

# TUTORIAL DO APLICATIVO TRAJETORIA 1.0

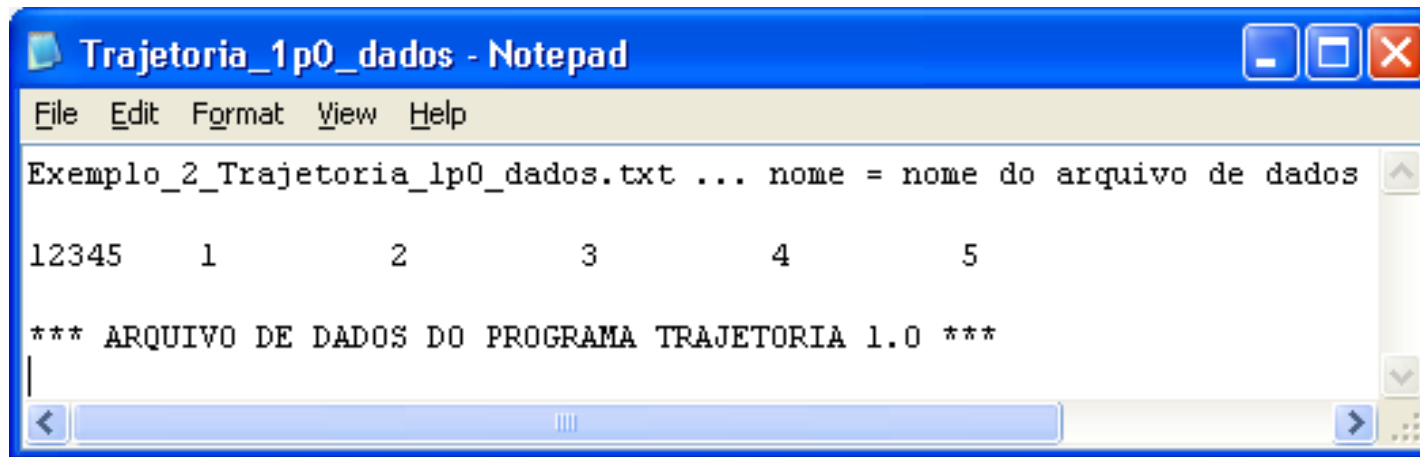
**Objetivo do aplicativo:** calcular a trajetória de foguetemodelo.

