



Evento: XXVIII Seminário de Iniciação Científica

## FERRAMENTA EDUCACIONAL PARA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS SUPERPARAMAGNÉTICOS<sup>1</sup>

EDUCATIONAL TOOL FOR SIMULATING SUPERPARAMAGNETIC SYSTEMS

**Suriel Artur Rogowski Gonçalves<sup>2</sup>, Benjamim Zucolotto<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Projeto de pesquisa financiado pela CNPQ.

<sup>2</sup> Bolsista de Iniciação Científica PIBIC/CNPQ 2020/2021 e acadêmico do curso de Engenharia de Software, UNIJUI.

<sup>3</sup> Doutor em Física, Professor Adjunto, Departamento de Ciência Exatas e Engenharias, Orientador, UNIJUI

### RESUMO

O artigo apresenta um software desenvolvido para proporcionar a melhor compreensão acerca do comportamento de sistemas superparamagnéticos sujeitos a campos magnéticos externos, não requisitando nenhum conhecimento prévio em programação. Abordando de forma simplificada o assunto através da função de Langevin, busca-se auxiliar o estudo de materiais magnéticos nanoestruturados e de sua abordagem no âmbito escolar para acadêmicos interessados no assunto.

**Palavras-chave:** Superparamagnetismo. Langevin. Simulação.

### INTRODUÇÃO

O artigo apresenta um software desenvolvido para proporcionar um melhor entendimento acerca do comportamento de sistemas superparamagnéticos sujeitos a campos magnéticos externos, a ferramenta foi construída para ser simples, interativa e específica, já que as ferramentas atuais de simulações, como o *MATLAB* por exemplo, lidam com simulações em geral, é necessário grande conhecimento não apenas da área de estudo de interesse, mas também de programação. Através de diversas variáveis como temperatura, magnetização de saturação e diâmetro médio dos momentos magnéticos, o simulador realiza sua operação. O problema é abordado de forma simplificada através da função de Langevin, com isso, busca-se auxiliar especificamente no estudo de materiais magnéticos nanoestruturados, normalmente de difícil abordagem experimental no âmbito do ensino, também servindo de base para futuros pesquisadores da área.



## METODOLOGIA

A Física permite a observação, descrição e compreensão dos fenômenos naturais. Entretanto, as ferramentas de ensino disponíveis são muitas vezes limitadas, afetando a plenitude do processo de aprendizagem devido a dificuldades na experimentação. A experimentação através de simulação é amplamente utilizada na construção de materiais didáticos [1, 2, 3, 4]. Neste sentido, a modelagem computacional se insere como uma ferramenta poderosa, além de ser aliada ao desenvolvimento científico.

O uso de ferramentas interativas que permitem a inserção de dados para visualização do comportamento de sistemas físicos tem sido usado na consolidação do conhecimento. A simulação criada a partir do *GUIDE* do *MATLAB* é usada na análise da propagação de ondas de tensão em uma linha de transmissão [5]. O *JARVES* juntamente com o *OpenFOAM* é empregado na simulação de fluidodinâmica [6]. A simulação computacional via cálculo de soluções numéricas é muito empregado em problemas clássicos de transmissão de calor [7]. Não obstante, o *Java* tem sido usado na animação de modelagem via software *Modellus* para simples estudo qualitativo de hidrostática [8].

A aplicação desse tipo de metodologia no estudo de materiais magnéticos torna-se bastante útil quando o primeiro e único contato com a teoria, por parte do estudante, frequentemente se dá através de uma abordagem que envolve apenas conceitos, sem a realização de simulação ou experimentação [9, 10]. O estudo de materiais magnéticos está em evidência atualmente, pois possuem papel importante tanto no aspecto científico quanto tecnológico. Por exemplo, materiais superparamagnéticos são usados no desenvolvimento de fármacos para tratamento de câncer [11, 12, 13], dentre inúmeras outras aplicações. Alguns trabalhos vão nessa direção ao tratar de sistemas magnéticos nanoestruturados voltado ao ensino da Física, o que apresenta uma gama de possibilidades [14, 15].

