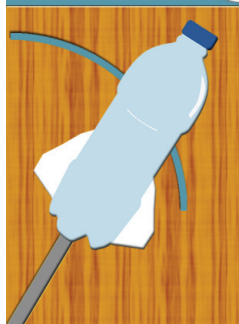


Proposta para o lançamento de foguetes de garrafa PET utilizando uma base automatizada



Sara Guimaraes Negreiros

Centro Multidisciplinar de Pau Dos Ferros, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau Dos Ferros, RN, Brasil
E-mail: sguimaraes@gmail.com

Glaydson Francisco Barros de Oliveira

Centro Multidisciplinar de Pau Dos Ferros, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau Dos Ferros, RN, Brasil
E-mail: glaydson.barros@ufersa.edu.br

Introdução

O estudo de lançamento de foguetes feitos de materiais de baixo custo é bastante difundido tanto na educação básica quanto no ensino superior. Todos esses experimentos são desenvolvidos com o intuito de solucionar a problemática da ausência de materiais de laboratório, focando na acessibilidade sem perder a eficácia fenomenológica e conceitual envolvida [1]. Souza [2], em seu trabalho, descreve a construção de um foguete utilizando garrafas descartáveis de PET de 2 L, bem como a montagem de um sistema de propulsão à base de água e ar comprimido, objetivando estimar a velocidade máxima do foguete e sua aceleração durante o período de ejeção da água.

Na perspectiva do desenvolvimento de materiais laboratoriais de baixo custo, como o estudo desenvolvido por Cuzinato [3], neste trabalho propomos a construção de uma base de lançamento de um foguete de garrafas PET com acionamento eletromecânico e variação angular em arco, projetada com o intuito de buscar um melhor desempenho.

Construção da base de lançamento

Lixamento das peças de colagem

Antes de qualquer colagem é necessário lixar as partes que receberão a cola, sempre optando por uma única direção em movimentos giratórios (Fig. 1), de modo a garantirmos uma melhor aderência da mesma à superfície, bem como evi-

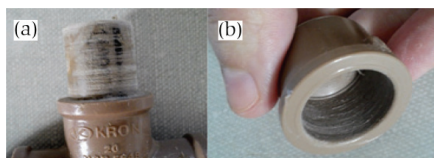


Figura 1: (a) Lixamento de uma extremidade do cano PVC; (b) lixamento do cap.

tarmos qualquer tipo de vazamento.

Fixação de um parafuso a um cap

Faça um furo em um cap garantindo a abertura de 6 mm necessária para a fixação de um parafuso de 5 cm com porca (Fig. 2 a). Para tal, pode-se utilizar um pedaço de câmara de ar nas partes interna e externa do cap (Fig. 2 b), que servirá para melhorar a fixação do parafuso ao mesmo e impossibilitar vazamentos.

Fixação de uma válvula a um cap

Faça um furo em um cap, garantindo uma abertura de 8 mm para a inserção de uma válvula de pneu de bicicleta. A abertura pode variar de acordo com a válvula (Fig. 3). Para melhor fixação e vedação, pode-se utilizar um pedaço de câmara de ar nas partes interna e externa do cap (Fig. 3a-b).



Figura 2: (a) Seleção das peças utilizadas: cap, parafuso, brocas, câmara de ar; (b) fixação do parafuso ao cap com câmara de ar dentro e fora do cap.



Figura 3: (a) Seleção das peças utilizadas: cap, parafuso, brocas e câmara de ar; (b) fixação do parafuso ao cap com câmara de ar dentro e fora do cap.

Por interagir com o discente, a prática é o método mais eficaz de expor o conteúdo teórico e captar a atenção do aluno, assim como despertar questionamentos. O lançamento de foguetes de garrafa PET torna-se um dos principais métodos adotados, pois consegue proporcionar o estudo do lançamento curvilíneo de projéteis, das leis de Newton e de momento linear, além de introduzir conceitos como a resistência do ar. Neste trabalho apresentamos um meio alternativo, eficaz, com materiais acessíveis e técnicas básicas para a construção de uma base de lançamento para foguete de garrafas PET. Com o acionamento eletromecânico pode-se garantir a segurança e a estabilidade do lançamento na montagem. Utilizando-se um circuito com arduino e variação angular em arco, garante-se que o estudo do lançamento curvilíneo não seja restrito apenas ao usual ângulo de 45°.

