

RESSALVA

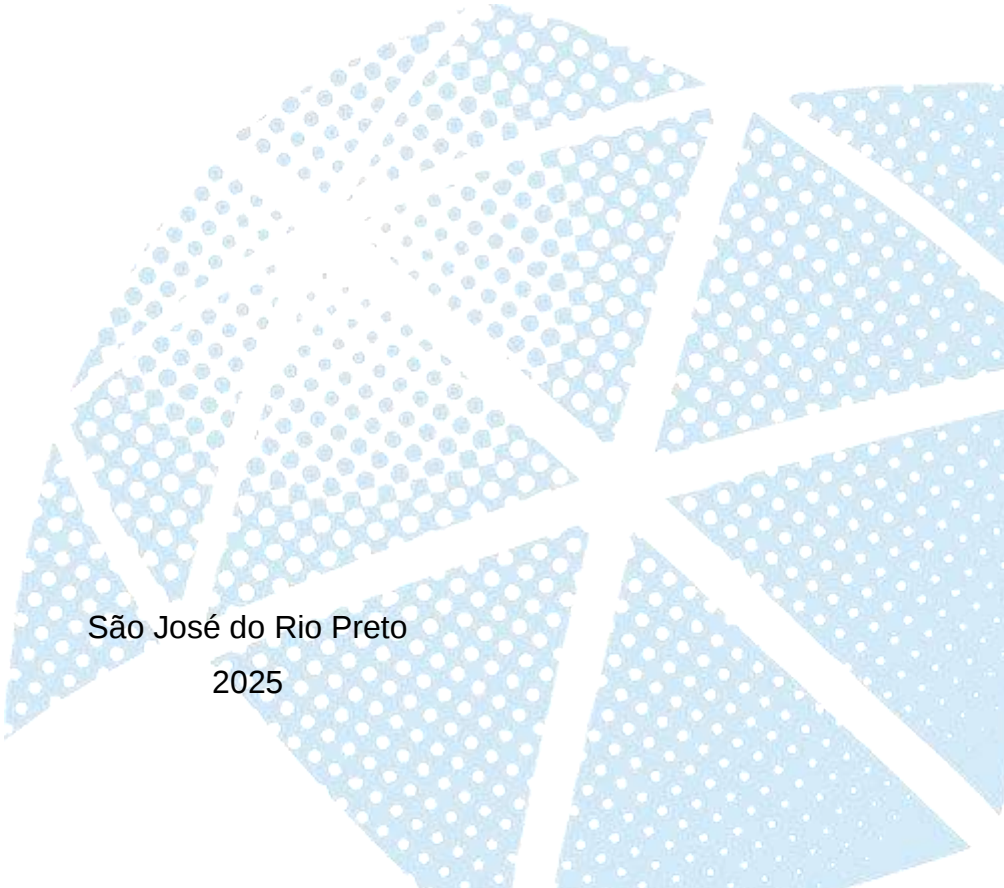
Atendendo solicitação do autor,
o texto completo desta tese será
disponibilizado somente a partir
de 13/08/2027

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas - Campus de São José do
Rio Preto

ADÔNIS COELHO

**PRODUÇÃO DE BIONAFTA A PARTIR DE ÁLCOOIS PRIMÁRIOS
(C3-C5) VIA PROCESSOS DE DESIDROGENAÇÃO/DESIDRATAÇÃO
CATALÍTICA**

São José do Rio Preto
2025



ADÔNIS COELHO

**PRODUÇÃO DE BIONAFTA A PARTIR DE ÁLCOOIS PRIMÁRIOS
(C3-C5) VIA PROCESSOS DE DESIDROGENAÇÃO/DESIDRATAÇÃO
CATALÍTICA**

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas - Campus de São José do Rio Preto, para obtenção do título de Doutor em Química.

