

TUTORIAL DO APLICATIVO TRAJETORIA 1.0

Objetivo do aplicativo: calcular a trajetória de espaçomodelos.

Informações básicas sobre o aplicativo:

- Escrito em linguagem Fortran 90.
- Detalhes sobre os modelos matemático e numérico usados podem ser vistos no arquivo “Trajetória_1p0_teorias.pdf”.

Procedimento:

- 1) Inicializar o aplicativo clicando duas vezes sobre o arquivo Trajetoria_1p0.exe.
 - Como resultado, ocorrerá a abertura do arquivo Trajetoria_1p0_dados.txt.
 - Um exemplo de conteúdo deste arquivo é mostrado na Figura 1.

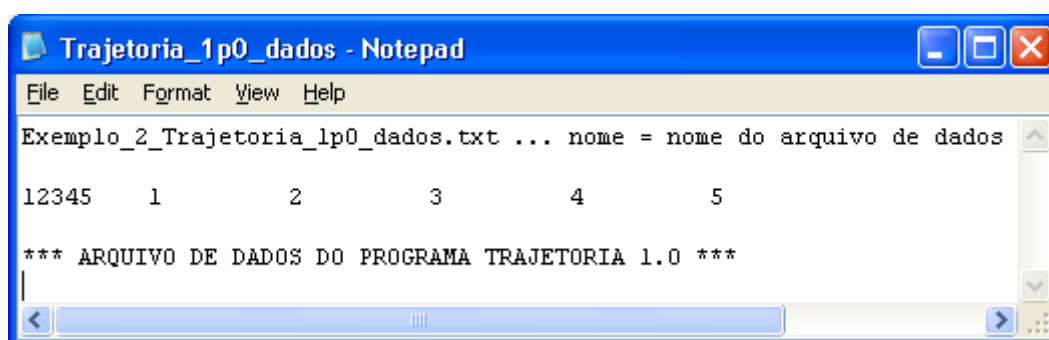


Figura 1. Exemplo de janela inicial do aplicativo Trajetoria 1.0.

- 2) O arquivo Trajetoria_1p0_dados.txt requer apenas um dado: o nome do arquivo de dados específicos sobre uma simulação de trajetória a fazer.
 - Este nome deve ser especificado pelo usuário mas o arquivo deve existir; não pode ser um arquivo inexistente ou sem conteúdo.
 - Digitar, por exemplo, Exemplo_2_Trajectoria_1p0_dados.txt
 - Após digitar o nome do arquivo, salvar e fechar o arquivo Trajetoria_1p0_dados.txt
 - Como resultado, ocorrerá a abertura do arquivo especificado; neste exemplo, Exemplo_2_Trajectoria_1p0_dados.txt
 - Seu conteúdo é mostrado na Figura 2.
- 3) Digitar os dados solicitados:
 - “caso” é um nome definido pelo usuário que será usado pelo aplicativo Trajetoria 1.0 para gravar/salvar os resultados da simulação.
 - “g” para Curitiba, no Centro Politécnico, é 9,7876 m/s²; ao nível do mar, pode-se usar 9.80665.
 - Com base em diversas simulações já feitas, recomenda-se usar $dtq = dtb = 1.0 \cdot 10^{-4}$ s, e $Iq = Ib = 1$.
 - Para w recomenda-se usar 1000, em geral.
 - Em “título” deve-se entrar com um título para identificar a simulação. Este título aparecerá nos gráficos e no arquivo “caso”.
 - Os dados que são números reais devem usar a letra “d” (que separa a base do expoente na notação científica) devido à precisão dupla que é usada nos cálculos.
 - Após digitar os dados, salvar e fechar o arquivo.

```

'Exemplo_2_Trajectoria_1p0_saida.txt' caso = nome do arquivo de saída do programa TRAJETORIA 1.0
20.00d-3 ..... Mf = Massa final (kg)
10.00d-3 ..... Mp = Massa de propelente (kg)
20.00d-3 ..... dr = Diâmetro de referência (m)
5.00d+0 ..... Ec = Empuxo constante do motor (N)
0.50d+0 ..... tq = Tempo de queima do propelente (s)
1.00d+0 ..... Cd = Coeficiente de arrasto (adim.)
9.7876d+0 ... g = Aceleração gravitacional local (m/s2)
90.000d+3 .... par = Pressão atmosférica local (Pa)
20.0d+0 ..... Tar = Temperatura atmosférica local (oC)
286.9d+0 ..... Rar = Constante dos gases perfeitos do ar (J/kg.K)
1.000d-4 .... dtq = Intervalo de tempo na fase propulsada (s)
1.000d-4 .... dtb = Intervalo de tempo na fase balística (s)
1 ..... Iq = Número de iterações na fase propulsada
1 ..... Ib = Número de iterações na fase balística
1000 ..... w = Frequência de escrita dos resultados de campo
1 ..... g_h : l=mostra gráfico de altura; 0=não
1 ..... g_v : l=mostra gráfico de velocidade; 0=não
1 ..... g_a : l=mostra gráfico de aceleração; 0=não
1 ..... g_M : l=mostra gráfico de massa; 0=não
1 ..... g_F : l=mostra gráfico de forças; 0=não
1 ..... g_E : l=mostra gráfico de empuxo; 0=não
1 ..... g_P : l=mostra gráfico de peso; 0=não
1 ..... g_D : l=mostra gráfico de arrasto; 0=não
'Exemplo 2, TRAJETORIA 1.0' ! titulo = título de identificação da análise (até 90 caracteres)

012345 1 2 3 4 5 6 7 8 9

*** ARQUIVO DE DADOS DO PROGRAMA TRAJETORIA 1.0 ***

```

Figura 2. Exemplo de dados específicos para o aplicativo Trajetoria 1.0 (motor A5).

