

## Introdução à Física dos Sistemas Complexos da Natureza

**Genes Raone Dias<sup>1</sup>, Juliane Teixeira de Moraes<sup>2</sup>, José Antonio de Sales<sup>3</sup>**

1. Estudante de IC do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais - IFSEMG;  
\*genes\_gn@hotmail.com

2. Estudante de IC do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais - IFSEMG;

3. Pesquisador do Núcleo de Física do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais - IFSEMG;

Palavras Chave: *Sistemas Dinâmicos, Modelos de Crescimento, Caos, Fractais.*

### Introdução

Existem na Natureza fenômenos que não podem ser entendidos e explicados à luz da Mecânica Estatística de equilíbrio usual. Os chamados sistemas complexos são regidos por leis que seriam de difícil análise se não a fizessemos por meio de um ramo da matemática chamado Sistemas Dinâmicos. Este ramo da matemática estuda sistemas cuja evolução temporal é dada por equações com variáveis determinísticas ou aleatórias. Nosso objetivo é construir uma teoria que permita compreender e prever a evolução de tais sistemas, como os abaixo citados.

### Resultados e Discussão

#### GEOMETRIA FRACTAL

Trata formas em que as partes são semelhantes ao todo. Os fractais são objetos diferentes dos encontrados na geometria euclidiana usual e podem ocorrer na Natureza e em regiões caóticas de sistemas dinâmicos. Características inerentes, tais como dimensão fractal, são úteis na investigação de alguns modelos de crescimento.

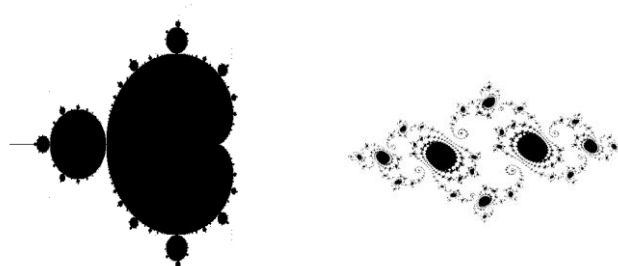
#### MODELOS DE AGREGAÇÃO

*Diffusion-limited aggregation (DLA)* é um modelo de crescimento que pode simular entre outros fenômenos, a quebra da rigidez dielétrica de alguns materiais. Existem também modelos de deposição em que ocorrem difusão, que podem simular a formação de filmes finos. Esses agregados de partículas podem exibir características de objetos fractais.

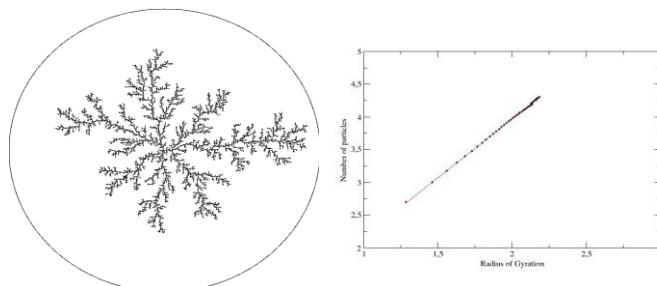
#### MODELO DE EDEN

É um outro modelo de crescimento que foi introduzido em 1961 por Murray Eden e tem como importante aplicação a simulação de formação de melanomas. Também podemos estudar suas propriedades fractais.

Para o estudo desses modelos utilizamos ferramentas de análise computacional, como por exemplo, a implementação de programas em linguagem C, e também a interface gráfica *Xlib(X11)* para a visualização dos modelos. Além do programa de construção de gráficos *Xmgrace*. Nosso trabalho se baseou em uma instrumentalização, necessária para estudos posteriores.



**Figuras 1 e 2.** Fractais gerados a partir da iteração de uma função, Grupo de Mandelbrot e Grupo de Julia.



**Figuras 3 e 4.** Modelo DLA e gráfico (raio de giração por número de partículas). Dimensão fractal: 1,780145



**Figuras 5 e 6.** Modelo tipo EDEN, com probabilidade de infecção de 25% e 40% respectivamente (modelo Williams-Bjerknes).

### Conclusões

Através de análise computacional usando linguagem de programação C, foi possível simular vários sistemas complexos, e calcular diversos parâmetros envolvidos, necessários ao entendimento de tais fenômenos.

- R. L. Devaney: A first course in chaotic dynamical systems theory and experiment, 1992;

- A.-L. Barabási and H.E. Stanley, Fractal concepts in surface growth (Cambridge University Press, 1995);

- T. Vicsek: Fractal Growth Phenomena, Second Edition World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., ISBN 9810206690, 1999