

# SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE FERRITAS DE COBALTO NANOESTRUTURADAS

Leonardo Henrique da Rocha

Relatório de Iniciação Científica do programa PIBIC, orientado pelos Drs. Sergio Luiz Mineiro e Plínio Ivo Gama Tenório.

URL do documento original:

. . . .

## SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE FERRITAS DE COBALTO NANOESTRUTURADAS

Leonardo Henrique da Rocha

Relatório de Iniciação Científica do programa

PIBIC, orientado pelos Drs. Sergio Luiz Mineiro e Plínio Ivo Gama Tenório.

URL do documento original:

••••

### RESUMO

Os óxidos de ferro são materiais magnéticos de extrema importância, especialmente em altas frequências. Suas propriedades magnéticas excepcionais derivam das interações de troca entre seus elétrons, permitindo a formação de dipolos permanentes e consequente magnetização espontânea. Entre as ferritas, as espinélio se destacam por suas notáveis propriedades físicas, incluindo propriedades dielétricas e magnéticas notáveis, além de alta estabilidade química. Neste trabalho foram realizadas sintetizes de co-precipitação da ferrita de cobalto nanoestruturadas com objetivo de estudar a correlação de suas propriedades estruturais e magnéticas, visando aplicações em dispositivos que operam em altas faixas de frequência (GHz). Para isso, foram feitas sínteses com o pH do agente precipitante igual a 12 e 14, e processos de calcinação com temperaturas de 400, 600 e 800 °C durante 4 h. Os óxidos obtidos tiveram suas propriedades caraterizadas pelas técnicas de microscopia, difração de raios-x e histerese magnética. Os dados obtidos a partir do refinamento Rietveld mostram que as sínteses resultaram em tamanhos de partícula, domínios cristalinos e parâmetros de rede distintos. Em geral, a temperatura de 600 °C estabilizou os parâmetros de rede, enquanto, o pH causou uma limitação no tamanho do domínio cristalino. As alterações relacionadas a mudança no pH podem ter gerado a um déficit de O2 nas ferritas sintetizadas com pH menor, como a valência e a posição que os cátions ocupam na rede cristalina são responsáveis pela formação dos momentos magnéticos, esse déficit pode ser relacionado com os diferentes resultados de magnetização e coercividade obtidos. Por fim, foi verificado que a temperatura de calcinação teve influência direta no tamanho do domínio.

Palavras-chave: Ferritas de cobalto, Refinamento Rietveld, histerese magnética.

## Lista de Figuras

Figura 1 Estrutura espinélio inversa da ferrita de cobalto	3
Figura 2 Curva de Magnetização e Histerese magnética, com pontos fundamentais	6
Figura 3 Esquema da reação de co-precipitação realizada	7
Figura 4 Padrão de difração	9
Figura 5 Refinamento Rietveld na amostra pH 12 400 °C	11
Figura 6 Refinamento Rietveld na amostra pH 12 600 °C	11
Figura 7 Refinamento Rietveld na amostra pH 12 800 °C	12
Figura 8 Refinamento Rietveld na amostra pH 14 400 °C	12
Figura 9 Refinamento Rietveld na amostra pH 14 600 °C	13
Figura 10 Refinamento Rietveld na amostra pH 14 800 °C	13
Figura 11 Parâmetro de rede da célula cúbica em função da temperatura de calcinação das	
amostras	14
Figura 12 Domínio cristalino em relação com a temperatura de calcinação	15
Figura 13 Loop de histerese para as amostras calcinadas com 400 °C.	16
Figura 14 Loop de histerese para as amostras calcinadas com 600 °C.	16
Figura 15 Loop de histerese para as amostras calcinadas com 800 °C.	17

## Sumário

1	Intro	oduçã	ăo	1
	1.1	Obje	etivo Especifico	2
2	Fund	dame	entação Teórica	3
	2.1	Ferr	ita de Cobalto	3
	2.2	Тіро	os de síntese para obtenção da ferrita de cobalto	4
	2.3	Difra	ação por raio-X	5
	2.4	Refi	namento pelo método Ritveld	5
	2.5	VSIV	1 e Histerese Magnética	5
3	Mat	eriais	s e métodos	7
	3.1	Sínte	ese	7
	3.2	Cara	acterizações	3
	3.2.3	1	Morfologia	3
	3.2.2	2	Fases Cristalinas	3
	3.2.3	3	Magnetização	3
4	Resu	ultado	OS	Э
	4.1	Pad	rão de Difração	Э
	4.2	Refi	namento Rietveld12	1
	4.3	Parâ	àmetro de rede14	4
	4.4	Dom	nínio cristalino1	5
	4.5	Hist	erese Magnética16	5
5	Con	clusã	o18	3
6	Refe	erênc	ias bibliográficas19	Э

