

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)

ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos
processos e produtos



Atena
Editora
Ano 2022

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)

ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos
processos e produtos



Atena
Editora
Ano 2022

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

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

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Engenharia química: desenvolvimento de novos processos e produtos

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia química: desenvolvimento de novos processos e produtos / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0198-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.988221306>

1. Engenharia química. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 660

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

O e-book: “Engenharia química: Desenvolvimento de novos processos e produtos” é constituído por nove capítulos de livros que apresentaram estudos aplicados a diferentes segmentos industriais e ambientais.

O primeiro capítulo avaliou as propriedades e capacidade de escoabilidade de materiais pulverulentos a base de celulose e lactose na fabricação de medicamentos na forma de comprimidos ou cápsulas, os resultados foram satisfatórios e possibilita a substituição da lactose pela celulose. O segundo trabalho avaliou o processo de cavitação no canal do bico injetor ao se substituir o tipo de combustível em motores que operam a diesel, a viscosidade do combustível e a pressão de injeção foram os fatores que mais influenciaram na cavitação. O terceiro capítulo avaliou diferentes modificações químicas no óleo de soja refinado a partir da reação de inúmeras reações com o intuito de melhorar as características lubrificantes, obtendo-se um lubrificante biodegradável a partir do óleo de soja. O capítulo 4 apresenta o estudo da incorporação do extrato de frutos – cupuaçu – e do mesocarpo do coco de babaçu a fim de conferir atividade antioxidante para biofilmes com potencial utilização em biopolímeros.

O capítulo 5 realizou uma análise bibliográfica de catalisadores e suas propriedades que viabilizam reações de transesterificação heterogênea a fim de obter biocombustíveis. Já o capítulo 6 realizou um estudo apresentando a importância da Espectroscopia Raman como técnica de caracterização de óxidos com propriedades catalíticas. O capítulo 7 apresentou um estudo de desenvolvimento de uma planta pirolítica de baixo custo utilizando resíduos de colheita de Eucalipto como biomassa para a combustão. O capítulo 8 apresentou uma técnica de conversão integral de gás metano em gás carbônico em um reator de leito fixo. Por fim, o estudo de potencialidade de biorremediação utilizando a biomassa de *Chlorella Vulgaris* em processos de tratamento de águas residuárias.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando de forma a estimular e incentivar cada vez mais pesquisadores do Brasil e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE FLUXO DE MISTURAS DE EXCIPIENTES FARMACÊUTICOS

Marlen Ussifati Rocha

Rodrigo Condotta

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213061>

CAPÍTULO 2..... 11

AVALIAÇÃO DO FENÔMENO DE CAVITAÇÃO EM INJETORES DO CICLO DIESEL OPERANDO COM BIODIESEL: MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Luís Felipe Nunes Truta

Boniek Evangelista Leite

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213062>

CAPÍTULO 3..... 24

PREPARAÇÃO DE POTENCIAIS BIOLUBRIFICANTES A PARTIR DE MODIFICAÇÕES QUÍMICAS NO ÓLEO DE SOJA REFINADO

Paulo Roberto de Oliveira

Ana Flávia de Oliveira

Patrick Rodrigues Batista

Carlos Itsuo Yamamoto

Francisco de Assis Marques

Palimécio Gimenes Guerrero Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213063>

CAPÍTULO 4..... 37

INFLUÊNCIA DO MESOCARPO DE COCO BABAÇU NA FORMAÇÃO DE BIOFILMES ADITIVADOS COM COMPOSTOS ANTIOXIDANTES – CUPUAÇU (*Theobroma grandiflorum*)

Meyrelle Figueiredo Lima

Dennys Correia da Silva

Audirene Amorim Santana

Harvey Alexander Villa Vélez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213064>

CAPÍTULO 5..... 44

CATALISADORES QUE VIABILIZAM A TRANSESTERIFICAÇÃO HETEROGÊNEA: UMA ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA

Priscila Pereira Silva

Thaina Firmino Voltolini

Evandro Roberto Alves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213065>

CAPÍTULO 6	60
ESPECTROSCOPIA RAMAN <i>IN SITU</i> OU OPERANDO NO ESTUDO DE REAÇÕES CATALISADAS POR ÓXIDOS	
Diego Rodrigues de Carvalho Rômulo Batista Vieira Luelc Souza da Costa	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213066	
CAPÍTULO 7	74
CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE PLANTA PIROLÍTICA DE BAIXO CUSTO EM ESCALA LABORATORIAL PARA PROCESSAMENTO TÉRMICO	
Victor Hugo Andreis Sebben Fabiano Perin Gasparin Lúcia Allebrandt da Silva Ries	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213067	
CAPÍTULO 8	86
GENERALIZED INTEGRAL TRANSFORM TECHNIQUE APPLIED IN METHANE REFORMING PROCESS WITH CARBON DIOXIDE IN FIXED BED REACTOR	
Josiel Lobato Ferreira Emerson Cardoso Rodrigues Dilson Nazareno Pereira Cardoso Wenderson Gomes dos Santos Romero Moreira de Oliveira Bruno Maués Farias João Nazareno Nonato Quaresma Emanuel Negrão Macêdo	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213068	
CAPÍTULO 9	106
BIOREMEDIATION POTENTIAL OF <i>Chlorella vulgaris</i> (CHLOROPHYCEAE) IN CASSAVA-PROCESSING WASTEWATERS	
Verónica de Medeiros Carla Cristina Almeida Loures Conceição Fernandes	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.9882213069	
SOBRE O ORGANIZADOR	112
ÍNDICE REMISSIVO	113

