

# TEORIA DE CAMPO MÉDIO APLICADA AO MODELO XY QUÂNTICO

## INTRODUÇÃO

O ferromagnetismo surge quando os spins de uma rede atômica estão alinhados na mesma direção. O modelo de Ising consegue elucidar os fenômenos que envolvem o comportamento magnético, como as transições de fase e magnetização. Generalizado pela mecânica quântica, o modelo XY esclarece os fenômenos eletromagnéticos do ponto de vista atômico. A teoria de campo médio (TCM), um método aproximativo, simplifica o problema de muitos corpos, tornando possível obter soluções aproximadas para a descrição dos fenômenos envolvidos. Neste trabalho, objetivando obter familiaridade com estes modelos e métodos, estudamos o modelo XY do ponto de vista da TCM.

## MÉTODO

Foi investigada a aplicação da TCM no modelo XY quântico buscando relacionar com os resultados da aproximação para o modelo de Ising clássico e, assim, obter diagramas de fase para mostrar características básicas de um sistema ferromagnético.

É de se esperar que o método usado ainda seja deficiente, pois as aproximações não são quantitativamente corretas, entretanto, as técnicas empregadas servem como base para fornecer dados iniciais e auxiliar, como ponto de partida, para futuras investigações.

O Hamiltoniano do modelo é expresso por:

$$H_{xy} = 2^{-1} J \sum_{\langle i,j \rangle} ((1 + \gamma) \sigma_i^x \otimes \sigma_j^x + (1 - \gamma) \sigma_i^y \otimes \sigma_j^y) \otimes \mathbb{I}_{ij} - h \sum_i \sigma_i^z \otimes \mathbb{I}_i$$

Com a aproximação da TCM, obtemos:

$$H_{xy}^{cm} = -2^{-1} J (1 + \gamma) z m_x \sigma_k^x - 2^{-1} J (1 - \gamma) z m_y \sigma_k^y - h \sigma_k^z + H_r$$

As magnetizações para uma rede unidimensional no modelo estudado são obtidas através de um sistema de equações transcendentais acopladas:

$$m_x = m_x \frac{J(1+\gamma)z \tanh(r/kT)}{2r}$$

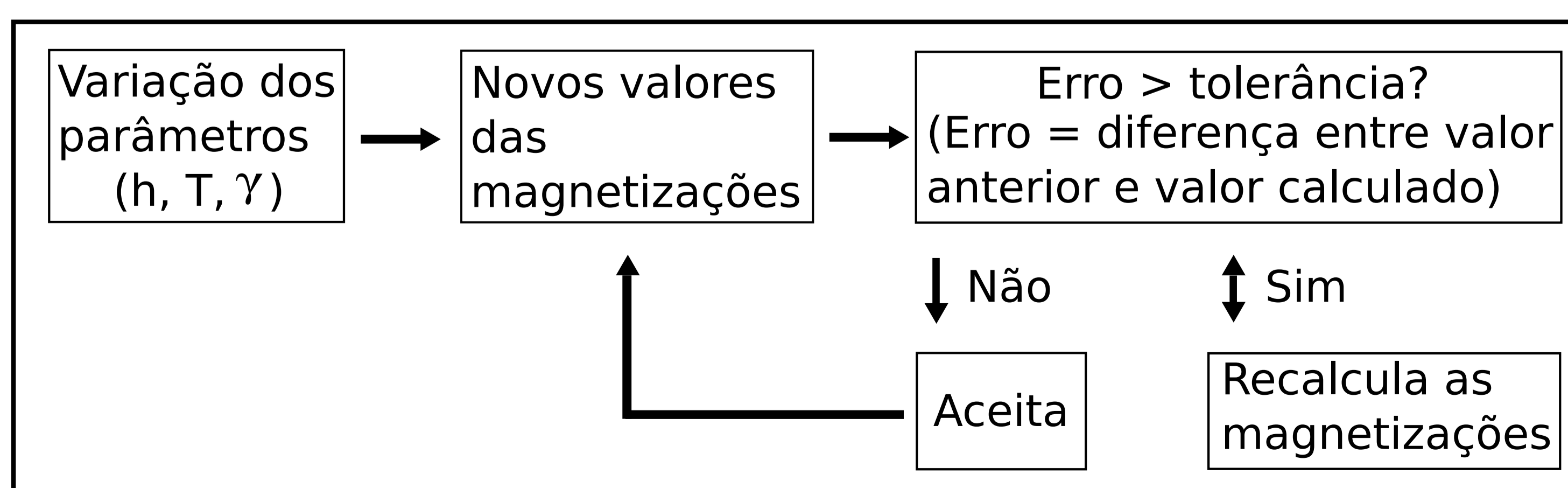
$$m_y = m_y \frac{J(1-\gamma)z \tanh(r/kT)}{2r}$$