#### 1 Introdução

Materiais absorvedores de radiação eletromagnética (MARE) são cruciais para a proteção de equipamentos e sistemas contra interferências eletromagnéticas, garantindo o bom funcionamento de satélites, radares e outros dispositivos. A capacidade de absorver radiação eletromagnética está diretamente relacionada à mecanismos de polarização dos dipolos e inversão de momentos magnéticos do material (AMARAL Jr., 2018). Nanomateriais magnéticos, como a ferrita de cobalto, são especialmente interessantes para a aplicação em MAREs devido a maior eficiência no alinhamento dos momentos magnéticos individuais das nanopartículas, resultando em uma maior absorção de radiação eletromagnética (AHMAD, 2022).

As nanopartículas de óxido de ferro e cobalto (CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) podem ser sintetizadas com diferentes tamanhos e formas, o que permite ajustar suas propriedades de absorção. Além disso, esse composto possui outras propriedades atrativas, como: alta magnetização de saturação; anisotropia magnética; baixas perdas por histerese (AHMAD, 2022).

Este trabalho tem como objetivo realizar a síntese e caracterização de ferritas de cobalto nanoestruturadas e avaliação de suas propriedades estruturais, morfológicas e magnética. Para isso, foi utilizada a síntese de co-precipitação, este método envolve a precipitação simultânea de íons de ferro e cobalto a partir de uma solução aquosa. A avaliação da propriedade estrutural foi feita através do refinamento Rietveld dos dados da difração de raios-X. Enquanto as propriedades magnéticas foram avaliadas através da obtenção de curvas de histerese magnética.

A histerese é um fenômeno que ocorre em materiais ferromagnéticos, como a ferrita de cobalto. Quando um campo magnético externo é aplicado a um material ferromagnético, sua magnetização aumenta até atingir um valor de saturação. Quando o campo magnético externo é removido, a magnetização não retorna imediatamente a zero, mas permanece em um valor residual. A histerese é uma medida da capacidade do material de "lembrar" sua magnetização anterior. A curva de histerese da ferrita de cobalto é caracterizada por uma alta coercitividade, o que significa que é necessário um campo magnético externo

relativamente forte para desmagnetizar o material. Essa propriedade é importante para aplicações como armazenamento de dados magnéticos (WIKIPEDIA, 2024).

#### 1.1 Objetivo Especifico

Os objetivos deste trabalho estão divididos nas seguintes etapas:

- a investigação das propriedades morfológicas e estruturais das composições preparadas;
- 2. a investigação das propriedades magnéticas das amostras;
- o estudo da correlação entre os parâmetros de síntese e calcinação e as propriedades magnéticas do material.

#### 2 Fundamentação Teórica

#### 2.1 Ferrita de Cobalto

A ferrita de cobalto é um material magnético com estrutura de espinélio. A estrutura do espinélio é caracterizada por um retículo cúbico de face centrada (CFC) formado por ânions de oxigênio ( $O^{2-}$ ), com os cátions metálicos ocupando posições tetraédricas e octaédricas. Em sua estrutura, a ferrita de cobalto possui 96 posições atômicas. Os cátions de cobalto ( $Co^{2+}$ ) e ferro ( $Fe^{3+}$ ), ocupam 8 de 64 espaços tetraédricos e 16 de 32 espaços octaédricos. Essa distribuição dos cátions influencia diretamente as propriedades magnéticas da ferrita de cobalto (Figura 1) (AHMAD, 2022).



Figura 1 Estrutura espinélio inversa da ferrita de cobalto

Fonte: Adaptado de (AHMAD, 2022).