**Informações básicas sobre o aplicativo:**

- Escrito em linguagem Fortran 90.
- Detalhes sobre os modelos matemático e numérico usados podem ser vistos no arquivo “Trajetoria\_1p0\_teorias-v2.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  $9.7876 \text{ m/s}^2$ ; ao nível do mar, pode-se usar  $9.80665$ .
- Com base em diversas simulações já feitas, recomenda-se usar  $dtq = dtb = 1.0 \times 10^{-4} \text{ s}$ , 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.

```

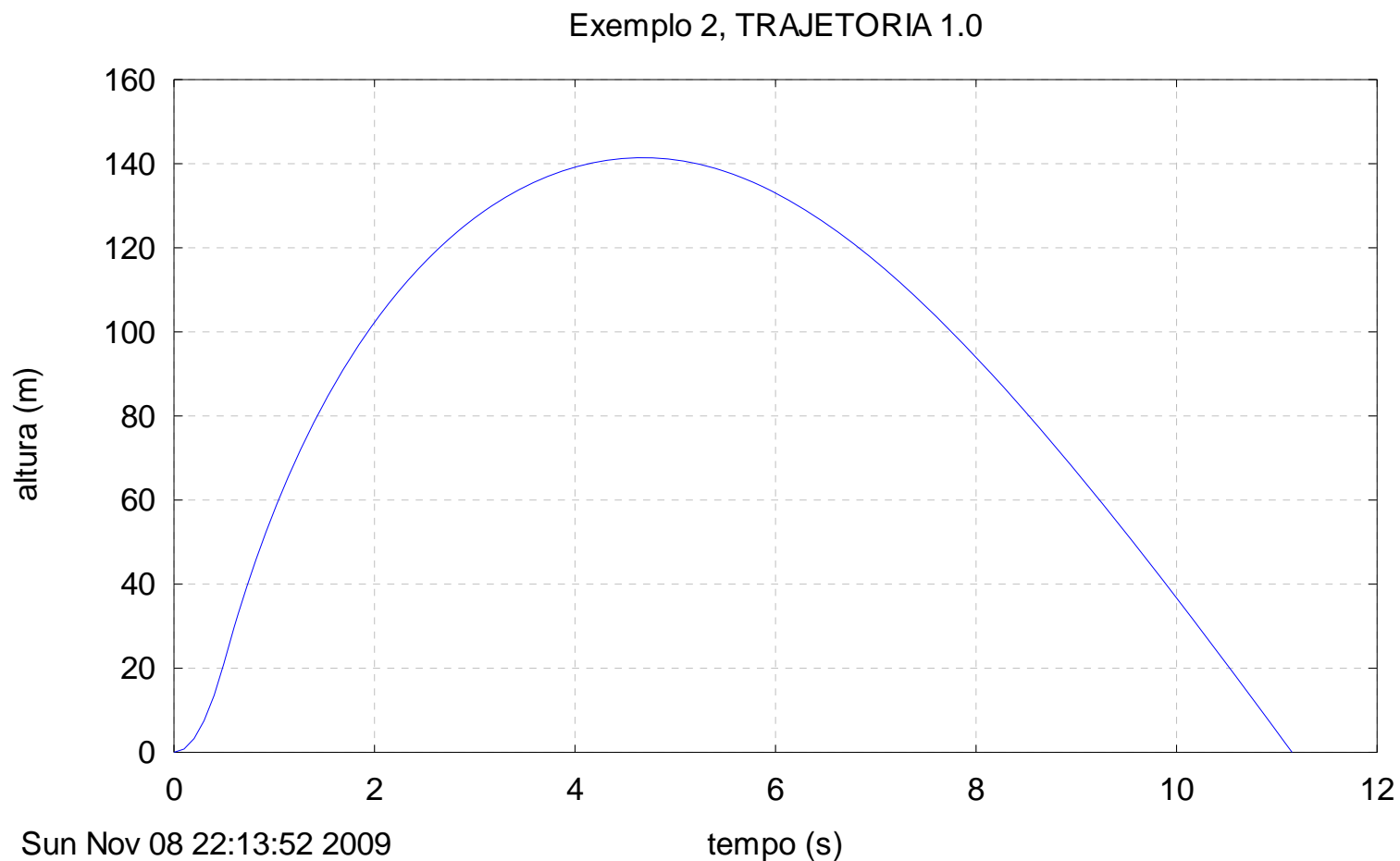
Exemplo_2_Trajectoria_1p0_dados - Notepad
File Edit Format View Help
'Exemplo_2_Trajectoria_1p0_saida.txt' caso = nome do arquivo de saída do programa TRAJETORIA 1.0
20.00d-3 ..... Mf = Massa final (kg)
10.00d-3 ..... Mp = Massa de propelente (kg)
20.00d-3 ..... dr = Diâmetro de referência (m)
5.00d+0 ..... 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' ! título = 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 ***
  
