

# Condições iniciais em cosmologia: uma abordagem por algoritmos evolutivos

Cristiane Camilo Hernandez<sup>1</sup>, Dr. Fernando Manuel Ramos<sup>1</sup>, Dra. Christine Córdula Dantas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Pesquisas Espaciais – (INPE)  
Caixa Postal 515 – 12227-010 – São José dos Campos, SP – Brasil

<sup>2</sup>Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE-CTA)  
Divisão de Materiais – São José dos Campos, SP – Brasil

{cristiane,fernando}@lac.inpe.br, ccdantas@iae.cta.br

**Abstract.** *In this work, we propose a new methodology based on genetic programming e generalized extremal optimization, whose objective is to study large-scale formation of structures of the Universe, verifying efficiency and the validity of both the methods.*

**Resumo.** *Neste trabalho, propomos uma nova metodologia baseada em programação genética e otimização extrema generalizada, cujo objetivo é estudar a formação de estruturas em grande escala no Universo, verificando a eficiência e a validade de ambos os métodos.*

## 1. Introdução

Obter as condições iniciais do Universo a partir dos dados observados hoje é um problema que pode ser resolvido como um problema direto, onde utilizando o caminho empírico, um modelo cosmológico é proposto através do espectro de potências inicial de matéria escura. O espectro é discretizado, gerando partículas com um campo de densidade inicial e essas partículas são os dados iniciais de uma simulação de N-corpos que utiliza dinâmica Newtoniana, o critério de parada é o tempo atual. A saída gerada é comparada estatisticamente com os dados observacionais, se o resultado estatístico é satisfatório, as condições iniciais são viáveis, caso contrário os parâmetros cosmológicos são trocados e uma nova simulação é feita, esse processo é repetido até obter um teste estatístico satisfatório, ou seja uma boa escolha para as condições iniciais do Universo. O mesmo problema pode ser resolvido como um problema inverso, pois as equações do movimento podem ser integradas de forma reversa no tempo. No entanto, é necessário conhecer não somente as posições mas também as velocidades das galáxias, além de assumir hipóteses simplificadoras, para ser possível reconstruir as condições iniciais de estruturas hoje em regime linear e moderadamente não-linear. [Mohayaee et al. 2003]

## 2. Aproximação de Zel'dovich - AZ

A AZ e suas otimizações são de grande interesse em cosmologia, pois representam aproximações para a evolução das flutuações de densidade de matéria num universo em expansão. Na AZ, a posição co-móvel final  $\vec{x}$  de uma partícula é dada como função de sua coordenada lagrangeana inicial  $\vec{q}$  e do tempo  $t$  [Zel'Dovich 1970]:  $\vec{x}(\vec{q}, t) = \vec{q} + a(t)\vec{\nabla}\Phi_i(\vec{q})$ , onde  $a(t)$  é o fator de escala da expansão cosmológica e  $\Phi_i(\vec{q})$  é o potencial inicial de velocidades [Melott et al. 1994]. De acordo com [Peebles 1980], a AZ

é válida apenas para espectro de potências  $P(k) \propto k^n$ , onde  $n \leq -3$ . Com o objetivo de suavizar as potências em pequenas escalas e conseqüentemente retardar ou amenizar a presença de não-linearidade [Melott 1994] introduziu uma correção de segunda ordem na aproximação (“AZ de segunda ordem”). Essa correção foi obtida investigando-se o efeito da suavização do espectro de potência inicial das flutuações, através da aplicação de três filtros estabelecidos *a priori*, a saber: filtro de truncamento, filtro Gaussiano e filtro “*Top-Hat*”. Dentre os filtros, o Gaussiano foi o que apresentou o melhor resultado ao ser comparado com resultados de simulações de N-corpos.

### 3. Programação Genética

A programação genética é uma extensão dos algoritmos genéticos e foi introduzida por [Koza 1992], e tem por objetivo básico evoluir programas de computador usando os princípios da evolução natural. A qualidade de cada programa é avaliada através de uma função de aptidão que representa o quanto o programa aprendeu a resolver determinado problema. Através da recombinação ou alteração de determinados programas, evolui-se até que a solução seja encontrada ou algum critério de término seja satisfeito. Esses programas são expressos como árvores sintáticas, por exemplo a expressão  $\max(x * x, x + 3 * y)$  é representada como mostrado na figura 1(a) e a recombinação se dá pela troca de sub-árvores entre dois indivíduos candidatos à solução [Bittencourt 1998, Koza and Poli 2003].

