

# Modelando Simulação de Galáxias\*

Epifanio Dinis Benitez<sup>†</sup>, Otávio Corrêa Cordeiro<sup>‡</sup>

Gerson Geraldo H. Cavalheiro

Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em Computação Aplicada

Ciências Exatas e Tecnológicas

Universidade do Vale do Rio dos Sinos

São Leopoldo - RS - Brasil

{epifanio, cordeiro, gersonc}@exatas.unisinos.br

## Introdução

Diversas áreas científicas apresentam problemas que necessitam do apoio da computação para a busca de soluções e análise de resultados, pois, em sua maior parte, dispõem de grande quantidade de dados que exigem um número elevado de cálculos para seu processamento. Através do processamento de alto desempenho (PAD) a computação proporciona arquitetura e ferramentas que dão suporte à diversos destes problemas, permitindo que em áreas como a física - onde há exigência de grande demanda computacional - estes possam ser estudados.

O problema de *n-corpos* é conhecido na física - e sub-áreas: Astrofísica (estrelas em uma galáxia), Física de Plasma (íons e elétrons), Dinâmica Molecular (átomos e moléculas) e, até mesmo, em Computação Gráfica, como é o caso da Radiosidade [HAN 91] - pela grande demanda computacional exigida nas simulações. Este trabalho tem como foco a simulação de sistemas gravitacionais da Astrofísica. Nas próximas seções são abordados assuntos que abrangem o problema matemático que deve ser enfrentado, assim como a descrição do método que está sendo empregado. Por fim, são apresentadas as considerações finais e trabalhos futuros.

## Problema

O problema físico envolve calcular através do tempo a intensidade da força (central) gravitacional  $F_{ij}$  entre as  $n$  partículas que compõem um sistema isolado (livre de torques externos) através da *Força Gravitacional* de Newton

$$F_{ij} = G \frac{M_i M_j}{x_{ij}^3} \mathbf{x}_{ij} \quad (1)$$

ponto a ponto, a velocidade de cada partícula e sua nova posição. Na fórmula acima  $G$  é a constante gravitacional, de valor  $6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$ ,  $M_i$ ,  $M_j$  são, respectivamente, as massas dos corpos  $i$  e  $j$  e  $\mathbf{x}_{ij}$  o raio vetor que une as massas.

\*Projeto Anahy – CNPq (55.2196/02-9). Este trabalho foi parcialmente desenvolvido em colaboração com a HP Brasil P&D.

<sup>†</sup>BIC/FAPERGS

<sup>‡</sup>DTI/CNPq

As interações de *n-corpos* foram implementadas para simulação de galáxias elípticas - constituídas de estrelas velhas onde não existe uma grande quantidade de poeira e gás interestelar, essenciais para a formação de novas estrelas - utilizando o método seqüencial de *soma direta* fazendo uso de um passo inteligente [AAR 85] de integração que se utiliza das Leis de Kepler da mecânica clássica diminuindo o número de passos no tempo. Porém, a demanda computacional exigida pelo número de cálculos da força entre cada par de partículas permanece o mesmo, com complexidade  $O(n^2)$  para o cálculo das  $\frac{1}{2}n(n-1)$  interações referentes ao cálculo da força gravitacional (Eq. 1).

Numa segunda etapa do estudo, está sendo implementado um método que possa avaliar e utilizar a biblioteca Anahy [CAV 2003]: o método de Barnes-Hut [Bar 86]. Este propõe resolver o famoso problema de *n-corpos* dividindo o espaço de forma recursiva e criando uma hierarquia de árvore para os cálculos das forças entre os corpos. Uma avaliação mais detalhada sobre o método é descrita na próxima Seção.

## Método de Barnes-Hut

Procurando resolver o problema Físico de forma eficiente e explorando o processamento de alto desempenho, Barnes-Hut faz uso de uma política de “divisão-e-conquista” subdividindo o espaço em células (Figura 1) com o objetivo de minimizar a demanda computacional explorando as leis da Física.

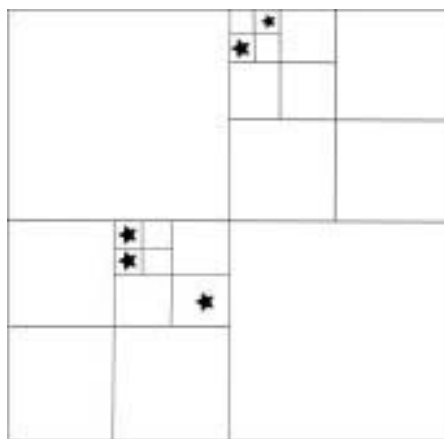


Figura 1: Barnes-Hut Espacial

A Lei da Gravitação descreve uma força que decai rapidamente com o quadrado do inverso da distância, assim, dois corpos que apresentam uma grande distância de separação podem ter sua interação omitida e realizada de forma indireta.

A mecânica clássica permite atribuir a um grupo de partículas uma outra localizada no centro de massa (C.M.) que se comporta como o grupo original. Desta forma a interação de partículas distantes pode ser simplificada à interação de uma partícula com o centro de massa de um grupo (Figura 2), diminuindo, assim, o número de interações que deve ser executada no tempo.



Figura 2: Exploração do sistema físico: aproximação para o Centro de Massa (C.M.)

