

DETERMINANDO A VELOCIDADE TERMINAL DE UM MICROMETEORITO

DAVY ALBERT DUTRA DE ANDRADE¹, PEDRO RICARDO DA SILVA NETO², DEIDIMAR
ALVES BRISSI³

¹Estudante do Ensino médio integrado ao curso de informática, IFSP, Câmpus Birigui, davy.albert@aluno.ifsp.edu.br

²Graduando em Licenciatura em Física, IFSP, Câmpus Birigui, pedro.ricardo@aluno.ifsp.edu.br

³PEBTT do IFSP, Câmpus Birigui, deidimar@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 1.04.05.00-3 Astrofísica do Sistema Solar

RESUMO: De origem incerta, cerca de 70 toneladas de material extraterrestre caem na Terra todos os dias. No entanto, quase todo este material desintegra-se na passagem pela atmosfera, em decorrência da velocidade altíssima à que são expostos, não suportando os efeitos térmicos. Nesse sentido esse trabalho foi desenvolvido, partindo de condições pré-determinadas com objetivo de simplificar o contexto e com as ferramentas devidas, para determinar a velocidade de um micrometeorito passando pela atmosfera terrestre. Para tal, foi necessário compreender de que forma a força de arrasto interage com os corpos em queda, e com aproximações para valores morfológicos foi calculada a velocidade terminal para o intervalo de tamanho desses corpos que adentram a atmosfera diariamente. Com os dados obtidos foi possível realizar uma análise com outros trabalhos já realizados nesta área, obtendo resultados próximos aos da bibliografia, uma vez que a velocidade terminal se mostrou dependente do raio do corpo. Constatou-se que os micrometeoritos com raios maiores, possuem velocidade terminal cada vez mais alta e maior porcentagem de material derretido, tornando mais difícil sua análise, assim como os micrometeoritos de raios inferiores tendem a possuir informações pouco confiáveis sobre sua origem e composição.

PALAVRAS-CHAVE: meteoros; meteoritos; asteroides; sistema solar; astronomia

DETERMINING THE TERMINAL SPEED OF A MICROMETEORITE

ABSTRACT: Of uncertain origin, about 70 tons fall in Earth every day. However, almost all of this material disintegrates in the passage through the atmosphere, due to the extremely high speed that they are exposed, not supporting the thermal effects. In this sense, this work was developed, starting from predetermined conditions in order to simplify the context and with the necessary tools, determine the speed of a micrometeorite passing through the Earth's atmosphere. To determine the terminal velocity of these bodies, it was necessary to understand how the drag force interacts with falling bodies, and with approximations for morphological values, the terminal velocity was calculated for the size interval of these bodies entering the atmosphere daily. With the data obtained it was possible to carry out an analysis with other works already carried out in this area, obtaining results close to those of the bibliography, since the terminal speed was shown to be dependent on the body radius. Where micrometeorites with larger radii have an increasingly higher terminal velocity, making their analysis more difficult when they reach the Earth's surface, just as micrometeorites with lower rays tend to have unreliable information about their origin and composition.

KEYWORDS: meteors; meteorites; asteroids; solar system; astronomy

INTRODUÇÃO

De origem incerta, cerca de 70 toneladas caem na Terra todos os dias. No entanto, cerca de 90% (ZOLENSKY, 2006) desses meteoroides não chegam perto o suficiente da superfície terrestre para que seja possível estudar suas características, pois desintegram-se na passagem pela atmosfera, em decorrência da velocidade altíssima que são expostos, não suportando os efeitos térmicos.

Este material chega no solo, na sua maioria em forma de poeira (micrometeoritos) que varia de 50 nanômetros à 2 milímetros de comprimento. Estas partículas apresentam características que possibilitam estudar sua composição e origem.

Esses fatores são extremamente úteis para o entendimento da formação do Sistema Solar, e além disso, o estudo dos mesmos tem caráter didático para aulas práticas, uma vez que são facilmente encontrados mesmo em cidades, com a metodologia devida, e assim, permitem aos alunos estudarem temas relacionados à Física e Astronomia na forma de uma atividade prática.

Nesse sentido esse trabalho foi desenvolvido, partindo de condições pré-determinadas com objetivo de entender o contexto e com as ferramentas devidas, determinar a velocidade de um micrometeorito passando pela atmosfera terrestre.

