Minicurso “Cálculo de Trajetória de Foguete com Aplicativo Trajetória 2.0”

# 1) Apresentação ao grupo.

# 2) Comentar a importância de reconhecer (inclusive na fase de projeto do EM) o comportamento de voo do EM.

# 3) Solicitar a abertura do arquivo “Capitulo\_05\_Trajetoria\_v2.pdf”

Fases do voo: Comentar sobre a importância da velocidade de saída da rampa na estabilidade de voo;

Fases do voo: Comentar sobre como achar o tempo de abertura do paraquedas?

A programação da abertura do paraquedas pode ser feita diretamente dentro do código fonte do programa (arquivo principal.f90). Se precisar de ajuda, envie um e-mail para [antoniocarlos.foltran@gmail.com](mailto:antoniocarlos.foltran@gmail.com) e explique sua necessidade. Para cada caso é possível adicionar linhas de programa para inserir o efeito da abertura do paraquedas.

# 4) Equação da trajetória.

, onde

, onde se pode adotar como referencial o nível do solo e sentido positivo a direção para cima.

,

,

.

Equação diferencial da trajetória:

,

e condições iniciais:

.

# Exemplo 1: O Sondinha II

O Sondinha II é um espaçomodelo fornecido pela empresa Edge of Space de São José dos Campos e é um dos modelos mais apreciados pelos espaçomodelistas mais experientes. Seus dados principais são:

, massa final do modelo (massa do modelo sem motor + massa do motor após funcionamento);

, massa de propelente do motor;

, diâmetro de referência (diâmetro do tubo foguete);

, empuxo constante do motor BT A-6-4;

, tempo de queima do motor;

, coeficiente de arrasto constante do modelo (pode ser obtido com o programa CD1.0);

, baseado em lançamentos.

# Exemplo 2: O LAE-5

O LAE-5 é um espaçomodelo projetado pela equipe Alfa da UFPR e que participou no I Festival de Minifogeutes de Curitiba em 2014. Ele foi projetado como um modelo intermediário, ou seja, suas características ainda não eram bem conhecidas e ele foi propositalmente construído com massa menor que a estimada para atingir os 150 m (a equipe participou da classe apogeu fixo 150 m). Portanto era esperado que ele superasse 150 m.

Seus dados principais são:

, massa final do modelo (massa do modelo sem motor + massa do motor após funcionamento);

, massa de propelente do motor;

, diâmetro de referência (diâmetro do tubo foguete);

Empuxo variável do motor BT C-6-5, obtido a partir da análise de 15 testes estáticos com lote de motores de 2013:

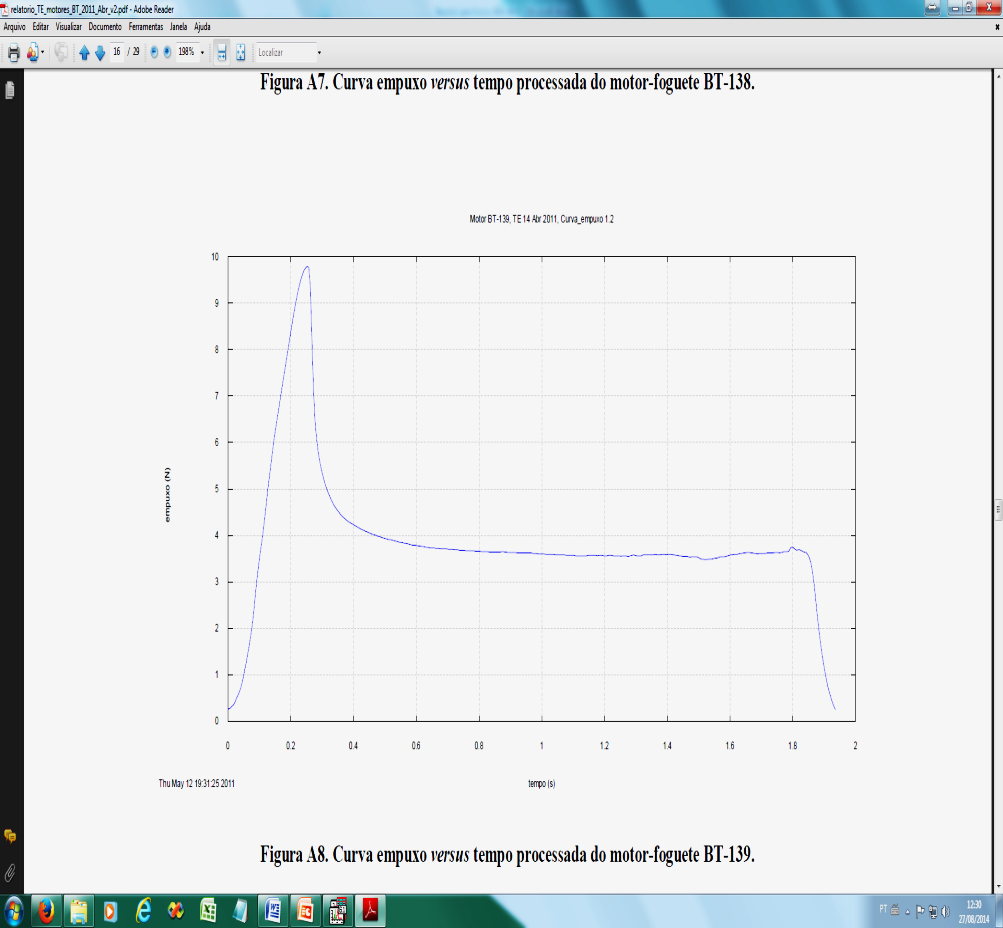
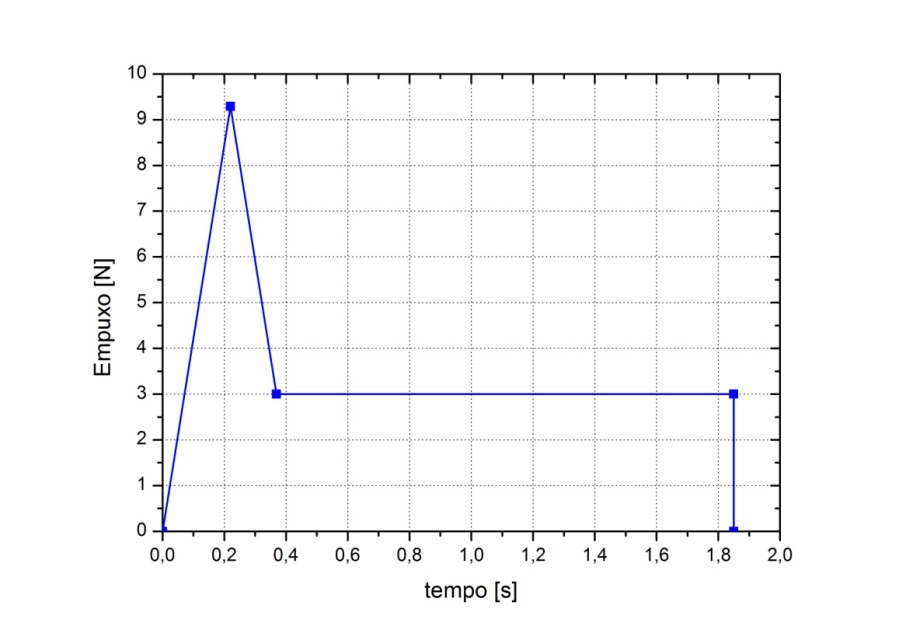
 

Figura 1: À esquerda curva de empuxo experimental típica e à direira curva programada com mesmo impulso total.

**Observação: Quando entrar com os dados no arquivo da curva de empuxo, a primeira coluna deve ser o tempo em segundos e a segunda o empuxo em newtons! O ponto é utilizado como separador de decimal!**

, tempo de queima do motor. Observação: Mesmo entrando com a curva de empuxo, que possui como último valor de abscissa o tempo de queima é necessário inserir o tempo de queima na página de entrada de dados principais do Trajetória 2.0.

Coeficiente de arrasto variável obtida com o programa CD1.0;

**Observação: Quando entrar com os dados no arquivo da curva de Cd, a primeira coluna deve ser a velocidade em quilômetros por hora e a segunda o coeficiente de arrasto, que é adimensional! O ponto é utilizado como separador de decimal!**

Resultados:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Valor Calculado (Trajetória 2.0) | Valor Experimental | Erro (%) |
| Apogeu [m] | 189,46 | 174 | 8,88 |
| Velocidade Máxima [km/h] | 219,7 | 196 | 12,10 |
| Aceleração Máxima [g] | 8,55 | 12,0 | 40,35 |
| Tempo de Apogeu [s] | 6,67 | 5,0 | 33,4 |