Área de Concentração: Química

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Boscolo

Coorientador: Prof. Dr. Altair Benedito
Moreira

São José do Rio Preto

2025

C672p Coelho, Adônis
Produção de bionafta a partir de álcoois primários (C3-C5)
via processos de desidrogenação/desidratação catalítica /
Adônis Coelho. -- São José do Rio Preto, 2025
73 f. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do
Rio Preto
Orientador: Mauricio Boscolo
Coorientador: Altair Benedito Moreira

1. Química ambiental. 2. Álcoois. 3. Óxidos metálicos. 4.
Catalisadores. I. Título.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A bionafta é um combustível renovável derivado de fontes biológicas, podendo ser produzida a partir de álcoois primários. Esses álcoois, por sua vez, podem ser obtidos a partir de biomassa. A produção de bionafta a partir desses álcoois via desidrogenação/desidratação catalítica heterogênea é uma estratégia promissora, promovendo a inovação, a sustentabilidade energética e a redução da dependência de combustíveis fósseis.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

Bionaphtha is a renewable fuel derived from biological sources and can be produced from primary alcohols. These alcohols, in turn, can be obtained from biomass. The production of bionaphtha from these alcohols via heterogeneous catalytic dehydrogenation/dehydration is a promising strategy, promoting innovation, energy sustainability, and reducing dependence on fossil fuels.

ADÔNIS COELHO

**PRODUÇÃO DE BIONAFTA A PARTIR DE ÁLCOOIS PRIMÁRIOS
(C3-C5) VIA PROCESSOS DE DESIDROGENAÇÃO/DESIDRATAÇÃO
CATALÍTICA**

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas - Campus de São José do Rio Preto, para obtenção do título de Doutor em Química.

Área de Concentração: Química

Data da defesa: 13/08/2025

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Mauricio Boscolo
UNESP - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas - Campus de São José do Rio Preto

Profa. Dra. Márcia Cristina Bisinoti
UNESP - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas - Campus de São José do Rio Preto

Prof. Dr. Thiago Augusto de Lima Burgo
UNESP - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas - Campus de São José do Rio Preto

Prof. Dr. Cícero Wellington Brito Bezerra
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

Prof. Dr. Antônio Augusto Pereira de Sousa
Universidade Estadual da Paraíba - UEPB

Aos professores que, com saber e inspiração,
moldaram meu percurso com precisão e significado.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À minha família.

Ao meu orientador, professor Dr. Mauricio Boscolo, pela amizade, atenção, dedicação, paciência e pelos valiosos ensinamentos que enriqueceram meu caminho acadêmico.

Aos membros da banca, professores Márcia Cristina Bisinoti, Thiago Augusto de Lima Burgo, Cícero Wellington Brito Bezerra e Antônio Augusto Pereira de Sousa, pelas valiosas contribuições e análise criteriosa desta tese.

Aos amigos, Leonardo Ribeiro Ferreira e Éder Ramos Paganini, pelo apoio constante, pelo incentivo incansável e por tornarem essa jornada mais leve e significativa. Meu sincero agradecimento!

Ao professor Dr. Gustavo Metzker, pela valiosa ajuda, desde o manuseio dos equipamentos até a revisão do texto, além da amizade que sempre esteve presente ao longo deste processo.

À doutoranda Livia Padilha de Lima, por sua disposição em oferecer ajuda sempre que necessário, sendo fundamental para o andamento do trabalho.

E a todos que, de alguma forma, contribuíram com seu apoio, conhecimento e incentivo para a realização deste trabalho.

Muito obrigado!