- 4) Como resultado, será mostrado um gráfico da altura atingida pelo espaçomodelo em função do tempo de vôo desde a decolagem. No caso do exemplo adotado, este gráfico é mostrado na Figura 3. Se for de interesse, clicar o botão do lado direito do mouse sobre o gráfico, e imprimir (Print) o gráfico ou copiá-lo (Copy to Clipboard) para a memória para posterior uso.
- 5) Após fechar a janela deste primeiro gráfico, são mostrados na sequência os gráficos apresentados nas Figuras 4 a 10.
- 6) Ao ser fechado o último gráfico, é mostrado o arquivo de resultados, que neste exemplo é apresentado parcialmente através das Figuras 11 a 13.
- 7) Ao ser fechado o arquivo de resultados, encerra-se a execução do aplicativo Trajetoria 1.0.

Exemplo 2, TRAJETORIA 1.0

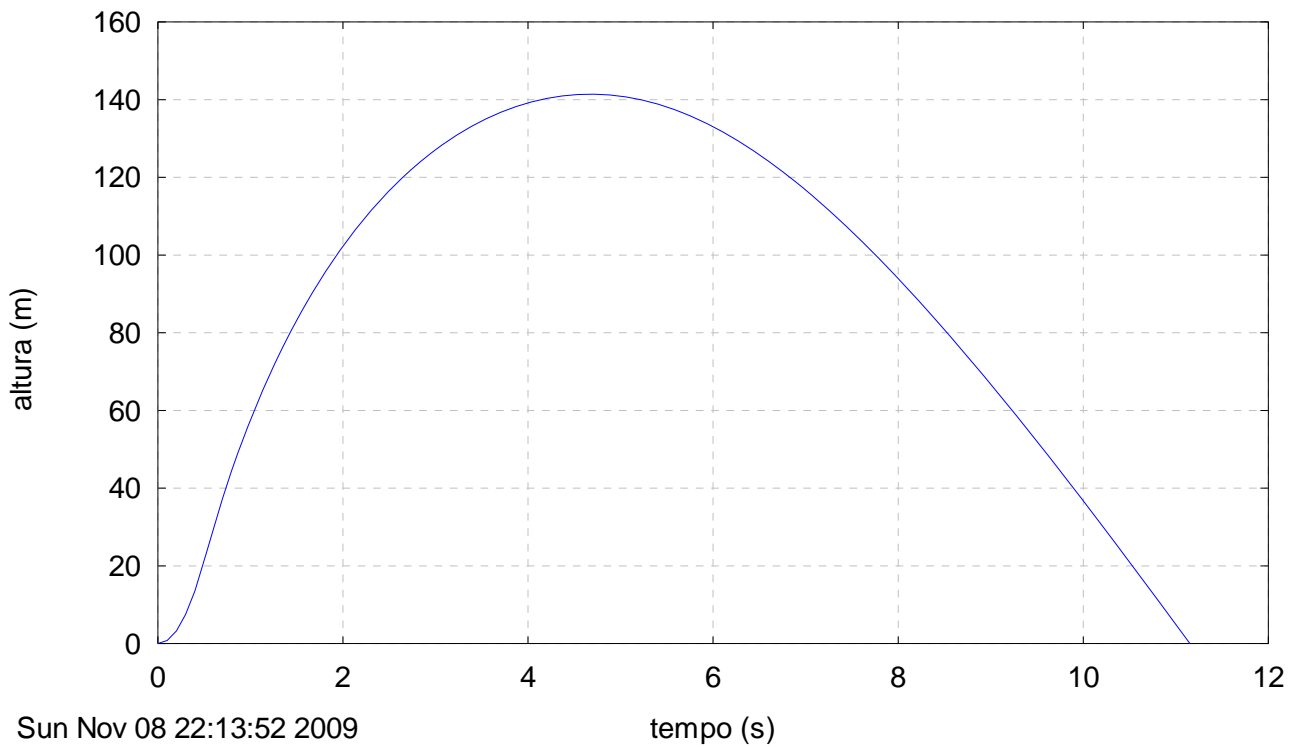


Figura 3. Altura atingida pelo espaçomodelo em função do tempo de voo.