AVALIAÇÃO DO FENÔMENO DE CAVITAÇÃO EM INJETORES DO CICLO DIESEL OPERANDO COM BIODIESEL: MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Data de aceite: 01/06/2022

Data de submissão: 09/05/2022

Luís Felipe Nunes Truta

Universidade Federal de Campina Grande,
Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica
Campina Grande - Paraíba
<https://lattes.cnpq.br/3874095908556955>

Boniek Evangelista Leite

Universidade Federal de Campina Grande,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
de Processos
Campina Grande - Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/4452415926170275>

RESUMO: Com a crescente necessidade de substituição de combustíveis não-renováveis por combustíveis renováveis, o estudo a respeito do Biodiesel é fundamental para que possamos torna-lo uma opção viável como alternativa para os motores do ciclo Diesel, todavia, fatores como densidade e viscosidade, que diferem entre o Diesel e Biodiesel, fazem com que o comportamento que cada combustível apresenta dentro do injetor seja diferente, um dos exemplos disso é na formação de cavitação dentro do bico injetor. O objetivo desse trabalho é o estudo da cavitação no interior do canal do bico injetor de combustível de motores do ciclo Diesel operando com biodiesel. Para a simulação do injetor de combustível foi construída uma malha numérica do tipo tetraédrica, e com 1220258 elementos construída no *Ansys MESH®2015*, foi

utilizado o *software Ansys Fluent®2015*, para a simulação do fenômeno de cavitação, utilizando o modelo matemático de Schnner e Sauer, e o *K-ε Realizable* foi utilizado. Foram avaliados os parâmetros, diferença de viscosidade entre os combustíveis, o tempo e a pressão de injeção. Os resultados mostram que a viscosidade do combustível e a pressão de injeção são as principais influências para a formação das regiões de cavitação.

PALAVRAS-CHAVE: Cavitação, Biodiesel, Modelo de Schnner e Sauer, Ansys Fluent.

EVALUATION OF THE CAVITATION PHENOMENON IN DIESEL CYCLE INJECTORS OPERATING WITH BIODIESEL: MODELING AND SIMULATION

ABSTRACT: With the growing need to replace non-renewable fuels for renewable ones, the study of Biodiesel is fundamental for us to make it a viable alternative for the Diesel Cycle Engines, However, factor such as density and viscosity, that differs between Diesel and Biodiesel, makes their comportment different inside the injector nozzle, the cavitation formation inside the injector nozzle is an example of that. This study's object is the analysis of the cavitation inside the injector nozzle of Cycle Diesel Engines operating with Biodiesel. For the injector nozzle simulation, it was built a tetrahedral numerical mesh, with 1220258 elements, built in *Ansys MESH®2015*, it was used the *software Ansys Fluent®2015*, to simulate the cavitation phenomenon, using the Schnner and Sauer mathematical model, and the *K-ε Realizable* was used. There was evaluate the

following parameters, difference between the fuels viscosity, the injection time and injection pressure. The result shows that fuel's viscosity and injection time are the main influences to the formation of cavitation zones.

KEYWORDS: Cavitation, Biodiesel, Schnner and Sauer Model, Ansys Fluent.

1 | INTRODUÇÃO

Desde o século dezenove os motores de combustão interna tiveram seu desenvolvimento ligado a modelos termodinâmicos que descrevem o seu funcionamento.

Com a crise do petróleo na década de 70 procurou-se a substituição dos combustíveis de origem fóssil, considerados fontes não renováveis, por combustíveis de fontes renováveis, tornou-se um objetivo global.

No Brasil, o governo acabou apostando na cana de açúcar e nos óleos vegetais para alavancar o setor de biocombustíveis. Para motores do ciclo diesel o interesse pelos óleos vegetais decorre não só do consumo de biodiesel no mercado interno, mas também da produção descentralizada de energia, atuando com forte apoio à agricultura familiar e valorizando as potencialidades regionais (Amaral, 2006; Ramos et al, 2003).

A combustão e o desempenho de um motor ciclo Diesel em relação às emissões dependem da qualidade da mistura ar-combustível e da quantidade de combustível injetada. Uma mistura homogênea resulta em uma menor emissão de particulados e numa maior eficiência do motor.

A qualidade da mistura ar-combustível é afetada pelas características do escoamento no injetor de combustível, com isso o fenômeno de cavitação tem influência na qualidade da mistura injetada na câmara de combustão.