RESUMO

A bionafta é um combustível renovável derivado de matéria-prima de origem biológica, como a biomassa, sendo um coproduto de plantas de biocombustível de óleo vegetal hidrotratado, que geralmente produzem biodiesel ou biocombustível de aviação como principais produtos. Portanto, a bionafta se destaca como uma alternativa sustentável aos combustíveis fósseis, reduzindo a dependência de petróleo bruto. O objetivo dessa tese foi a obtenção de bionafta a partir da desidrogenação/desidratação catalítica dos álcoois primários homólogos propanol, butanol e pentanol. Os precursores dos catalisadores foram sintetizados pelo método de coprecipitação e, após calcinação, usados como catalisadores heterogêneos do tipo óxidos metálicos mistos derivados de hidrotalcitas substituídas parcialmente com 10 e 20% do íon Cu^{2+} . Os catalisadores e seus precursores foram caracterizados por difratometria de raios X, espectroscopia de infravermelho, área superficial específica e microscopia eletrônica de varredura com detector de energia dispersiva de raios-X. As reações de desidrogenação foram conduzidas em reator de leito fixo a baixa pressão, e os produtos obtidos foram identificados e quantificados por sistema cromatográfico a gás. A análise dos precursores indicou que a síntese dos catalisadores foi realizada de maneira satisfatória. Após as reações catalíticas, foram produzidos compostos da classe dos álcoois, aldeídos, éteres, ácidos carboxílicos, cetonas e hidrocarbonetos. Os catalisadores substituídos parcialmente com 10 e 20% do íon Cu^{2+} se mostraram ativos na desidrogenação dos álcoois testados, levando em consideração o maior consumo dos álcoois de partida, a soma da seletividade dos produtos formados e a menor taxa de carbono depositado sobre os catalisadores após 6 horas de reação. Logo, a produção de bionafta via desidrogenação/desidratação catalítica de álcoois primários é uma estratégia promissora para promover a sustentabilidade energética, impulsionar a inovação industrial e reduzir a dependência de combustíveis fósseis.

Palavras-chave: álcoois homólogos; óxidos metálicos mistos; bionafta.

ABSTRACT

Bionaphtha is a renewable fuel derived from biologically sourced raw materials, such as biomass, being a byproduct of hydrotreated vegetable oil biorefineries, which usually produce biodiesel or aviation biofuel as their main products. Therefore, bionaphtha stands out as a sustainable alternative to fossil fuels, reducing the dependence on crude oil. The objective of this thesis was to obtain bionaphtha from the catalytic dehydrogenation/dehydration of homologous primary alcohols propanol, butanol, and pentanol. The catalyst precursors were synthesized by the coprecipitation method and, after calcination, were used as heterogeneous catalysts of the mixed metal oxide type derived from hydrotalcites partially substituted with 10 and 20% of the Cu^{2+} ion. The catalysts and their precursors were characterized by X-ray diffraction, infrared spectroscopy, specific surface area, and scanning electron microscopy with energy-dispersive X-ray detection. The dehydrogenation reactions were conducted in a fixed-bed reactor at low pressure, and the obtained products were identified and quantified by a gas chromatographic system. The analysis of the precursors indicated that the synthesis of the catalysts was carried out satisfactorily. After the catalytic reactions, compounds from the classes of alcohols, aldehydes, ethers, carboxylic acids, ketones, and hydrocarbons were produced. The catalysts partially substituted with 10% and 20% Cu^{2+} ion were shown to be active in the dehydrogenation of the tested alcohols, considering the higher consumption of the starting alcohols, the sum of the selectivity of the formed products, and the lower rate of carbon deposited on the catalysts after 6 hours of reaction. Thus, the production of bionaphtha via catalytic dehydrogenation/dehydration of primary alcohols is a promising strategy to promote energy sustainability, drive industrial innovation, and reduce dependence on fossil fuels.

Keywords: homologous alcohols; mixed metal oxides; bionaphtha.

