

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS E ESTRUTURAIS DE
CuFe₂O₄ e CoFe₂O₄ SINTETIZADAS PELO MÉTODO DE COMBUSTÃO**

**STUDY OF MORPHOLOGICAL AND STRUCTURAL PROPERTIES OF
CuFe₂O₄ AND CoFe₂O₄ SYNTHESIZED BY THE COMBUSTION METHOD
EVALUATION**

Aimée Giovanna Jerônimo de Brito¹
Verônica Cristhina de Souza Diniz²

RESUMO

O estudo de materiais cerâmicos avançados, como CuFe₂O₄ e CoFe₂O₄, têm sido nos últimos anos de grande interesse, pois possui uma vasta gama de aplicações tais quais: dispositivos magneto-ópticos, agente de contraste para ressonância magnética e spintrônica. O objetivo desse trabalho foi avaliar as características estruturais e morfológicas de CuFe₂O₄ e CoFe₂O₄ sintetizadas pelo método de combustão. Para a confecção de CuFe₂O₄ e CoFe₂O₄, foram utilizados os reagentes Nitrato de Cobre II trihidratado, nitrato de ferro III nonahidratado, e Nitrato de cobalto II e Ureia como combustível. Para realizar a síntese de combustão, foram utilizados dois tipos de recipientes, o becker e o cadinho de sílica. Foram feitas as análises de temperatura de chama durante a síntese, Difração de Raios-X (DRX), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia por Dispersão de Elétrons (EDS). A partir dos gráficos de tempo versus temperatura média foi possível observar que as temperaturas de chama e o tempo de reação de CuFe₂O₄ e CoFe₂O₄ para o recipiente cadinho de sílica foram maiores que as sínteses realizadas no recipiente becker. A caracterização por DRX apresentou que as sínteses realizadas de CuFe₂O₄ e CoFe₂O₄ obtiveram boa cristalinidade e formam a fase cúbica espinélio normal. O MEV mostrou tamanho de partículas maiores para CuFe₂O₄ (1 a 10 µm) e CoFe₂O₄ (1 a 5 µm) sintetizadas no cadinho de sílica. O EDS mostrou a composição de elementos necessárias para formação da fase espinélio de CuFe₂O₄ e CoFe₂O₄ produzidas em ambos recipientes. A síntese de CuFe₂O₄ e CoFe₂O₄ por reação de combustão é reproduzível para ambos os recipientes becker e cadinho de sílica.

Palavras-chave: ferritas; cerâmicas especiais; combustão.

ABSTRACT

The study of advanced ceramic materials such as CuFe₂O₄ and CoFe₂O₄ has been, in recent years, of great interest, as it has a wide range of applications such as magneto-optical devices, contrast agent for magnetic resonance imaging, and spintronics. The objective is to evaluate the structural and morphological characteristics of CuFe₂O₄ and CoFe₂O₄ synthesized by the combustion method.

¹ Bacharelanda em Engenharia de Materiais - Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho. 2023

² Doutora em Engenharia de Materiais – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho 2017

For the preparation of CuFe_2O_4 and CoFe_2O_4 , the reagents Copper II nitrate trihydrate PA, iron III nitrate nonahydrate PA, and Cobalt II nitrate (OSO) and Urea P.A as fuel. To carry out the combustion synthesis, two types of containers were used, the beaker and the silica crucible. Flame temperature analyzes were carried out during the analysis, X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM) and Electron Scattering Spectroscopy (EDS). The graphs of time versus average temperature showed that the flame temperatures and the reaction time of CuFe_2O_4 and CoFe_2O_4 for the silica crucible container were greater than the syntheses carried out in the beaker container. XRD showed that the synthesis of CuFe_2O_4 and CoFe_2O_4 achieved crystallinity and formed an cubic normal spinel phase. SEM showed larger particle size for CuFe_2O_4 (1 to 10 μm) and CoFe_2O_4 (1 to 5 μm) synthesized in the silica crucible. The electron EDS showed the composition of elements necessary for formation of the spinel phase of CuFe_2O_4 and CoFe_2O_4 produced in both containers. The synthesis of CuFe_2O_4 and CoFe_2O_4 by combustion reaction is reproducible for both analyzed containers.

Keywords: ferrites; specials ceramics; combustion.

INTRODUÇÃO

As cerâmicas magnéticas, representadas especialmente por uma classe de óxidos de ferro denominadas por ferritas, as quais são materiais que possuem um crescimento no número de aplicações como fabricação de dispositivos magnéticos, absorvedores de radiação eletromagnética, telefonia celular, pigmentos e ultimamente em catálise nas reações de transesterificação e esterificação para obtenção de biodiesel (MARTINS E PEREIRA, 2008 e 2014).

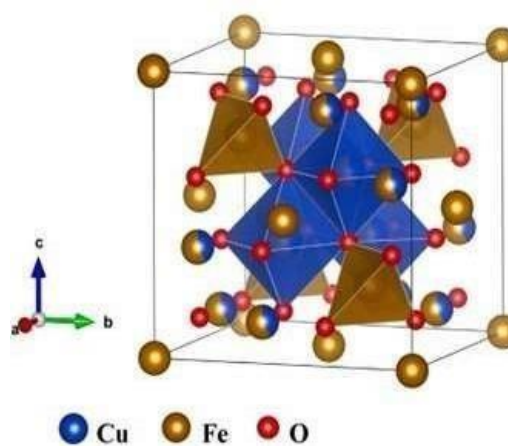
Suas estruturas cristalinas possíveis são do tipo gama, hexagonal e espinélio. Esta última estrutura é característica das ferritas moles (assim denominadas pela facilidade de magnetização e desmagnetização) e possui fórmula geral MFe_2O_4 , onde M pode ser um ou mais metais (MARTINS, 2008).