Em geral, os momentos magnéticos podem se alinhar de forma paralela ou antiparalela, resultando em uma magnetização espontânea diferente de zero. Nas ferritas, o acoplamento spin-órbita forte leva a uma interação complexa entre os momentos magnéticos, resultando em uma aniquilação parcial dos momentos magnéticos nos sítios octaédricos e tetraédricos. Essa aniquilação parcial é responsável pelas propriedades

magnéticas únicas das ferritas, como a alta permeabilidade magnética e a baixa perda de energia. A tabela abaixo mostra resumidamente essa aniquilação dos momentos magnéticos (Tabela 1) (GANAPATHE et al., 2020).

Tabela 1 Momento magnético dos spins do óxido de ferro ABO4

Cátion	Espaço octaédrico	Espaço tetraédrico	Momento magnético
Fe <sup>3+</sup>	tttt	1111	Aniquilação
	tttt	1111	completa
M <sup>2+</sup>	1111	-	tttt
	tttt		tttt

Fonte: Adaptado de (GANAPATHE et al., 2020).

#### 2.2 Tipos de síntese para obtenção da ferrita de cobalto

A ferrita de cobalto pode ser obtida por diversas sínteses, como co-precipitação, sol-gel, reação no estado sólido, hidrotermal, entre outras. A co-precipitação se destaca por oferecer algumas vantagens:

 i) Controle de tamanho e morfologia: A co-precipitação permite controlar o tamanho e a morfologia das partículas de ferrita ajustando os parâmetros de reação, como a concentração dos reagentes, a temperatura e o tempo de reação.

ii) Homogeneidade: A co-precipitação geralmente resulta em ferritas com alta homogeneidade química e estrutural.

iii) Custo-efetividade: A co-precipitação é um método relativamente barato e simples, o que a torna uma opção atraente para a produção em larga escala.

Os principais parâmetros da síntese via co-precipitação são:

i) Tempo de reação;

ii) Temperatura;

iii) pH.

#### 2.3 Difração por raio-X

A difratometria de raio-X, conhecido como DRX, é uma ferramenta poderosa para analisar a estrutura cristalina de materiais. Ele funciona através da interação de raios-X com a amostra, que é então analisada para determinar a estrutura cristalina. O processo começa com a emissão de um feixe de raios-X, que é direcionado para a amostra. Os raios-X interagem com os átomos da amostra, sendo difratados em diferentes ângulos de acordo com a distância entre os átomos. Essa difração ocorre porque os átomos da amostra estão dispostos em uma estrutura cristalina específica. O padrão de difração resultante é então detectado por um detector, que gera um gráfico chamado difratograma. O difratograma mostra a intensidade dos raios-X difratados em função do ângulo de difração. A análise do difratograma permite identificar as diferentes fases cristalinas presentes na amostra, determinar o tamanho dos cristais, a estrutura cristalina e a orientação dos cristais. O DRX é uma técnica versátil e amplamente utilizada em diversas áreas, como ciência dos materiais, química, física, biologia e medicina (CULLITY, 2001).

#### 2.4 Refinamento pelo método Ritveld

O método de Rietveld é uma técnica poderosa para análise quantitativa de fases minerais, utilizando a difração de raios X. Ele é usado para determinar a estrutura cristalina de um material, a composição química e a quantidade de cada fase presente. O método funciona ajustando um modelo teórico do padrão de difração de raios X para coincidir com o padrão experimental. Esse modelo é baseado na estrutura cristalina do material, na composição química e na quantidade de cada fase presente. O ajuste é feito variando os parâmetros do modelo, como a posição dos picos, a largura dos picos e a intensidade dos picos (CULLITY, 2001).

#### 2.5 VSM e Histerese Magnética

O VSM (Magnetômetro de amostra vibrante) é usado para analisar as propriedades magnéticas. Ele funciona medindo a magnetização da amostra enquanto ela é submetida a um campo magnético externo variável. A curva de histerese magnética (Figura 2) obtida através do VSM fornece informações importantes sobre o comportamento magnético do material, como a magnetização de saturação, a coercitividade e a susceptibilidade magnética (SILVA et al., 2013).

Figura 2 Curva de Magnetização e Histerese magnética, com pontos fundamentais



Fonte: SILVA et al., 2013.

