

# Automação para a base de lançamento de um foguete PET com redução de torque

Sara Guimaraes Negreiros<sup>1</sup>, Glaydson Francisco B. de Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) – Pau dos Ferros – RN – Brasil

squimaraaes@gmail.com, glaydson.barros@ufersa.edu.br

**Abstract.** *The development of experimental equipment with low cost materials, such as teaching support tools in teaching, becomes one of the main solutions to overcome the high cost of this equipment. To ensure user efficiency and safety, manual drives have been replaced by electromechanical drives via the Atmega328 microcontroller. In this work, an automation process with torque reduction for the launch of PET is presented.*

**Resumo.** *O desenvolvimento de equipamentos experimentais com materiais de baixo custo como ferramentas para apoio didático no ensino tem se tornado uma das principais soluções para contornar o alto custo desses equipamentos. Para garantir eficiência e segurança para o usuário houve a substituição de acionamentos manuais por acionamentos eletromecânicos por meio do microcontrolador Atmega328. Neste trabalho é apresentado a automação de um sistema com redução de torque para o lançamento de foguete PET.*

## 1. Introdução

O lançamento de foguete de garrafa PET tornou-se comum como ferramenta de apoio didático para o ensino de física. Conforme o trabalho de De Sousa (2007) observa-se a análise de conceitos como centro de massa, centro de pressão, movimento do foguete durante a ejeção de água, entre outros, dentro dessa temática. Este trabalho, assim como o desenvolvido por Negreiros e De Oliveira (2017), é voltado para a base de lançamento desses foguetes de PET.

O sistema de lançamento deste artigo tem como diferencial o uso de catracas de bicicleta para permitir a variação do ângulo de lançamento do foguete na base e demonstrar a aplicação de conceitos como redução de torque, além disso existe ainda um reservatório que será preenchido com o combustível para abastecer o foguete. Esse trabalho objetiva a elaboração de equipamentos didáticos com materiais de baixo e aplicando conceitos de eletrônica e automação com o microcontrolador Atmega328.

O trabalho é organizado de modo que na sessão 2 o sistema de lançamento é descrito por meio de conceitos de física, na sessão 3 outros trabalhos similares são apresentados para realizar um comparativo, enquanto que na sessão 4 é demonstrado todos os processos para automatizar o sistema desde a elaboração do circuito até a lógica de programação implementada. A sessão 5 mostra os resultados obtidos com o lançamento do foguete em ângulos diferentes e, por fim, a sessão 6 apresenta as considerações finais.

## 2. Descrição do sistema pela análise física

Para compreender a motivação em utilizar um sistema de redução de torque é necessário analisar a Figura 1. Nesta temos que a catraca menor com raio  $r_1 = 3\text{ cm}$ , move a catraca maior com raio de  $r_2 = 12\text{ cm}$ . Na base de lançamento a conexão entre as duas catracas é realizada com uma corrente.

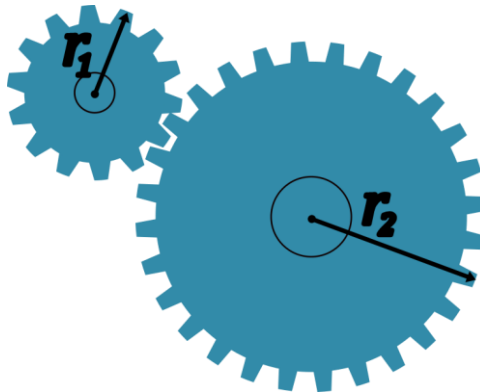


Figura 1. Ilustração do sistema de redução de torque

Sabe-se que o módulo do torque máximo em um sistema pode ser definido conforme Young e Freedman (2008) por,

$$T_i = r_i F \sin \alpha \quad (1)$$

onde  $F$  é a força aplicada para rotacionar o eixo a uma distância  $r_i$  e  $\alpha$  é o ângulo entre essas duas grandezas.