O artigo apresenta um software intitulado *SPmag Tools 1.0*, desenvolvido com o objetivo de proporcionar uma visão do comportamento de sistemas superparamagnéticos. O desenvolvimento do software foi em linguagem *JAVA 1.8* com a ferramenta *JavaFX 8*. Para o ambiente de desenvolvimento foi utilizado o *Netbeans IDE* por ser integrado e gratuito, sendo



executado em muitas plataformas. O design foi realizado por código *Cascading Style Sheet* que o próprio *JavaFX* disponibiliza e que pode ser obtido pelos documentos da *Oracle* (*JavaFX CSS Reference Guide*).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Fig. 1 tem-se uma operação no *SPmag*, de início é possível acessar o *Help - Quick Tutorial* para se realizar um tutorial direcionado autoexplicativo pelas principais operações do software. Em *File* a opção *New Input Control File* dá início a um novo projeto de visualização (*Visualization Project*) de curvas de Langevin (*Langevin Curves*).

É possível então nomear a curva em *Curve Title* e parametrizar os valores de temperatura, diâmetro médio e magnetização de saturação. Em seguida delimita-se os valores do campo magnético no intervalo e incremento desejado em *From*, *To* e *Increment*, respectivamente. Então, ao clicar em *Run*, no cabeçalho do software, a curva será gerada.

Com uma curva selecionada em *Curve* é possível deletá-la na opção *Delete*. Após uma série de curvas terem sido construídas, é possível salvar os dados no mesmo momento que os exporta, pois, ao salvar em *File - Save as*, será gerado um arquivo em formato *.txt* que conterà todas as informações das curvas geradas. O arquivo salvo poderá ser novamente aberto no *SPmag* em *File - Open Input Control File* e reeditado.

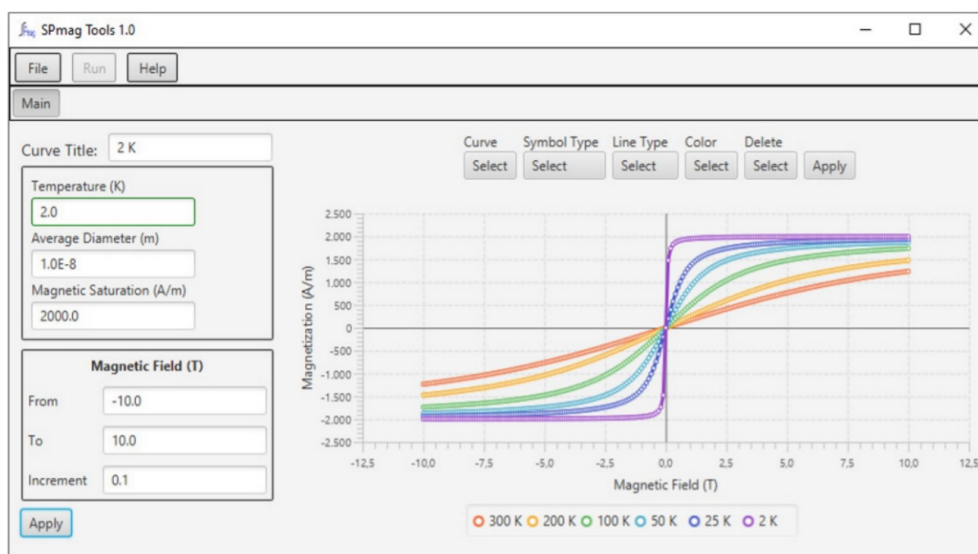


Figura 1: Interface do software *SPmag Tools 1.0*.



O comportamento da magnetização pode ser simulado com variações dos parâmetros realizando diferentes curvas como mostram os resultados na Fig.2 via *SPmag*.

Na Fig.2(a) observa-se a dependência da magnetização com a temperatura. Quanto menor a temperatura, mais rapidamente o sistema atinge a saturação.

Na Fig.2(b) observa-se que as curvas têm o mesmo comportamento, tendendo para saturação de cada respectiva curva.