A estrutura cristalina da ferrita espinélio é MFe_2O_4 (onde $\text{M} = \text{Ni}^{2+}$, Mg^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , etc.) consistindo em dois espaços intersticiais denominados sítios tetraédricos e octaédricos. Dependendo da ocupação dos íons metálicos divalentes nesses locais, as ferritas espinélio são ramificadas como espinélio normal, espinélio inverso e espinélio misto (SATHEESHKUMAR et al., 2019).

A ferrita de cobre, CuFe_2O_4 , cristaliza em uma simetria tetragonal ou

cúbica, dependendo da distribuição de cátions entre os sítios intersticiais de sua estrutura espinélio. A fase tetragonal, que é estável a baixas temperaturas, é uma variável do espinélio inverso; os íons Fe^{3+} ocupam os sítios tetraédricos e octaédricos em quantidades aproximadamente iguais. Os íons Cu^{2+} ocupam apenas os sítios octaédricos e isso causa a distorção tetragonal devido ao efeito J-T, que é caracterizado pela deformação espontânea da geometria quando estados orbitais degenerados de moléculas não lineares se subdividem de forma a reduzir a energia do sistema. (STWEART E BUNKER, 2004 e 1998). Na Figura 1 ilustra a estrutura cristalina do CuFe_2O_4 .

Figura 1: Estrutura cristalina da CuFe_2O_4 .



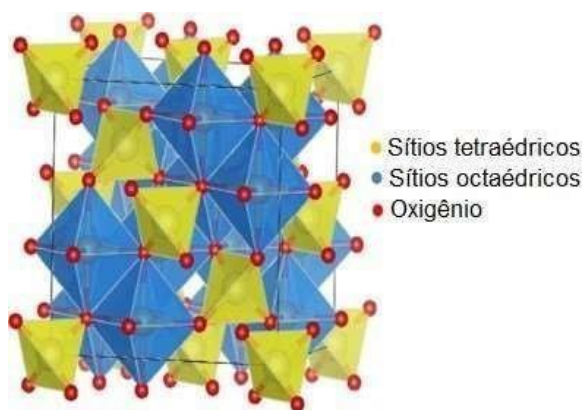
Fonte: Cahyana et al, 2021.

A fase cúbica é estável a temperaturas superiores a 360,8°C, mas é obtida como uma fase metaestável à temperatura ambiente. Nesse caso, alguns íons Cu^{2+} ocupam sítios A, o que diminui a distorção tetragonal. Isso causa uma mudança drástica em sua resposta magnética, dobrando o momento magnético efetivo por fórmula unitária e diminuindo sua anisotropia cristalina (STWEART et al, 2004).

Muitos pesquisadores estão interessados em estudar as diferentes propriedades físicas do CuFe_2O_4 devido às suas excelentes propriedades magnéticas juntamente com propriedades elétricas e semicondutoras. CuFe_2O_4 exibe comportamento semicondutor tipo p possuindo um intervalo de banda de 1,39 eV (SATHEESHKUMAR et al, 2019).

A ferrita de cobalto (CoFe_2O_4) tem atraído interesse contínuo nas últimas décadas devido a uma variedade de aplicações como dispositivos magneto-ópticos, agente de contraste para ressonância magnética, magneto hipertermia e spintrônica. (ALBERTON et al, 2021). Na Figura 2 podemos ver os sítios tetraédricos em amarelo e octaédricos em azul da Ferrita de Cobalto.

Figura 2: Estrutura cristalina da CoFe_2O_4 .



Fonte: Soufi et al, 2021.

A Ferrita de Cobalto é um material magnético que tem uma alta coercitividade, magnetização de saturação moderada, alta performance eletromagnética e fotomagnetismo. Além disso, apresenta alta

temperatura de Curie (520 °C), excelente estabilidade química, dureza mecânica, resistência ao desgaste e isolamento elétrico. (RUBIO,2014).

A maioria das propriedades físicas e químicas das ferritas dependem fortemente do tamanho, forma, composição e microestrutura das partículas que são sensíveis ao método de preparação e parâmetros de síntese (SALUNKHE, et al,2012).

Com o intuito de minimizar as dificuldades apresentadas pelo método de mistura de óxidos, diversos métodos químicos de síntese têm sido utilizados em escala de laboratório para a obtenção de ferritas. Visando, principalmente, o controle da microestrutura e das propriedades magnéticas e elétricas por meio do controle das características dos pós (pureza, homogeneidade química, forma e tamanho médio das partículas). Entre vários métodos de síntese, a síntese de reação por combustão tem se destacado como um método alternativo e bastante promissor para a preparação de pós nanométricos de ferritas Co e Cu (COSTA et al, 2003).

Os fatores que são significativos durante a reação são: o tipo de combustível, relação combustível/oxidante, quantidade de água na mistura precursora, temperatura de ignição, etc. Geralmente, uma boa reação de combustão deve ocorrer de maneira estável, ou seja, sem explosões, deve produzir produtos gasosos não tóxicos e atuar como um complexo para cátions metálicos (NAGENDRA et al, 2019).

Então, devido a essa gama de aplicações de CoFe_2O_4 e CuFe_2O_4 , facilidade de realização do método de combustão e estudos realizados ultimamente, este trabalho tem como objetivo avaliar as características estruturais e morfológicas de CoFe_2O_4 e CuFe_2O_4 sintetizadas pelo método de combustão, utilizando dois tipos de recipientes, o becker e o cadinho de sílica. Foram avaliadas a influência da variação do tipo de recipiente na obtenção do produto final.

METODOLOGIA

Materiais e Métodos

Os reagentes utilizados para a realização da síntese foram o Nitrato de Cobre II trihidratado, Nitrato de ferro III nonahidratado, e Nitrato de cobalto II e Ureia P.A como combustível. A Figura 3 mostra esses reagentes.

Figura 3: Nitratos e combustível utilizados na reação de combustão.



Fonte: A Autora, 2023.

Para realizar a síntese de combustão, utilizou-se dois tipos de recipientes, o becker e o cadinho de sílica (Figura 4).

Figura 4: Reação de Combustão de CoFe_2O_4 no Becker (superior). | Reação de combustão de CuFe_2O_4 no Cadinho de sílica (inferior).