Pela definição da equação (1), e supondo que o ângulo é o mesmo para ambos os eixos, tem-se para o eixo 1,

$$T_1 = r_1 F \quad (2)$$

Já para o eixo 2 tem-se

$$T_2 = r_2 F \quad (3)$$

Como  $r_1 = 4r_2$ , obtém-se,

$$T_2 = 4r_1 F = 4T_1 \quad (4)$$

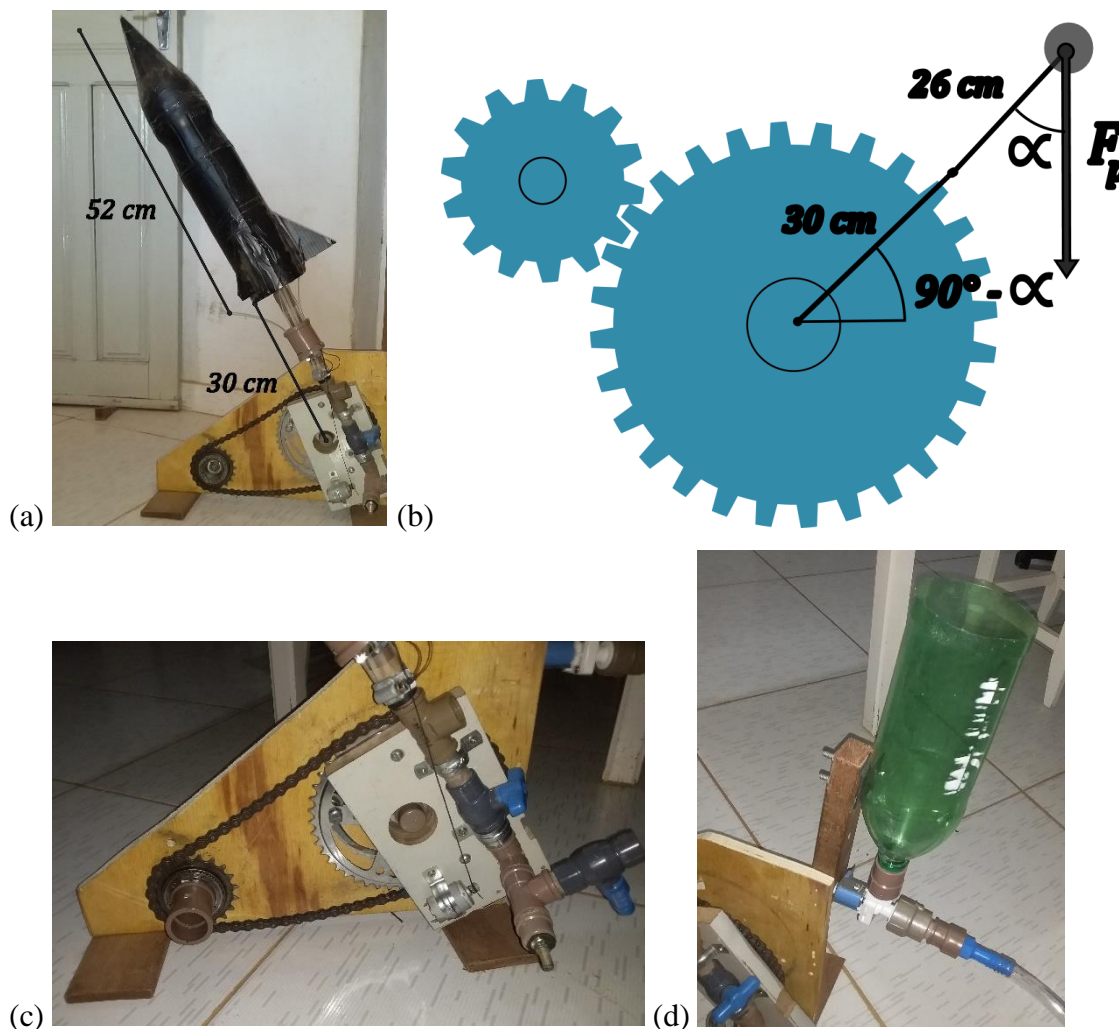
Desse modo, percebe-se que o torque exercido no eixo 2 é quatro vezes maior que o torque exercido pelo usuário no eixo 1. Assim, é gerado um esforço menor para rotacionar o sistema até atingir o ângulo desejado para lançamento.

Com base nas dimensões da Figura 2 (a), é possível estipular o seguinte sistema da Figura 2 (b) em que se supõe que o centro de massa do foguete está centralizado nele, indicado pelo círculo em cor cinza e não opaco, e que a massa do foguete é maior que a massa do encanamento de modo que a massa deste não vai ter influência.