Diante da maior utilização de combustíveis derivados da biomassa (biodiesel) com propriedades físico-químicas distintas do óleo diesel comercial em motores do ciclo Diesel, há uma necessidade de estudos para a otimização do desempenho e emissões desses motores para o uso do combustível vegetal em maior percentual. Pois os sistemas de injeção de combustíveis dos motores atuais estão calibrados para uma utilização de no máximo de 20% de biodiesel, com isso tem-se problemas na utilização do combustível vegetal, para maiores concentrações de biodiesel, há o efeito negativo de entupimento de injetores, filtros e a má dispersão na câmara de combustão.

Para a otimização do escoamento e análise do fenômeno de cavitação do combustível em motores de ignição por compressão, a utilização de métodos computacionais como ferramenta é um método científico viável. O uso dessa ferramenta é benéfico em vários aspectos, principalmente na redução dos custos durante a fase de experimentação em protótipos.

O escoamento e a cavitação de combustíveis de alta viscosidade em motores diesel é um fenômeno de grande complexidade, pois envolve simultaneamente mecânica dos

fluidos e transferência de calor, todavia, a modelagem e simulação de casos desse tipo é de fundamental importância para que possamos entender o fenômeno para assim utilizá-lo para tornar os injetores de motores a diesel mais eficientes quando operados com biodiesel.

2 | OBJETIVOS

Objetivo geral: Estudar numericamente o escoamento no interior de injetores de alta pressão operando com biodiesel, e avaliar a ocorrência e o efeito da cavitação no canal de injeção

Objetivos específicos:

- Definir um modelo matemático tridimensional transiente capaz de representar fielmente o fenômeno de cavitação do biodiesel em um injetor de alta pressão;
- Analisar os efeitos da cavitação no escoamento do injetor operando biodiesel via software *Ansys FLUENT*[®];
- Avaliar o efeito da viscosidade do combustível na formação de cavitação no escoamento do injetor;
- Avaliar o efeito do tempo de injeção de combustível na formação de cavitação no escoamento do injetor;
- Avaliar o efeito da pressão de injeção de combustível na formação de cavitação no escoamento do injetor;

3 | METODOLOGIA

Para realização da avaliação do fenômeno se faz necessário primeiramente entender o que causa a cavitação em bicos injetores de motores do ciclo diesel e o que influência na sua formação.

Cavitação pode ser definido como a formação de zonas de vapor, ou bolhas, dentro de uma região com fluxo de líquidos. Esse fenômeno ocorre nos bicos injetores quando a pressão no local fica abaixo da pressão de vaporização do combustível, essa baixa pressão geralmente é encontrada na zona mais próxima a parede do canal de injeção, ocasionando assim a formação de regiões que possuem uma maior fração de vapor do que de líquido, assim moldando o fluxo do combustível, como podemos ver na **Figura.1**.

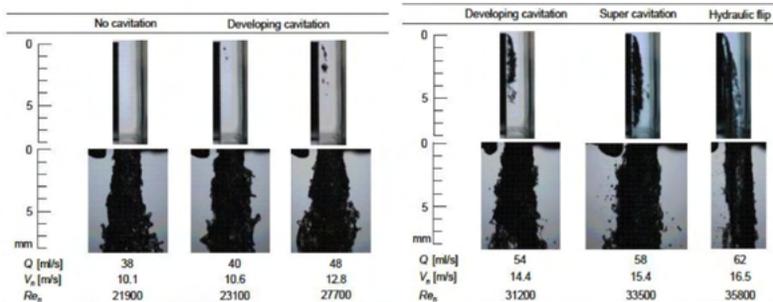


Figura 1. Exemplo formação de cavitação em uma análise experimental, a parte mais escura representa a formação cavitação.

Fonte: Bicer Et. al.

Após compreender o processo de formação da cavitação, se deu início a uma busca para encontrar uma ferramenta para realização da simulação computacional que fosse adequada para a análise desse fenômeno, o *software* escolhido foi o *Ansys FLUENT®2015*, pois o mesmo conta com opções de métodos de modelar cavitação que podem ser escolhidos de acordo com a necessidade de cada problema.

Em seguida a escolha da ferramenta, foi então analisado qual o domínio físico de interesse para o estudo, foi escolhido o canal interno de um bico injetor, e visando simplificação na simulação e maior eficiência no tempo computacional, foi adotado um modelo de ¼ de geometria de um bico injetor. A dimensão da geometria é baseada no trabalho de Zhou Chen et al., 2018, e pode ser vista na **Figura.2** e **Tabela.1**.

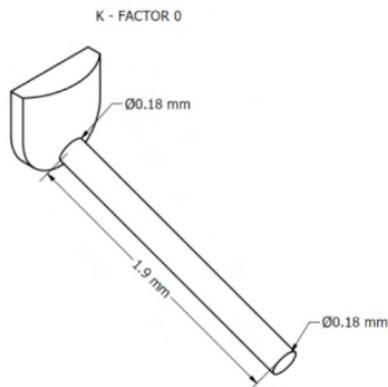


Figura 2. Geometria construída para simulação, volume interno do injetor.

