

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação Programa de Pós-Graduação em Engenharia Física



PROJETO DE PESQUISA

SÍNTESE DE NANOCOMPÓSITOS COM NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS PARA APLICAÇÕES COMO DISPOSITIVOS EM ENGENHARIA E COMO ADSORVENTES DE POLUENTES NA ÁREA AMBIENTAL

COORDENADOR:

Ana Cláudia Vaz de Araújo

Fevereiro de 2022





I- IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO

1- Título SÍNTESE DE NANOCOMPÓSITOS COM NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS PARA APLICAÇÕES COMO DISPOSITIVOS EM ENGENHARIA E COMO ADSORVENTES DE POLUENTES NA ÁREA AMBIENTAL 2- Vigência Início previsto (mês/ano): Fevereiro/2022 Fevereiro/2026 Término previsto (mês/ano): 3- Classificação da área do projeto (classificação definida pelo CNPq) Nome da área : Química Número do código: 1.06.00.00-0 Nome da sub-área : Química Analítica Número do código: 1.06.04.00-6 Nome da especialidade: Análise de traços e Química Ambiental Número do código: 1.06.04.07-3 4- Linhas de pesquisa do PPENGFIS contempladas no projeto X Materiais Nanoestruturados \times Materiais para aplicações ambientais, energéticas e industriais Metrologia e Instrumentação Espectroscopia coerente e óptica não linear Controle e dinâmica não linear 5- Palavras-chaves (máximo 5 palavras) Nanopartículas magnéticas Materiais eletromagnetorreológicos

Cabo de Santo Agostinho, Fevereiro de 2022

Nanocompósitos híbridos

Adsorção de poluentes

sha Claudia/ at de Araúja Professora Adulta

Coordenador: Ana Cláudia Vaz de Araújo

Contaminação de águas

(SIAPE: [1299792])





6- Participantes docentes:

Nome:	Ana Cláudia Vaz de Araújo			
CPF:	834.157.424-15			
E-mail:	claudia.vaz@ufrpe.br			
Bolsista do CNPq:	▼ NÃO □ SIM Se sim, qual nível?:			
Função:	Coordenador ⊠ Colaborador □			
Nome:	Eduardo Henrique Lago Falcão			
CPF:	666.189.164-53			
E-mail:	efalcao.ufpe@gmail.com			
Bolsista do CNPq:	© NÃO			
Função:	Coordenador □ Colaborador ⊠			
Nome:	Marcos Gomes Ghislandi			
CPF:	038.201.049-33			
E-mail:	ghislandi@gmail.com			
Bolsista do CNPq:	© NÃO			
Função:	Coordenador □ Colaborador ⊠			
Nome:	Ramón Raudel Peña Garcia			
CPF:	704.608.714-80			
E-mail:	Ramon.raudel@ufrpe.br			
Bolsista do CNPq:	NÃO SIM Se sim, qual nível?:			
Função:	Coordenador □ Colaborador ⊠			





II- DETALHAMENTO DO PROJETO

1. Resumo

O estudo de nanocompósitos que respondam a estímulos externos e adsorvam poluentes ambientais, têm ganhado grande importância. Esses materiais, quando na forma de fluidos eletromagnetorreológicos (ER-MR), alteram suas propriedades em resposta a aplicação de campos elétricos ou magnéticos externos. São utilizados na composição de amortecedores, lubrificantes, etc. Neste projeto serão sintetizados e caracterizados nanocompósitos à base de nanopartículas magnéticas e polímeros, ou materiais carbonáceos, para aplicações como fluidos ER-MR ou como adsorventes de poluentes, respectivamente. Uma vez obtidos os fluidos, suas propriedades reológicas serão estudadas com o objetivo de criar nanodispositivos eletrônicos ou sensores. Os nanocompósitos magnéticos adsorventes de poluentes, serão utilizados na adsorção de resíduos de corantes, fármacos, agrotóxicos, metais. Por apresentarem magnetismo esses materiais uma vez que adsorvam os poluentes, poderão ser removidos do meio aplicando-se um ímã.

