

**Jorge González Aguilera
Alan Mario Zuffo
(Organizadores)**

Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica 4



Jorge González Aguilera

Alan Mario Zuffo

(Organizadores)

Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica 4

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Karine de Lima
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
C569	Ciências exatas e da terra e a dimensão adquirida através da evolução tecnológica 4 [recurso eletrônico] / Organizadores Jorge González Aguilera, Alan Mario Zuffo. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida Através da Evolução Tecnológica; v. 4) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-475-7 DOI 10.22533/at.ed.757191107 1. Ciências exatas e da terra – Pesquisa – Brasil. 2. Tecnologia. I. Aguilera, Jorge González. II. Zuffo, Alan Mario CDD 509.81
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “*Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica vol. 4*” aborda uma publicação da Atena Editora, apresenta, em seus 22 capítulos, conhecimentos tecnológicos e aplicados as Ciências Exatas e da Terra.

Este volume dedicado à Ciência Exatas e da Terra traz uma variedade de artigos que mostram a evolução tecnológica que vem acontecendo nestas duas ciências, e como isso tem impactado a vários setores produtivos e de pesquisas. São abordados temas relacionados com a produção de conhecimento na área da matemática, química do solo, computação, geoprocessamento de dados, biodigestores, educação ambiental, manejo da água, entre outros temas. Estas aplicações visam contribuir no aumento do conhecimento gerado por instituições públicas e privadas no país.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos nas Ciências Exatas e da Terra, os agradecimentos dos Organizadores e da Atena Editora.

Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias para a área da Física, Matemática, e na Agronomia e, assim, contribuir na procura de novas pesquisas e tecnologias que possam solucionar os problemas que enfrentamos no dia a dia.

Jorge González Aguilera
Alan Mario Zuffo

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE DE SOBREVIVÊNCIA DE CÉLULAS DE CARCINOMA DE CÂNCER CANINO APÓS IRRADIAÇÃO COM EQUIPAMENTO DE COBALTO	
Paula de Sanctis Brunno Felipe Ramos Caetano Luis Maurício Montoya Flórez Valéria Barbosa de Souza Luís Fernando Barbisan Marco Antônio Rodrigues Fernandes Ramon Kaneno Rogério Antônio de Oliveira Willian Fernando Zambuzzi Noeme Sousa Rocha	
DOI 10.22533/at.ed.7571911071	
CAPÍTULO 2	15
AVALIAÇÃO COMPUTACIONAL DE INTERAÇÕES ENTRE AS PROTEÍNAS M E M2-1 DO VÍRUS SINCICIAL RESPIRATÓRIO HUMANO (HRSV) E RIBAVIRINA	
Ernesto Tavares Neto Leandro Cristante de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.7571911072	
CAPÍTULO 3	23
ENCAPSULAMENTO DE NANOPARTÍCULAS FERROMAGNÉTICAS EM MATRIZ EPOXÍDICA PARA O TRATAMENTO DE HEPATOCARCINOMA	
Bruno de Vasconcellos Averaldo Hangai Alexandre Zirpoli Simões	
DOI 10.22533/at.ed.7571911073	
CAPÍTULO 4	38
ESTUDO QUÍMICO DO EXTRATO CLOROFÓRMICO DAS FOLHAS DA <i>Annona muricata</i> L.	
Maria Luiza da Silva Pereira Karoline Pereira Ribeiro	
DOI 10.22533/at.ed.7571911074	
CAPÍTULO 5	48
MÉTODO SIMPLIFICADO PARA CALCULAR A ROTAÇÃO DO SOL	
Matheus Leal Castanheira Dietmar Willian Foryta	
DOI 10.22533/at.ed.7571911075	
CAPÍTULO 6	55
MONITORAMENTO AMBIENTAL DOS FOCOS DE QUEIMADAS NO ESTADO DE ALAGOAS PARA OS ANOS DE 2015 E 2016	
Esdras de Lima Andrade Whendel Cezar Silva de Couto Daniel Nivaldo da Conceição Alex Nazário Silva Oliveira Elizangela Lima de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.7571911076	

CAPÍTULO 7	64
MONITORAMENTO DE IMPACTOS AMBIENTAIS PÓS-IMPLANTAÇÃO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS E AÇÕES CORRELATAS DO ÓRGÃO AMBIENTAL FISCALIZADOR	
Poliana Arruda Fajardo	
DOI 10.22533/at.ed.7571911077	
CAPÍTULO 8	74
OSCILADOR HARMÔNICO: MODELO PARA A DESCRIÇÃO DE SISTEMAS FÍSICOS EM EQUILÍBRIO ESTÁVEL SOFRENDO PEQUENAS OSCILAÇÕES	
Pedro Henrique Ferreira de Oliveira João Philipe Macedo Braga	
DOI 10.22533/at.ed.7571911078	
CAPÍTULO 9	86
PALAVRAS CRUZADAS: UMA FERRAMENTA LÚDICA NO ENSINO DE MATEMÁTICA E DAS CIÊNCIAS DA NATUREZA	
Osmar Luís Nascimento Gotardi Andréa Martini Ribeiro Fernanda Marchiori Grave Letícia Cristiane Malakowski Heck Mario Victor Vilas Boas	
DOI 10.22533/at.ed.7571911079	
CAPÍTULO 10	102
QUANTIFICAÇÃO DE P-FENILENODIAMINA (PPD) EM FORMULAÇÃO DE CORANTE PERMANENTE DE CABELO	
Maria Letícia Mendes Soares Thamiris Costa dos Santos Carolina Venturini Uliana Mariele Mucio Pedroso Hideko Yamanaka	
DOI 10.22533/at.ed.75719110710	
CAPÍTULO 11	111
RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DIRETO DO POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)	
Mariana Basolli Borsatto Beatriz Garcia Silva Paulo César Lodi Rogério Custódio Azevedo Souza Bruna Rafaela Malaghini Caio Henrique Buranello dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.75719110711	

CAPÍTULO 12	121
SAÚDE E SEGURANÇA DO TRABALHO PARA O DESENVOLVIMENTO SEGURO DE BIOPROCESSOS	
Milson dos Santos Barbosa Lays Carvalho De Almeida Isabelle Maria Duarte Gonzaga Aline Resende Dória Luma Mirely Souza Brandão Isabela Nascimento Souza Débora da Silva Vilar Juliana Lisboa Santana Priscilla Sayonara de Sousa Brandão	
DOI 10.22533/at.ed.75719110712	
CAPÍTULO 13	129
SÍNTESE DOS NÍVEIS INTERPRETANTES DAS ESTAÇÕES DO ANO APRESENTADOS POR FUTUROS PROFESSORES DE CIÊNCIAS	
Daniel Trevisan Sanzovo Carlos Eduardo Laburú	
DOI 10.22533/at.ed.75719110713	
CAPÍTULO 14	140
SISTEMA DE CONTROLE EMPREGANDO TECNOLOGIA RFID	
Felipe de Carvalho Forti Alexandre César Rodrigues da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.75719110714	
CAPÍTULO 15	150
TÉCNICAS DE MEDIÇÃO BASEADAS NA FUNÇÃO DE RESPOSTA EM FREQUÊNCIA PARA DETECÇÃO DE DANO BASEADA NA IMPEDÂNCIA ELETROMECAÂNICA	
Guilherme Silva Bergamim Caio Henrique Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.75719110715	
CAPÍTULO 16	164
TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADAS À MINERAÇÃO NA REGIÃO SEMIÁRIDA DO SERIDÓ POTIGUAR	
Paulo Sérgio de Rezende Nascimento	
DOI 10.22533/at.ed.75719110716	
CAPÍTULO 17	180
UM ESTUDO SOBRE ANÉIS LOCAIS	
Brendol Alves Oliveira Gomes Eliris Cristina Rizzioli	
DOI 10.22533/at.ed.75719110717	
CAPÍTULO 18	192
UMA VISÃO GERAL DE FRAMEWORKS PHP POPULARES PARA PROGRAMAÇÃO WEB	
Lilian N A Lazzarin Leandro do Nascimento dos Anjos João Florentino da Silva Junior	
DOI 10.22533/at.ed.75719110718	