Fonte. Desenhos de autoria própria baseados nos valores de Zhou Chen et al., 2018.

Geometria	Diâmetro Entrada (mm)	Diâmetro Saída (mm)	Comprimento (mm)	K-Factor
Cilíndrica	0,18	0,18	1,9	0

Tabela.1 - Dimensões canais do bico injetor.

Fonte. Desenhos de autoria própria baseados nos valores de Zhou Chen et al., 2018.

Após definição do domínio físico e das geometrias, foram geradas as malhas numéricas em cada geometria utilizando o *software Ansys MESH*®2015, e em seguida as malhas foram importadas para o *Ansys Fluent*®2015, como podemos ver na **Figura.3**, onde temos uma região de entrada de pressão, as regiões de parede e a região de saída da pressão.

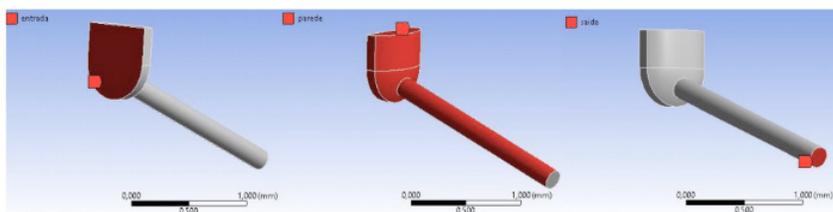


Figura 3. Domínio físico representado na geometria.

Fonte. Autoria própria.

Para as malhas foram utilizados elementos Tetraédricos e Hexaédricos, com tamanho máximo de 0,01 mm, em todas as geometrias, foi aplicado também a função *Inflation*, como ilustrado na **Figura.4**, com o objetivo de melhor adaptar a malha nas regiões próximas a parede do canal do bico injetor, local onde é esperada a formação de cavitação.

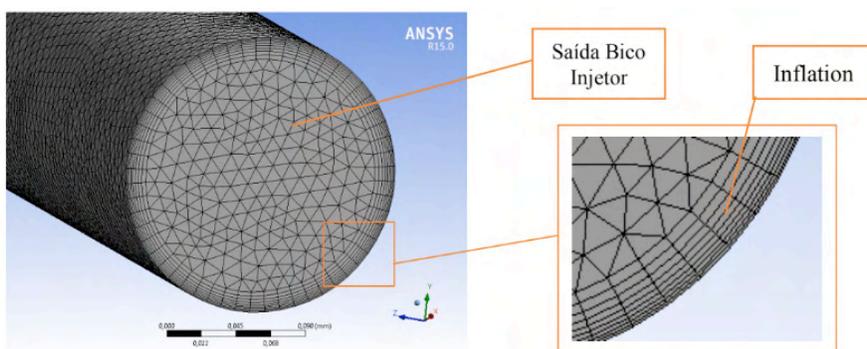


Figura 4. Representação da malha após aplicação da função Inflation.

Fonte. Autoria Própria.

Podemos ver o resultado do refinamento da malha com a função Inflation nas extremidades da saída do bico injetores, porém a mesma se estende por todo o canal do bico injetor.

A etapa seguinte foi identificar as propriedades físicas dos combustíveis que seriam analisados, sendo eles Diesel e Biodiesel, para assim avaliarmos a influência da viscosidade na cavitação. Na **Tabela.2**, temos, as propriedades físico-químicas dos combustíveis nas fases de líquido e de vapor.

	Biodiesel (líquido)	Diesel (líquido)	Biodiesel (Vapor)	Diesel (Vapor)
Densidade (kg/m³)	870	825	0,001	0,05
Viscosidade (kg/m.s)	0,0039	0,0021	1e-6	1e-6

Tabela 2. Propriedades Físico-Químicas dos combustíveis Biodiesel de óleo de Soja e Diesel.

Fonte. Battistoni et al., 2010.

Por fim os últimos dados necessários referentes aos combustíveis são suas respectivas pressões de Vaporização, tal informação foi retirada da Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) de cada combustível, tendo assim os valores apresentados na **Tabela.3**.

	Biodiesel	Diesel
Pressão de Vaporização (Pa)	420	400

Tabela 3. Pressões de Vaporização dos Combustíveis.

Fonte. Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ).

Para dar procedimento a simulação foram feitas algumas considerações para o modelo matemático, sendo elas:

- Simulação baseada em pressão
- Domínio físico focando apenas no canal do bico injetor
- Malha Fixa
- Processo isotérmico

O modelo matemático utilizado é disponibilizado pelo próprio *Ansys FLUENT® 2015*, sendo este o modelo de Schnner e Sauer (*Schnner and sauer model*), este sendo o modelo de análise padrão do *software* e pode ser utilizado em modelos multifásicos tanto de mistura quanto eulerianos. O modelo multifásico utilizado foi o modelo para mistura com 2 fases eulerianas e para turbulência foi utilizado um modelo K-ε *Realizable* com um tratamento

padrão para as proximidades das paredes.

