

# Apresentação

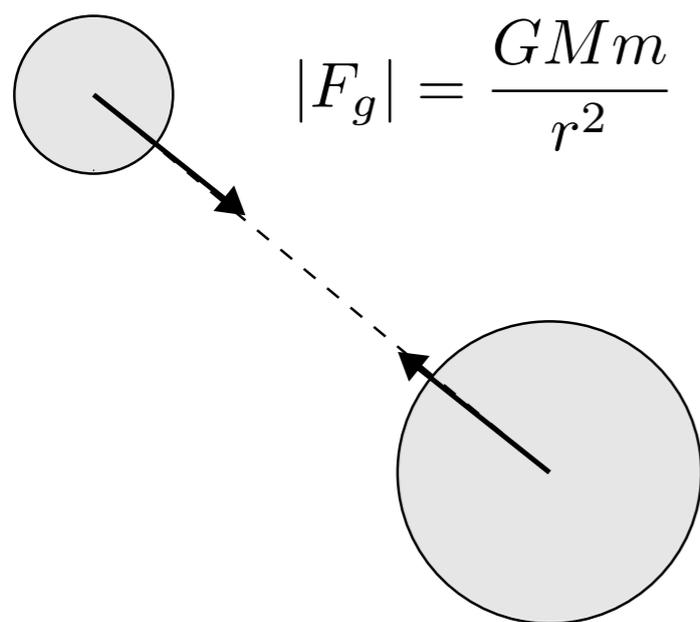
## Cálculo de órbitas de sondas

Ana M. F. Ribeiro  
Ana R. C. Gaspar  
Gonçalo J. P. Carneiro  
Rui F. B. Carneiro

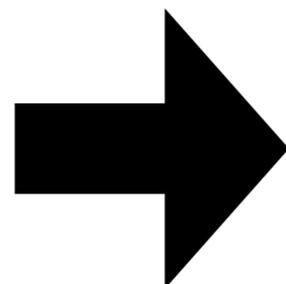
7 de Setembro de 2012 - FCUP

# Gravitação e método analítico

Diagrama de Forças para sistema de 2 corpos



Analiticamente é muito complexo com três corpos e impossível com mais.



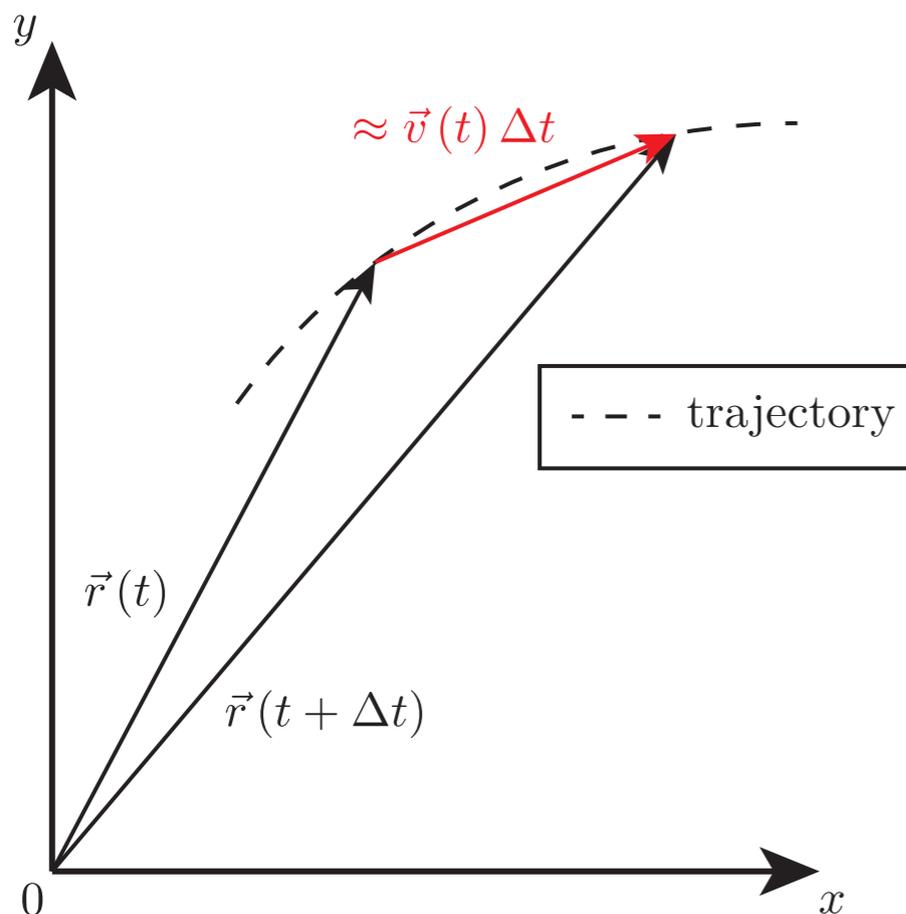
É necessária uma abordagem computacional e aproximada.

