

THE  
GREAT  
WORLD  
OF

# NANOTECHNOLOGY

**Marcos Augusto de Lima Nobre**  
(Organizador)



**EDITORA  
ARTEMIS**  
2020

THE  
GREAT  
WORLD  
OF  
**NANOTECHNOLOGY**

**Marcos Augusto de Lima Nobre**  
**(Organizador)**

 **EDITORA  
ARTEMIS**  
2020

2020 by Editora Artemis  
Copyright © Editora Artemis  
Copyright do Texto © 2020 Os autores  
Copyright da Edição © 2020 Editora Artemis  
**Edição de Arte:** Bruna Bejarano  
**Diagramação:** Helber Pagani de Souza  
**Revisão:** Os autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*.  
Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

**Editora Chefe:**

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora Executiva:**

Viviane Carvalho Mocellin

**Organizador:**

Marcos Augusto de Lima Nobre

**Bibliotecário:**

Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

**Conselho Editorial:**

Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, Universidade Federal de Uberlândia

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Amanda Ramalho de Freitas Brito, Universidade Federal da Paraíba

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Angela Ester Mallmann Centenaro, Universidade do Estado de Mato Grosso

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carmen Pimentel, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Catarina Castro, Universidade Nova de Lisboa, Portugal

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Neves, Universidade Aberta de Portugal

Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, Universidade Federal da Grande Dourados

Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elvira Laura Hernández Carballido, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Emilas Darlene Carmen Lebus, Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco

Prof. Dr. Ivan Amaro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas

Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, University of Miami and Miami Dade College, USA

Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros

Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín, Colômbia  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista  
Prof.ª Dr.ª Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás  
Prof.ª Dr.ª Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo  
Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista  
Prof.ª Dr.ª Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia  
Prof.ª Dr.ª Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal  
Prof.ª Dr.ª Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão  
Prof.ª Dr.ª Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras  
Prof.ª Dr.ª Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense  
Prof.ª Dr.ª Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras  
Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Dr. Turpo Gebera Osbaldo Washington, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Peru  
Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa  
Prof.ª Dr.ª Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Colômbia

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

G786 The great world of nanotechnology / Organizador Marcos Augusto Lima Nobre. – Curitiba, PR: Artemis, 2020.

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
Edição bilíngue  
ISBN 978-65-87396-17-0  
DOI: 10.37572/EdArt\_170251020

1. Nanociência. 2. Nanotecnologia. I. Nobre, Marcos Augusto Lima.

CDD 620.5

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

## APRESENTAÇÃO

O mundo em escala dos nanômetros tem-se mostrado cada vez mais presente no cotidiano. Em qualquer área encaixamos o nano, e muitas palavras têm sido criadas com o prefixo nano. Algo que exiba uma de suas dimensões na escala de um bilionésimo de metro pertence a este universo, que de forma gradual tem alcançado a ciência e a tecnologia. A nanociência e nanotecnologia têm modificado tintas, tecidos, metais, cerâmicas, polímeros a compreensão dos minérios e minerais, por fim criando a necessidade de cursos para otimizar a compreensão de seus conceitos aplicados a engenharia, a medicina e áreas correlatas. O mundo dos “nano” tem alcançado as ligas metálicas, os argilominerais, o ensino aplicado, a mecânicas dos fluidos e pós cerâmicos funcionais com partículas com tão baixa densidade que podem ser consideradas apenas casca. Cada um destes tópicos está sendo desenvolvido neste exato momento para ganharmos durabilidade, novos materiais mais fortes, mas com menos peso, novas técnicas de ensino para conceitos novos e inovadores, transporte mais eficiente de combustíveis e biocombustíveis em linhas e dutos cada vez menores e pós nanométricos funcionais capazes de acelerar reações químicas. Este livro traz um conjunto de textos abordando diversos aspectos dos conceitos materiais em escala dos nanômetros.

Desejo a todos uma excelente leitura!!

Marcos Augusto de Lima Nobre

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO COMPOSTO INTERMETÁLICO TERMOELÉTRICO TINISN	
Ernest Pedroza Araujo Silva	
Daniela Menegon Triches	
<b>DOI 10.37572/EdArt_1702510201</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>11</b>
MICROSTRUCTURAL AND RHEOLOGICAL CHARACTERIZATIONS OF A CLAY MINERAL FROM THE SOUTHWEST REGION OF THE BRAZILIAN STATE OF SÃO PAULO FOR APPLICATION IN NANOCOMPOSITES	
Delia do Carmo Vieira	
Felipe Ferreira Lopes	
Rebeca Abreu Nascimento	
Alessandra Stevanato	
Elisângela Corradini	
Janksyn Bertozzi	
<b>DOI 10.37572/EdArt_1702510202</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>28</b>
ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF DISTANCED LEARNING STRATEGIES FOR NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY SUBJECTS APPLIED TO HEALTH SCIENCES	
Jackeline Neres Bellucci	
Felipe Silva Bellucci	
Gilberto Lacerda Santos	
<b>DOI 10.37572/EdArt_1702510203</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>40</b>
SÍNTESE DE NANOPARTÍCULAS NANOESTRUTURADAS OCAS	
Marcos Augusto Lima Nobre	
Felipe Silva Bellucci	
Silvania Lanfredi	
<b>DOI 10.37572/EdArt_1702510204</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>48</b>
EFEITOS DE NANOESTRUTURAS DE GRAFITE SOBRE A VISCOSIDADE DE BLENDA DIESEL-S10 E BIODIESEL	
Túlio Begena Araújo	
Marcos Augusto Lima Nobre	
<b>DOI 10.37572/EdArt_1702510205</b>	

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>59</b>
FENÔMENO DE CONTORNO DE NANOGRÃO EM MICROESTRUTURAS NANOMÉTRICAS CERÂMICAS	
Marcos Augusto Lima Nobre	
Silvania Lanfredi	
<b>DOI 10.37572/EdArt_1702510206</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>71</b>
SÍNTESE DE NANOCOMPÓSITO CERÂMICO DE ZIRCÔNIA-HIDROXIAPATITA	
Carolina Cury Lopes	
Fabiana Barbara Piveta Flores	
Fabíola Stahlke Prado	
Ana Júlia Machado Merino	
Alejandra Hortencia Miranda González	
<b>DOI 10.37572/EdArt_1702510207</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>80</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>81</b>

