



Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica 2

Atena
Editora
Ano 2019

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

**Impactos das Tecnologias na
Engenharia Mecânica**
2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

I34 Impactos das tecnologias na engenharia mecânica 2 [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-85-7247-247-0

DOI 10.22533/at.ed.470190504

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica – Pesquisa – Brasil. 3. Produtividade industrial. 4. Tecnologia. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Dallamuta, João. III. Série.

CDD 670.427

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

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.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A Engenharia Mecânica pode ser definida como o ramo da engenharia que aplica os princípios de física e ciência dos materiais para a concepção, análise, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos

Nos dias atuais a busca pela redução de custos, aliado a qualidade final dos produtos é um marco na sobrevivência das empresas. Nesta obra é conciliada duas atividades essenciais a um engenheiro mecânico: Projetos e Simulação.

É possível observar que na última década, a área de projetos e simulação vem ganhando amplo destaque, pois através de simulações pode-se otimizar os projetos realizados, reduzindo o tempo de execução, a utilização de materiais e os custos finais.

Dessa forma, são apresentados trabalhos teóricos e resultados práticos de diferentes formas de aplicação e abordagens nos projetos dentro da grande área das engenharias.

Trabalhos envolvendo simulações numéricas, tiveram um grande avanço devido a inserção de novos softwares dedicados a áreas específicas, auxiliando o projetista em suas funções. Sabe-los utilizar de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Neste livro são apresentados vários trabalhos, alguns com resultados práticos, sobre simulações em vários campos da engenharia industrial, elementos de maquinas e projetos de bancadas práticas.

Um compendio de temas e abordagens que constituem a base de conhecimento de profissionais que se dedicam a projetar e fabricar sistemas mecânicos e industriais.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
RESOLUÇÃO DA EQUAÇÃO DA DIFUSÃO UNIDIMENSIONAL COM SOLUÇÃO SUAVE UTILIZANDO MALHA ADAPTATIVA	
<i>Gabriel Marcos Magalhães</i> <i>Hélio Ribeiro Neto</i> <i>Aristeu da Silveira Neto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4701905041	
CAPÍTULO 2	14
USO DE MALHAS NÃO-ESTRUTURADAS NA RESOLUÇÃO DA EQUAÇÃO DA DIFUSÃO	
<i>Gabriel Marcos Magalhães</i> <i>Alessandro Alves Santana</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4701905042	
CAPÍTULO 3	29
MÉTODOS NUMÉRICOS: DIFERENÇAS FINITAS E GUIA DE ONDAS DIGITAIS 1D E 2D - COMPARATIVO DE FREQUÊNCIAS	
<i>Brenno Lobo Netto Peixoto</i> <i>Marlipe Garcia Fagundes Neto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4701905043	
CAPÍTULO 4	43
INFLUÊNCIA DA DISCRETIZAÇÕES ESPACIAL E TEMPORAL EM PROBLEMA PURAMENTE ADVECTIVO	
<i>Thiago Fernando Santiago de Freitas</i> <i>Andreia Aoyagui Nascimento</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4701905044	
CAPÍTULO 5	53
FRONTEIRA IMERSA PARA CORPOS ESBELTOS	
<i>João Rodrigo Andrade</i> <i>Aristeu Silveira Neto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4701905045	
CAPÍTULO 6	61
MATHEMATICAL AND NUMERICAL MODELLING OF GAS-SOLID TURBULENT FLOWS IN COMPLEX GEOMETRIES	
<i>Stella Rodrigues Ferreira Lima Ribeiro</i> <i>Letícia Raquel de Oliveira</i> <i>João Marcelo Vedovoto</i> <i>Aristeu da Silveira Neto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4701905046	
CAPÍTULO 7	69
ESTUDO NUMÉRICO DA DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA TRANSIENTE EM PLACAS	
<i>William Denner Pires Fonseca</i>	

*Táisa Santos Machado
Eduardo Mendonça Pinheiro
José Felipe Lopes de Carvalho
Sidney da Conceição Alves
Thiago Santana de Oliveira*