Só precisamos de quatro quantidades:

- ▶  $\vec{r}$
- ▶  $\vec{v}$
- ▶  $M$
- ▶  $R$  (se colidirem entre si)

# Método de Euler

Método de Euler



Equações de movimento aproximado:

$$\frac{\Delta \vec{r}(t)}{\Delta t} = \vec{v}(t) \Leftrightarrow$$

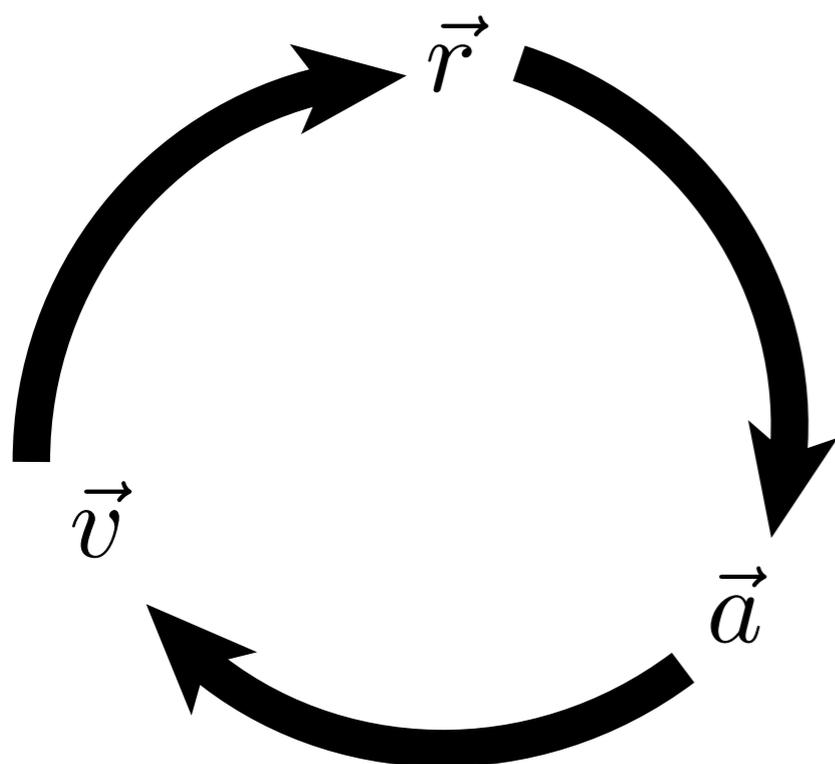
$$\vec{r}(t + \Delta t) = \vec{r}(t) + \vec{v}(t) \Delta t$$

$$\frac{\Delta \vec{v}(t)}{\Delta t} = \vec{a}(t) \Leftrightarrow$$

$$\vec{v}(t + \Delta t) = \vec{v}(t) + \vec{a}(t) \Delta t$$

# Recursividade do sistema de equações

Sistema de recursão de variáveis no método de Euler



Através do sistema de equações obtemos a posição dos objectos a cada instante.

Para tal, é usado um sistema de recursão entre variáveis.