Fixação do manômetro a um cap

Faça um furo em um cap, garantindo uma abertura de 10 mm para rosquear a válvula do manômetro, conforme a Fig. 4. É importante que a válvula seja inserida com dificuldade, pois a rosca não deve permitir vazamento (Fig. 4a-b). Esse dispositivo é essencial para monitorar a pressão interna do sistema de lançamento do foguete e deve ser fixado o mais próximo possível do foguete.

Encanamento para compressão de ar

Para a montagem do encanamento para compressão de ar observada na Fig. 5a, devem-se utilizar: seis caps, sendo que dois terão as configurações mencionadas nas Figs 2 e 3 e um será destinado à fixação do manômetro (Fig. 4), dois Ts de 90° com rosca na bolsa central, quatro

Ts de 90° sem rosca, um joelho, dois registros e um adaptador com rosca. Todos os materiais devem ser de PVC de 20 mm. Entre as conexões utilizam-se pedaços de cano de PVC de 20 mm, cujos tamanhos estão identificados na Fig. 5b.

A importância de o sistema de encanamento possuir essa configuração justifica-se pelas seguintes especificações apresentadas na Fig. 5c:

- I – caso queira cancelar o lançamento, basta abrir este registro e, com o registro IV também aberto, o ar será liberado;
- II – o ar será inserido através desta válvula de pneu de bicicleta e, caso não haja nenhum vazamento nas conexões, este será conduzido até o foguete por compressão;
- III – esta parte serve como tampa rosqueada, responsável por permitir a

inserção de água no sistema;

IV – após inserir o ar no encanamento é necessário fechar este registro, pois ele impedirá que o ar saia pela válvula de pneu de bicicleta;

V – este é destinado para o encaixe do manômetro, conforme a Fig. 4;

VI – este parafuso (ver Fig. 2) será um dos responsáveis pela variação angular do lançamento do foguete;

VII – esta distância, que vai da bolsa central do T de 90° ao centro do parafuso, é equivalente a 20 cm e define o raio do arco que aparecerá na variação angular.

VIII – local onde será encaixado o lançador do foguete PET;

IX – esta peça será utilizada como fixador do sistema de encanamento para a compressão do ar à estrutura de variação angular. A mesma será encaixada na bolsa central do T de 90° localizado a 6 cm do primeiro registro.

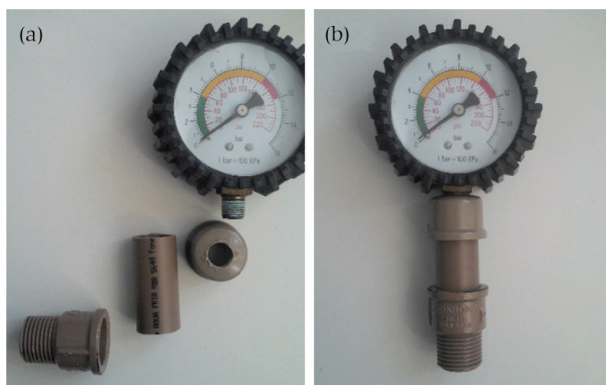


Figura 4: (a) Seleção das peças utilizadas: cap, manômetro, um adaptador com rosca e bolsa, 4 cm de cano PVC de 20 mm; (b) rosqueamento do manômetro no cap furado.

Lançador

A montagem realizada a seguir (Fig. 6) será responsável por prender o foguete durante a inserção de ar e é comumente denominada de lançador. Para realizar a montagem dessa etapa, devem-se colar duas tiras de câmara de ar de pneu no cano de PVC (Fig. 6a) com aproximadamente 1,5 cm de largura e com espaçamento entre elas de 2 cm. Além das tiras poderá ser inserida sobre as mesmas uma fita adesiva dupla face, que facilitará a distribuição das abraçadeiras de nylon para

