

# MAC0209 Modelagem e Simulação

## Relatório do experimento 2

Augusto César - 8941234

Paulo Araújo - 8941112

Eric Lee - 7557095

7 de Novembro de 2016

### 1 Introdução

Este estudo pretendeu modelar os movimentos de pêndulo e lançamento de projétil, comparando-os com a realização de experimentos. Para o primeiro, um celular foi utilizado como a massa oscilante, preso à uma linha; no segundo, outro aparelho celular foi o sensor, porém acoplado a um foguete, lançado obliquamente. Para cada um dos movimentos, usaremos o algoritmo de Euler e suas variações, para simulá-los. Serão considerados com e sem resistência.

### 2 Método

Um aparelho celular, provido de capa protetora, fora amarrado por um barbante, cuja outra ponta estava fixa à parte de baixo de uma passarela. A linha possuía 1,4m de comprimento. A massa era suspensa até o ângulo entre o chão e o cordão formar  $60^\circ$ . O sensor iniciava a captura de dados, era solto para oscilar livremente e uma pessoa interrompia o movimento após 8 a 10 períodos.

Já no lançamento de projétil, foi construído um foguete com garrafa plástica, asas de papelão e uma rolha em seu bico. Na base dessa, estava um bico de outra garrafa, para construir o nariz do foguete. O "combustível" para a propulsão era composto de dois reagentes: 200mL de vinagre (20% ácido acético,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), que era inserido pela base; 20g de bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ), colocado dentro de uma trouxa de papel toalha,

amarrado por uma linha, inserido na garrafa, fechada com uma rolha de forma a deixar o papel sem entrar em contato com o líquido. Acionava-se a captura de dados e a construção era virada e colocada sobre a base de lançamento, composta de dois canos com inclinação de  $80^\circ$ . Nesse momento, os componentes químicos reagiam, sendo um dos produtos o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). O gás realiza pressão sobre todas as paredes, porém a rolha será expelida junto ao conteúdo e, em reação, o foguete era lançado em sentido oposto. Agindo sobre este corpo está a gravidade, fazendo a velocidade reduzir a zero e aumentar em módulo, em seguida. Como a velocidade horizontal é modelada constante (e no experimento há apenas uma redução), a combinação dos movimento será uma parábola. A distância percorrida horizontalmente foi medida por régua e a altura por filmagem e escala de objeto de 1,85m.

## **2.1 Local**

Os experimentos de pêndulo foram realizados na passarela de acesso ao CCSL, por possuir altura compatível com a necessidade do movimento e não havia vento lateral relevante.

Já os lançamentos, na Praça do relógio. O local possui campo extenso suficiente e propício à aterrissagem, pois a grama evita o choque abrupto com o solo.

## **2.2 Sensor**

As medições de aceleração foram possíveis com o aplicativo Physics Toolbox Sensor Suite, utilizado no celular. As medições de ângulo foram obtidas através de um aplicativo de smartphone chamado Angle Meter, e as medições de distância foram obtidas com uma trena.