Na Fig.2(c) ao aumentar o diâmetro médio, a magnetização tende abruptamente para o valor da saturação, ou seja, partículas maiores estão mais susceptíveis ao ordenamento magnético.

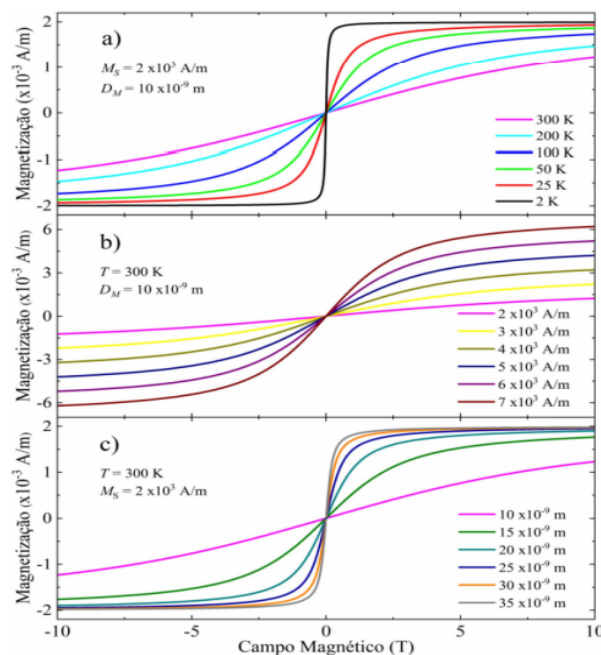


Figura 2: Simulação da função de Langevin com variação da (a) temperatura, (b) magnetização de saturação e (c) diâmetro médio.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir de uma revisão do conceito de superparamagnetismo desenvolveu-se o software *SPmag Tools 1.0* com o qual se pode realizar simulações das curvas de magnetização de forma rápida, sem a necessidade de conhecimento em programação.



O superparamagnetismo, apesar de ser estudado a muitos anos, ainda possui muitos aspectos inexplorados e espera-se que este artigo possa incentivar o aprofundamento no estudo destes materiais magnéticos. Logo, o software é livre e pode ser encontrado gratuitamente no endereço <http://gca.unijui.edu.br/downloads/8a68a6ec403a63a15cc931191321dddf.exe>.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J.S. Figueira, Revista Brasileira de Ensino de Física 27, 613 (2005).
- [2] V. Heckler, M.F.O. Saraiva e K.S.O. Filho, Revista Brasileira de Ensino de Física 29, 267 (2007).
- [3] A. Gelir, M. Kocaman e I. Pekacar, Physics Education 54, 055012 (2019).
- [4] V. Mehta e D.C. Lane, Physics Education 53, 045016 (2018).
- [5] F.M. Cruz, et al., Revista Brasileira de Ensino de Física 41, e20190123 (2019).
- [6] T.F.d.D. Fernandes e N.L. Moreira, Revista Brasileira de Ensino de Física 41, e20180304 (2019).
- [7] C.F. Wehmann, et al., Revista Brasileira de Ensino de Física 40, e2313 (2018).
- [8] R.B. Werlang; R.d. S. Schneider e F.L.d. Silveira, Revista Brasileira de Ensino de Física 30, 1503 (2008).
- [9] G.A.P. Ribeiro, Revista Brasileira de Ensino de Física 22, 299 (2000).
- [10] L.M. Holanda, et al., Revista Brasileira de Ensino de Física 42, e20190196 (2000).
- [11] S. Palanisamy e Y.M. Wang, Dalton Transactions 48, 9490 (2019).
- [12] D. Cai, et al., Scientific Reports 9, 14475 (2019).
- [13] D. Maity e G. Kandasamy, in Nanotechnology Characterization Tools for Tissue Engineering and Medical Therapy, editado por S.S.R.C. Kumar (Springer, Berlin Heidelberg, 2019). 6
- [14] A.P. Guimarães, Revista Brasileira de Ensino de Física 22, 382 (2000).
- [15] M. Knobel, Revista Brasileira de Ensino de Física 22, 387 (2000).