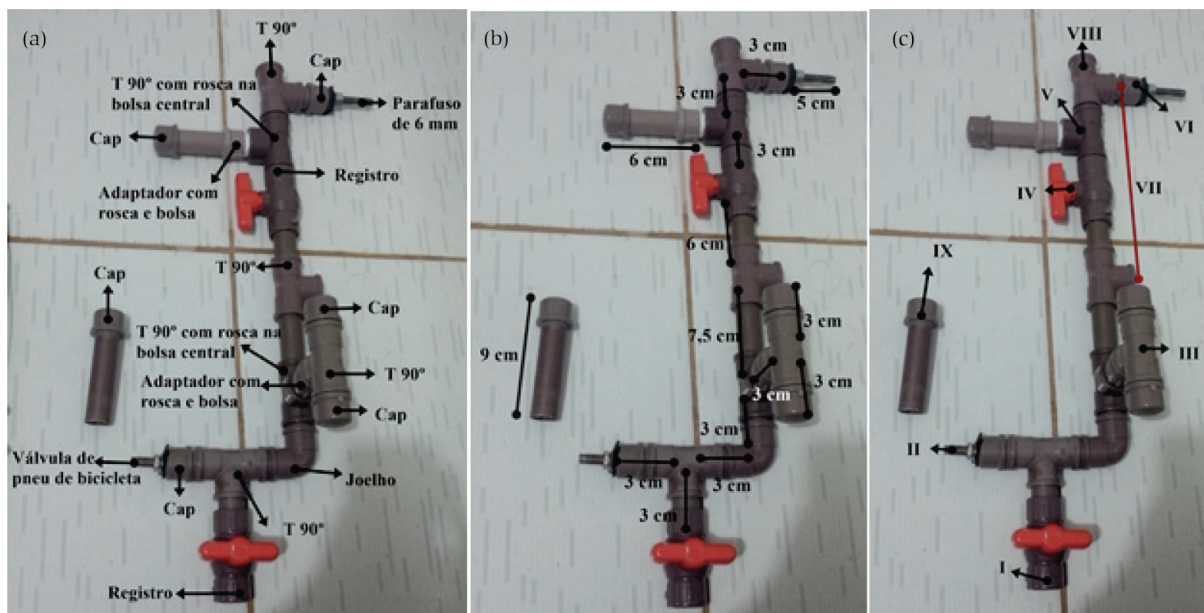


Figura 5: Descrição dos materiais utilizados no encanamento de compressão de ar. (a) 6 caps, 2 Ts de 90° com rosca na bolsa central, 4 Ts de 90° sem rosca, 1 joelho, 2 registros, 2 adaptadores com rosca e bolsa; (b) 13 pedaços de cano de PVC, sendo 10 de 3 cm, 2 de 6 cm, 1 de 7,5 cm e 1 de 9 cm; (c) especificação dos itens enumerados de I a IX.

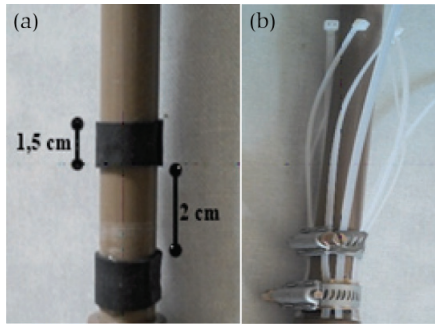


Figura 6: Montagem do lançador: (a) fixação de duas tiras de câmara de ar de pneu no cano PVC; (b) fixação e distribuição das abraçadeiras de nylon com uso de fita dupla face para facilitar a fixação das abraçadeiras de aço inox.

a fixação das abraçadeiras de aço inox sobre estas (Fig. 6b), tomando-se o cuidado para impedir que fiquem frouxas. A extremidade inferior do lançador deverá ter espaço suficiente para colá-la à conexão identificada por VIII na Fig. 5c.

Estrutura do arco para variação angular

A variação angular de uma base de lançamento é fundamental para o estudo do lançamento de projéteis, especialmente quando o quesito é obter alcance máximo. Nesse modelo de base sugerimos um arco (Fig. 7a e b) com raio igual a 20 cm, correspondente à distância estipulada na especificação VII da Fig. 5c, feito em um pai-

nel de madeira. Com uma serra copo deve ser feito um furo de 4,5 cm de diâmetro no centro de curvatura para fixar o rolamento, enquanto que a abertura do arco deve ter 8 mm de espessura, suficiente para a livre passagem do parafuso de 6 mm indicado na especificação VI da Fig. 5c. A base de apoio apresentada na Fig. 7c deverá possuir dimensões iguais a 40 cm × 25 cm × 7 cm, necessárias para sustentar a estrutura que contém todo o

aparelho que envolve o lançamento.