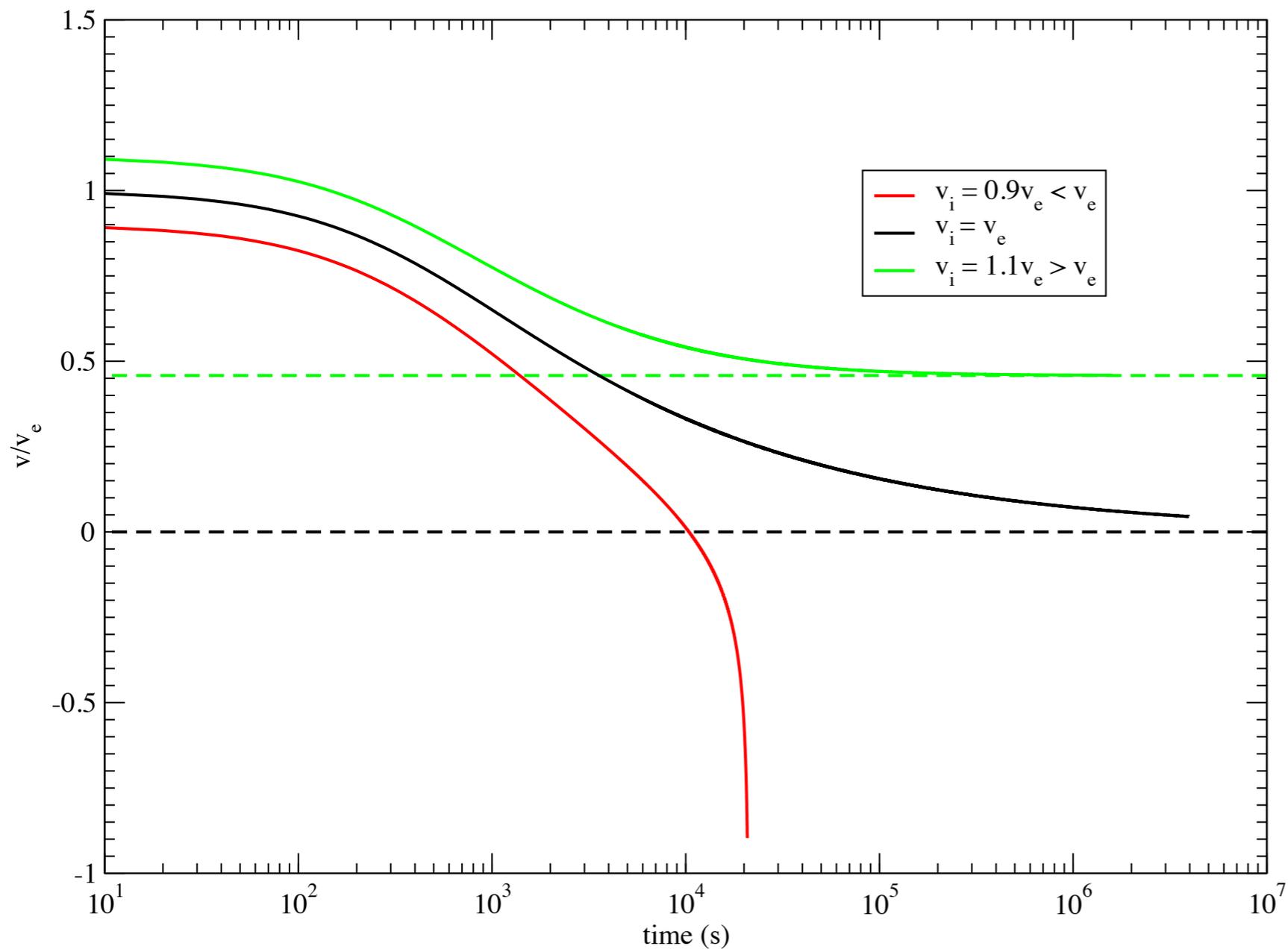
# Ambiente Computacional

## Código utilizado - Linguagem Python

```
# Avança posicao e velocidade dos Planetas de deltat = step
def eulerStep(self, accx, accy, step):
    self.posicao_x = self.posicao_x + self.velocidade_x * step
    self.posicao_y = self.posicao_y + self.velocidade_y * step
    self.velocidade_x = self.velocidade_x + accx * step
    self.velocidade_y = self.velocidade_y + accy * step
```

