

## XXIV Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica 2022

### MODELAGEM DE UM SISTEMA DE DOIS NÍVEIS PARAMAGNÉTICO USANDO FERRAMENTAS DA MECÂNICA ESTATÍSTICA<sup>1</sup>

Cássio de Castro Silva<sup>2</sup>, Luizdarcy de Matos Castro<sup>3</sup>

**Resumo:** A área que engloba o estudo de sistemas magnéticos se encontra em crescente evolução devido a sua riqueza fenomenológica que vem permitindo um aumento gradativo em aplicações tecnológicas. O avanço da tecnologia está diretamente relacionado com o desenvolvimento científico. A importância do estudo de sistemas magnéticos no mundo moderno é crucial para progredir tecnologicamente, tendo em vista que muito do que se é produzido em tecnologia atual depende de um maior entendimento de como mecanismos fundamentais conferem a tais materiais suas propriedades magnéticas. A indústria eletrônica vem buscando um aumento de densidade de circuitos eletrônicos em suas criações para alcançar um maior poder de processamento e armazenamento, portanto, a fim de chegar a densidades cada vez maiores, instituições de pesquisas ao redor do mundo esforçam-se para categorizar e controlar propriedades magnéticas de nanopartículas e de estruturas de filmes finos. O estudo do comportamento de nanopartículas magnéticas têm sido uma área promissora para o aperfeiçoamento e desenvolvimento de tecnologias principalmente pelos comportamentos que são encontrados em materiais magnéticos nessa escala, esses novos fenômenos físicos e químicos são de grande interesse para expandir nosso conhecimento de ciência básica. Nessa primeira etapa do projeto de pesquisa buscamos um aprofundamento nos métodos probabilísticos da Mecânica Estatística para estudar sistemas envolvendo mudanças de fase

**Palavras chave:** Física da Matéria Condensada e Estado Sólido, Mecânica Estatística, Métodos Analíticos Aproximativos, Sistemas Magnéticos, Termodinâmica

#### Analytical Study of Phase Change in Magnetic Systems Via Simple Theoretical Models

**Abstract:** The area that encompasses the study of magnetic systems is in growing evolution due to its phenomenological richness that has allowed a gradual increase in technological applications. The advancement of technology is directly related to scientific development. The importance of studying magnetic systems in the modern world is crucial for technological progress, considering that much of what is produced in current technology depends on a greater understanding of how fundamental mechanisms give such materials their magnetic properties. The electronics industry has been seeking to increase the density of electronic circuits in its creations to achieve greater processing and storage power, therefore, in order to reach ever greater densities, research institutions around the world strive to categorize and control magnetic properties of nanoparticles and thin film structures. The study of the behavior of magnetic nanoparticles has been a promising area for the improvement and development of technologies mainly because of

---

<sup>1</sup> Projeto de pesquisa financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB). Bolsa nº0853/2022

<sup>2</sup> Bolsista. E-mail: [cassiodecastro@gmail.com](mailto:cassiodecastro@gmail.com)

<sup>3</sup> Orientador. E-mail: [luizdarcy.castro@uesb.edu.br](mailto:luizdarcy.castro@uesb.edu.br)

the behaviors that are found in magnetic materials at this scale, these new physical and chemical phenomena are of great interest to expand our knowledge of basic science. In this first stage of the research project, we seek to deepen the probabilistic methods of Statistical Mechanics to study systems involving phase changes

**Keywords:** Approximate Analytical Methods, Condensed Matter Physics and Solid State, Magnetic Systems, Statistical Mechanics, Thermodynamics

## **Introdução**

Transições de fase e fenômenos críticos constituem um campo de estudo interdisciplinar, uma vez que correlacionam diversas áreas do conhecimento e estão presentes em uma grande variedade de sistemas. Somos familiarizados com transições de fase por observar tal fenômeno diariamente, o exemplo mais clássico são as transições de fase da água controlada pela temperatura.

Do mesmo modo toda matéria pode passar por transições de fase caracterizadas através de mudanças em determinadas quantidades macroscópicas. A transição de fase ocorre quando uma variável termodinâmica responsável pela transição é variada, no caso da variação da temperatura pode-se observar uma variação do magnetismo permanente de um material, tornando-se um magnetismo induzido.

O magnetismo, espontâneo ou induzido, de alguns materiais é um fenômeno observado há muito tempo, entretanto as primeiras teorias para tentar explicá-lo são relativamente recentes. Com o avanço das teorias quânticas e estabelecimento do conceito de spin é que foi possível compreender de uma forma mais coerente o fenômeno. Nos dias atuais existem modelos teóricos que descrevem de forma clara as propriedades magnéticas desses materiais, um desses modelos foi proposto por Wilhelm Lenz e Ernst Ising, que apresentaram resultados importantes sobre suas propriedades termodinâmicas em uma dimensão.

O modelo de Ising se popularizou e ainda hoje é aplicado de maneira satisfatória para estudar propriedades magnéticas e alguns outros casos de transições de fase do tipo ordem-desordem, este modelo é capaz de fornecer dados para diferentes modalidades de pesquisa através de um estudo de spins, mesmo sendo um modelo classificado como simples, os resultados obtidos são compensatórios.