Sendo o ângulo de lançamento de  $45^\circ$ , conclui-se que o torque exercido na coroa com  $600\text{ ml}$  de água é

$$T_2 = 0,56F \sin(45^\circ) = 0,56m_f g \sin(45^\circ) = (0,56)(0,6)(9,8) \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right) = 2,3\text{ Nm} \quad (5)$$

Desse modo, pelo usuário será realizado apenas um quarto desse torque conforme a equação (4), ou seja,  $0,6 \text{ Nm}$ . Ainda é apresentado a ilustração do sistema com torque e do reservatório para o combustível na Figura 2 (c) e (d), respectivamente.



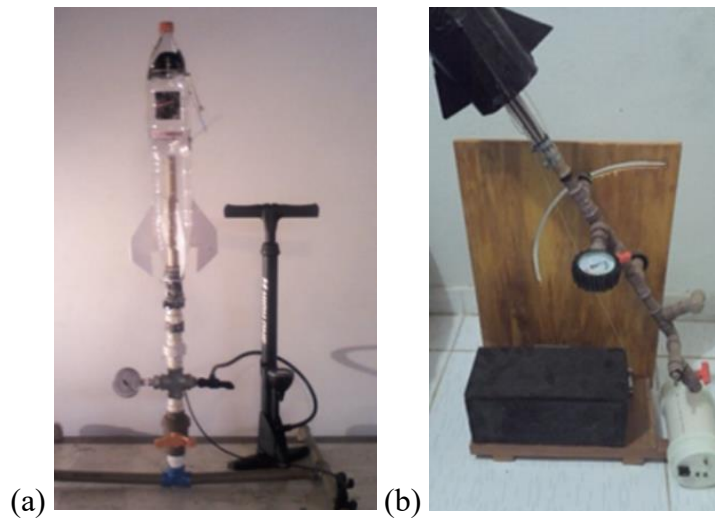
**Figura 2. (a) Medidas na base de lançamento com o foguete; (b) Ilustração do sistema de redução de torque; (c) Sistema de redução de torque; (d) Sistema com reservatório**

### 3. Comparativo com outros trabalhos

Quando comparado com outros trabalhos observa-se que a base de lançamento deste trabalho apresenta maior robustez do que outros modelos de base de lançamento, pois além de permitir a variação angular do lançamento e possuir um sistema eletromecânico para liberar o foguete, esta base possui um sistema com redução de torque e um reservatório para inserir água no foguete.

A Figura 3 (a) apresenta o modelo desenvolvido no trabalho de Cruzinatto *et al.* (2017) que propõem uma base com apoio em H e que permite o lançamento com variação angular pela forma como as conexões foram encaixadas, a Figura (b) apresenta a base de

lançamento desenvolvida por Negreiros e De Oliveira com um sistema de variação angular baseado em arco e ainda um sistema eletromecânico para liberar o foguete.



**Figura 3. (a) Base de lançamento desenvolvida por Cruzinatto *et al.* (2017); (b) Base de lançamento desenvolvida por Negreiros e De Oliveira (2017).**

#### 4. Automação da base de lançamento

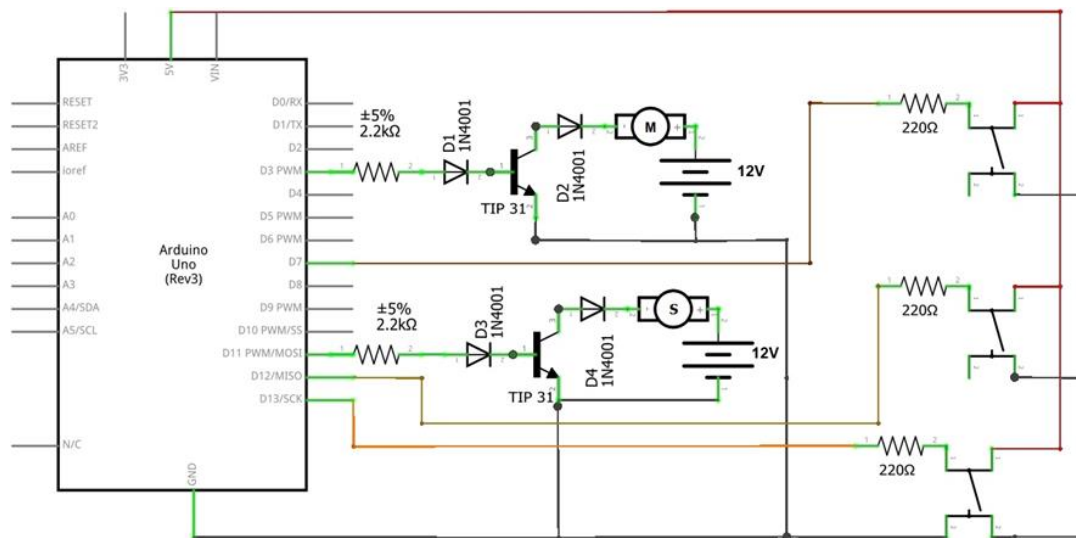
A automação do sistema consiste em duas etapas independentes. A primeira etapa é responsável por liberar o foguete para lançamento utilizando um motor de corrente contínua e a segunda etapa consiste em liberar o combustível do reservatório utilizando uma válvula solenoide. A placa de prototipagem utilizada foi o Arduino Uno que contém o microcontrolador Atmega 328, este microcontrolador foi escolhido por ser *open-source* e de baixo custo.