### 4. Otimização Extrema Generalizada - GEO

No GEO, analogamente ao modelo de [Bak and Sneppen 1993],  $L$  espécies são dispostas sobre uma reta e a cada espécie é atribuído um índice de adaptabilidade que determinará quais as espécies que estão mais propícias a sofrer mutação. Neste modelo a população de espécies é formada por uma seqüência (*string*) de bits, onde cada um destes representa uma espécie. As variáveis de projeto são codificadas na seqüência de bits, que é similar à um cromossomo binário em um Algoritmo Genético canônico, como mostra a figura 1 (b). A solução candidata inicial do GEO é gerada aleatoriamente, a cada iteração é alterado um único bit da seqüência, gerando-se uma nova solução candidata. Para isso, avalia-se através da função objetivo, a influência da alteração de cada um dos  $L$  bits da seqüência individualmente. Em seguida, ordenam-se os bits de acordo com um índice de adaptação, baseado na avaliação correspondente da função objetivo. Essa ordenação serve para escolher o bit a ser alterado nessa iteração, segundo um critério probabilístico [Galski 2006, Sousa 2002].

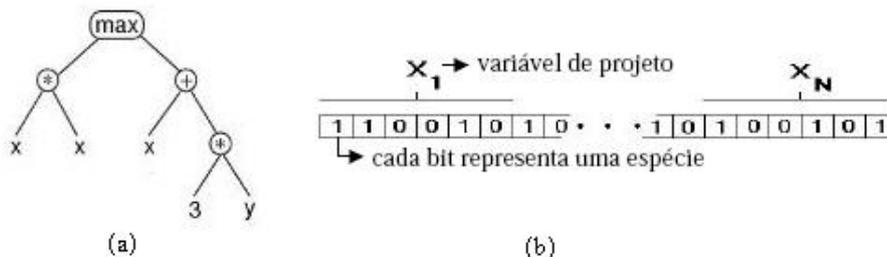


Figure 1. (a) Exemplo de representação de árvores sintáticas (b) N variáveis de projeto em uma seqüência binária com 6 bits por variável.

O objetivo desse trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia baseada em programação genética que retorne a solução ótima para a AZ de segunda ordem. A idéia é automatizar a busca da função ótima utilizando programação genética e o GEO.

## 5. Implicações da pesquisa

Este trabalho irá produzir novos conhecimentos na área da cosmologia, pois está sendo feito um estudo sistemático sobre a AZ de segunda ordem, onde nenhuma restrição *a priori* será imposta sobre os filtros de suavização, obtendo assim um melhor desempenho da AZ e uma compreensão mais quantitativa do comportamento das não-linearidades do problema gravitacional de formação de estruturas em grande escala do universo. Na área da computação, há um grande interesse em se estabelecer a eficiência e o domínio de validade da aplicação de programação genética nos mais diversos contextos. A metodologia proposta poderá ser utilizada pela comunidade científica para gerar dados para estudos, assim como poderá ser adaptada para problemas similares em outras áreas da física e engenharia.

## References

- Bak, P. and Sneppen, K. (1993). Punctuated equilibrium and criticality in a simple model of evolution. *Physical Review Letters*, 71(24):4083–4086.
- Bittencourt, G. (1998). *Inteligência Artificial Ferramentas e Teorias*. DAUFSC.
- Galski, R. L. (2006). *Desenvolvimento de Versões Aprimoradas, Híbridas, Paralela e Multiobjetivo do Método da Otimização Extrema Generalizada e sua Aplicação no Projeto de Sistemas Espaciais*. Tese de doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- Koza, J. R. (1992). *Genetic Programming: On the programming of Computers by Means of Natural Selection*. MIT Press, Cambridge, Mass.
- Koza, J. R. and Poli, R. (2003). A genetic programming tutorial.
- Melott, A. L. (1994). Comparison of dynamical approximation schemes for nonlinear gravitational clustering. *The Astrophysical Journal Letters*, 426:L19–L22.
- Melott, A. L., Pellman, T. F., and Shandarin, S. F. (1994). Optimizing the Zel'dovich approximation. *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 269:626–638.
- Mohayaee, R., Frisch, U., Matarrese, S., and Sobolevskii, A. (2003). Back to the primordial Universe by a Monge-Ampère-Kantorovich optimization scheme. *Astronomy and Astrophysics*, 406:393–401.
- Peebles, P. J. E. (1980). *The large-scale structure of the universe*. Research supported by the National Science Foundation. Princeton, N.J., Princeton University Press, 1980. 435 p.
- Sousa, F. L. (2002). *Otimização Extrema Generalizada: Um novo Algoritmo Estocástico para o Projeto Ótimo*. Tese de doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- Zel'Dovich, Y. (1970). Gravitational instability: an approximate theory for large density perturbations. *Astronomy and Astrophysics*, 5:84–89.