### 3 Dados

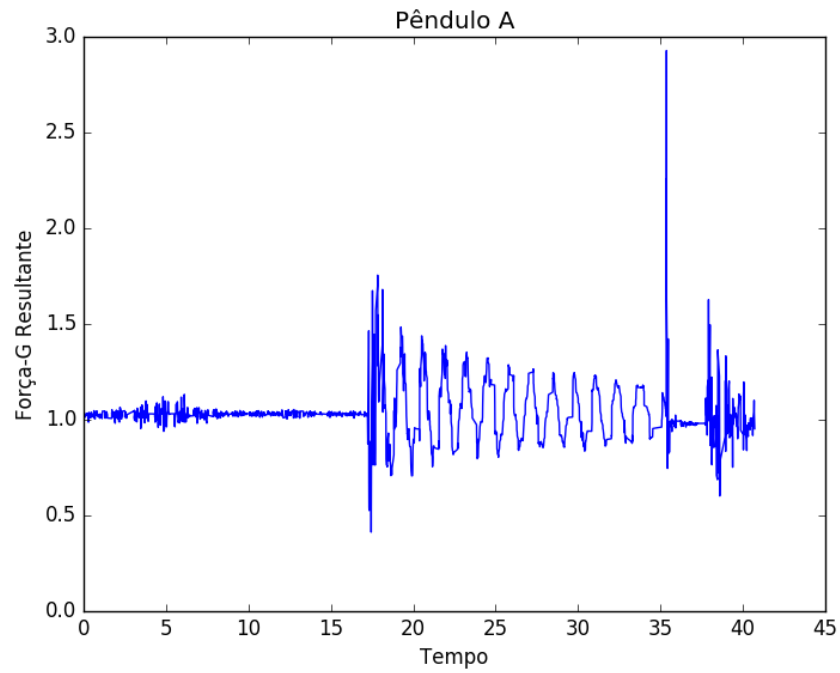


Figura 1: Sensor da Força-g no primeiro experimento do pendulo

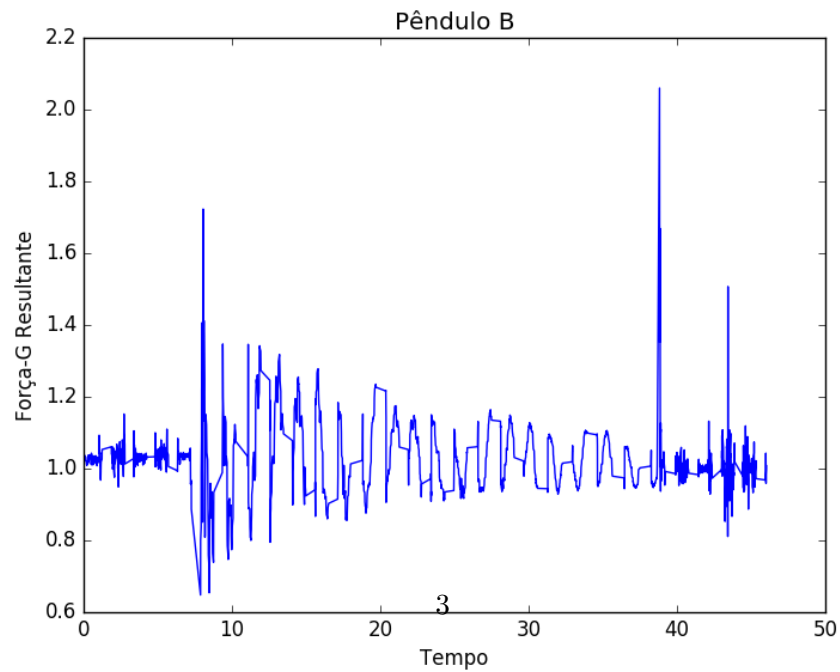


Figura 2: Sensor da Força-g no segundo experimento do pendulo

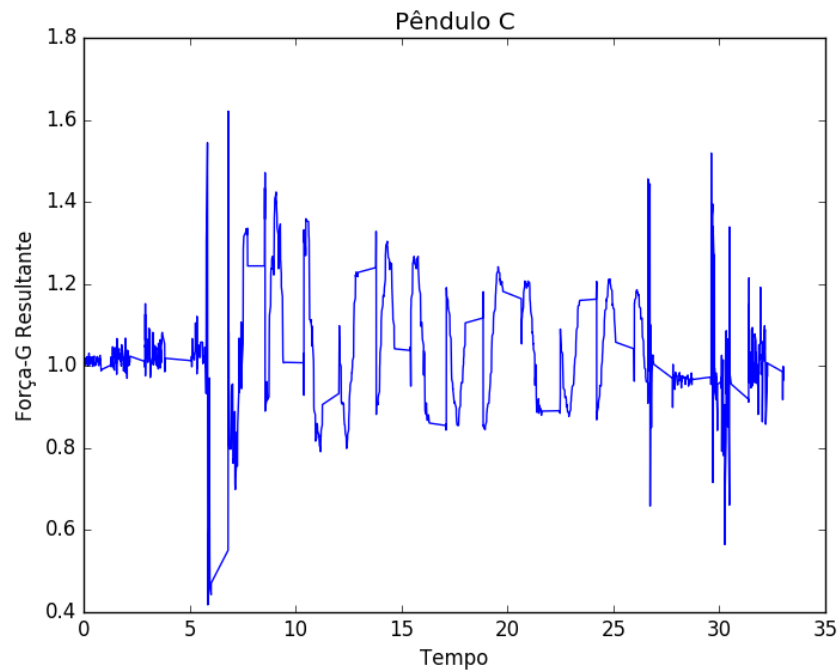
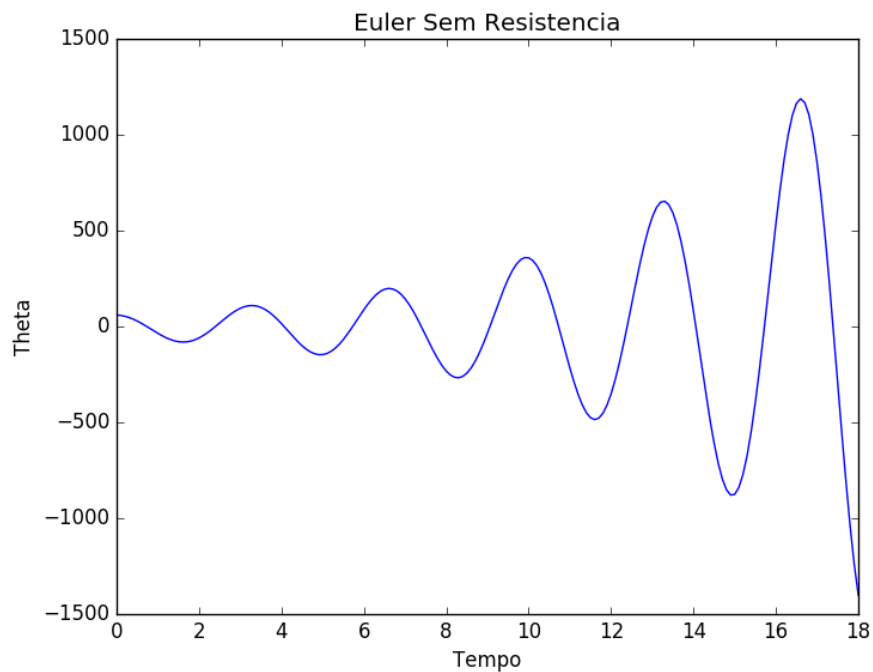


Figura 3: Sensor da Força-g no terceiro experimento do pendulo



4

Figura 4: Simulação do angulo do Pendulo, usando o método de Euler sem considerar Resistencia