DOI 10.22533/at.ed.4701905047

CAPÍTULO 8 83

IDENTIFICAÇÃO EXPERIMENTAL E PROJETO DE UM PID PARA UM SERVOMECANISMO

*Wesley Pereira Marcos
Rodrigo Hiroshi Murofushi
Bruno Luiz Pereira*

DOI 10.22533/at.ed.4701905048

CAPÍTULO 9 98

MODELAGEM ESTOCÁSTICA DE ESTRUTURAS COMPÓSITAS CONTENDO SHUNT RESISTIVO PARA O CONTROLE PASSIVO DE VIBRAÇÕES

*Lorrane Pereira Ribeiro
Antônio Marcos Gonçalves de Lima
Victor Augusto da Costa Silva*

DOI 10.22533/at.ed.4701905049

CAPÍTULO 10 114

PROJETO E ANÁLISE DE VIBRAÇÕES POR ELEMENTOS FINITOS DE UM CHASSI TIPO SPACE FRAME MINI-BAJA

*Marcos Claudio Gondim
Ellberlandyo Lima Grangeiro
Antonio Eurick Soares Campelo
Lucas Rodrigues Oliveira
Bruno de Oliveira Carvalho*

DOI 10.22533/at.ed.47019050410

CAPÍTULO 11 126

SIMULAÇÕES DOS ESFORÇOS VIBRACIONAIS DO CABO CAA 795 MCM (TERN) ATRAVÉS DE MÉTODOS ANALÍTICOS E NUMÉRICOS DE VIBRAÇÃO

*Jhonattan Dias
Rodrigo Canestraro Quadros
Marcos Jose Mannala
Marcio Tonetti*

DOI 10.22533/at.ed.47019050411

CAPÍTULO 12 133

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE FREIO APLICADO A UM VEÍCULO OFF-ROAD DO TIPO BAJA-SAE

*Felipe Alencar Motta
Lucas Rocha Dias da Silva*

DOI 10.22533/at.ed.47019050412

CAPÍTULO 13	146
OTIMIZAÇÃO DA ESCOLHA DA RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES ATRAVÉS DE MODELAGEM MATEMÁTICA: O PROJETO BAJA SAE	
<i>Pedro Melo Biz</i> <i>Leonardo Gomes</i> <i>Antônio Brasil</i>	
DOI 10.22533/at.ed.47019050413	
CAPÍTULO 14	157
ANÁLISE CINEMÁTICA DE SUSPENSÃO TRAILING ARM COM CAMBER LINKS PARA VEÍCULO OFF-ROAD	
<i>Francisco José Rodrigues de Sousa Júnior</i> <i>João Lucas Jacob Araújo</i> <i>Gustavo Luis dos Santos Silva</i> <i>Antônio Ítalo Rodrigues Pedrosa</i>	
DOI 10.22533/at.ed.47019050414	
CAPÍTULO 15	169
APLICAÇÃO DE EQUAÇÕES DIFERENCIAIS DE 2ª ORDEM EM SUSPENSÃO VEICULAR	
<i>Alaí de Souza Machado</i> <i>Pedro Henrique Rodrigues Taveira</i> <i>Filipe Gomes Soares</i> <i>Domingos dos Santos Ponciano</i> <i>Marcus Victor de Brito Rodrigues</i> <i>João Lucas Jacob Araújo</i> <i>Gean Carlos Moura Mota</i>	
DOI 10.22533/at.ed.47019050415	
CAPÍTULO 16	178
ANÁLISE AERODINÂMICA: SIMULAÇÃO FLUIDO DINÂMICA DO PROTÓTIPO EC-05 DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA EQUIPE COYOTE	
<i>Paulo Henrique Pereira Araujo</i> <i>Josué Alves Rodrigues Junior</i> <i>Thaiane Mayara Marques Licar</i>	
DOI 10.22533/at.ed.47019050416	
CAPÍTULO 17	190
APLICAÇÃO DE SISTEMAS NEURO-FUZZY NA PREDIÇÃO DO COEFICIENTE DE SUSTENTAÇÃO DO AEROFÓLIO NACA 1412	
<i>Vitor Taha Sant'Ana</i> <i>Bruno Luiz Pereira</i> <i>Tobias Moraes</i> <i>Roberto Mendes Finzi Neto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.47019050417	