Exemplo 2, TRAJETORIA 1.0

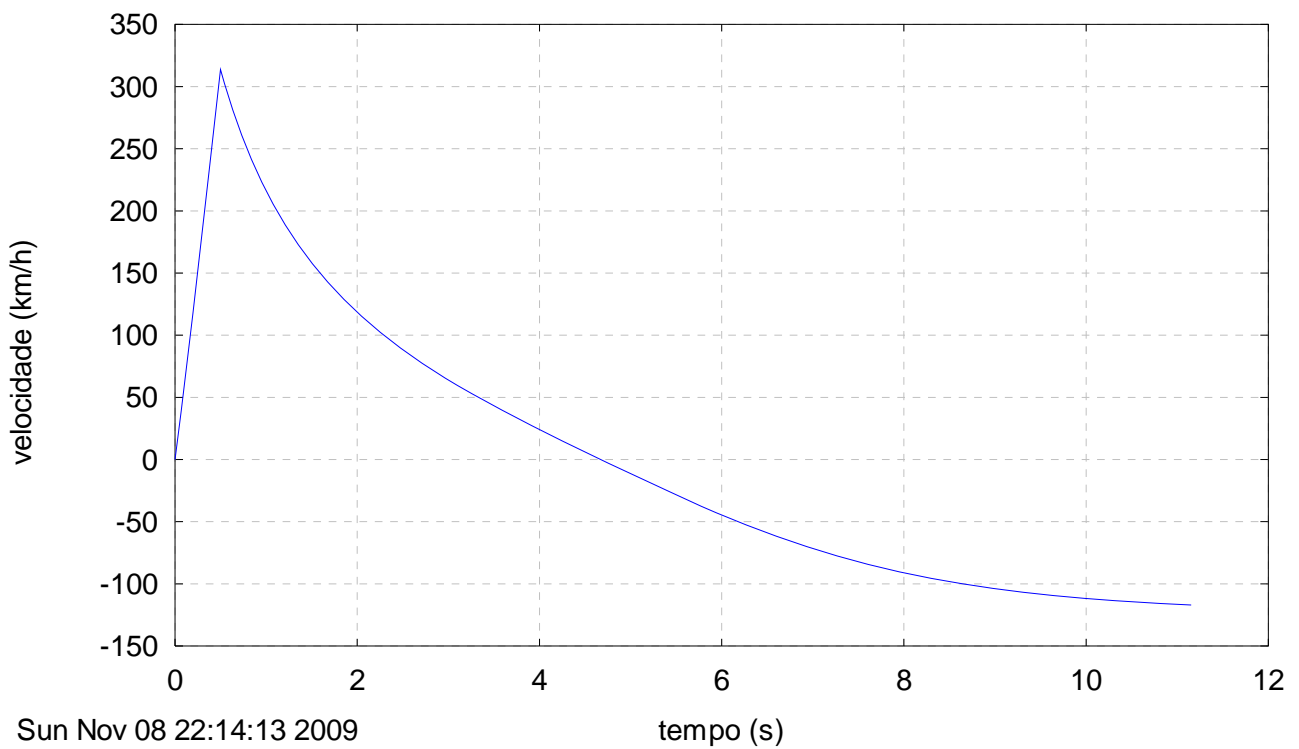


Figura 4. Velocidade do espaçomodelo em função do tempo de voo.