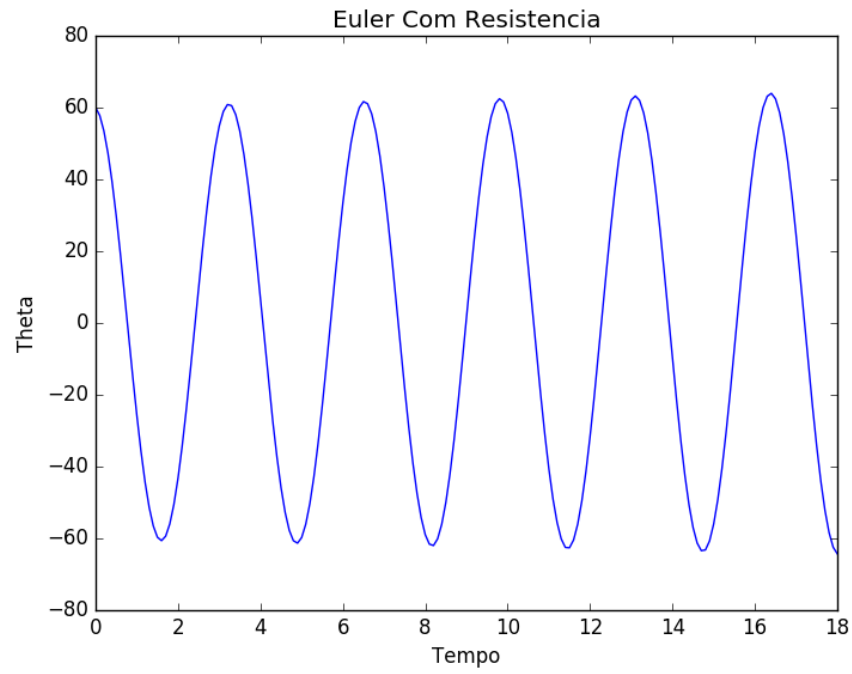


Figura 5: Simulação do angulo do Pendulo, usando o método de Euler considerando uma resistencia

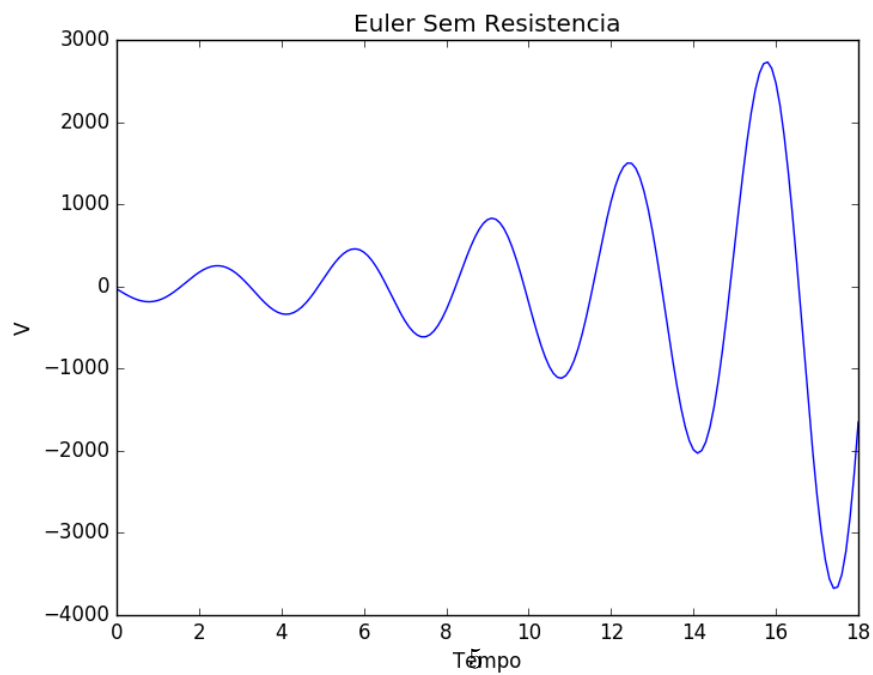


Figura 6: Simulação da velocidade angular do Pendulo, usando o método de Euler sem considerar uma resistencia

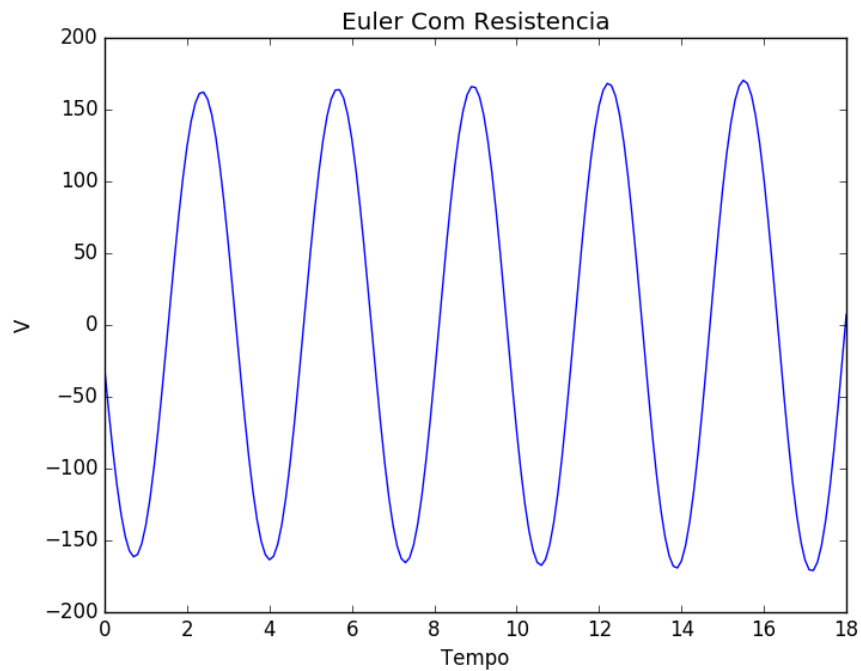


Figura 7: Simulação da velocidade angular do Pendulo, usando o método de Euler considerando uma resistencia