Junção da estrutura com o arco e o encanamento

Para fixar o encanamento na estrutura do arco para a variação angular basta inserir o cano com o cap (item IX da Fig. 5c) pelo rolamento e colar o cano com a bolsa central do T de 90°, conforme apresentado nas Figs. 8 a e b. Caso o rolamento não permita que o cano seja inse-

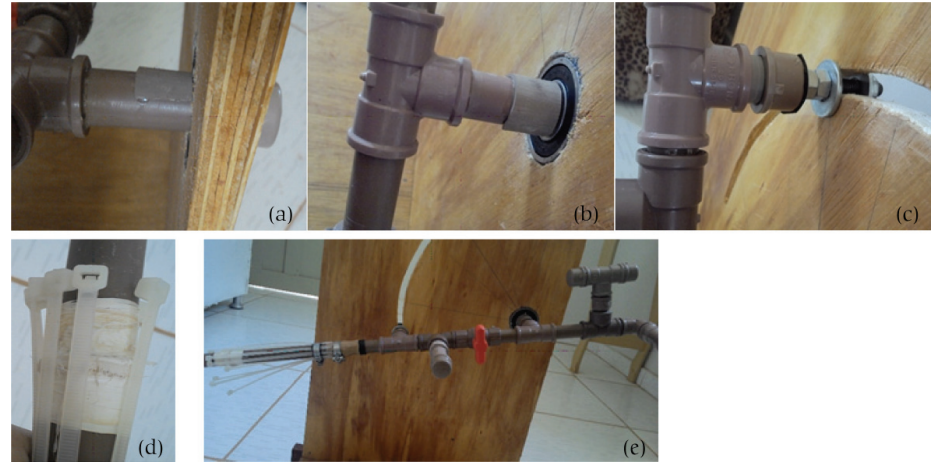


Figura 8: Sequência para a montagem da junção da estrutura do arco com o lançador: (a) inserção do cano com o cap da Fig. 3 pelo rolamento e colagem ao cano com a bolsa central do T de 90°; (b) colagem de um pedaço de cano PVC a fim de impedir que a montagem fique frouxa; (c) inserção de arruelas para auxiliar o parafuso que irá percorrer o arco; (d) inserção de veda rosca entre as cabeças das abraçadeiras de nylon; (e) estrutura da encanação do lançador fixada à estrutura com variação em arco, pronta para receber o foguete de PET.

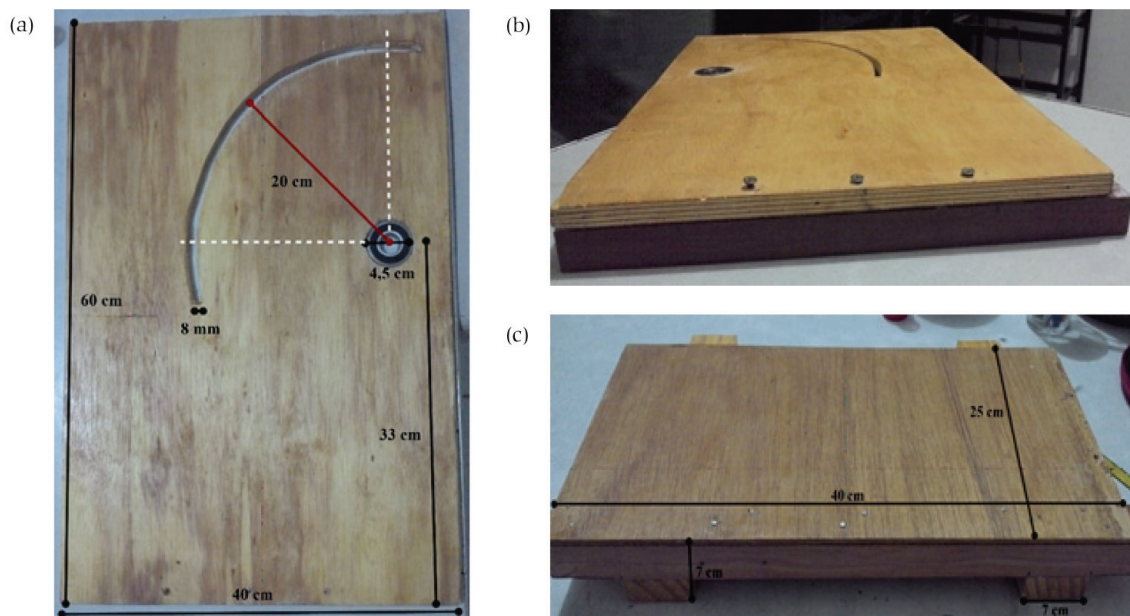


Figura 7: Estrutura em madeira que servirá de suporte para o sistema de encanamento utilizado para o lançamento, com as devidas especificações para a confecção da (a) estrutura do arco de raio igual a 20 cm e para a fixação do rolamento de 4,5 cm localizado no centro de curvatura; (b) O mesmo que em (a) apresentado em uma perspectiva diferente e (c) base de apoio para todo o sistema de lançamento.