## **Material e Métodos**

Inicialmente foi efetuado uma revisão bibliográfica da literatura sobre sistemas magnéticos, métodos estatísticos e probabilísticos, transição de fase seguindo as teorias da termodinâmica clássica e mecânica estatística. O estudo da termodinâmica clássica englobou transição ordem-desordem passando pelas teorias de Bragg-Williams e de Landau. O projeto de pesquisa se encontra em andamento focado na revisão bibliográfica dos métodos analíticos da Mecânica Estatística.

## **Resultados e Discussão**

Na termodinâmica clássica a teoria de Bragg-Williams considera que o ordenamento de uma liga se estabelece devido à maior força atrativa entre átomos de

tipos distintos do que entre átomos do mesmo tipo. A energia de interação entre átomos de tipos diferentes deve ser menor do que aquela entre átomos do mesmo tipo. Portanto, a configuração local de menor energia é aquela em que o átomo de um tipo esteja cercado apenas por átomos de tipo distinto que estão em outra subrede, isso favorece a segregação dos átomos de um tipo numa subrede e átomos de outro tipo em outra subrede, constituindo uma liga ordenada.

Na Teoria de Landau para transições de fase, na quebra espontânea de simetria, ele trata da transição entre fases que possuem simetrias distintas. Uma fase tem maior simetria, sendo mais comum em altas temperaturas que é normalmente caracterizada como fase desordenada, para uma fase de menor simetria que denominamos fase ordenada. A fase ordenada é constituída por várias fases ordenadas distintas em coexistência que possuem estruturas similares. Landau teorizou transições contínuas e descontínuas.

A transição de fase de um dado sistema é caracterizada por funções termodinâmicas particulares, que para o caso de sistemas magnéticos é associada à susceptibilidade e a magnetização. Nos sistemas magnéticos do tipo ferromagnético, a magnetização é vista como um parâmetro de ordem, e a temperatura e o campo magnético são fatores externos que podem afetar o ordenamento do sistema (Cabral Neto, 2005, p. 28).

Alguns dos exemplos mais comuns de propriedades termodinâmicas dos sistemas magnéticos são a magnetização total e de subrede, a susceptibilidade total e de subrede, a energia interna e o calor específico. A presença de um campo externo pode afetar de forma significativa o comportamento dessas propriedades, levando assim a uma transição de fase. Dessa forma, o cálculo para a obtenção das propriedades termodinâmicas é de extrema importância para o desenvolvimento do estudo.

## **Conclusões**

A Mecânica Estatística é um dos pilares fundamentais da Física, sendo que os conhecimentos gerados nessa área são utilizados em praticamente todos os outros campos da Física, assim como em outras disciplinas. A física estatística, aliada aos métodos computacionais sofisticados, tem sido aplicada em diversos problemas, desde a física de baixas energias, como por exemplo, no cálculo de propriedades térmicas, elétricas e magnéticas dos sistemas físicos considerados em Física da Matéria Condensada, até em física de altas energias, onde questões como o decaimento de núcleos atômicos a partir de estados altamente excitados são consideradas. Mas a aplicação do formalismo e conceitos desenvolvidos nessa área não se restringe unicamente ao campo da Física. Não tive contato com essa magnífica área antes de participar do programa de iniciação científica, tenho enfrentado grandes desafios no estudo da Mecânica Estatística, principalmente porque o seu entendimento necessita da busca de vários pré-requisitos não estudados num curso de graduação, desse modo acredito que esse projeto deixa oportunidades futuras para um maior desenvolvimento e contribuição na área.

## **Referências Bibliográficas**

[1] BUSSAB, W. O; MORETTIN, P. A. Estatística Básica. 5. ed São Paulo: Editora Saraiva, 2006.

[2] CABRAL NETO, J.S. Estudo sistemático das propriedades termodinâmicas e criticalidade de filmes finos e super-redes magnéticas. São Carlos: UFSCar, 2005.

[3] CALLEN, H. B. Thermodynamics and na introducon to thermostasc. 2. ed. Nova Jeersey: John Willey & Sons, 1985.

[4] LEE, J. D. Química inorgânica não tão concisa. Tradução da 5a ed. inglesa. Editora Edgard Blücher Ltda. pp. 24, 217, 360-370. 1999.

[5] Lopes, L. L. Simulações de teorias de campo para sistemas magnéticos. Universidade Federal de Santa Catarina. SC, 2017

[6] NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física básica: fluidos, oscilações e ondas, calor. 5. ed. São Paulo: Edgard Blüncher, 2014. v. 2.

[7] OLIVEIRA, Mário José de. Termodinâmica. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2012.

[8] PÁDUA, Antonio Braz de; PÁDUA, Cléia Guio de. Termodinâmica: uma coletânea de problemas. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

[9] SALINAS, S. R. A. Introdução à Física Estatística. EDUSP: SP, (1999).

## **AGRADECIMENTOS**



Fundação de Amparo  
à Pesquisa do Estado da Bahia