## EFEITOS DE NANOESTRUTURAS DE GRAFITE SOBRE A VISCOSIDADE DE BLENDS DIESEL-S10 E BIODIESEL

Data de submissão: 25/07/2020

Data de aceite: 18/10/2020

### Túlio Begena Araújo

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Química e Bioquímica

Presidente Prudente – São Paulo

<http://lattes.cnpq.br/0094407519359060>

### Marcos Augusto Lima Nobre

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Física

Presidente Prudente – São Paulo

<https://orcid.org/0000-0003-4843-3975>

**RESUMO:** A nanotecnologia pode ser utilizada na modificação de propriedades específicas de fluidos funcionais, como a lubricidade em combustíveis. De fato, nanopartículas e ou nanoestruturas podem modificar a condutividade térmica ou atuar como catalisadores em combustíveis e biocombustíveis. O biodiesel é adicionado ao diesel para a diminuição da emissão de enxofre e outros poluentes, mas diminui a lubricidade. Neste sentido, a dessulfurização do diesel retira moléculas que contenham enxofre. Porém, ambos a dessulfurização e a adição de biodiesel alteram a composição e as propriedades do diesel. Espera-se que a lubricidade do diesel aditivado com biodiesel possa ser recuperada

pela adição de nanopartículas ou partículas nanoestruturadas, como o grafite. Considerando-se blends de diesel S10 e biodiesel, outras propriedades podem ser modificadas via adição de nanoestruturas de grafite. A viscosidade de blends diesel S10/biodiesel/grafite é analisada a partir de ensaios reológicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** nanoestruturas de grafite, biodiesel, diesel, blends, viscosidade.

### EFFECT OF GRAPHITE NANOSTRUTURES ON THE VISCOSITY PROPERTIES OF BLENDS DIESEL-S10 AND BIODIESEL

**ABSTRACT:** The nanotechnology can be applied in the changing of specific properties of functional fluids as the lubricity in fuels. In fact, nanoparticles or nanostructures can modify parameters as thermal conductivity and acting as catalyst in fuels and biofuels. The biodiesel has been added to the diesel for the decreasing of the sulfur emission. Furthermore, the lubricity is also decreased. In this sense, the desulfurization process removes molecules containing sulfur of diesel. However, both desulfurization and biodiesel addition can change the composition and diesel properties. A natural expectation is that the addition of graphite to a diesel/biodiesel composition the lubricity can be retrieved. Taking



in account, diesel S10 and biodiesel, propriety can be changed via addition of graphite containing nanostructures. The viscosity of blends diesel S10/biodiesel/graphite is analyzed from rheological characterization.

**KEYWORDS:** graphite nanostructures, biodiesel, diesel, blends, viscosity.

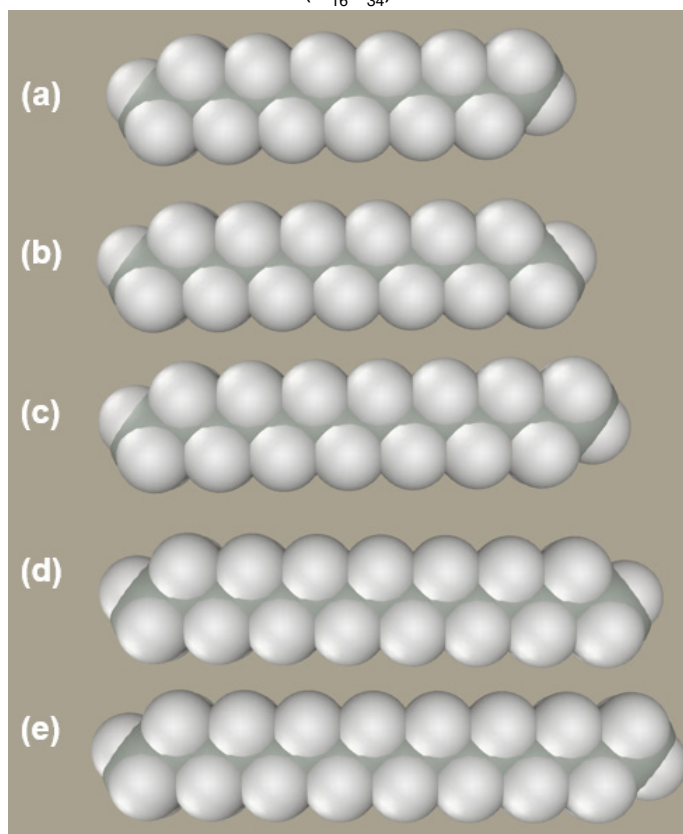
## 1 . INTRODUÇÃO

A nanotecnologia envolvendo partículas em escala nanométrica pode ser utilizada em tecnologias avançadas para o desenvolvimento de misturas de combustível fóssil e biocombustível. De fato, uma nanopartícula pode ser definida como uma partícula que possui qualquer uma de suas dimensões em escala nanométrica, entre 1 e 100 nm. Diluindo nanopartículas em um líquido, obtêm-se uma dispersão conhecida na literatura moderna como nanofluidos. Diversas propriedades de líquidos podem ser modificadas, e melhoradas, com uso da nanotecnologia, como propriedades condutividade e difusividade térmica, viscosidade e lubricidade. Todas essas propriedades são importantes ao se trabalhar com misturas combustíveis, sendo possível aumentar a qualidade da combustão e transportes de massa e calor através dos sistemas de combustão. Alguns fatores-chave influenciam a aplicação de nanofluidos e devem ser descritos em detalhes. Entre eles estão: tamanho das nanopartículas e seus formatos, sua composição, aglomeração, temperatura de trabalho, uso de surfactantes e interações na interface sólido-líquido. A viscosidade dos fluidos deve ser estudada em conjunto com outros parâmetros reológicos. A reologia é uma área de conhecimento posicionada entre a física e a química. A etimologia dessa palavra tem origem grega, em específico na palavra *rheo*, a qual significa fluir. O fluxo de um composto líquido está conectado às leis da física (mecânica clássica, termodinâmica, etc.) e aos parâmetros químicos (massa molecular, interações moleculares baseadas em ligações químicas secundárias, etc.). Além do fluxo de líquidos, a reologia compreende a deformação de sólidos.