# Velocidade de Escape ( $v_e$ )

Diferentes regimes para velocidades iniciais próximas de  $v_e$



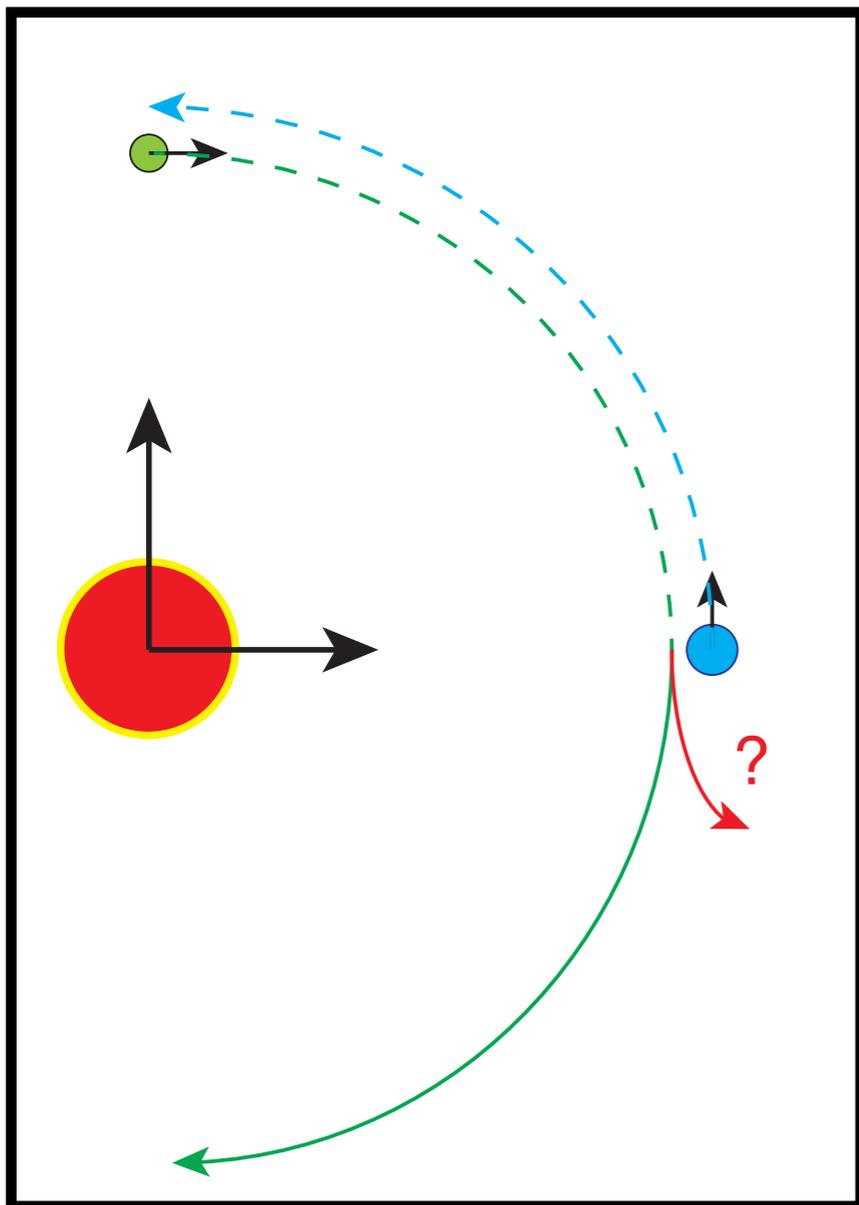
