



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
Instituto de Física  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física  
Mestrado Profissional em Ensino de Física

## Roteiro de aula para atividade experimental de baixo custo

Ronaldo F. Ayres Jr.

Alexandre Carlos Tort

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Ronaldo F. Ayres Jr., apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2018

# Manual de montagem do experimento de baixo custo

Nessa parte, iremos detalhar todas as etapas de construção do experimento que tem como finalidade a comprovação experimental da expressão da força centrípeta, assim como as especificações de todas as peças e materiais utilizados. Para facilitar o entendimento, iremos dividir o detalhamento do projeto em algumas etapas: parte inferior, parte superior e Arduino.

## Parte inferior

A Figura 1 nos dá uma visão geral dos principais componentes que formam a parte inferior do projeto. Cada um deles foi numerado de 1 a 12.

A seguir, iremos descrever detalhadamente cada componente. É aconselhável a assistência de um marceneiro para a produção dos componentes 1, 3, 4, 8, 9, 10 e 11, assim como a de um torneiro mecânico para o componente de número 6.

Componente 1: disco de espaçamento entre a polia e o carro dos pesos. Em formato circular, produzido com madeira do tipo "madeirite" de 10 mm de espessura, essa parte possui diâmetro de 6 cm com um furo central de 8 mm de diâmetro.

Componente 2: borracha de garrote. Teve suas extremidades coladas com cola do tipo "Superbond", fazendo com que ela fique no formato circular e com 18 cm de diâmetro. Essa peça será apenas encaixada à base circular (componente 3).

Componente 3: polia circular. No formato circular, produzido com madeira do tipo "madeirite" de 10 mm de espessura, possui diâmetro de 20 cm com furo central com 8 mm de diâmetro. Nas laterais, foi talhado um "canal" para que o garrote (componente 2) seja melhor encaixado.

Componente 4: suporte da polia. No formato circular, produzido com madeira do tipo "madeirite" com 3 cm de espessura e 6 cm de diâmetro.

Componente 5: disco encoder. Disco circular com 26 mm de diâmetro, contendo 20 furos, próprio para ser usado com sensores Arduino. Este com-

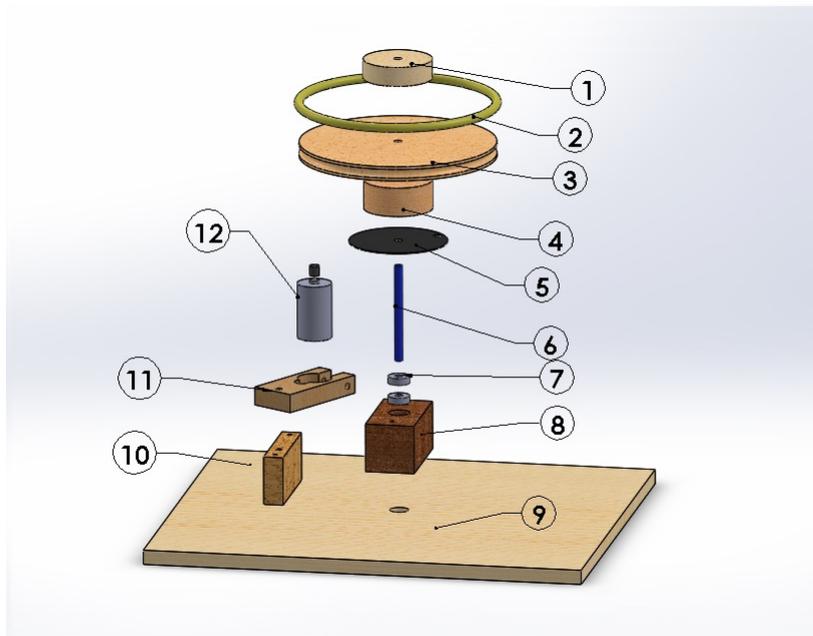


Figura 1: parte inferior com seus componentes numerados de 1 a 12 (Ilustração H.P. Cordova.).

ponente foi fixado ao suporte da polia (componente 4) através de 4 parafusos atarraxantes (4,2 x 22 mm), próprio para madeiras. Esse disco pode ser facilmente adquirido em lojas de produtos eletrônicos sob o nome de "disco encoder".

Componente 6: eixo retificado. No formato cilíndrico, possui 8 mm de diâmetro e 100 mm de altura.