2. Introdução

Atualmente a pesquisa com nanocompósitos que respondam a estímulos externos e que adsorvam, de forma eficiente, poluentes, tem ganhado importância, com o foco na aplicação em diversas áreas da engenharia, ambiental e da biomedicina (FANNIN, 2007; DE ARAUJO, 2010, 2015a, 2015b; MONSALVE, 2019; NOH, 2017; DAMASCENO, 2020, ALENCAR 2020). Materiais compósitos são obtidos pela combinação entre uma fase dispersa (que pode estar na forma de partículas ou fibras) e uma fase contínua, ou matriz. Quando a fase dispersa está em escala nanométrica (pelo menos uma das dimensões da ordem de poucas centenas de nanômetros ou menos), tem-se um nanocompósito.

Alguns desses nanocompósitos podem apresentar respostas a variações de temperatura, estresse mecânico, aplicação de luz, variação de pH do meio e aplicação de campos elétricos ou magnéticos externos, esses materiais são chamados de fluidos eletromagnetorreológicos (ER-MR). Esses materiais podem ser obtidos na forma de suspensões estáveis de sólidos em meios líquidos. Tais materiais podem ser classificados como materiais "inteligentes" que, devido a aplicação de estímulos externos podem sofrer alteração nas suas propriedades reológicas. Esse comportamento relaciona-se com as disposições estruturais dos sólidos na suspensão. Antes da aplicação do campo eletromagnético, as partículas são distribuídas de forma aleatória, a aplicação do campo provoca uma orientação dessas partículas que pode, por exemplo, alterar a viscosidade do fluido. Esses fluidos "inteligentes" são utilizados na indústria automobilística e aeroespacial na composição de amortecedores, lubrificantes, freios, embreagens, na área de nanotecnologia em processos magnéticos de gravação e armazenamento de informações (WANG, 2008), em catálise, e na área médica como agentes de contraste para Imagem por Ressonância Magnética





(IRM) (CORR, 2008), para liberação controlada de drogas, e tratamento de câncer por hipertermia (BALIVADA, 2010; KITA, 2010).

Materiais nanométricos compostos por polímeros condutores elétricos e nanopartículas magnéticas (NPMs) têm sido estudados, objetivando a obtenção desses fluidos "inteligentes", que podem apresentar, de forma simultânea, propriedades condutoras e magnéticas (BOBER, 2016; DE ARAUJO, 2010, 2015a, 2015b; J. G. MONSALVE, 2019). A rede polimérica na qual as NPMs podem estar distribuídas, além de conferir propriedades adicionais ao material, pode estabilizá-las, evitando sua aglomeração (DENG, 2003; LI, 2007). Dentre os materiais magnéticos utilizados na síntese de fluidos ER-MR (SLAVOV, 2010), as nanopartículas de óxido de ferro despertam grande interesse tecnológico devido às suas propriedades magnéticas, catalíticas e ópticas (CORNELL, 2003; DE ARAUJO, 2010). Várias outras nanopartículas de diversos metais que apresentem propriedades magnéticas, podem ser testadas na produção dos fluidos. Com relação aos polímeros utilizados, a polianilina (PANI) é bastante interessante devido a facilidade de síntese da fase esmeraldina (condutora elétrica) da mesma, alta estabilidade, versatilidade na obtenção de pós, filmes ou fluidos (DE ARAUJO 2015a, 2015b; DE BARROS, 2003; LARANJEIRAS, 2002; MACDIARMID, 1985). Nosso grupo já demonstra domínio na síntese desse tipo de material compósito (DE ARAUJO, 2010) e nos estudos das propriedades dos mesmos, em termos de condutividade elétrica (DE ARAUJO, 2015a) e comportamento magnético (DE ARAUJO, 2015b; MONSALVE, 2019).

Outra classe de aplicação dos nanocompósitos que se propõe estudar no desenvolvimento deste projeto, porém na área ambiental, é a classe de materiais com altas áreas superficiais, propriedades magnéticas e alta afinidade adsortiva a determinadas substâncias, classificadas como poluentes. Uma das opções é a combinação de NPMs com materiais porosos e/ou nanoestruturados, resultando em nanocompósitos multifuncionais (DANTAS, 2016; RAMOS, 2016, DAMASCENO, 2020; ASSIS, 2020; ALENCAR 2020). Os materiais porosos apresentam áreas superficiais variando entre algumas centenas até mais de 1000 m²/g. É possível adicionar funcionalidade extra ao material poroso se as nanopartículas forem incluídas, formando assim um nanocompósito magnético (DAMASCENO, 2020; ASSIS, 2020; ALENCAR, 2020; NAIRAT, 2015), que pode ser empregado como agente na remoção de resíduos. Marsalek M. et al. (2012), propuseram o uso de nanopartículas contendo Fe^o como uma alternativa eficiente e ambientalmente não agressiva. As nanopartículas apresentaram múltiplos modos de ação, e a vantagem da utilização dessas além de apresentarem propriedades magnéticas, são ambientalmente pouco agressivas (DE ARAUJO 2015a; DA NA, 2017). O magnetismo das NPs é uma propriedade crucial, pois facilita a remoção dos contaminantes aderidos às mesmas, com a simples aplicação de um campo magnético externo (DAMASCENO, 2020).