CAPÍTULO 18	195
AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE TÉCNICAS DE CONTROLE ATIVO DE RUÍDO EM VENEZIANAS ACÚSTICAS COM CONFIGURAÇÕES DISTINTAS VIA ELEMENTOS FINITOS	
<i>Geisa Arruda Zuffi</i>	
<i>Fabiana Alves Pereira</i>	
<i>Marcus Antonio Viana Duarte</i>	
DOI 10.22533/at.ed.47019050418	
CAPÍTULO 19	203
ABSORVEDORES ACÚSTICOS DE RUÍDO: MODELAGEM NUMÉRICA	
<i>Fabiana Alves Pereira</i>	
<i>Geisa Arruda Zuffi</i>	
<i>Israel Jorge Cárdenas Nuñez</i>	
<i>Marcus Antonio Viana Duarte</i>	
DOI 10.22533/at.ed.47019050419	
CAPÍTULO 20	211
INVESTIGAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ESCOLHA DAS DIMENSÕES DO RECEPTOR NO MÉTODO DO TRAÇADO DE RAIOS ACÚSTICOS	
<i>Henrique Gebran Silva</i>	
<i>Marlipe Garcia Fagundes Neto</i>	
<i>Pollyana Alves Resende</i>	
DOI 10.22533/at.ed.47019050420	
SOBRE OS ORGANIZADORES	228

ANÁLISE AERODINÂMICA: SIMULAÇÃO FLUIDO DINÂMICA DO PROTÓTIPO EC-05 DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA EQUIPE COYOTE

doi

Paulo Henrique Pereira Araujo

Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Engenharia Mecânica e Produção
São Luís – Maranhão

Josué Alves Rodrigues Junior

Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Engenharia Mecânica e Produção
São Luís – Maranhão

Thaiane Mayara Marques Licar

Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de Engenharia Mecânica e Produção
São Luís – Maranhão

RESUMO: É comum que antes de um modelo de carro ser fabricado, seja realizado estudos no seu perfil aerodinâmico, pois o formato dele afetará o desempenho e a sua ingestão de combustível, desta forma há uma preocupação maior em como o modelo escolhido afetará o desempenho e consumo de determinados veículos. Com o avanço da tecnologia, estudos para descobrir qual o perfil aerodinâmico mais adequado para cada tipo de carros se tornou mais frequente. Neste trabalho é feito o estudo aerodinâmico do atual modelo de carenagem do protótipo EC-05 da equipe Coyote de Eficiência energética da Universidade Estadual do Maranhão, foi feito a modelagem computacional em elementos finitos no software ANSYS Workbench®, estes tipos de estudos, proporciona a quem o utiliza informações tão precisas quanto a estudos físicos, ele também conta com um menor custo aos usuários e também maior agilidade na obtenção de seus resultados. Com os resultados alcançados na simulação da carenagem, foi obtido dados onde pode ser feita a análise do coeficiente de arrasto, pontos onde tem maior pressão, onde tem maior índice de forças, como por exemplo a de cisalhamento e como se comporta o ar no perfil aerodinâmico do protótipo, pois são pontos onde deve ter um conhecimento para que se haja um melhor desempenho do modelo.

PALAVRAS-CHAVE: simulação de carenagem, cfd, aerodinâmica

ABSTRACT: It is common that before being manufactured a car model, to be held in your aerodynamic profile studies, because the format it had affected performance and consumption, thus there is greater concern in how the model chosen will affect performance and consumption of certain vehicles. With the advancement of technology, studies to find out what the aerodynamic profile best suited to each type of cars became more common. This work is done the aerodynamic study of the current prototype fairing model EC-05 Coyote team of energy efficiency of the Universidade Estadual do Maranhão, was made the computational modeling in Ansys Workbench software finite element ®, These types of studies, provides the who uses information so accurate as the physical studies, it also has a lower cost to users and also greater agility in achieving its results. With the results achieved in the fairing, simulation was obtained where data can be done analysis of drag coefficient, points where it has higher pressure, which also has a higher temperature and how the air in the aerodynamic profile of the prototype, because they are where should have a knowledge to provide a better performance of the model.