Em alguns casos, a separação entre comportamentos de líquidos e sólidos não é tão simples. Por exemplo, na analisar líquidos muito viscosos, esses acabam se comportando como sólidos, ou no caso de sólidos que fluem ao ser submetidos a uma tensão de cisalhamento grande o suficiente. Muitos outros campos de estudos dependem diretamente de estudos reológicos para seu desenvolvimento. Entre eles temos: lubrificantes, tintas, dispersões minerais, líquidos corporais, cosméticos, alimentos, vidros, soluções poliméricas, detergentes, papéis entre outros. A importância desses estudos vai desde a produção e transporte dos reagentes até as qualidades finais do produto. Sistemas multifásicos complexos fazem parte das aplicações citadas, como suspensões e emulsões. Considerando-se um combustível fóssil, o diesel se destaca como uma fonte energética global. A despeito da complexa

composição, a qual depende do seu processo de refinamento, dessulfurização e do petróleo utilizado, em média, possui 75% de hidrocarbonetos saturados e 25% de hidrocarbonetos aromáticos. Os cinco componentes predominantes no diesel são mostrados na Figura 1. A maioria das moléculas do diesel possuem cadeias carbônicas lineares, constituídas de 12 a 16 carbonos.

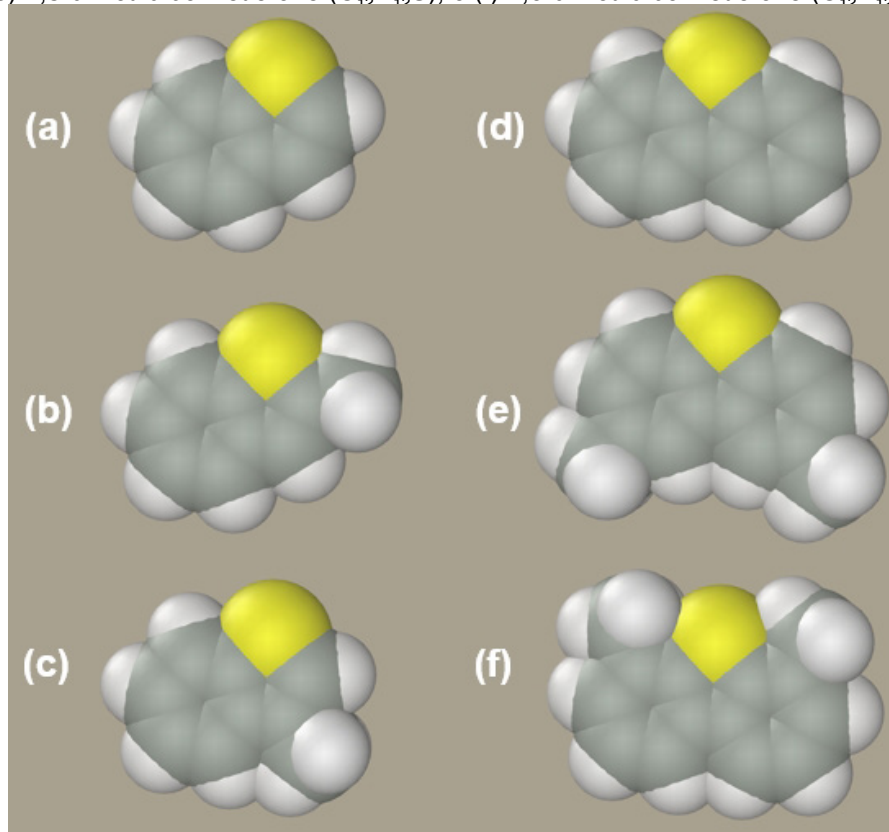
**Figura 1** - Moléculas dos cinco componentes mais abundantes no diesel: (a) dodecano ( $C_{12}H_{26}$ ), (b) tridecano ( $C_{13}H_{28}$ ), (c) tetradecano ( $C_{14}H_{30}$ ), (d) pentadecano ( $C_{15}H_{32}$ ) e (e) hexadecano ( $C_{16}H_{34}$ ).



Fonte: desenhado pelo autor.

A preponderância de hidrocarbonetos saturados é acentuada pelo processo de dessulfurização. Esse processo atua de forma a reduzir a quantidade de compostos de enxofre no combustível. Porém, há alguns efeitos deletérios como a redução de compostos aromáticos e redução da lubricidade do diesel. As moléculas de enxofre presentes no diesel são os benzotiofenos, dibenzotiofenos e seus derivados. As moléculas representantes desses grupos são mostradas na Figura 2.

**Figura 2** - Moléculas dos principais compostos com enxofre do diesel: (a) benzotiofeno ( $C_8H_6S$ ), (b) 2-metilbenzotiofeno ( $C_9H_8S$ ), (c) 3-metilbenzotiofeno ( $C_9H_8S$ ), (d) dibenzotiofeno ( $C_{12}H_8S$ ), (e) 2,8-dimetildibenzotiofeno ( $C_{14}H_{12}S$ ), e (f) 4,6-dimetildibenzotiofeno ( $C_{14}H_{12}S$ ).

