

Lançamento do Ônibus Espacial Discovery (STS-121)



No dia 4 de julho de 2006, o ônibus espacial *Discovery* foi lançado do Centro Espacial Kennedy na missão STS-121, com o objetivo de se acoplar à estação espacial internacional (*International Space Station, ISS*). A Tabela 1 mostra a variação da altitude, velocidade e aceleração do ônibus espacial a cada 20 segundos, iniciando no lançamento até o ponto de desligamento dos motores (*Main-engine Cut-off, MECO*).

Tabela 1. Missão STS-121

Tempo (s)	Altitude (m)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s ²)
0	-8	0	2,45
20	1244	139	18,62
40	5377	298	16,37
60	11617	433	19,4
80	19872	685	24,5
100	31412	1026	24,01
120	44726	1279	8,72
140	57396	1373	9,7
160	67893	1490	10,19
180	77485	1634	10,68
200	85662	1800	11,17
220	92481	1986	11,86
240	98004	2191	12,45
260	102301	2417	13,23
280	105321	2651	13,92
300	107449	2915	14,9
320	108619	3203	15,97
340	108942	3516	17,15
360	108543	3860	18,62
380	107690	4216	20,29
400	106539	4630	22,34
420	105142	5092	24,89
440	103775	5612	28,03
460	102807	6184	29,01
480	102552	6760	29,3
500	103297	7327	29,01
520	105069	7581	0,1

A seguir apresentaremos questões referentes a tabela 1, onde você irá determinar a função posição $y(t)$, função velocidade $v(t)$ e a função aceleração $a(t)$. A posição do ônibus espacial é definida como a localização num sistema de coordenadas. No presente problema, a altitude do ônibus espacial em função do tempo depois do lançamento é a posição vertical. A velocidade é a taxa de variação da posição vertical com relação ao tempo. A aceleração é definida como a taxa de variação da velocidade com relação ao tempo.

Tabela 1. Missão STS-121

Tempo (s)	Altitude (m)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s ²)
0	-8	0	2,45
20	1244	139	18,62
40	5377	298	16,37
60	11617	433	19,4
80	19872	685	24,5
100	31412	1026	24,01
120	44726	1279	8,72
140	57396	1373	9,7
160	67893	1490	10,19
180	77485	1634	10,68
200	85662	1800	11,17
220	92481	1986	11,86
240	98004	2191	12,45
260	102301	2417	13,23
280	105321	2651	13,92
300	107449	2915	14,9
320	108619	3203	15,97
340	108942	3516	17,15
360	108543	3860	18,62
380	107690	4216	20,29
400	106539	4630	22,34
420	105142	5092	24,89
440	103775	5612	28,03
460	102807	6184	29,01
480	102552	6760	29,3
500	103297	7327	29,01
520	105069	7581	0,1

Tabela 1. Missão STS-121

Questões

A. Use os dados da Tabela 1 para responder as questões abaixo.

i. Crie um gráfico da altitude do ônibus espacial em relação ao tempo.

ii. Use a regressão linear do programa `shuttle_ascent_model_v102.py` para determinar que tipo de função melhor se ajusta aos dados experimentais (linear, quadrática, cúbica, ou a quarta potência).

Tempo (s)	Altitude (m)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s ²)
0	-8	0	2,45
20	1244	139	18,62
40	5377	298	16,37
60	11617	433	19,4
80	19872	685	24,5
100	31412	1026	24,01
120	44726	1279	8,72
140	57396	1373	9,7
160	67893	1490	10,19
180	77485	1634	10,68
200	85662	1800	11,17
220	92481	1986	11,86
240	98004	2191	12,45
260	102301	2417	13,23
280	105321	2651	13,92
300	107449	2915	14,9
320	108619	3203	15,97
340	108942	3516	17,15
360	108543	3860	18,62
380	107690	4216	20,29
400	106539	4630	22,34
420	105142	5092	24,89
440	103775	5612	28,03
460	102807	6184	29,01
480	102552	6760	29,3
500	103297	7327	29,01
520	105069	7581	0,1

Tabela 1. Missão STS-121

Questões

B. Escreva a função descrevendo a altitude (y) do ônibus espacial em função do tempo (t). Use a função obtida por regressão linear usando o programa *shuttle_ascent_model_v102.py*.