KEYWORDS: fairing simulation, cfd, aerodynamics

1 | INTRODUÇÃO

Como a maioria dos veículos são movidos a combustíveis fósseis e por não ser renováveis, a busca por maneiras alternativas e renováveis de gerar energia vem aumentando cada vez mais e no setor automobilístico não é diferente. A busca por uma eficiência melhor e maior aos motores a combustão vai desde um melhoramento em seus componentes internos, até mesmo por buscas de novos ajustes sendo eles no motor ou mesmo no design ou escolha dos materiais de todos os componentes do veículo de maneira que ele possa vir a consumir menos e um dos meios que veio ganhando uma grande importância foi o desenvolvimento aerodinâmico em veículos automobilísticos que segundo Castejon (2010) veio ganhando uma suma importância ao longo da história, uma vez que obteve maiores necessidades em desenvolver veículos mais eficientes, com a capacidade de diminuir o consumo alterando sua geometria.

Segundo Foux (1985) é possível apenas por meio de alterações na geometria dos veículos reduzir mais de 50% no coeficiente de arrasto e com essa redução é evidenciado em um decréscimo de 12% no consumo direto do veículo, por isso o estudo da aerodinâmica em um automóvel é de grande importância, pois dependendo da finalidade ao qual ele será empregado, o seu coeficiente de arrasto deve ser maior ou menor, como em caso de carros para competições de corridas, que precisam vencer a resistência do ar com mais facilidade e que a pressão aerodinâmica seja elevada, pois por se tratar de carros para competições ele chega a altas velocidades, onde em determinado período necessitará de uma força para mantê-lo aderente a pista. Para Morelli (2000) afirma que o arrasto se subdivide a outros dois coeficientes, sendo um

sobre arrasto viscoso e o arrasto de pressão e que de acordo com seus estudos, o arrasto de viscosidade é responsável de 5 a 10% do arrasto total do objeto. As fábricas para fazerem estudos e assim obterem resultados satisfatórios, fazem o uso de dois equipamentos, sendo um deles o túnel de vento, que tem como objetivo simular o efeito do ar sobre um objeto e o outro modelo que é o uso de softwares de simulação em CFD (Computational Fluid Dynamics) ou dinâmica dos fluidos computacionais.

Atualmente existe diversas literaturas onde é abordada a importância dos métodos numéricos, o estudo de métodos dos elementos finitos (MEF) deu início por Gauss, quando no final do século XVIII começou os seus estudos em métodos para solucionar modelos matemático, onde por sua vez mais tarde foram desenvolvidos até chegar o que hoje conhecemos por métodos dos elementos finitos. Nos últimos anos o MEF vem se desenvolvendo bastante e ganhando espaço e se tornando um método muito utilizado para resolver problemas na engenharia, pois se trata de um método onde traz um custo baixo se comparado a ensaios mecânicos ou outros tipos de análises para se obter resultados em uma determinada pesquisa para o setor industrial por exemplo.

São conhecidos alguns estudiosos que defendem a importância da simulação, como por exemplo para (Szabó e Babuška 2011) onde afirmam que o objetivo da simulação com a utilização dos elementos finitos é realizar previsões e resposta dos sistemas físicos para diferentes maneiras de excitação do ambiente, e a partir de tais previsões, estipular os melhores métodos para o desenvolvimento do problema. Os elementos finitos vêm com o intuito de estudar os sistemas físicos, de forma que estes estudos devem chegar o mais próximo da realidade, de maneira que tenha a mesma eficiência de um método físico e com um custo menor.

De acordo com os pesquisadores (Szabó e Babuška 2011), o modelo matemático é um método de alta confiança, sendo que, através dos modelos matemáticos e sua solução numérica devem ser suficientemente confiáveis para justificar a fundamentação de decisões de engenharia. A confiabilidade de uma solução numérica é estabelecida através da verificação e é avaliada através da comparação de previsões baseadas no modelo com o resultado de experimentos físicos. Como as simulações tem como base experimentos físicos, ela se torna confiável.

2 | METODOLOGIA

O modelo da carenagem deste protótipo tem algumas características particulares, pois é projetado para uma competição de eficiência energética, onde está tem um regulamento que tem especificações de tamanho onde as equipes devem seguir. Com base no regulamento é projetado o modelo da carenagem, onde deve possuir características que tenha um arrasto baixo.

