

# Trabalho 1 – Simulação N-Body

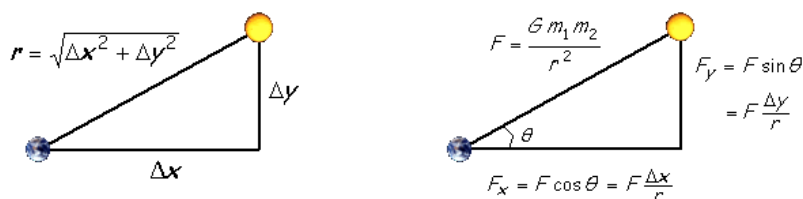
INE5410 – Programação Concorrente – UFSC

Prof. Márcio Castro

## 1 Introdução

Na física, o problema *N-Body* (ou N-Corpos) consiste em simular a interação gravitacional entre  $N$  corpos (*bodies*) e prever como o sistema evoluiria no decorrer de um espaço de tempo. A resolução deste problema foi motivada pela necessidade de se compreender o movimento do Sol, Lua, planetas e estrelas. A sua primeira formulação matemática foi dada por Isaac Newton. A seguir, é apresentada uma breve revisão sobre as equações que governam os movimentos de partículas de acordo com as leis de Newton.

A posição  $(r_x, r_y)$ , velocidade  $(v_x, v_y)$  e massa  $(m)$  de cada partícula já são previamente conhecidas. Para modelar a dinâmica do sistema, é necessário determinar as forças gravitacionais exercidas sobre cada partícula. A lei da gravitação universal de Newton afirma que o valor da força gravitacional entre duas partículas é dada pelo produto de suas massas dividido pelo quadrado da distância entre elas, multiplicado pela constante gravitacional  $G$ , que é  $6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 / \text{kg}^2$ . Como utilizamos um plano cartesiano para representar a posição de uma partícula, é conveniente dividir a força em suas componentes  $x$  e  $y$  ( $F_x, F_y$ ), como ilustrado abaixo:



O *Princípio da Superposição* diz que uma força atuando sobre uma partícula nas direções  $x$  ou  $y$  é a soma das forças gravitacionais atuando na partícula naquela direção. Já a segunda lei de Newton postula que a aceleração nas direções  $x$  e  $y$  são dadas por:  $a_x = F_x / m$  e  $a_y = F_y / m$ .

Com base nestas premissas, é possível utilizar o esquema *leapfrog* de aproximação de diferenças finitas para integrar numericamente as equações descritas anteriormente. Este esquema é uma base para a maioria das simulações astrofísicas de sistemas gravitacionais. Nele, o tempo é discretizado e uma variável  $t$  é incrementada de acordo com o intervalo de tempo  $\Delta t$ . Para cada partícula, sua posição e velocidade são calculados da seguinte forma:

- Calcular a força gravitacional atuando na partícula no tempo  $t$  utilizando a lei da gravitação de Newton e o Princípio da Superposição.
- Calcular sua aceleração  $(a_x, a_y)$  no tempo  $t$  utilizando suas força no tempo  $t$  e a segunda lei de Newton.
- Calcular sua velocidade no tempo  $t + \Delta t / 2$  utilizando sua aceleração no tempo  $t$  e sua velocidade  $(v_x, v_y)$  no tempo  $t - \Delta t / 2$ . Assumindo que a aceleração permanece constante neste intervalo, a velocidade atualizada é dada por:  $v_x = v_x + \Delta t \cdot a_x$  e  $v_y = v_y + \Delta t \cdot a_y$ .
- Calcular sua posição no tempo  $t + \Delta t$  utilizando sua velocidade no tempo  $t + \Delta t / 2$  e sua posição no tempo  $t$ . Assumindo que a velocidade permanece constante no intervalo de  $t$  até  $t + \Delta t$ , então a posição resultante é dada por  $r_x = r_x + \Delta t \cdot v_x$  e  $r_y = r_y + \Delta t \cdot v_y$ .

## 2 Definição do Trabalho

O segundo trabalho da disciplina de Programação Concorrente consiste em desenvolver uma versão paralela do *N-Body* com uso do modelo de programação **MPI**. Você deverá utilizar como base a versão sequencial do *N-Body* implementada em C disponível no Moodle. Nessa versão, os parâmetros de entrada são: o número de corpos do

problema (**bodies**) e o número de iterações (**timesteps**). Além disso, é preciso adicionar o parâmetro **-lm** no momento da compilação com o **gcc**, devido ao uso da função **sqrt()** da biblioteca **<math.h>**.

A versão paralela deverá funcionar para um número qualquer de processos MPI. A estratégia de paralelização a ser utilizada para dividir a computação entre os processos MPI deverá ser escolhida pelos alunos. É esperado que o desempenho da solução paralela seja superior ao da versão sequencial.

A Figura 1 mostra o resultado da execução do *N-Body* para 4 corpos e 10 iterações. A saída do programa mostra, em cada linha, a posição final de cada corpo nos eixos  $x$  e  $y$ .

```
./nbody 4 10
0.38986 0.38878
0.72951 0.07322
0.28209 0.51066
0.46793 0.72547
```

Figura 1: Exemplo de resultado da execução do *N-Body* para **bodies=4** e **timesteps=10**.

### 3 Grupos, Avaliação e Entrega

O trabalho deverá ser realizado em grupos de até **2 alunos**. Os alunos serão responsáveis por formar os grupos com auxílio da ferramenta “**Escolha de Grupos - Trabalho 2 (T2)**” disponível no Moodle.

Pelo menos um dos integrantes de cada grupo deverá submeter um arquivo contendo o código fonte em C contendo a solução do trabalho através do Moodle. A data/hora limite para o envio dos trabalhos é **22/11/2016 às 23h55min**. **Não será permitida a entrega de trabalhos fora desse prazo: trabalhos não entregues no prazo receberão nota zero.**

Após a data limite para entrega, os alunos deverão apresentar o trabalho ao professor assim como mostrar sua solução em funcionamento. As apresentações serão feitas durante as aulas nos seguintes dias: **25/11/2016** e **29/11/2016** seguindo a ordem alfabética dos grupos.

O professor irá avaliar não somente a corretude mas também o desempenho e a clareza da solução. Além disso, os alunos serão avaliados pela apresentação e entendimento do trabalho. **A implementação e apresentação valerão 40% e 60% da nota do trabalho, respectivamente.**