LISTA DE FIGURAS

Seção 2

Figura 1 - Esquema geral da transformação catalítica do etanol pelas rotas de Guerbet e de Lebedev 17

Figura 2 - Representação esquemática da estrutura do tipo HDL 18

Seção 3

Figura 1. Esquema geral da transformação catalítica do etanol 21

Figura 2. Média do consumo de propanol durante as reações. Condição das reações: $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 6 horas 27

Figura 3. Média do consumo de butanol (A) e pentanol (B), respectivamente, durante as reações. Condição das reações: $T = 550\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 6 horas 28

Figura 4. Distribuição de produtos formados na transformação catalítica do propanol pelos catalisadores. As barras representam a média da soma dos produtos obtidos durante 6 horas de reação a $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 29

Figura 5. Mecanismo proposto para conversão de propanol em propanal, 2-metil-pentanol, propoxipropano e 2-metil-pentanal com base na reação de Guerbet 30

Figura 6. Distribuição de produtos formados na transformação catalítica do butanol pelos catalisadores. As barras representam a média da soma dos produtos obtidos durante 6 horas de reação a $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 31

Figura 7. Mecanismo proposto para conversão de butanol em butanal, 2-etil-hexanal, 2-etil-hexanol e ácido butanoico com base na reação de Guerbet 31

Figura 8. Distribuição de produtos formados na transformação catalítica do pentanol pelos catalisadores. As barras representam a média da soma dos produtos obtidos durante 6 horas de reação a 550 °C	33
Figura 9. Mecanismo proposto para conversão de pentanol em pentanal, pentoxipentano, nonan-5-ona e pent-1-eno com base na reação de Guerbet	34
Figura 10. Comportamento temporal dos produtos formados na transformação catalítica do propanol pelos catalisadores durante 6 horas de reação a 450 °C	35
Figura 11. Comportamento temporal dos produtos formados na transformação catalítica do butanol pelos catalisadores durante 6 horas de reação a 550 °C	36
Figura 12. Comportamento temporal dos produtos formados na transformação catalítica do pentanol pelos catalisadores durante 6 horas de reação a 550 °C	37
Figura 13. Micrografias eletrônica de varredura (MEV) do catalisador OMM-20 antes e após os testes catalíticos usando o propanol, butanol e pentanol, todas com magnificação de 1.000 vezes	38
Figura 14. Parâmetros utilizados para a escolha do melhor catalisador. As seletividades do consumo dos álcoois, os produtos de interesse e produtos secundários referem-se à média durante 6 horas de reação, sendo A – propanol, B - butanol e C - pentanol. Obs.: O asterisco preto referente ao material OMM-0 na Figura 14 – A, indica que não foi possível calcular o teor de carbono depositado.	40
Figura 1S. Difrátogramas dos HDL sintetizados	46
Figura 2S. Difrátogramas dos OMM após a calcinação	49
Figura 3S. Espectros de FTIR-ATR dos HDL sintetizados	50

Figura 4S. Isotermas de adsorção e dessorção de nitrogênio dos OMM após a calcinação, sendo A – OMM-0, B – OMM-10 e C – OMM-20	51
Figura 5S. Micrografias eletrônica de varredura (MEV) dos materiais sintetizados antes (HDL) e após a calcinação (OMM), todos com magnificação de 30.000 vezes	52
Figura 6S. Micrografias eletrônica de varredura (MEV) do catalisador OMM-0 antes e após os testes catalíticos usando o butanol e pentanol, todas com magnificação de 1.000 vezes	53
Figura 7S. Micrografias eletrônica de varredura (MEV) do catalisador OMM-10 antes e após os testes catalíticos usando o propanol, butanol e pentanol, todas com magnificação de 1.000 vezes	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL E OBJETIVOS.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	CENÁRIO ATUAL E PRODUÇÃO DE BIONAFTA.....	15
2.2	ROTAS DE CONVERSÃO DE ÁLCOOIS POR PROCESSOS DE DESIDROGENAÇÃO E DESIDRATAÇÃO.....	16
2.3	CATALISADORES.....	17
2.3.1	Elementos modificadores de HDL.....	19
3	PRODUÇÃO DE BIONAFTA A PARTIR DE ÁLCOOIS PRIMÁRIOS (C3-C5) VIA PROCESSOS DE DESIDROGENAÇÃO/DESIDRATAÇÃO CATALÍTICA	20
4	CONCLUSÃO E DESAFIOS FUTUROS.....	58
	REFERÊNCIAS.....	59
	ANEXO A - AUTORIZAÇÃO DA REVISTA PARA SUBMISSÃO EM REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL.....	63
	DADOS CURRICULARES.....	64