Para que pudesse ser feito os estudos da carenagem, foi projetado em um software de modelagem computacional o formato com as dimensões exatas do protótipo real, onde pode ser visualizada na “Fig. 1”.

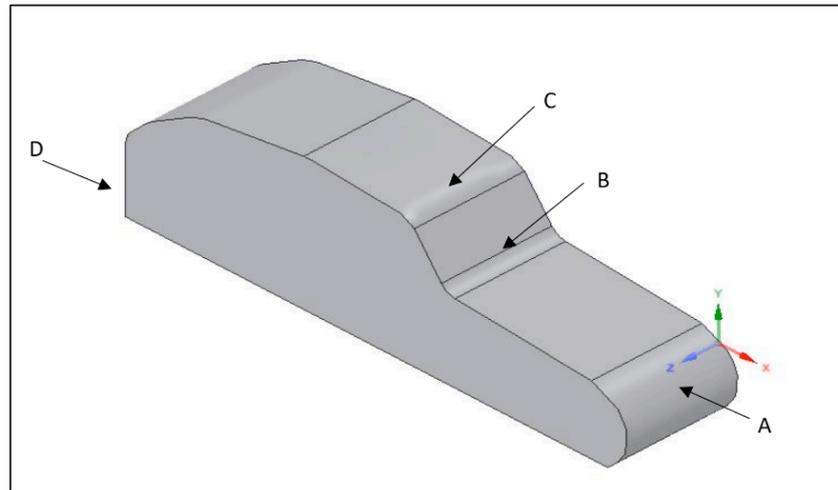


Figura 1. Modelo computacional da carenagem do EC-05

Este modelo de carenagem tem este formato, pois neste trabalho é dado maior ênfase no perfil aerodinâmico de maneira que é analisado como se comporta o ar nas áreas de maior contato que seria os pontos (A, B, C e D), estes pontos foram analisados para saber como se comporta a pressão e a resistência ao ar, para que isso ocorresse foi preferível que a simulação aerodinâmica fosse em 2D, ou seja, um perfil aerodinâmico, como está indicado na “Fig. 2”.

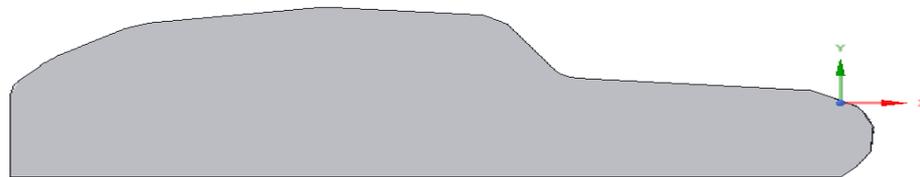


Figura 2. Perfil aerodinâmico da carenagem do protótipo EC-05

O perfil tem como finalidade melhorar a compreensão no momento da coleta dos dados após a simulação em CFD, podendo facilitar a visualização melhor dos pontos críticos.

Após a modelagem ser feita o próximo passo a ser tomado foi o de preparar o modelo para que a simulação viesse a ser feita, de maneira que fosse especificado o volume de controle, assim como está exposto na “Fig. 3” para que possa ter o conhecimento das variáveis que irão influenciar no desempenho do protótipo, com o modelo já enclausurado em um volume de controle é escolhido uma malha que se adeque e que possa ter os melhores resultados.