Componente 7: rolamentos de skate. Duas unidades com dimensões de 8 x 22 mm. Pode ser facilmente adquirido em lojas de equipamentos para skates.

Componente 8: mancal dos rolamentos. No formato de um paralelepípedo de dimensões 50 x 50 x 100 mm. Produzido com madeira do tipo "reflorestamento", possui um furo central com 20 mm de diâmetro. Os dois rolamentos (componentes 7) são encaixados aqui sob uma certa pressão.

Componente 9: base de madeira. No formato retangular de dimensões 40 x 45 cm, foi produzido com madeira do tipo "madeirite" com 15mm de espessura.

Componente 10: base do motor. No formato de um paralelepípedo de dimensões 13 x 4 x 3 cm. Foi produzido com madeira do tipo "reflorestamento". Essa peça é fixada à base (componente 9) através de dois parafusos

atarraxantes 4,2 x 52 mm para madeira.

Componente 11: suporte para o motor elétrico. No formato de um paralelepípedo de dimensões 13 x 5 x 2 cm. Foi produzido com madeira do tipo “reflorestamento”. Essa peça é fixada à base do motor (componente 10), através de um parafuso sextavado (5/16 x 60 mm) de rosca soberba. Pelo alto nível de detalhes que esse componente possui, foi adicionado um desenho técnico (Figura 2) para auxiliar a construção do mesmo.

Componente 12: motor elétrico. Tensão nominal máxima: 12 volts; potência nominal máxima: 120 Watts; dimensões: 350 mm de diâmetro e 7 cm de altura. Ele é fixado ao suporte (componente 11) através de um parafuso sextavado (5/16 x 60 mm), rosca soberba. Esse componente pode ser facilmente adquirido em lojas de equipamentos eletrônicos.

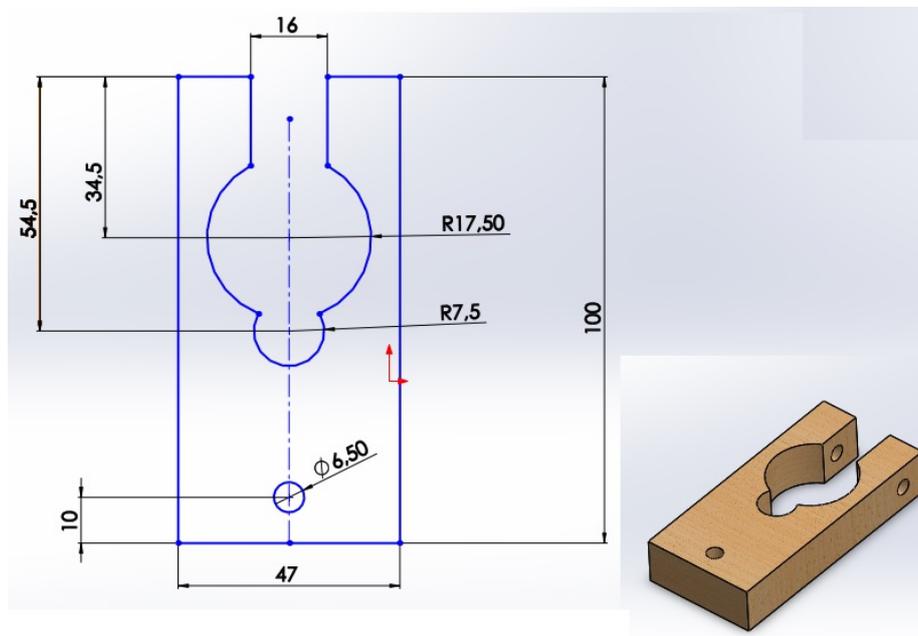


Figura 2: desenho técnico para auxiliar na construção do componente 11: suporte para o motor.

A Figura 3 mostra como fica a parte inferior do projeto quando os componentes forem conectados. Essa será a primeira parte do projeto.