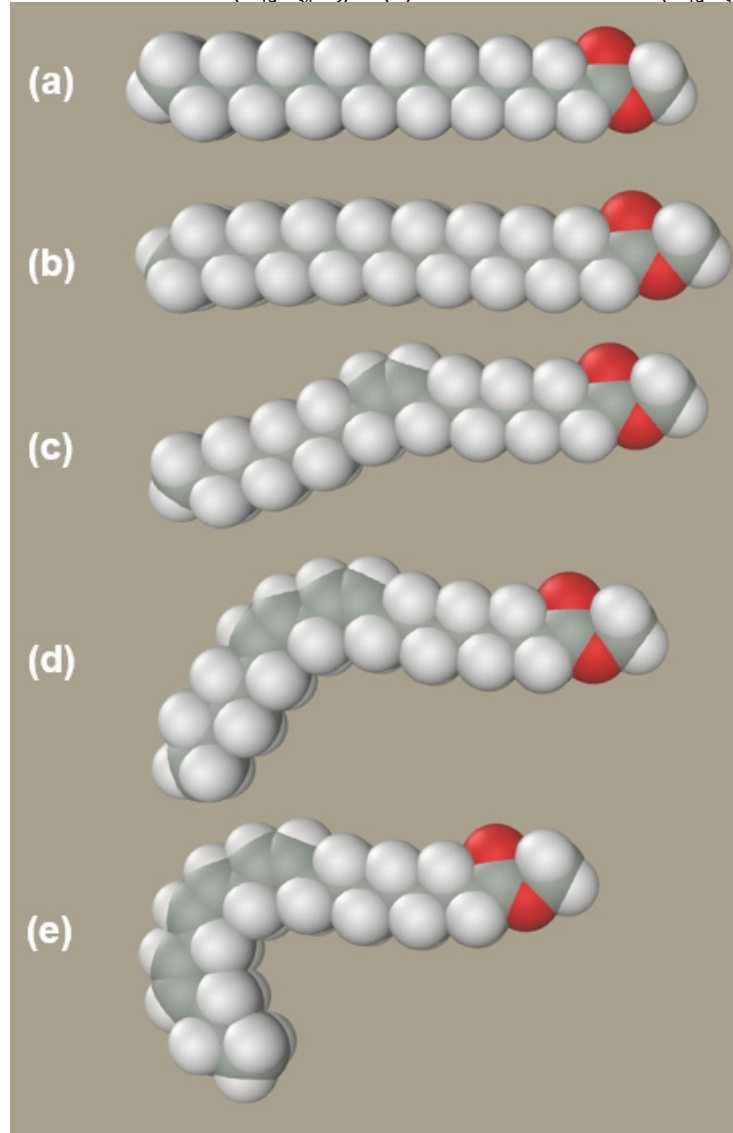


Fonte: desenhado pelo autor.

O biodiesel é produzido a partir da transesterificação de óleos e gorduras, sendo composto por ésteres de cadeia longa, metílicos ou etílicos, derivados de ácidos graxos. No Brasil, a maior parte do biodiesel produzido é derivado da transesterificação do óleo de soja com metanol em postos de combustível. Este combustível é vendido já adicionado ao diesel.

Os componentes predominantes no biodiesel produzido por rota metílica são mostrados na Figura 3. As moléculas do biodiesel são, em geral, maiores que as moléculas do diesel. Outra diferença importante é que, para o biodiesel de soja, aproximadamente metade das suas moléculas são de cadeias insaturadas. Essas insaturações fazem com que as moléculas sejam não-lineares, como é possível observar na Figura 3. Além disso, uma das extremidades das moléculas de ésteres é polar, devido às ligações entre átomos de carbono e oxigênio.

**Figura 3** - Moléculas dos cinco componentes mais abundantes no biodiesel metílico de soja: (a) palmitato de metila ( $C_{17}H_{34}O_2$ ), (b) estearato de metila ( $C_{19}H_{38}O_2$ ), (c) oleato de metila ( $C_{19}H_{36}O_2$ ), (d) linoleato de metila ( $C_{18}H_{34}O_2$ ) e (e) linolenato de metila ( $C_{18}H_{32}O_2$ ).



Fonte: desenhado pelo autor.

Os efeitos de diferentes proporções de partículas nanoestruturadas de grafite sobre a viscosidade de misturas de fluidos complexos formados pela mistura, dos combustíveis diesel S10 e biodiesel são comentados.

## 2 . ANÁLISE DA VISCOSIDADE VIA REOLOGIA DE FLUIDOS

O primeiro parâmetro reológico a ser definido no estudo de fluidos é a viscosidade. Viscosidade é a resistência existente ao escoamento de um fluido derivado da fricção interna de uma parte do fluido se movendo para outra. Partindo-se do proposto por Newton é possível escrever a Equação 1.

$$\tau = \eta \gamma \quad (1)$$

sendo  $\tau$  a tensão de cisalhamento,  $\gamma$  a taxa de cisalhamento e  $\eta$  a constante de proporcionalidade, denominada viscosidade dinâmica ou viscosidade. Nem todos os fluidos apresentam comportamento descrito pela Eq. 1. Aqueles que obedecem a Eq.

1 são chamados fluidos newtonianos. Outros fluidos são não-newtonianos pois não fluem até que um determinado valor de tensão de cisalhamento seja atingido. Um fluido que se comporta como newtoniano após a aplicação de uma tensão mínima de cisalhamento é denominado fluido plástico de Bingham. A Equação 2 representa este comportamento.

$$\tau = \tau_0 + \eta_p \dot{\gamma} \quad (2)$$

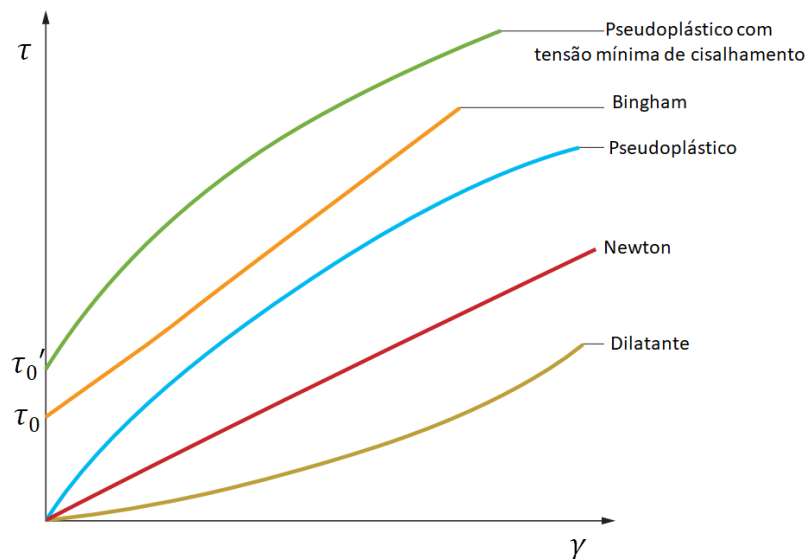
sendo  $\eta_p$  a viscosidade plástica e  $\tau_0$  a tensão mínima de cisalhamento para escoamento de fluido. Ambos os tipos de fluidos, newtonianos e plásticos de Bingham possuem valores de viscosidade constante em função da taxa de cisalhamento. Os modelos de Ostwald-De Waele (Equação 3) e Herschel-Bukley (Equação 4) representam fluidos nos quais a viscosidade varia em função da taxa de cisalhamento.

