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

PROJETO DE PESQUISA

Design, obtenção e caracterização de óxidos cerâmicos nanoestruturados para aplicações ambientais, energéticas e industriais

COORDENADOR:

Vinícius Dantas de Araújo

Fevereiro de 2022

Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho - UACSA
Rua Cento e Sessenta e Três, 300 – Garapu
54518-430 Cabo de Santo Agostinho/PE
www.ppengfis.ufrpe.br

I- IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO

1- Título	
Design, obtenção e caracterização de óxidos cerâmicos nanoestruturados para aplicações ambientais, energéticas e industriais	
2- Vigência	
Início previsto (mês/ano):	02/2022
Término previsto (mês/ano):	01/2026
3- Classificação da área do projeto (classificação definida pelo CNPq)	
Nome da área :	Engenharias
Número do código:	3.00.00.00-9
Nome da sub-área :	Engenharia de Materiais e Metalúrgica
Número do código:	3.03.00.00-2
Nome da especialidade:	Materiais não Metálicos (Cerâmicos)
Número do código:	3.03.05.00-4 (3.03.05.02-0)
4- Linhas de pesquisa do PPENGFIS contempladas no projeto	
☒	Materiais Nanoestruturados
☒	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	• síntese química
• materiais cerâmicos	• catálise
• energia	

Cabo de Santo Agostinho, 03 de fevereiro de 2022

Coordenador: Vinícius Dantas de Araújo
(SIAPE: 2144582)

Dr. Vinicius Dantas
Professor - UACSA
SIAPE: 2144582

6- Participantes docentes:

Nome:	Vinícius Dantas de Araújo
CPF:	32864249863
E-mail:	Vinicius.dantas@ufrpe.br
Bolsista do CNPq:	○ NÃO ◉ SIM Se sim, qual nível?: 2
Função:	Coordenador ☒ Colaborador ☐

Nome:	
CPF:	
E-mail:	
Bolsista do CNPq:	○ NÃO ○ SIM Se sim, qual nível?:
Função:	Coordenador ☐ Colaborador ☐

Nome:	
CPF:	
E-mail:	
Bolsista do CNPq:	○ NÃO ○ SIM Se sim, qual nível?:
Função:	Coordenador ☐ Colaborador ☐

Nome:	
CPF:	
E-mail:	
Bolsista do CNPq:	○ NÃO ○ SIM Se sim, qual nível?:
Função:	Coordenador ☐ Colaborador ☐

II- DETALHAMENTO DO PROJETO

1. Resumo

Os materiais nanoestruturados vêm sendo extensivamente estudados, não somente pelas novas propriedades e suas possíveis aplicações tecnológicas, mas também pela busca de uma melhor compreensão dos aspectos físicos e químicos causados por suas reduzidas dimensões. A utilização de novas rotas de síntese de materiais nanoestruturados tem levado a obtenção de materiais apresentando formas anisotrópicas, que podem dar origem a novas propriedades e aplicações. Entre essas rotas, as sínteses de nanopartículas através dos métodos químicos têm se mostrado muito eficiente na obtenção de materiais apresentando um alto grau de anisotropia em sua forma. As propriedades físico-químicas destes óxidos são diretamente dependentes do método de síntese e da morfologia das partículas. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo realizar a síntese e a caracterização de nanopartículas de materiais óxidos cerâmicos com diferentes morfologias. A síntese química utilizada neste trabalho é o método hidrotérmico assistido por micro-ondas. As técnicas de caracterização a serem utilizadas são difração de raios X, microscopia eletrônica de varredura, BET (Brunauer Emmett Teller) e espectroscopia UV-vísivel. Em complemento serão realizados testes de aplicação das nanopartículas em diversas áreas: ambiental (degradação de poluentes via fotocatálise), energética (produção de hidrogênio através da reforma a vapor de etanol) e industrial (utilização como pigmentos).

2. Introdução

O limite tecnológico dos atuais micro-dispositivos tem estimulado uma ampla pesquisa visando diminuir seu tamanho em pelo menos uma ordem de magnitude e os nanomateriais são considerados uma das opções para atingir esse objetivo (WANG; CAO, 2006).