Tempo (s)	Altitude (m)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s ²)
0	-8	0	2,45
20	1244	139	18,62
40	5377	298	16,37
60	11617	433	19,4
80	19872	685	24,5
100	31412	1026	24,01
120	44726	1279	8,72
140	57396	1373	9,7
160	67893	1490	10,19
180	77485	1634	10,68
200	85662	1800	11,17
220	92481	1986	11,86
240	98004	2191	12,45
260	102301	2417	13,23
280	105321	2651	13,92
300	107449	2915	14,9
320	108619	3203	15,97
340	108942	3516	17,15
360	108543	3860	18,62
380	107690	4216	20,29
400	106539	4630	22,34
420	105142	5092	24,89
440	103775	5612	28,03
460	102807	6184	29,01
480	102552	6760	29,3
500	103297	7327	29,01
520	105069	7581	0,1

Tabela 1. Missão STS-121

Questões

C. Determine a primeira derivada da função descrevendo a altitude (y) do ônibus espacial em função do tempo (t). Qual grandeza física representa esta primeira derivada?

Tempo (s)	Altitude (m)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s ²)
0	-8	0	2,45
20	1244	139	18,62
40	5377	298	16,37
60	11617	433	19,4
80	19872	685	24,5
100	31412	1026	24,01
120	44726	1279	8,72
140	57396	1373	9,7
160	67893	1490	10,19
180	77485	1634	10,68
200	85662	1800	11,17
220	92481	1986	11,86
240	98004	2191	12,45
260	102301	2417	13,23
280	105321	2651	13,92
300	107449	2915	14,9
320	108619	3203	15,97
340	108942	3516	17,15
360	108543	3860	18,62
380	107690	4216	20,29
400	106539	4630	22,34
420	105142	5092	24,89
440	103775	5612	28,03
460	102807	6184	29,01
480	102552	6760	29,3
500	103297	7327	29,01
520	105069	7581	0,1

Tabela 1. Missão STS-121

Questões

D. Calcule os pontos de inflexão da função descrevendo a altitude (y) do ônibus espacial em função do tempo (t). Você precisa calcular a segunda derivada de y com relação ao tempo e igualar o resultado a zero. Qual grandeza física representa esta segunda derivada? Descreva a concavidade da função da altitude (y) do ônibus espacial.

Tempo (s)	Altitude (m)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s ²)
0	-8	0	2,45
20	1244	139	18,62
40	5377	298	16,37
60	11617	433	19,4
80	19872	685	24,5
100	31412	1026	24,01
120	44726	1279	8,72
140	57396	1373	9,7
160	67893	1490	10,19
180	77485	1634	10,68
200	85662	1800	11,17
220	92481	1986	11,86
240	98004	2191	12,45
260	102301	2417	13,23
280	105321	2651	13,92
300	107449	2915	14,9
320	108619	3203	15,97
340	108942	3516	17,15
360	108543	3860	18,62
380	107690	4216	20,29
400	106539	4630	22,34
420	105142	5092	24,89
440	103775	5612	28,03
460	102807	6184	29,01
480	102552	6760	29,3
500	103297	7327	29,01
520	105069	7581	0,1

Questões

E. Analise a função altitude no intervalo $[0,160]$. O que acontece com o ônibus espacial quando a concavidade muda?

Tabela 1. Missão STS-121

Tempo (s)	Altitude (m)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s ²)
0	-8	0	2,45
20	1244	139	18,62
40	5377	298	16,37
60	11617	433	19,4
80	19872	685	24,5
100	31412	1026	24,01
120	44726	1279	8,72
140	57396	1373	9,7
160	67893	1490	10,19
180	77485	1634	10,68
200	85662	1800	11,17
220	92481	1986	11,86
240	98004	2191	12,45
260	102301	2417	13,23
280	105321	2651	13,92
300	107449	2915	14,9
320	108619	3203	15,97
340	108942	3516	17,15
360	108543	3860	18,62
380	107690	4216	20,29
400	106539	4630	22,34
420	105142	5092	24,89
440	103775	5612	28,03
460	102807	6184	29,01
480	102552	6760	29,3
500	103297	7327	29,01
520	105069	7581	0,1