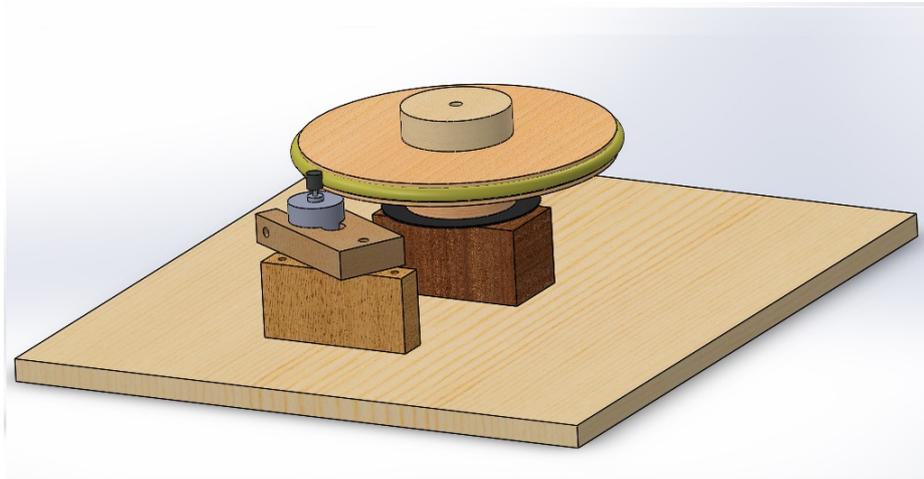


Figura 3: parte inferior com seus componentes conectados.

### Parte superior

A Figura 4 oferece uma visão geral dos principais componentes que formam a parte superior do projeto. A figura 5 nos mostra cada um dos componentes que foi enumerado de 1 a 14.

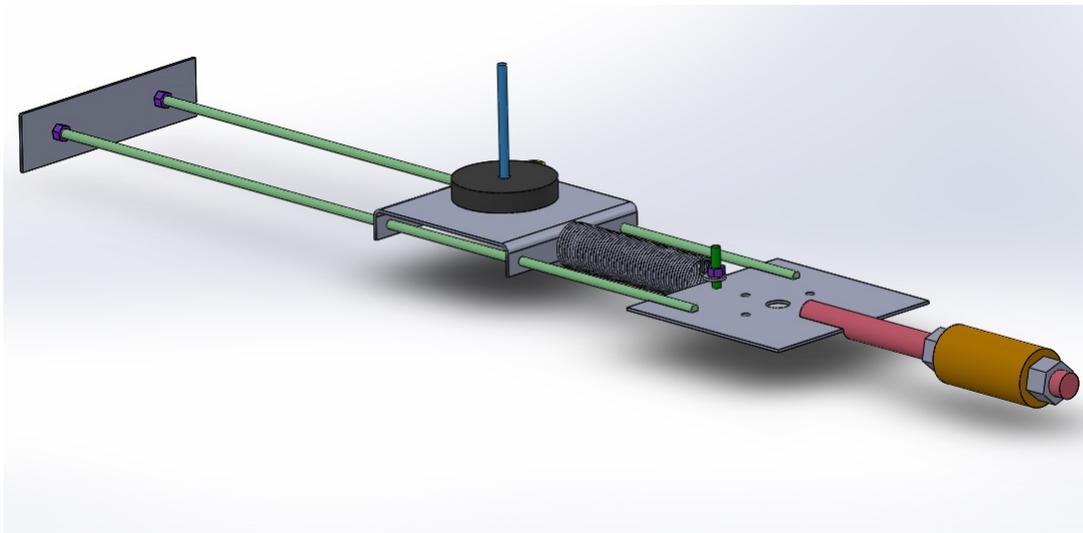


Figura 4: parte superior: carrinho deslizante, trilhos, contra peso e mola.