Analisando o motor vê-se a necessidade de que este trabalhe por apenas um curto período de tempo, pois sua atuação ocorre somente na necessidade de liberar o gatilho de PVC que segura o foguete, trata-se de um sistema eletromecânico devido a interação entre o gatilho e o motor elétrico. Similarmente à válvula solenoide que deve permanecer aberta apenas por períodos de tempo específicos.

A utilização de uma válvula solenoide permitiu utilizar o reservatório do combustível para o foguete e dispensou a necessidade do usuário inserir água diretamente no foguete. Fixando lançamentos com 600 ml de água é possível utilizar o reservatório de 2 litros durante três lançamentos. Após alguns ensaios experimentais estipulou-se que, partindo de um reservatório cheio, para o primeiro, segundo e terceiro lançamento era preciso deixar a válvula solenoide aberta por 20, 32 e 40 segundos, respectivamente. Para controlar a válvula e o motor foi elaborado o circuito da Figura 3<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> O código para o arduino é disponibilizado no repertório <https://github.com/guimaraaes/base-lancamento-com-reducao-torque-para-foguete-pet>



**Figura 3. Circuito para controle da válvula solenoide e do motor**

A Tabela 1 relaciona os pinos digitais utilizados na placa de prototipagem Arduino Uno com suas respectivas atuações no sistema.

**Tabela 1. Descrição das funções dos pinos digitais do Arduino**

Pino Digital	Função
D3	Motor
D7	Acionamento Motor
D11	Válvula solenoide
D12	Acionamento Válvula
D13	Cancelar acionamentos

Nesse circuito os dispositivos são acionados por transistores que atuam como chaves analógicas. O acionamento é realizado conforme a lógica apresentada no fluxograma da Figura 4 que inicialmente vai aguardar o acionamento da válvula solenoide ou o acionamento do motor de corrente contínua. Em seguida, o sistema vai aguardar por um tempo de 3 segundos e caso o botão para cancelar acionamento tenha sido pressionado até o fim desse período o sistema volta a aguardar que algum acionamento seja solicitado, caso contrário, vai seguir para atuar na atividade que foi solicitada. Para o motor o Arduino vai acionar a chave analógica deste por 0,2 segundos e depois desliga-la. Já na válvula solenoide será definido o tempo de abertura da válvula com base em quantas vezes ela já foi acionada e o acionamento vai ser realizado durante aquele tempo.