#### 3 Materiais e métodos

#### 3.1 Síntese

Os sais foram dissolvidos em relação estequiométrica (equação 1) em 25 ml de água DI  $Fe_2(SO_4)_3.5H_2O$  e  $Co(SO_4).7H_2O$ , em outro balão de 250 ml de água DI, o NaOH foi dissolvido, os sais foram colocados sob agitação magnética e a solução foi aquecida na temperatura de 70 °C, posteriormente foi feito o gotejamento do agente precipitante (NaOH) a fim de controlar o tempo da reação, o gotejamento de 20 a 25 minutos. Foram feitas sínteses utilizando soluções de NaOH com valores de pH de 12 e 14. Após a reação os produtos serão lavados até que o pH da solução seja neutralizado.

$$Fe_2(SO_4)_3 + Co(SO_4) + 8NaOH \rightarrow Co(OH)_2 + Fe(OH)_3 + 4Na_2SO_4$$
(Equação 1)



Figura 3 Esquema da reação de co-precipitação realizada.

Foram feitas lavagens para retirar o NaSO<sub>4</sub> usando uma centrífuga, a secagem em estufa durante o tempo mínimo de 24 h na temperatura de 70 °C. Após secagem, os precipitados serão calcinados em atmosfera ambiente (ar) variando a temperatura de calcinação em, 400 °C, 600 °C e 800 °C. A Tabela 2 apresenta as amostras produzidas e o nome de cada uma delas.

Fonte: Tenório, 2023.

Temperatura d	a pH do agente precipitante	Temperatura de	Nome da amostra
Síntese (°C)		Calcinação (°C)	
		400	рН 12 – 400 °С
	12	600	рН 12 – 600 °С
70		800	рН 12 – 800 °С
10		400	рН 14 – 400 °С
	14	600	рН 14 – 600 °С
		800	рН 14 – 800 °С

	Tabela 2 –	Parâmetros	de	obtenção	e nomes	das	amostras.
--	------------	------------	----	----------	---------	-----	-----------

Fonte: Autor

#### 3.2 Caracterizações

#### 3.2.1 Morfologia

Para determinar a morfologia e o tamanho das partículas utilizada microscopia eletrônica de varredura. O microscópio eletrônico de alta resolução (FEG-MEV) da marca TESCAN modelo MIRA3.

#### 3.2.2 Fases Cristalinas

As fases cristalinas pós síntese e calcinação serão analisadas por difratometria de raios X (DRX), com refinamento pelo método de Rietveld. O objetivo é correlacionar as propriedades estruturais com as magnéticas de um material monofásico (CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), sendo assim, análises preliminares serão feitas com o difratômetro de raios X Rigaku, modelo Última IV, do Instituto de Ciência e Tecnologia da UNIFESP. O equipamento utiliza radiação de Cu K $\alpha$  ( $\lambda$ =1,5418 Å), corrente de 30 mA e voltagem de 40 kV.

#### 3.2.3 Magnetização

As medidas magnéticas serão feitas utilizando um magnetômetro de amostra vibrante (VSM), modelo Nuvo, da marca Molspin, em temperatura ambiente com campo magnético de até 1 T.

#### 4 Resultados

#### 4.1 Padrão de Difração



Figura 4 Padrão de difração

#### Fonte: Do autor

Nas amostras calcinadas a 600 graus Celsius, um novo padrão de difração emergiu indicados por (\*), apontando a presença de uma segunda fase cristalina. É possível que essa segunda fase também esteja presente nas amostras calcinadas a 400 graus Celsius, porém o padrão de difração obtido nessa temperatura apresentou alto nível de ruído, dificultando a identificação precisa dessa fase.

A análise detalhada dos padrões de difração para cada temperatura de calcinação permitirá uma compreensão mais profunda da formação e evolução das fases cristalinas nas amostras.

Amostra	CoFe₂O₄	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
pH 12 – 400 °C	100 %	-
рН 12 – 600 °С	94,7 ± 0,3%	5,3 ± 0,3%
рН 12 – 800 °С	100%	-
рН 14 – 400 °С	100%	-
рН 14 – 600 °С	98 ± 0,3%	$2,0 \pm 0,3\%$
рН 14 – 800 °С	100%	-

#### Tabela 3 – Identificação de fases dentro das amostras

#### Fonte: Do autor

Nessa tabela, a presença da segunda fase cristalina fica nítida nas amostras de 600 graus. De acordo com os trabalhos de (AUTOR) a presença de Fe2O2 acontece nas amostras de 400 graus, diferentemente das amostras de 800 graus onde essa segunda fase já não é criada, mostrando a primeira relação entre a calcinação com a cristalização da ferrita.