rindo com facilidade, é necessário esquentar o cano PVC com cautela para inseri-lo. Note na Fig. 8 b que um pedaço de cano PVC impede que o cano fique frouxo, ou seja, sem movimentos para dentro do rolamento, apenas o giratório. Antes dessa colagem acrescenta arruelas no parafuso que irá percorrer o arco, conforme Fig. 8c, para impedir qualquer movimento indesejável além do plano que contém o arco. Ainda nessa etapa, é necessário inserir veda rosca na região da cabeça das abraçadeiras de nylon com o intuito de permitir que o bocal da garrafa PET seja encaixado de modo firme (Fig. 8 d). Pode-se optar primeiramente por passar esparadrapo e depois acrescentar o veda rosca. Na Fig. 8e observa-se o lançador colado no encaixe do item VIII da Fig. 5c. Note que o encaixe possui uma leve inclinação abaixo do eixo horizontal. Em decorrência disso, para inserir a água no foguete basta colocá-lo no lançador, abrir a tampa do encaixe III na Fig. 5c e deixar que a água siga até o foguete devido a essa inclinação.

Gatilho para o lançador

Para o sistema de gatilho do lançador é necessário utilizar uma luva de PVC de 4 cm de raio. Nesta é necessário realizar dois furos simétricos, com o mesmo espaçamento entre si, e ligá-los com uma fita seda como apresentado na Fig. 9a. Seguindo-se com 1 m da mesma fita, deve ser realizado um nó centralizado com a fita que foi colocada na luva e alocar esta ao lançador do encanamento, conforme Fig. 9b. Nos nós realizados deve-se passar cola (tipo Super Bonder) para impedir que eles desatem.

Caixa para alocar o motor e a bateria de 12 V

Na Fig. 10a é apresentada uma caixa utilizada para colocar um motor e uma bateria de 12 V. Observa-se na Fig. 10b um furo na estrutura de variação angu-

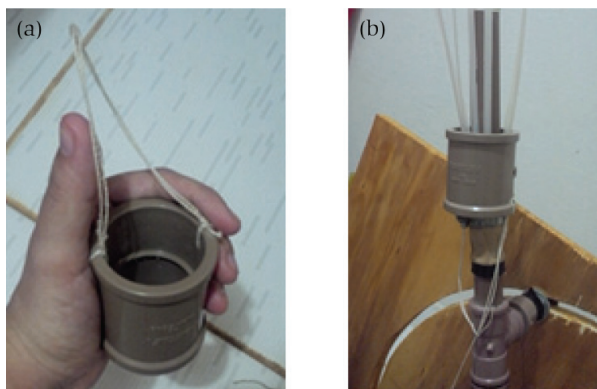


Figura 9: Sistema de gatilho para o lançador: (a) ligação dos furos pela fita seda; (b) fixação de um metro de fita seda no aparato de (a) e alocação deste no lançador.