```

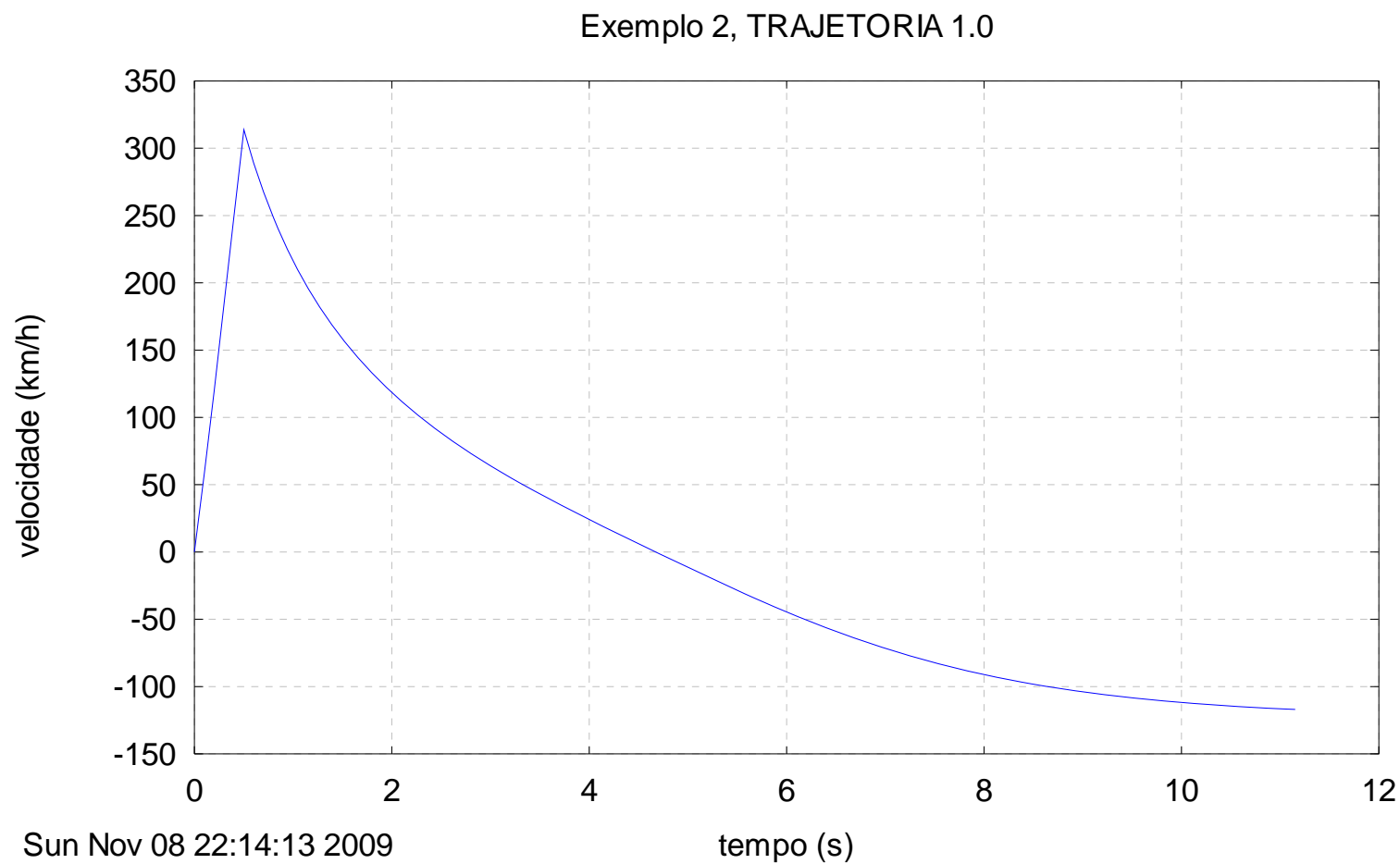
**Figura 2. Exemplo de dados específicos para o aplicativo Trajetoria 1.0 (motor A5 com  $I_t = 2.50 \text{ N.s}$ ).**

- 4) Como resultado, será mostrado um gráfico da altura atingida pelo espaçomodelo em função do tempo de voo 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.