CAPÍTULO 19	202
UM PANORAMA DA QUALIDADE DA INTERNET BANDA LARGA NA REGIÃO DO MATO GRANDE	
Igor Augusto De Carvalho Alves	
Hellen Adélia Oliveira Da Cruz	
Maria De Lourdes Assunção Soares Dantas Fonseca	
DOI 10.22533/at.ed.75719110719	
CAPÍTULO 20	216
USO DE SUPPORT VECTOR MACHINE EM AMBIENTE SUBTERRÂNEO: APLICAÇÃO EM POÇO DE MONITORAMENTO PARA REGRESSÃO DE DADOS DE NÍVEL DE ÁGUA	
Thiago Boeno Patricio Luiz	
Guilherme de Freitas Gaiardo	
José Luiz Silvério da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.75719110720	
CAPÍTULO 21	229
UTILIZAÇÃO DA DIFRAÇÃO DE RAIOS X NA CARACTERIZAÇÃO DO HIDRÓXIDO DUPLO LAMELAR (HDL) MG/AL E SEU EFEITO MEMÓRIA	
Victor De Aguiar Pedott	
Elton Luis Hillesheim	
Iemedelais Bordin	
Rogério Marcos Dallago	
Marcelo Luís Mignoni	
DOI 10.22533/at.ed.75719110721	
CAPÍTULO 22	237
UTILIZAÇÃO DE SIMULAÇÕES NUMÉRICAS PARA ESTUDO DE ONDAS OCEÂNICAS	
Matheus José de Deus	
Mateus das Neves Gomes	
DOI 10.22533/at.ed.75719110722	
SOBRE OS ORGANIZADORES	242

ENCAPSULAMENTO DE NANOPARTÍCULAS FERROMAGNÉTICAS EM MATRIZ EPOXÍDICA PARA O TRATAMENTO DE HEPATOCARCINOMA

Bruno de Vasconcellos Averaldo Hangai

Universidade Estadual Paulista – UNESP,
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá –
FEG, Departamento de Engenharia de Materiais e
Tecnologia
Guaratinguetá – SP

Alexandre Zirpoli Simões

Universidade Estadual Paulista – UNESP,
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá –
FEG, Departamento de Engenharia de Materiais e
Tecnologia
Guaratinguetá – SP

RESUMO: O câncer é uma doença que aflige milhares de pessoas ao redor do mundo. Assim, métodos que possam auxiliar os tratamentos atuais contra essa enfermidade estão em desenvolvimento, como, por exemplo, os que utilizam a nanotecnologia como ferramenta. Esse artigo trata de nanopartículas magnéticas de ZnFe_2O_4 (ferrita de zinco) com magnetização de saturação de 12,1 emu/g, que foram sintetizadas pelo método hidrotermal, assistido por micro-ondas, a 140°C por 32 minutos. Este composto está sendo testado em hipertermia magnética, um promissor tratamento terapêutico contra o câncer, que causa a lise das células tumorais aquecendo as nanopartículas magnéticas através de um campo magnético externo aplicado. A difração de raios X (DRX)

revela nanopartículas de ZnFe_2O_4 monofásica com estrutura bem definida enquanto a espectroscopia Raman revela que um tempo de síntese de 32 minutos fornece a energia de cristalização, causando anisotropia no crescimento estrutural a curta distância, o que acarreta em um certo grau de ordem na rede cristalina. A morfologia dos pós foi investigada por microscopia eletrônica de transmissão de alta resolução (MET), que mostrou que tamanhos de partícula com diâmetro de 10–25 nm são um fator importante para aplicação em magneto-hipertermia. Parâmetros magnéticos analisados por meio de uma unidade magnetométrica com amostra vibrante mostraram que essas nanopartículas apresentam grande potencial na aplicação de magneto-hipertermia. **PALAVRAS-CHAVE:** materiais multifuncionais, nanotecnologia, hipertermia magnética.

ABSTRACT: Magnetic ZnFe_2O_4 nanoparticles with magnetization saturation of 12.1 emu/g were synthesized through hydrothermal microwave method at 140 °C for 32 minutes. This compound is being tested in magnetic hyperthermia a promising therapeutic cancer treatment, which causes lysis of tumor cells by heating magnetic nanoparticles through an external magnetic field. X-ray diffraction reveals a single-phase ZnFe_2O_4 nanoparticles with welldefined structure while Raman spectroscopy

reveals that at 32 min of soaking time provides the energy crystallization, causing anisotropy in the structural growth at short range causing a certain degree of order in the crystal lattice. Morphology of the powders was investigated by transmission electronic microscopy (HRTEM) which showed particle sizes with 10–25 nm of diameter being an important factor for application in magneto-hyperthermia. Magnetic parameters analyzed by means of a vibrating-sample magnetometer unit showed that these nanoparticles have great potential in magneto-hyperthermia application.

1 | INTRODUÇÃO

Ultimamente, o grande número de indivíduos com câncer tem sido uma grande preocupação no cenário global. Células cancerosas são geradas devido a mutações em genes especiais, que são inativos em células normais, formando o tumor maligno ou benigno. Em particular, o câncer de fígado, pode ser contraído de várias formas razões, como por exemplo a ingestão de alimentos com aflatoxinas, hepatite B, cirrose, entre outros. A hipertermia magnética é um método relativamente novo para auxiliar no tratamento do câncer e a mais robusta das possibilidades. Partículas magnéticas são inseridas na corrente sanguínea e se ligam às células cancerígenas. Elevando a temperatura para $\sim 42^\circ\text{C}$ através de um campo magnético alternado, gera calor suficiente para destruir as células cancerígenas. Para ser aplicado no tratamento do câncer, o comportamento pode ser ferromagnético ou superparamagnético.

Os materiais nanoestruturados possuem pelo menos uma de suas dimensões na ordem de nanômetros. Possui características típicas, como melhor condutividade, melhores taxas de sinterização, resposta rápida em sensores, entre outros. A distribuição do tamanho das partículas (a ser aplicada nos capilares), bem como a boa dispersão, devem ser bem controladas. As nanopartículas (monodomínios magnéticos) são preferidas às micropartículas (multidomínios) porque respondem mais eficientemente a campos externos, absorvendo mais energia. O material escolhido para a hipertermia é a ferrita de zinco (ZnFe_2O_4), devido à sua alta estabilidade, aquecimento por indução magnética, biocompatibilidade e interessantes propriedades físicas. Além de ter saturação de magnetização adequada, a ferrita de zinco obtida por uma via de coprecipitação tem tamanho de cristalito de 11,04 nm, distância interplanar de 2,542, volume de $592,06 \text{ \AA}^3$, temperatura de Neel em torno de 9-10 K, densidade aparente de $4,12 \text{ gm/cm}^3$, energia Fermi de 14,642 eV, porosidade de 23,83%, entre outras características.

Sua estrutura corresponde ao espinélio normal, onde Zn^{+2} ocupa o sítio tetraédrico e Fe^{+3} ocupa o sítio octaédrico, normalmente. No estado de bulk ZnFe_2O_4 tem uma estrutura espinélio normal com íons Zn^{2+} não magnéticos no sítio A e íons Fe^{3+} magnéticos nos sítios B (em duas sub-redes antiparalelas) e pode ser descrita pela fórmula $(\text{Zn}^{2+}) [\text{Fe}^{3+} \uparrow \text{Fe}^{3+} \downarrow] \text{O}_4$. Quando as interações entre os sítios diminuem no bulk e a magnetização em temperatura ambiente, o comportamento magnético é

do tipo paramagnético. No entanto, quando ocorre a inversão estrutural, na qual os íons metálicos começam a ocupar os locais invertidos, o comportamento magnético muda para ferromagnético, que é o comportamento magnético desejado. Esse rearranjo catiônico leva à formação de duas sub-redes magnéticas, que é responsável pela magnetização aprimorada exibida quando comparada com a ZnFe_2O_4 normal. Considerando essa inversão estrutural, o comportamento magnético das nanopartículas de ferrita de zinco observadas é superparamagnético, que pode ser explicado da seguinte forma: uma amostra de ferromagneto uniaxial com volume acima do volume crítico é dividida em múltiplos domínios magnéticos, cada um magnetizado ao longo do eixo D, em direções diferentes. No entanto, quando o volume está abaixo do volume crítico, a partícula se torna apenas um domínio único, com alinhamento ferromagnético de todos os seus momentos em uma única direção ao longo da mesma direção D. Há flutuações térmicas de momentos (com uma variação de energia, em escala microscópica), mas para reverter a magnetização de um único domínio é necessária uma certa energia para superar a anisotropia do material. Tornar a partícula pequena o suficiente libera suas restrições, o que permite que a direção dos momentos mude para um comportamento paramagnético.