## Fórmula $v_e$

$$(E_c + E_p)_f = 0 \Leftrightarrow$$

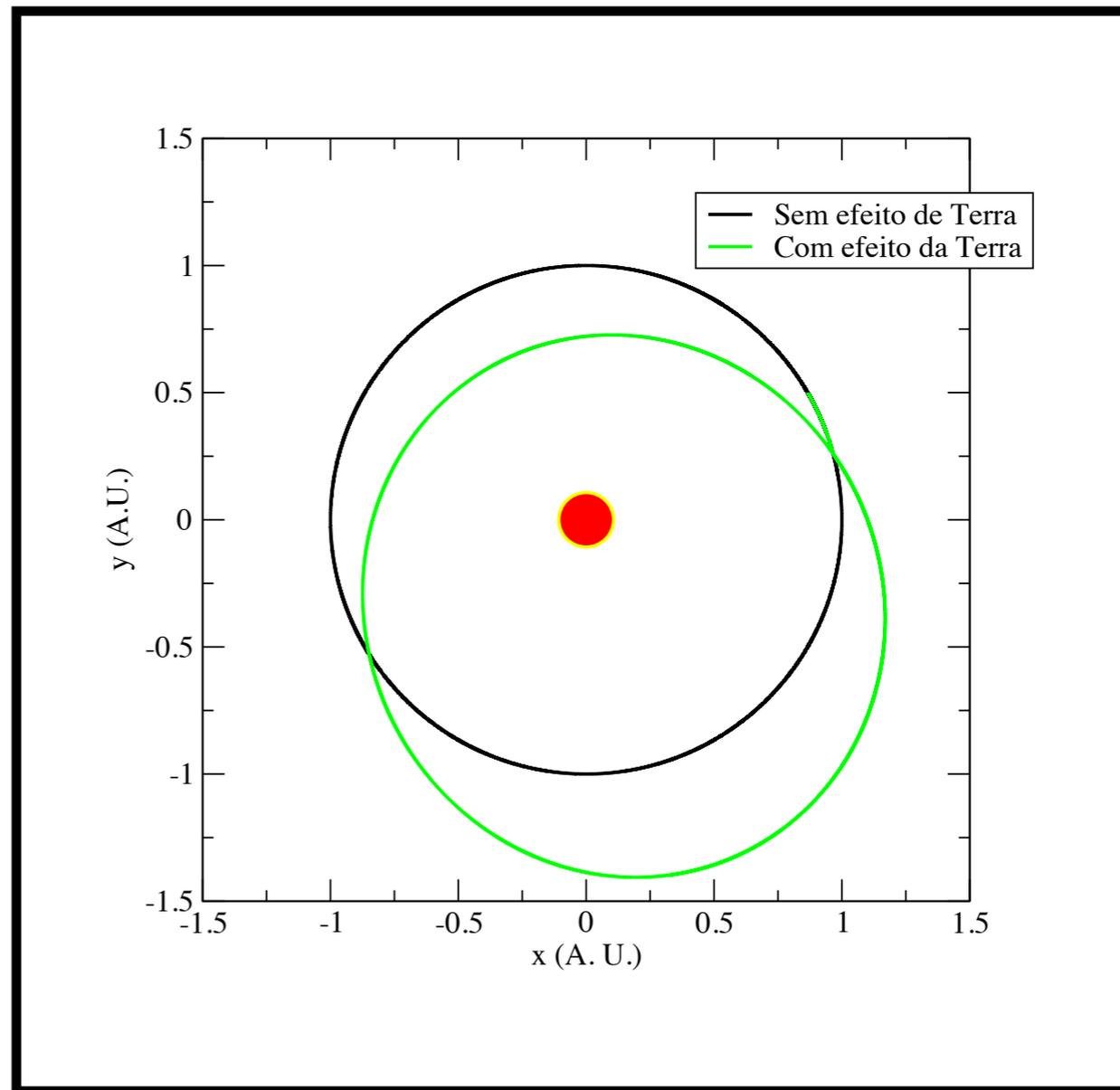
$$\Leftrightarrow v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

