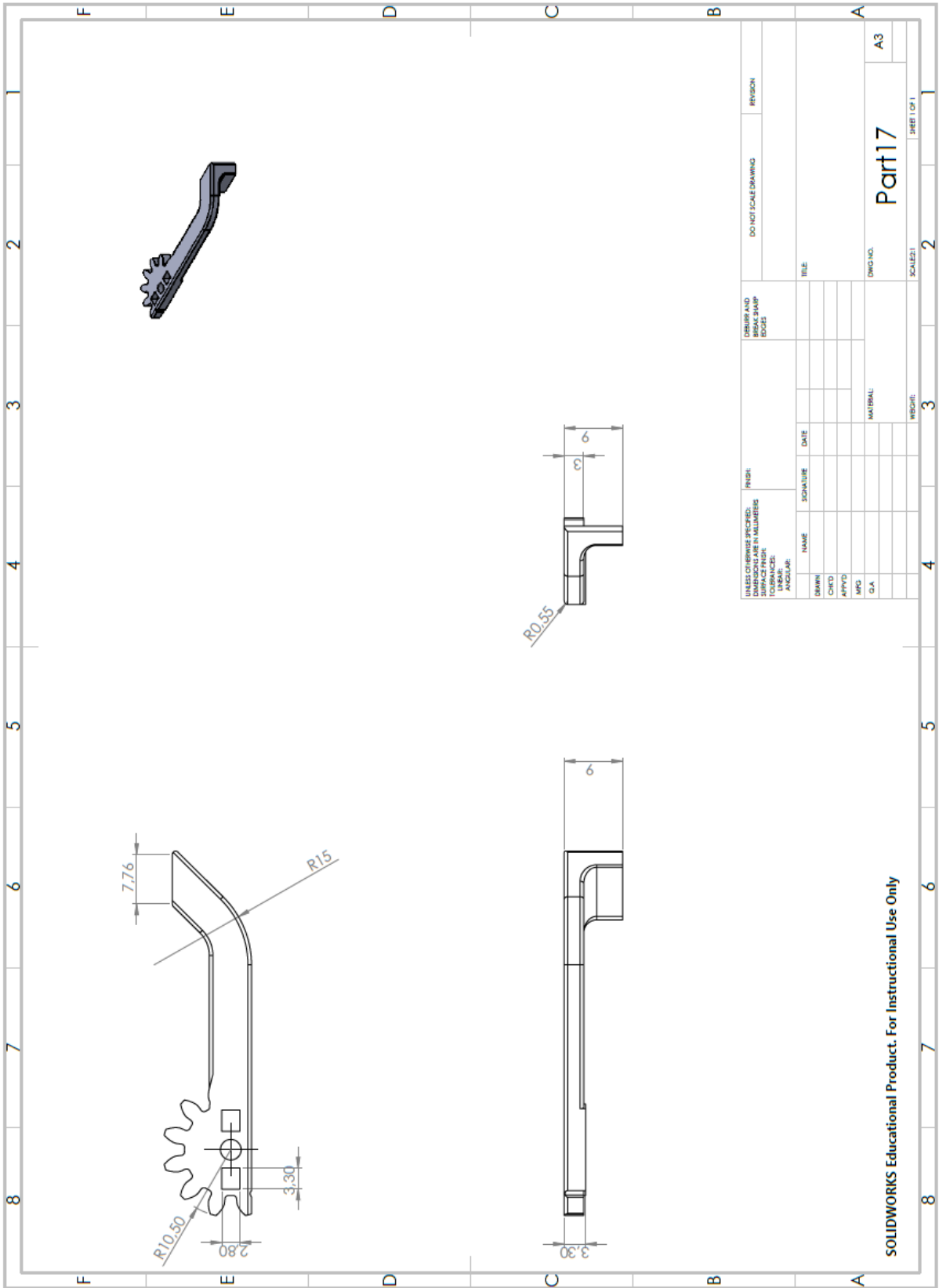
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS TOLERANCES: FRACTIONS DECIMALS ANGLES		FINISH: SURFACE TEXTURE		DEBRAND STAMP BLOCKS		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DESIGNER	DATE	FILE							
DRAWN									
CHECKED									
APPROVED									
MFG									
QA									
MATERIAL:		DWG. NO.		SCALE:		SHEET NO.		SHEET TOTAL	
		A3				2		1	