MATERIAL E MÉTODOS

Um corpo atravessando um fluido, com uma dada aceleração, possui uma área projetada que está sendo atingida por partículas do fluido. Conforme ocorrem esses impactos minúsculos (que, no entanto, ocorrem aos bilhões), o corpo desacelera. Assim, há uma força indo na direção contrária ao movimento: a força de arrasto. Temos então duas forças sobre o corpo: a que o está acelerando na direção do movimento, F_d , e a força das partículas atingindo-o, F_a (força de arrasto). Conforme esse corpo ficar mais veloz, F_a será também cada vez maior (o que é intuitivo), até que $F_a = F_d$. Nesse ponto, o corpo não é mais acelerado (a resultante das forças será zero, $m \cdot a = 0$, pela 2ª Lei de Newton, e $a = 0$) e a velocidade máxima que atingiu é o que chamamos de velocidade terminal do corpo num dado fluido (V_T). Ele não ultrapassará essa velocidade enquanto estiver nas condições dadas, e isso é experimentalmente comprovado.

Para encontrar a velocidade terminal, é necessário trabalhar com os fatores dos dependentes da força de arrasto exercida pelo fluido, e depois, por meio da segunda lei de Newton, encontrar a equação de movimento do corpo. Sendo a força de arrasto resultante do impacto de partículas do fluido sobre a área do corpo perpendicular ao movimento. Pois bem, quanto mais partículas houver no fluido (ou quanto mais denso ele for) maior será essa força. Assim, um dos fatores é a densidade (ρ) do meio no qual está caindo o corpo.

A área “projetada” do corpo para o fluido, A , também será importante para a definição da força de arrasto: quanto maior for essa área, mais partículas incidirão nela, aumentando F_a . Por fim, teremos o coeficiente de arrasto, C , que depende do formato do objeto. Esse último, é também relacionado à área do objeto, mas não existe uma fórmula para relacioná-los diretamente. Assim, é necessário fazer experimentos para identificar C e incluí-lo na equação da força de arrasto separadamente.

A equação que define a força de arrasto é, como é verificado experimentalmente:

$$F_a = \left(\frac{1}{2} C \rho A\right) V^2 \quad (1)$$

em que,

V é a velocidade do corpo no momento em que é calculada a força de arrasto.

Nessa equação, vemos representados todos os fatores que considerávamos.

No momento em que $F_a = F_d$ (considerando a direção do movimento como a direção positiva), utilizando a força de arrasto tal como na eq. (1), podemos definir que a velocidade instantânea é simplesmente a velocidade terminal V_T procurada, como já explicado, e assim, pela 2ª Lei de Newton:

$$F_a - \left(\frac{1}{2} C \rho A\right) V_T^2 = m \frac{dv}{dt}$$

$$F_a = \left(\frac{1}{2} C \rho A\right) V_T^2 \quad (2)$$

Resolvendo a eq. (2) para V_T , e considerando $F_d = mg$, o que é verdade para um corpo que esteja atravessando a atmosfera terrestre em queda livre:

$$V_T^2 = \sqrt{\frac{2mg}{C \rho A}}$$

Resultando na fórmula para a velocidade terminal de um corpo.

Para o caso específico da velocidade terminal de um micrometeorito na atmosfera, são necessárias algumas considerações importantes para o desenvolvimento do problema. É perceptível que haverá diversas informações que ficarão como genéricas, pois seria complexo e talvez impossível fazer o cálculo com informações exatas para um micrometeorito específico e com informações exatas do meio pelo qual ele passou. Assim, foi considerado:

- A densidade dos micrometeoritos como iguais à do Ferro ($7,87 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$), pois esse é o elemento predominante nesses corpos extraterrestres, tal como foram analisados em análises e trabalhos antes desse;

- O vetor que representa a velocidade de entrada dos corpos estudados na atmosfera como sendo nulo, o que não condiz com a realidade, mas que também não modifica os resultados da equação utilizada (que independe da velocidade inicial dos micrometeoritos);

- O formato dos micrometeoritos sendo esférico, já que, apesar da maioria desses micrometeoritos terem irregularidades, elas não produzem grande diferença na área de uma seção transversal dos mesmos;

- O raio dessas esferulas será considerado de 50 nm à 2 mm, que é aproximadamente o raio da maior parte dos micrometeoritos que conseguem chegar à Terra sem danos muito significativos ao seu formato (P. FRAUNDORF, 1980);

- A única força agindo para que o corpo atravesse a atmosfera é a força gravitacional da Terra, atraindo o micrometeorito. Outras forças, como o empuxo, são de magnitude desprezível no contexto, e por isso foram desconsideradas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estudos realizados (BROWNLEE, 1985; LOVE, 1993; TAYLOR, 2012) coletando e analisando esses micrometeoritos, mostraram que os mesmos possuem uma composição quase que predominante de silicatos minerais e elementos comumente encontrados em amostras extraterrestres (como o Irídio e o Escândio). Mostram também que são semelhantes em grande parte aos condritos e apresentam formas arredondadas ou totalmente irregulares (dependendo do quanto “sofreram” com sua passagem pela atmosfera). A coleta desses micrometeoritos foi feita, em grande parte dos estudos citados, em geleiras. Na verdade, na água das geleiras, essas esferulas acabam sendo melhor preservadas, pois não se misturam facilmente com outros elementos presentes no solo.

