

# Aplicativo RockSim 7.0 - Tutorial 2b

## Objetivos:

- Aprender a usar o aplicativo RockSim 7.0 para cálculo do coeficiente de arrasto ( $C_D$ )
- Calcular o  $C_D$  do minifoguete Sondinha II
- Analisar o efeito sobre o  $C_D$  de cada parte do minifoguete Sondinha II
- Obter uma configuração do minifoguete Sondinha II com  $C_D$  minimizado

## $C_D$ da versão básica do minifoguete Sondinha II

1) Inicializar o aplicativo RockSim 7.0.

2) Para abrir o arquivo do exemplo 1 do minifoguete Sondinha II, gerado com o tutorial 1 do RockSim 7.0, executar:

- (a) No menu principal: File, Open;
- (b) escolher o diretório onde está o arquivo;
- (c) em File name usar “Sondinha\_II\_exemplo\_1” com extensão “.rkt”;
- (d) clicar no botão Open.

3) Conferir se os resultados mostrados na janela principal são os mesmos da Figura 1, abaixo.

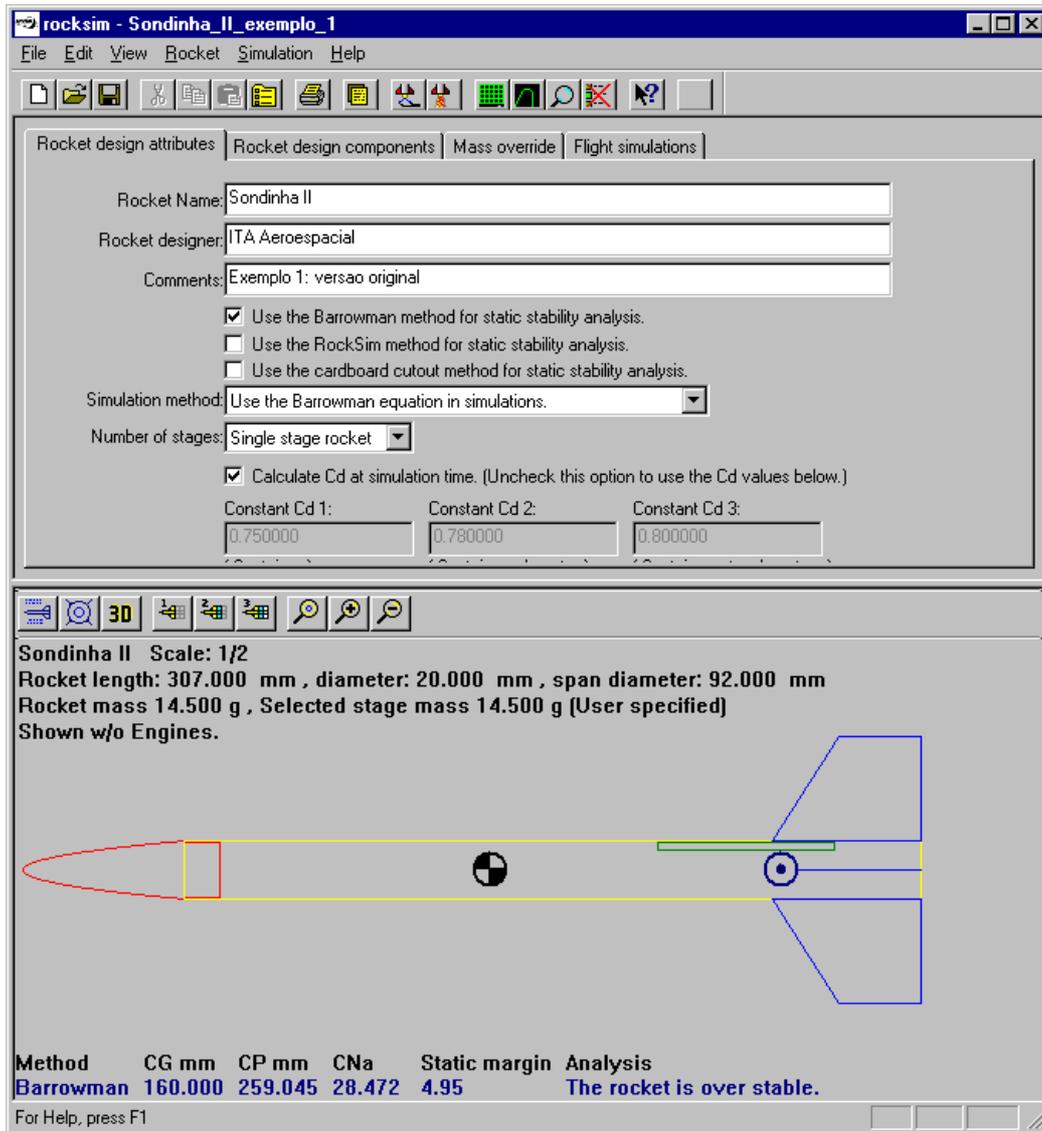


Figura 1. Resultados do arquivo “Sondinha\_II\_exemplo\_1.rkt”.