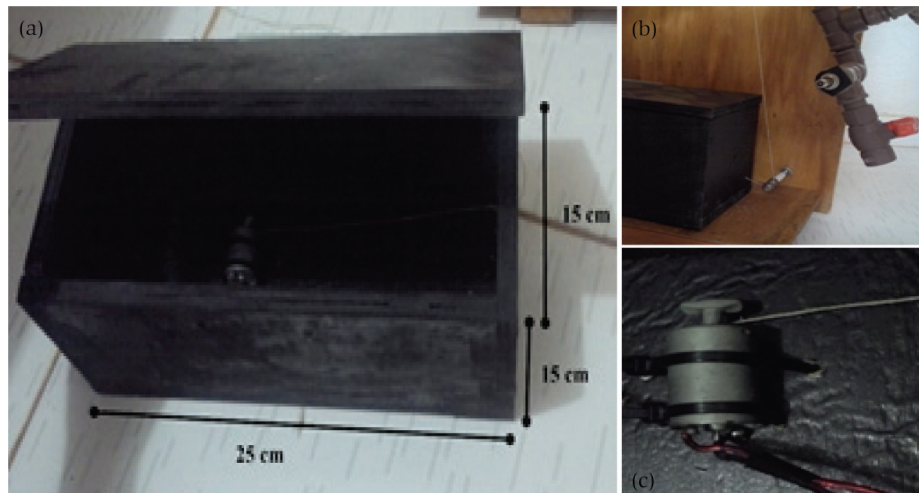


Figura 10: Sistema utilizado para a automação da estrutura do lançador com: (a) caixa cujas dimensões sejam suficientes para colocar o motor e uma bateria de 12 V; (b) parafuso utilizado para direcionar o fio para dentro da caixa, preso na parte inferior da estrutura com o arco; (c) aparato para fixação do motor utilizando duas abraçadeiras de nylon e com o fio preso em seu bico.

lar para a inserção de um parafuso. Outro furo é realizado na caixa da Fig. 10a com a mesma altura, de modo que um fio de 1 m da estrutura da Fig. 9b possa ser direcionado, através do parafuso, para dentro da caixa. Ainda nessa etapa, pode-se observar nas Figs. 10a e 10c que o fio pode ser envolvido por veda rosca, tanto para retardar a corrosão dele quanto para facilitar seu deslizamento. O motor dentro da caixa é preso com abraçadeiras de nylon e possui o fio preso em seu bico com cola tipo Araldite (Fig. 10 c).

Acionamento do foguete: circuito e código

Neste estudo utilizamos um circuito (Fig. 11a) com o uso de arduino, uma protoboard e componentes eletrônicos. Dentre as peças utilizadas para esse circuito temos o transistor *NP tip 31* com três terminais: a Base, o Coletor e o Emissor, da esquerda para a direita na ilustração da Fig. 11a.

No circuito tem-se até 5 V entrando na Base por meio do pino digital 2. O Coletor está conectado a um terminal no motor. O Emissor está conectado ao terra. No entanto, sempre que for aplicada uma voltagem na Base por meio do pino digital 2, o transistor liga, permitindo que a corrente flua por ele, entre o Emissor e o Coletor e, assim, alimentando o motor, que está conectado em série com esse circuito.

Entre o terminal que faz ligação com o arduino alocamos um resistor de 2,2 k Ω e um diodo. O diodo permite que a corrente siga apenas um caminho, isto é, segue pela extremidade que não contém a faixa branca e não realiza o caminho no sentido oposto. Utilizamos dois diodos, como apresentado na Fig. 11a.

Além disso, temos um led vermelho e um led verde. Sua funcionalidade é transmitir uma mensagem visual ao usuário quanto ao acionamento. Após acionado o botão 1, o led vermelho vai acender durante 5 s, seguindo-se o led verde durante 2 s após os 5 s. Se mantivermos o botão 2 pressionado durante esse intervalo, o acionamento será cancelado. Caso contrário, o motor irá funcionar e apenas o led verde ficará acesso enquanto isso. Ambos os leds possuem um resistor de 300 Ω nos seus terminais positivos (pernas maiores), enquanto que os botões estilo *pushbutton* estão com resistores de 10 k Ω .

Ainda na Fig. 11 a, observe que há no circuito uma fonte de 12 V para alimentação do motor. Os dois fios na cor laranja foram unidos aos jumpers que estão na protoboard e serão direcionados

