

## Exercício 5: Modelo de Ising

Data da aula: 25 de outubro (LF) e 24 de outubro (MIEF/MIEBB)

Data limite para entrega do relatório: 8 de novembro (LF) e 7 de novembro (MIEF/MIEBB)

No modelo de Ising ferromagnético, a energia total  $E$  de uma configuração é:

$$E = -J \sum_{\langle i,j \rangle} \sigma_i \sigma_j ,$$

onde a soma é sobre todos os pares de spins e  $\sigma_i$  é o estado do spin  $i$ .

A magnetização  $M$  é:

$$M = \sum_i \sigma_i .$$

### 5.1. Simulações de Monte Carlo: modelo de Ising

Implemente o algoritmo de Metropolis para o modelo de Ising:

1. Comece com uma rede quadrada de  $N = L_x L_y$  spins todos orientados;
2. Sequencialmente (*Monte Carlo step*):
  - a. Escolha um spin aleatoriamente;
  - b. Calcule a variação de energia  $\Delta E$  associada à inversão do spin;
  - c. Inverta o spin escolhido com probabilidade  $p$ ,

$$p = \min(1, e^{-\Delta E/k_B T});$$

- d. Se o spin for invertido atualize a energia e a magnetização do sistema.

Usando o `latticeview.h`, gere imagens do sistema para diferentes temperaturas no estado de equilíbrio.

### 5.2. Estatística

Calcule o valor médio da energia e da magnetização em função da temperatura para três tamanhos de sistema diferentes. Estime a temperatura crítica ( $T_c$ ) e compare com o valor teórico  $T_c = 2/\ln(1 + \sqrt{2})$ .

*Nota 1:* para reduzir a correlação entre amostras, para cada temperatura, faça médias sobre várias amostras obtidas a cada três *Monte Carlo Sweeps* (um *Monte Carlo Sweep* são  $N$  *Monte Carlo steps*).

*Nota 2:* ao varrer as temperaturas (da mais baixa para a mais alta), use sempre a configuração final da temperatura anterior como ponto de partida para a nova temperatura.