1 INTRODUÇÃO GERAL E OBJETIVOS

A bionafta é um coproduto de plantas produtoras de biocombustíveis a partir de óleo vegetal hidrotratado, que geralmente têm como principais produtos o biodiesel ou o biocombustível de aviação. Assim como a nafta, a bionafta pode ser utilizada como componente de mistura na gasolina ou como matéria-prima para a produção de etileno e propileno, os quais, por sua vez, são empregados na fabricação de produtos químicos e bioplásticos (Ramezani et al., 2022; Mishra et al., 2022).

A produção de bionafta representa uma alternativa sustentável para a substituição de solventes derivados do petróleo. Os processos catalíticos de desidrogenação e desidratação parcial de álcoois constituem uma rota promissora, pois geram uma ampla gama de compostos químicos presentes na bionafta. Tais rotas catalíticas aproveitam os sítios ácidos e básicos existentes na superfície de catalisadores heterogêneos, originados de compostos do tipo hidrotalcita. Esses materiais podem ser obtidos por coprecipitação, apresentam baixo custo, são atóxicos e podem ser reutilizados ao final do processo (Tesquet et al., 2016).

A adição de diferentes íons metálicos modificadores durante o preparo das hidrotalcitas pode regular o número de sítios ácidos e básicos, favorecendo ainda mais os processos catalíticos (Li et al., 2010; Abelló et al., 2013; Zhou et al., 2014; Sato et al., 2012; Cassinelli et al., 2015; Bîrjega et al., 2005; Nowicki et al., 2016; Chiang et al., 2016). A desidrogenação parcial do etanol utilizando óxidos mistos com cobre como catalisadores para a produção de butanol já é amplamente investigada pelo grupo de pesquisa (Siqueira et al., 2019; Perrone et al., 2020; Metzker et al., 2021). No entanto, a utilização de outros álcoois primários é pouco explorada na literatura.

A tese teve como objetivo principal a obtenção de bionafta a partir da desidrogenação parcial dos álcoois homólogos propanol, butanol e pentanol, utilizando óxidos metálicos mistos provenientes de hidrotalcitas sintetizadas por coprecipitação e parcialmente substituídas com 10% e 20% do íon Cu^{2+} . Os objetivos específicos incluíram a caracterização dos catalisadores e de seus precursores, a avaliação catalítica dos óxidos em reações de desidrogenação e desidratação dos álcoois homólogos em reator de leito fixo, operando em baixa pressão, e a identificação e quantificação dos produtos formados por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas.

4 CONCLUSÃO E DESAFIOS FUTUROS

Os materiais do tipo OMM, obtidos por meio da calcinação de HDL parcialmente substituídos com 10% e 20% de íons Cu^{2+} , foram avaliados como catalisadores em um reator de leito fixo, com o propósito de gerar bionafta a partir da desidrogenação parcial dos álcoois homólogos propanol, butanol e pentanol, todos passíveis de serem derivados de fontes renováveis, alinhando-se, assim, aos objetivos de promover o uso de energia limpa.

Os estudos demonstraram que os catalisadores enriquecidos com cobre são eficazes na desidrogenação dos álcoois homólogos (C3–C5), destacando-se o OMM-10 na conversão de propanol e butanol em bionafta, e o OMM-20 na conversão de pentanol. Essas reações resultaram em maior eficiência de conversão e em menor deposição de carbono nos catalisadores após seis horas de reação, o que é crucial para a sustentabilidade do processo.