A seguir, iremos descrever detalhadamente cada componente, assim como

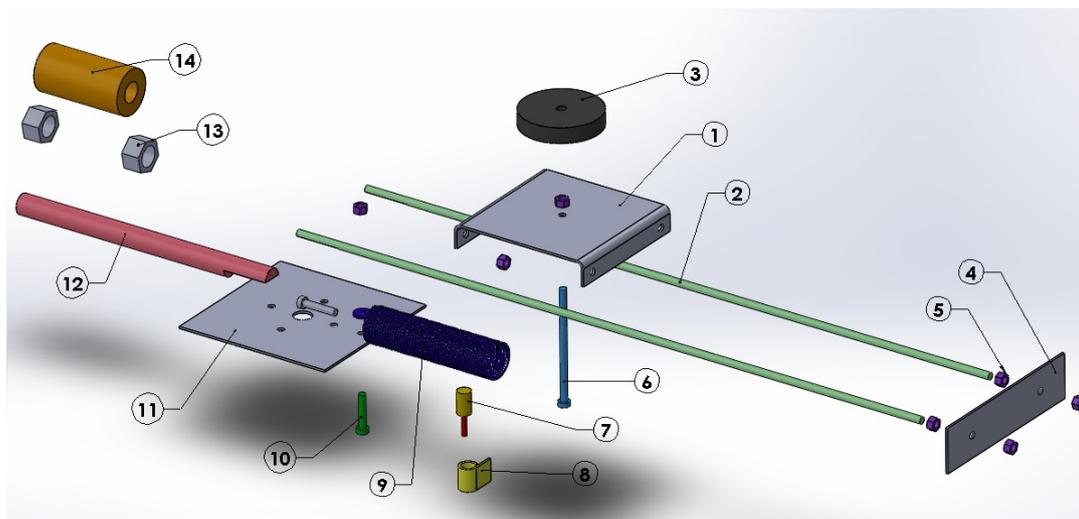


Figura 5: parte superior: componentes numerados de 1 a 14.

alguns detalhes importantes para a construção do projeto. É aconselhável a assistência de um torneiro mecânico para a produção dos componentes 1, 2, 3, 4, 8, 9, 11 e 12.

Componente 1: carro de pesos. A Figura 6 representa o desenho técnico necessário para auxiliar a sua construção.

Componente 2: haste de aço de dimensões  $1/8" \times 300$  mm.

Componente 3: discos de chumbo, com gramaturas diferentes variando de 30 até 200 g, cada. Possuem um furo, no centro, de 3,5 cm de diâmetro, para que sejam encaixadas ao parafuso central (componente 6).

Componente 4: placa fim de curso. A Figura 7 representa o desenho técnico necessário para auxiliar a sua construção.

Componente 5: porcas de  $1/8"$ .

Componente 6: parafuso de dimensão  $1/8" \times 6$  cm.

Componente 7: módulo laser de potência nominal 1 mW. O componente foi adquirido em uma loja de eletrônica.

Componente 8: suporte de fixação do laser (componente 7). Foi produzido a partir de uma chapa metálica com dimensões  $10 \times 30$  mm, curvada ao redor do laser e chumbada com estanho ao carro de pesos (componente 1).

Componente 9: mola no formato cilíndrico. Em seu tamanho natural possui 7 cm de comprimento e 1 cm de diâmetro.

Componente 10: parafuso de dimensão  $1/8" \times 1/2"$ .

Componente 11: placa base. A figura 8 representa o desenho técnico necessário para auxiliar sua construção.

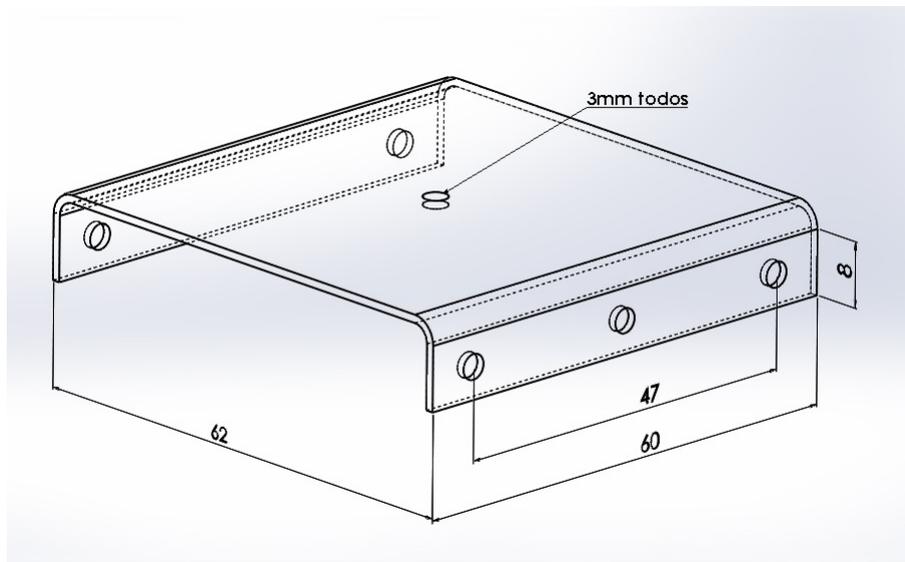


Figura 6: desenho técnico para auxiliar na construção do componente 1: carro de pesos.