Na cavitação a transferência de massa liquido-vapor é determinada pela equação de transporte de vapor:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha\rho_v) + \nabla \cdot (\alpha\rho_v\vec{V}_v) = R_e - R_c$$

Na qual:

v = Fase de vapor

α = Fração de volume de vapor

ρ_v = Densidade do vapor

\vec{V}_v = Velocidade da fase de vapor

R_e, R_c = Termos da fonte de transferência de massa conectados ao crescimento e colapso das bolhas de vapor, respectivamente

Com relação a dinâmica das bolhas no processo de simulação, em um líquido fluindo com deslimento de velocidade zero entre o fluido e as bolhas, a equação dinâmica da bolha pode ser derivada da equação generalizada de Rayleigh-Plesset e ser simplificada para:

$$\frac{D\mathfrak{R}_B}{Dt} = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{P_b - P}{P_l}}$$

Na qual

\mathfrak{R}_B = Raio da Bolha

σ = Coeficiente liquido de tensão superficial

ρ_l = Densidade do liquido

P_b = Pressão superficial da bolha

P = Pressão local de campo distante

As duas equações citadas anteriormente se aplicam a todos os modos de simular cavitação utilizando o *Ansys FLUENT® 2015*, desde ponto em diante será falado as equações referentes especificadamente ao modelo utilizado (*Schner and sauer model*).

A equação para a fração de volume de vapor tem uma forma geral:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha\rho_v) + \nabla \cdot (\alpha\rho_v\vec{V}_v) = \frac{\rho_v \rho_l}{\rho} \frac{Da}{Dt}$$

E o termo fonte de massa líquida se dá por:

$$R = \frac{\rho_v \rho_l}{\rho} \frac{da}{dt}$$

Esse modelo utiliza a seguinte expressão para conectar a fração de volume de vapor com o número de bolhas por volume de liquido:

$$a = \frac{n_b \frac{4}{3} \pi \mathcal{R}_B^3}{1 + n_b \frac{4}{3} \pi \mathcal{R}_B^3}$$

E por fim o modelo entrega a seguintes equações:

$$R = \frac{\rho_v \rho_l}{\rho} a (1 - a) \frac{3}{\mathcal{R}_B} \sqrt{\frac{2}{3} \frac{(P_v - P)}{\rho_l}}$$

$$\mathcal{R}_B = \left(\frac{a}{1 - a} \frac{3}{4\pi} \frac{1}{n} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Onde nelas temos:

R = Taxa de transferência de massa

\mathcal{R}_B = Raio da Bolha

Por fim é possível encontrar a fração de volume de vapor em determinado ponto, alimentado a equação de transporte de vapor com os dados obtidos pelo método, cálculo esse realizado também pelo *software*.

A última etapa para realizar as simulações fica sendo fornecer ao *software* as condições de contorno, sendo elas a pressão na entrada, pressão na saída e limitar o espaço físico pelas paredes, para que possamos realizar comparativos entre as diferentes geometrias e combustíveis, as condições de contorno se mantiveram as mesmas para todas as malhas geradas e podem ser vistas na **Tabela.4**.

Região	Variável	Valor
Entrada	Gauge Total Pressure (Pa)	1.5e+08
	Supersonic/Initial Gauge Pressure (Pa)	9.5e+07
	Turbulence Specification Method	K and ϵ
	Turbulent Kinect Energy (m ² /s ²)	0.02
	Turbulent Dissipation Rate (m ² /s ²)	1
Saída	Gauge Pressure (Pa)	8e+06
	Turbulence Specification Method	K and ϵ
	Turbulent Kinect Energy (m ² /s ²)	0.02
	Turbulent Dissipation Rate (m ² /s ²)	1

Tabela 4. Condições de contorno nas regiões de entrada e saída.

Fonte: Autoria Própria.

Refente a inizilização da solução e ao calculo em sí, configurações utilizadas em todas as geometrias estão presentes da **Tabela.5 e Tabela.6**.

Variável	Valor
Initialization Methods	Standard Initialization
Reference Frame	Relative to Cell Zone
Gauge Pressure (Pa)	9.5e+07

Tabela.5 - Configuração etapa Solution Initiazation

Fonte. Autoria Própria

Variável	Valor
Time Step Size (s)	1e-06
Number of Time Steps - Tempo 1	4000
Number of Time Steps - Tempo 2	7000

Tabela.6 - Configuração etapa Run Calculation.

Fonte. Autoria Própria.

4 | RESULTADOS

Antes de começar a análise com relação aos resultados, também foi realizada uma análise referente a origem da formação de cavitação, assim foi analisado os campos de pressão no interior do bico injetor, com a finalidade de validar que a cavitação realmente se origina na região com menor pressão, para isso utilizados a simulação com pressão de entrada de $1.5e^{+08}$ Pa e biodiesel no passe de tempo 100 unidades para melhor identificar o início da cavitação.