Além da redução da dimensão que se torna a cada dia mais necessária, visando diminuir a agressão ao meio ambiente, tem se buscado também o uso de materiais menos tóxicos e de menor consumo de energia. É bem estabelecido que a obtenção de um determinado material na forma de nanopartículas provoca uma mudança significativa em suas propriedades estruturais, físicas e químicas (RAO; CHEETHAM, 2001). Dos fatores mais significativos que causam estas modificações temos o aumento da razão da área superficial com relação ao volume, que ocorre à medida que as dimensões das partículas diminuem, e leva a um predomínio progressivo das propriedades dos átomos que estão na superfície da partícula sobre aqueles que estão em seu interior (volume). Este fato afeta tanto as propriedades da partícula de forma isolada como sua interação com outras partículas ou com outros materiais. Os materiais catalisadores são um bom exemplo onde a razão entre a área superficial e o volume da amostra é considerado um fator crítico em seu desempenho. Recentemente, tem sido mostrado também que a obtenção de nanomateriais apresentando formas anisotrópicas leva a modificação de suas propriedades físicas e químicas (WANG; CAO, 2006).

Em relação às aplicações ambientais destes nanomateriais, podemos citar o caso das indústrias têxteis, que são potenciais contaminantes de corpos hídricos, principalmente devido aos corantes utilizados durante o processo de tingimento. Esses são, na sua maioria, constituídos de estruturas químicas complexas, o que dificulta a identificação dos compostos contaminantes e sua adequada remoção. Existem mais de 100 mil marcas de corantes comerciais que produzem, anualmente, cerca de 700 mil toneladas do produto (CRINI, 2006; ROBINSON et al., 2001), das quais, estima-se, até 10% são perdidas durante a sua aplicação (FORGACS; CSERHATI; OROS, 2004).

Métodos convencionais utilizados para tratamento de água, tais como precipitação, coagulação/floculação, ozonizador, método eletroquímico, troca iônica, adsorção etc, têm limitações inerentes por serem menos eficientes e levam à produção de lodo secundário. Fotocatálise heterogênea está ganhando muita importância no tratamento de águas residuais nas últimas décadas. Esta técnica pode ser

utilizada eficazmente para a remoção de poluentes orgânicos e inorgânicos da água, sendo o óxido de zinco um material promissor nesta área (KUSUMAM et al., 2016).

Os materiais cerâmicos nanoestruturados também possuem diversas aplicações em áreas energéticas, tendo como exemplo a produção de catalisadores cerâmicos nanométricos utilizados no que se chama de tecnologia do hidrogênio.

Os combustíveis fósseis, como petróleo e carvão, além de submeterem os países à instabilidade de preços e gerarem resíduos que comprometem as condições ambientais, um dia estarão esgotados. Deste modo, torna-se atrativa a busca de rotas alternativas para geração de energia (MAIA et al., 2007). A tecnologia do hidrogênio é considerada a energia do futuro. A produção de hidrogênio através da reforma a vapor do etanol é uma alternativa com vantagens ambientais e cria oportunidades para utilização de recursos renováveis (HARYANTO et al., 2005).

O uso do etanol, obtido no Brasil, através da cana-de-açúcar, matéria-prima renovável, apresenta vantagens do ponto de vista ambiental, pois, não contribui com o aumento da concentração de CO_2 na atmosfera, tendo em vista que todo o CO_2 produzido ao longo do processo de geração de hidrogênio é, posteriormente, consumido na renovação da safra (MAIA et al., 2007).

A reforma a vapor é o processo termoquímico mais amplamente utilizado para produzir H_2 a partir de matérias-primas como o gás natural, carvão, metanol, etanol ou até mesmo gasolina, além de ser um processo termodinamicamente viável (HARYANTO et al., 2005). Estequiometricamente, a reação global para produção de H_2 através da reforma a vapor de etanol pode representada como:

$$C_2H_5OH + 3H_2O \rightarrow 2CO_2 + 6H_2. \qquad (1.1)$$

No entanto, neste processo a reação pode seguir diversos caminhos dependendo do catalisador utilizado. A intenção do processo de reforma é obter o máximo possível de H_2 e CO_2 através do craqueamento de C_2H_5OH na presença de vapor ao longo de um catalisador. No entanto, a reação global é muito complexa e envolve mais de uma dúzia de produtos potenciais. Portanto, é importante reduzir a produção de compostos intermediários indesejáveis. Devem-se evitar reações que levam a obtenção de espécies C_4 e C_2H_4. Em especial, a presença de C_2H_4 dificulta a produção de H_2, induzindo os caminhos para a produção de carbono e, assim, causa a desativação dos catalisadores por formação de coque na superfície dos mesmos (DE LIMA et al., 2009; HARYANTO et al., 2005).