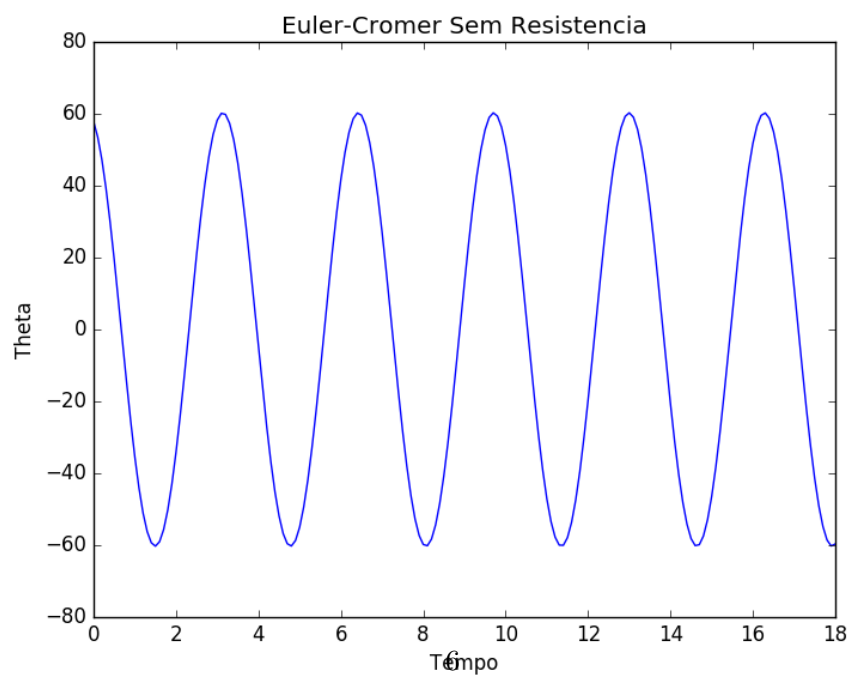


Figura 8: Simulação do ângulo do Pendulo, usando o método de Euler-Cromer sem considerar uma resistencia

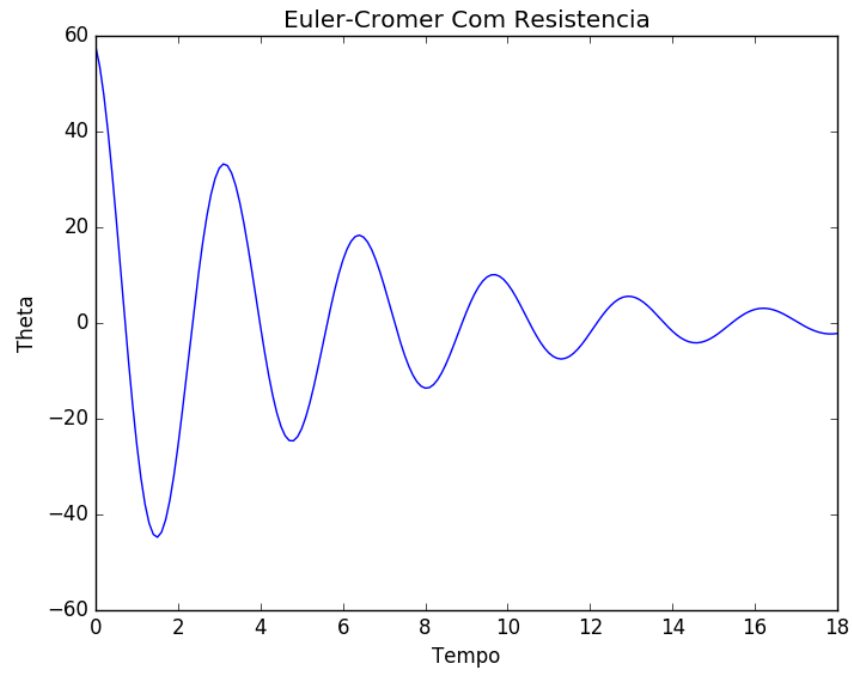


Figura 9: Simulação do ângulo do Pendulo, usando o método de Euler-Cromer considerando uma resistencia