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (3)$$

$$\tau = \tau_0 + K \dot{\gamma}^n \quad (4)$$

sendo  $K$  o parâmetro índice de consistência e  $n$  o índice de comportamento de escoamento. Pelas Equações 3 e 4, nota-se que o modelo de Ostwald-De Waele se aplica a fluidos que não necessitam de uma tensão mínima de escoamento, de forma similar aos fluidos newtonianos, enquanto o fluidos que obedecem ao modelo de Hershel-Bukley se referem a líquidos que necessitam de uma tensão mínima, como os tipo plásticos de Bingham. O parâmetro índice de consistência é igual à viscosidade apresentada pelo fluido submetido a uma taxa de cisalhamento fixa, chamada de viscosidade aparente. Fluidos que respeitam esses modelos e apresentam o índice de comportamento de escoamento menor que 1 são denominados pseudoplásticos e suas viscosidades aparentes diminuem com o aumento da taxa de cisalhamento a qual são submetidos. Fluidos com o índice de comportamento de escoamento maior que 1 são denominados dilatantes, pois suas viscosidades aparentes aumentam com o aumento da taxa de cisalhamento. A Figura 4 exhibe curvas reológicas típicas de fluidos modelados com as Equações 1, 2, 3 e 4. Alguns fluidos apresentam comportamento variável no tempo. Esse fenômeno é conhecido como tixotropia. Uma vez submetidos a uma taxa de cisalhamento constante, fluidos tixotrópicos têm sua viscosidade decrescente em função do tempo. Ao deixar tais fluidos em repouso, suas viscosidades retornam lentamente ao valor inicial, muito mais elevada que a mínima atingida com uma taxa de cisalhamento fixa. Fluidos chamados reopéticos têm sua viscosidade aumentada, enquanto são submetidos a uma taxa de cisalhamento de valor fixo, por isso também são conhecidos como antitixotrópicos. Assim como fluidos, tixotrópicos, os reopéticos regeneram seus valores de viscosidade iniciais ao permanecerem em repouso. Fluidos que apresentam esses tipos de comportamento são complexos em termos de modelagem de uma lei de comportamento.

**Figura 4** - Curvas típicas de fluidos representando os modelos de Newton, Bingham, Ostwald-De Waele e Hershel-Bukley.



Fonte: Araújo, 2020.

### 3 . DISPERSÕES FUNCIONAIS

Processos de dispersões e reologia de líquidos partículas dispersas são de grande interesse industrial, como para produção de tintas e aditivos sólidos em combustíveis. Em geral, para sistemas diluídos, ou seja, com uma fração volumétrica de sólidos menor que 0,01 (1%), a Equação 5 (proposta por Albert Einstein) serve de modelo, através do qual o valor parâmetro viscosidade pode calculado.

$$\eta_d = \eta(1 + 2,5\phi) \quad (5)$$

onde  $\phi$  representa a fração volumétrica de sólidos e  $\eta_d$  representa a viscosidade da dispersão a partir da viscosidade  $\eta$  do fluido. No desenvolvimento desse modelo, porém, as partículas consideradas são esféricas.

Em sistemas mais concentrados, as interações entre as partículas devem ser levadas em consideração. George Keith Batchelor construiu um modelo que considera tais interações, Equação 6.

$$\eta_d = \eta(1 + 2,5\phi + 6,2\phi^2) \quad (6)$$

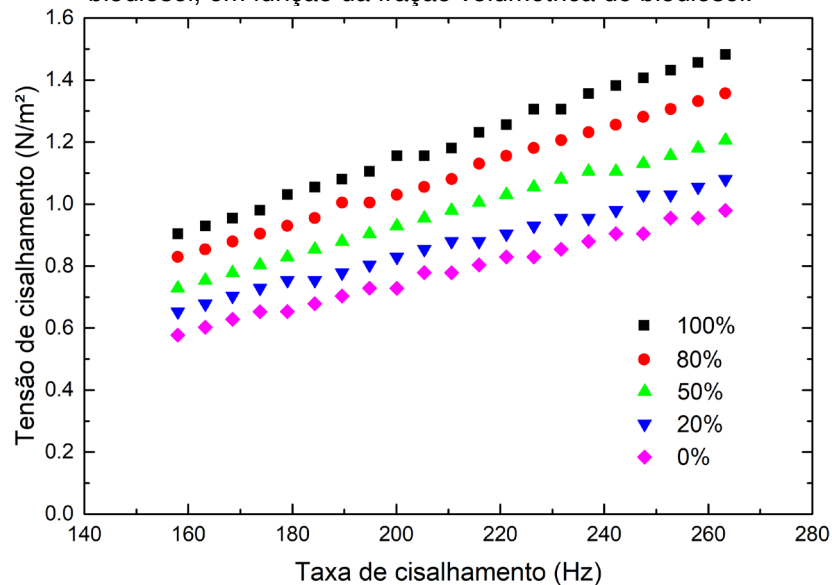
Diversas expressões foram propostas após as Eq. 5 e 6 para descrever a viscosidade de dispersões. Em comum entre si e com as Equações 5 e 6, o parâmetro viscosidade de uma dispersão deve aumentar com o aumento da concentração de partículas adicionadas. Alguns estudos reportaram dados constatam resultados que não se encaixam nesses modelos.

Nos experimentos envolvendo fluidos complexos tipo blendas de diesel S10 e biodiesel com frações volumétricas de biodiesel iguais a 0%, 20%, 50%, 80% e 100% no caso, esses mostram comportamento de fluidos newtonianos para a faixa

de taxa de cisalhamento entre 158 Hz e 263 Hz. Este comportamento é mostrado na Figura 5.

A Figura 5 mostra curvas reológicas, tensão de cisalhamento *versus* taxa de cisalhamento, para diesel S10, biodiesel e blendas diesel S10/biodiesel. A tensão de cisalhamento varia de forma linear em função da taxa de cisalhamento das blendas.