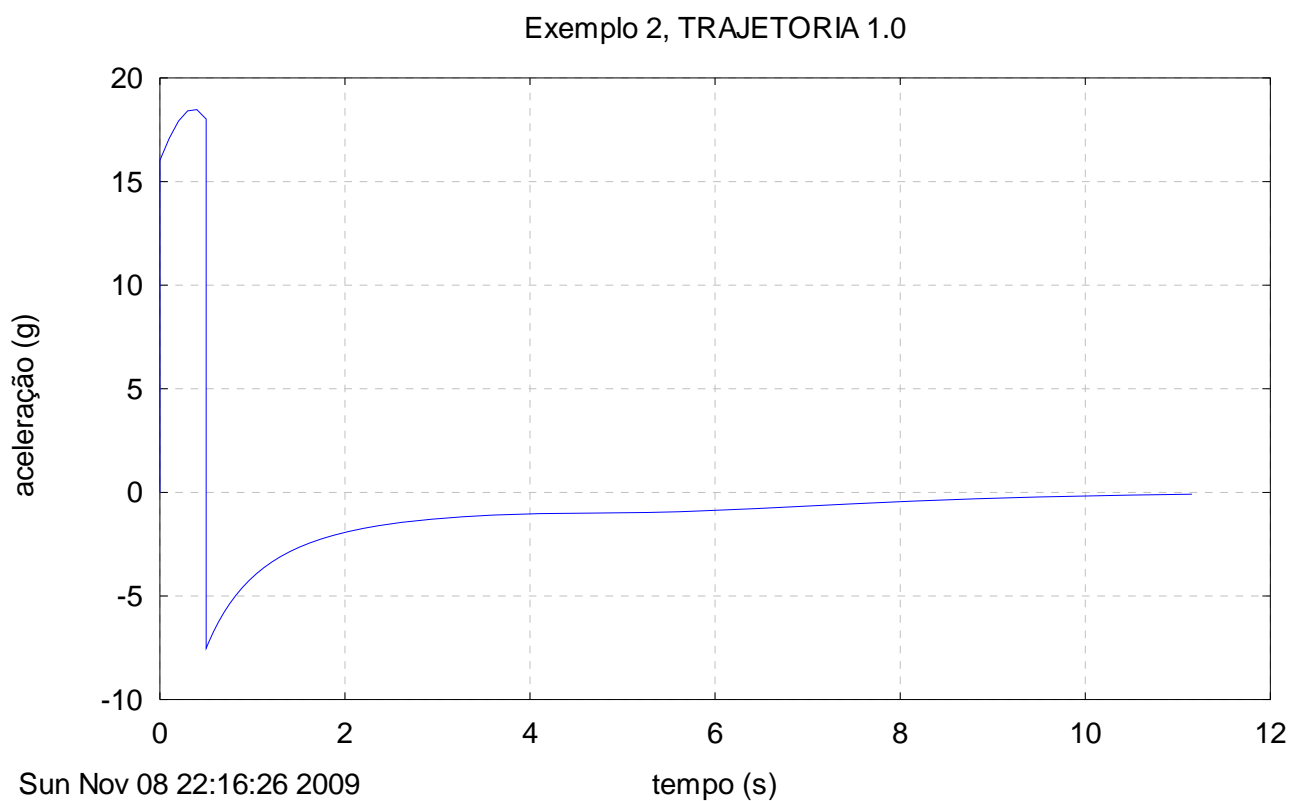


Figura 5. Aceleração do espaçomodelo em função do tempo de voo.

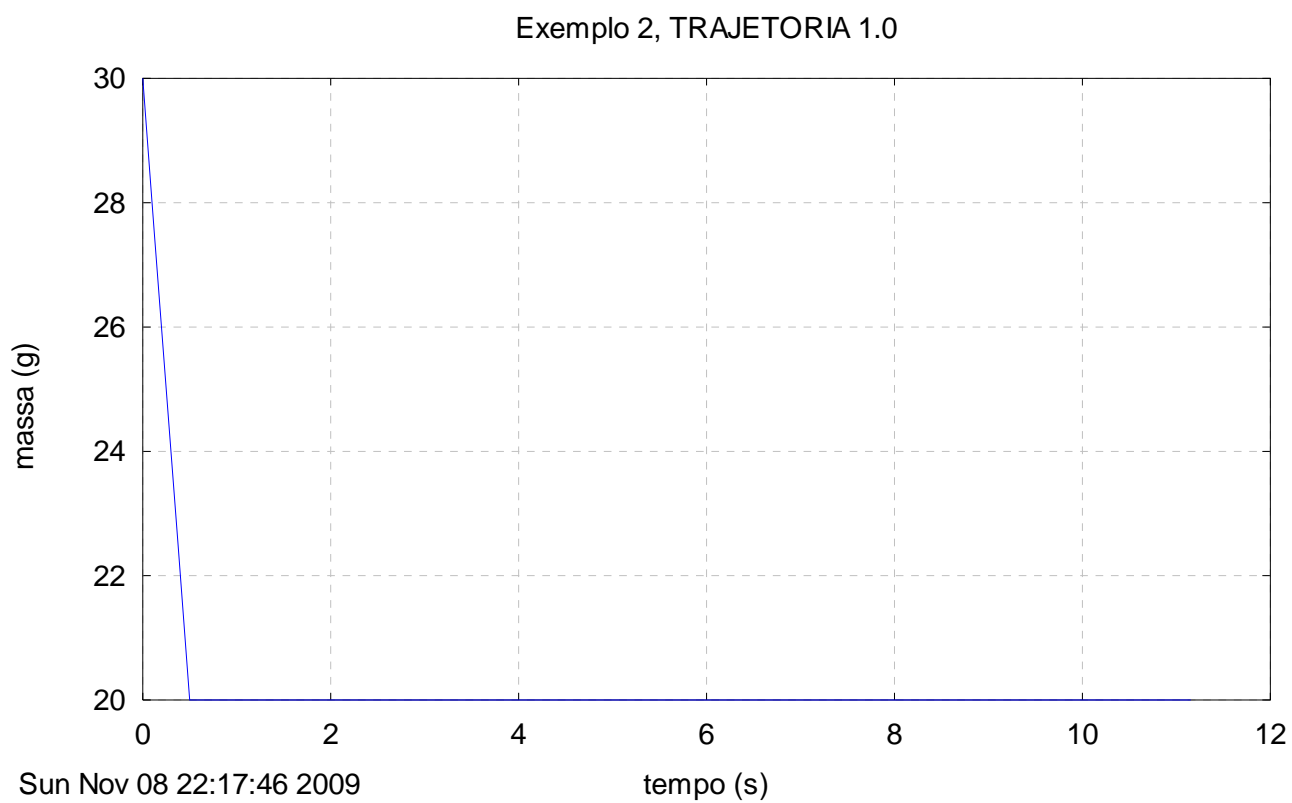


Figura 6. Massa do espaçomodelo em função do tempo de voo.