As naturezas do suporte e do metal influenciam diretamente na estabilidade catalítica durante as reações de conversão de etanol. Apesar de sua baixa atividade em comparação a metais suportados, catalisadores de óxidos metálicos podem ser utilizados para produzir hidrogênio virtualmente livre de CO e com pouco carbono depositado na superfície do catalisador, dadas as condições apropriadas de reação (DE LIMA et al., 2009).

Céria e óxidos mistos contendo céria são potenciais candidatos como catalisadores ativos na reforma a vapor de etanol devido sua alta capacidade de armazenar oxigênio e devido sua habilidade de promover a dissociação de moléculas do tipo ROH (como H_2O e etanol). Também, foi proposto que a forte interação metal-suporte previne a sinterização de partículas metálicas que podem contribuir para a desativação do catalisador (DE LIMA et al., 2009). Em particular, verificou-se que o sistema catalítico CoO-CeO_2 é altamente ativo e excepcionalmente seletivo para produção de hidrogênio a partir da reforma de etanol (DE LIMA et al., 2009; SONG; TAN; OZKAN, 2009; ZHANG et al., 2006).

Podemos citar alguns materiais cerâmicos que se enquadram nestas aplicações, sendo os principais o ZnO e o CeO_2. Os materiais à base de óxido de zinco (ZnO) são de grande interesse para a indústria de dispositivos optoeletrônicos, como células solares (CHOPRA; MAJOR; PANDYA, 1983), sensores de gás (BENDER et al., 2002), óxidos condutores transparentes (TCO) (LEE; KO; PARK, 2003), espelhos refletores de calor (KOSTLIN; FRANK, 1982) entre outras aplicações. É destacada sua utilização como TCO (Transmitância ótica superiores a 80% e resistividade elétrica na ordem de grandeza em torno de 10-

3 W.cm) devido as elevadas propriedades óticas e elétricas, boa estabilidade química (NUNES; FORTUNATO; MARTINS, 2001), energia de gap ótico em torno de 3,30 eV (TOKUMOTO et al., 2002), além da alta abundância natural e baixa toxicidade (KOSTLIN; FRANK, 1982).

CeO_2 é um óxido quimicamente estável, com uma notável capacidade de armazenar ou liberar oxigênio. Esta propriedade está relacionada com a variação do estado de oxidação do cério entre +3 e +4 sob condições redutoras ou oxidantes (KOPIA et al., 2008). O CeO_2 apresenta diversas aplicações, como sensor de gás de resposta rápida, detectores de raios ultravioleta e dosímetros de radiação gama (LI et al., 2009). Pode ser utilizado como aditivo em vidros (2-4%) para proteger materiais sensíveis à luz, como revestimento para proteção contra corrosão de metais, como catalisador oxidante e como contra-eletrodo em dispositivos eletrocrômicos (WANG et al., 2002).

Do ponto de vista da síntese desses materiais, o grande desafio está no controle do processo, permitindo a obtenção de materiais nanoestruturados com composição química, formas e tamanhos homogêneos. Os métodos de obtenção de materiais nanoparticulados baseados em sínteses químicas parece ser uma das boas opções para vencer tais desafios (XIA et al., 1999).

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo realizar a síntese e a caracterização de nanopartículas de materiais óxidos cerâmicos com diferentes morfologias. A síntese química utilizada neste trabalho é o método hidrotérmico assistido por micro-ondas. As técnicas de caracterização a serem utilizadas são difração de raios X, microscopia eletrônica de varredura, BET (Brunauer Emmett Teller) e espectroscopia UV-vísivel. Em complemento serão realizados testes de aplicação das nanopartículas em diversas áreas: ambiental (degradação de poluentes via fotocatálise), energética (produção de hidrogênio através da reforma a vapor de etanol) e industrial (utilização como pigmentos).

3. Objetivos

Geral:

Este projeto tem como objetivo realizar a síntese e a caracterização de nanopartículas de materiais óxidos cerâmicos com diferentes morfologias. A síntese química utilizada neste trabalho é o método hidrotérmico assistido por micro-ondas.