**Figura 5** - Tensão de cisalhamento *versus* taxa de cisalhamento para blendas de diesel S10 e biodiesel, em função da fração volumétrica de biodiesel.



Fonte: Lanfredi, 2019.

Comportamento de fluidos newtoniano é o mais simples possível para fluidos. A partir da análise do comportamento das blendas, foi possível determinar os valores de suas viscosidades. Esses valores estão listados na Tabela 1. Ao se adicionar partículas nanoestruturadas de grafite a essas blendas, alguns resultados, até surpreendentes, foram obtidos. A cada uma dessas amostras, foram adicionadas proporções de pó de grafite iguais a 0,2%, 0,4% e 0,8% em volume. Todas essas quantidades de grafite representam frações volumétricas adequadas ao modelo proposto por Einstein. Nas mesmas condições experimentais, as dispersões mantiveram o comportamento de fluidos newtonianos, como pode ser observado na Figura 6. Os resultados obtidos para os valores de viscosidade de todas essas amostras são listados na Tabela 1.

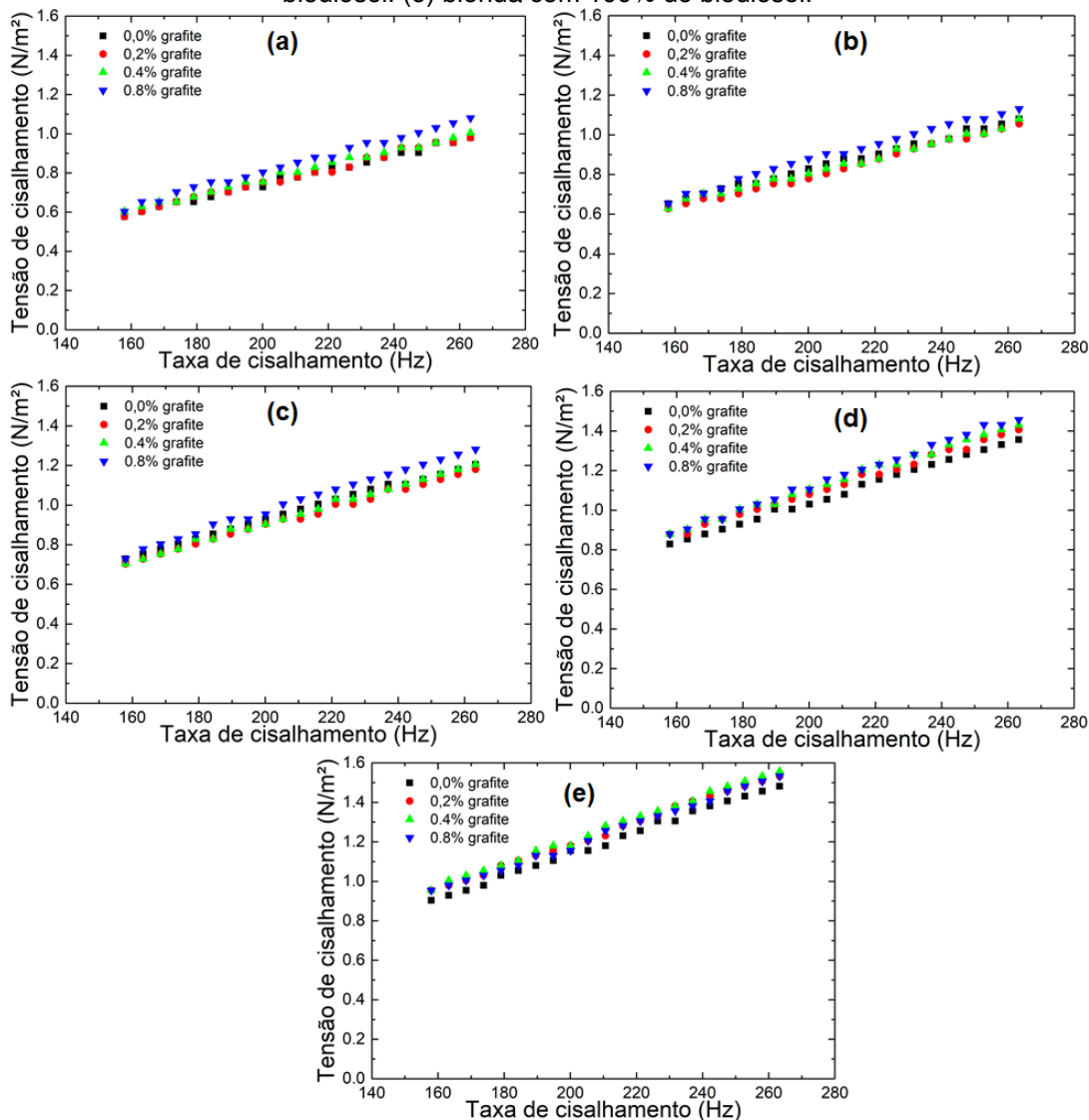
**Tabela 1** - Viscosidades em mPa.s das blendas binárias de diesel S10 e biodiesel, com adição de partículas de grafite, a 293,15 K.

Fração volumétrica de biodiesel (%)	Fração volumétrica de grafite (%)			
	0,0	0,2	0,4	0,8
0	3,70±0,04	3,73±0,05	3,82±0,04	4,03±0,07
20	4,12±0,05	3,97±0,05	4,05±0,06	4,31±0,07
50	4,62±0,03	4,48±0,04	4,54±0,05	4,84±0,07
80	5,19±0,04	5,40±0,07	5,51±0,06	5,58±0,05
100	5,69±0,05	5,92±0,06	6,01±0,06	5,89±0,07

Fonte: Lanfredi, 2019.

De acordo com os dados listados na Tabela 1, algumas dispersões apresentaram valores de viscosidade mais baixos que os fluidos isentos de sólidos. Esse fenômeno ocorre em quatro amostras, as que continham fração volumétrica de biodiesel iguais a 20% e 50% e fração volumétrica de grafite iguais a 0,2% e 0,4%. Esses resultados aparentam entrar em conflito com a Equação 5. Porém, partículas de grafite, devido sua estrutura molecular, tendem a apresentar estruturas achatadas, como de camadas ou folhas.