Visando a aplicação desses materiais nanoestruturados como fluidos eletromagnetorreológicos e adsorventes de poluentes, pretende-se sistematizar e otimizar metodologias para a obtenção desses materiais, dependendo das propriedades desejadas (condutividade elétrica, magnetismo, altas áreas superficiais, etc). Serão estudados os parâmetros de estabilização das NPMs quando distribuídas em redes poliméricas e em meio líquido (diversos solventes), para a obtenção de suspensões estáveis e que respondam a estímulos externos que provoquem modificações nas suas propriedades reológicas.





Também serão estudados os parâmetros sintéticos de materiais nanoestruturados com NPMs para aplicações na adsorção de poluentes, tais como corantes advindos da indústria têxtil e/ou alimentícia, metais pesados, agrotóxicos, dentre outros. Na área de adsorção de poluentes nosso grupo de pesquisa vem reportando na literatura alguns resultados já alcançados através de pesquisas desenvolvidas por nossos estudantes de iniciação científica (DAMASCENO, 2020; ALENCAR 2020; ASSIS, 2020 e DE OLIVEIRA, 2020).

3. Objetivos

Geral:

Desenvolver nanocompósitos compostos por nanopartículas magnéticas, que apresentem propriedades condutoras, altas áreas superficiais e alto poder de adsorção de poluentes, para aplicação nas áreas da engenharia e ambiental.

Específicos:

- Síntese de nanopartículas magnéticas (NPMs);
- Preparação de nanocompósitos magnéticos com polímeros, materiais carbonáceos, grafites, dentre outros;
- Estudar através de tratamento estatístico adequado os parâmetros das sínteses dos nanocompósitos;
- Caracterização dos materiais sintetizados por difratometria de raios-X, microscopia eletrônica de varredura, espectroscopia por dispersão de energia, medidas de condutividade elétrica, medidas das propriedades magnéticas, espectroscopia nas regiões do infravermelho e do UV-Vis, análises porosimétricas e termogravimétricas;
- Estudo das condições de síntese através das respostas obtidas pelo tratamento estatístico visando a obtenção de nanocompósitos com as melhores propriedades desejadas, sendo elas: magnéticas, condutoras ou adsortivas;
- Testar a dispersão dos materiais em solventes e/ou sistemas de solventes e estudar a estabilidade dos mesmos:
- Estudar as propriedades reológicas dos compósitos para aplicações como dispositivos na área de engenharia;
- Estudar o poder de adsorção de diversos poluentes pelos nanocompósitos, fazendo as análises cinéticas, isotérmicas e termodinâmicas do processo;





Estudar os processos dessortivos dos poluentes adsorvidos aos nanocompósitos para a recuperação dos mesmos através da separação do poluente.

4. Metodologia

1. Preparação das nanopartículas magnéticas (NPMs):

O método sonoquímico que será utilizado neste trabalho envolve a adição de base (NaOH ou NH₄OH) a uma solução de íons metálicos, por exemplo, ferro (FeSO₄.7H₂O), sob ultrassom. Outros metais de partida podem ser utilizados para produção de ferritas com outros metais como níquel ou colbalto. O pó obtido por precipitação no final da síntese, é filtrado, lavado com solução de HCl (0,01 mol/L) e água sob centrifugação, depois é seco sob rotaevaporação.