Fonte: A Autora, 2023.

Durante a síntese, a temperatura de chama da reação foi medida a cada 30 segundos com um pirômetro, esses dados foram utilizados para gerar os gráficos de Tempo versus Temperatura Média.

Em seguida foi feito o trituração do pó em almofariz de ágata e o peneiramento realizado com peneiras de aberturas de 180 μm e 45 μm (Figura 5).

Figura 5: Almofariz de Ágata e peneira utilizada no beneficiamento e peneiramento.

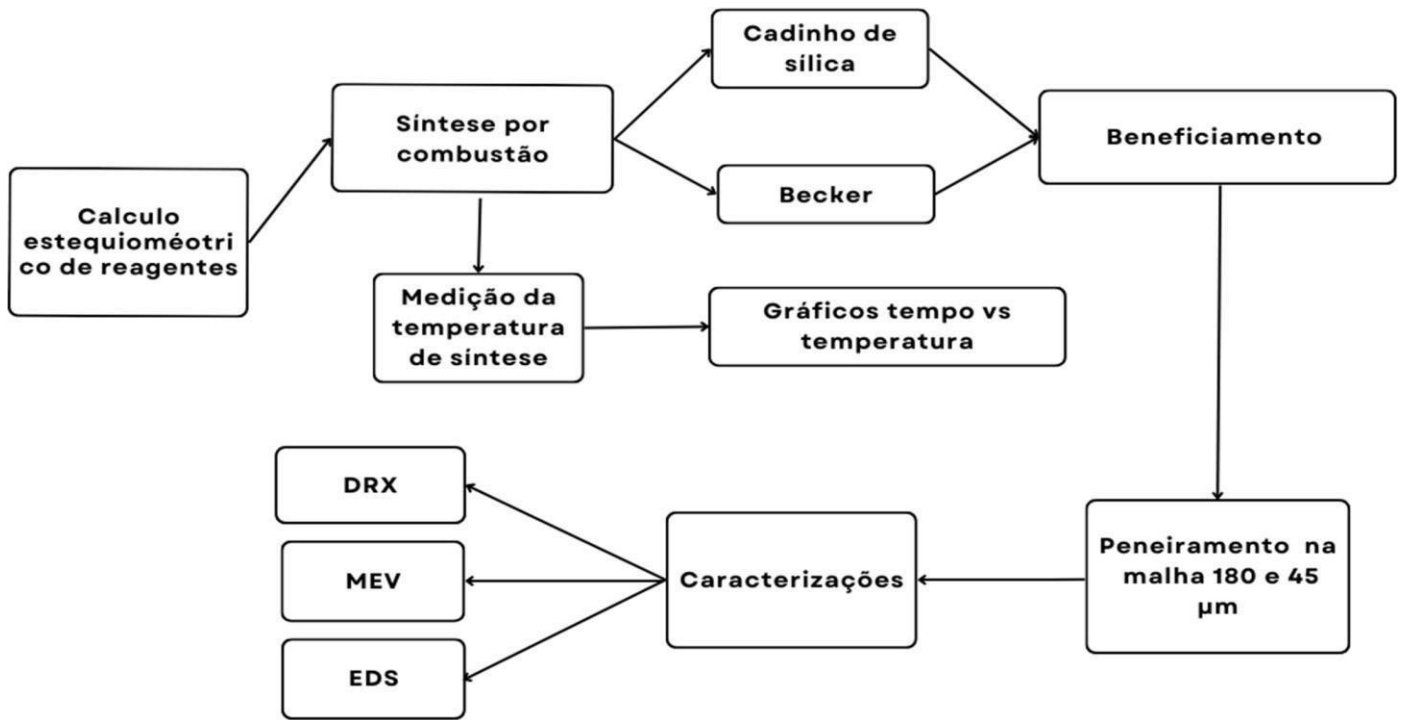


Fonte: A Autora, 2023.

Técnicas de caracterização

As amostras sintetizadas foram caracterizadas por Difração de raios-X (DRX) utilizando um difratômetro de raios X BRUKER modelo D2 Phaser, (radiação Cu K) e voltagem de 40 kV e 30 mA de corrente. Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) e Espectroscopia por dispersão de elétrons (EDS) VEGA3 TESCAN modelo 51-ADD0007 sensor 51-1385-046 resolução de 5.9 keV e voltagem de 129eV. Gráficos Temperatura versus tempo com a temperatura verificada a cada 30 segundos através de pirômetro de infravermelho temperaturas -50°C até 1000°C . A Figura 6 mostra o fluxograma da metodologia utilizada.

Figura 6: Fluxograma da metodologia.



Fonte: A Autora,2023.

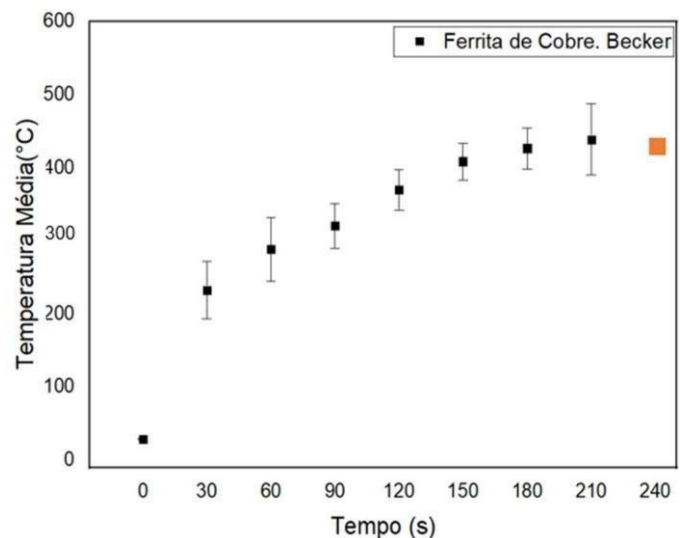
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Gráficos Tempo *versus* Temperatura média

Para medir a média de temperatura de chama da reação, foram feitas 16 sínteses ao total, 4 para cada condição. As temperaturas foram verificadas a cada 30 segundos durante as sínteses. A fonte geradora de calor utilizada foi uma chapa cerâmica com resistência elétrica.