A produção de bionafta, por sua vez, posiciona-se como uma alternativa promissora, limpa e renovável à petronafta, reforçando a necessidade de explorar e desenvolver novas rotas de produção de energia que atendam à demanda global, promovam a conservação ambiental e reduzam as emissões de carbono. No entanto, alguns desafios ainda precisam ser superados, como a otimização dos catalisadores para torná-los mais eficientes e seletivos, a redução da taxa de deposição de carbono e o aumento da sua vida útil. A escalabilidade do processo também constitui um desafio, exigindo que a transição do laboratório para a escala industrial seja economicamente viável e integrada às cadeias de produção já existentes.

REFERÊNCIAS

- ABELLÓ, S.; BOLSHAK, E.; MONTANÉ, D. Ni-Fe catalysts derived from hydrotalcite-like precursors for hydrogen production by ethanol steam reforming. **Appl. Catal., A**. v. 450, p. 261–274, 2013.
- BABU, M. V.; MURTHY, K. M.; RAO, G. A. P. Butanol and pentanol: The promising biofuels for CI engines – A review. **Renewable Sustainable Energy Rev.** v. 78, p. 1068–1088, 2017.
- BÎRJEGA, R.; PAVEL, O. D.; COSTENTIN, G.; CHE, M. ANGELESCU, E. Rare-earth elements modified hydrotalcites and corresponding mesoporous mixed oxides as basic solid catalysts. **Appl. Catal., A**. n. 288. p. 185-193. 2005.
- BUSCA, G.; COSTANTINO, U.; MARMOTTINI, F.; MONTANARI, T.; PATRONO, P.; PINZARI, F.; RAMIS, G. Methanol steam reforming over ex-hydrotalcite Cu–Zn–Al catalysts. **Appl. Catal., A**. v. 310, p. 70–78, 2006.
- CASSINELLI, W. H.; MARTINS, L.; PASSOS, A. R.; PULCINELLI, S. H.; ROCHET, A.; BRIOIS, V.; SANTILLI, C.V. Correlation between structural and catalytic properties of copper supported on porous alumina for the ethanol dehydrogenation reaction. **ChemCatChem**. v. 7, n. 11, p. 1668-1677, 2015.
- CAVANI, F.; TRIFIRO', F.; VACCARI, A. Hydrotalcite-type anionic clays: Preparation, properties and applications. **Catal. Today**. n. 11, p. 173-301. 1991.
- CHIANG, L. M. R.; LLORCA, J.; DAHL, O. P. Effect of Fe–Zn–Mg–Al hydrotalcites on the methane potential of synthetic sulfate-containing wastewater. **Journal of Water Process Engineering**. v. 10, p. 120-127, 2016.
- CHIEREGATO, A.; OCHOA, J. V.; BANDINELLI, C.; FORNASARI, G.; CAVANI, F.; MELLA, M. On the Chemistry of Ethanol on Basic Oxides: Revising Mechanisms and Intermediates in the Lebedev and Guerbet reactions. **ChemSusChem**. v. 8, p. 377-388, 2015.
- GABRIËLS, D.; HERNÁNDEZ, W. Y.; SELS, B.; VOORT, P. V. D.; VERBERCKMOES, A. Review of catalytic systems and thermodynamics for the Guerbet condensation reaction and challenges for biomass valorization. **Catal. Sci. Technol.** v. 5, p. 3876-3902, 2015.
- GALLO, J. M. R.; BUENO, J. M. C.; SCHUCHARDT, U. Catalytic transformations of ethanol for biorefineries. **J. Braz. Chem. Soc.** v. 25, n. 12, p. 2229–2243, 2014.
- HOSOGLU, F.; FAYE, J.; MARESEANU, K.; TESQUET, G.; MIQUEL, P.; CAPRON, M.; GARDOLL, O.; LAMONIER, JEAN-F.; LAMONIER, C.; DUMEIGNIL, F. High resolution NMR unraveling Cu substitution of Mg in hydrotalcites–ethanol reactivity. **Appl. Catal., A**. v. 504, p. 533–541, 2015.