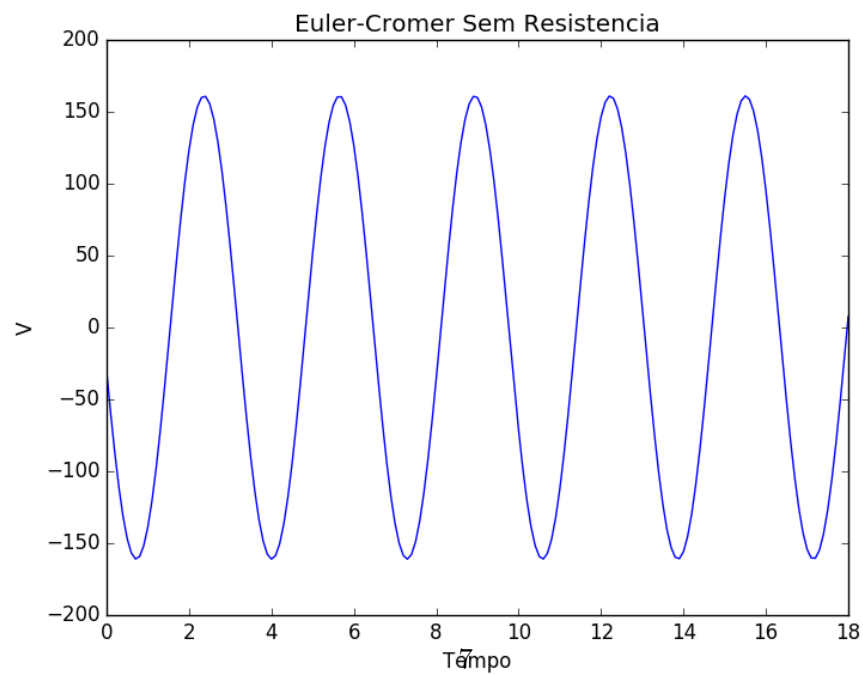


Figura 10: Simulação da velocidade angular do Pendulo, usando o método de Euler-Cromer sem considerar uma resistencia

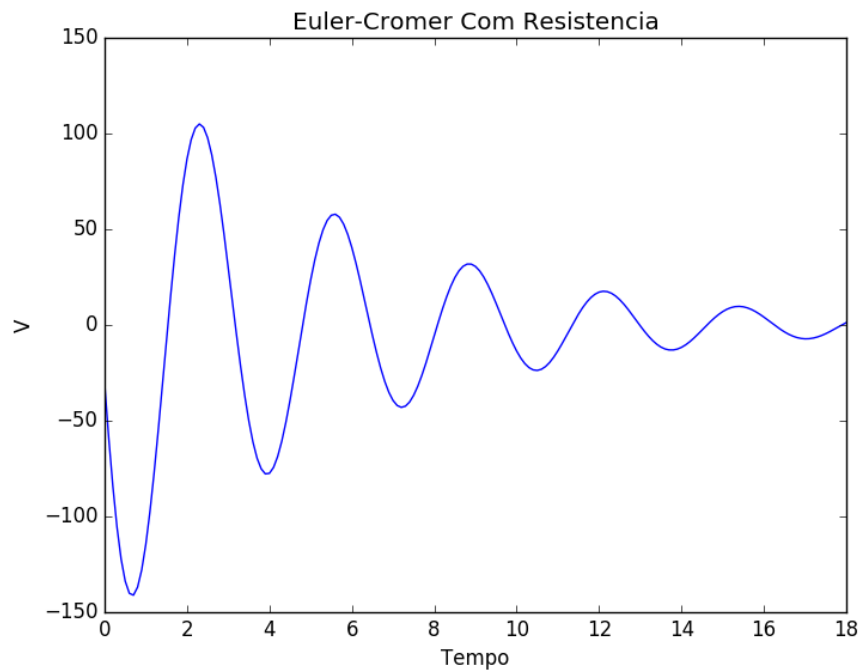


Figura 11: Simulação da velocidade angular do Pendulo, usando o método de Euler-Cromer considerando uma resistencia