Tabela 1. Missão STS-121

Questões

F. Responda as questões baseadas nos dados da Tabela 1.

i. Faça um gráfico de dispersão da velocidade do ônibus espacial com relação ao tempo.

ii. Explique o que ocorre com a velocidade do ônibus espacial no intervalo de tempo $[0,520]$

iii. Determine a equação de regressão para velocidade em função do tempo.

Tempo (s)	Altitude (m)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s ²)
0	-8	0	2,45
20	1244	139	18,62
40	5377	298	16,37
60	11617	433	19,4
80	19872	685	24,5
100	31412	1026	24,01
120	44726	1279	8,72
140	57396	1373	9,7
160	67893	1490	10,19
180	77485	1634	10,68
200	85662	1800	11,17
220	92481	1986	11,86
240	98004	2191	12,45
260	102301	2417	13,23
280	105321	2651	13,92
300	107449	2915	14,9
320	108619	3203	15,97
340	108942	3516	17,15
360	108543	3860	18,62
380	107690	4216	20,29
400	106539	4630	22,34
420	105142	5092	24,89
440	103775	5612	28,03
460	102807	6184	29,01
480	102552	6760	29,3
500	103297	7327	29,01
520	105069	7581	0,1

Tabela 1. Missão STS-121

Questões

G. Responda as questões baseadas nos dados da Tabela 1.

i. Faça um gráfico de dispersão da aceleração do ônibus espacial com relação ao tempo.

ii. Identifique no gráfico onde ocorre a separação dos foguetes de combustível sólido.

iii. O que acontece com a aceleração no intervalo [480, 500]?

iv. Por que a aceleração cai bruscamente no intervalo [500, 520]?

Tempo (s)	Altitude (m)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s ²)
0	-8	0	2,45
20	1244	139	18,62
40	5377	298	16,37
60	11617	433	19,4
80	19872	685	24,5
100	31412	1026	24,01
120	44726	1279	8,72
140	57396	1373	9,7
160	67893	1490	10,19
180	77485	1634	10,68
200	85662	1800	11,17
220	92481	1986	11,86
240	98004	2191	12,45
260	102301	2417	13,23
280	105321	2651	13,92
300	107449	2915	14,9
320	108619	3203	15,97
340	108942	3516	17,15
360	108543	3860	18,62
380	107690	4216	20,29
400	106539	4630	22,34
420	105142	5092	24,89
440	103775	5612	28,03
460	102807	6184	29,01
480	102552	6760	29,3
500	103297	7327	29,01
520	105069	7581	0,1

Tabela 1. Missão STS-121

Questões

H. Usando o gráfico de dispersão da questão G, parte i, responda as seguintes questões.

i. Há uma função que se ajusta aos dados da aceleração em função do tempo?

ii. O que a função aceleração descreve no intervalo [120, 460]?

Tempo (s)	Altitude (m)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s ²)
0	-8	0	2,45
20	1244	139	18,62
40	5377	298	16,37
60	11617	433	19,4
80	19872	685	24,5
100	31412	1026	24,01
120	44726	1279	8,72
140	57396	1373	9,7
160	67893	1490	10,19
180	77485	1634	10,68
200	85662	1800	11,17
220	92481	1986	11,86
240	98004	2191	12,45
260	102301	2417	13,23
280	105321	2651	13,92
300	107449	2915	14,9
320	108619	3203	15,97
340	108942	3516	17,15
360	108543	3860	18,62
380	107690	4216	20,29
400	106539	4630	22,34
420	105142	5092	24,89
440	103775	5612	28,03
460	102807	6184	29,01
480	102552	6760	29,3
500	103297	7327	29,01
520	105069	7581	0,1