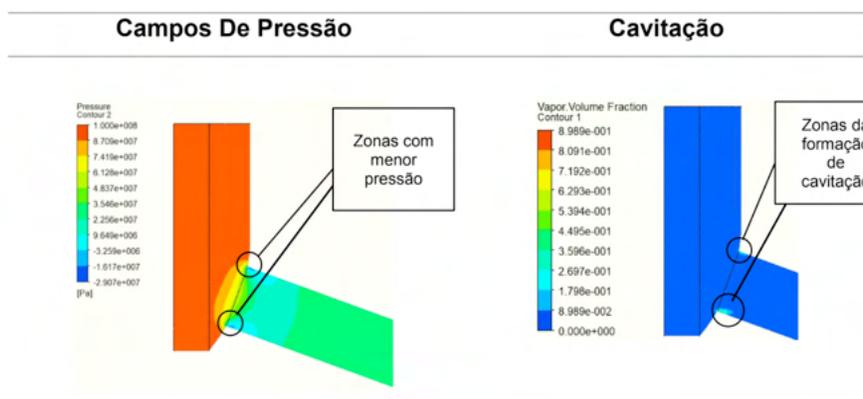


Tabela.7 - Análise Campos de pressão e região do início da cavitação.

Fonte. Autoria Própria.

Para a análise dos resultados, os mesmos foram organizados em 3 tabelas diferentes, onde em cada tabela foi analisada o impacto de uma variável em estudo para a formação do fenômeno de cavitação, sendo elas; Viscosidade do combustível, **Tabela.8**,

Tempo de injeção, **Tabela.9**, Pressão de Injeção, **Tabela.10**.

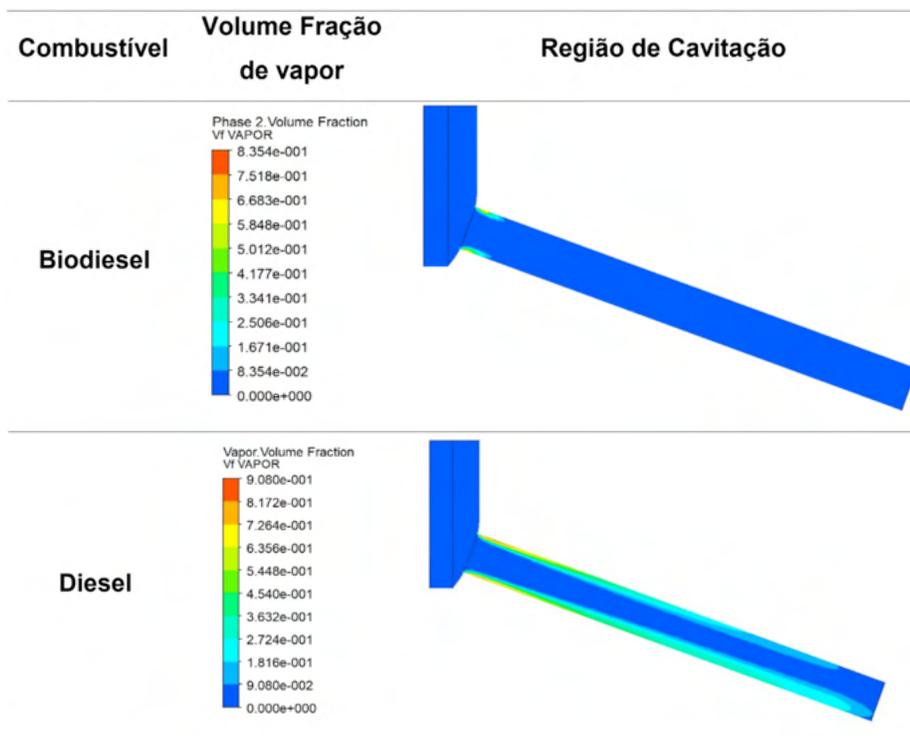


Tabela.8 - Análise impacto Viscosidade do combustível.

Fonte. Autoria Própria.

Para análise do impacto da viscosidade do combustível foram utilizados óleo Diesel e biodiesel com viscosidade respectivamente de 0,0021 kg/m.s e 0,0039 kg/m.s, na fase líquida e ambos possuem $1e^{-6}$ kg/m.s na fase de vapor, a pressão de injeção foi mantida constante em todos os casos ($1e^{08}$ Pa) e foram realizados 4000 passos de tempo com $1e^{-06}$ s em cada passo de tempo, totalizando o tempo de injeção de 4 milissegundos.

No caso com biodiesel teve um pico de 8,354% de fração de vapor, já para o caso com diesel, o pico foi de 9,08%, mostrando que para o combustível de menor viscosidade a formação de cavitação é maior, também é possível perceber que no caso com Biodiesel a cavitação é mais focada na entrada do canal do bico injetor, enquanto no Diesel a cavitação se dá por todos o canal do bico injetor.



Tabela.9 - Análise impacto do tempo de injeção.

Fonte. Autoria Própria.

Para analisar o impacto do tempo de injeção, na formação da cavitação, a pressão de injeção foi mantida constante em todos os casos ($1,5e^{08}$ Pa) e foi mantido o combustível Biodiesel em todas as análises.