#### 4.2 Refinamento Rietveld



Figura 5 Refinamento Rietveld na amostra pH 12 400 °C.

Figura 6 Refinamento Rietveld na amostra pH 12 600 °C.







Figura 8 Refinamento Rietveld na amostra pH 14 400 °C





Figura 9 Refinamento Rietveld na amostra pH 14 600 °C.

Figura 10 Refinamento Rietveld na amostra pH 14 800 °C



As figuras acima mostram o refinamento amostra por amostra, e podemos fortalecer a relação da calcinação das amostras A presença de alto nível de ruído no difratograma impede a identificação precisa das fases presentes nas amostras com temperatura de calcinação em 400oC (Figura 4, e figura 7). As linhas pretas representam os dados experimentais, as linhas vermelhas representam o ajuste do modelo Rietveld, as linhas azuis representam a diferença entre os dados experimentais e o modelo. A alta quantidade de ruído dificulta a visualização clara dos picos de difração, tornando a identificação das fases presente na amostra complexa. Nas amostras de 800 graus obtivemos uma melhor cristalização com uma baixa diferença do modelo esperado segundo a literatura. Todas as imagens foram feitas pelo autor.

#### 4.3 Parâmetro de rede

Figura 11 Parâmetro de rede da célula cúbica em função da temperatura de calcinação das amostras.



Fonte: Do autor

No refinamento de Rietveld, o parâmetro de rede é um dos parâmetros que são refinados para obter o melhor ajuste entre o padrão de difração experimental e o modelo teórico. Este parâmetro mede apenas uma fase das amostras, isso sugere que a estrutura cristalina do CoFe2O6 pode ser influenciada pela temperatura de calcinação.

#### 4.4 Domínio cristalino



Figura 12 Domínio cristalino em relação com a temperatura de calcinação.

Fonte: Do autor

O tamanho do domínio cristalino é um parâmetro importante que pode ser refinado. Ele influencia a largura dos picos de difração no difratograma de raios-X. Cristais maiores tendem a produzir picos mais estreitos, enquanto cristais menores produzem picos mais largos. A figura evidencia que a temperatura em função dos picos de difração é influenciada.

(FONTE: https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/77765/000277586.pdf

#### 4.5 Histerese Magnética



Figura 13 Loop de histerese para as amostras calcinadas com 400 °C.

Figura 14 Loop de histerese para as amostras calcinadas com 600 °C.





Figura 15 Loop de histerese para as amostras calcinadas com 800 °C.

O loop de histerese é uma representação gráfica da relação entre a força do campo magnético e a densidade do fluxo magnético em um material ferromagnético. A área dentro do loop de histerese representa a energia perdida como calor durante um ciclo de magnetização e desmagnetização. Utilizando o loop nas amostras, obtivemos resultados marcantes da influência do pH nas amostras, aumentando a quantidade de O2 disponível na célula, vamos ter um maior campo coercivo.

#### 5 Conclusão

A síntese e caracterização demonstrou a influência da temperatura de calcinação e do pH na estrutura cristalina e nas propriedades magnéticas de materiais sintetizados.

Observou-se que a temperatura de calcinação de 600°C estabilizou os parâmetros de rede, indicando uma estrutura cristalina bem definida. Acima dessa temperatura, a estrutura permaneceu estável, sugerindo que a temperatura de calcinação ideal para a formação da fase desejada foi atingida.

O pH, por outro lado, impactou diretamente o tamanho do domínio cristalino, com variações na disponibilidade de O2- influenciando o crescimento dos cristais.

Essa influência do pH no tamanho dos domínios cristalinos, em conjunto com a temperatura de calcinação, resultou em diferentes propriedades magnéticas dos materiais sintetizados.

Conclui-se que a combinação de pH e temperatura de calcinação alta (acima de 600°C) foi crucial para determinar o tamanho dos domínios cristalinos, influenciando diretamente as propriedades magnéticas dos materiais.