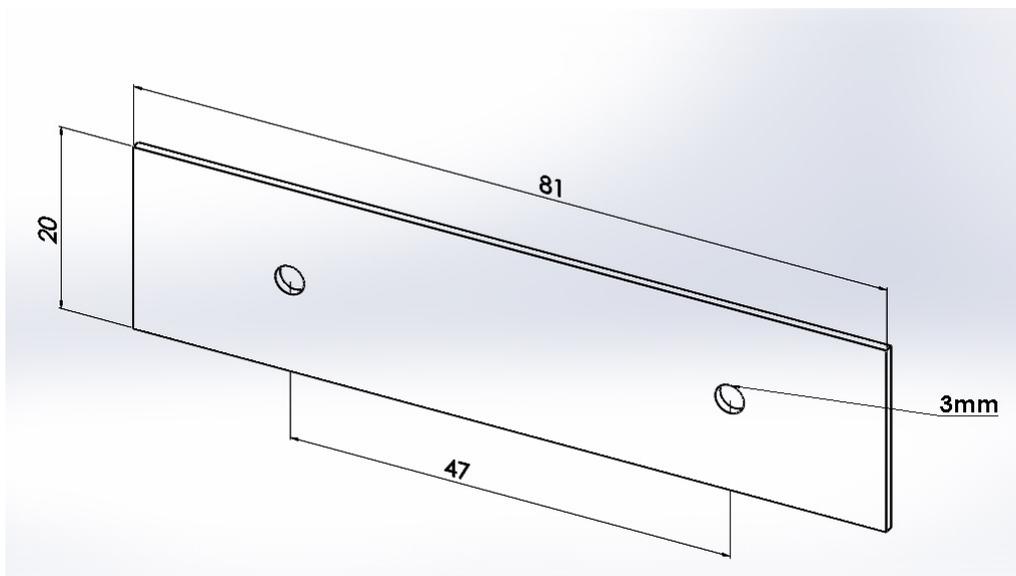


Figura 7: desenho técnico para auxiliar na construção do componente 4: placa fim de curso.

Componente 12: suporte de contra peso. Feito de uma haste rosqueável

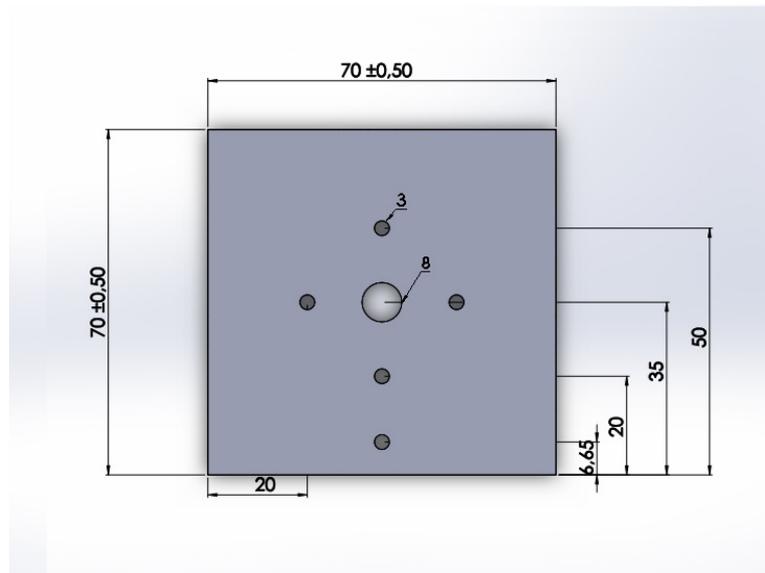


Figura 8: desenho técnico para auxiliar na construção do componente 11: placa base.

de dimensões 3/8 x 6".

Componente 13: duas porcas de dimensões 3/8".

Componente 14: contra peso. Foram usadas setenta arruelas de dimensões 3/8".

É importante ressaltar algumas instruções para a correta montagem: os componentes 2, 7 e 12 deverão ser soldados ao componente 11. A Figura 9 mostra a posição exata dessas soldas. Em nosso projeto, utilizamos o estanho como material de solda. A Figura 9 também representa a fixação da mola (componente 9) ao componente 11, ela é feita através de um parafuso e uma porca.