4) Para obter o  $C_D$  do exemplo 1 do minifoguete Sondinha II, executar no menu principal: Rocket, Cd analysis... Surgirá a janela “Drag coefficient analysis, mostrada na Figura 2, contendo o  $C_D$  numérico e percentual de cada parte do minifoguete, e o  $C_D$  total em função da velocidade do minifoguete. A velocidade é apresentada em km/h, conforme especificado no tutorial 1; esta unidade pode ser alterada. Também é mostrado o número de Mach correspondente ao valor da velocidade. Pode-se observar que: o  $C_D$  total é 1.01503 para velocidade = 0, isto é, numa velocidade muito baixa; o  $C_D$  total é 0.95864 para velocidade = 100 km/h; o  $C_D$  total é 1.01011, 0.91833 e 0.89877 para as velocidades = 50, 200 e 300 km/h, respectivamente. Em todos estas velocidades, mais de 50% do  $C_D$  total deve-se às empenas.

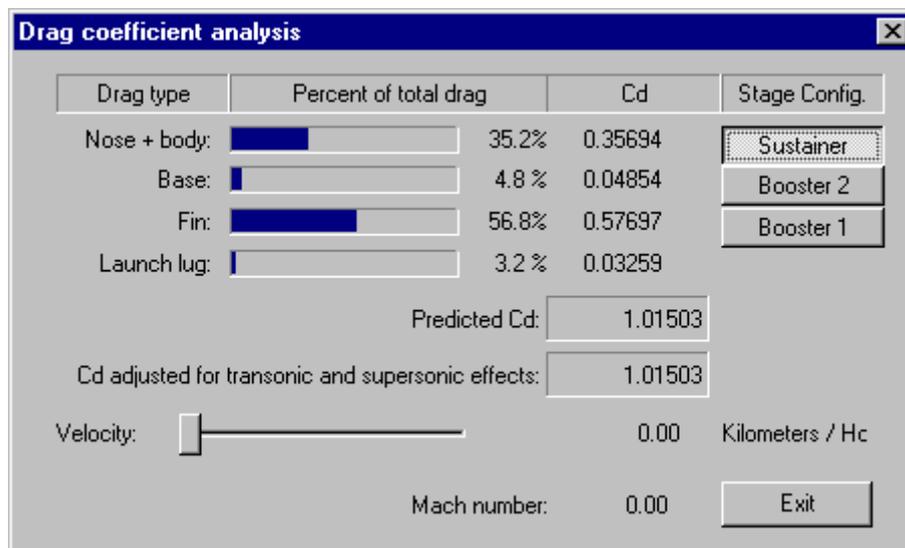


Figura 2.  $C_D$  do exemplo 1 do minifoguete Sondinha II.

5) Para alterar a velocidade e verificar o  $C_D$  resultante, executar:

- Clicar sobre o botão do item “Velocity:”
- Usar a seta para direita (→) do teclado para aumentar a velocidade; um clique corresponde a uma unidade;
- Usar a seta para esquerda (←) do teclado para diminuir a velocidade;
- Usar a tecla “Pg Dn” para aumentar a velocidade mais rapidamente;
- Usar a tecla “Pg Up” para diminuir a velocidade mais rapidamente; e
- Usar o mouse para arrastar o botão da velocidade.

## Efeito de cada parte sobre o $C_D$ do minifoguete Sondinha II

Nesta seção, a configuração definida no exemplo 1 do minifoguete Sondinha II, gerada com o tutorial 1 do RockSim 7.0, será usada como referência para avaliar o efeito sobre o  $C_D$  de cada parte do MF, na velocidade de 100 km/h. São usadas apenas duas casas decimais para ser coerente com a incerteza envolvida no cálculo do  $C_D$ .

**Deve-se realizar as simulações indicadas para confirmar os resultados apresentados nas tabelas.**

1) Para verificar o efeito da forma do nariz, Tabela 1. Deve-se verificar que ele é pequeno: o  $C_D$  total pode ser diminuído em cerca de 1%, em relação à referência, ao se usar o nariz com forma cônica.

Tabela 1. Efeito da forma do nariz sobre o exemplo 1 do minifoguete Sondinha II.

<b>Forma do nariz</b>	<b><math>C_D</math> total</b>
Parabolic (referência)	0.96
Conical	0.95
Elliptical	0.97
Ogive	0.96

2) Para verificar o efeito do acabamento do nariz, Tabela 2. Deve-se verificar que ele é desprezível: o  $C_D$  total não varia, em relação à referência, qualquer que seja o tipo de acabamento.