Específicos:

- Realizar a síntese de diversos materiais cerâmicos nanoestruturados (Exemplo: ZnO, CeO2, dentre outros);
- Realizar o design de novos materiais através de simulações computacionais
- Realizar a caracterização estrutural, óptica e morfológica das nanopartículas obtidas;
- Estudar a eficiência destes materiais em diversas áreas em particular: ambiental (degradação de poluentes via fotocatálise), energética (produção de hidrogênio através da reforma a vapor de etanol) e industrial (utilização como pigmentos);

4. Metodologia

4.1. Síntese pelo método hidrotérmico assistido por micro-ondas

O processo de hidrotermalização assistida por micro-ondas é genuinamente uma técnica aplicada as sínteses de baixas temperaturas (KOMARNENI; RAJHA; KATSUKI, 1999) e curtos tempos com altas taxas de aquecimento em relação à própria hidrotermalização convencional ou ainda ao método dos precursores poliméricos e misturas de óxidos (GAO; LU; KOMARNENI, 2006).

Neste processo a radiação eletromagnética (micro-ondas) age diretamente sobre os dipolos permanentes da água (solvente), os quais oscilam e transferem energia em forma de calor para o soluto, auxiliando assim em seu processamento (BARBOZA et al., 2001). Recentemente, aquecimento via micro-ondas têm atraído a atenção dos pesquisadores como uma nova ferramenta para a síntese de nanopartículas. O tamanho das partículas pode ser controlado tanto através da concentração dos regentes quanto pela potência das micro-ondas (SINGH et al., 2004).

Dentre as vantagens relacionadas ao processo da síntese hidrotérmica assistida por micro-ondas encontram-se: (a) que a cinética de reação é fortemente afetada por uma pequena variação na temperatura; (b) que há direta interação da radiação eletromagnética com a matéria, otimizando o processamento (c) que novos produtos metaestáveis podem ser formados; (d) que monocristais são geralmente obtidos; (e) que produtos de alta pureza podem ser obtidos a partir de precursores impuros; (f) que na maioria dos casos nenhum precipitante é requerido e assim a reação é menos onerosa; (g) que a poluição é minimizada devido às condições de síntese (KOMARNENI, 2003).

Os óxidos de cerâmicos nanoestruturados serão sintetizados por esse sistema com temperaturas, tempos de processamento e taxas de aquecimentos apropriados a cada sistema. Após a hidrotermalização os pós serão lavados com água deionizada e etanol por centrifugação ou decantação para a retirada do excesso de bases e /ou surfactante e secos em estufa a 60°C para as posteriores caracterizações.

4.2. Técnicas de caracterização

Na caracterização física e química das amostras, utilizaremos em grande parte a infra-estrutura existente no CENAPESQ – UFRPE e nos grupos de pesquisa pertencentes ao Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia dos Materiais em Nanotecnologia (INCTMN) e o Centro Multidisciplinar de Desenvolvimento de Materiais Cerâmicos/Centro para o Desenvolvimento de Materiais Funcionais (CMDMC/CDMF). Destacamos a seguir de forma resumida alguns detalhes das técnicas mais importantes na realização desse trabalho, sendo que todas as técnicas mencionadas são de domínio dos Grupos de Pesquisas envolvidos na proposta ou de pesquisadores com os quais mantemos estreita colaboração.

A morfologia e as propriedades físicas e químicas serão avaliadas através de técnicas convencionais de caracterização como difração de raios X (Rigaku Geigerflex (Goniômetro horizontal), com incidência normal, radiação de CuKα e com monocromador de LiF100, instalado no departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte), microscopia eletrônica de varredura (FEG-MEV, Zeiss modelo Supra 35, disponível no INCTMN), BET (Brunauer Emmett Teller) (Micromeritcs, modelo ASAP 2000, utilizando N2 como gás de adsorção/desorção, instalado no Grupo Crescimento de Cristais e Materiais Cerâmicos da Universidade de São Paulo), espectroscopia UV-vísivel (UV-2600 (Shimadzu) na região de 200-800 nm, instalado no CENAPESQ - UFRPE).

O design de novos materiais será realizado através de simulações computacionais em softwares específicos (Crystal, GSAS, Dassault) e softwares convencionais de programação (MatLab, Mathematica, MatCad, Maple).

Os testes de fotocatálise utilizando corantes padrões assim como amostras de efluentes da

indústria têxtil, serão realizadas no departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

As reações de reforma a vapor de etanol serão feitas em escala de bancada, usando uma unidade de fluxo contínuo, usando reator de quartzo, sistema de controle de temperatura, pressão e vazão, sistema analítico on line (cromatógrafo a gás). A as reações serão realizadas em colaboração com o Prof. Dr. Jorge David Alguiar Bellido, da Universidade Federal de São João Del-Rei.