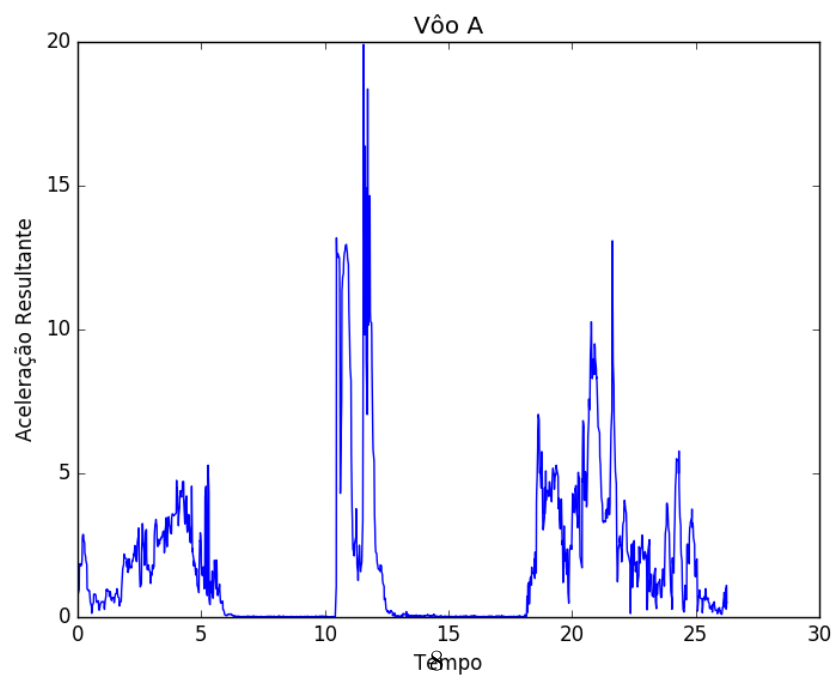


Figura 12: Sensor da aceleração linear no primeiro experimento do foguete



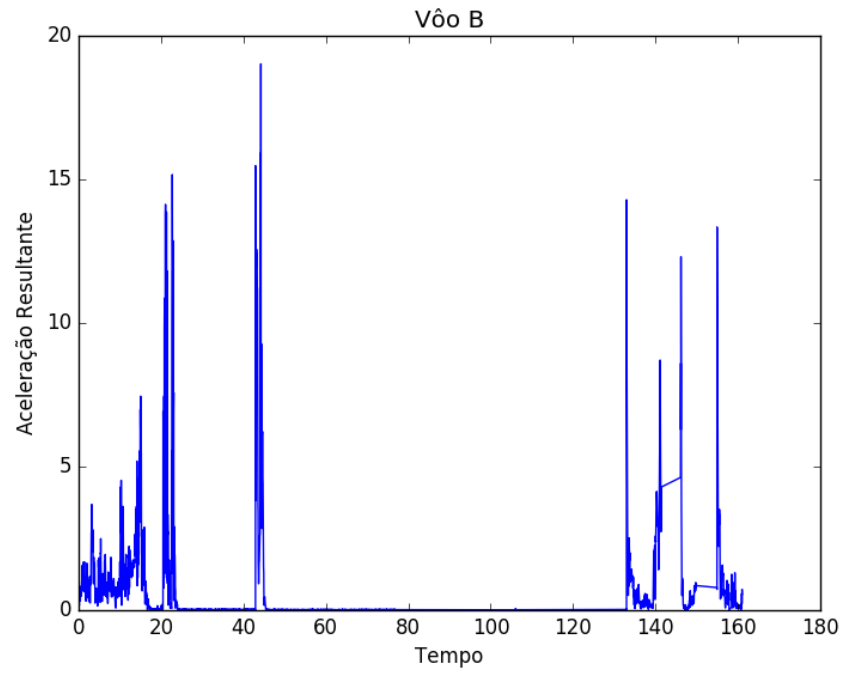


Figura 13: Sensor da aceleração linear no segundo experimento do foguete

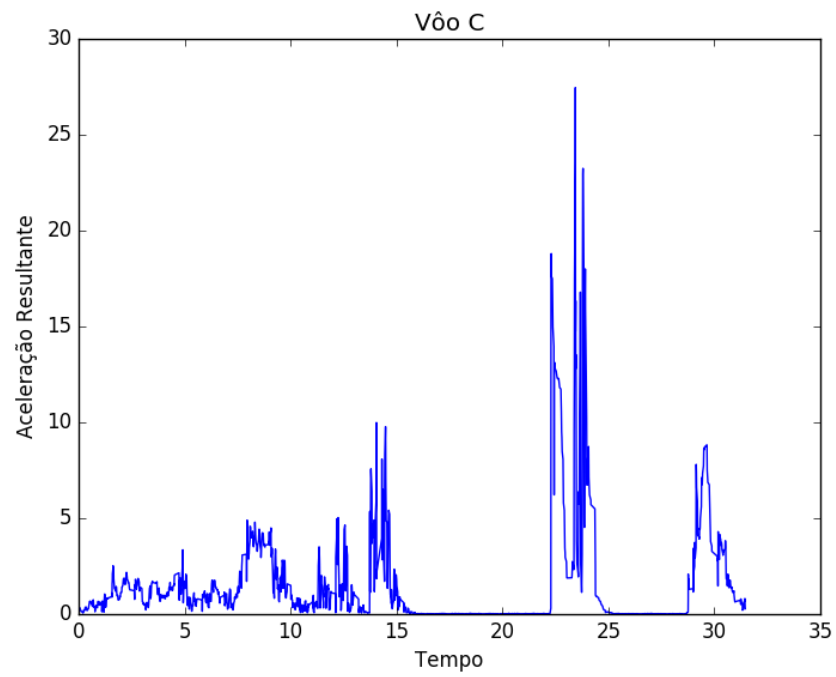


Figura 14: Sensor da aceleração linear no terceiro experimento do foguete

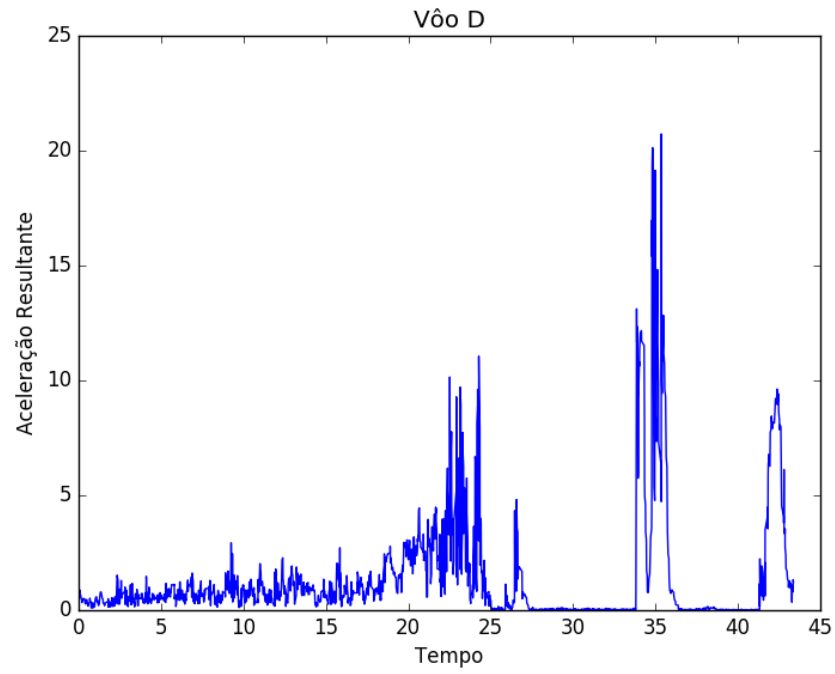