# Sling Shot

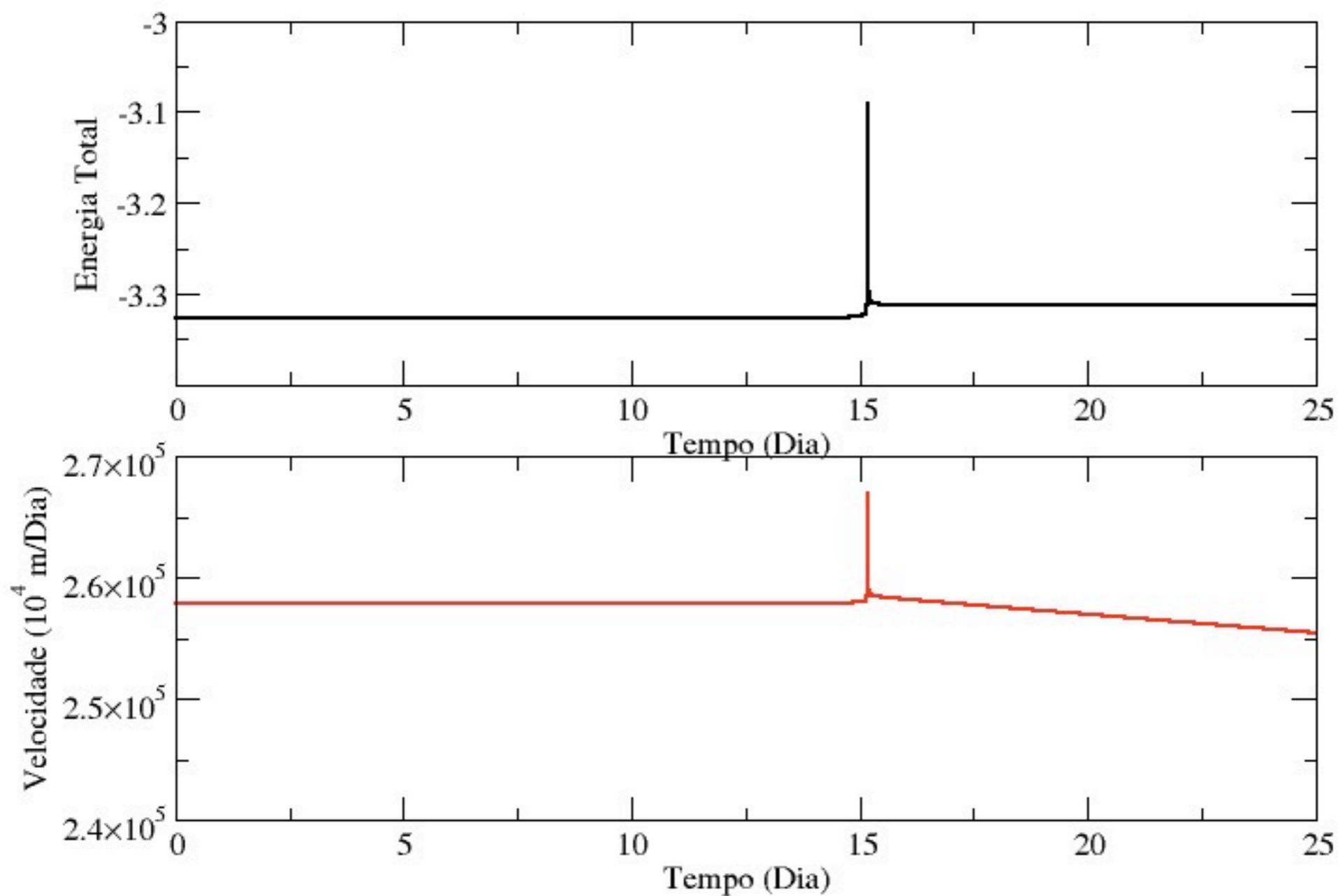
Configuração inicial e previsão após Sling Shot