Após a construção das duas primeiras etapas do projeto - partes inferior e superior - já é possível a junção deles em uma peça única. Para isso, basta fixar o componente 11 da parte superior no componente 1 da parte inferior, utilizando quatro parafusos atarraxantes para madeira e de dimensões 4,2 x 22 mm. A Figura 10 ilustra como deve ficar essa "peça única".

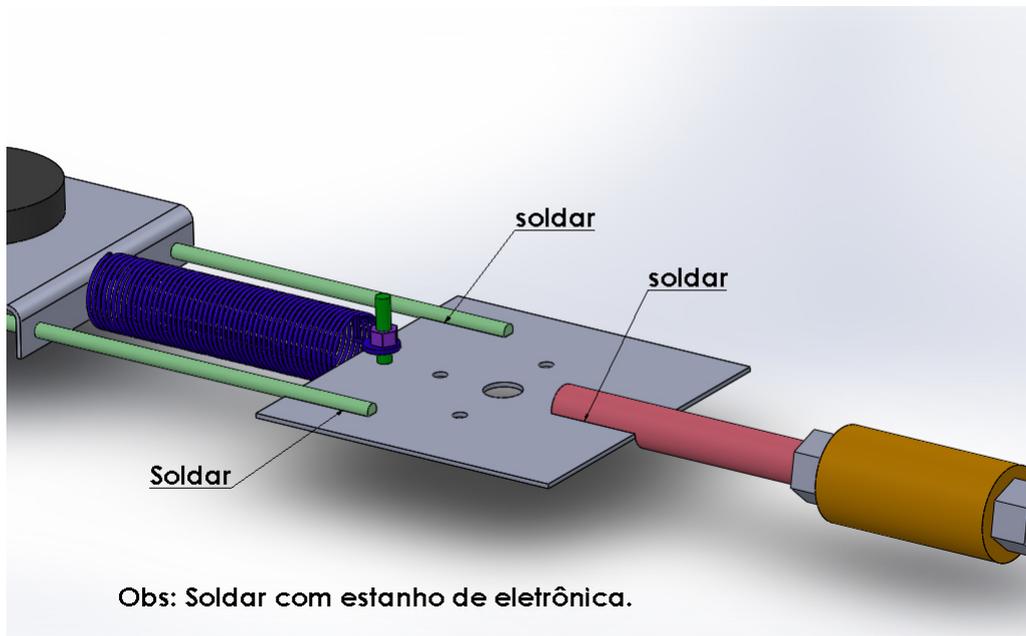


Figura 9: instruções para a correta soldagem.

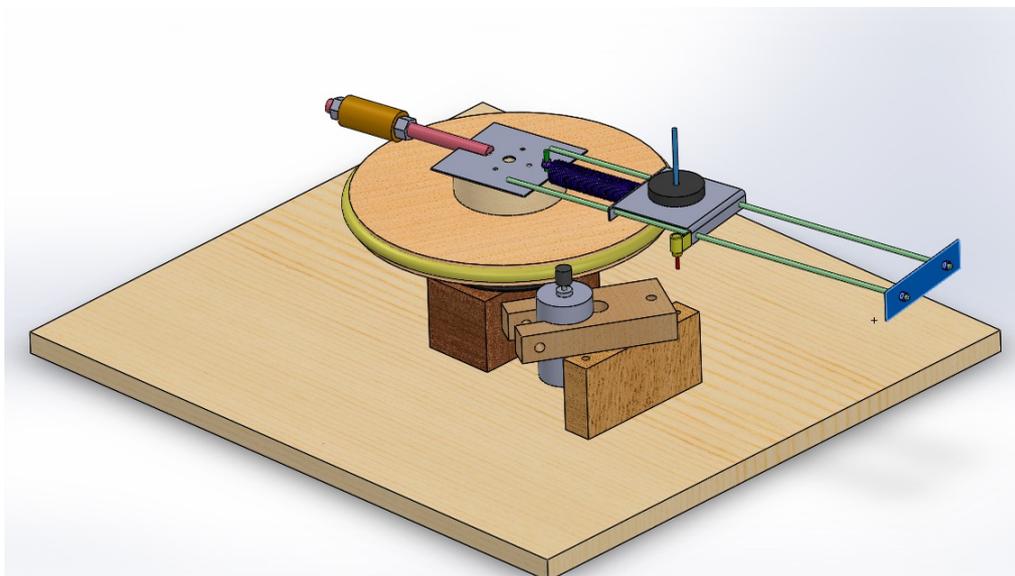


Figura 10: ilustração da peça única formada após a fixação das partes inferior e superior.

