



SIMULAÇÃO NUMÉRICA UTILIZANDO O MODELO DE PILHAS DE AREIA

ENG03049 - Linguagem C

Trabalho entregue como parte da avaliação da disciplina

Luciano Berchon
berchon@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Os fenômenos naturais observados pelo homem podem ter uma explicação, baseada na lógica científica, razoavelmente simples ou complexos. Mesmo àqueles que à primeira vista podem ser considerados de fácil explicação após uma breve reflexão podem se mostrar altamente complexos, como por exemplo o modelo mostrado aqui, que é o modelo do comportamento de pilhas de areias.

Na busca pelo entendimento da natureza, os pesquisadores procuram simplificar os fenômenos observados, pois assim pode-se transformar um problema complexo em um problema mais simples facilitando a compreensão e eliminando efeitos secundários do problema tratado.

Neste sentido o modelo de pilhas de areia é um bom exemplo, pois além de ser um problema complexo ele é de fácil simplificação, permitindo, com isso, uma boa aproximação e rápida solução computacional.

2. MODELO DE PILHAS DE AREIA

O modelo de pilhas de areias é considerado um sistema dinâmico que evoluem no tempo. Estes sistemas são considerados complexos se apresentarem algumas características: se forem sistemas abertos, se interagirem com o ambiente em que ele se situa, se apresentarem comportamento aleatório, se apresentarem geometria fractal, se apresentarem vários estados de equilíbrio, denominados de atratores [1].

O modelo de pilha de areia consiste na deposição de grãos de areia em uma determinada região. Em uma simplificação, pode-se considerar que esses grãos de areia são depositados um a um e muito lentamente, de forma que só seja depositado outro grão após o anterior entrar em repouso. Na medida em que a pilha de areia vai aumentando vai ocorrendo deslizamentos, que nesse texto será chamado de avalanches. Podem ocorrer avalanches pequenas, localizadas em uma região do monte de areia bem como podem ocorrer avalanches em grande escala onde há deslizamentos de grãos em praticamente todo o monte/domínio. Em seu trabalho Bak, Tang e

Wiesenfeld (1987) [2] observaram que se o grão de areia está em um estado subcrítico com o passar do tempo ele naturalmente procura um estado crítico, ou seja através de pequenas avalanches os grãos de areia saem de um ponto subcrítico indo para um ponto crítico. O mesmo ocorre quando os grãos encontram-se em um ponto supercrítico que através de grandes avalanches eles naturalmente vão para estados críticos.

Com isso, usando o modelo de pilhas de areias, foi proposto por Bak et. Al. [2] o conceito de criticalidade auto organizada e eles comprovaram que uma característica de alguns sistemas complexos é o aparecimento dessa criticalidade.

Apesar da extrema simplicidade do modelo, ele captura uma das características mais interessantes dos sistemas auto organizados criticamente: que as grandezas estão relacionadas por leis de potência. Em particular, isto significa que as avalanches não ocorrem ao acaso, pois o tamanho e a respectiva abundância estão relacionados por esta lei de potência.

Esse modelo possui várias semelhanças com outras áreas da ciência, pois algumas propriedades que caracterizam um sistema complexo podem ser encontradas, por exemplo, na economia, pois é pouco provável se obter uma previsão exata sobre os fenômenos futuros que afetam o câmbio monetário e a bolsa de valores [3].

3. METODOLOGIA

Para realizar as simulações sobre o comportamento do modelo de pilhas de areia foi criado um software desenvolvido em linguagem C. A utilização de métodos numéricos se faz importante uma vez que diminui o tempo de experimentação. Em uma primeira aproximação, pode-se discretizar o terreno, onde será depositada a areia, por uma matriz M por N.

Será, então, sorteado uma posição dessa matriz (inicialmente zerada) e será depositada um grão de areia nela. Esse processo se dá pela soma da quantidade de grãos de areia no sítio sorteado.

Após a criação da matriz, o programa simula a queda de um grão de areia em um sítio aleatório da matriz. Quando esse sítio atinge uma determinada altura, o programa retira uma

determinada quantidade de grãos desse sítio e espalha para os primeiros vizinhos. Assim, chamamos de z a altura da pilha de areia e estipulamos um valor máximo para essa altura, que foi definido em $z = 4$. Dessa forma, cada vez que o sítio apresentar um número maior que quatro, ocorrerá uma avalanche (queda dos grãos de uma pilha para os sítios vizinhos). Logo, se $z(y, x) > 4$, então há avalanche. Esses pontos podem ser resumidos pelas equações abaixo:

$$\text{se } z(y, x) < 4 \Rightarrow \{z(y, x) \leftarrow z(y, x) + 1 \quad \text{Eq. (3.1)}$$

$$\text{se } z(y, x) > 4 \Rightarrow \begin{cases} z(y, x) \leftarrow 0 \\ z(y \pm 1, x) \leftarrow z(y \pm 1, x) + 1 \\ z(y, x \pm 1) \leftarrow z(y, x \pm 1) + 1 \end{cases} \quad \text{Eq. (3.2)}$$

4. INSTRUÇÕES DE MANUSEIO DO SOFTWARE

Algumas funcionalidades do software foram implementadas somente para demonstrar o conhecimento dos tópicos estudados em aulas. Entretanto, algumas delas não foram testadas à exaustão. Com isso, poderá ocorrer alguns bugs, principalmente se o usuário carregar os dados de simulações anteriores. Esses problemas estão relacionados às funcionalidades de salvar e carregar dados¹.