**Figura 6** Tensão de cisalhamento *versus* taxa de cisalhamento para blendas de diesel S10 e biodiesel, em função da fração volumétrica de grafite. (a) blenda com 0% de biodiesel. (b) blenda com 20% de biodiesel. (c) blenda com 50% de biodiesel. (d) blenda com 80% de biodiesel. (e) blenda com 100% de biodiesel.

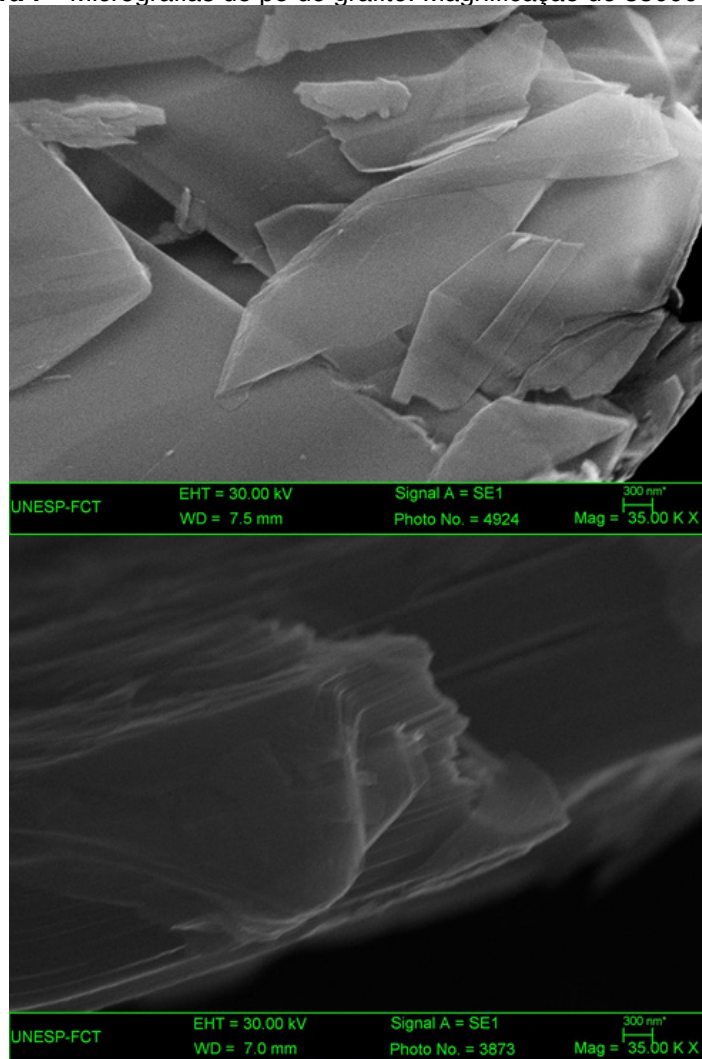


Fonte: Lanfredi, 2019.

A Figura 7 mostra micrografias do pó de grafite, obtidas por microscopia eletrônica de varredura, nas quais é possível observar as nanoestruturas das partículas do grafite. Lâminas delgadas podem ser identificadas com uma aumento de 35000 vezes. Na imagem superior identifica-se lâminas extensas com espessura de décimos na barra de tamanho, 300 nm. Na imagem inferior da Fig. 7, uma borda mostra de forma inequívoca que lâminas nanométricas se sobrepõe.



**Figura 7** - Micrografias do pó de grafite. Magnificação de 35000 vezes.



Fonte: próprio autor.

De acordo com as micrografias de microscopia eletrônica de varredura (MEV), essas partículas de grafite compõem-se de uma nanoestrutura, composta de estruturas laminares de espessura nanométrica. O modelo de atuação sobre a viscosidade das blendas não é evidente, mas uma ideia é que as nanoestruturas de lâminas induzem algum tipo de ordem lamelar na suspensão. Assim, por hipótese, após a ordenação do sistema submetido a taxas de cisalhamento de modo unidirecional, ocorre uma diminuição da viscosidade dos fluidos complexos analisados.

## REFERÊNCIAS

Araújo, T. B. **Caracterização de Propriedades de Excesso em Blendas Binárias e Ternárias de Misturas Combustíveis, no Sistema: Diesel/Etanol Anidro/Óleo de Palma**. 2020. 150f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2020.

DEMIRBAS, A. **Biodiesel: A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines**. Springer-Verlag London, 2008. 208 p.

GVARAMIA, M. *et al.* **Tunable viscosity modification with diluted particles**: When particles decrease the viscosity of complex fluids. *Colloid and Polymer Science*, v. 297, p. 1507-1517, 2019.

IRGENS, F. **Rheology and Non-Newtonian Fluids**. Springer, 2014. 190 p.

KNOTHE, G.; KRAHL, J.; GERPEN, J. V. **The Biodiesel Handbook**. 2nd ed. Urbana, Illinois: AOCS Press, 2010. 494 p.

KNOTHE, G.; STEIDLEY, K. R. Kinematic viscosity of biodiesel fuel components and related compounds. Influence of compound structure and comparison to petrodiesel fuel components. *Fuel*, v. 84, n. 9, p 1059-1065, 2005.

LANFREDI, S.; Araújo, T. B.; Nobre, M. A. L. **Molecular-Interactions Effects on the Rheological Properties of Graphite Dispersions in Complex Binary Blends of Methyl Esters and Hydrocarbons**. Em: Brazil MRS Meeting, 18., 2019, Balneário Camboriú.

MALKIN, A. Y.; ISAYEV, A. **Rheology: Concept, Methods, and Applications**. 3rd ed. Toronto: ChemTec Publishing, 2017. 528 p.

MINKOWYCZ, W. J.; SPARROW, E. M.; ABRAHAM, J. P. **Nanoparticle Heat Transfer and Fluid Flow**. CRC Press, 2013. 342 p.

SINGH, S. P.; SINGH, D. **Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: A review**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 14, n. 1, p. 200–216, 2010.

STANISLAUS, A.; MARAFI, A.; RANA, M. S. Recent advances in the science and technology of ultra low sulfur diesel (ULSD) production. *Catalysis Today*, v. 153, n. 1-2, p. 1-68, 2010.