A suscetibilidade magnética e sua magnetização pode ser equacionada pela função de Langevin. A temperatura de transição de fase ideal seria entre 40 e 43°C, porque será a temperatura de trabalho. Com um comportamento magnético interessante, a ferrita espinélica tem sido objeto de pesquisa nos últimos tempos, incluindo suas aplicações. Como o ZnFe_2O_4 é uma das mais importantes ferritas espinélicas, vários métodos são desenvolvidos para sua produção, como sol-gel, hipertermia, entre outros.

2 | PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Os reagentes utilizados para a síntese foram: citrato de ferro e amônio (pureza 99,5% e fornecido por Vetec) e acetato de zinco di-hidratado (pureza 99,9% e fornecido pela Merck). Todos os reagentes foram pesados de acordo com a estequiometria previamente definida (ZnFe_2O_4). A solução foi obtida por dissolução de citrato de ferro (III) e acetato de zinco desidratado com gotas de ácido nítrico em água a 90°C e mistura constante. Depois, a solução tinha um pH de 3. A solução final foi transferida para uma autoclave de Teflon selada e colocada no micro-ondas hidrotermal (2,45 GHz, potência máxima de 800 W). A síntese hidrotérmica foi realizada a 140°C durante 32 min com uma taxa de aquecimento fixada a 10°C / min. A pressão no interior do autoclave selado foi estabilizada em torno de 2,0 atm durante a síntese. O autoclave foi resfriado até a temperatura ambiente dentro do micro-ondas, uma vez que os tempos estipulados foram atingidos. As nanopartículas policristalinas de ZnFe_2O_4 foram coletadas e lavadas com água deionizada várias vezes e então secas a 100 °C em estufa.

As nanopartículas obtidas foram caracterizadas por difração de raios X (DRX) utilizando-se uma radiação (Rigaku-DMax/2500PC, Japão) com Cu-K α ($\lambda = 1,5406$ Å) no 2θ variando de 20° a 70° com $0,2^\circ/\text{min}$. O tamanho do cristalito (d) foi calculado usando a equação de Scherrer $d = k\lambda/\beta \cos\theta$, onde k é constante, λ é o comprimento de onda dos raios-X e β é a largura total na metade máxima (FWHM, em inglês) para o pico (311), reflexão medida a partir de varredura lenta, onde θ é o ângulo de difração do pico principal. A análise de Rietveld foi realizada com o programa de refinamento Rietveld DBWS-941 1. A função de perfil utilizada foi a pseudo-Voigt modificada de Thompson-Cox-Hasting, na qual η (a fração lorentziana da função) varia com os componentes de Gauss e Lorentz a largura total a metade do máximo. Espectros Raman foram coletados (espectrômetro Bruker RFS-100/S Raman com transformada de Fourier). Um laser YAG de 1064 nm foi usado como fonte de excitação e sua potência foi mantida em 150 mW.

Os dados de MET foram obtidos por secagem de gotículas de amostras preparadas a partir de uma dispersão etanólica que tinha sido sonicada durante 5 min em redes de malha de 300 mesh. As imagens obtidas por MET e os padrões de difração de área selecionada (SAED, em inglês) foram então tirados a uma voltagem de aceleração de 200 kV em um instrumento Philips modelo CM 200. As distribuições de tamanho de partícula de pós foram determinadas pela técnica de tamanho de partícula hidrodinâmico usando meio líquido. Para medir o campo magnético CC (corrente contínua), foi empregada uma sonda Hall. As medições de magnetização foram realizadas através do magnetômetro de amostra vibrante (VSM, em inglês) da Quantum Design™. A medição de sorção de N₂ foi realizada usando Micromeritics ASAP 2010 em 77 K.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Padrões de DRX de nanopós de ZnFe₂O₄ sintetizados a 140°C por 32 min são mostrados na Figura 1. Os picos de difração podem ser indexados principalmente de acordo com os dados dos nanopós de ZnFe₂O₄ do cartão JCPDS no. 22-1012. Estes picos revelaram que os cristalitos da ferrita espinélica mostram os reflexos característicos da estrutura cristalina cúbica espinélio da ferrita pertencente ao grupo espacial polar Fd-3m, o que indica que a técnica hidrotérmica foi usada com sucesso para produzir nanopartículas cristalinas quase puras. Além disso, não foram detectadas fases de impurezas além da fase principal, revelando que o processo do método hidrotermal de micro-ondas permite a formação de uma fase única a temperatura reduzida e tempo de 32 min. Pequenas variações observadas no padrão DRX podem ser associadas a distorções na rede que possivelmente podem ser associadas à rápida formação cinética de pós de ferrita espinélica devido à influência da radiação de micro-ondas durante o processamento no microondas. O padrão de raios-X exibindo picos de difração nítidos e bem resolvidos prova que os produtos estão em boa cristalinidade.

Os tamanhos médios de cristalito foram calculados usando dados de DRX medindo o FWHM para o pico característico mais intenso (311) com a ajuda da fórmula de Scherer resultando num valor de 30,4 nm.

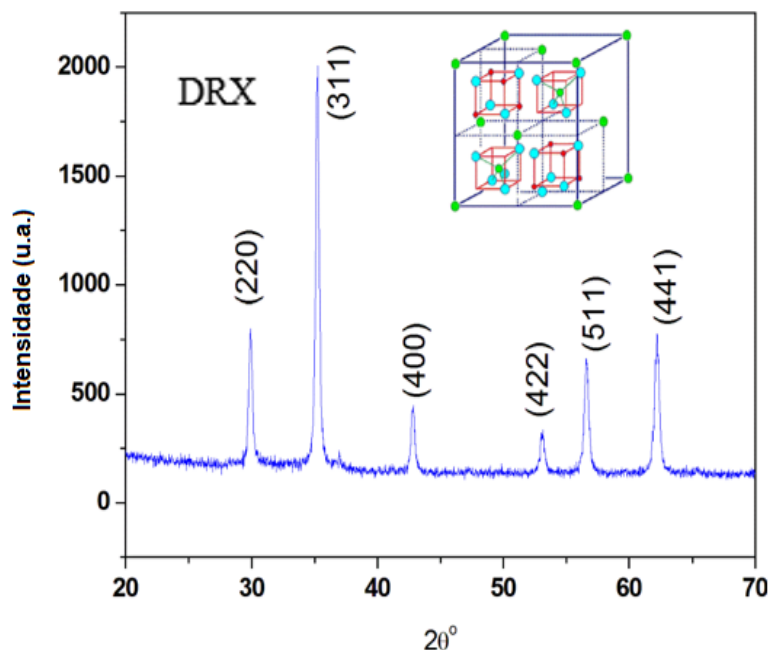


Figura 1: Padrão do DRX para pós de ZnFe₂O₄ sintetizadas a 140°C por 32 minutos usando o método hidrotermal assistido por micro-ondas. Inserido no gráfico o padrão da célula unitária para a estrutura espinélio invertido (em azul claro, átomos de oxigênio; em vermelho, sítio octaédricos dos átomos B e em verde claro, sítios tetraédricos dos átomos A – estrutura AB₂O₄).