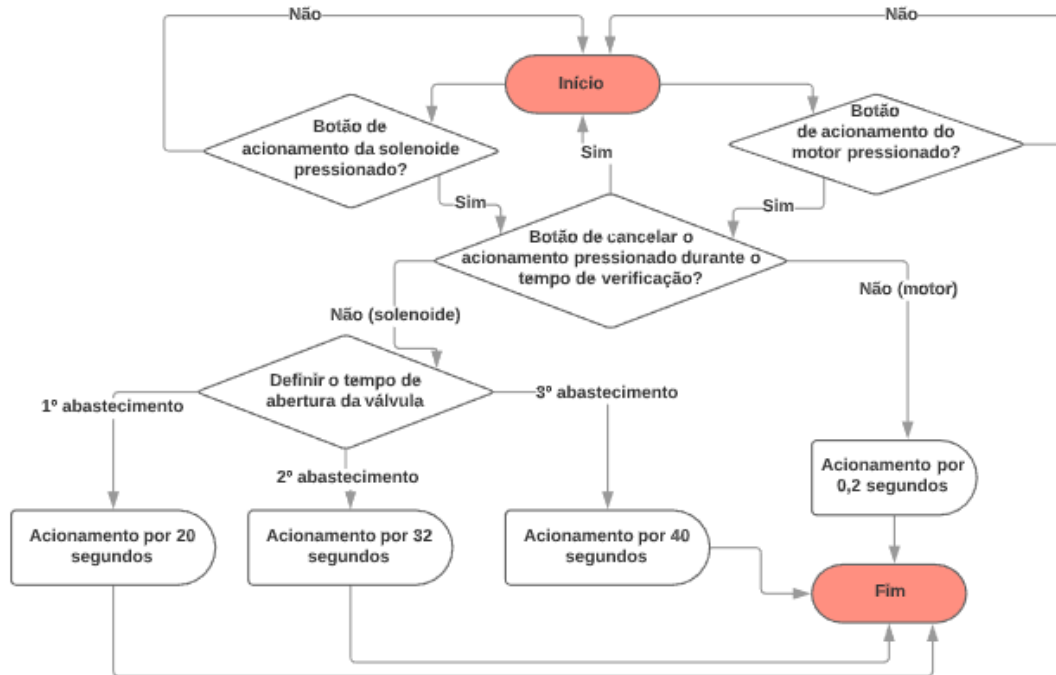


Figura 4. Fluxograma para o funcionamento do sistema de automação

## 5. Resultados e discussões

Realizou-se três lançamentos para análise do movimento com variação angular. Com uma pressão de 60 psi no foguete e 600 ml de água em cada lançamento obtiveram-se os dados de alcance conforme apresentados Tabela 2. Analisando os dados conclui-se, como esperado pela teoria, que o ângulo de 45° para lançamentos com as mesmas condições apresenta o maior alcance horizontal.

Tabela 2. Dados para lançamento com variação angular

Ângulo	30°	45°	60°
Alcance horizontal	50 m	62 m	48 m

Além disso, nos três lançamentos o sistema para liberar o foguete não apresentou nenhuma falha e foi constatado que a válvula solenoide liberou a quantidade correta de água do reservatório para o foguete. Por fim, bastou reabastecer o reservatório e mais lançamentos poderiam ser realizados.

## 6. Consideração finais

O modelo de base de lançamento desenvolvido nesse trabalho atende diversos requisitos importantes no lançamento de foguetes de garrafa PET, pois permite a variação angular do lançamento, possui um sistema eletromecânico para liberar o foguete, ainda contém um sistema com redução de torque para variar o ângulo do foguete e um reservatório com uma válvula solenoide para inserir água no foguete.

O desenvolvimento do sistema foi realizado com materiais de baixo custo sendo parte deles reaproveitados de sucata. Após finalizada a montagem foi observado que o sistema não foi comprometido pelo reaproveitamento dos materiais. O equipamento experimental mostrou-se capaz de explorar diversos conceitos físicos como centro de massa, torque e movimento curvilíneo, comprovou-se ainda que o ângulo de  $45^\circ$  é o ideal para alcance horizontal máximo. Além disso, é possível explorar conceitos de eletrônica e técnicas de automação como temáticas extracurriculares dentro da atividade experimental.

## Referências

- Cruzinato, R. R., D'Ambrosio, A. M., De Andrade, H. F., De Queiroz, A. M., De Toledo Filho, M. F., Duarte, B. R., Lorencetti, V. C., Maéstri, S. A., Martins, R. D. (2017) “Construindo um foguete de garrafas PET e sua base de lançamento de PVC: O protótipo Rocketeers UNIFAL-MG”. Física na Escola, volume 15, nº 1, p. 51.
- De Sousa, J. A. (2007) “Um foguete de garrafa PET”. Física na Escola, volume 8, nº 2, p. 4.
- Negreiros, S. G.; De Oliveira, G. F. B. (2017) “Proposta para o lançamento de foguetes de garrafa PET utilizando uma base automatizada”. Física na Escola, volume 15, nº 2, p. 63.
- Young, Hugh D.; Freedman, Roger A. (2008) “Física I: Mecânica Clássica”. Volume 1, 12ª edição. São Paulo: Addison Wesley.