2. Preparação dos fluidos eletromagnetorreológicos (ER-MR):

Utilizaremos a rota desenvolvida por nós para a obtenção dos nanocompósitos (DE ARAUJO, 2010). Resumidamente, uma solução de sulfato ferroso (podendo-se utilizar outras fontes de ferro ou outros metais) é convertida sob ultrassom e controle de pH, a nanopartículas de óxido de ferro. Em seguida essas NPs são adicionadas a uma solução aquosa ácida de anilina. A polimerização ocorre *in situ*, gerando um nanocompósito híbrido de polianilina-óxido de ferro com propriedades de condução de eletricidade e magnéticas. Uma pequena quantidade do nanocompósito será dispersa em líquidos diversos (água, alcoóis, ácidos, tensoativos, e misturas de solventes compatíveis), sob ultrassom. A dispersão será acompanhada visualmente (verificação de precipitação, por exemplo), e caracterizada quantitativamente (espalhamento de luz, microscopia, medidas de potencial zeta, etc). A capacidade da suspensão em formar filmes também poderá ser testada, uma vez que diversos dispositivos podem ser idealizados a partir da deposição do material em camadas. Assim, a suspensão será espalhada sobre uma superfície de vidro ou silício, e sujeita a vácuo, para remoção do solvente. O material sólido resultante será testado em termos de espessura, homogeneidade da camada formada, condutividade elétrica, comportamento magnético, etc.

3. Preparação dos nanocompósitos para adsorção de poluentes:

As sínteses dos nanocompósitos para adsorção de poluentes serão feitas partindo-se de materiais orgânicos (como bagaço ou folhas de cana-de-açúcar, casca de coco, palhas de milho) que serão tratados, lavados, secos e macerados em almofariz, ou de materiais carbonáceos obtidos comercialmente, como grafites. Os pós serão submetidos à síntese por via hidrotermal, as condições de tempo e temperatura no sistema, podem ser variadas, com o objetivo de obter os materiais com alta área superficial (DO NASCIMENTO 2018; DAMASCENO, 2020). A incorporação das NPMs aos carbonos nanoestruturados será feita através da mistura mecânica de ambos e mais uma vez submetidos à síntese hidrotermal. Os híbridos obtidos serão testados na adsorção de soluções padrão de corantes, fármacos, agrotóxicos (ou substâncias tóxicas usadas nos mesmos) e soluções de metais pesados. A capacidade adsortiva dos





híbridos frente aos poluentes estudados será acompanhada por espectroscopia UV-Vis ou análises de absorção atômica. Isotermas de adsorção serão construídas e o perfil físico-químico das mesmas será estudado. Os sistemas com melhores eficiências adsortivas serão aplicados em amostras de efluentes reais, a estabilidade e reversibilidade dos processos de adsorção e dessorção de contaminantes serão estudadas.

4. Caracterização e aplicação dos sistemas obtidos:

Os nanocompósitos (sólidos, em suspensão ou em filmes) obtidos, serão caracterizados por microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia de dispersão de energia (MEV/EDS). Isto permitirá a determinação da morfologia e tamanho das partículas, bem como da qualidade dos filmes formados. A condutividade elétrica será determinada por medidas de duas e de quatro pontas, já bem estabelecidas para esses sistemas, e se necessário por espectroscopia de impedância, técnica que já utilizamos em nossos materiais (DE ARAUJO, 2015a). A magnetometria de amostra vibrante (VSM) será utilizada para caracterizar o comportamento magnético dos materiais, incluindo os fluidos obtidos. Análises complementares como Difratometria por Raios-X (DRX), espectroscopia de absorção no infravermelho (IV), porosimetria, análise termogravimétrica (TGA) ou Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) poderão ser necessárias e estas técnicas estão disponíveis na UACSA e nos Departamentos de Química Fundamental (DQF) e de Física (DF) da UFPE. A coordenadora desse projeto tem experiência no uso e/ou acesso a vários desses equipamentos. As propriedades reológicas das suspensões podem ser testadas por um reômetro em configuração de placas disponível no DF-UFPE.

5. Resultados esperados

Os nanocompósitos sintetizados para aplicações como fluidos ER-MR, após serem caracterizados, serão analisados do ponto de vista do comportamento eletromagnetorreológico. Essas propriedades serão essenciais para classificar o fluido e/ou nanocompósito e estabelecer suas possíveis aplicações na área da engenharia. Dependendo desses resultados, os fluidos poderão ser testados para impressão de nanodispositivos que respondam a estímulos externos através da mudança de suas propriedades. Esse material também poderá ser obtido na forma de filmes, e as propriedades mecânicas (flexão, tração, impacto, resistência, etc) poderão ser estudadas visando a aplicação na área de engenharia.