$$m_z = h \frac{\tanh(r/kT)}{r}$$

$$r = \sqrt{\frac{J^2 z^2}{4} [(1 + \gamma)^2 m_x^2 + (1 - \gamma)^2 m_y^2] + h^2}$$

O sistema foi resolvido através de um método numérico iterativo, desenvolvido em um programa computacional na linguagem Fortran 95, com o objetivo de avaliar as transições de fase magnéticas para os parâmetros de temperatura, campo magnético externo e anisotropia.

O algoritmo usado pode ser representado pelo seguinte diagrama:



## RESULTADOS

Os resultados são obtidos através da interpretação dos diagramas de fase em gráficos tridimensionais.

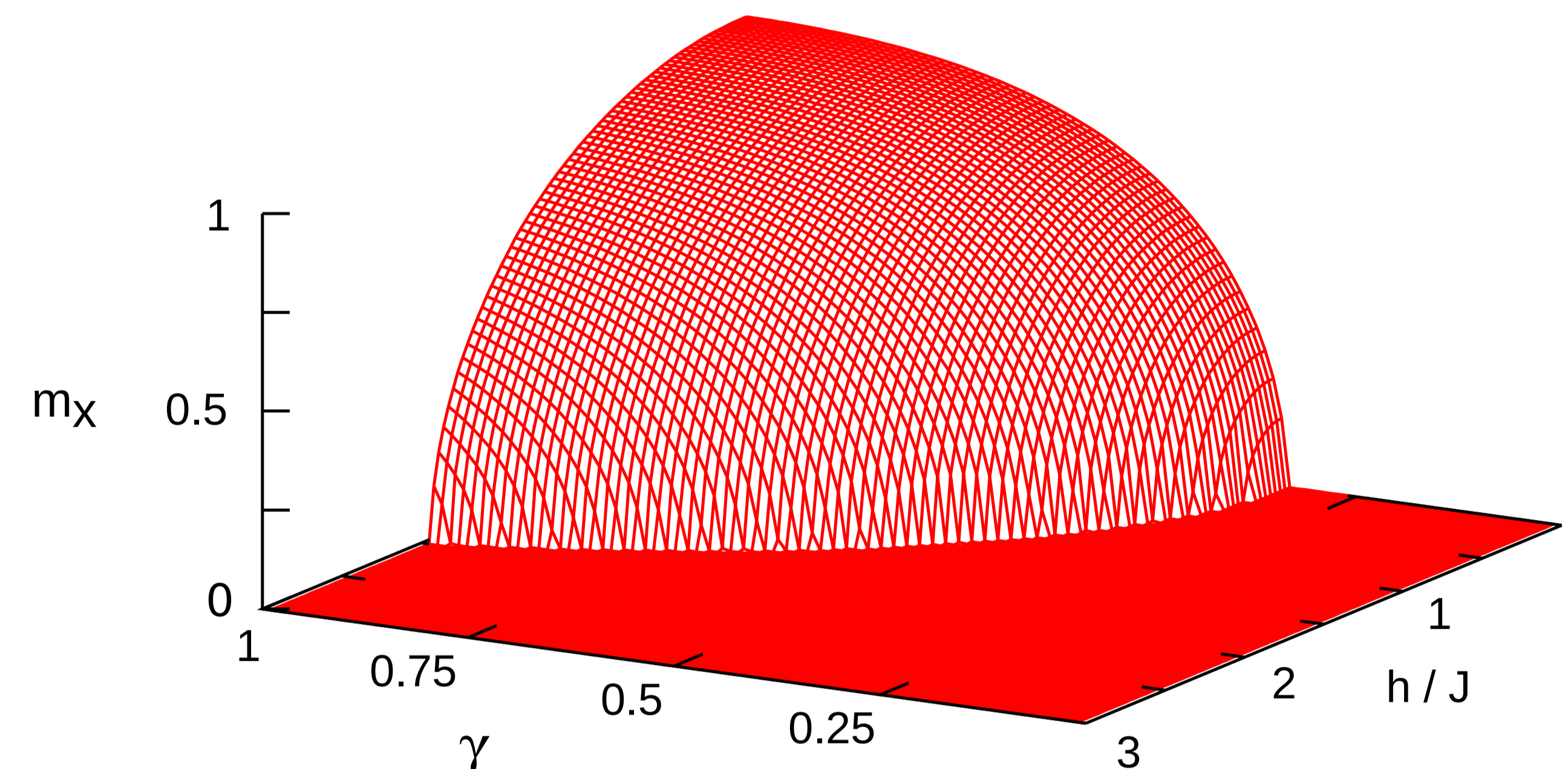
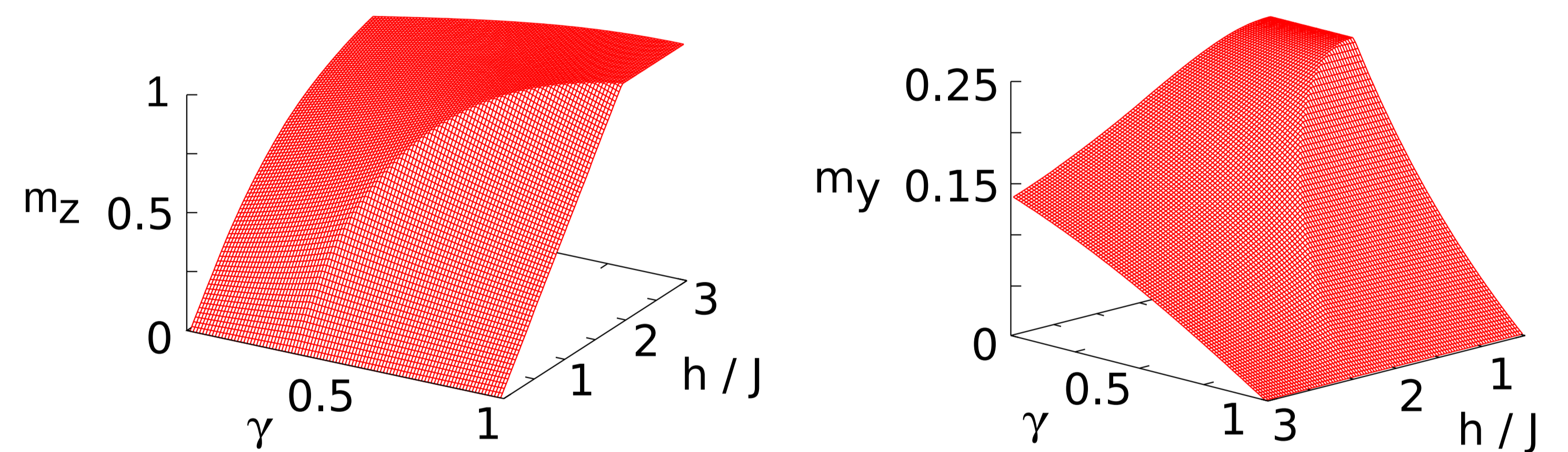