O espalhamento Raman provou ser uma técnica valiosa para obter informações sobre estruturas locais dentro de materiais. Os espectros Raman da nanopartícula de ZnFe₂O₄ obtidos no reator hidrotermal são ilustrados no diagrama da Figura 2a, revelando uma fase espinélio com uma estrutura cúbica que pertence ao grupo espacial O_h⁷ (Fd-3m). Embora a célula unitária completa contenha 56 átomos (Z = 8), a menor célula de Bravais consiste apenas em 14 átomos (Z = 2): Como resultado, a análise do grupo de fatores prevê os seguintes modos no espinélio ZnFe₂O₄:

Existem cinco modos ativos Raman de primeira ordem (A_{1g} + E_g + 3F_{2g}), e todos esses modos foram observados em condições ambientais, como mostrado na figura 2a. Nos espinélios cúbicos incluindo ferritas, os modos acima de 600 cm⁻¹ correspondem principalmente ao movimento de oxigênio em grupos AO₄ tetraédricos, então o modo a 612 cm⁻¹ pode ser razoavelmente considerado como simetria A_{1g}. Os outros modos de baixa frequência representam as características da

$$A_{1g} (R) + E_g (R) + F_{1g} + 3F_{2g} (R) + 2A_{2u} + 2E_u + 4F_{1u} (IR) + 2F_{2u}$$

locais octaédricos (BO₆). Os três modos Raman de primeira ordem em 266, 536 e 846 cm⁻¹ exibem as características gerais. No entanto, a origem do alargamento desses modos de primeira ordem ainda não está clara. Supomos que a rápida organização estrutural do pó de ZnFe₂O₄ processado no microondas pode estar relacionada ao processo de aquecimento que ocorre do interior até a superfície. A energia de micro-ondas é transformada em calor através da interação entre moléculas e átomos com

o campo eletromagnético. Essa interação resulta em um aquecimento interno e volumétrico dos pós, o que promove a formação de gradientes de temperatura e fluxos de calor.

Os resultados do Raman estão de acordo com os dados de DRX; portanto, pequenas mudanças observadas nos espectros podem ser associadas ao método de preparação, tamanho médio do cristal e grau de ordem estrutural. O DRX dessa amostra exibe uma estrutura levemente invertida, o que implica que uma certa quantidade de desordem dos cátions Zn e Fe ocorre nos sítios tetraédrico e octaédrico. Assim, as vibrações relativas a esses dois tipos de cátions no mesmo local podem exibir dois modos Raman de primeira ordem separados. Se os dois modos tiverem frequências vibracionais muito próximas, um pico amplo sobreposto com seu valor médio deve ser observado. Neste espinélio de ZnFe_2O_4 levemente invertido, os íons Zn e Fe distribuem-se no mesmo local de cristal atômico, seja o tetraédrico ou octaédrico, e resultam em vibrações correspondentes com frequências diferentes. Como essas duas vibrações têm comprimentos de onda muito próximos, os três picos espectroscópicos Raman de primeira ordem foram observados neste espinélio de ZnFe_2O_4 (Figura 2a). Esta é uma interpretação plausível para os três modos Raman amplos de primeira ordem observados.

A Figura 2b mostra o espectro de infravermelho com transformada de Fourier dos pós cristalinos de ZnFe_2O_4 derivados da reação hidrotérmica. A banda larga em $3000\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$ é o resultado do alongamento antissimétrico e simétrico dos grupos de ligação H_2O e OH^{-1} , enquanto uma banda a 1630 cm^{-1} corresponde às vibrações de flexão de H_2O . Especificamente, picos de forte absorção a $400\text{--}600\text{ cm}^{-1}$ são atribuídos ao estiramento de Fe-O e vibração de flexão que é característica dos grupos FeO_6 octaédricos. A formação de uma estrutura tipo espinélio pode ser confirmada pela presença de banda de metal-oxigênio. Grupos residuais de água e hidroxí são geralmente detectados em amostras crescidas e tratamento térmico adicional é necessário para sua eliminação. É bem conhecido que a hidroxilação de íons metálicos e a desprotonação podem ser aceleradas aumentando a temperatura ou pressão da solução. No processamento de micro-ondas hidrotérmico, a radiação eletromagnética de alta frequência interage com o dipolo permanente do líquido (H_2O), que inicia rápido aquecimento da rotação molecular resultante e dipolos permanentes ou induzidos na fase dispersa, que causam aquecimento rápido das partículas resultando em temperatura de reação com excesso do superaquecimento localizado próximo a líquidos. Das duas bandas, a banda de alta frequência (ν_1) é atribuída à banda tetraédrica de ligação metal-oxigênio e segunda frequência (ν_2) à ligação metal-oxigênio octaédrica correspondente a: (1) em $600\text{--}550\text{ cm}^{-1}$ vibração de alongamento $\text{Me}_T\text{--O--Me}_O$ (2) em $450\text{--}385\text{ cm}^{-1}$, vibração de alongamento $\text{Me}_O\leftrightarrow\text{O}$ em que O é oxigênio, Me_O é metal no sítio octaédrico e Me_T no sítio tetraédrico. As bandas de absorção de metal-oxigênio (1) e (2) são pronunciadas para todas as estruturas de espinélio e essencialmente para as ferritas, que também são vistas nessas amostras. Características típicas da banda de traços de carbonatos

podem ser atribuídas à água adsorvida devido ao contato da amostra com o ambiente próximo a 1500 cm^{-1} .

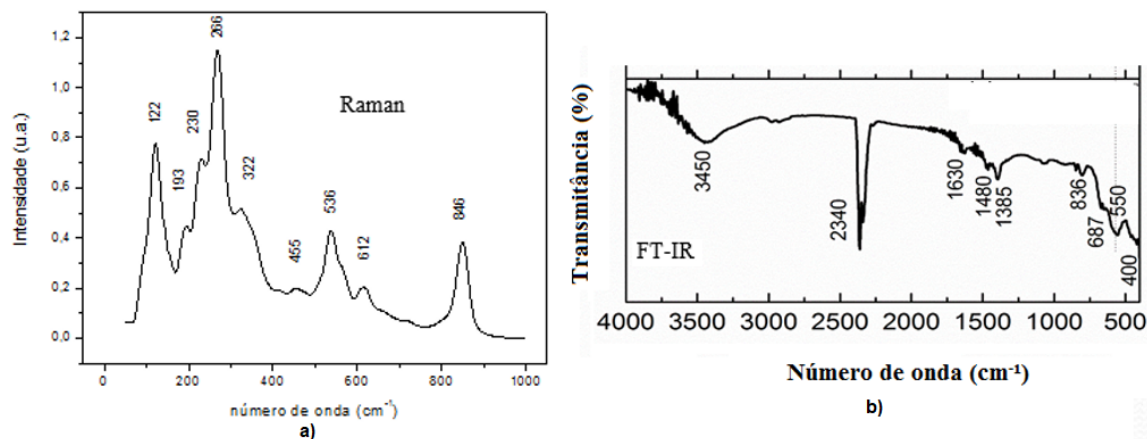


Figura 2: a) Espectro Raman de uma nanopartícula de ZnFe_2O_4 sintetizada a 140°C por 32 minutos usando o método hidrotermal assistido por micro-ondas. b) Mostra o espectro de FT-IR de uma nanopartícula de ZnFe_2O_4 sintetizada a 140°C por 32 minutos.

As imagens de FEG-SEM (análise por Microscópio Eletrônico de Varredura com Canhão de Emissão de Campo exibem (Figura 3) aglomerado de nanopartículas com formas quadradas. O pequeno tamanho das nanopartículas leva a uma alta aglomeração devido à sua alta energia superficial. É difícil determinar o tamanho exato da partícula porque a maioria delas são aglomeradas. No processo hidrotérmico, o processo de “dissolução e cristalização” pode ser utilizado para descrever a reação hidrotérmica. Durante o tratamento hidrotérmico, os hidróxidos de Zn^{2+} e Fe^{3+} foram dissolvidos e reagiram a altas temperaturas e pressões, e então precipitados como partículas de óxido de cerâmica insolúvel do fluido hidrotermal supersaturado. Se as condições de temperatura e pressão forem cuidadosamente mantidas durante o período de duração do experimento, não será observado a formação de cristais cúbicos de ferrita nem a formação de uma segunda fase. Portanto, o processo de dissolução e cristalização continuou no fluido supersaturado de tal forma que o sistema se auto-estabilizava.