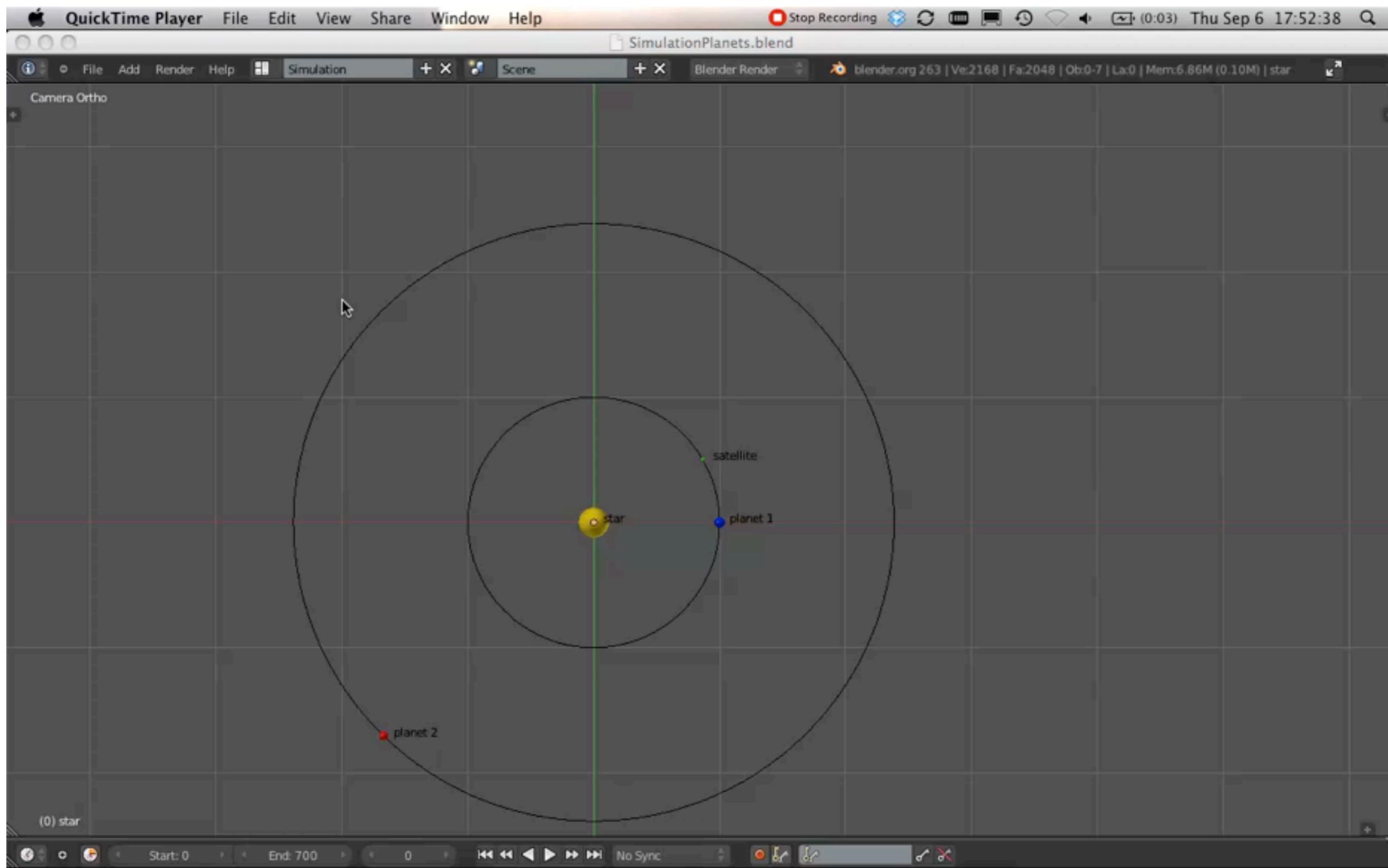
Simulação computacional



# Consequências do Sling Shot



# Sair de um Sistema: O efeito Sling Shot



# Concluindo...

- Forças gravíticas estão sempre presentes;
- Cálculo computacional permite calcular interações entre mais de dois corpos;
- Importância da velocidade de escape;
- Sling Shot permite escapar à  $F_g$  exercida pela estrela;
  
- É possível lançar uma sonda para fora do Sistema Solar.