Para a aplicação de materiais como adsorventes de poluentes, já temos alguns materiais sintetizados e caracterizados, alguns já foram testados e se mostraram bastante promissores, com área superficial adequada e comportamento favorável (DAMASCENO, 2020; ALENCAR, 2020; ASSISS, 2020). Os artigos científicos, com aplicação desses materiais na adsorção de corantes, foram publicados em revistas de circulação internacional e nacional. A publicação desses trabalhos tem gerado visibilidade do nosso grupo de pesquisa gerando convites para participação e apresentação de trabalhos em congressos, por exemplo.





Com o desenvolvimento deste projeto espera-se obter, além de materiais já conhecidos, novos materiais ainda inéditos para aplicação nas áreas de engenharia e ambiental. O projeto será em sua maior parte, executado por estudantes de iniciação científica e/ou pós-graduação. É, portanto, de suma importância destacar a contribuição do mesmo para a formação de recursos humanos em particular na UACSA-UFRPE. Será propiciado aos estudantes o contato com a pesquisa científica através das várias áreas da engenharia, da química de materiais e ambiental.

6. Cronograma de atividades

Semestre Atividade	1	2	3	4	5	6	7	8
I	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х
II	X	Х	Х	Х				
III	X	Χ	Х		Х	XX		
IV		Χ	Х	Х	Х	Х		
V		Χ		Х	Х	Х	Х	
VI		Χ		Х	Х	Х	Х	
VII		Х		Х	Х	Х	Х	Х
VIII		Χ	Х	Х	Х	Х	Х	
IX				X	Х	X	Х	Х
Х		Χ		X	X	X	Х	
XI		Χ		Х	Х	Х	Х	Х
XII		Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х
XIII			Х	Х	Х	Х	Х	Х
XIV		Χ	Х	Х	Х	Х	Х	Х
XV		X	Х		Х	X	X	Х
XVI		X	X		Х	Х	X	Х
XVII		Х		Х		X		Х
XVIII		X		X		Х		Х

Atividade I	Pesquisa e atualização bibliográfica
Atividade II	Capacitação e treinamento dos estudantes
Atividade III	Síntese das nanopartículas magnéticas e caracterização das mesmas
Atividade IV	Síntese e estabilização dos fluidos ER-MR
Atividade V	Caracterização dos materiais sintetizados
Atividade VI	Estudo das propriedades elétricas e magnéticas dos nanocompósitos
Atividade VII	Dispersão dos fluidos em soluções e fabricação de filmes





Atividade VIII	Síntese dos materiais híbridos de NPMs e carbonáceos e/ou grafites				
Atividade IX	Caracterização dos materiais sintetizados				
Atividade X	Execução de planejamento estatístico para otimização dos parâmetros das sínteses				
Atividade XI	Análises estatísticas dos resultados fornecidos pelos planejamentos				
Atividade XII	Testes de adsorção dos nanocompósitos híbridos frente a soluções padrão dos poluentes escolhidos para o estudo				
Atividade XIII	Construção de isotermas de adsorção e caracterização dos sistemas adsorvente/adsorvato do ponto de vista físico-químico				
Atividade XIV	Testes de adsorção utilizando amostras de efluentes reais da indústria				
Atividade XV	Análise da estabilidade e reversibilidade dos processos de adsorção e dessorção de contaminantes nos materiais sintetizados				
Atividade XVI	Análise dos resultados				
Atividade XVII	Elaboração de artigos e trabalhos para congressos				
Atividade XVII	Elaboração de Relatórios				

7. Apoio financeiro e/ou institucional

Este projeto está ligado ao projeto FACEPE APQ 0692-1.06/15 aprovado pela coordenadora do mesmo, no ano de 2015, no valor total de R\$ 74.500,00. Esse financiamento possibilitou a montagem de um laboratório de síntese de materiais, que hoje dispõe de quase todos os equipamentos e reagentes necessários para o andamento da pesquisa do grupo da coordenadora. Além disso a coordenadora tem colaborações com a UFPE e recebe apoio dos Departamentos de Química Fundamental e Física, através dos professores que fazem parte da equipe: Prof. Eduardo H. L. Falcão, Prof. Severino Alves Jr, Prof. Petrus Santa-Cruz e Prof. Walter Mendes de Azevedo todos do DQF-UFPE e do DF-UFPE, Prof. Alexandre Ricalde e Wilson Barros Junior. No DQF existe uma Central Analítica bem equipada, cujos instrumentos são adequados para a maioria das caracterizações dos materiais sintetizados. A Central Analítica dispõe de: analisador elementar; espectrômetro FT-IR; espectrômetro de massa com GC, ressonância magnética nuclear, microscópio eletrônico de varredura (MEV), difratômetro de raios-X de pó (DRX) e equipamentos de microscopia de varredura por sonda (SPM) e um MEV com fonte de efeito de emissão de campo (FEG). Com relação à UACSA, alguns equipamentos de grande e médio porte para a caracterização de materiais já foram adquiridos e instalados: um DRX da Bruker, um MEV da TESCAN, um UV-Vis da Shimadzu e um DSC da TA instruments. As principais caracterizações dos materiais sintetizados já são feitas atualmente na UACSA.