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



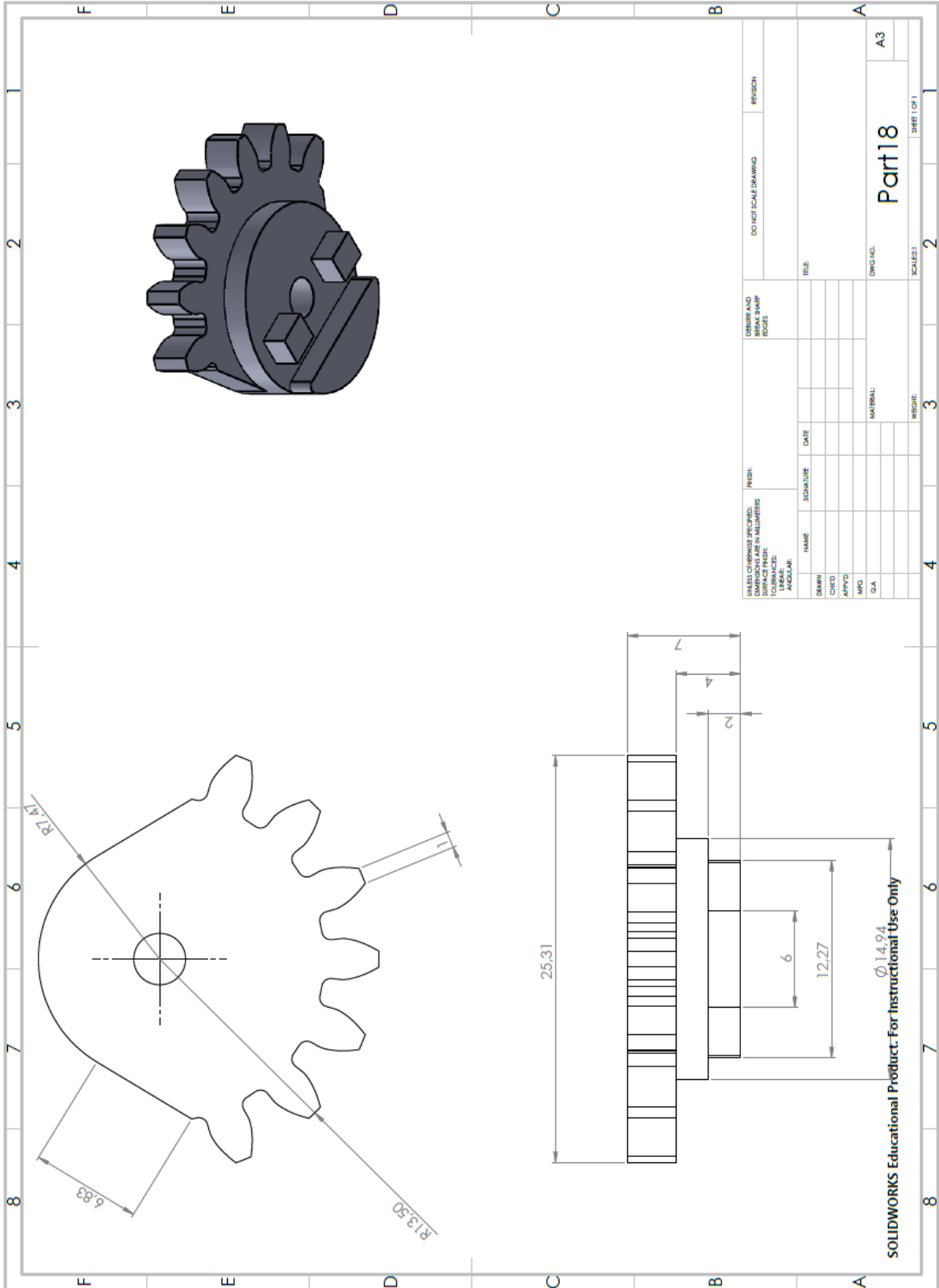
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS TOLERANCES: FRACTIONS DECIMALS		FINISH:		DRESSING AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REGION	
DRWN	NAME	SIGNATURE	DATE						
CHKD									
APPVD									
MFG									
C/A									
				MATERIAL:		DWG NO.:		SHEET 1 OF 1	
						Part16		A3	
						2		2	

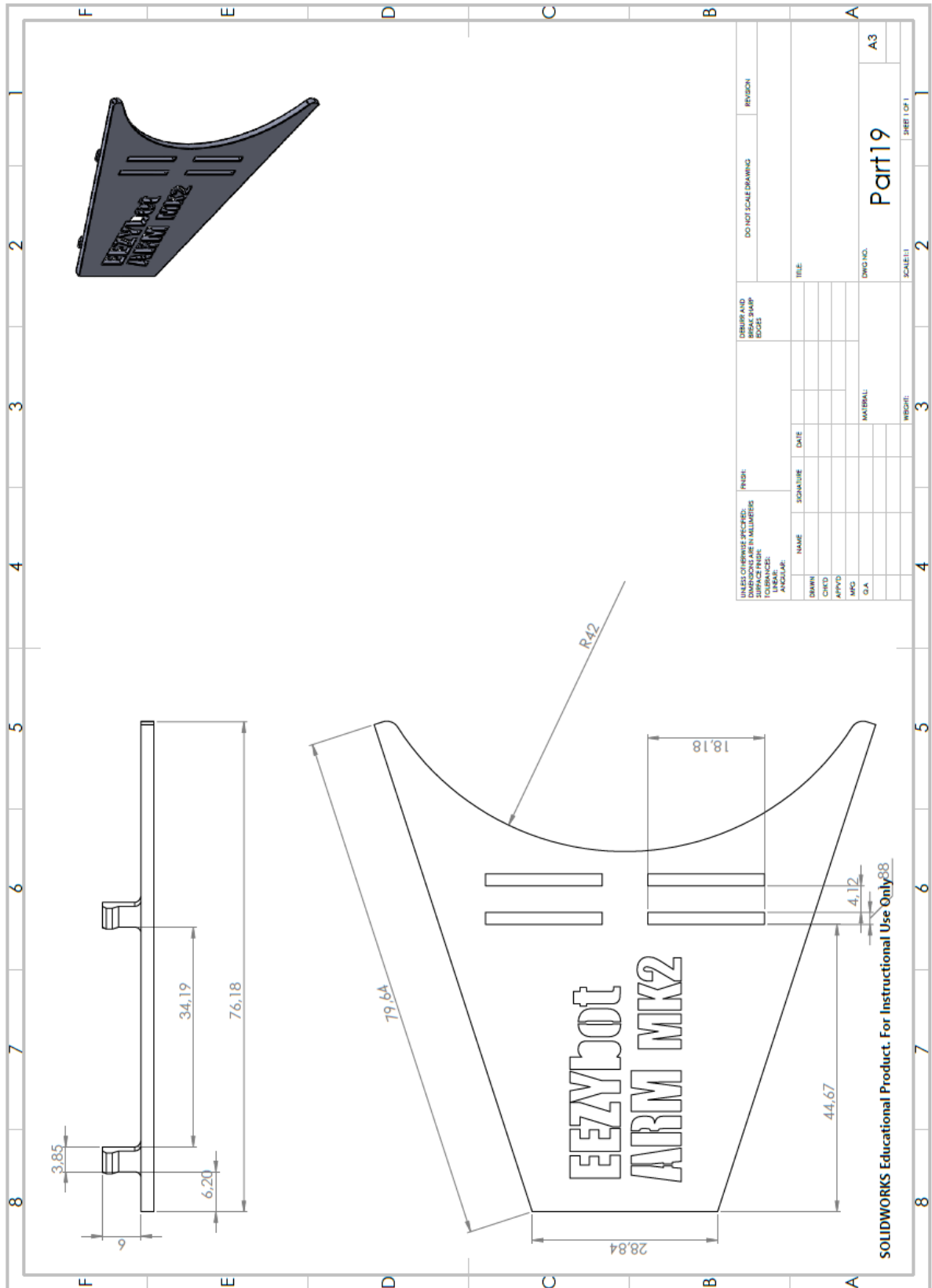
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS TOLERANCES: FRACTIONS DECIMALS ANGLES		FINISH: SURFACE		DEBRIS AND SWAMP BOSS		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
NAME	SIGNATURE	DATE	FILE						
DRAWN									
CHECK									
APP'D									
MFG									
QA									
MATERIAL:			DWG NO.		SCALE:		SHEET		OF 1
			A3		2		17		Part