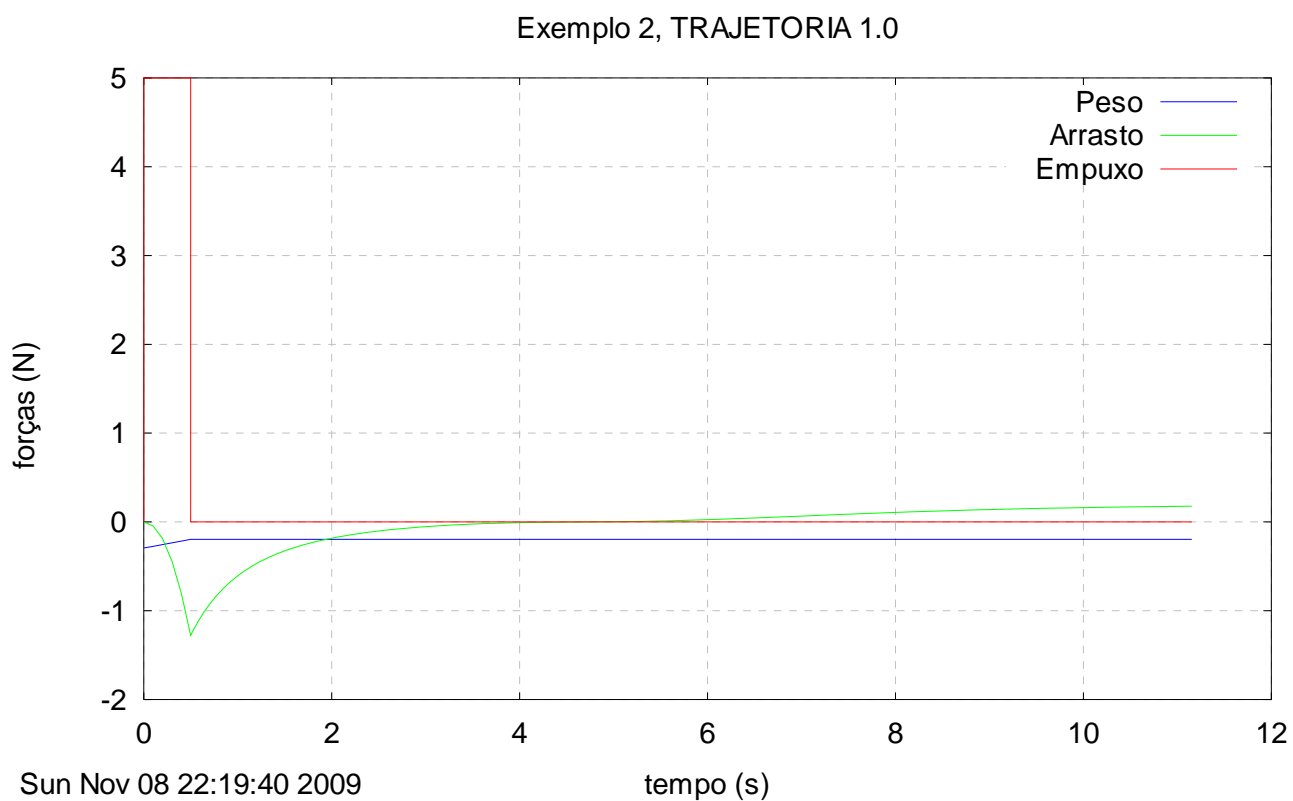


Figura 7. Forças sobre o espaçomodelo em função do tempo de vôo.

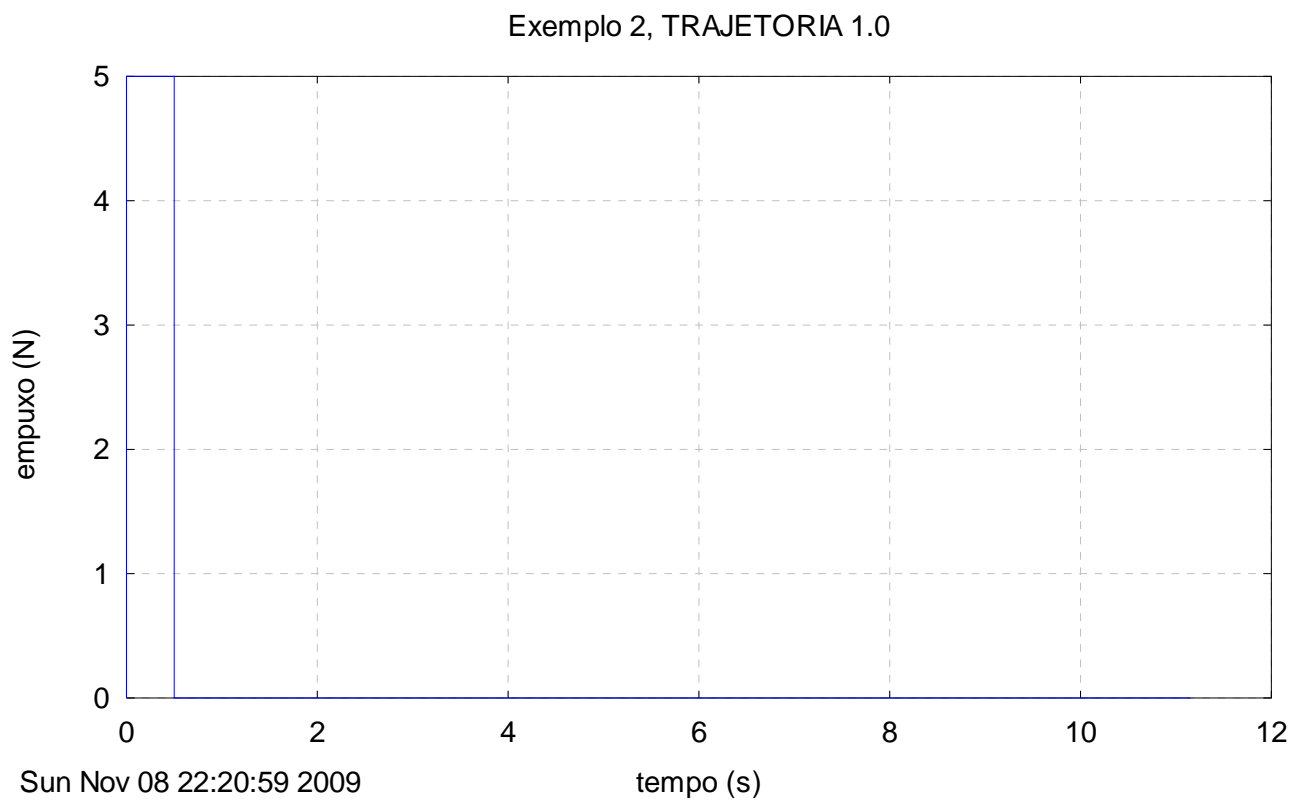


Figura 8. Empuxo do espaçomodelo em função do tempo de vôo.