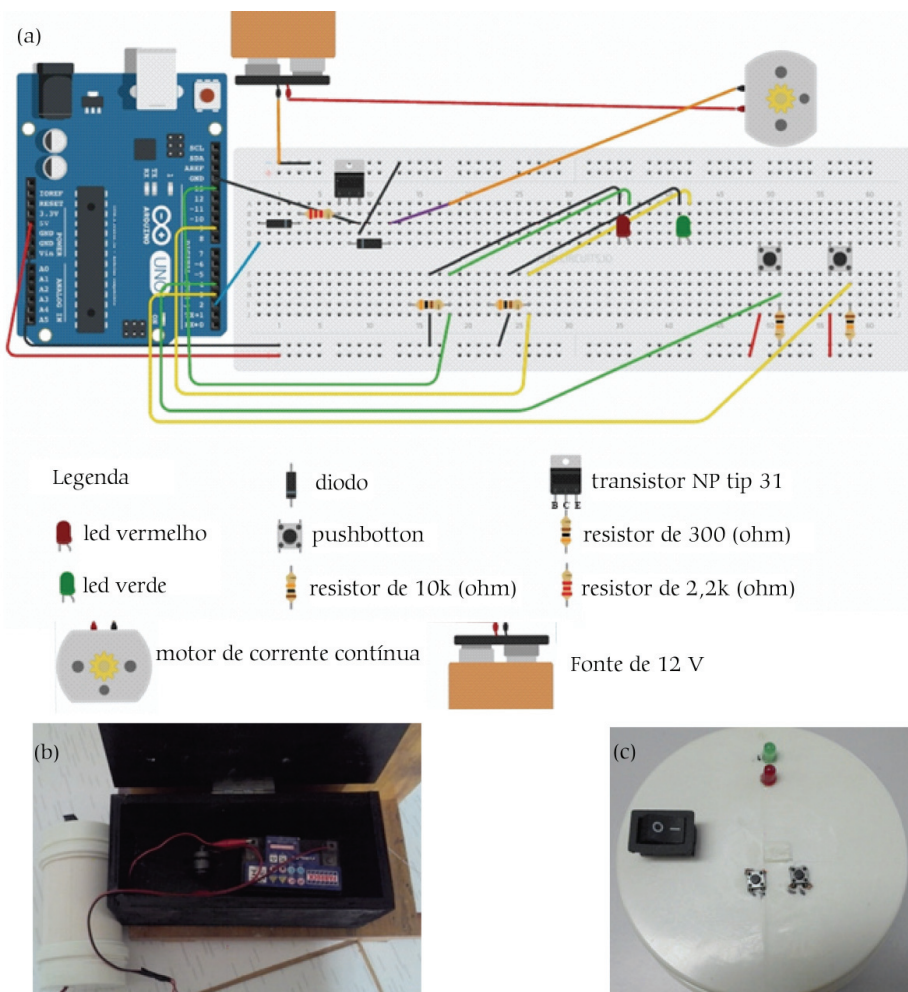


Figura 11: Esquema e estrutura do circuito: (a) placa protoboard e arduino; (b) direcionamento dos fios para a base de lançamento e ligação dos terminais da bateria de 12 V com o sistema de acionamento feito de (c) cano PVC de 100 mm de diâmetro e 25 cm de comprimento e um cap em cada extremidade.

para a base de lançamento, sendo um para a bateria e um para o motor. Além das peças utilizadas na Fig. 11a e citadas no texto até o momento, utilizamos uma bateria de 9 V com um cabo plug P4 para alimentação do arduino. Como os fios na protoboard foram concentrados em uma das extremidades, não comprometemos a visualização dos leds e o uso dos botões.

Com o intuito de proteger nosso circuito optamos por inseri-lo em um cano de PVC 100 mm com 25 cm de comprimento e um cap em cada extremidade. Nessa estrutura realizamos no cap inferior uma abertura para permitir que os fios laranja do circuito da Fig. 11a fossem direcionados para a caixa da base de lançamento e ligados em seus respectivos terminais (Fig. 11b). Já no cap superior realizamos furos para permitir a alocação dos leds e dos botões (Fig. 11c). Observe o interruptor simples que também está alocado no cap. Em um terminal tem-se o cabo plug P4 e no outro a bateria de

9 V. Desse modo, determinamos quando o arduino deve estar trabalhando, ainda



Figura 12: Base de lançamento com um foguete pronto para o lançamento. (a) Vista superior; (b) vista lateral.

que apenas na espera de algum comando.

Após posicionarmos os botões e os leds, soldamos um fio condutor a um terminal do botão, por exemplo, e ligamos o outro lado do fio ao jumper da protoboard com fita isolante. O botão foi encaixado e colado na superfície do cano de PVC com cola tipo Araldite. Na disponibilidade de uma protoboard menor pode-se optar por alocar o seu circuito nesta e, assim, diminuir o tamanho do cano de PVC.

Após finalizarmos o circuito, realizamos no IDE (do inglês *integrated development environment* ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado) para arduino, isto é, o ambiente que desenvolve um código que corresponde à linguagem em que o arduino consegue interpretar e realizar comandos. No Apêndice apresentamos o código para esse estudo com linhas de comentários. Em suma, o motor vai trabalhar apenas durante 0,2 s depois de acionado. Esse tempo, necessário para liberar o foguete, deve ser testado antes para evitar qualquer dano.