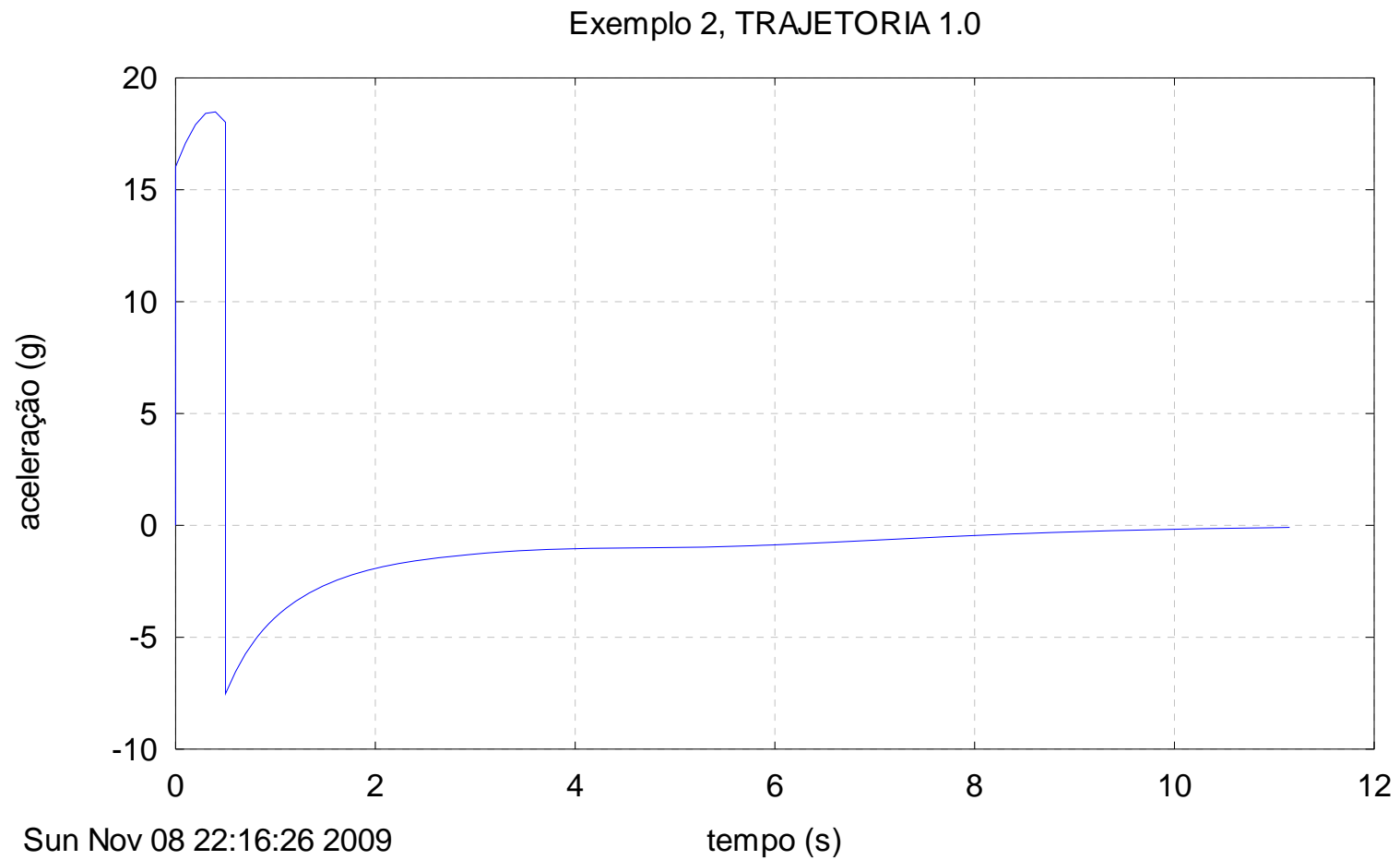


**Figura 3. Altura atingida pelo foguetemodelo em função do tempo de voo.**

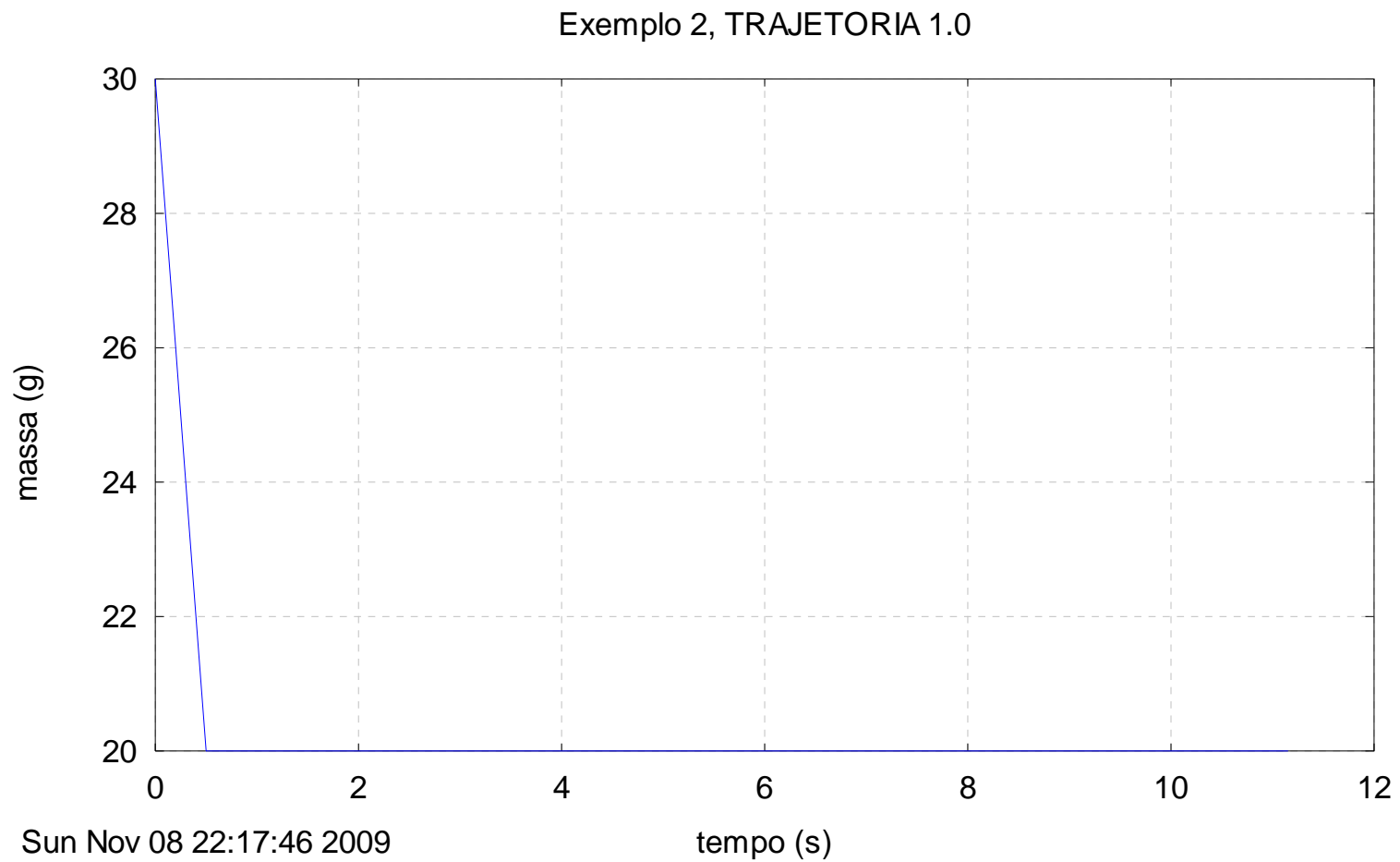
- 5) Após fechar a janela deste primeiro gráfico, são mostrados na sequência os gráficos apresentados nas Figuras 4 a 10.
- 6) Ao ser fechado o último gráfico, é mostrado o arquivo de resultados, que neste exemplo é apresentado parcialmente através das Figuras 11 a 13.
- 7) Ao ser fechado o arquivo de resultados, encerra-se a execução do aplicativo Trajetoria 1.0.