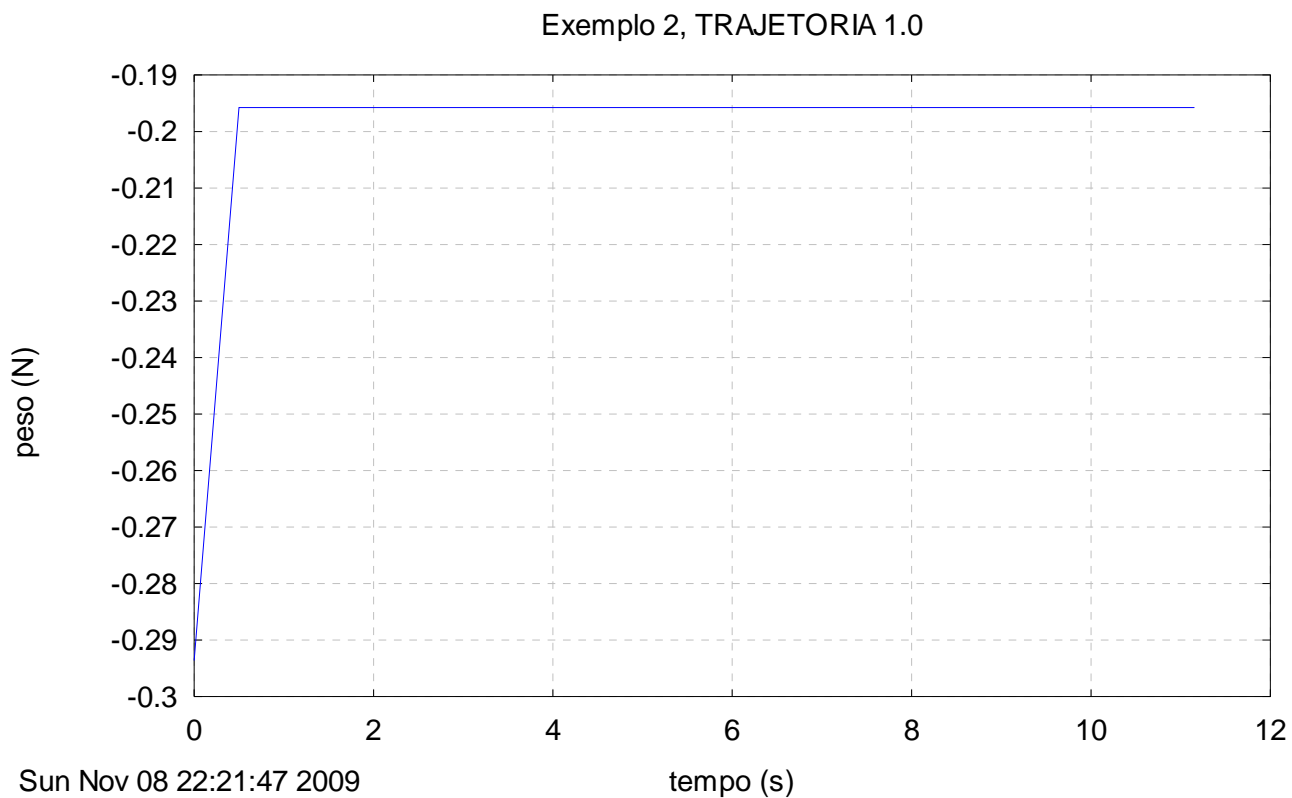


Figura 9. Peso do espaçomodelo em função do tempo de voo.