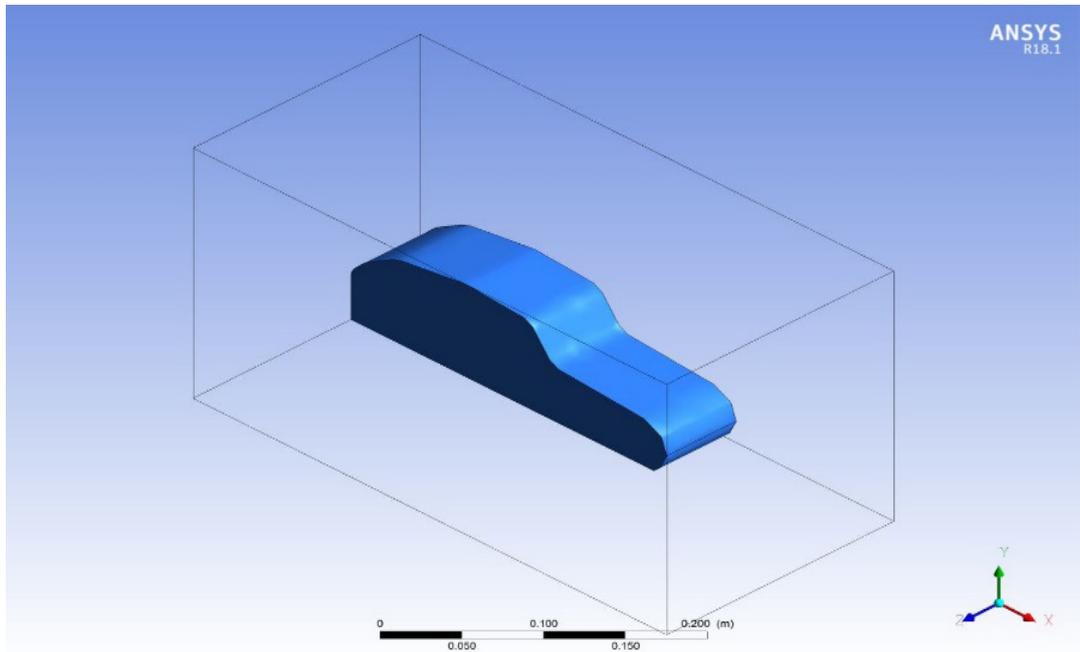


Figura 3. EC-05 no volume de controle

Com a malha pronta, observada na “Fig. 4” é necessário especificar a quantidade de interações que o programa irá realizar para que possa ter maior precisão possível, fazendo com que chegue o mais próximo de um resultado feito em um túnel de vento.

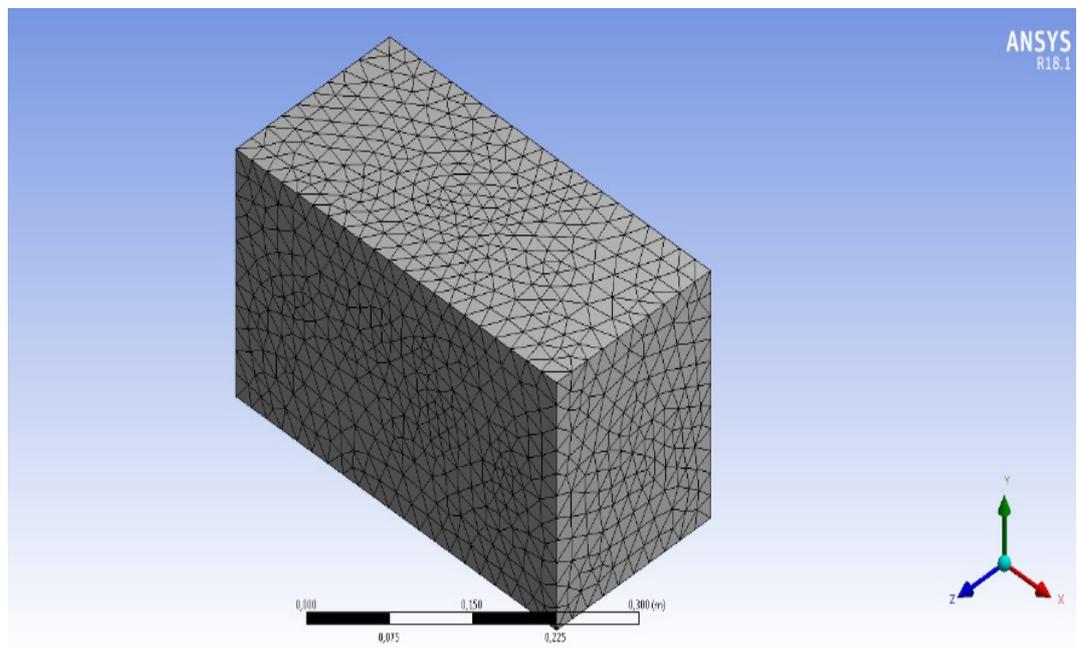


Figura 4. Malha de simulação do EC-05

Dependendo do número de malha o resultado pode variar a medida que ela muda, o seu valor utilizado nesse trabalho foi de 50 mm, onde foi feita uma comparação entre seus valores e visto que há uma diferença, por mais pequena que seja, em seus resultados.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram utilizadas 100 interações para uma malha de 50 mm para a obtenção das seguintes variáveis como densidade do fluido em relação ao protótipo, pressão estática, tensão de cisalhamento, onde ocorre maior turbulência, variáveis parciais, velocidade do fluido, massa residual.