Usando o valor da densidade do ar atmosférico dado pela ANAC (Norma Internacional Atmosfera), $1,225 \text{ kg/m}^3$, e o coeficiente de arrasto dado por 0,47. A área A será simplesmente a área de uma seção transversal da esfera, e a massa, o produto da sua densidade (densidade do ferro) e do seu volume ($(4/3) \cdot \pi \cdot r^3$). Sendo assim:

$$\begin{aligned}C &= 0,47 \\ \rho &= 1,225 \text{ kg/m}^3 \\ A &= (3,14) \cdot r^2 \\ g &= 9,81 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

Utilizando-se dessas informações, podemos escrever a velocidade terminal, a partir da eq. 3, como função apenas do raio da esfera:

$$V_T = \sqrt{\frac{2 \cdot (3,29 \cdot 10^4) \cdot r^3 \cdot (9,8)}{(0,47) \cdot (1,225) \cdot (3,14) r^2}} = \sqrt{3,56 \cdot 10^4 \cdot r} \quad (4)$$

Com a função dada pela eq. 4, plotou-se o Gráfico 1 onde r varia de 50 nm à 2 mm, de 100 em 100 nm.

CONCLUSÕES

É possível observar no gráfico que a velocidade terminal é muito dependente do raio do corpo, no caso os micrometeoritos. Podemos cruzar essas informações com o gráfico de (P. FRAUNDORF, 1980), relacionado à proporção de componentes derretidos de rochas extraterrestres que atravessaram a atmosfera (ROBIN, 1992). Nota-se que, como esperado, os micrometeoritos com raios maiores, pelo gráfico de $V_T(r)$, terão uma velocidade terminal cada vez mais alta, e pelo gráfico de Fraundorf, uma proporção de componentes derretidos cada vez maior, se tornando mais difícil sua análise, quando chegam à superfície terrestre. Assim, micrometeoritos com raios muito altos no intervalo de sua definição tendem a mostrar informações pouco confiáveis sobre sua origem e composição.

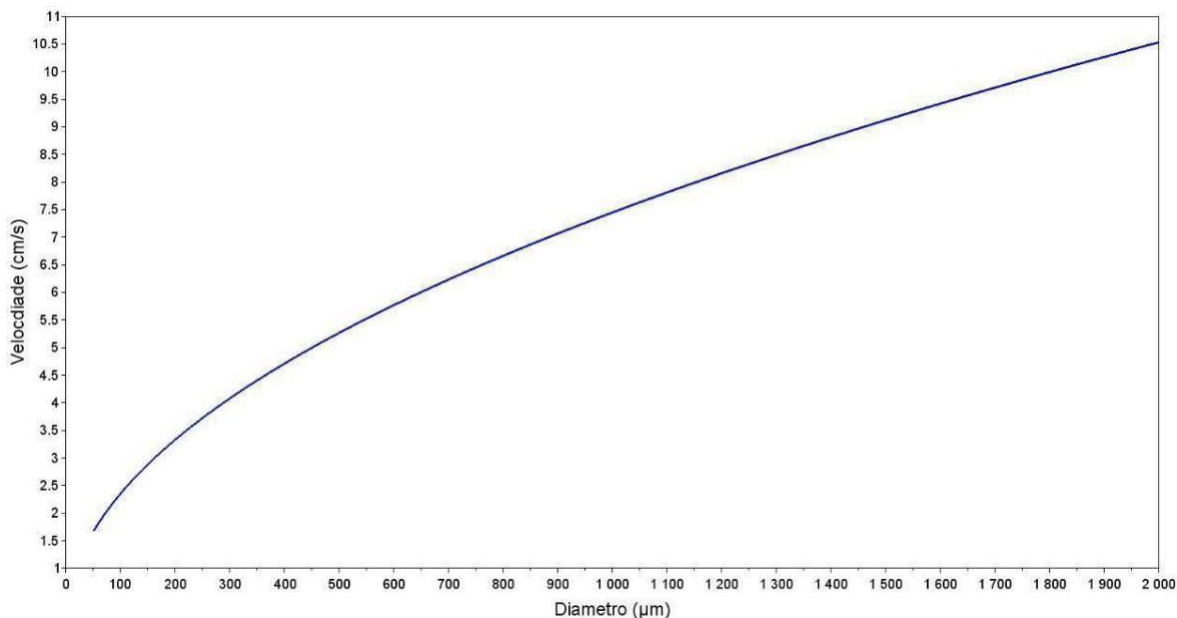


Gráfico 1 – Velocidade terminal (cm/s) em função do diâmetro do micrometeorito (μm), onde r varia de 50 nm à 2 mm, de 100 em 100 nm.