Tabela 2. Efeito do acabamento do nariz sobre o exemplo 1 do minifoguete Sondinha II.

<b>Acabamento do nariz</b>	<b><math>C_D</math> total</b>
Polished (referência)	0.96
Gloss paint	0.96
Matt finish	0.96
Unfinished	0.96

3) Para verificar o efeito do comprimento do nariz, Tabela 3. Deve-se verificar que ele é pequeno: o  $C_D$  total aumenta monotonicamente com o aumento do comprimento do nariz; o  $C_D$  total pode ser diminuído em cerca de 2%, em relação à referência, ao se usar o nariz com comprimento de 15 mm.

Tabela 3. Efeito do comprimento do nariz sobre o exemplo 1 do minifoguete Sondinha II.

<b>Comprimento do nariz</b>	<b>Outras alterações</b>	<b><math>C_D</math> total</b>
1 mm	Location das empenas = 201 mm	0.94
15 mm	Location das empenas = 216 mm	0.94
35 mm	Location das empenas = 236 mm	0.95
55 mm (referência)	Location das empenas = 256 mm	0.96
75 mm	Location das empenas = 276 mm	0.97
100 mm	Location das empenas = 301 mm	0.98

4) Para verificar o efeito do acabamento do tubo-foguete, Tabela 4. Deve-se verificar que ele é desprezível: o  $C_D$  total não varia, em relação à referência, qualquer que seja o tipo de acabamento.

Tabela 4. Efeito do acabamento do tubo-foguete sobre o exemplo 1 do minifoguete Sondinha II.

<b>Acabamento do tubo-foguete</b>	<b><math>C_D</math> total</b>
Polished	0.96
Gloss paint	0.96
Matt finish (referência)	0.96
Unfinished	0.96

5) Para verificar o efeito da razão entre o comprimento e o diâmetro externo (L/D) do tubo-foguete, Tabela 5. Deve-se verificar que a razão L/D tem grande efeito: o  $C_D$  total aumenta monotonicamente com o aumento desta razão; o  $C_D$  total pode ser diminuído em cerca de 65%, em relação à referência, ao se usar  $L/D = 5$ .

Tabela 5. Efeito da razão L/D do tubo-foguete sobre o exemplo 1 do minifoguete Sondinha II para  $L = 252$  mm fixo.

<b>L / D</b>	<b>Diâmetro externo do tubo-foguete</b>	<b>Diâmetro interno do tubo-foguete</b>	<b>Diâmetro do nariz</b>	<b><math>C_D</math> total</b>
5	50.4 mm	49.4	50.4 mm	0.34
8	31.5 mm	30.5	31.5 mm	0.54
10	25.2 mm	24.2	25.2 mm	0.71
12.6 (referência)	20 mm	19 mm	20 mm	0.96
15	16.8 mm	15.8	16.8 mm	1.23
25	10.08 mm	9.08	10.08 mm	2.72

Para o nariz, também deve-se alterar o diâmetro do "Shoulder" para o mesmo do nariz.

Também é necessário, após mudar os diâmetros, entrar na janela das empenas e do tubo-guia e sair clicando no botão OK.

6) Para verificar o efeito do acabamento das empenas, Tabela 6. Deve-se verificar que: ele é desprezível entre os três tipos melhores de acabamento; o  $C_D$  total aumenta muito se não for dado nenhum acabamento (unfinished) às empenas; e o  $C_D$  total pode ser diminuído em cerca de 33%, em relação à referência.

Tabela 6. Efeito do acabamento das empenas sobre o exemplo 1 do minifoguete Sondinha II.

<b>Acabamento das empenas</b>	<b><math>C_D</math> total</b>
Polished	0.64
Gloss paint	0.64
Matt finish	0.64
Unfinished (referência)	0.96

7) Para verificar o efeito do número de empenas, Tabela 7. Deve-se verificar que o efeito é grande: o  $C_D$  total aumenta monotonicamente com o aumento do número de empenas; o  $C_D$  total pode ser diminuído em cerca de 16%, em relação à referência, ao se usar 3 empenas.

Tabela 7. Efeito do número de empenas sobre o exemplo 1 do minifoguete Sondinha II.

<b>Número de empenas</b>	<b><math>C_D</math> total</b>
2	0.67
3	0.81
4 (referência)	0.96
5	1.10
6	1.25

8) Para verificar o efeito da forma das empenas, Tabela 8. Deve-se verificar que o  $C_D$  total aumenta em cerca de 8%, em relação à referência, ao se usar empenas com forma elíptica.

Tabela 8. Efeito da forma das empenas sobre o exemplo 1 do minifoguete Sondinha II.