Na Figura 7 é possível ver o gráfico Temperatura *versus* Tempo de reação de CuFe_2O_4 sintetizada no becker. Pode ser observado no ponto laranja no gráfico a temperatura de chama média das quatro sínteses realizadas nesse recipiente, que foi de 414°C e um tempo total de reação de 240s.

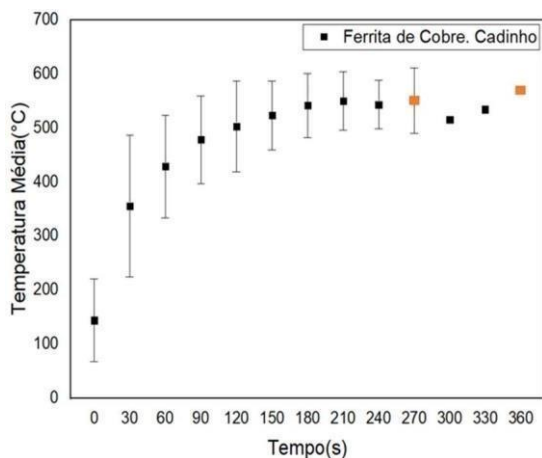
Figura 7: Gráfico de Tempo x Temperatura média das síntese de CuFe_2O_4 realizada no Becker.



Fonte: A Autora,2023.

Na Figura 8 observa-se o gráfico Temperatura *versus* Tempo da CuFe_2O_4 sintetizada no cadinho de sílica. Pode ser observado no primeiro ponto laranja que a temperatura de chama média das 3 reações foi de 551°C e um tempo de 270s. Para a outra reação, a temperatura de chama foi de 571 e um tempo de reação de 360s.

Figura 8: Gráfico Temperatura x Tempo da síntese de CuFe_2O_4 realizada no Cadinho de sílica.

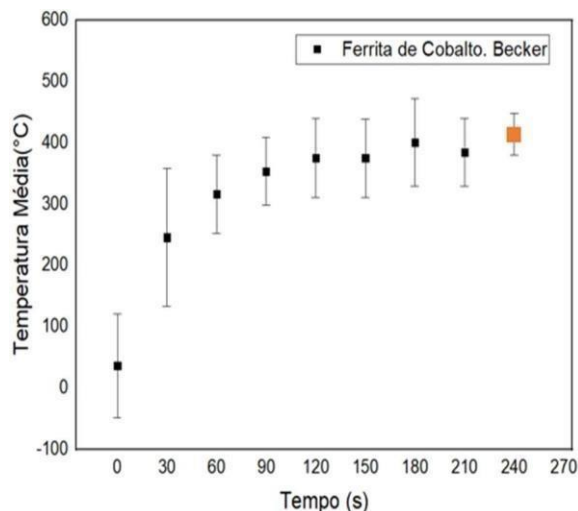


Fonte: A Autora,2023.

As reações feitas para produzir CuFe_2O_4 no recipiente cadinho de sílica obtiveram um aumento de 97°C na temperatura e cerca de 30 segundos do tempo de reação em comparação com o recipiente becker. A medida de desvio padrão menor mostradas nas Figuras 7 e Figura 8, para as temperaturas de chama para ambos os recipientes, mostra que as reações de combustão têm valores próximos, independente de fatores que influenciaram as temperaturas iniciais do processo.

Na Figura 9, é possível ver o gráfico Temperatura *versus* Tempo média da CoFe_2O_4 sintetizada no becker. Pode ser observado que a temperatura média de chama da reação foi de 431°C . O tempo foi de 240 segundos.

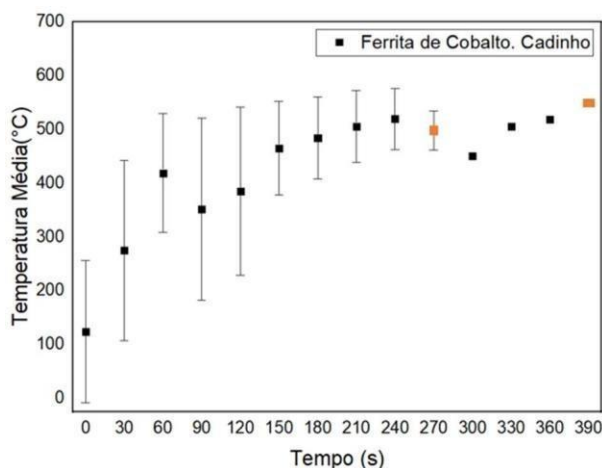
Figura 9: Gráfico Temperatura x Tempo média da síntese de CoFe_2O_4 realizada no Becker.



Fonte: A Autora,2023.

A Figura 10 mostra o gráfico Temperatura *versus* Tempo da CoFe_2O_4 sintetizada no Cadinho de sílica. A temperatura média de chama no primeiro ponto laranja, para três reações foi de 498°C . O tempo foi de 270 s. Para a outra reação, a temperatura de chama foi de 550°C em um tempo de 390s.

Figura 10: Gráfico Temperatura x Tempo da síntese de CoFe_2O_4 realizada no Cadinho de sílica.



Fonte: A Autora,2023.