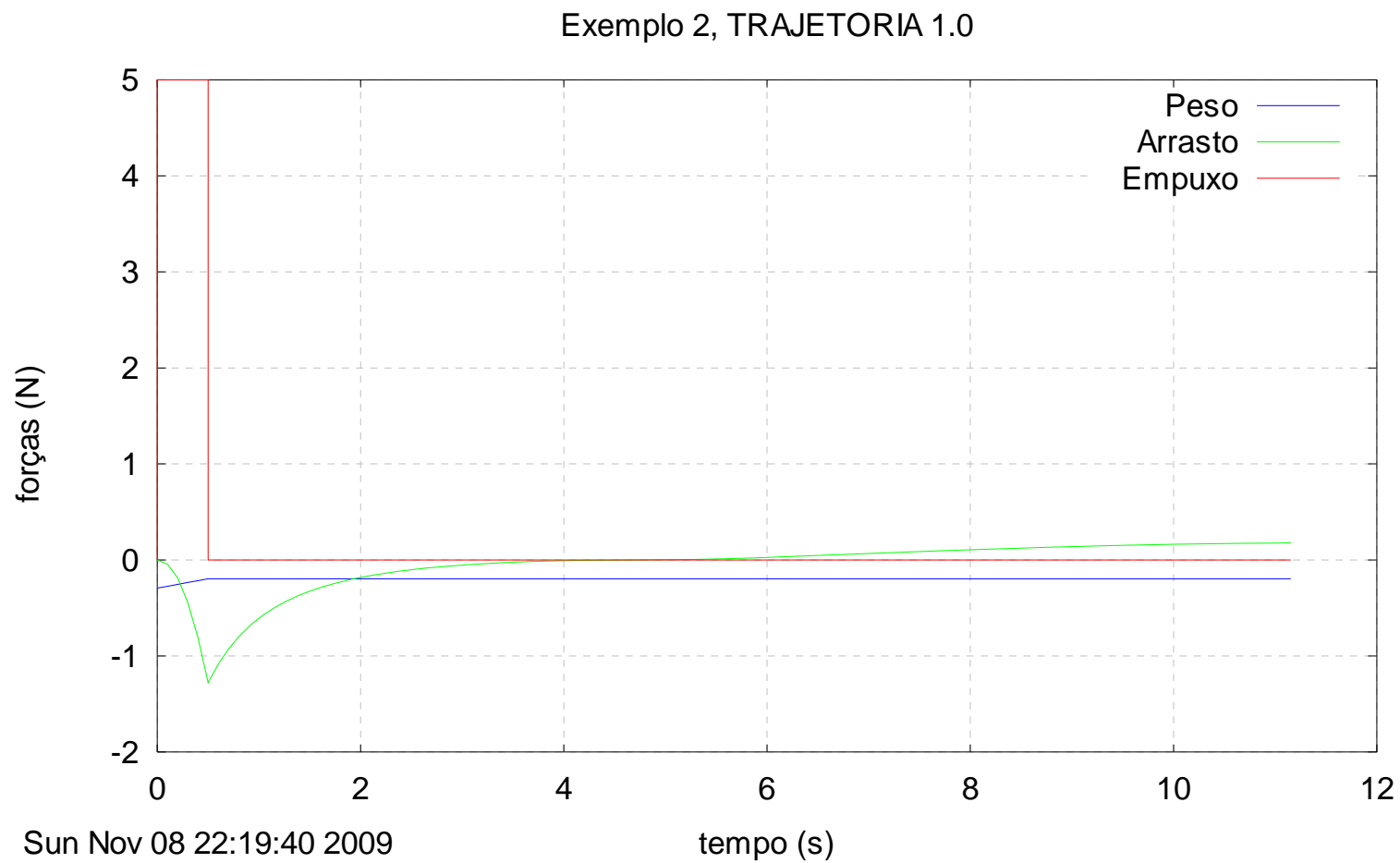
**Figura 4. Velocidade do foguetemodelo em função do tempo de voo.**