Por fim, apresentamos em duas vistas na Fig. 12 a estrutura de lançamento com um foguete pronto para o lançamento.

Conclusão

Após finalizarmos a base e realizarmos alguns lançamentos, concluímos que ela possui desenvoltura e estabilidade para o lançamento, além de atender com êxito às necessidades exigidas. O foguete pode ser lançado em qualquer ângulo entre 0° e 90° , que podem ser obtidos através das medidas do raio e do comprimento do arco varrido pelo sistema do lançador, sendo este um fator crucial para o estudo do movimento curvilíneo.

O acionamento remoto do lançamento eliminou a instabilidade gerada pelo acionamento mecânico, que comumente é feito por alguma pessoa. No acionamento mecânico pode ocorrer o deslocamento da base durante a tentativa de puxar o gatilho, o que não ocorre pelo acionamento remoto proposto neste trabalho. Além disso, nossa proposta oferece maior segurança ao usuário, visto que sua interação é unicamente com o gatilho no momento do lançamento. Dessa forma, a base de lançamento automatizada pode ser utilizada como ferramenta metodológica para o estudo de movimento curvilíneo.

Com este trabalho é possível abordar diversas áreas do conhecimento, como mecânica clássica, programação e eletrônica. Desse modo, é possível fornecer aos alunos uma visão mais ampla e até mesmo necessária acerca da integração entre áreas distintas, visto que o mercado de trabalho está cada vez mais restrito, em busca de inovação e praticidade. A integração de diferentes áreas é também indispensável para a obtenção de resultados experimentais ou para a comprovação de teorias. Nossa proposta mostra que isso pode ser feito sem a necessidade do desenvolvimento de projetos com grandes complicações ou apenas superficiais.

Referências

- [1] E.I. Santos, L.P.C. Piassi e N.C. Ferreira, in: *Anais do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física*, Jaboticatubas, MG (2004), p. 9.
- [2] J.A. de Souza, *Física na Escola* **8**(2), 4 (2007).
- [3] R.R. Cuzinato, A.M. D'Ambrosio, H.F. de Andrade, A.M. de Queiroz, M.F. de Toledo Filho, B.R. Duarte, V.C. Lorencetti, S.A. Maéstri e R.D. Martins, *Física na Escola* **15**(1), 51 (2017).
- [4] M. McRoberts, *Arduino Básico* (Novatec Editora, São Paulo, 2011), 453 p.

Apêndice: código para o circuito com a placa arduino

```
const int ledvermelho = 1; //Led vermelho conectado ao terminal 13 do arduino
const int ledverde = 2; //Led verde conectado ao terminal 9 do arduino
const int acionar = 4; //Botão 1 conectado ao terminal 4 do arduino
const int cancelaracionamento = 3; //Botão 2 conectado ao terminal 3 do arduino
const int motor = 5; //Base do transistor (motor) conectado ao terminal 2 do arduino

void setup() { //Definição se os terminais recebem o sinal (input) ou transmitem um sinal (output)
  pinMode (acionar, INPUT);
  pinMode (motor, OUTPUT);
  pinMode (ledvermelho, OUTPUT);
  pinMode (ledverde, OUTPUT);
  pinMode (cancelaracionamento, INPUT);
}

void loop() {
  if(digitalRead(acionar)== HIGH){ //Se o botão 1 for pressionado
    digitalWrite(ledvermelho, HIGH);
    delay(5000); //Led vermelho aceso por 5s
    digitalWrite (ledverde, HIGH);
    delay(2000); //Led verde aceso por 2s
    if (digitalRead (cancelaracionamento)== HIGH){ //Se o botão 2 estiver pressionado
      digitalWrite (ledvermelho, LOW); //Apaga led vermelho
      digitalWrite (ledverde, LOW); //Apaga led verde
    } else { //Caso contrário
      digitalWrite (ledvermelho, LOW); //Led vermelho desligado
      digitalWrite (motor, HIGH);
      delay(200); // Motor trabalha por 0,2s
      digitalWrite (motor, LOW); //Motor desligado
      digitalWrite (ledverde, LOW); //Led verde desligado
    }
  }
}
```