Figura 15: Sensor da aceleração linear no quarto experimento do foguete

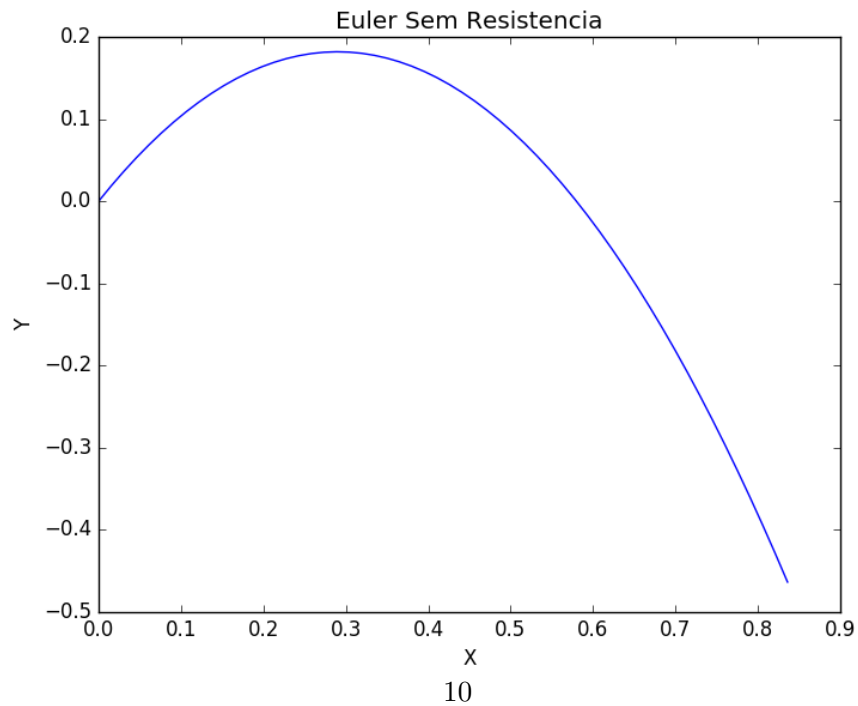


Figura 16: Simulação da posição do foguete, usando o método de Euler sem considerar uma resistência

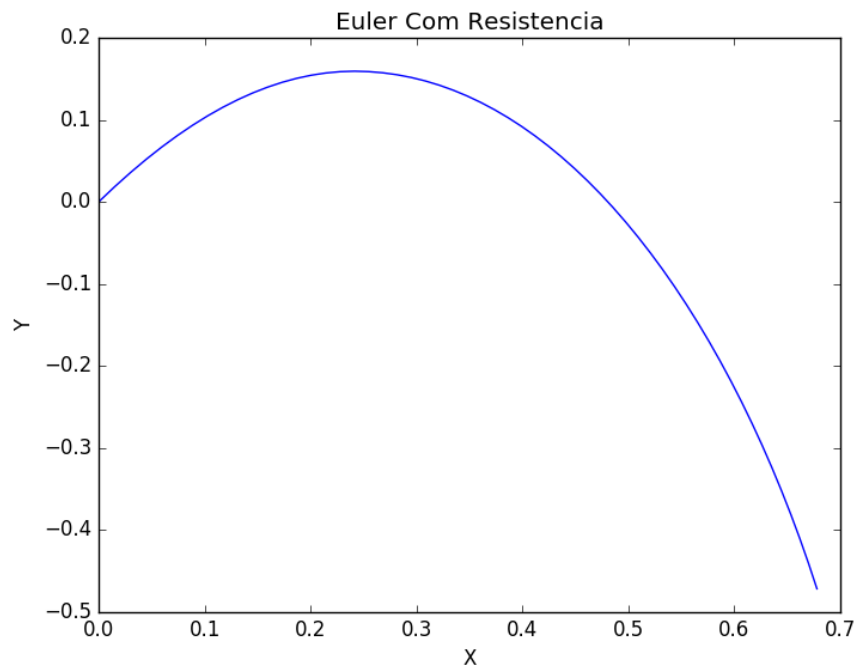


Figura 17: Simulação da posição do foguete, usando o método de Euler considerando uma resistencia