Tendo em mente o passo de tempo de $1e^{-06}$ s, foram analisados 4 momentos da cavitação, o primeiro sendo com 100 passos tempos, momento em que a cavitação começou a se formar, o segundo sendo com 200 passos de tempo, o terceiro com 300, onde tivemos a estabilização da região de cavitação, e por fim com 7000 passos de tempo, sendo esse o tempo total de injeção, equivalente a 7 milissegundos de injeção. Durante toda a injeção tivemos um pico de fração de vapor em 8,989% e a região de cavitação

começa na região de entrada do bico injetor e se expande ao longo do canal do bico injetor.

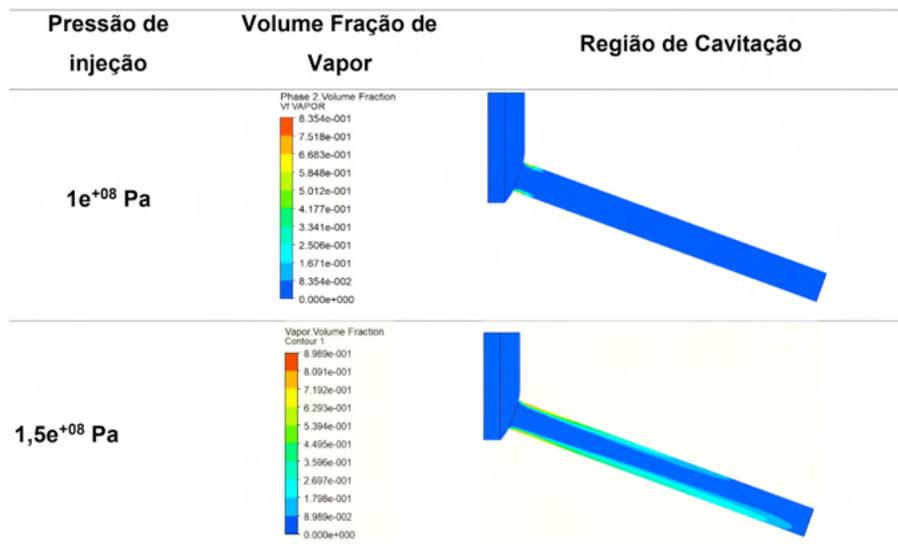


Tabela.10 - Análise impacta da pressão de injeção.

Fonte. Autoria Própria.

Para a análise do efeito da pressão de injeção, foram realizadas 2 simulações com Biodiesel utilizando duas pressões de entrada diferentes, sendo elas $1e^{+08}$ Pa e $1,5e^{+08}$ Pa e o tempo de injeção foi mantido o mesmo, 4000 passos de tempo de $1e-06$ s. Foi possível analisar que com o aumento da pressão de injeção a região de cavitação também aumentou, fazendo com que o fluxo de combustível ficasse com uma semelhança maior com o do Diesel, apresentado na **Tabela.8**, quando o mesmo possui a pressão de injeção equivalente a $1e^{+08}$ Pa.

5 I CONCLUSÃO

Por fim podemos que concluir que dentre os fatores analisados nesse estudo, a viscosidade do combustível e a pressão de injeção são as principais influências para a formação das regiões de cavitação, de modo que, quanto maior a viscosidade do combustível menor será a região de cavitação, e quanto maior a pressão de injeção, maior será essa região de cavitação. Assim podemos observar que para que um motor do ciclo Diesel opere com Biodiesel da melhor maneira possível, ajustes na pressão de injeção podem se mostrar eficazes para que o fluxo do combustível seja o mais aproximado possível de modo que se possa contornar os problemas encontrados no combustível com maior viscosidade, todavia é valido ressaltar que, como vimos na análise do efeito do tempo de injeção, a formação

de cavitação possui um atraso de 0,3 ms e esse atraso deve ser considerado na hora do dimensionamento na escala da pressão de injeção que deve ser utilizada em cada modelo de motor do ciclo Diesel operando com Biodiesel.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil. PIBIC/CNPq-UFCG.

REFERÊNCIAS

Amaral, W. A. N. Pólo Nacional de Biocombustíveis: missão e desafios para sustentabilidade da produção de biodiesel. **Anais do II Simpósio do Agronegócio de Plantas Oleaginosas: Matérias-Primas para Biodiesel**. Piracicaba: ESALQ/USP/LPV, p. 1-6, 2006.

BEN - Balanço Energético Nacional 2019 - Ano base 2018. Brasília: MME (Ministério das Minas e Energia - on-line), 2019. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2019>>. Acesso em 07 maio. 2022.

RAMOS, Luiz Pereira et al. Biodiesel: an economic and socio-environmental sustainability project for Brazil; Biodiesel: um projeto de sustentabilidade economica e socio-ambiental para o Brasil. **Biotecnologia Ciencia e Desenvolvimento**, v. 6, 2003.