Conjecturamos que a dissociação de zinco e hidróxido de ferro e a formação de complexos iônicos podem impedir o crescimento de cristalitos e limitar o tamanho das partículas à faixa nanométrica. O processo de aglomeração foi atribuído às forças de Van der Waals. Para reduzir a energia da superfície, as partículas primárias têm uma tendência a formar aglomerados quase esféricos, com uma relação mínima entre a superfície e o volume. Esse tipo de estrutura de grãos é comum em cerâmicas de óxido, ferrita e titanato, que é resultado de um crescimento de grãos anormal/descontínuo e também chamado de crescimento exagerado de grãos. Em um crescimento anormal, alguns grãos crescem mais rápido que outros grãos com o aumento da temperatura de sinterização. O crescimento anormal de grãos pode resultar de: (1) a existência de precipitações ou impurezas da segunda fase, (2) materiais com alta anisotropia na energia interfacial e (3) materiais com alto equilíbrio químico.

Em ZnFe_2O_4 hidrotêrmicamente derivado que cristaliza em uma estrutura cúbica, pode-se supor que o crescimento anormal de grãos vem do fator (1) e (3) devido à existência de estrutura de duas fases. Em temperaturas intermediárias, um maior grau de aglomeração foi observado, o que pode ser devido ao processo de nucleação favorecido em maior concentração de OH^- sem separação de partículas que é devido a uma baixa temperatura de reação. O processo de agregação aleatória entre as partículas pequenas pode estar relacionado a um aumento nas taxas de colisão entre pequenas partículas por radiação de micro-ondas que indica que a energia de micro-ondas favorece um crescimento anisotrópico causado pelas diferenças nas energias superficiais nas diferentes faces cristalográficas. Possivelmente, as imperfeições ou diferenças entre a altura e a largura dessas partículas podem estar associadas à influência da energia de micro-ondas durante o processo de crescimento de fase. Por estimativa aproximada e usando a fórmula de Scherrer, verificou-se que o tamanho de partícula individual era de aproximadamente 30 nm.

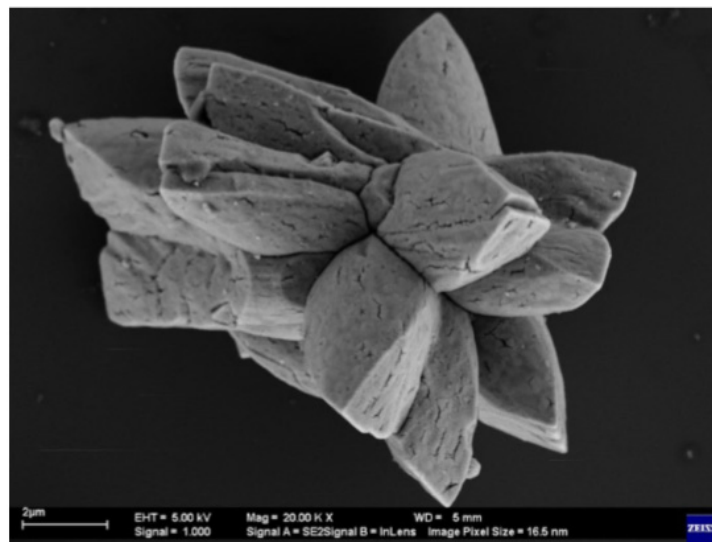


Figura 3: Imagens de FEG-SEM de partículas aglomeradas com ZnFe_2O_4 sintetizadas a 140°C por 32 minutos usando o método hidrotêrmico assistido por micro-ondas.

Uma borda do aglomerado mostrada no FEG-SEM foi selecionada e caracterizada por meio de MET de alta resolução e difração de elétrons de área selecionada. A partir da Fig. 4a, podemos ver que o diâmetro da maioria das partículas é de cerca de 10 a 25 nm, o que é próximo do tamanho médio de partícula estimado pelos padrões de DRX. Vale ressaltar que as partículas sintetizadas estão bem dispersas. De fato, como sabemos, os pós produzidos diretamente pelo método assistido por micro-ondas não podem impedir a agregação sem a ajuda do agente dispersor ou de qualquer tratamento térmico posterior. Em geral, no processo assistido por micro-ondas, as partículas menores geralmente têm maior energia superficial que as torna mais facilmente agregadas uma vez que o campo de micro-ondas é uma união de campo magnético e campo elétrico mudando sua direção a uma frequência de 2,45 GHz. A

figura 4b mostra a micrografia das partículas preparadas. Todos os círculos de difração pertencem à estrutura de espinélio, confirmando que o produto é ZnFe_2O_4 , o que é consistente com o resultado de DRX. Os círculos de difração compostos de muitos pontos brilhantes, sugerindo que as partículas são muito pequenas e com estrutura cristalina bem ordenada. O cristalino perfeito é induzido principalmente pelo efeito de aquecimento de alto volume de micro-ondas que faz com que os átomos, inclusive os que estão em ponte, estejam organizados em uma ordem.

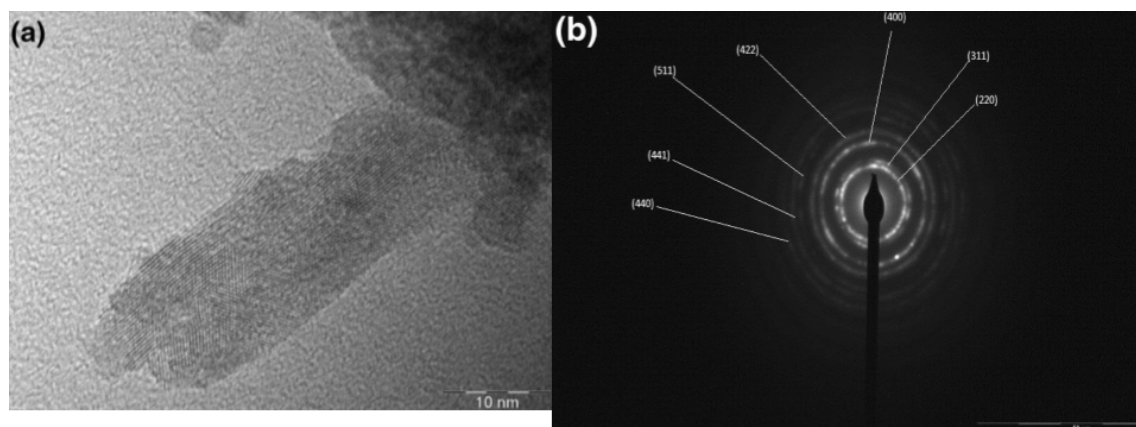


Figura 4: a) Imagem de HR-TEM (alta resolução-MET) da nanopartícula de ZnFe_2O_4 sintetizada a 140°C por 32 minutos usando o método hidrotermal assistido por micro-ondas e b) Imagem de difração de elétrons de área selecionada da nanopartícula de ZnFe_2O_4 sintetizada a 140°C por 32 minutos utilizando o método hidrotérmico assistido por micro-ondas.

O tamanho médio das partículas de diâmetro (Figura 5a) foi determinado em torno de 500 nm. Além disso, podemos observar aglomerados de partículas com um tamanho médio de partícula de 30 nm. A ferrita de espinélio sintetizada foi relativamente esférica com distribuição de tamanho uniforme. A porosidade da amostra foi testada pela isoterma de adsorção-dessorção de N_2 , mostrada na Figura 5b. A isoterma de adsorção revela pouca diferença na porosidade das partículas em função da morfologia heterogênea. De acordo com a IUPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada), as isotermas observadas são classificadas como tipo III, que é marcado por um grande volume de gás adsorvido a altas pressões relativas. Note-se que a isoterma de adsorção-dessorção envolve um pequeno volume de gás. Nenhum fenômeno de histerese é observado indicando que as partículas não são porosas ou têm poros cilíndricos fechados em uma extremidade.