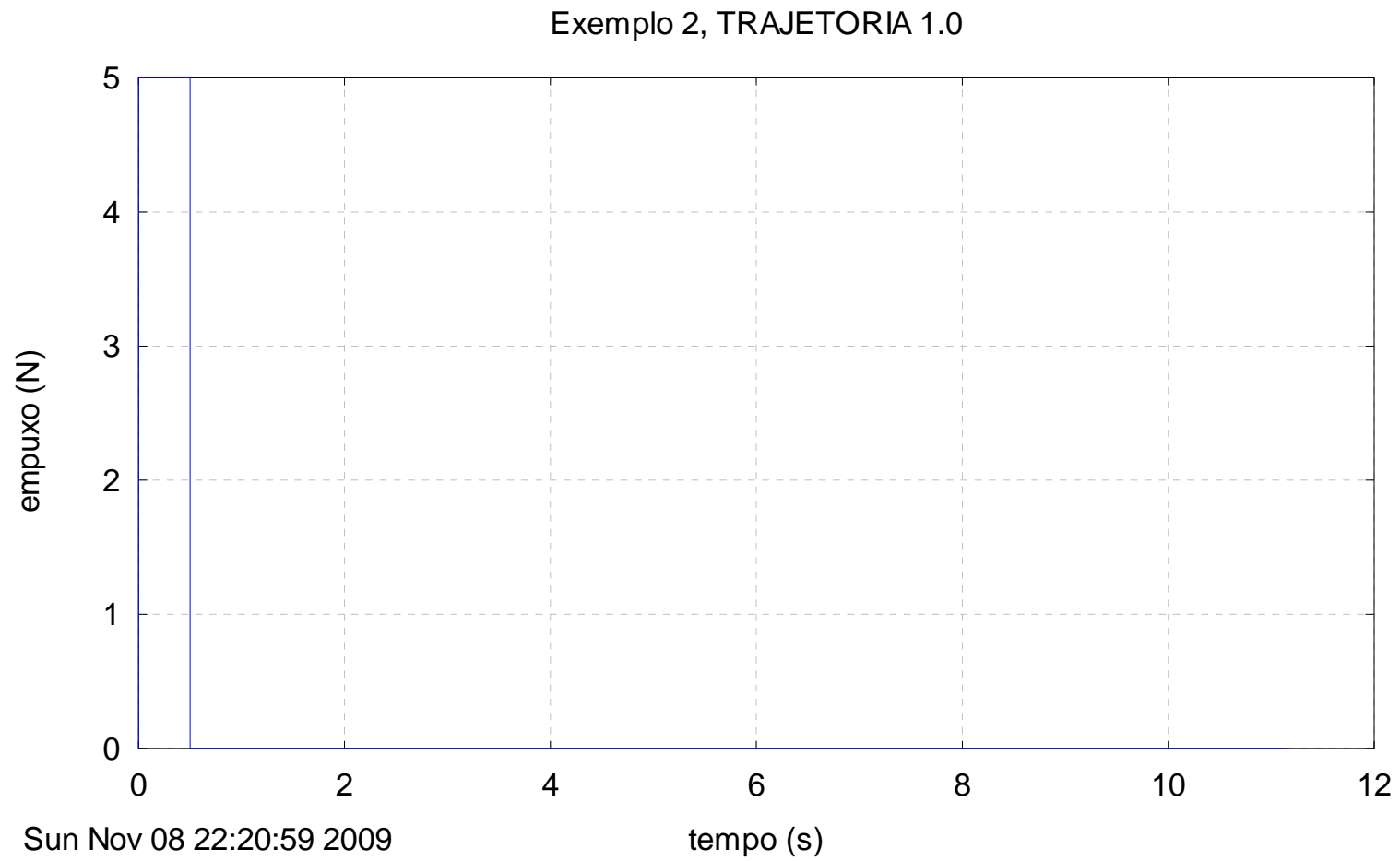
**Figura 5. Aceleração do foguetemodelo em função do tempo de voo.**