8. Referências

ALENCAR, E. O. A.; **DE ARAÚJO, A. C. V.**; Statistical study for the use of a nanostructured material in the removal of Congo Red and Indigo Carmine dyes in aqueous medium. Revista GEAMA, Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology, 6 (3): 60-70, 2020, ISSN: 2447-0740.

ASSIS, A. M.; SILVA, K. S.; ARAUJO, M. K.; SALES, D. C.; FERREIRA, M. C.; DE ARAÚJO, A.C.V.;





- AZEVEDO, W. M.; FALCÃO, EDUARDO H. L.; Thermal synthesis of rGO and rGO-Co₃O₄ and their application as adsorbents for anionic dye removal. Colloids and Surfaces A-Physicochemical and Engineering Aspects, v.599, p.124837 124846, 2020.
- BALIVADA, S.; RACHAKATLA, R. S.; WANG, H.; SAMARAKOON, T. N.; DANI, R. K.; PYLE, M.; KROH, F. O.; WALKER, B.; LEAYM, X.; KOPER, O. B.; TAMURA, M.; CHIKAN, V.; BOSSMANN, S. H.; TROYER, D. L.; A/C magnetic hyperthermia of melanoma mediated by iron(0)/iron oxide core/shell magnetic nanoparticles: a mouse study. BMC Cancer, 10, 119, 2010.
- BARRERA, N., GUERRERO, L.; DEBUT, A.; SANTA-CRUZ, P.; Printable nanocomposites of polymers and silver nanoparticles for antibacterial devices produced by DoD technology, PLoS ONE, 13(7), e0200918, 2018.
- BOBER, P.; ZASONSKA, B. A.; HUMPOLÍCEK, P.; KUCEKOVÁ, Z.; VARGA, M.; HORÁK, D.; BABAYAN, V.; KAZANTSEVA, N.; PROKES, JAN; STEJSKAL, J.; Polyaniline-maghemite based dispersion: Electrical, magnetic properties and their cytotoxicity. Synthetic Metals, 214, 23-29, 2016.
- COELHO, R. A. L.; SANTOS, G. M. P.; AZEVEDO, P. H. S.; JAQUES, G. A.; DE AZEVEDO, W. M.; CARVALHO JR., L. B.; Polyaniline-Dacron composite as solid phase in ELISA for *Yersinia pestis* antibody detection. J. Biomed. Mater. Res., 56, 257-260, 2001.
- CORNELL, R. M.; SCHWERTMANN, U.; The Iron Oxides Structure, Properties, Reactions, Occurences and Uses; Wiley-VCH; 2nd ed.; ISBN: 3-527-30274-3, 2003.
- CORR, S. A.; BYRNE, J.; TEKORIUTE, R.; MELEDANDRI, C. J.; BROUGHAM, D. F.; LYNCH, M.; KERSKENS, C.; O'DWYER, L.; GUN'KO, Y. K.; Linear Assemblies of Magnetic Nanoparticles as MRI Contrast Agents. J. Am. Chem. Soc., 130, 4214-4215, 2008.
- CORR, S. A.; GUN'KO, Y. K.; TEKORIUTE, R.; MELEDANDRI, C. J.; BROUGHAM, D. F.; Poly(sodium-4-styrene)sulfonate-Iron Oxide Nanocomposite Dispersions with Controlled Magnetic Resonance Properties. J. Phys. Chem. Lett. C, 112, 13324-13327, 2008.
- DAMASCENO, B. S.; VIANA, A. F., **DE ARAÚJO, A. C. V.**; Dye adsorption onto magnetic and superparamagnetic Fe₃O₄ nanoparticles: a detailed comparative study; Journal of Environmental Chemical Engineering, v.8, p.103994 104006, 2020.
- **DE ARAUJO, A. C. V.**; DE OLIVEIRA, R. J.; ALVES JR., S.; DE AZEVEDO, W. M.; Localized to long-range conductivity in polyaniline/magnetite nanocomposites followed by dielectric relaxation spectroscopy. Colloid Polym Sci., 293, 1675–1683, 2015b.
- **DE ARAUJO, A. C. V.**; DE OLIVEIRA, R. J.; ALVES, JR. S.; RODRIGUES, A. R.; MACHADO, F. L. A.; CABRAL, F. A. O.; DE AZEVEDO, W. M.; Synthesis, characterization and magnetic properties of polyaniline-magnetite nanocomposites. Synthetic Metals, 160, 685-690, 2010.
- **DE ARAUJO, A. C. V.**; Sustained magnetization oscillations in polyaniline-Fe₃O₄ nanocomposites, The Journal of Chemical Physics, 143, 124706-6, 2015a.
- DE BARROS, R. A.; DE AZEVEDO, W. M.; DE AGUIAR, F. M.; Photo-induced polymerization of polyaniline. Mater. Charact., 50, 131-134, 2003.
- DE OLIVEIRA, RODRIGO LIRA; DA SILVA, MARCOS FELLIPE; DA SILVA, SUZANA PEDROZA; **DE ARAÚJO, ANA CLÁUDIA VAZ**; CAVALCANTI, JORGE VINÍCIUS FERNANDES LIMA; CONVERTI, ATTILIO; PORTO, TATIANA SOUZA; Fructo-oligosaccharides production by an Aspergillus aculeatus commercial enzyme preparation with fructosyltransferase activity covalently immobilized on Fe₃O₄-chitosan-magnetic nanoparticles. International Journal of Biological Macromolecules. v.150, p.922 929, 2020.
- DE SÁ, G.F.; MALTA, O. L.; DONEGÁ, C. M.; SIMAS, A. M.; LONGO, R. L.; SANTA-CRUZ, P. A.; DA SILVA, E. F. JR.; Spectroscopic properties and design of highly luminescent lanthanide coordination complexes. Coord. Chem. Rev., 196,165–195, 2000.