CHEN, Zhou et al. Experimental study on the effect of nozzle geometry on string cavitation in real-size optical diesel nozzles and spray characteristics. **Fuel**, v. 232, p. 562-571, 2018.

SALVADOR, F. J. et al. Influence of biofuels on the internal flow in diesel injector nozzles. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 54, n. 7-8, p. 1699-1705, 2011.

BATTISTONI, Michele; GRIMALDI, Carlo Nazareno. Analysis of transient cavitating flows in diesel injectors using diesel and biodiesel fuels. **SAE International Journal of Fuels and Lubricants**, v. 3, n. 2, p. 879-900, 2010.

BICER, Baris et al. Numerical simulation of cavitation phenomena in diesel injector nozzles. In: **Int. 16th Annual Conf. ILASS-ASIA**. 2013. p. 58-65.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acetilação 24, 25, 28, 32, 33
Ácidos graxos 28, 30, 45, 52
Adsorb 88
Aeração 2, 4, 5, 7
Agência Nacional de Petróleo (ANP) 29, 34
Alimentos 37, 39, 43, 44, 86
Análise da fluidez 2
Antioxidante 37, 38, 40, 41
Atividade catalítica 46, 47, 49, 52, 53, 54, 61, 68

B

Bico injetor 11, 14, 15, 16, 19, 20, 22
Biochar 74, 75, 76, 77, 80, 81, 82, 83, 84
Biocombustíveis 12, 23, 34, 44, 45, 59, 76
Biodegradáveis 24, 26, 37, 38, 43
Biodiesel 11, 12, 13, 16, 19, 20, 21, 22, 23, 34, 35, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 52, 53, 55, 56, 57, 58, 106, 107
Biofarmacêuticas 2
Biofilmes 37, 40, 42
Biolubrificantes 24, 26, 28, 33, 34, 36
Biomassa 12, 45, 74, 75, 79, 80, 83, 84, 85, 106, 107
Bio-óleo 74, 75, 76, 80, 82, 83, 84
Biopolímeros 37, 43
Bioremediation 106, 107, 109, 110
Boudouard 86, 88

C

Carbon dioxide 86, 87, 90, 98, 101, 102, 104, 105
Catalisadores 27, 44, 46, 47, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 68, 69, 72
Catálise 44, 47, 48, 49, 51, 54, 55, 56, 57, 59, 60, 61, 68, 72
Cavitação 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23
Chlorella vulgaris 106, 107, 110
Cisalhamento 2, 4, 5, 7, 8

Combustíveis 11, 12, 24, 25, 26, 36, 45, 56
Coupled Integral Equations Approach (CIEA) 86, 93
Cupuaçu 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43

D

Densidade relativa 26, 29, 30, 31, 32, 33
Diesel 11, 12, 13, 16, 20, 22, 23, 34, 35, 36, 44, 45, 68

E

Efeito Raman 61
Epoxidação 24, 27, 29
Escoabilidade 1, 3
Espalhamento Raman 62, 63, 64
Espectroscopia Raman 60, 61, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 73
Excipientes farmacêuticos 1, 2, 6

F

Fármacos 1, 2, 3, 37, 38, 39
Fóton 62, 64

G

Gás de arraste 74, 75, 77, 80
Generalized Integral Transform Technique (GITT) 86, 87, 95

H

Hidroxilação 24, 31

I

Injeção 4, 11, 12, 13, 20, 21, 22, 23

L

Lactuca sativa 106, 107, 108

M

Materiais pulverulentos 1, 2
Matrizes energéticas 44
Microcelulose 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9
Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) 3
Modelo de Schnner e Sauer 11, 16
Monocromadores 65

Motores 11, 12, 13, 32, 35, 45

N

Não-renováveis 11

O

Óleos vegetais 12, 24, 26, 45, 47, 49, 58

Óxidos 44, 46, 47, 50, 52, 54, 60

P

Petróleo 12, 25, 29, 34, 44, 45

Phytotoxicity 106

Pirólise 74, 75, 76, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 84, 85

Ponto de fluidez 26, 29, 30, 31, 32, 33, 34

Ponto de fulgor 26, 29, 30, 31, 32

Porosidade 2, 3, 5, 6, 48, 50, 54

Propriedades fenomenológicas 2

R

Renováveis 11, 12, 25, 44

Reômetro 4

Resíduos 34, 53, 55, 57, 75, 84, 85, 112

Reutilização 49, 52, 54, 75, 112

T

Termoconversão 75

Toxicidade 26, 45, 106, 107

Transesterificação heterogênea 44

Triglicerídeos 29, 45, 47, 48, 51, 55

V

Viscosidade 11, 12, 13, 16, 19, 20, 22, 24, 26, 29, 30, 31, 32, 33, 47

W

Wastewaters 106

Z

Zeólitas 44, 46, 47, 54, 56, 57, 58

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos
processos e produtos



**Atena**
Editora
Ano 2022

🌐 www.atenaeditora.com.br
✉ contato@atenaeditora.com.br
📷 @atenaeditora
📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos
processos e produtos