JIANG, C. J.; TRIMM, D. L.; WAINWRIGHT, M. S.; CANT, N. W. Kinetic study of steam reforming of methanol over copper-based catalysts. **Appl. Catal., A**. v. 93, n. 2, p. 245–255, 1993.

JUNG, W.; RHIM, G. B.; KIM, K. Y.; KIM, Y. E.; YOUN, M. H.; CHUN, D. H. Sustainable naphtha production strategies based on combined reforming integrated with Fischer–Tropsch synthesis: Decarbonization and economic analysis. **Energy Convers Manage**. v. 342, n. 120099, p. 1-11, 2025.

LATINE, H.; DEPREZ, J.; NICOLAÏ, T.; COURTIN, C. M.; BOERJAN, W.; MOTA, T. R.; VERHELST, S.; ROBEYN, T.; VAN GEEM, K. M.; MYNKO, O.; VERMEIRE, F. H.; SELS, B. F. Catalytic conversion of lignocellulose to naphtha: Unlocking sustainable pathways to renewable fuel for engines and feedstock for polymers. **Chem Eng J**. v. 517, n. 164245, p. 1-17, 2025.

LI, D.; KOIKE, M.; CHEN, J.; NAKAGAWA, Y.; TOMISHIGE, K. Preparation of Ni-Cu/Mg/Al catalysts from hydrotalcite-like compounds for hydrogen production by steam reforming of biomass tar. **Int. J. Hydrogen Energy**. v. 39, n. 21, p. 10959–10970, 2014.

LI, M.; WANG, X.; LI, S.; WANG, S.; MA, X. Hydrogen production from ethanol steam reforming over nickel based catalyst derived from Ni/Mg/Al hydrotalcite-like compounds. **Int. J. Hydrogen Energy**. v. 35, n. 13, p. 6699–6708, 2010.

LIBERATORI, J. W. C.; RIBEIRO, R. U.; ZANCHET, D.; NORONHA, F. B.; BUENO, J. M. C. Steam reforming of ethanol on supported nickel catalysts. **Appl. Catal., A**. v. 327, n. 2, p. 197-204, 2007.

LIEW, W. H.; HASSIM, M. H.; NG, D. K. S. J. Review of evolution, technology and sustainability assessments of biofuel production. **Cleaner Prod**. v. 71, p. 11-29, 2014.

MACALA, G. S.; MATSON, T. D.; JOHNSON, C. L.; LEWIS, R. S.; IRETSKII, A. V.; FORD, P. C. Hydrogen transfer from supercritical methanol over a solid base catalyst: A model for lignin depolymerization. **ChemSusChem**. v. 2, n. 3, p. 215–217, 2009.

METZKER, G.; VARGAS, J. A. M.; LIMA, L. P.; PERRONE, O. M.; SIQUEIRA, M. R.; VARANDA, L. C.; BOSCOLO, M. First row transition metals on the ethanol Guerbet reaction: Products distribution and structural behavior of mixed metal oxides as catalysts. **Appl. Catal., A**. v. 623, n. 118272, p. 1 – 9, 2021.

MISHRA, A.; ALI, S. S.; VERMA, V.; FAROOQUI, S. A.; SINHA, A. K. Dehydro-aromatization of renewable bio-naphtha over Pd/ γ -Al₂O₃ catalyst. **Fuel**. v. 325, p. 124883, 2022.

NOWICKI, J.; LACH J.; ORGANEK, M.; SABURA, E. Transesterification of rapeseed oil to biodiesel over Zr-doped MgAl hydrotalcites. **Appl. Catal., A**. v. 524, p. 17-24, 2016.