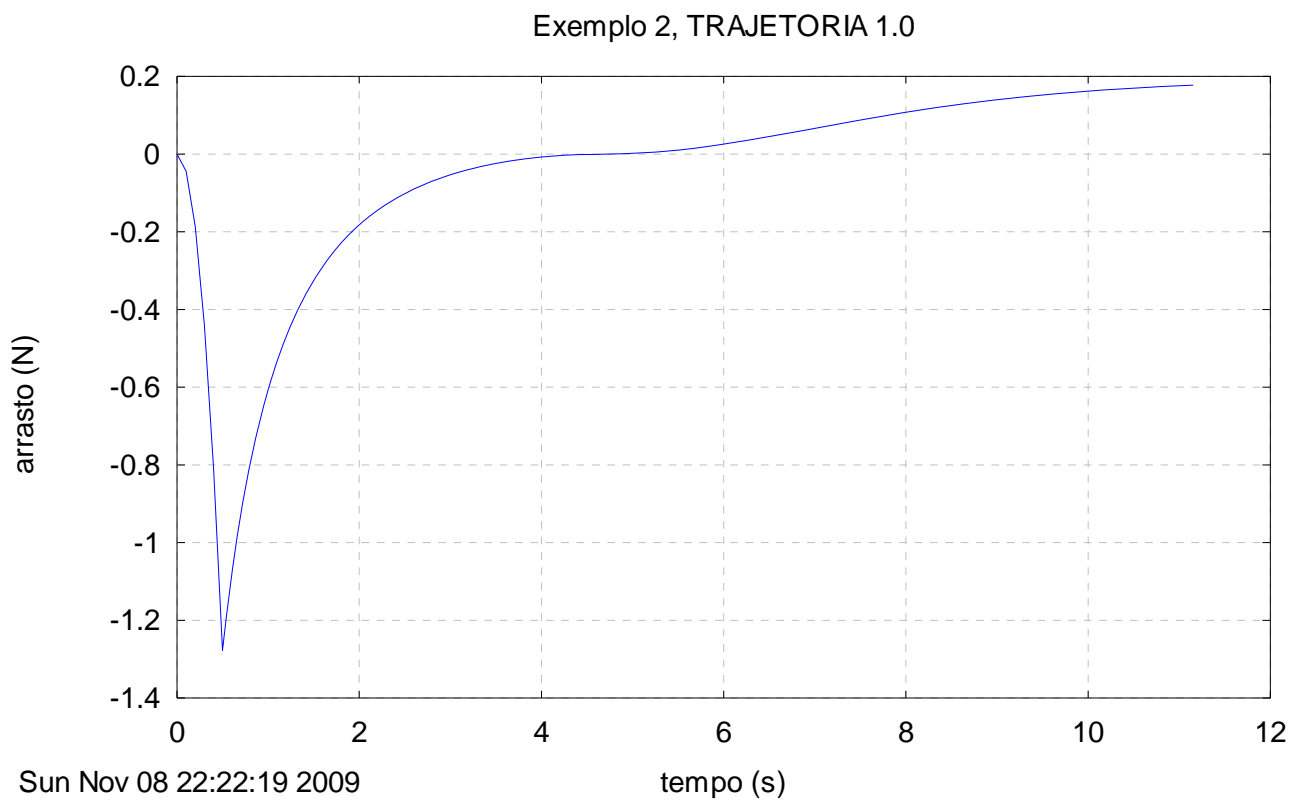


Figura 10. Arrasto aerodinâmico sobre o espaçomodelo em função do tempo de voo.

Exemplo_2_Trajectoria_1p0_saida - Notepad

File Edit Format View Help

Saída do programa TRAJETORIA 1.0, versão de 8 Nov 2008

*** FASE PROPULSADA ***

i	t (s)	h (m)	V (km/h)	a (g)	M (g)	P (N)	D (N)	E (N)
0	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	3.000000E+01	-2.936280E-01	0.000000E+00	0.000000E+00
1	1.000000E-04	1.568902E-06	5.648046E-02	1.602948E+01	2.999800E+01	-2.936084E-01	0.000000E+00	5.000000E+00
1001	1.001000E-01	8.047755E-01	5.844935E+01	1.708460E+01	2.799800E+01	-2.740332E-01	-4.421822E-02	5.000000E+00
2001	2.001000E-01	3.279979E+00	1.201916E+02	1.791405E+01	2.599800E+01	-2.544580E-01	-1.871670E-01	5.000000E+00
3001	3.001000E-01	7.505908E+00	1.843050E+02	1.841285E+01	2.399800E+01	-2.348828E-01	-4.402559E-01	5.000000E+00
4001	4.001000E-01	1.353048E+01	2.494376E+02	1.847653E+01	2.199800E+01	-2.153076E-01	-8.065548E-01	5.000000E+00
5000	5.000000E-01	2.135046E+01	3.138322E+02	1.801948E+01	2.000000E+01	-1.957520E-01	-1.276898E+00	5.000000E+00

Figura 11. Saída do aplicativo Trajetoria 1.0 para o Exemplo 2, mostrando os diversos parâmetros resultantes para a fase propulsada.

As unidades usadas são:

- i = ponto de cálculo da trajetória (adimensional)
t = tempo de vôo, em segundos (s)
h = altitude, em metros (m)
V = velocidade, em quilômetros por hora (km/h)
a = aceleração, adimensionalizada pela aceleração gravitacional local (g); portanto, se $a = 2$ significa que a aceleração é $2g = 19,6 \text{ m/s}^2$
M = massa, em gramas (g)
P = peso, em newtons (N)
D = arrasto, em newtons (N)
E = empuxo, em newtons (N)