Tabela 1. Missão STS-121

Questões

I. Compare as funções da velocidade obtidas por derivada e regressão.

Tempo (s)	Altitude (m)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s ²)
0	-8	0	2,45
20	1244	139	18,62
40	5377	298	16,37
60	11617	433	19,4
80	19872	685	24,5
100	31412	1026	24,01
120	44726	1279	8,72
140	57396	1373	9,7
160	67893	1490	10,19
180	77485	1634	10,68
200	85662	1800	11,17
220	92481	1986	11,86
240	98004	2191	12,45
260	102301	2417	13,23
280	105321	2651	13,92
300	107449	2915	14,9
320	108619	3203	15,97
340	108942	3516	17,15
360	108543	3860	18,62
380	107690	4216	20,29
400	106539	4630	22,34
420	105142	5092	24,89
440	103775	5612	28,03
460	102807	6184	29,01
480	102552	6760	29,3
500	103297	7327	29,01
520	105069	7581	0,1

Tabela 1. Missão STS-121

Questões

J. Compare as funções da aceleração obtidas por derivada e regressão.

Tempo (s)	Altitude (m)	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s ²)
0	-8	0	2,45
20	1244	139	18,62
40	5377	298	16,37
60	11617	433	19,4
80	19872	685	24,5
100	31412	1026	24,01
120	44726	1279	8,72
140	57396	1373	9,7
160	67893	1490	10,19
180	77485	1634	10,68
200	85662	1800	11,17
220	92481	1986	11,86
240	98004	2191	12,45
260	102301	2417	13,23
280	105321	2651	13,92
300	107449	2915	14,9
320	108619	3203	15,97
340	108942	3516	17,15
360	108543	3860	18,62
380	107690	4216	20,29
400	106539	4630	22,34
420	105142	5092	24,89
440	103775	5612	28,03
460	102807	6184	29,01
480	102552	6760	29,3
500	103297	7327	29,01
520	105069	7581	0,1

- BRESSERT, Eli. **SciPy and NumPy**. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2013. 56 p.
 - DAWSON, Michael. **Python Programming, for the absolute beginner**. 3ed. Boston: Course Technology, 2010. 455 p.
 - HAL, Tim, STACEY, J-P. **Python 3 for Absolute Beginners**. Springer-Verlag New York, 2009. 295 p.
 - HETLAND, Magnus Lie. **Python Algorithms. Mastering Basic Algorithms in the Python Language**. Nova York: Springer Science+Business Media LLC, 2010. 316 p.
 - IDRIS, Ivan. **NumPy 1.5. An action-packed guide dor the easy-to-use, high performance, Python based free open source NumPy mathematical library using real-world examples. Beginner's Guide**. Birmingham: Packt Publishing Ltd., 2011. 212 p.
 - KIUSALAAS, Jaan. **Numerical Methods in Engineering with Python**. 2ed. Nova York: Cambridge University Press, 2010. 422 p.
 - LANDAU, Rubin H. **A First Course in Scientific Computing: Symbolic, Graphic, and Numeric Modeling Using Maple, Java, Mathematica, and Fortran90**. Princeton: Princeton University Press, 2005. 481p.
 - LANDAU, Rubin H., PÁEZ, Manuel José, BORDEIANU, Cristian C. **A Survey of Computational Physics. Introductory Computational Physics**. Princeton: Princeton University Press, 2008. 658 p.
 - LUTZ, Mark. **Programming Python**. 4ed. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2010. 1584 p.
 - TIPLER, P. A. & MOSCA, G. **Física para Cientistas e Engenheiros**. Vol. 1. 6ª Ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda. 2012., 759 pp.
 - TOSI, Sandro. **Matplotlib for Python Developers**. Birmingham: Packt Publishing Ltd., 2009. 293 p.
- Sites da Nasa:
- <https://www.nasa.gov/audience/foreducators/mathandscience/home/index.html>
 - https://www.nasa.gov/audience/foreducators/mathandscience/exploration/Prob_ShuttleAscent_detail.html
 - <https://www.nasa.gov/audience/foreducators/mathandscience/exploration/index.html>
 - https://www.nasa.gov/pdf/522602main_AP_ED_ShuttleAscent_Nspire.pdf