OSAT, M.; SHOJAATI, F.; OSAT, M. Techno-economic assessment of butanol and pentanol productions from sorption enhanced chemical looping gasification of a lignocellulosic biomass. **Renewable Energy**. v. 217, p. 119176, 2023.

PERRONE, O. M.; SIQUEIRA, M. R.; METZKER, G.; LISBOA, D. C. O.; BOSCOLO, M. Copper and lanthanum mixed oxides as catalysts for ethanol Guerbet coupling: The role of La^{3+} on the production of long-chain alcohols. **Environ. Prog. Sustainable Energy**. v. 40, n. 2, p. 1 – 11, 2020.

PURICELLI, S.; CASADEI, S.; BELLIN, T.; CERNUSCHI, S.; FAEDO, D.; LONATI, G.; ROSSI, T.; GROSSO, M. The effects of innovative blends of petrol with renewable fuels on the exhaust emissions of a GDI Euro 6d-TEMP car. **Fuel**. v. 294, p. 120483, 2021.

RAMEZANI, T.; SADRAMELI, S. M.; BAYAT, A.; DEHAGHANI, A. H. S. Bio-gasoline and bio-naphtha production from catalytic cracking of linseed oil methyl ester over iron- and zinc-modified HZSM-5 and $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ catalysts in a fixed double-beds reactor. **Fuel Process. Technol.** v. 238, p. 107514, 2022.

SATO, A. G.; SILVA, G. C. D.; PAGANIN, V. A.; BIANCOLLI, A. L. G.; TICIANELLI, E. A. New, efficient and viable system for ethanol fuel utilization on combined electric/internal combustion engine vehicles. **J. Power Sources**. v. 294, n. 30, p. 569-573, 2015.

SATO, A. G.; VOLANTI, D. P.; FREITAS, I. C. DE F.; LONGO, E.; BUENO, J. M. C. Site-selective ethanol conversion over supported copper catalysts. **Catal. Commun.** v. 26, p. 122-126, 2012.

SIQUEIRA, M. R.; PERRONE, O. M.; METZKER, G.; LISBOA, D. C. O.; THOMÉO, J. C.; BOSCOLO, M. Highly selective 1-butanol obtained from ethanol catalyzed by mixed metal oxides: Reaction optimization and catalyst structure behavior. **Mol. Catal.** v. 476, n. 110516, p. 1–8, 2019.

TESQUET, G.; FAYE, J.; HOSOGLU, F.; MAMEDE, A.; DUMEIGNIL, F.; CAPRON, M. Ethanol reactivity over $\text{La}_{1+x}\text{FeO}_{3+\delta}$ perovskites. **Appl. Catal., A**. v. 511, p. 141-148, 2016.

VOLANTI, D. P.; SATO, A. G. ORLANDI, M. O.; BUENO, J. M. C. LONGO, E.; ANDRÉS J. Insight into copper-based catalysts: microwave-assisted morphosynthesis, in situ reduction studies, and dehydrogenation of ethanol. **ChemCatChem**. v. 3, n. 5, p. 839-843, 2011.

WAN, D.; LIU, Y.; XIAO, S.; CHEN, J.; ZHANG, J. Uptake fluoride from water by calcined Mg-Al-CO_3 hydrotalcite: Mg/Al ratio effect on its structure, electrical affinity and adsorptive property. **Colloids Surf., A**. v. 469, p. 307–314, 2015.

YAN, K.; CHEN, A. Selective hydrogenation of furfural and levulinic acid to biofuels on the ecofriendly Cu-Fe catalyst. **Fuel**. v. 115, p. 101–108, 2014.

ZHOU, M.; ZENG, Z.; ZHU, H.; XIAO, G.; XIAO, R. Aqueous-phase catalytic hydrogenation of furfural to cyclopentanol over Cu-Mg-Al hydrotalcites derived catalysts: Model reaction for upgrading of bio-oil. **J. Energy Chem.** v. 23, n. 1, p. 91–96, 2014.