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

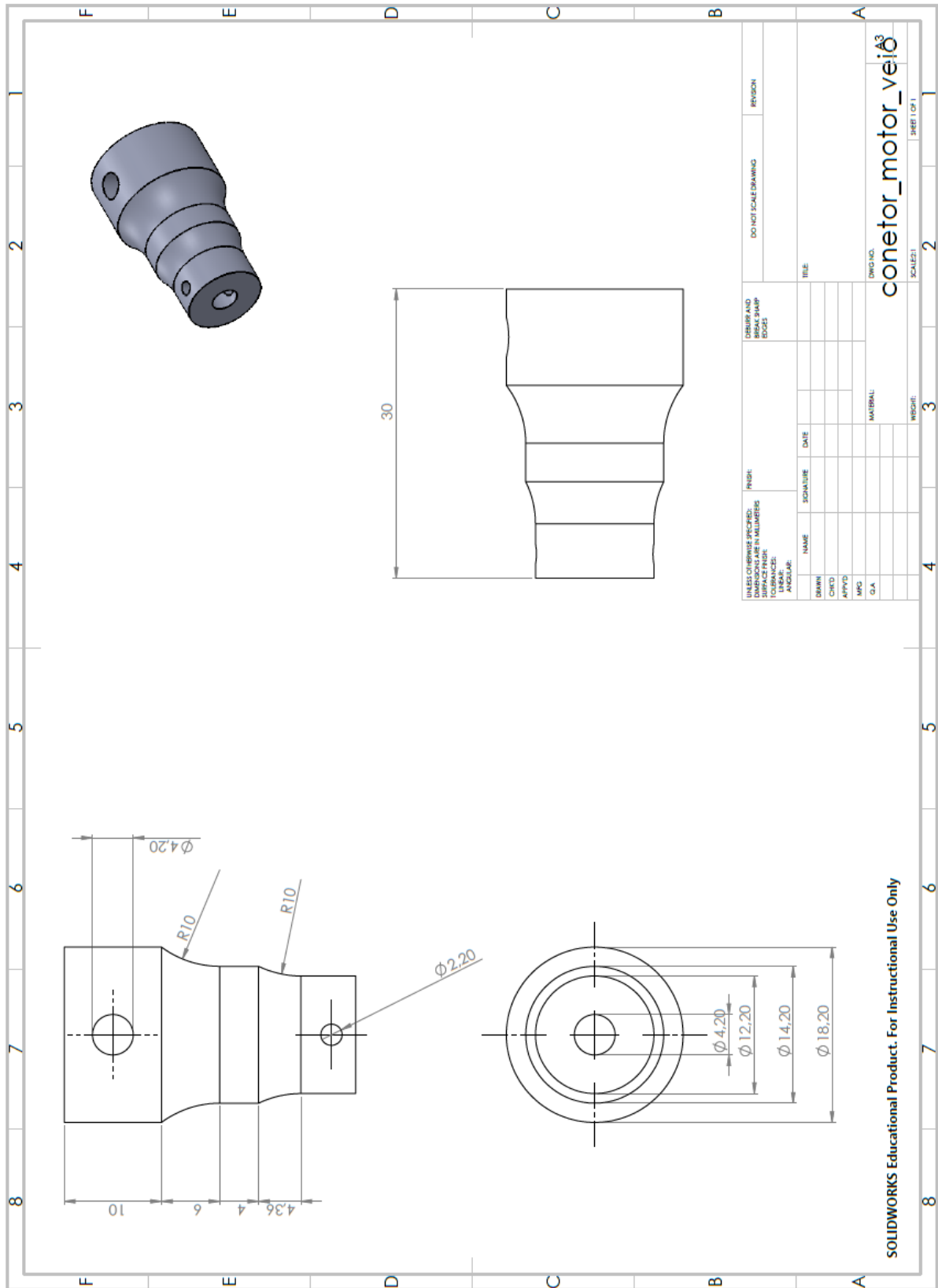




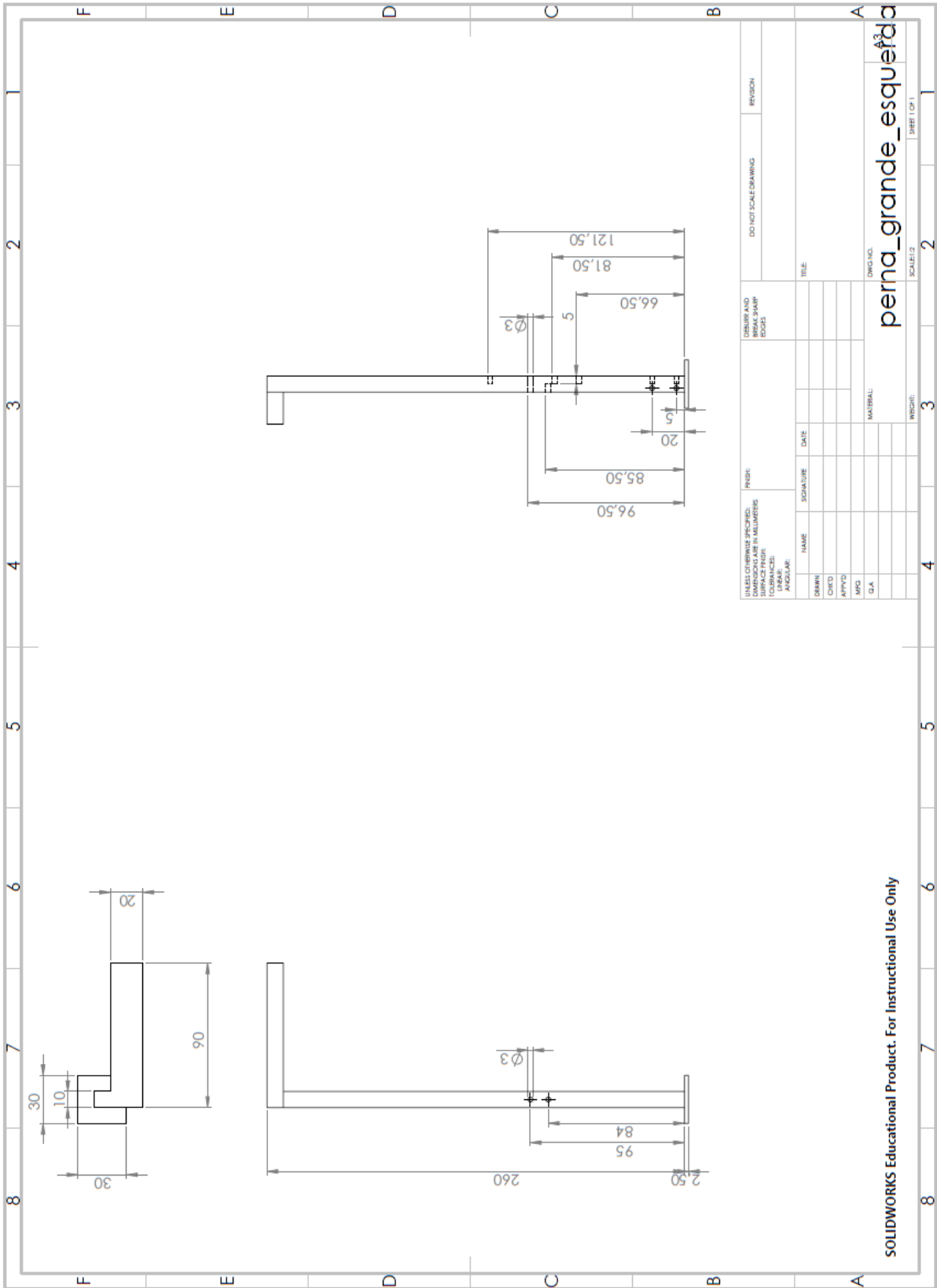
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS TOLERANCES: FRACTIONAL DECIMAL		FINISH: SURFACE PREP BOSS		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRWN	NAME	SIGNATURE	DATE	DATE	SCALE	SHEET OF 1	
CHKD						2	
APPD						3	
MFG						4	
QA						5	
						6	
						7	
						8	
						9	
						10	
						11	
						12	
						13	
						14	
						15	
						16	
						17	
						18	
						19	
						20	
						21	
						22	
						23	
						24	
						25	
						26	
						27	
						28	
						29	
						30	
						31	
						32	
						33	
						34	
						35	
						36	
						37	
						38	
						39	
						40	
						41	
						42	
						43	
						44	
						45	
						46	
						47	
						48	
						49	
						50	
						51	
						52	
						53	
						54	
						55	
						56	
						57	
						58	
						59	
						60	
						61	
						62	
						63	
						64	
						65	
						66	
						67	
						68	
						69	
						70	
						71	
						72	
						73	
						74	
						75	
						76	
						77	
						78	
						79	
						80	
						81	
						82	
						83	
						84	
						85	
						86	
						87	
						88	
						89	
						90	
						91	
						92	
						93	
						94	
						95	
						96	
						97	
						98	
						99	
						100	