Exemplo_2_Trajectoria_1p0_saida - Notepad

File Edit Format View Help

*** FASE BALÍSTICA ASCENDENTE ***

i	t (s)	h (m)	V (km/h)	a (g)	M (g)	P (N)	D (N)	E (N)
5001	5.001000E-01	2.135918E+01	3.138057E+02	-7.525680E+00	2.000000E+01	-1.957520E-01	-1.277415E+00	0.000000E+00
5002	5.002000E-01	2.136790E+01	3.137792E+02	-7.524577E+00	2.000000E+01	-1.957520E-01	-1.277199E+00	0.000000E+00
6002	6.002000E-01	2.973244E+01	2.890714E+02	-6.537454E+00	2.000000E+01	-1.957520E-01	-1.083968E+00	0.000000E+00
7002	7.002000E-01	3.745565E+01	2.674887E+02	-5.741409E+00	2.000000E+01	-1.957520E-01	-9.281404E-01	0.000000E+00
8002	8.002000E-01	4.461582E+01	2.484441E+02	-5.090260E+00	2.000000E+01	-1.957520E-01	-8.006766E-01	0.000000E+00
44002	4.400200E+00	1.410435E+02	9.729208E+00	-1.006276E+00	2.000000E+01	-1.957520E-01	-1.228594E-03	0.000000E+00
45002	4.500200E+00	1.412645E+02	6.190634E+00	-1.002542E+00	2.000000E+01	-1.957520E-01	-4.976255E-04	0.000000E+00
46002	4.600200E+00	1.413874E+02	2.662279E+00	-1.000471E+00	2.000000E+01	-1.957520E-01	-9.217082E-05	0.000000E+00
46758	4.675745E+00	1.414153E+02	0.000000E+00	-1.000000E+00	2.000000E+01	-1.957520E-01	0.000000E+00	0.000000E+00

Figura 12. Saída parcial do aplicativo Trajetoria 1.0 para o Exemplo 2, mostrando os diversos parâmetros resultantes para a fase balística ascendente.

Exemplo_2_Trajectoria_1p0_saida - Notepad

File Edit Format View Help

*** FASE BALÍSTICA DESCENDENTE ***

i	t (s)	h (m)	V (km/h)	a (g)	M (g)	P (N)	D (N)	E (N)
46759	4.675845E+00	1.414153E+02	-3.523536E-03	-1.000000E+00	2.000000E+01	-1.957520E-01	0.000000E+00	0.000000E+00
46760	4.675945E+00	1.414153E+02	-7.047072E-03	-1.000000E+00	2.000000E+01	-1.957520E-01	1.610254E-10	0.000000E+00
47760	4.775945E+00	1.413661E+02	-3.529613E+00	-9.991762E-01	2.000000E+01	-1.957520E-01	1.612591E-04	0.000000E+00
48760	4.875945E+00	1.412192E+02	-7.046383E+00	-9.967135E-01	2.000000E+01	-1.957520E-01	6.433338E-04	0.000000E+00
49760	4.975945E+00	1.409747E+02	-1.055161E+01	-9.926281E-01	2.000000E+01	-1.957520E-01	1.443066E-03	0.000000E+00
107760	1.077595E+01	1.216979E+01	-1.156453E+02	-1.138978E-01	2.000000E+01	-1.957520E-01	1.734563E-01	0.000000E+00
108760	1.087595E+01	8.951939E+00	-1.160360E+02	-1.079008E-01	2.000000E+01	-1.957520E-01	1.746302E-01	0.000000E+00
109760	1.097595E+01	5.723526E+00	-1.164060E+02	-1.022013E-01	2.000000E+01	-1.957520E-01	1.757459E-01	0.000000E+00
110760	1.107595E+01	2.485109E+00	-1.167565E+02	-9.678659E-02	2.000000E+01	-1.957520E-01	1.768058E-01	0.000000E+00
111526	1.115249E+01	0.000000E+00	-1.170121E+02	-9.282679E-02	2.000000E+01	-1.957520E-01	1.775810E-01	0.000000E+00

*** PARÂMETROS PRINCIPAIS ***

4.175745E+00 = tba = Tempo entre fim da queima e apogeu (s)
6.476740E+00 = tbd = Tempo entre apogeu e impacto (s)
4.675745E+00 = tH = Tempo até o apogeu (s)
1.115249E+01 = tI = Tempo até o impacto (s)
4.192559E-01 = tH/tI (adim.)
1.509770E-01 = hq/H (adim.)
2.135046E+01 = hq = altura no fim da queima (m)
1.414153E+02 = H = apogeu (m)

Figura 13. Saída parcial do aplicativo Trajetoria 1.0 para o Exemplo 2, mostrando os diversos parâmetros resultantes para a fase balística descendente e os parâmetros principais.

Exercícios:

- Refazer a simulação do exemplo 2 para $C_d = 0.75$. Resultado principal: apogeu = 165 m.
- Refazer a simulação do exemplo 2 para $C_d = 0.50$. Resultado principal: apogeu = 203 m.
- Refazer a simulação do exemplo 2 para $C_d = 0.25$. Resultado principal: apogeu = 275 m.
- Refazer a simulação do exemplo 2 para $C_d = 0.00$. Resultado principal: apogeu = 498 m.
- Fazer um gráfico do apogeu *versus* C_d com os resultados da Figura 13 ($C_d = 1.00$) e dos exercícios 1 a 4, para ver o efeito do C_d sobre o apogeu.
- Refazer a simulação do exemplo 2 para $M_p=2.50d-3$, $E_c=2.85d+0$ e $t_q=0.59d+0$ (motor A3). Resultado principal: apogeu = 113 m.
- Refazer a simulação do exemplo 2 para $M_p=5.15d-3$, $E_c=3.30d+0$ e $t_q=1.16d+0$ (motor B3). Resultado principal: apogeu = 220 m.
- Refazer a simulação do exemplo 2 para $M_p=7.85d-3$, $E_c=3.10d+0$ e $t_q=1.79d+0$ (motor C3). Resultado principal: apogeu = 291 m.