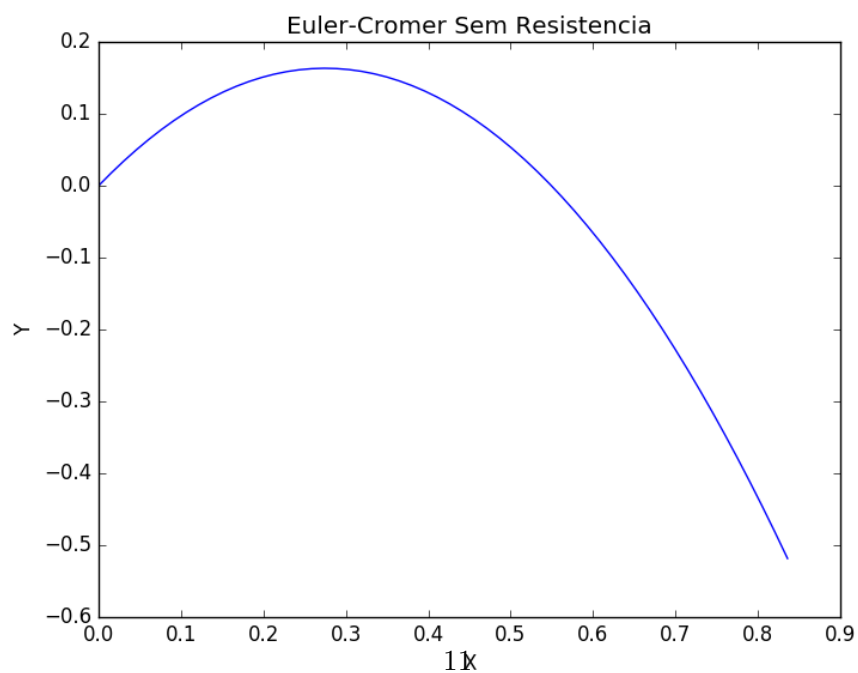


Figura 18: Simulação da posição do foguete, usando o método de Euler-Cromer sem considerar uma resistencia

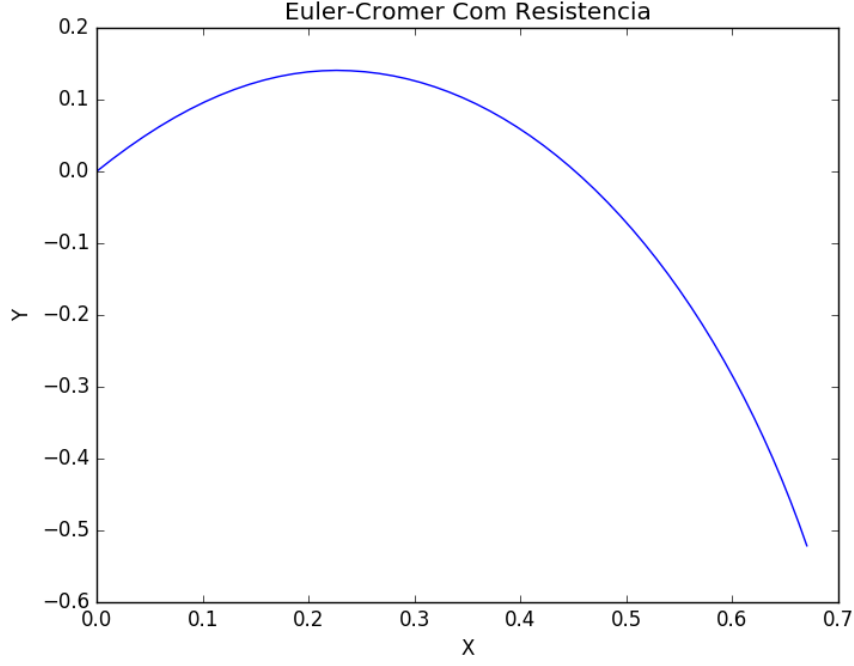


Figura 19: Simulação da posição do foguete, usando o método de Euler-Cromer considerando uma resistencia

## 4 Interpretação

Os gráficos 1, 2 e 3 são as plotagens dos dados coletados do acelerômetro, pelo sensor.

A partir das seguintes equações:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} + \frac{g}{L} \sin \theta = 0, T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (1)$$

podemos simular o movimento através dos métodos de Euler (4, 5, 6, 7) e Euler-Cromer (8, 9, 10, 11), com e sem resistência. O primeiro não produz o resultado esperado, pois, mesmo inserindo resistência, o sistema não demonstra perda de energia. Já a segunda forma é mais verossimilhante, principalmente, quando adicionada a resistência. Para o lançamento do foguete, os dados coletados estão nos gráficos 12, 13, 14 e 15. Todo o ruído existente neles é pelo protocolo utilizado (ligar a captura de dados ainda com

o foguete invertido, só então virá-lo e colocá-lo em posição de lançamento. As equações utilizadas foram:

$$\frac{\partial y}{\partial t} = v, \sin \theta = \frac{F}{g} \quad (2)$$

e também serviram como base para a implementação dos algoritmos citados (gráficos 16, 17, 18 e 19), sendo que ambos possuem comportamento similar e podem modelar o movimento satisfatoriamente.

## 5 Log

Tempo aproximado despendido nas tarefas:

- Pêndulo: 2 horas
- Lançamento: 5 horas
- Vídeo: 5 horas
- Relatório 5 horas
- Programação - 6 horas

## 6 Vídeo

Documentação em vídeo do experimento realizado:  
<https://www.youtube.com/watch?v=odPjOjIBvfo>

## 7 Crítica

O projeto pôde ser melhor estudado, após experiência adquirida no experimento anterior, principalmente, em relação à preparação. Desta vez, foi possível realizar uma melhor preparação, porém não pudemos modelar o movimento de lançamento do foguete, pela dificuldade em capturar ou avaliar a real velocidade inicial. Estudos posteriores são necessários para contornar esse desafio.

## 8 Contribuições

Augusto realizou programação e experimento de pêndulo. Eric realizou relato e edição de vídeo. Paulo realizou experimento de pêndulo e relatório. Todos os membros contribuíram em filmagem, montagem e lançamento do foguete e revisão deste documento.