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only<sup>88</sup>

# Anexo II: Desenhos cotados Tapete de Transporte

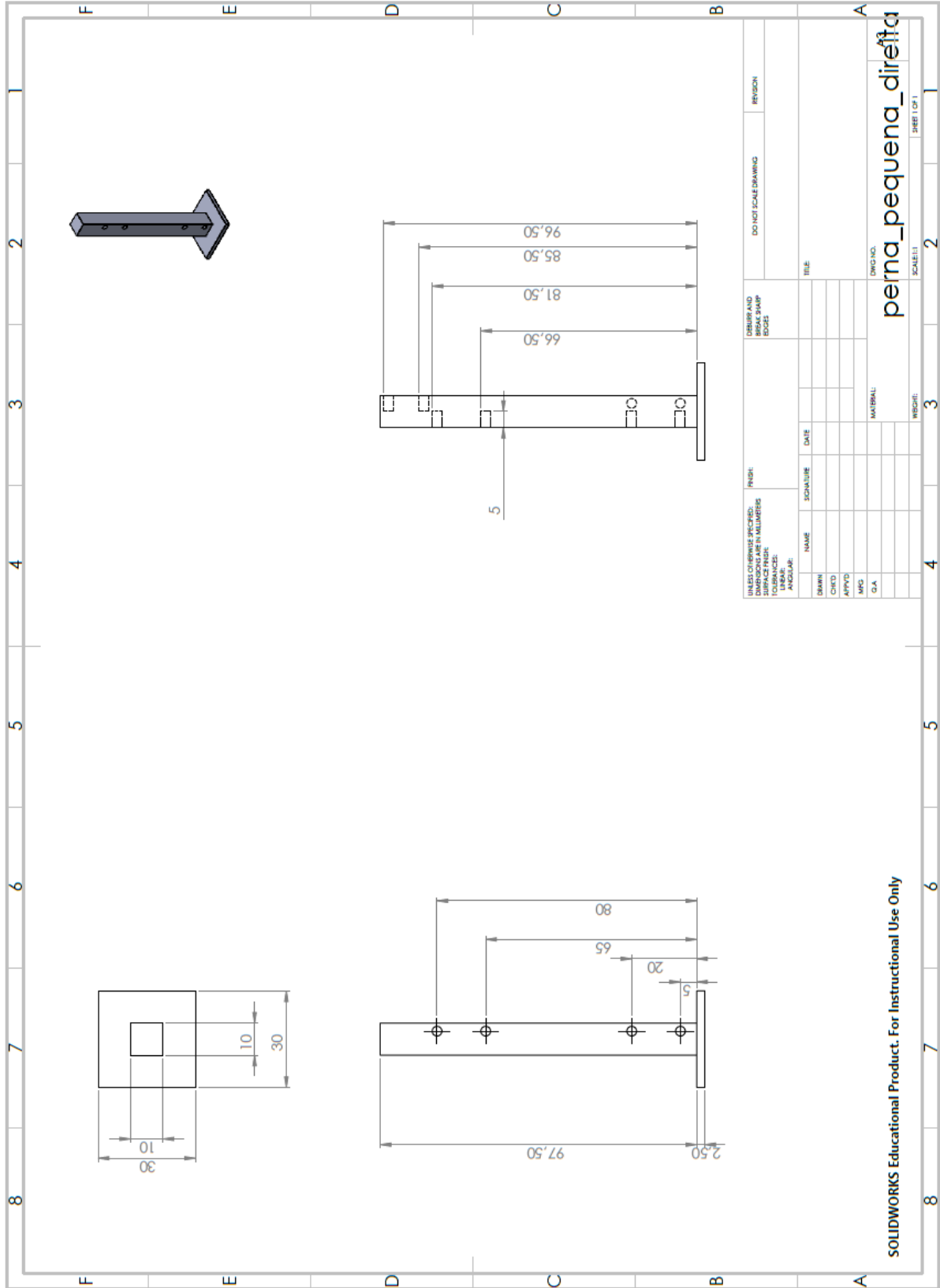


SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS IN MILLIMETERS DIMENSIONS IN PARENTHESES ARE IN INCHES ANGLES:		FINISH:		USER AND DATE		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRWNR	NAME	SIGNATURE	DATE						
CHKD									
APPVD									
MFG									
CLA									
				TITLE					
				MATERIAL		DWG NO.		SHEET 1 OF 1	
						perna_grande_esquerda		SCALE: 1:2	

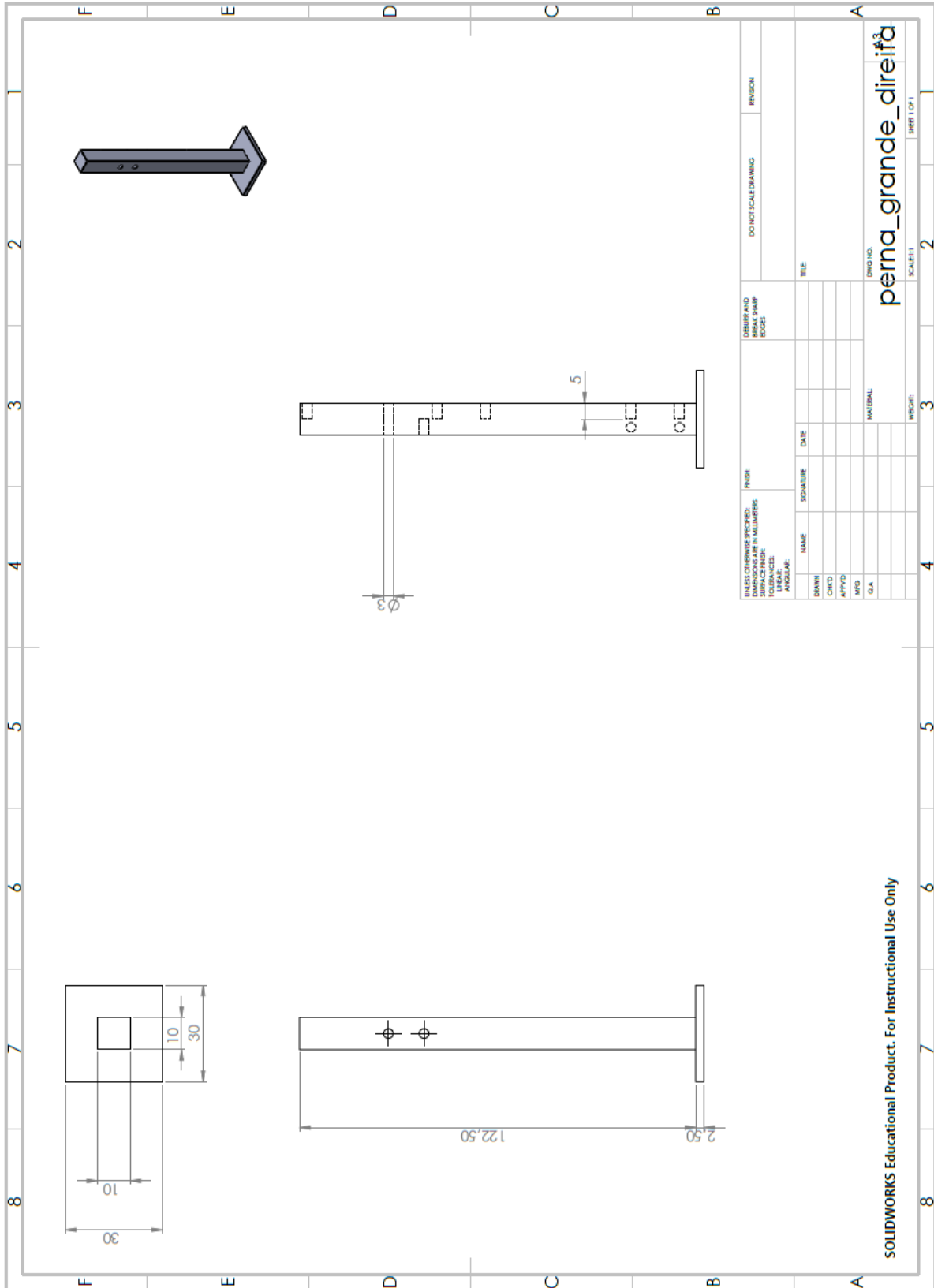
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: ANGULAR:		FINISH:		DESIGN AND DEVELOP BOOKS		DO NOT SCALE DRAWING		REGION	
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE					
CHECKED									
APPROVED									
MATERIAL:									
DATE:									
SCALE:									
DWG. NO. perna_pequena_dir01									SHEET 1 OF 1