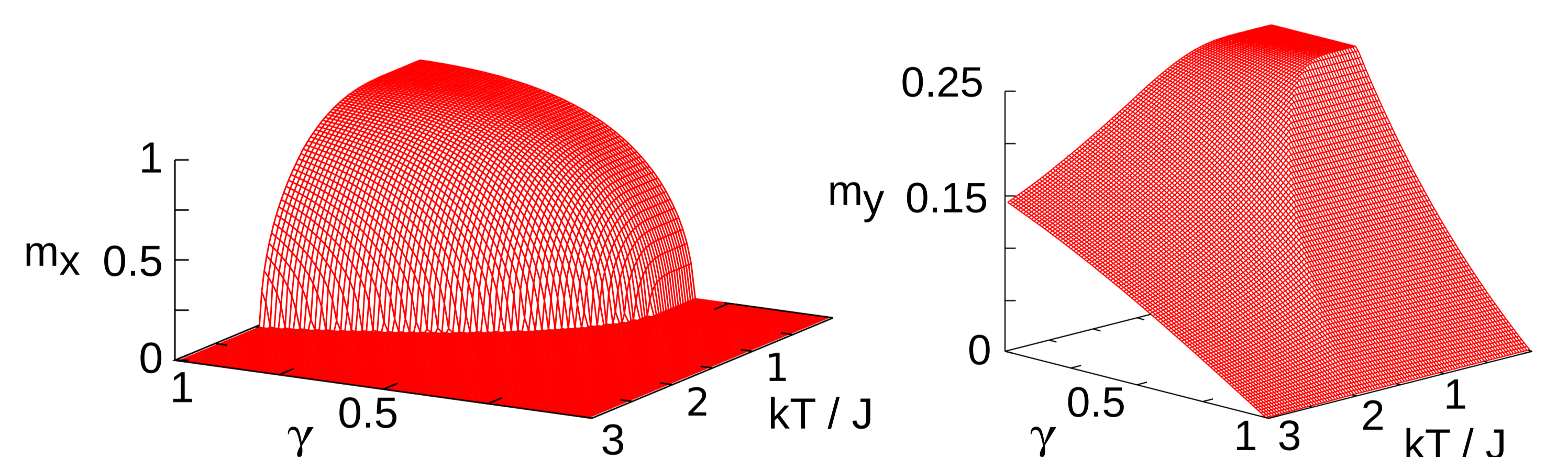


Figura 1 - Transições de fase da magnetização X para os parâmetros de anisotropia e campo externo em temperatura zero.



Figuras 2 e 3 - Transições de fase da magnetização Z e Y para os parâmetros de anisotropia e campo externo em temperatura zero respectivamente.



Figuras 4 e 5 - Transições de fase da magnetização X e Y para os parâmetros de anisotropia e temperatura com campo externo nulo respectivamente.

## DISCUSSÃO

Os resultados do modelo estudado mostram transições de fase ferromagnética-paramagnética, concordando com a TCM. O baixo custo computacional evidencia a importância de técnicas aproximativas para obter os parâmetros desejados, pois simplifica o problema de muitos corpos, embora não sejam qualitativamente corretas.

Os gráficos mostram semelhanças entre as influências da temperatura e do campo magnético externo, pois as flutuações quânticas colaboram para estes resultados.

Com base neste estudo, esperamos aperfeiçoar o modelo através das correlações entre spins e, assim, obter diagramas que possam fornecer novas informações.

## REFERÊNCIAS

Kadanoff, L. P., J. Stat. Phys. 137 (2009) 777.

Marder, Michael P. Condensed Matter Physics. University of Texas. Wiley, 2000.