TADROS, T. F.; **Rheology of Dispersions: Principles and Applications**. Wiley-VCH, 2010. 219 p.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

Professor Doutor **MARCOS AUGUSTO DE LIMA NOBRE**: Graduado em Licenciatura Plena em Física (1993), Mestre em Química (subárea Físico-química) (1995) e Doutor em Ciências (subárea Físico-química) (1999), Universidade Federal de São Carlos-UFSCar. Pós-Doutor pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2000), Departamento de Metalurgia e Engenharia de Materiais. Bolsista do programa Jovem Pesquisador em Centros Emergentes JP-FAPESP (2002-2006). Professor Assistente Doutor, concurso RDIDP: MS-3.1 em 2006, nível atual MS-3.2, com mais de 4000 horas/aula ministradas (2003-atual), e Pesquisador da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, FCT, Departamento de Física (2006); orienta 1 Doutorado. Fundador (2002) e Coordenador do Laboratório de Compósitos e Cerâmicas Funcionais - LaCCeF, Grupo de Compósitos e Cerâmicas Funcionais, certificado PROPE-UNESP/CNPq. Membro permanente (2010-atual) e Orientador de M/D do Programa de Pós-Graduação em Química, IBILCE/UNESP-SP, com mais de 2600 horas/aula ministradas (2010-atual). Bolsista de Produtividade em Pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Pesquisador PQ-2 CNPq CA: QU (Química), 2010-2012. Bolsista de Produtividade em Pesquisa, pesquisador PQ-2 CNPq/CA: QU (Química), 2019-2021. Editor Associado do Micro & Nano Letters IET (2019-atual). Membro do Conselho Editorial da Editora Artemis (2020-atual). Recebeu mais de 75 Prêmios e Honrarias. Publication-Ethical Editor do Applied Mathematical Sciences -m-Hikari Ltd Ruse Bulgary (2015-presente); Membro do corpo Editorial do MAYFEB Journal of Materials Science, Toronto-Ontario Canada (2016-presente) e Modern Research in Catalysis, Irvine-CA, USA (2017-presente). Possui 02 Patentes. Publicou 80 artigos, em 40 periódicos diferentes, indexados e indexados no sistema QUALIS/CAPES, de editoras: IET, IEEE, MDPI, North-Holand, Royal Society of Chemistry (RSC), Academic Press Inc./ Els. Sci - USA, American Ceramic Society - USA, American Institute of Physics - USA, American Scientific Publishers - USA, Chapman & Hall, IOP Publishing Ltd - UK, Kluwer Academic Publishers - Netherlands, WILEY (John Wiley & Sons), Pergamon/Els. Sci. Ltd - UK e Springer - USA, outras. Atua como Referee em 30 periódicos distintos. Conta com 76 artigos indexados no ex-sistema Research ID, atual Publons, 47 deles com 1292 citações, Fator de Impacto H INDEX = 22 e 96 revisões, em 08/10/2020. Publicou mais de 580 trabalhos em Congressos, sendo mais de 150, trabalhos completos em anais. É autor/coautor de 2 livros e 17 outros capítulos envolvendo divulgação de Ciências e Ensino de Física e Química sendo a estratégia principal a divulgação de Nanociência, Nanotecnologia e Nanobiotecnologia, 28 produtos tecnológicos e três processos ou técnicas. Tem experiência na área de Processamento Avançado de Materiais Cerâmicos: Matérias primas, cerâmicas vermelha, estruturais e avançadas, Física dos Materiais Dielétricos Lineares, não Lineares, Química do Estado Sólido: Difração de Raios X, Espectroscopia de Impedância e Infravermelho FTIR, Transições de fase: Estruturais e não estruturais. Interações Moleculares em Biocombustíveis. Atua nos temas: Síntese Novos-Materiais e Química de Nanopartículas aplicada ao desenvolvimento de: ferroelétricos, catalisadores e fotocatalisadores. Caracterização de eletrocerâmicas em altas temperaturas com ênfase em fenômenos de contorno de grão e interfaces, Caracterização dielétrica e térmica (condutividade e resistividade térmica): nanopartículas, nanofluidos e blendas biocombustíveis à base de biodiesel e aditivos anti-congelantes. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4843-3975>; <http://lattes.cnpq.br/7201928600704530>

## ÍNDICE REMISSIVO

### B

Biodiesel 41, 42, 47, 48, 49, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 80

Blendas 48, 54, 55, 56, 57, 80

Blends 48, 49, 58

### C

Cerâmica de  $\text{KSr}_2\text{Nb}_5\text{O}_{15}$  59, 60, 65, 67

Ciências da Saúde 29

Clay 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27

Clay minerals 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27

### D

Diesel 41, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 58

Distance Education 28, 30, 31, 39

### E

Educação a Distância 29, 39

Estratégias Metodológicas 29

### G

Graphite nanostructures 49

### H

Half-Heusler 1, 10

Health Sciences 28, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 38, 39

High energy ball milling 1, 2, 3

Hollow nanoparticles 40

### I

Intermetálico 1

Intermetallic 1, 2

### K

$\text{KSr}_2\text{Nb}_5\text{O}_{15}$  ceramic 59

### M

Mechanical alloying 1, 4, 9, 10

Methodological Strategies 28

Moagem de alta energia 1  
Montmorillonite - nontronite species 12, 82

## N

Nanociência e Nanotecnologia 29  
Nanoestruturas 40, 48, 56, 57, 59  
Nanoestruturas de grafite 48  
Nanograins 59  
Nanogrão 59, 66  
Nanopartículas nanoestruturadas 40  
Nanopartículas ocas 40  
Nanoscience and Nanotechnology 28, 30, 31, 32, 33, 38, 39  
Nanostructured nanoparticles 40  
Nanostructures 10, 40, 47, 48, 49, 59  
Nanotechnology 27, 28, 30, 31, 32, 33, 38, 39, 40, 48, 59, 72  
Nanotecnologia 29, 40, 46, 48, 49, 59, 71, 73, 80

## S

SEM images 11, 12, 23, 24

## T

TErmoelétrico 1  
Thermal analysis 11, 12, 14, 19, 20  
Thermoelectric 1, 2, 5, 10  
Thixotropic behavior 12, 23

## V

Viscosidade 48, 49, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 74  
Viscosity 21, 22, 26, 48, 49, 57, 58