**Figura 6. Massa do foguetemodelo em função do tempo de voo.**

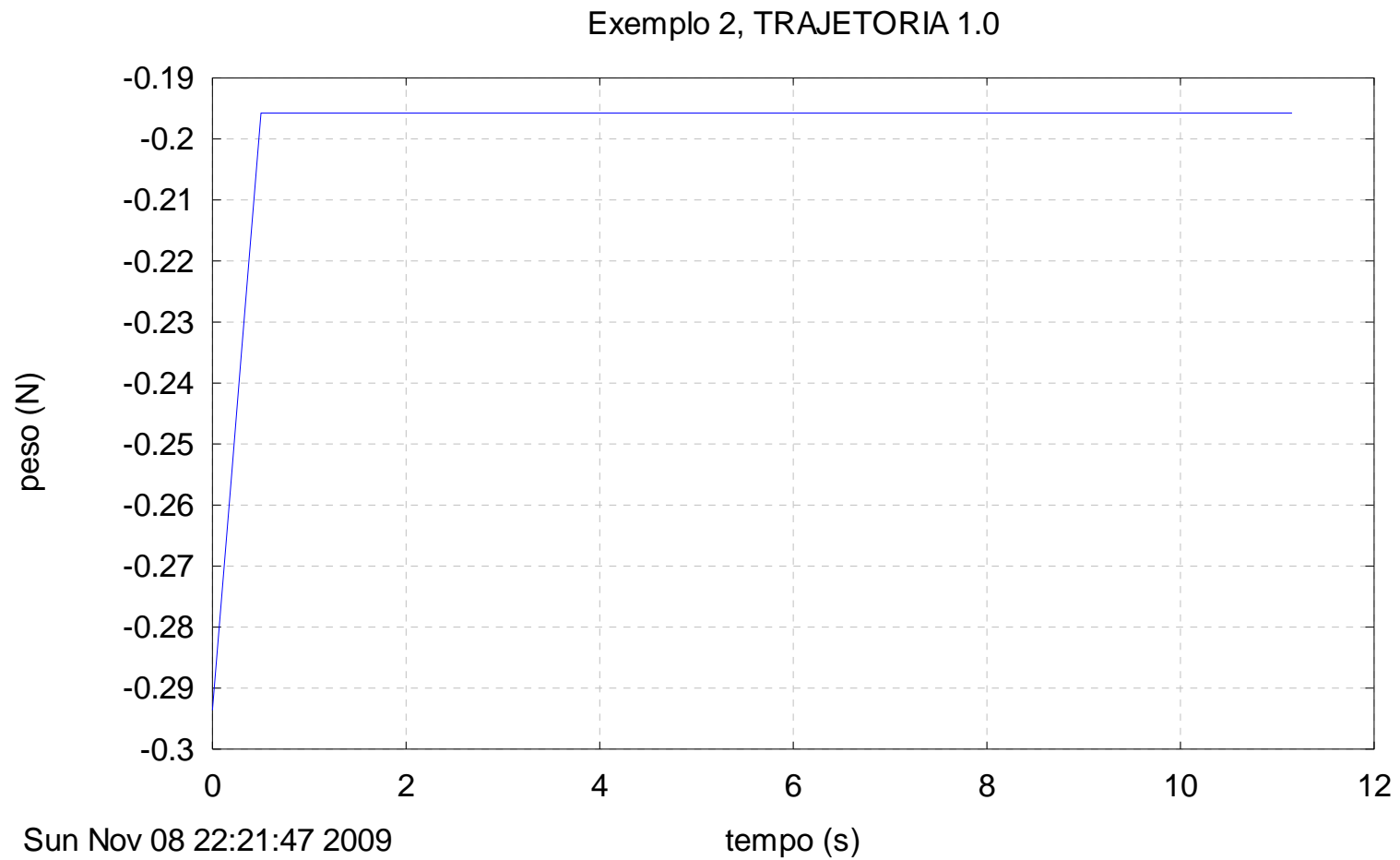


**Figura 7. Forças sobre o foguetemodelo em função do tempo de voo.**

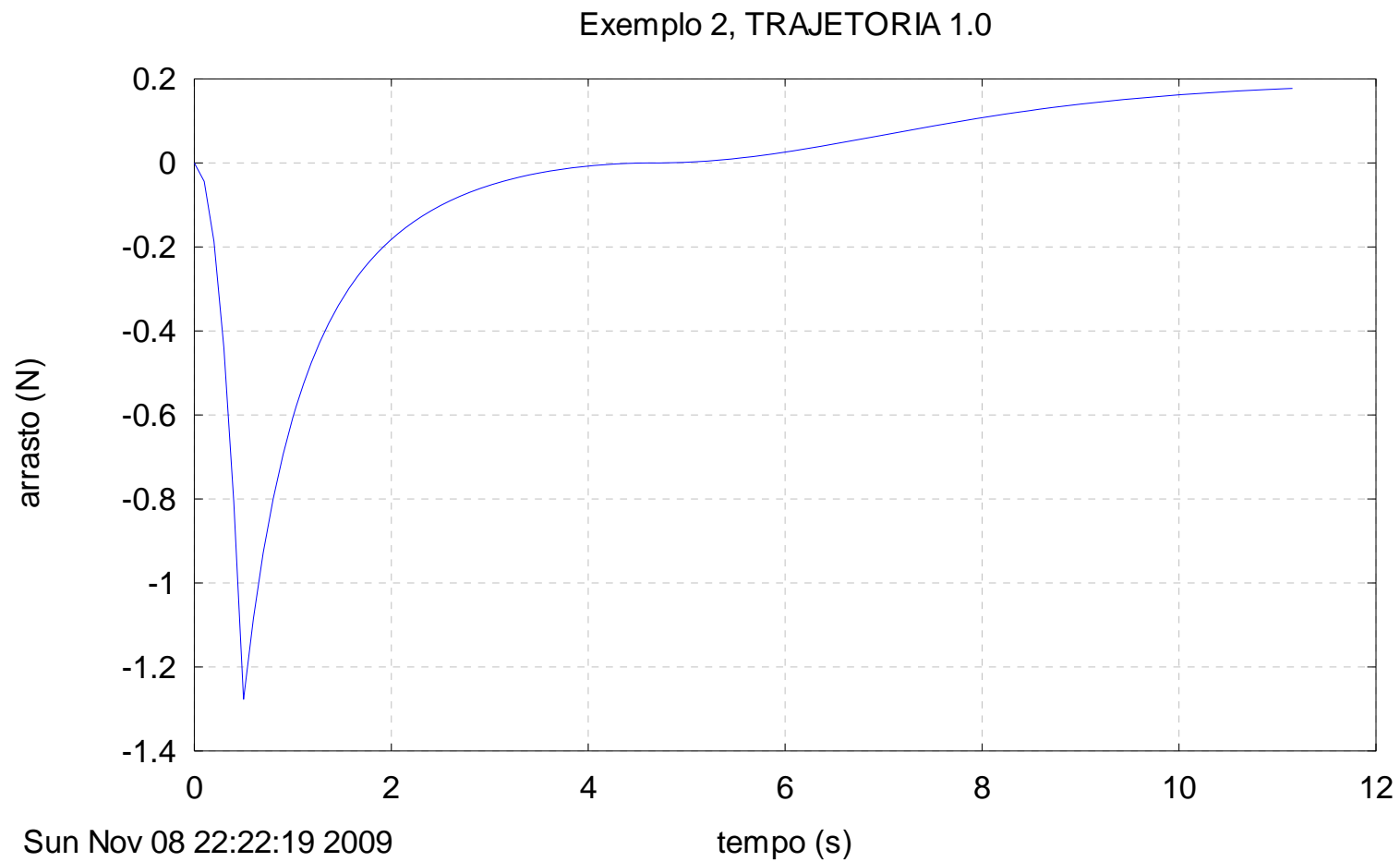


**Figura 8. Empuxo do foguetemodelo em função do tempo de voo.**





**Figura 9. Peso do foguetemodelo em função do tempo de voo.**



**Figura 10. Arrasto aerodinâmico sobre o foguetemodelo 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 voo 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:

- [1] Refazer a simulação do exemplo 2 para  $C_d = 0.75$ . Resultado principal: apogeu = 165 m.
- [2] Refazer a simulação do exemplo 2 para  $C_d = 0.50$ . Resultado principal: apogeu = 203 m.
- [3] Refazer a simulação do exemplo 2 para  $C_d = 0.25$ . Resultado principal: apogeu = 275 m.
- [4] Refazer a simulação do exemplo 2 para  $C_d = 0.00$ . Resultado principal: apogeu = 498 m.
- [5] 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.
- [6] 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 com  $I_t = 1.68 \text{ N.s}$ ). Resultado principal: apogeu = 113 m.
- [7] 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 com  $I_t = 3.83 \text{ N.s}$ ). Resultado principal: apogeu = 220 m.
- [8] 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 com  $I_t = 5.55 \text{ N.s}$ ). Resultado principal: apogeu = 291 m.