5. Resultados esperados

As principais contribuições podem ser avaliadas em função dos impactos científicos e tecnológicos e dos resultados esperados.

Impacto Científico:

- Formação de recursos humanos por meio de alunos de iniciação científica, mestrado, doutorado e pós-doc que poderão auxiliar no desenvolvimento deste projeto com pesquisas correlatas ao tema proposto.
- Estruturação da pesquisa científica na Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho: O projeto visa a aquisição e instalação da infra-estrutura de pesquisa nesta unidade acadêmica da Universidade Federal Rural de Pernambuco, que começou suas atividades no ano de 2014.
- Interação com diferentes grupos de pesquisa: O projeto envolve a colaboração de doutores com experiência nas áreas de atuação: Carlos Alberto Paskocimas, Mauricio Bomio Delmonte e Fabiana Villela da Motta, do departamento de Engenharia de Materiais do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – área de síntese de óxidos cerâmicos nanoestruturados; Maria Inês Basso Bernardi, do Grupo Crescimento de Cristais e Materiais Cerâmicos (IFSC/USP) pertencente ao Centro Multidisciplinar de Desenvolvimento de Materiais Cerâmicos (CMDMC) e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia dos Materiais em Nanotecnologia (INCTMN) – área de síntese de óxidos cerâmicos nanoestruturados; Jorge David Alguiar Bellido da Universidade Federal de São João Del-Rei– área de catálise.
- Publicação e apresentação de trabalhos em eventos nacionais e internacionais.
- Publicação de artigos em periódicos nacionais e internacionais.

Impacto Tecnológico:

- Otimização do método hidrotérmico assistido por micro-ondas para produção de nanocristais com potencial aplicação ambiental, energética e industrial.
- Desenvolvimento de produtos com efetiva aplicação tecnológica para empresas da área.

Resultados Esperado

- Formação de mão de obra especializada na área de síntese pelo método hidrotérmico assistido por micro-ondas para a obtenção de pós nanométricos e cristalinos visando à produção de um material com potencial de aplicação industrial.
- Possibilidade de transferência de tecnologia ao permitir que haja formação de recursos humanos, intercâmbios com centros de pesquisas e instituições, registro de patente, planejamento de protótipo para produção em escala piloto e incubação de empresa.
- Artigos para publicações em periódicos nacionais e internacionais relevantes na área.
- Trabalhos para apresentação e publicação em eventos regional, nacional e/ou internacional de grande impacto na área.

6. Cronograma de atividades

Semestre / Atividade	1	2	3	4	5	6	7	8
I	X	X	X	X	X	X	X	X
II	X	X	X	X	X	X		
III		X	X	X	X	X		
IV				X	X	X	X	X
V		X	X	X	X	X	X	X
VI			X	X	X	X	X	X
VII				X				X

Atividade I	Revisão e atualização bibliográfica
Atividade II	Síntese das nanopartículas
Atividade III	Caracterização físico-quimica
Atividade IV	Aplicação das nanopartículas
Atividade V	Análise dos resultados
Atividade VI	Artigos, trabalhos para congressos
Atividade VII	Relatórios

7. Apoio financeiro e/ou institucional

Projetos Aprovados:

Projeto FACEPE Primeiros Projetos APQ-0443-3.03/14 (valor total de R$ 48.000,00)

Projeto CNPq Universal n 442946/2014-7 (valor total de R$ 29.000,00)

Projeto CNPq Universal n 407238/2018-2 (valor total de R$ 25.000,00)

8. Referências

BARBOZA, A. C. R. N. et al. Aquecimento em forno de microondas / desenvolvimento de alguns conceitos fundamentais. Química Nova, v. 24, p. 901–904, 2001.

BENDER, M. et al. Production and characterization of zinc oxide thin films for room temperature ozone sensing. Thin Solid Films, v. 418, n. 1, p. 45–50, 1 out. 2002.

CHOPRA, K. L.; MAJOR, S.; PANDYA, D. K. TRANSPARENT CONDUCTORS - A STATUS REVIEW. Thin Solid Films, v. 102, n. 1, p. 1–46, 1983.

CRINI, G. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review. Bioresource Technology, v. 97, n. 9, p. 1061–1085, jun. 2006.

DE LIMA, S. M. et al. Study of catalyst deactivation and reaction mechanism of steam reforming, partial oxidation, and oxidative steam reforming of ethanol over Co/CeO2 catalyst. Journal of Catalysis, v. 268, n. 2, p. 268–281, 2009.