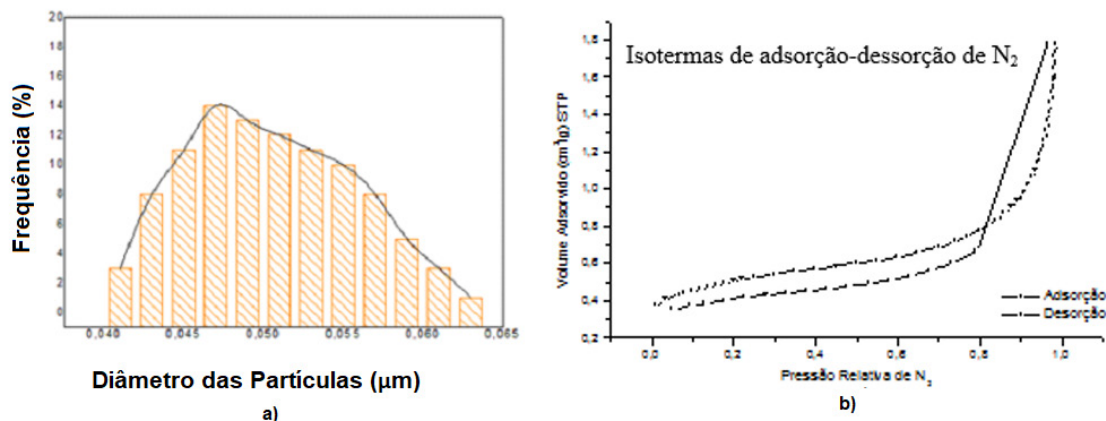


Figura 5: a) Distribuição granulométrica da nanopartícula de ZnFe_2O_4 sintetizada a 140°C por 32 minutos, utilizando o método hidrotérmico assistido por micro-ondas e b) Isotermas de adsorção-dessorção de N_2 para nanopartículas de ZnFe_2O_4 sintetizadas a 140°C por 32 minutos utilizando o método hidrotérmico assistido por micro-ondas.

A curva de histerese magnética foi obtida usando o VSM. A Figura 6 mostra os ciclos de histerese das nanopartículas de ZnFe_2O_4 registradas à temperatura ambiente. As coercitvidades das nanopartículas de ZnFe_2O_4 são quase desprezíveis e a magnetização remanescente (M_r) de 2,3 emu/g. Assim, os resultados indicam claramente o comportamento levemente ferromagnético das amostras preparadas devido à diminuição do tamanho das partículas abaixo de um valor crítico (menor que 50 nm). Com um campo magnético aplicado em torno de 3700 Oe, o valor observado de magnetização (M_s) é de 12,1 emu/g. O tamanho da natureza cristalina influencia as propriedades magnéticas das nanopartículas. O campo interno pode ser gerado devido à distribuição assimétrica das vagas de oxigênio. Este efeito induz o alinhamento de dipolos complexos e distribuição assimétrica de vacâncias de oxigênio, i.e. positivamente vacâncias de oxigênio ($\text{V}_{\text{O}^{\circ}}$) perto do eletrodo negativo que mantém os elétrons próximos ao eletrodo positivo. Os spins dos íons Fe^{3+} são alinhados antiferromagneticamente através de uma forte interação de *superexchange*, já que o ângulo $\text{Fe}^{3+}-\text{O}^{2-}-\text{Fe}^{3+}$ é 180° . Em ZnFe_2O_4 , os íons Fe^{3+} possuem um sítio octaédrico distorcido e a distorção provoca uma inclinação do octaedro a partir da direção do eixo-C. Neste estudo, a magnetização aumentou de forma não linear com o campo magnético aplicado, que é característico dos antiferromagnéticos. Esse comportamento descartou a presença de partículas paramagnéticas dominantes na amostra. A curva não linear é típica do tipo de variação ferri/ferromagnético onde a magnetização se aproxima lentamente da saturação. Geralmente, composto mostra a natureza paramagnética à temperatura ambiente devido à sua estrutura espinélica normal. No entanto, o acoplamento entre os cátions nos sítios octaédrico e tetraédrico pode dar origem à ocorrência de comportamento levemente ferromagnético

Nanoestruturas de ZnFe_2O_4 obtidas pelo método assistido por micro-ondas podem ser atribuídas à presença de nanocristais primários menores, que se agregam para gerar diferentes morfologias. Durante o tratamento hidrotérmico, se as condições de temperatura e pressão forem cuidadosamente mantidas durante a duração do

experimento, não será observado o ataque dos cristais de espinélio ou a formação de uma segunda fase, como previamente detectado por DRX. O processo de aglomeração foi atribuído às forças de Van der Waals. O processo de agregação aleatória entre as partículas pequenas pode ser relacionado a um aumento nas taxas de colisão entre pequenas partículas por radiação de micro-ondas que indica que a energia de micro-ondas favorece um crescimento anisotrópico causado pelas diferenças nas energias superficiais nas diferentes faces cristalográficas. Possivelmente, as imperfeições ou diferenças entre a altura e a largura dessas partículas podem estar associadas à influência da energia de micro-ondas durante o processo de crescimento de fase. Neste contexto, sugerimos que a relação $S = M_r/M_s$ poderia ser usada como um parâmetro funcional para avaliar o limite de tamanho de monodomínios dos materiais magnéticos em pó de tamanho nanométrico. É por isso que as nanopartículas obtidas podem ter múltiplos tamanhos de domínio e H_c , M_r , S diferirão de zero. Uma vez que o campo coercitivo difere de zero e a malha de histerese aberta é observada em combinação com alta magnetização, esperamos que a temperatura de transição ferromagnética esteja acima da temperatura ambiente. Portanto, pretendemos realizar um estudo profundo sobre as propriedades magnéticas da ferrita de zinco puro, em função da temperatura, frequência e outras propriedades físicas, com o objetivo de alcançar características razoáveis para aplicação em magnetohipertermia.

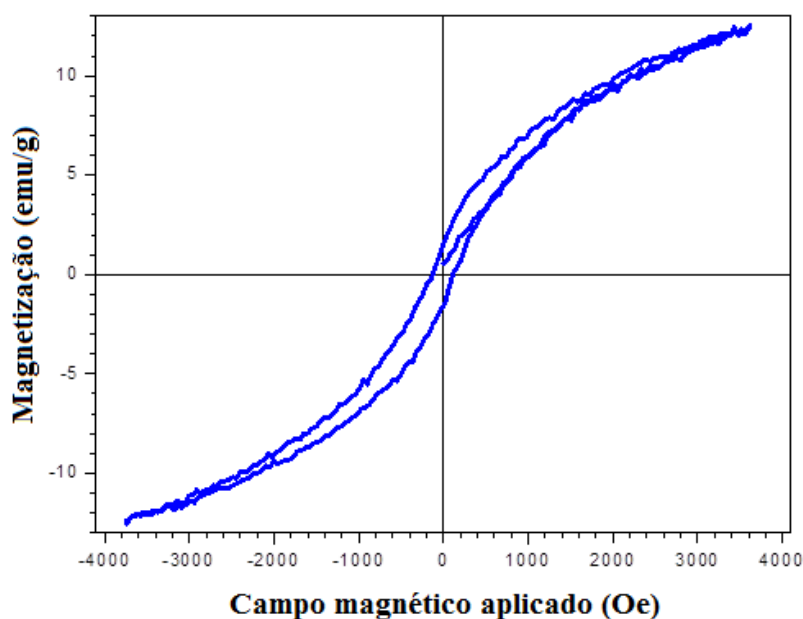


Figura 6: Curva M-H de nanopartículas de ZnFe₂O₄ sintetizadas a 140°C por 32 minutos, utilizando o método hidrotérmico assistido por micro-ondas.

4 | CONCLUSÕES

As nanopartículas de ZnFe₂O₄ levemente ferromagnéticas foram preparadas com sucesso pelo método hidrotérmico, sem o uso de qualquer surfactante. A análise por DRX em pó revelou a presença do ZnFe₂O₄ pertencente à estrutura espinélica

cúbica regular de face centrada. Imagens de FEG-SEM exibem um aglomerado de nanopartículas de ZnFe_2O_4 quadradas. As medidas de VSM confirmaram o comportamento levemente ferromagnéticas das amostras sintetizadas à temperatura ambiente e o efeito do tamanho dos cristalitos nas propriedades magnéticas. Assim, pode-se concluir que o método hidrotermal assistido por micro-ondas tem influência no tamanho das partículas e, conseqüentemente, nas propriedades magnéticas da ZnFe_2O_4 . A reação hidrotérmica para o crescimento de cristalitos de ZnFe_2O_4 é descrita pelo processo de dissolução-cristalização. Essas nanopartículas apresentam propriedades físicas interessantes, como valores adequados de saturação da magnetização, que possibilitam o uso adequado e possível na hipertermia. O método hidrotermal assistido por micro-ondas é importante não apenas para o uso de um curto tempo de tratamento e baixa temperatura, mas também para a possibilidade de controlar as propriedades morfológicas e estruturais. Portanto, esse método é inegavelmente uma técnica genuína para baixas temperaturas e tempos curtos em comparação com as metodologias anteriores.