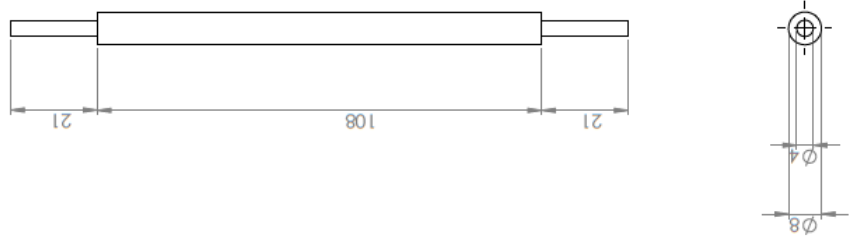
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

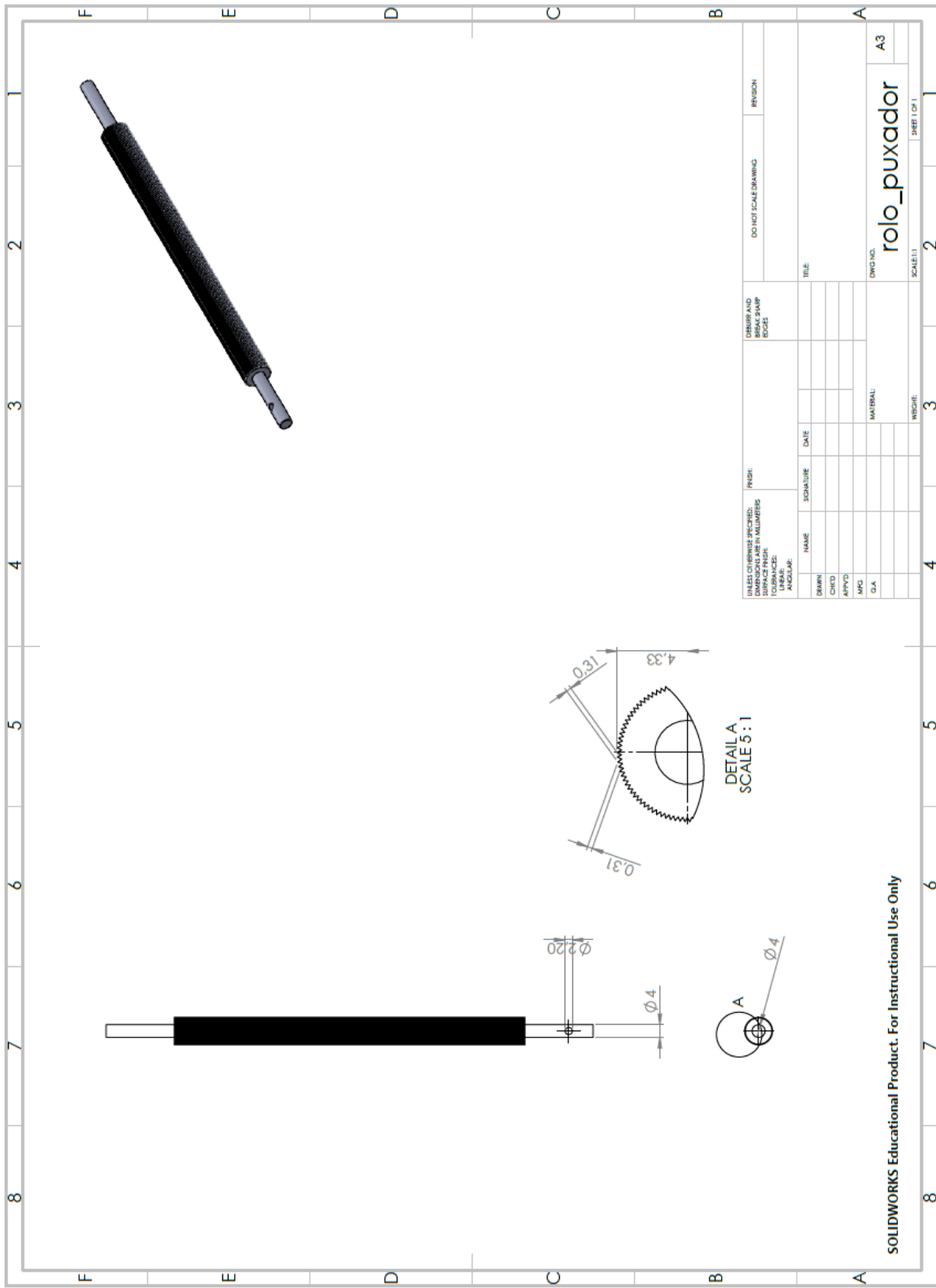




SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only



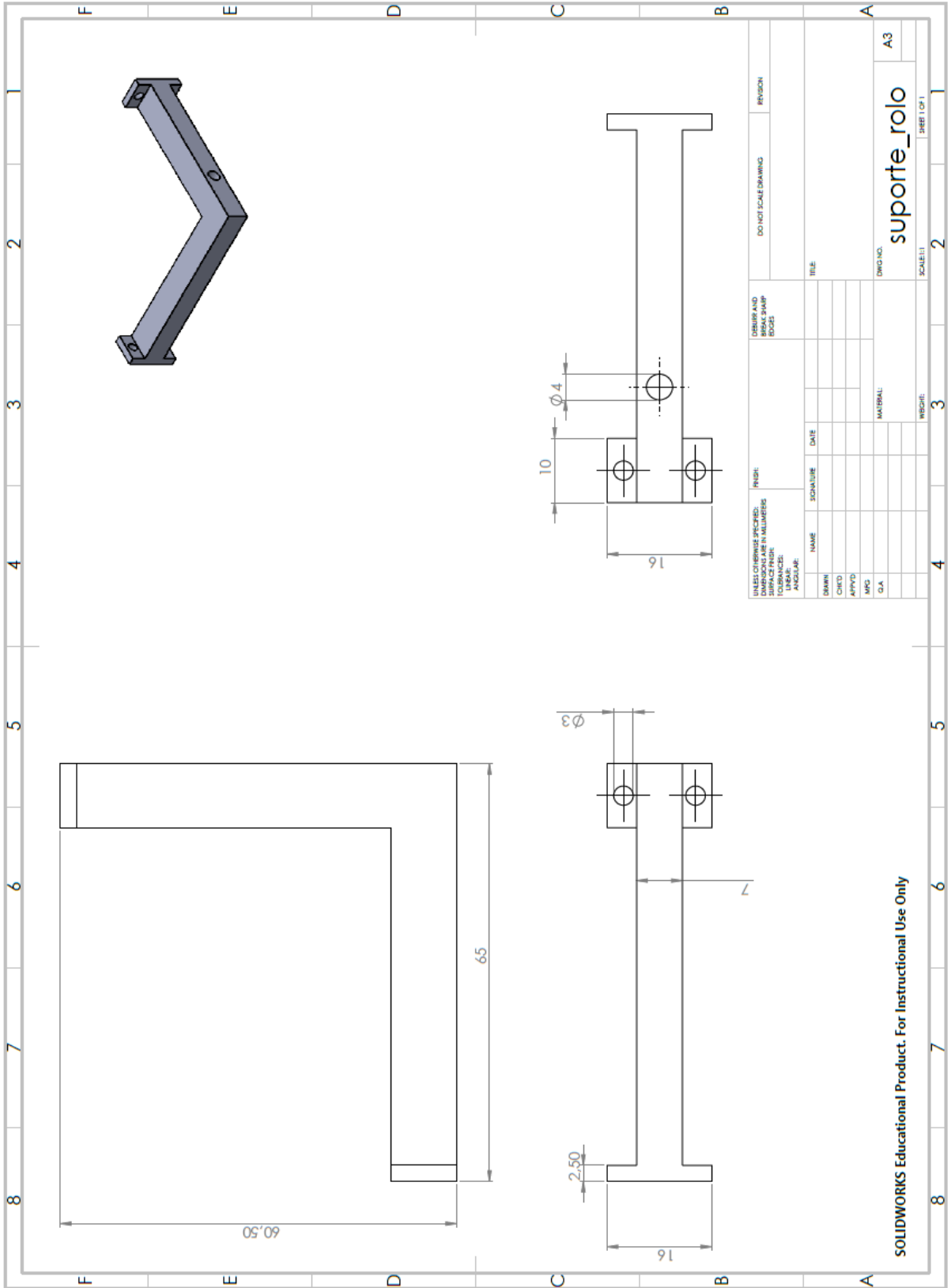
8	7	6	5	4	3	2	1	
F	E	D	C	B	A			
								
								
							UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: ANGULAR:	FINISH: DIMENSIONS IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: ANGULAR:
							DESIGNED AND DRAWN BY: CHECKED BY: APPROVED BY: DATE:	DO NOT SCALE DRAWING REGION:
							NAME: SIGNATURE: DATE:	TITLE:
							DRAWN: CHECKED: APPROVED: DATE:	DESIGNED AND DRAWN BY: CHECKED BY: APPROVED BY: DATE:
							MATERIAL:	WEIGHT:
							DWG. NO.	SHEET 1 OF 1
							A3	SCALE: 1:1
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only							2	3
8	7	6	5	4	3	2	1	
F	E	D	C	B	A			