Esses resultados demonstram a importância de controlar cuidadosamente as condições de síntese para obter materiais com propriedades magnéticas desejáveis.

#### 6 Referências bibliográficas

AHMAD, S. I. Nano cobalt ferrites: Doping, Structural, Low-temperature, and room temperature magnetic and dielectric properties – A comprehensive review. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, v. 562, n. August, p. 169840, 2022.

BUTLER, R. F. **Paleomagnetism: magnetic domains to geologic terranes**. Electronic Edition ed. Portland: Blackwell Scientific, 2004. ISBN(086542070X).

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução . 10<sup>a</sup> ed. [s.l.] LTC, 2020.

CRUZ, I. F.; FREIRE, C.; ARAÚJO, J. P.; PEREIRA, C.; PEREIRA, A. M. Multifunctional Ferrite Nanoparticles: From Current Trends Toward the Future. [s.l: s.n.]. 59–116 p. ISBN(9780128139059).

CULLITY, B. D.; STOCK, S. R. Elements of X-Ray Diffraction. 3rd. ed. [s.l.] Pearson, 2001.

GANAPATHE, L. S.; MOHAMED, M. A.; YUNUS, R. M.; BERHANUDDIN, D. D. Magnetite (Fe3O4) nanoparticles in biomedical application: From synthesis to surface functionalisation. **Magnetochemistry**, v. 6, n. 4, p. 1–35, 2020.

HUIXIA, F.; BAIYI, C.; DEYI, Z.; JIANQIANG, Z.; LIN, T. Preparation and characterization of the cobalt ferrite nano-particles by reverse coprecipitation. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, v. 356, p. 68–72, 2014.

KINAST, É. J. Método Rietveld: Implementação E Ensaios Com O Programa Fullprof. 2000. 1–64 p. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

KUMAR, L.; KUMAR, P.; NARAYAN, A.; KAR, M. Rietveld analysis of XRD patterns of different sizes of nanocrystalline cobalt ferrite. **International Nano Letters**, v. 3, n. 1, p. 1–12, 2013.

LANGFORD, J. I.; WILSON, A. J. C. Scherrer after sixty years: A survey and some new results in the determination of crystallite size. **urn:issn:0021-8898**, v. 11, n. 2, p. 102–113, 1 abr. 1978.

MOOSAVI, S.; ZAKARIA, S.; CHIA, C. H.; GAN, S.; AZAHARI, N. A.; KACO, H. Hydrothermal synthesis, magnetic properties and characterization of CoFe2O4 nanocrystals. **Ceramics International**, v. 43, n. 10, p. 7889–7894, 1 jul. 2017.

PATANGE, S. M.; SHIRSATH, S. E.; JANGAM, G. S.; LOHAR, K. S.; JADHAV, S. S.; JADHAV, K. M. Rietveld structure refinement, cation distribution and magnetic properties of Al3+ substituted NiFe2O4 nanoparticles. **Journal of Applied Physics**, v. 109, n. 5, 2011.

PEIXOTO, J. A. Desenvolvimento de biomateriais micro e nanoestruturados baseados em compostos da família dos fosfatos de cálcio para aplicação em regeneração óssea e reconstituição dentária. 2011. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2011.

PINHO, L. C. A. B. DE. Materiais Magnéticos e suas Aplicações. 2009. Porto: Universidade do Porto, fev. 2009.

SCHERRER, P. Bestimmung der Größe und der inneren Struktur von Kolloidteilchen mittels Röntgenstrahlen. Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse, p. 98–100, 1918.

SILVA, C. R. M., MOTTA, V., DELMONTE, M. B., PASKOCIMAS, C. A. Influência do tratamento térmico nas propriedades magnéticas das ferritas de cobalto e de manganês. Anais do 57° Congresso Brasileiro de Cerâmica. Natal. 2013.

VINOSHA, P. A.; IMMACULATE, G.; MARY, N.; MAHALAKSHMI, K.; MELY, L. A.; DAS, S. J. Study on Cobalt Ferrite Nanoparticles Synthesized by Co-Precipitation Technique for Photo-Fenton Application 26. **Mechanics, Materials Science & Engineering MMSE Journal. Open Access www.mmse.xyz**, n. April, p. 2412–5954, 2017.