REFERÊNCIAS

AZHARKHAN, M. **High frequency dielectric response and magnetic studies of $\text{Zn}_{1-x}\text{Tb}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ nanocrystalline ferrites synthesized via micro-emulsion technique.** J. Magn. Magn. Mater. 360, 2014, 188–192 p.

AGRAWAL, D. K. **Microwave processing of ceramics.** Curr. Opin. Solid State Mater.Sci., 3, 1998, 480-486 p.

BEDANTA, S.; KLEEMANN, W. **Superparamagnetism.** Journal of Physics D: Applied Physics 1, 42, 2008, 013001 p.

CASTRO, VINÍCIUS F; CELESTINO, JULIANA; QUEIROZ, ALVARO A. A.; GARCIA, FILIBERTO G. **Propriedades magnéticas e biocompatíveis de nanocompósitos para utilização em magneto-hipertermia.** Revista Brasileira de Física Médica 4, 1, 2010, 79-82 p.

DJULBEGOVIĆ, B.; LIVINGSTONE C. **Decision-Making in Oncology. Evidence-Based Management.** 1st edition, 1997.

FU, Y. S.; WANG, X. **Magnetically separable ZnFe_2O_4 -graphene catalyst and its high photocatalytic performance under visible light irradiation.** Ind.Eng. Chem. Res. 50, 2011, 7210–7218 p.

GABBASOVA, Z.V.; KUZ'MIN, M. D.; ZVEZDIN, A. K.; DUBENKO, I. S.; MURASHOV, V.A.; RAKOV, D. N.; KRYNETSKY, I. B. **$\text{Bi}_{1-x}\text{R}_x\text{FeO}_3$ (R = Rare earth): a family of novel magnetoelectrics.** Phys. Lett. A. 158, 1991, 491-498 p.

GENG, J.; LV, Y.; LU, D.; ZHU, J.-J. **Sonochemical synthesis of PbWO_4 crystals with dendritic, flowery and star-like structures.** Nanotechnology, 17, 2006, 2614-2620 p.

GODINHO, M.; RIBEIRO, C.; LONGO, E.; LEITE, E. R. **Influence of microwave heating on the growth of gadolinium-doped cerium oxide nanorods.** Cryst. Growth Des. 8, 2008, 384-386 p.

GOMES, J.A; AZEVEDO, G. M; DEPEYROT, J; MESTNIK-FILHO, J; SILVA, G. J. DA; TOURINHO, F.

- A; PERZYNSKI, R. **ZnFe₂O₄ nanoparticles for ferrofluids: A combined XANES and XRD study**, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 323, 2011, 1203 p.
- HOSNI, B. **Structure and electro chemical hydrogen storage properties of Ti₂Ni alloy synthesized by ball-milling**. J. Alloy. Compd. 615, 2014, 119–125 p.
- HOUSE, S. D. **Effect of ball-milling duration and dehydrogenation on the morphology, microstructure and catalyst dispersion in Ni-catalyzed MgH₂ hydrogen storage materials**. ActaMater. 86, 2015, 55–68 p.
- HURD, C. M. **Varieties of magnetic order in solids**. Journal Contemporary Physics 5, 23, 1982, 469-493 p.
- IM, JONG M.; YOU, HYUN J.; YOON, YONG S.; SHIN, DONG W. **Synthesis of nano-crystalline Gd_{0.1}Ce_{0.9}O_{2-x} for IT-SOFC by aerosol flame deposition**. 2007.
- INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. **Estimativa 2014: incidência de câncer no Brasil**. Coordenação-Geral de Prevenção e Vigilância. Rio de Janeiro: INCA, 2014.
- KANG, S.-J.L. **Sintering Densification, Grain Growth & Microstructure**. Elsevier, Oxford, 2005, 265 p.
- KLAHR, S. **Oxygen radicals and renal diseases**. Miner Electrolyte Metab. 3, 23, 1997, 40-3 p.
- KHOLLAM, Y. B.; DESHPANDE, A. S.; PATIL, A. J.; POTDAR, H. S.; DESHPANDE, S. B.; DATE, S. **Microwave-hydrothermal synthesis of equi-axed and submicron-sized BaTiO₃ powders**. Mater. Chem. Phys. 71, 2001, 304-308 p.
- LAOKUL, P. **Characterization and magnetic properties of nanocrystalline CuFe₂O₄, NiFe₂O₄, ZnFe₂O₄ powders prepared by the Aloe vera extract solution**. Curr. Appl. Phys. 11, 2011, 101–108 p.
- LAZAREVIĆ, Z. Ž.; JOVALEKIĆ, Č.; IVANOVSKI, V. N.; et al. **Characterization of partially inverse spinel ZnFe₂O₄ with high saturation magnetization synthesized via soft mechanochemically assisted route**. Journal of Physics and Chemistry of Solids 75, 2014, 869-877 p.
- LEE, D.; KIM, M. G.; RYU, S.; JANG, H. M.; LEE, S. G. **Epitaxially grown La-modified BiFeO₃ magnetoferroelectric thin films**. Appl. Phys. Lett., 86, 2005, 222903-222905 p.
- LEMINE, O. M. **Synthesis, structural, magnetic and optical properties of nano-crystalline ZnFe₂O₄**. Phys. B: Condens. Matter. 406, 2011, 1989–1994 p.
- LI, J., et al., **Influence of Mn and Nb dopants on electric properties of chemical-solution-deposited BiFeO₃ films**. Appl. Phys. Lett., 84, 2004, 5261-5263 p.
- MARINCA, T. **Structural and magnetic properties of nanocrystalline ZnFe₂O₄ powder synthesized by reactive ball milling**. Optoelectronics and Advanced Materials-rapid Communications 5, 1, 2011, 149-152 p.
- MORNET, S. VASSEUR, S.; GRASSET, F.; DUGUET, E.; **“Magnetic nanoparticle design for medical diagnosis and therapy**. J. Mater. Chem. 14, 2004, 2161–2175 p.
- O’NEILL, H. S. C. **Temperature dependence of the cation distribution in zinc ferrite (ZnFe₂O₄) from powder XRD structural refinements**. Eur. J. Mineral 4, 1992, 571–580 p.

OVERGAARD, J.; OVERGAARD M. Hyperthermia as an adjuvant to radiotherapy in the treatment of malignant melanoma. *Int. J. Hyperthermia* 3, 1987, 483-501 p.

PASSOS, E. D. **Síntese e Caracterização de Microesferas Magnéticas para Utilização em Hipertermia**. Dissertação (Mestrado em Materiais) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2006.

PANKHURST, Q.A.; CONNOLY, J.; JONES, S.K.; DOBSON, J. **Applications of magnetic nanoparticles in biomedicine**. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 36, 2003, 167-181 p.

PRADEEP A.; PRIYADHARSINI P.; CHANDRASEKARAN G. **Structural, magnetic and electrical properties of nanocrystalline zinc ferrite**. *J. Alloy. Compd.* 509, 2011, 3917–3923 p.

RAHMAN, M. M. **Highly sensitive formaldehyde chemical sensor based on hydrothermally prepared spinel ZnFe₂O₄ nanorods**. *Sens. Actuators B: Chem.* 171, 2012, 932–937 p.

RAHUL, M.; THANKACHAN. **Enhanced lithium storage in ZnFe₂O₄-C nanocomposite produced by low-energy ball-milling**. *J. Power Sources* 282, 2015, 462–470 p.

RAMESHBABU, R.; RAMESH, R.; KANAGESAN, S.; KARTHIGEYAN, A.; PONNUSAMY, S. **Synthesis and study of structural, morphological and magnetic properties of ZnFe₂O₄ nanoparticles**. *J. Supercond. Nov. Magn.*, 27, 2014, 1499-1502 p.

SANTILLI, C.V.; PULCINELLI, S.H. **Análise da textura de materiais cerâmicos a partir das isotermas de adsorção de gases**. *Cerâmica* 39, 259, 1993, 11-16 p.