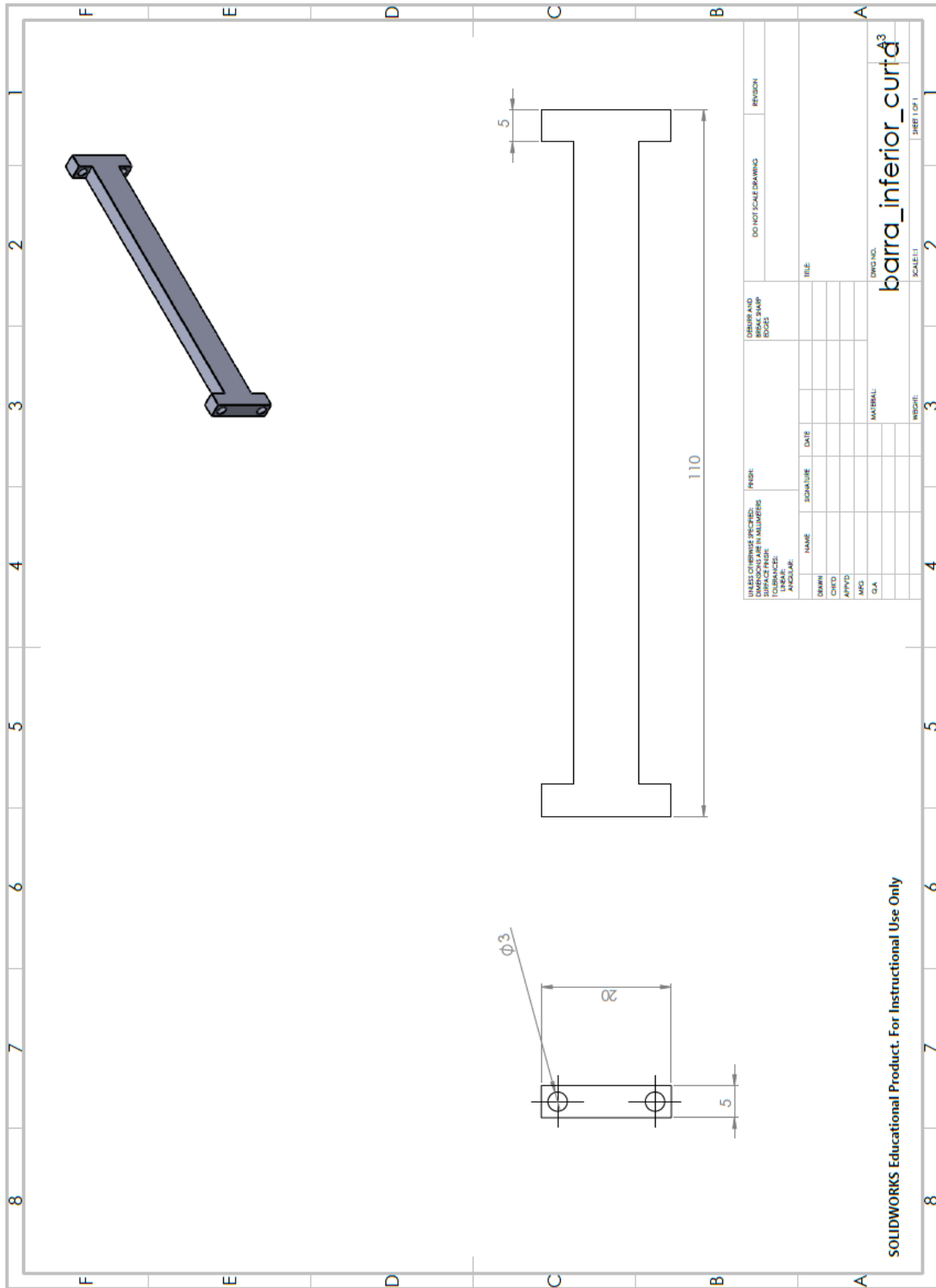


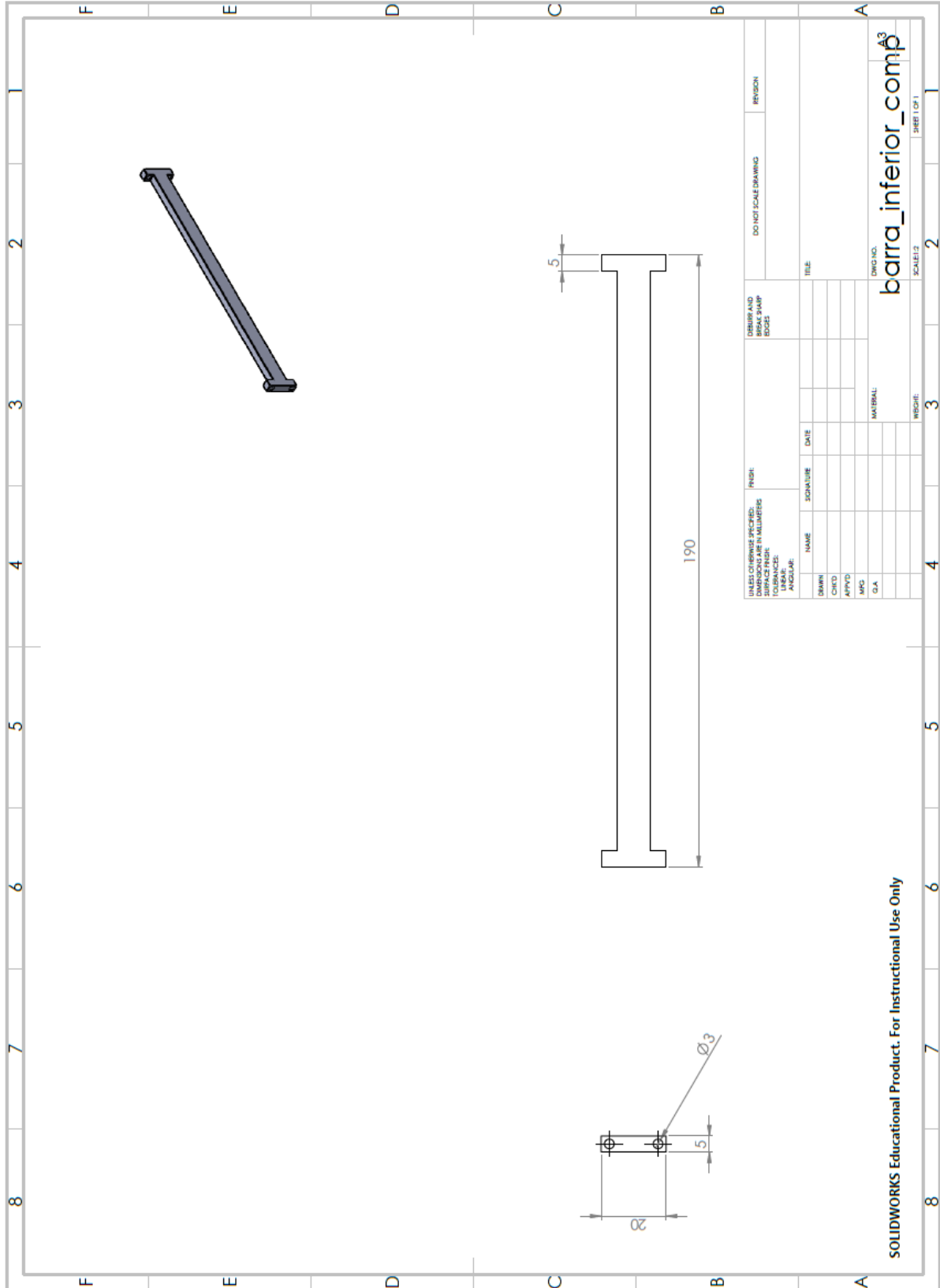
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS TOLERANCES: FRACTIONS: DECIMALS:		FINISH:	DRIBBER AND BIBBLE STAMP BLOCK	DO NOT SCALE DRAWING	REGION
DRWNR	NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE	
CHKD					
APP'D					
MFC				MATERIAL:	
GLA				WEIGHT:	
				SCALE: 1:1	
				DWG NO. rolo_puxador A3	
				SHEET 1 OF 1	

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only









UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: R: ANGULAR:		FINISH:		DIMENSIONAL GROUPS:		DO NOT SCALE DRAWING		REGION	
NAME	SIGNATURE	DATE							
DESIGN									
CHVD									
APPVD									
MPC									
D.A.									
MATERIAL:			TITLE:						
DWG. NO. barra_inferior_comp <sup>A3</sup>			SCALE: 1:2						
SHEET 1 OF 1			SHEET 1 OF 1						

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only

# Anexo III: Desenho cotado Assembly Braço Robótico e Tapete de Transporte