- DENG, J.; HE, C.; PENG, Y.; WANG, J.; LONG, X.; LI, P.; CHAN, A. S. C.; Magnetic and conductive Fe₃O₄–polyaniline nanoparticles with core–shell structure. Synthetic Metals, 139, 295-301, 2003.
- FANNIN, P.C.; MARIN, C. N.; MALAESCU, I.; STEFU, N.; Microwave dielectric properties of magnetite colloidal particles in magnetic fluids. J. Phys.: Condens. Matter, 19, 036104 (8pp), 2007.
- GAMEIRO, C.G.; DA SILVA E. F. JR.; ALVES, S. JR.; DE SÁ, G. F.; SANTA-CRUZ, P.A.; Molecular dosimeter developed from high efficient rare-earth complexes: UV-A, UV-B and UV-C responses. Mater. Sci. Forum., 315–317, 249–256, 1999.
- GUO, B. Q.; TENG, X.; YANG, H.; Fabrication of magnetic FePt patterns from Langmuir-Blodgett films of Platinum-Iron oxide core-shell nanoparticles. Adv. Mater., 16, 1337-1341, 2004.
- IÇTEN E, GIRIDHAR A, NAGY Z, REKLAITIS G. Drop-on-Demand System for Manufacturing of Melt-based Solid Oral Dosage: Effect of Critical Process Parameters on Product Quality. AAPS PharmSciTech., 17(2), 284–293, 2016.
- JIANG, J-S.; GAN, Z-F.; YANG, Y.; DU, B.; QIAN, M.; ZHANG, P.; A novel magnetic fluid based on starch-coated magnetite nanoparticles functionalized with homing peptide. J Nanopart. Res.; 11, 1321-1330, 2009.
- KITA, E.; HASHIMOTO, S.; KAYANO, T.; MINAGAWA, M.; YANAGIHARA, H.; KISHIMOTO, M.; YAMADA, K.; ODA, T.; OHKOHCHI, N.; TAKAGI, T.; KANAMORI, T.; IKEHATA, Y.; NAGANO, I.; Heating characteristics of ferromagnetic iron oxide nanoparticles for magnetic hyperthermia. J. Appl. Phys., 107, 09B321-3, 2010.
- LARANJEIRAS, J. M. G.; KHOURY, H. J.; DE AZEVEDO, W. M.; DA SILVA JR., E. F.; VASCONCELOS, E. A.; Conducting polymer/silicon heterojunction diode for gamma radiation detection. Radiat. Prot. Dosim., 101(1-4), 85-88, 2002.
- LI, L.; JIANG, J.; XU, F.; Synthesis and ferrimagnetic properties of novel Sm-substituted LiNi ferrite-polyaniline nanocomposite. Mater. Lett., 61, 1091-1096, 2007.
- LONG, N. G. W.; YEONG, W. Y.; NAING, M. W.; Polyvinylpyrrolidone-Based Bio-Ink Improves Cell Viability and Homogeneity during Drop-On-Demand Printing. Materials 10, 190, 2017.
- MACDIARMID, A. G.; CHIANG, J. C.; HALPERN, M.; HUANG, W. S.; MU, S-L.; NANAXAKKARA, L. D.; WU, S. W.; YANIGER, S. I.; Polyaniline": Interconversion of Metallic and Insulating Forms. Mol. Cryst. Lig. Cryst., 121, 173-180, 2011.
- MONSALVE, J. G.; RODRIGUES, A. R.; **DE ARAÚJO, A. C. V.**; DE AZEVEDO, W. M.; MACHADO, F. L. A.; Magnetization oscillations in polyaniline-γFe₂O₃ nanocomposites. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, v.487, p.165312, 2019.
- NOH, J.; HONG, S.; YOON, C-M.; LEE, S.; JANG, J.; Dual external Field-responsive polyaniline-coated magnetite/silica nanoparticles for smart fluid applications. ChemComm, 53, 6645-6648, 2017.
- PAUL, D. R.; ROBESON, L. M.; Polymer nanotechnology: Nanocomposites. Polymer, 49, 3187-3204, 2008.
- QUIRINO, W.; REYES, R.; LEGNANI, C.; NOBREGA, P. C.; SANTA-CRUZ, P. A.; CREMONA, M.; Eu-β-diketonate complex OLED as UV portable dosimeter. Synthetic Metals, 161, 964–968, 2011.
- SANTOS, E.; ALBO, J.; IRABIEN, A.; Magnetic ionic liquids: synthesis, properties and applications. RSC Advances, 4, 40008-40018, 2014.
- SLAVOV, L.; ABRASHEV, M. V.; MERODIISKA, T.; GELEV, CH.; VANDENBERGHE, R. E.; MARKOVA-DENEVA, I.; NEDKOV, I.; Raman spectroscopy investigation of magnetite nanoparticles in ferrofluids. J. Magn. Magn. Mater.; 322, 1904-1911, 2010.
- SOUSA, F. L. N.; Mojica-Sánchez, L. C.; Gavazza, S.; Florencio, L.; Vaz, E. C. R.; Santa-Cruz, P. A.; Printable UV personal dosimeter: sensitivity as a function of DoD parameters and number of layers of a functional photonic ink. Mater. Res. Express, 3, 045701-10, 2016.