SHI, E.; XIA, C. T.; ZHONG, W. Z.; WANG, B. G.; FENG, C. D. **Crystallographic properties of hydrothermal barium titanate crystallites**. *J. Am. Ceram. Soc.* 80, 1997, 1567-1572 p.

SHUBIK, P. **Vascularization of tumors: a review**. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology* 3, 103, 26, 1982, 2111 p.

SIMÕES, A. Z.; AGUIAR, E. C.; GONZALEZ, A. H. M.; ANDRÉS, J.; LONGO, E.; VARELA, J. A. **Strain behavior of lanthanum modified BiFeO₃ thin films prepared via soft chemical method**. *J. Appl. Phys.*, 104, 2008, 104115-1-104115-6 p.

SIMÕES, A. Z.; CAVALCANTE, L. S.; RICCARDI, C. S.; VARELA, J. A.; LONGO, E. **Improvement of fatigue resistance on La modified BiFeO₃ thin films**. *Current Applied Physics*, 9, 2009, 520–523 p.

SIMÕES, A. Z.; STOJANOVIC, B. D.; RAMIREZ, M. A.; CAVALHEIRO, A.A.; LONGO, E.; VARELA, J.A. **Lanthanum-doped Bi₄Ti₃O₁₂ prepared by the soft chemical method: Rietveld analysis and piezoelectric properties**. *Ceramics International* 34, 2008, 257-261 p.

SIMÕES, A. Z.; GONZALEZ, A. H. M.; AGUIAR, E. C.; RICCARDI, C. S.; LONGO, E.; VARELA, J. A. **Piezoelectric behavior of SrRuO₃ buffered lanthanum modified bismuth ferrite thin films grown by chemical method**. *Appl. Phys. Lett.* 93, 2008, 142902-142904 p.

SIMÕES, A. Z.; RAMÍREZ, M. A.; RICCARDI, C. S.; LONGO, E.; VARELA, J. A. **Ferroelectric characteristics of SrBi₄Ti₄O₁₅ thin films grown on Pt/Ti/SiO₂/Si substrates by the soft chemical method**. *Mater. Lett.* 60, 2006, 2020-2023 p.

SIMÕES, A. Z.; RAMÍREZ, M. A.; RICCARDI, C. S.; GONZALEZ, A. H. M.; LONGO, E.; VARELA, J. A. **Synthesis and electrical characterization of CaBi₂Nb₂O₉ thin films deposited on Pt/Ti/SiO₂/Si substrates by polymeric precursor method**. *Mater. Chem. Phys.* 98, 2006, 203-206 p.

SIMÕES, A. Z.; RAMÍREZ, M. A.; GONZALEZ, A. H. M.; RICCARDI, C. S.; RIES, A.; LONGO, E.;

- VARELA, J. A. **Control of retention and fatigue-free characteristics in $\text{CaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ thin films prepared by chemical method.** J. Sol. State Chem. 179, 2006, 2206-2211 p.
- SIMÕES, A. Z.; RICCARDI, C. S.; CAVALCANTE, L. S.; VARELA, J. A.; LONGO, E. **Size effects of polycrystalline lanthanum modified $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ thin films.** Materials Research Bulletin, 43, 2008, 158-167 p.
- SWAMY, P. M. P.; BASAVARAJA, S.; LAGASHETTY, A.; SRINIVAS RAO, N.V.; NIJAGUNAPPA, R.; VENKATARAMAN, A. **Synthesis and characterization of zinc ferrite nanoparticles obtained by self-propagating low-temperature combustion method.** Bull. Mater. Sci., 7, 34, 2011, 1325–1330 p.
- TANGCHAROEN, T.; RUANGPHANIT, A.; PECHARAPAA, W. **Structural and magnetic properties of nanocrystalline zinc-doped metal ferrites (metal=Ni; Mn; Cu) prepared by sol-gel combustion method.** Ceramics International 39, 2013, 239-243 p.
- URBANOWICZ, P.; TOMASZEWICZ, E.; GRON, T.; et al. **Superparamagnetic-like behavior and spin-orbit coupling in $(\text{Co,Zn})\text{RE}_4\text{W}_3\text{O}_{16}$ tungstates (RE = Nd, Sm, Eu, Gd, Dy and Ho).** Journal of Physics and Chemistry of Solids 72, 2011, 891-898 p.
- VARSHNEY, D.; VERMA K.; KUMAR, A. **Structural and vibrational properties of $\text{Zn}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ (x = 0.0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0) mixed ferrites.** Mater. Chem. Phys. 131, 2011, 413–419 p.
- VENKATESAN, M.C.B.; FITZGERALD; COEY, J.M.D. **Thin films: unexpected magnetism in a dielectric oxide.** Nature 7000, 2004, 630-630 p.
- VINOSHA, P. A.; MELY, L. A.; JERONSIA, J. E.; et al. **Synthesis and properties of spinel ZnFe_2O_4 nanoparticles by facile co-precipitation route.** Optik 134, 2017, 99-108 p.
- WANG, Z.W.; LAZOR, P.; SAXENA, S.K.; ARTIOLI, G. **High pressure Raman spectroscopic study of spinel (ZnCr_2O_4).** J. Solid State Chem. 165, 2002, 165–170 p.
- WANG, H.; ZHU, J. J.; ZHU, J. M.; LIAO, X. H.; XU, S.; DING, T. **Fabrication of porous metal oxides for catalytic applications using templating techniques.** Phys. Chem. 4, 2002, 3794-3799 p.
- WEINBERG, R.A. **The Biology of Cancer CL.** Garland Science, 2006.
- WILSON, G. J. ; MATIJASEVICH, A. S. ; MITCHELL, D. R. G. ; SCHULZ, J. C. ; WILL, G. D. **Modification of TiO_2 for Enhanced Surface Properties: Finite Ostwald Ripening by a Microwave Hydrothermal Process.** Langmuir. 22, 2006, 2016-2027 p.
- YOO, J. **The effects of microstructure on $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ pyroelectric materials for pyroelectric and bolometer infrared sensors.** Ph.D. Thesis, University of Auckland, 1999.
- ZALESSKII, A. V.; FROLOV, A. A.; KHIMICH, T. A.; BUSH, A. A. **Composition-Induced Transition of Spin-Modulated Structure into a Uniform Antiferromagnetic State in a $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{FeO}_3$ System Studied Using ^{57}Fe NMR.** Phys. Solid State. 45, 2003, 134-138 p.
- ZHANG, H.; FU, X.; NIU, S.; XIN, Q. **Synthesis and Luminescent Properties of Nanosized YVO_4 : Ln (Ln=Sm, Dy).** J. Alloys Compd., 457, 2008, 61–65 p.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Jorge González Aguilera: Engenheiro Agrônomo (Instituto Superior de Ciências Agrícolas de Bayamo (ISCA-B) hoje Universidad de Granma (UG)), Especialista em Biotecnologia pela Universidad de Oriente (UO), CUBA (2002), Mestre em Fitotecnia (UFV/2007) e Doutorado em Genética e Melhoramento (UFV/2011). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) no Campus Chapadão do Sul. Têm experiência na área de melhoramento de plantas e aplicação de campos magnéticos na agricultura, com especialização em Biotecnologia Vegetal, atuando principalmente nos seguintes temas: pre-melhoramento, fitotecnia e cultivo de hortaliças, estudo de fontes de resistência para estres abiótico e biótico, marcadores moleculares, associação de características e adaptação e obtenção de vitroplantas. Tem experiência na multiplicação “on farm” de insumos biológicos (fungos em suporte sólido; Trichoderma, Beauveria e Metharrizum, assim como bactérias em suporte líquido) para o controle de doenças e insetos nas lavouras, principalmente de soja, milho e feijão. E-mail para contato: jorge.aguilera@ufms.br

Alan Mario Zuffo: Engenheiro Agrônomo (Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT/2010), Mestre em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal do Piauí – UFPI/2013), Doutor em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal de Lavras – UFLA/2016). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS no Campus Chapadão do Sul. Tem experiência na área de Agronomia – Agricultura, com ênfase em fisiologia das plantas cultivadas e manejo da fertilidade do solo, atuando principalmente nas culturas de soja, milho, feijão, arroz, milheto, sorgo, plantas de cobertura e integração lavoura pecuária. E-mail para contato: alan_zuffo@hotmail.com

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-475-7