FORGACS, E.; CSERHATI, T.; OROS, G. Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review. Environment International, v. 30, n. 7, p. 953–971, set. 2004.

GAO, F.; LU, Q.; KOMARNENI, S. Fast Synthesis of Cerium Oxide Nanoparticles and Nanorods. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, v. 6, p. 3812–3819, 2006.

HARYANTO, A. et al. Current Status of Hydrogen Production Techniques by Steam Reforming of Ethanol: A Review. Energy & Fuels, v. 19, n. 5, p. 2098–2106, 1 set. 2005.

KOMARNENI, S. Nanophase materials by hydrothermal, microwave-hydrothermal and microwave-solvothermal methods. Current Science, v. 85, n. 12, p. 1730–1734, 2003.

KOMARNENI, S.; RAJHA, R. K.; KATSUKI, H. Microwave-hydrothermal processing of titanium dioxide. Materials Chemistry and Physics, v. 61, n. 1, p. 50–54, 1999.

KOPIA, A. et al. Electron microscopy and spectroscopy investigations of CuOx-CeO2-d/Si thin films. Surface Science, v. 602, n. 7, p. 1313–1321, 2008.

KOSTLIN, H.; FRANK, G. OPTIMIZATION OF TRANSPARENT HEAT MIRRORS BASED ON A THIN SILVER FILM BETWEEN ANTIREFLECTION FILMS. Thin Solid Films, v. 89, n. 3, p. 287–293, 1982.

KUSUMAM, T. V. A. et al. Morphology controlled synthesis and photocatalytic activity of zinc oxide nano structures. Ceramics International, v. 42, n. 3, p. 3769–3775, 15 fev. 2016.

LEE, J. H.; KO, K. H.; PARK, B. O. Electrical and optical properties of ZnO transparent conducting films by the sol-gel method. Journal of Crystal Growth, v. 247, n. 1–2, p. 119–125, jan. 2003.

LI, Y. et al. A highly sensitive [gamma]-radiation dosimeter based on the CeO2 nanowires.

Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures, v. 41, n. 8, p. 1550–1553, 2009.

MAIA, T. A. et al. Produção de hidrogênio a partir da reforma a vapor de etanol utilizando catalisadores Cu/Ni/g-Al2o3. Química Nova, v. 30, p. 339–345, 2007.

NUNES, P.; FORTUNATO, E.; MARTINS, R. Influence of the annealing conditions on the properties of ZnO thin films. International Journal of Inorganic Materials, v. 3, n. 8, p. 1125–1128, dez. 2001.

RAO, C. N. R.; CHEETHAM, A. K. Science and technology of nanomaterials: current status and future prospects. Journal of Materials Chemistry, v. 11, n. 12, p. 2887–2894, 2001.

ROBINSON, T. et al. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. Bioresource Technology, v. 77, n. 3, p. 247–255, maio 2001.

SINGH, V. P. et al. Characteristics of nanocrystalline CdS films fabricated by sonochemical, microwave and solution growth methods for solar cell applications. Solar Energy Materials and Solar Cells, v. 81, n. 3, p. 293–303, 2004.

SONG, H.; TAN, B.; OZKAN, U. Novel Synthesis Techniques for Preparation of Co/CeO2 as Ethanol Steam Reforming Catalysts. Catalysis Letters, v. 132, n. 3, p. 422–429, 2009.

TOKUMOTO, M. S. et al. Structural electrical and optical properties of undoped and indium doped ZnO thin films prepared by the pyrosol process at different temperatures. Thin Solid Films, v. 416, n. 1–2, p. 284–293, 2 set. 2002.

WANG, H. et al. Preparation of nanocrystalline ceria particles by sonochemical and microwave assisted heating methods. Physical Chemistry Chemical Physics, v. 4, n. 15, p. 3794–3799, 2002.

WANG, Y.; CAO, G. Synthesis and Enhanced Intercalation Properties of Nanostructured Vanadium Oxides. Chemistry of Materials, v. 18, n. 12, p. 2787–2804, 2006.

XIA, Y. et al. Unconventional Methods for Fabricating and Patterning Nanostructures. Chemical Reviews, v. 99, n. 7, p. 1823–1848, 1999.

ZHANG, B. et al. Steam reforming of bio-ethanol for the production of hydrogen over ceria-supported Co, Ir and Ni catalysts. Catalysis Communications, v. 7, n. 6, p. 367–372, 2006.