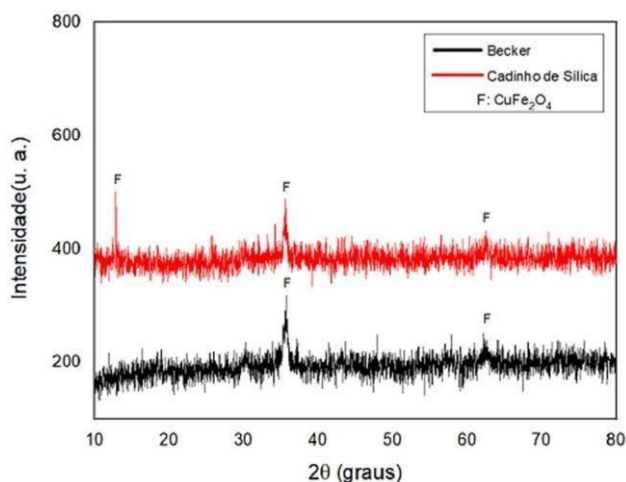
As reações feitas para produzir CoFe_2O_4 no recipiente cadinho de sílica obtiveram um aumento de 67°C na temperatura e cerca de 30 segundos do tempo de reação em comparação com o recipiente becker. A medida de desvio padrão menor mostrada nas Figuras 9 e Figura 10, para as temperaturas de chama para ambos os recipientes, mostra que, assim como as reações realizadas para CuFe_2O_4 as reações de combustão feitas para CoFe_2O_4 têm valores próximos, independente de fatores que influenciaram as temperaturas iniciais do processo.

As sínteses realizadas para ambas as ferritas tiveram uma média de temperatura e tempo semelhantes. Para CuFe_2O_4 e para CoFe_2O_4 , o recipiente cadinho de sílica proporcionou maiores valores para temperatura média de ignição e tempo de reação. A variação no tempo de reação pode ter ocorrido por causa da diferença do tipo de material de cada recipiente utilizado nas sínteses, o cadinho de sílica proporciona uma maior estabilidade térmica quando comparado ao Becker de vidro.

Difração de raios-x

A Figura 11 apresenta os difratogramas de raios X de CuFe_2O_4 sintetizadas nos recipientes Becker (preto) e Cadinho de sílica (vermelho).

Figura 11: Análise de DRX para CuFe_2O_4 produzidas nos recipientes becker e cadinho de sílica.



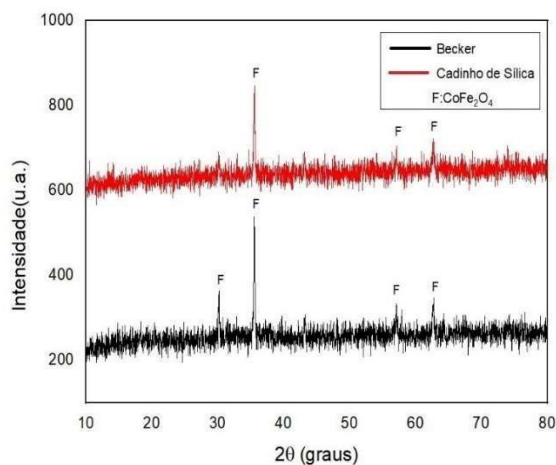
Fonte: A Autora, 2023.

É possível observar a formação da fase cúbica de espinélio normal da CuFe_2O_4 de acordo com a ficha cristalográfica 153013-ICSD.

Comparando os difratogramas entre si (Figura 11), é possível observar que a produção de CuFe_2O_4 por recipientes diferentes exibem picos semelhantes, o que significa que suas características cristalográficas são semelhantes. Além disso, podemos ver que a amostra de CuFe_2O_4 produzida pelo cadinho mostram picos principais com maiores intensidades quando comparado com a amostra produzida no Becker, isso indica que a cristalinidade da CuFe_2O_4 produzida no cadinho de sílica é provavelmente maior. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que o recipiente cadinho de sílica atingiu uma temperatura de ignição maior.

A Figura 12 apresenta os difratogramas de raios X de CoFe_2O_4 produzidas nos recipientes Becker e cadinho de sílica.

Figura 12: Análise de DRX para CoFe_2O_4 produzidas nos recipientes becker e cadinho de sílica.



Fonte: A Autora, 2023.

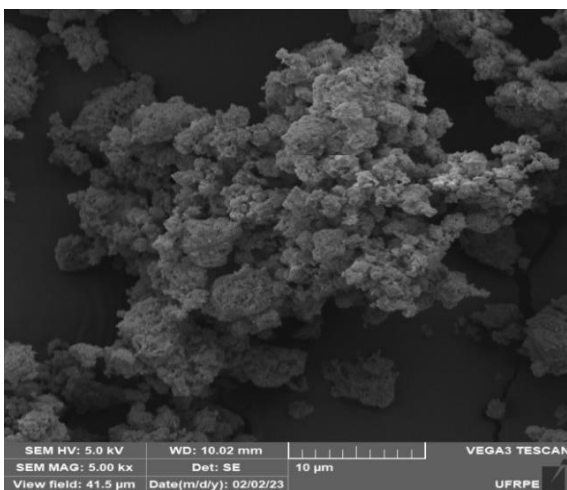
Pode-se observar a formação da fase cúbica de espinélio normal da CoFe_2O_4 encontrada na ficha cristalográfica 33181-ICSD. Para ambos os recipientes houveram picos principais e com alargamento basal estreito, indicando uma cristalização do material.

Para o recipiente becker o tamanho do segundo pico principal foi maior em relação ao cadinho, indicando um possível aumento de cristalinidade da amostra.

Microscopia Eletrônica de Varredura

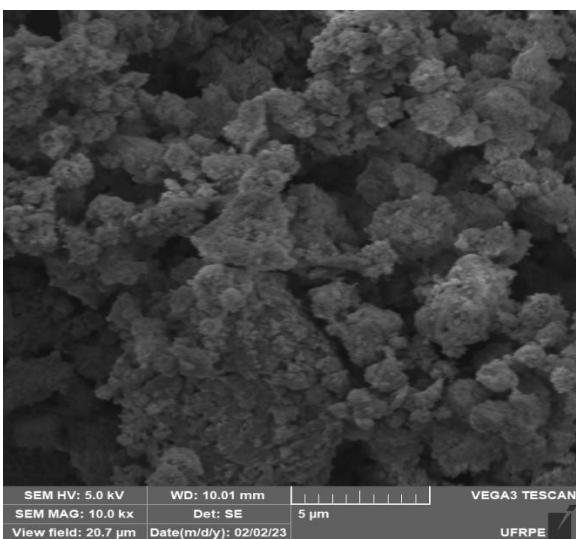
Nas Figuras 13 e 14 é possível ver a microscopia eletrônica de varredura de CuFe_2O_4 ampliada em 5000x e 10000x, respectivamente, sintetizada no cadinho de sílica.