<b>Forma das empenas</b>	<b><math>C_D</math> total</b>
Trapezoidal (referência)	0.96
Elliptical	1.04

9) Para verificar o efeito da seção transversal das empenas, Tabela 9. Deve-se verificar que ele é desprezível: o  $C_D$  total não varia, em relação à referência, qualquer que seja o tipo de seção transversal das empenas. Este comportamento teórico não é muito coerente com a realidade.

Tabela 9. Efeito da seção transversal das empenas sobre o exemplo 1 do minifoguete Sondinha II.

<b>Seção transversal das empenas</b>	<b><math>C_D</math> total</b>
Square (referência)	0.96
Rounded	0.96
Airfoil	0.96

10) Para verificar o efeito da espessura das empenas, Tabela 10. Deve-se verificar que o efeito é relativamente pequeno: o  $C_D$  total aumenta monotonicamente com o aumento da espessura das empenas; o  $C_D$  total pode ser diminuído em cerca de 2%, em relação à referência, ao se usar as empenas com 0.5 mm de espessura.

Tabela 10. Efeito da espessura das empenas sobre o exemplo 1 do minifoguete Sondinha II.

<b>Espessura das empenas</b>	<b><math>C_D</math> total</b>
0.5 mm	0.94
1 mm (referência)	0.96
1.5 mm	0.97
2 mm	0.99

11) Para verificar o efeito das dimensões das empenas, Tabela 11. Deve-se verificar que o efeito pode ser grande: o  $C_D$  total diminui monotonicamente com a diminuição da área das empenas, que para os casos testados significa diminuir a envergadura das empenas; o  $C_D$  total pode ser diminuído em cerca de 16%, em relação à referência, ao se usar a menor área dos 4 casos da Tabela 11.

Tabela 11. Efeito das dimensões das empenas sobre o exemplo 1 do minifoguete Sondinha II.

<b>Root cord Len</b>	<b>Tip cord Len</b>	<b>Sweep Len</b>	<b>Semi span</b>	<b><math>C_D</math> total</b>
51 mm	37.0 mm	14.0 mm	22.0 mm	0.81
51 mm	34.7 mm	16.3 mm	25.5 mm	0.85
51 mm	30.6 mm	20.4 mm	32.0 mm	0.92
51 mm (referência)	28.0 mm	23.0 mm	36.0 mm	0.96

12) Para verificar o efeito da razão entre o comprimento e o diâmetro externo (L/D) do tubo-foguete, Tabela 12. Deve-se verificar que a razão L/D tem efeito significativo: o  $C_D$  total aumenta monotonicamente com o aumento desta razão; o  $C_D$  total pode ser diminuído em cerca de 11%, em relação à referência, ao se usar  $L/D = 5$ .

Tabela 12. Efeito da razão L/D do tubo-foguete sobre o exemplo 1 do minifoguete Sondinha II, para  $D = 20$  mm fixo.

<b>L / D</b>	<b>Length (L) do tubo-foguete</b>	<b>Location das empenas (Fin set)</b>	<b>Location do tubo-guia (Launch lug)</b>	<b><math>C_D</math> total</b>
5	100 mm	104 mm	30 mm	0.85
8	160 mm	164 mm	70 mm	0.89
10	200 mm	204 mm	110 mm	0.92
12.6 (referência)	252 mm	256 mm	162 mm	0.96
15	300 mm	304 mm	210 mm	0.99
25	500 mm	504 mm	410 mm	1.14

## **Exercícios:**

### **Exercício 4.1:**

Partindo dos dados do arquivo “Sondinha\_II\_exemplo\_1.rkt” e considerando:

- (a) a massa de cada parte do minifoguete calculada pelo aplicativo RockSim 7.0;
- (b) o diâmetro do tubo-foguete = 20 mm;
- (c) o motor APOGEE A2 com ejection delay = 0 s;
- (d) o cálculo do CP pelo método de Barrowman;
- (e) a margem estática (E) próxima à unidade; e
- (f) os efeitos que minimizam o  $C_D$  total do minifoguete;

projetar uma versão otimizada do MF Sondinha II para que seu  $C_D$  total seja o menor possível na velocidade de 100 km/h.

### **Exercício 4.2:**

Repetir o exercício 4.1 para diâmetro do tubo-foguete livre, desde que atenda ao diâmetro do motor.

### **Exercício 4.3:**

Repetir o exercício 4.1 para o motor ESTES A3 com ejection delay = 0 s.

### **Exercício 4.4:**

Repetir o exercício 4.1 para o motor ESTES B6 com ejection delay = 0 s.

### **Exercício 4.5:**

Repetir o exercício 4.1 para o motor ESTES C6 com ejection delay = 0 s.