UPADHYAY, R. V.; GUPTA, A.; SUDAKAR, C.; RAO, K. V.; Effect of rare-earth Ho ion substitution on magnetic properties of Fe₃O₄ magnetic fluids. J. Applied Physics, 99 08M906, 2006.

WANG, J-P.; FePt Magnetic Nanoparticles and Their Assembly for Future Magnetic Media. Proc. IEEE, 96, 1847-1863, 2008.

WU, Y.; XING, S.; JING, S.; ZHOU, T.; ZHAO, C.; Preparation of polyaniline/Fe₂O₃ composite dispersions in the presence of dodecylbenzene sulfonic acid. e-Polymers, 103, 1-7, 2007.

XU, X. Q.; SHEN, H.; XU, J. R.; LI, X. J.; XIONG, X. M.; Core-shell structure and magnetic properties of magnetite magnetic fluids stabilized with dextran. Applied Surface Science, 252, 494-500, 2005.

ZHANG, Z.; WAN, M.; Nanostructures of polyaniline composites containing nano-magnet. Synthetic Metals, 132, 205-212, 2003.

ZHAO, D-L.; ZHANG, H-L.; ZENG, X-W.; XIA, Q-S.; TANG, J-T.; Inductive heat property of Fe₃O₄/polymer composite nanoparticles in an *ac* magnetic field for localized hyperthermia. Biomed Mater., 1(4), 198-201, 2006.