Figura 13: MEV de CuFe_2O_4 , ampliada em 5000x, sintetizadas no cadinho de sílica.



Fonte: A Autora, 2023.

Figura 14: MEV de CuFe_2O_4 , ampliada em 10000x, sintetizadas no cadinho de sílica.

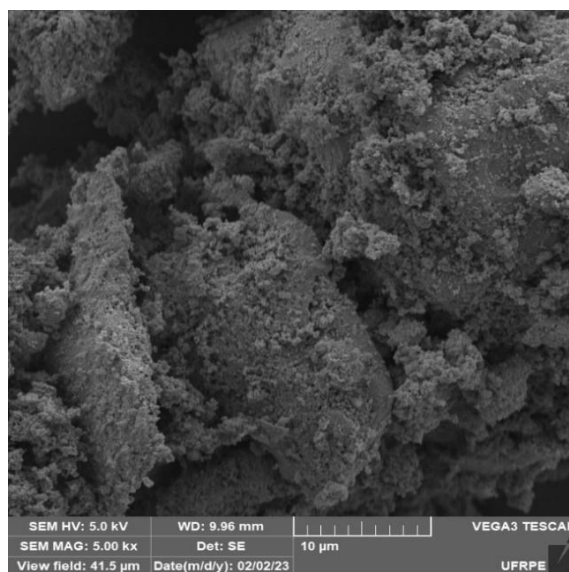


Fonte: A Autora, 2023.

Observa-se aglomerados irregulares com tamanhos variando de 1 a 10µm. Os aglomerados possuem um aspecto esponjoso e poroso devido a saída de ar durante a síntese por combustão.

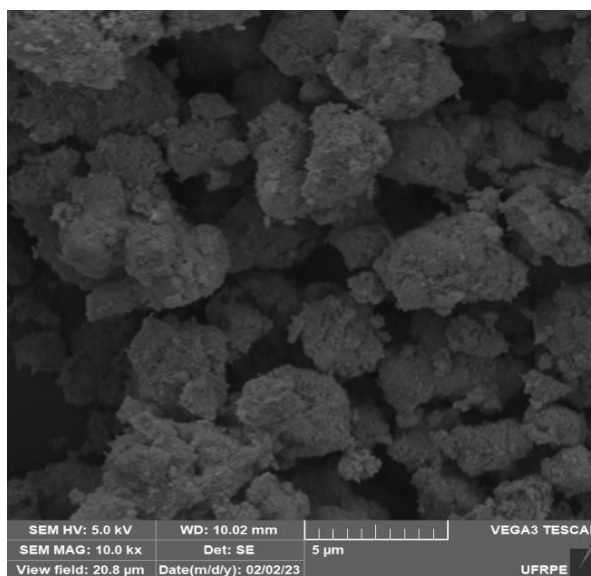
Nas Figuras 15 e 16 encontra-se a microscopia eletrônica de varredura de CuFe_2O_4 ampliada por 5000x e 10000x, respectivamente, sintetizada no becker.

Figura 15: MEV de CuFe_2O_4 , ampliada em 5000x, sintetizadas no becker.



Fonte: A Autora, 2023.

Figura 16: MEV de CuFe_2O_4 , ampliada em 10000x, sintetizadas no becker.

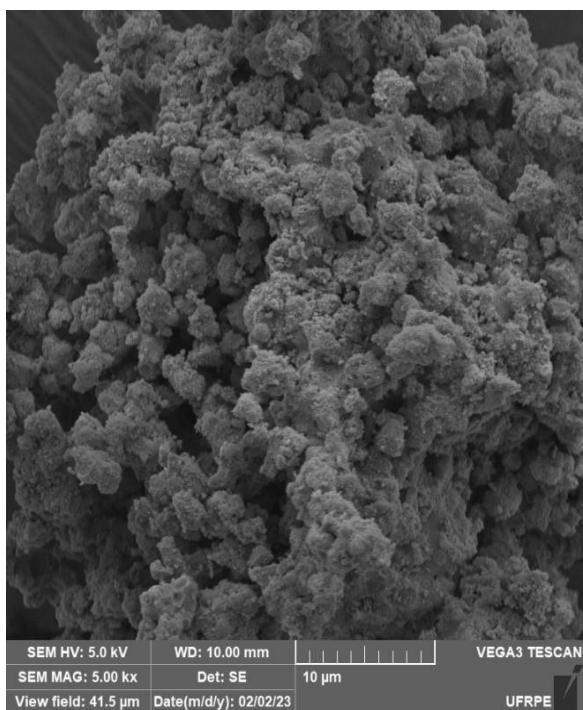


Fonte: A Autora, 2023.

Também pode ser observado pelas Figuras 15 e 16, aglomerados irregulares com um tamanho variando de 1 a 10 μm . O tamanho menor das partículas de CuFe_2O_4 sintetizadas no becker pode ser explicado pelo fato da temperatura de chama atingida ser menor do que a síntese realizada no cadinho, ou seja, quanto maior a temperatura maior a aglomeração de partículas. SELVAN, et. al., 2003, obteve resultado similar.

Nas Figuras 17 e 18 podemos ver a microscopia eletrônica de varredura de CoFe_2O_4 ampliada em 5000x e 10000x, respectivamente, sintetizada no becker.