Desta forma o modelo de Barnes-Hut se utiliza da estratégia de “divisão-e-conquista” subdividindo o espaço o recursivamente com objetivo de explorar o paralelismo das interações entre centro de massa em diferentes grupos da distribuição (Figura 1).

O mesmo espaço o pode ser descrito em forma de árvores (Figura 3) - o que favorece o entendimento do problema computacional -, criando estruturas de dados do tipo Oct-Tree (tridimensional) ou Quad-Tree (bidimensional).

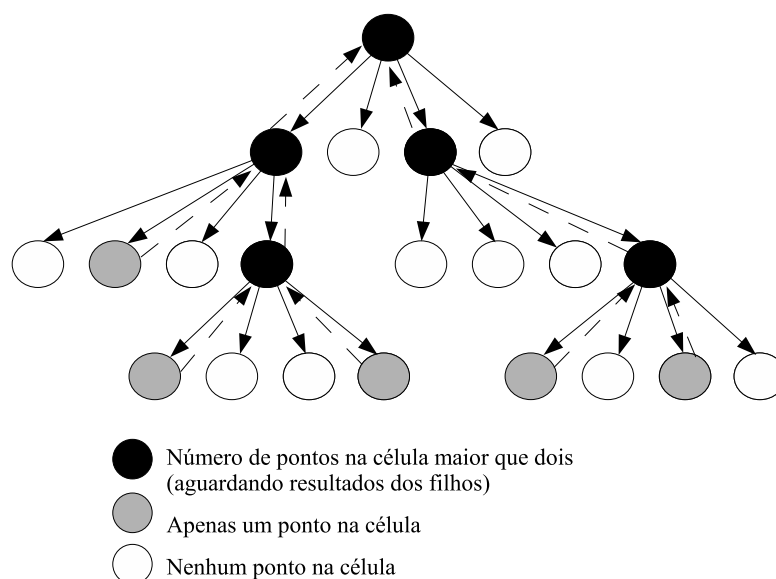


Figura 3: Árvore *Quad-tree* para a Figura 1

## Implementação

Visto de forma global, o problema gera uma célula no primeiro nível que permite ramificar em quatro sub-células (caso 2D) caso exista mais de uma partícula em seu interior (Figura 1). O processo, recursivo para cada célula filha, cessa ao existir apenas uma partícula isolada. Desta forma a árvore (Figura 3) que define a distribuição espacial das células permite duas interpretações igualmente válidas: i) a definição do grafo de criação de tarefas e ii) a definição do grafo de dependência de dados. A primeira interpretação

é visualizada seguindo o sentido das flechas partindo da raiz até as folhas, e a segunda, através das flechas pontilhadas partindo das folhas até a raiz. Segue abaixo o algoritmo que mapeia as interpretações citadas acima com a utilização da biblioteca de processos leves Anahy.

1. Do loop
2. Cria a célula base
3. Inicia a aplicação
  - a) Conta o número de pontos na célula
    - a.1) Se maior ou igual a dois, cria quatro threads a partir da linha 3
    - a.2) Faz um join e espera os resultados até que sobre apenas um ponto por célula. Célula sem pontos é descartada
    - a.3) Executa os cálculos
4. Done

Os resultados retornados pelas threads são: i) forç a, ii) a nova posição do corpo no espaç o e iii) a nova velocidade.

## Considerações Finais e Trabalhos Futuros

Foi realizado um estudo sobre o problema de *n-corpos*, em busca de um algoritmo que realizasse o cálculo da interação entre partículas (contidas no espaç o) de forma eficiente. Chegou-se a conclusão de que o algoritmo de Barnes-Hut possibilita a obtenção de resultados mais favoráveis (que outros algoritmos) pois seu algoritmo forma uma árvore que se assemelha à da execução da biblioteca Anahy. Isto permite que a aplicação seja mapeada de forma eficiente, tirando proveito dos recursos oferecidos pela biblioteca. Atualmente existe uma versão sequencial do algoritmo, e se encontra em estado de desenvolvimento uma versão paralela do mesmo. De forma síncrona à modelagem da aplicação paralela, está sendo criado um modelo de execução dos problemas envolvendo *n-corpos* para computação em grade, proposta como meta a um curto prazo.

## Referências

- [AAR 85] AARSETH, S. J. Multiple time scales. **J.U. Brackbill and B.I. Cohen**, p.377, 1985.
- [Bar 86] Barnes, J.; Hut, P. A Hierarchical O(NlogN) Force-Calculation Algorithm. **Nature**, v.324, p.446–449, Dec. 1986.
- [CAV 2003] CAVALHEIRO, G. G. H.; REAL, L. C. V.; DALL'AGNOL, E. C. Uma biblioteca de processos leves para a implementação de aplicações altamente paralelas. In: IV WORKSHOP EM SISTEMAS COMPUTACIONAIS DE ALTO DESEMPENHO, 2003, São Paulo, Brasil. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2003.
- [HAN 91] HANRAHAN, P.; SALZMAN, D.; AUPPERLE, L. A rapid hierarchical radiosity algorithm. In: COMPUTER GRAPHICS AND INTERACTIVE TECHNIQUES, 18., 1991. **Proceedings...** ACM Press, 1991. p.197–206.