4.1. Entrada de dados

Na inicialização do programa o usuário será questionado sobre qual é a discretização do terreno que ele deseja realizar. Em outras palavras, o software perguntará quais as dimensões da matriz que armazenará a quantidade de grãos de areia.

O usuário poderá informar qualquer valor inteiro maior ou igual a cinco. Entretanto, valores maiores que 25 na dimensão vertical (dimensão y) e 90 na dimensão horizontal (dimensão x) irão desestruturar o layout do programa, mas essa desestruturação não causará erros nas simulações, somente causará um desagrado visual. Como o software foi feito somente para demonstrar os conhecimentos adquiridos ao longo do semestre não houve preocupação com esses pormenores.

¹ Nos testes, de mesa e de execução, feitos não foram constatados erros, entretanto, uma análise mais cuidadosa dos dados seria necessária para garantir a ausência desses erros.

4.2. Saída de dados

Há dois arquivos de saídas o “arqDominio.txt” e o “arqPotencia.txt”. O primeiro arquivo salva os dados contidos na matriz que controla a quantidade e o lugar onde estão os grãos de areia. Com esse arquivo pode-se ter uma foto de como está a pilha de areia no instante que o arquivo for salvo (utilizando o menu salvar).

O segundo arquivo guarda o número de avalanches consecutivas ocorrerem. Toda vez que há uma avalanche é feita uma contagem de quantas avalanches consecutivas ocorrerem e esse valor é salvo nesse arquivo. Deve-se ter em mente que esse arquivo é salvo a cada avalanche e não somente quando se utiliza a opção salvar do menu.

4.3. Menu Começar/Parar

É utilizada essa opção para começar ou parar a simulação.

4.4. Menu Salvar

Essa opção é utilizada para salvar os dados das simulações no arquivo “arqDominio.txt” e forçar o salvamento do arquivo “arqPotencia.txt” em disco. Esses salvamentos são uteis para se conseguir continuar as simulações em outro dia, não precisando, com isso, começar tudo do zero. Ao salvar os dados o software interrompe a simulação automaticamente, caso ela esteja rodando. Para continuar basta o usuário utilizar o menu “Continuar” e a simulação continuará de onde parou.

4.5. Menu Carregar

Essa opção preenche os dados da matriz que discretiza o domínio computacional com os dados salvos, previamente, no arquivo “arqDominio.txt”. Ainda, essa opção configura o software para que a abertura do arquivo “arqPotencia.txt” seja de forma a adicionar novos dados ao final do arquivo e não sobrepor esses dados.

4.6. Menu Sair

Essa é a opção utilizada para deixar o software de simulação. O usuário não pode esquecer de salvar os dados de eventuais simulações antes de sair, pois caso contrário esses dados serão perdidos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **A criticalidade auto-organizada na pilha de areia.** CARNEIRO, M.V. e CHARRET, I.C.. *Rev. Bras. Ensino Fís.* [online]. 2005, vol.27, n.4, pp.571-576. ISSN 1806-1117. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172005000400009>.
- [2] **Self-organized criticality: An explanation of the 1/f noise.** P. Bak, C.Tang and K.Wiesenfeld, *Physical Review Letters* 59, 381-384 (1987)
- [3] **Sistemas complexos, criticalidade e leis de potência.** GLERIA, Iram; MATSUSHITA, Raul and SILVA, Sergio Da. *Rev. Bras. Ensino Fís.*[online]. 2004, vol.26, n.2, pp.99-108. ISSN 1806-1117.
- [4] <http://cftc.cii.fc.ul.pt/PRISMA/capitulos/capitulo5/modulo5/topico1.php>. Acessado em 05/07/2019
- [5] **Difusão singular e percolação em modelos do tipo “Pilha de Areia” confinados.** PIRES, R. S. 2017. 97 f. Tese (Doutorado em Física) - Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.
- [6] **Algoritmos de otimização e criticalidade auto-organizada.** CASTRO, Paulo Alexandre de. 2002. Dissertação (Mestrado em Física Básica) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002. doi:10.11606/D.76.2002.tde-27092007-100001.
- [7] <https://sites.google.com/site/bejbodmann/home/eng03049>. Acessado em 05/07/2019

OBS.: *Aconselho fortemente a leitura da dissertação da referência [6], não pelo seu conteúdo e sim pela sua forma narrativa, que é muito incomum no meio científico. Tal estrutura, a meu ver, além de tornar o texto mais atrativo facilita seu entendimento. Bem, isso é só um comentário que em nada tem a ver com o trabalho.*