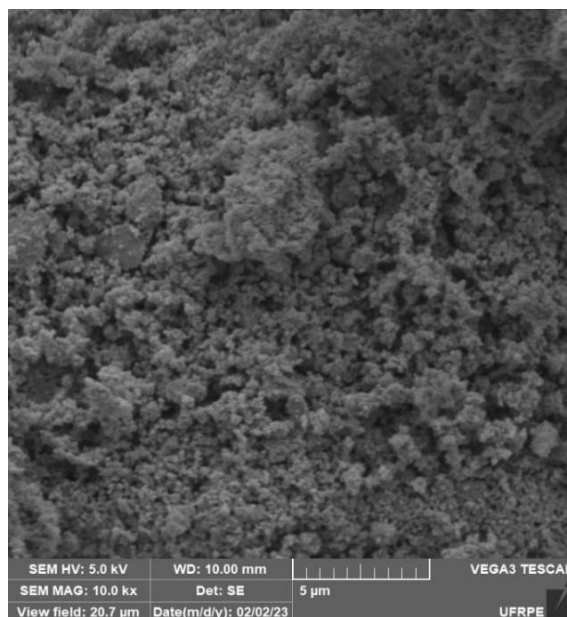
Figura 17: MEV de CoFe_2O_4 ampliada em 5000x, sintetizadas no becker.



Fonte: A Autora, 2023.

É possível observar alguns aglomerados irregulares, com aspecto esponjoso e poroso com tamanho de 20 μm para o aumento de 5000x, também pode se observar que para um aumento de 10000x é possível ver uma granulometria mais homogênea, com tamanho médio partícula de 1 μm em relação as amostras de CuFe_2O_4 .

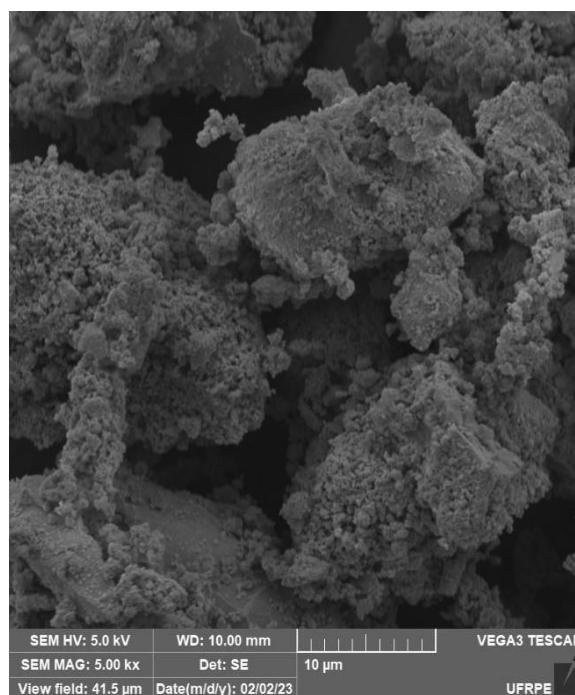
Figura 18: MEV de CoFe_2O_4 ampliada em 10000x, sintetizadas no becker.



Fonte: A Autora, 2023.

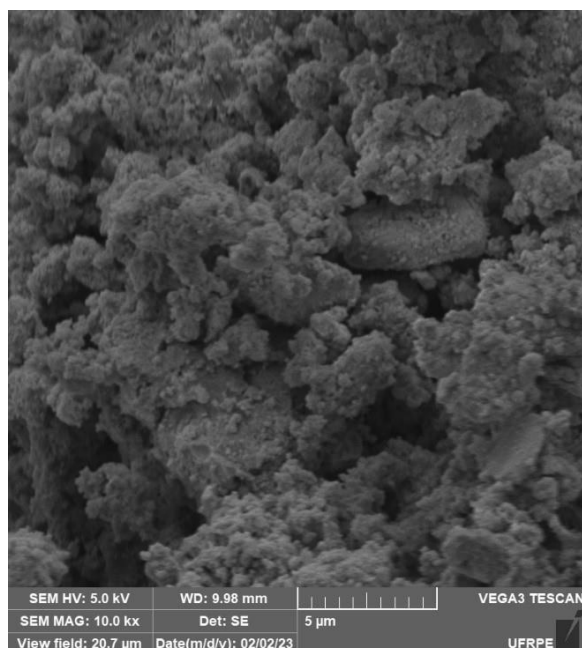
Nas Figuras 19 e 20 mostram as microscopias eletrônica de varredura de CoFe_2O_4 ampliadas 5000x e 10000x, respectivamente, sintetizada no cadinho de sílica.

Figura 19: MEV da CoFe_2O_4 ampliada em 5000x, sintetizadas no cadinho de sílica.



Fonte: A Autora, 2023.

Figura 20: MEV de CoFe_2O_4 ampliada em 10000x, sintetizadas no cadinho de sílica.



Fonte: A Autora, 2023.

É possível ver para um aumento de 10000x aglomerados irregulares que variam de 1 a 5 μm . Para o aumento de 5000x podemos observar aglomerados maiores que 20 micrometros. A influência do tipo de recipiente tem como consequência um aumento nas temperaturas de síntese para o recipiente cadinho, aumentando o tamanho dos aglomerados, como foi visto anteriormente para CuFe_2O_4 e pode ser visto também nas análises de CoFe_2O_4 .

Espectroscopia por Dispersão de Elétrons

A Tabela 1 apresenta a análise de espectroscopia por dispersão de elétrons para CuFe_2O_4 sintetizadas no becker e no cadinho de sílica. E apresentam a presença de Cu, Co e Fe que totalizam 88,8 % e 87,8%, respectivamente. A diferença restante de 11,2% e 12,2% é consequência do teor de ouro, que são resíduos do recobrimento das amostras na preparação da análise, o que não altera a composição do material obtido.

Os elementos presentes encontrados, confirmam a formação da fase pura da ferrita espinélio para ambas as amostras. Para os dois recipientes analisados, a porcentagem de elementos permaneceram similares.

Tabela 1 : EDS da composição elementar em % de CuFe_2O_4 sintetizadas nos recipientes Cadinho de sílica e Becker.

Amostras	Cu	Fe	O
CuFe_2O_4 , cadinho de sílica	22.9	39.0	26.9
CuFe_2O_4 , becker	24.4	41.0	22.4

Fonte: A Autora, 2022.