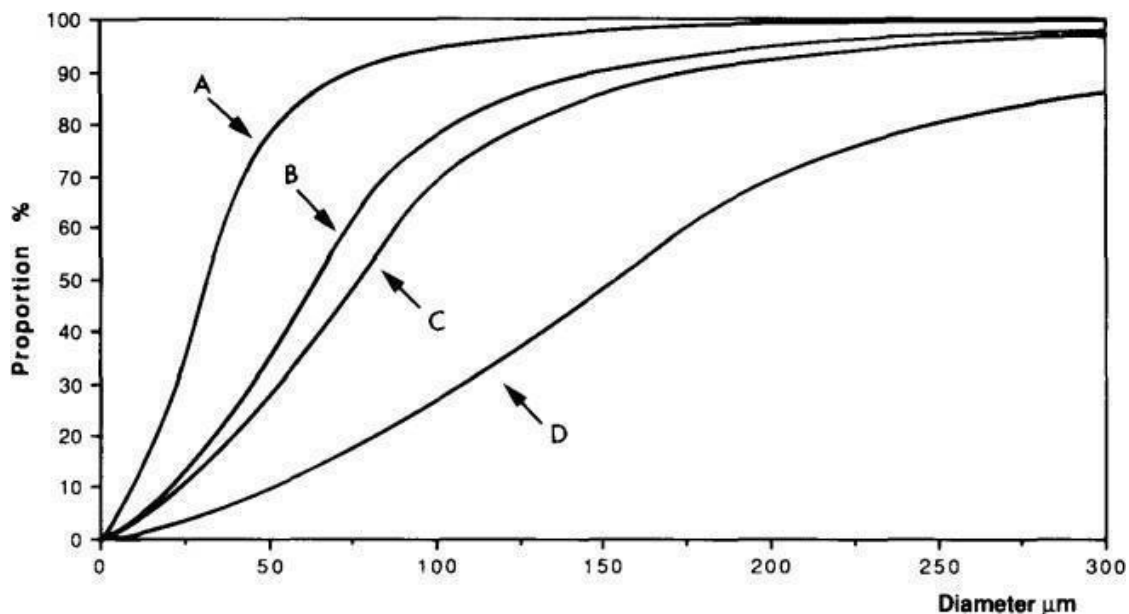


Gráfico 2 - Proporção de micrometeoroides que aquecidos acima de uma dada temperatura calculada do modelo de Fraundorf. Curvas A, B, C, D representam a proporção de micrometeoroides aquecidos acima das temperaturas de derretimento da fayalite, ferrosilite, enstatite e forsterite respectivamente.

Fonte: FRAUNDORF, 1980.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos toda equipe da CPI-Câmpus Birigui pelo apoio constante.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). «**Atmosfera padrão (internacional)**». Anacpédia. Brasil. Disponível em: https://www2.anac.gov.br/anacpedia/por_esp/tr146.htm

BROWNLEE, Donald E. Cosmic dust: Collection and research. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 13, n. 1, p. 147-173, 1985.

FRAUNDORF, P. The distribution of temperature maxima for micrometeorites decelerated in the Earth's atmosphere without melting. **Geophysical Research Letters**, v. 7, n. 10, p. 765-768, 1980.

LOVE, S. G.; BROWNLEE, D. E. A direct measurement of the terrestrial mass accretion rate of cosmic dust. **Science**, v. 262, n. 5133, p. 550-553, 1993.

ROBIN, E. et al. Formation of spinels in cosmic objects during atmospheric entry: a clue to the Cretaceous-Tertiary boundary event. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 108, n. 4, p. 181-190, 1992.

TAYLOR, Susan; MATRAJT, Graciela; GUAN, Yunbin. Fine-grained precursors dominate the micrometeorite flux. **Meteoritics & Planetary Science**, v. 47, n. 4, p. 550-564, 2012.

ZOLENSKY, Michael et al. **Flux of extraterrestrial materials. Meteorites and the early solar system II**, p. 869-888, 2006.