## Arduino

A placa de Arduino foi de imensa importância para este projeto. Inicialmente, as aferições dos períodos de rotação eram feitas apenas com o auxílio de um cronômetro. Era aferido o tempo de algumas voltas e calculava-se o período médio.

Esse tipo de aferição não funcionou bem nesse projeto, pois como veremos nas páginas adiante, uma das propostas desse experimento é a aferição das deformações provocadas por diferentes massas girando sob a mesma velocidade angular. Como o ajuste da velocidade é feito por um potenciômetro, era quase impossível ajustar novamente a velocidade angular após desligar o motor para a troca dos discos de diferentes massas, pois era preciso a cada pequeno ajuste no potenciômetro, uma nova aferição da velocidade angular.

A solução seria a obtenção automatizada e instantânea do período de translação dos discos. Para isso, foi usada uma placa de Arduino Uno e um sensor ótico (Figura 11) que utiliza o chip comparador LM393 (datasheet) e na sua extremidade tem um optointerruptor com um vão de 5 mm.



Figura 11: sensor ótico LM393.

A ligação entre a placa Arduino e o sensor ótico é feita através de três fios. A Figura 12 ilustra como deve ser feita a ligação entre a placa e o sensor.

O sensor ótico deve ser fixado junto à base do experimento de modo que o disco encoder (componente 5 da base inferior) fique centralizado no vão existente entre o emissor e o receptor ótico. Dessa forma, quando o disco encoder entrar em movimento, o sinal do feixe oscilará e será possível aferir o período de translação.

O código de programação usado, mais conhecido como sketch, está ilustrado na Figura 13 e serve de referência.

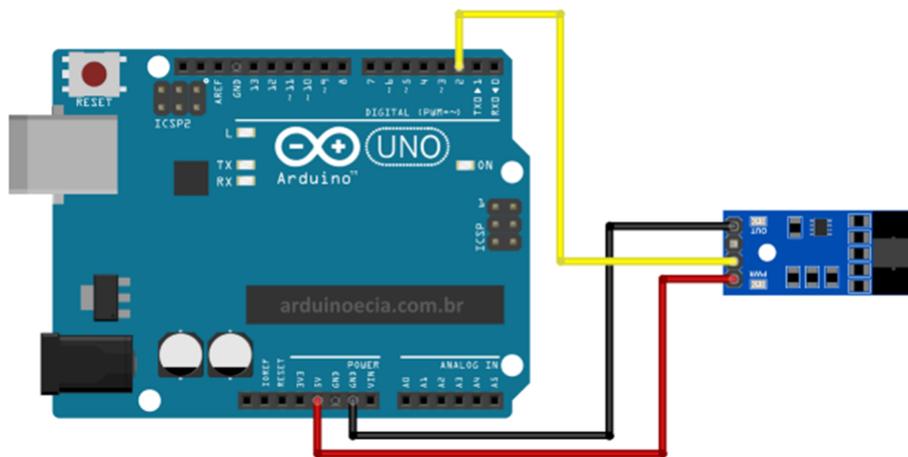


Figura 12: esquema de ligação entre a placa Arduino e o sensor ótico.



```
sketch_dec11a | Arduino 1.8.5
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
sketch_dec11a $
int t;
volatile byte pulsos;
unsigned long tempo;

void contador()
{
  pulsos++;
}

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(2, INPUT);
  attachInterrupt(0, contador, FALLING);
  pulsos = 0;
  t = 0;
  tempo = 0;
}

void loop()
{
  if (millis() - tempo >= 1000)
  {
    detachInterrupt(0);
    t = (millis() - tempo) / ( pulsos / 20 );
    tempo = millis();
    pulsos = 0;
    Serial.print("T = ");
    Serial.println(t, DEC);
    attachInterrupt(0, contador, FALLING);
  }
}
```

Figura 13: sketch utilizado no microcontrolador Arduino.