A Tabela 2 apresenta a análise de espectroscopia por dispersão de elétrons para CoFe_2O_4 sintetizadas no becker e no cadinho de sílica. A análise detectou Cu, Fe e O em 94,2% e 90,9%, restando 5,8% e 9,1%, respectivamente de Au do equipamento.

Através dessa composição que é composta pelos elementos Co, Fe e O é possível também constatar a formação de fase espinélio para essa ferrita. YALCIN, et al., 2021 obteve resultados similares ao encontrado neste trabalho.

Tabela 2 : EDS da composição elementar em % de CoFe_2O_4 sintetizadas nos recipientes Cadinho de sílica e Becker.

Amostras	Co	Fe	O
CoFe_2O_4 , cadinho de sílica	20.6	49.1	24.5
CoFe_2O_4 , becker	26.0	50.3	14.6

Fonte: A Autora, 2022.

As análises contidas nas Tabela 1 e Tabela 2 comprova, assim como as análises de DRX e MEV que é possível obter ferrita de Cobre e ferrita de Cobalto sintetizadas através do recipiente becker e cadinho de sílica.

CONCLUSÃO

- As temperaturas de chama e tempo de reação para o recipiente cadinho foram superiores aos do recipiente Becker.

- DRX: A síntese realizada com o recipiente cadinho de sílica e becker mostraram cristalinidade e a formação da fase cúbica de espinélio normal para CuFe_2O_4 e CoFe_2O_4 .
- MEV: As análises feitas para CuFe_2O_4 para o recipiente cadinho obtiveram maior tamanho de aglomerados, o mesmo para CoFe_2O_4 . Todas as amostras possuem um aspecto poroso e esponjoso.
- EDS: As análises detectaram a formação de fase espinélio normal para CuFe_2O_4 e CoFe_2O_4 em ambos os recipientes estudados.
- As sínteses por combustão de CuFe_2O_4 e CoFe_2O_4 são reprodutíveis para os recipientes becker e cadinho de sílica.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela concessão de bolsa PIC. À UFRPE-UACSA e aos colaboradores do PlastLab, Laboratório de Processamento Cerâmico, Laboratório de Processamento Metálico e ao Centro Caracterização de Materiais. À Dra. Verônica Diniz pela orientação deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ALBERTON, K. Set al., Morphologic, structural, and magnetic characterization of cobalt ferrite nanoparticles synthesized at different temperatures. **International Journal for Innovation Education and Research**, v. 9, n. 9, p. 399 – 405, 2021. Disponível em: <https://scholarsjournal.net/index.php/ijier/article/view/3355/2288>. Acesso em: 29 jul. 2023.

COSTA, A. C. F. M., et al., Ferritas Ni-Zn: síntese por reação de combustão e sinterização, **Cerâmica**, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/cDPpmPrwqkSbDCXbvgSK94n/?lang=pt>. Acesso em: 29 jul. 2023.

MARTINS, M. L. **Síntese e caracterização de ferritas de manganês e zinco visando aplicação**

como agente de contraste em diagnóstico médico. Monografia (Graduação em Física Médica) - Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, Campus de Botucatu, São Paulo, 2008. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/119872>. Acesso em: 29 jul. 2023.

NAGENDRA G. K. *et al.* Study of structural features and antibacterial property of ZnO/CuO nanocomposites derived from solution combustion synthesis. *In: IOP CONF SERIES: MATERIALS SCIENCE ENGINEERING*, 577.; 2018, Gothenburg. **Anais [...]**. Gothenburg, 2019, p.1-10. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/577/1/012111>. Acesso em: 29 jul. 2023.

PEREIRA, K. R. O. Síntese de nanoferritas magnéticas do tipo espinélio e uso em reação de esterificação para a obtenção de biodiesel. *In: 58º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA*, 58.; 2014, Rio Grande do Sul. **Anais [...]**. Rio Grande do Sul: Bento Gonçalves, 2014, p. 697-708. Disponível em: https://abceram.org.br/wp-content/uploads/area_associado/58/PDF/02-055.pdf Acesso em: 29 jul. 2023.

RUBIO, M. F. **Influência da ferrita de cobalto (CoFe_2O_4) na formação da fase β em compósitos magnetoelétricos à base de poli(fluoreto de vinilideno (PVDF)).** Dissertação (Mestrado em Química) Universidade Federal da Grande Dourados, Mato Grosso do Sul, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/909>. Acesso em: 29 jul. 2023.

SATHEESHKUMAR, M. K. et al. Structural and magnetic properties of CuFe_2O_4 ferrite nanoparticles synthesized by cow urine assisted combustion method, **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, n. 484, p.120-125, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304885319307796>. Acesso

em: 29 jul. 2023.

SELVAN R. K., Combustion synthesis of CuFe_2O_4 , **Materials Research Bulletin**, n...38, p.41-54, 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025540802010048?via%3Dihub>. Acesso em: 29 jul. 2023.

STEWART, S. J. et al. Magnetic size growth in nanocrystalline copper ferrite, **Solid State Communications**, v.129, p. 347-351, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038109803009773?via%3Dihub>. Acesso em: 29 jul. 2023.

SANTOS, P. T. A. *et al.* Síntese por reação de combustão e caracterização de nanopartículas de $\text{Co}_2\text{Fe}_2\text{O}_4$. In: 56° CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA 1° CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CERÂMICA. IX BRAZILIAN SYMPOSIUM ON GLASS AND RELATED MATERIALS, 56., 2012, Paraná. **Anais** [...] Paraná: ABCERAM, 2012. p. 662-674. Disponível em: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/46/062/46062664.pdf. Acesso em: 29 jul. 2023.

YALCIN, B., et al., Structural, optical, magnetic, photocatalytic activity and related biological effects of CoFe_2O_4 ferrite nanoparticles, **Journal of Materials Science: Materials in Electronics**, n.32, p.13068-13080, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10854-021-05752-6> Acesso em: 29 jul. 2023.