Dos resultados obtidos os mais importantes para o estudo proposto são a tensão de cisalhamento do fluido em relação ao corpo estudado, o comportamento do fluido e a pressão, onde com a obtenção desses dados pode-se também fazer o cálculo do coeficiente de arrasto e a força de sustentação. Para definir o coeficiente de arrasto utilizou-se uma tabela ao qual se remete a corpos rombudos e o parâmetro que se adequou foi de carros modernos com curvas, como segue na “Tab. 1” mostrada a baixo é referente ao coeficiente de arrasto para corpos rombudos (Oscar M. H. Rodriguez, 2010).

Objeto		Re	C_A
Paralelepípedo $\rightarrow \square$ w	$L/w = \begin{cases} \alpha \\ 1 \text{ (cubo)} \end{cases}$	$> 10^4$	2,0
cantos arredondados ($r = 0,2w$)	$L/w = \alpha$	$> 10^4$ $= 10^5$	1,1 1,2
Placas retangulares $\rightarrow $ w	$L/w = \begin{cases} \alpha \\ 20 \\ 5 \\ 1 \end{cases}$	$> 10^3$ $> 10^3$ $> 10^3$ $> 10^3$	2,0 1,5 1,2 1,1
Cilindro circular $\rightarrow \square$ D	$L/D = \begin{cases} 0,1 \text{ (disco)} \\ 4 \\ 7 \end{cases}$	$> 10^3$ $> 10^3$ $> 10^3$	1,1 0,9 1,0
Cilindro semicircular $\rightarrow \text{D}$		$> 10^4$	2,2
$\rightarrow \text{D}$		$> 10^4$	1,2
Casca semicircular $\rightarrow \text{C}$		$= 2 \times 10^4$	2,3
$\rightarrow \text{C}$		$= 2 \times 10^4$	1,1
Cilindros equiláteros $\rightarrow \triangleleft$	2,0	$> 10^4$	2,0
$\rightarrow \triangleright$	1	$> 10^4$	1,4
Cone $\rightarrow \sphericalangle$	$\alpha = \begin{cases} 30^\circ \\ 60^\circ \\ 90^\circ \end{cases}$	$> 10^4$ $> 10^4$ $> 10^4$	0,6 0,8 1,2
Hemisfério sólido $\rightarrow \bullet$		$> 10^4$	1,2
$\rightarrow \bullet$		$> 10^4$	0,4
Hemisfério oco $\rightarrow \text{D}$		$> 10^4$	1,4
$\rightarrow \text{D}$		$> 10^4$	0,4
Pára-quadras		$> 10^7$	1,4
Automóveis			
1920	—	$> 10^5$	0,80
Modernos, com cantos retos	—	$> 10^5$	0,30
Modernos, com cantos redondos	—	$> 10^5$	0,29
Van		$> 10^5$	0,42
Bicicleta, ciclista na vertical			1,1
corrida, ciclista curvado			0,9
corrida, projeto			0,5
Caminhão, padrão		0,96	
com defletor (carenagem)			0,76
com defletor e vedação			0,70

Tabela 1. Coeficiente de arrasto para vários corpos rombudos [Oscar M. H. Rodriguez]

Como o protótipo tem características que se aproximam de um automóvel convencional onde contem cantos arredondados, foi adotado que o coeficiente de arrasto é de 0,29 e com um número de Reynolds $> 10^5$, o número de Reynolds é um parâmetro adimensional e que é responsável por descrever a forma do escoamento sobre o corpo (Çengel e Cimbala, 2007). Os resultados obtidos pelas simulações foram proporcionados resultados de velocidades com valores que estão representados na Fig. 5.

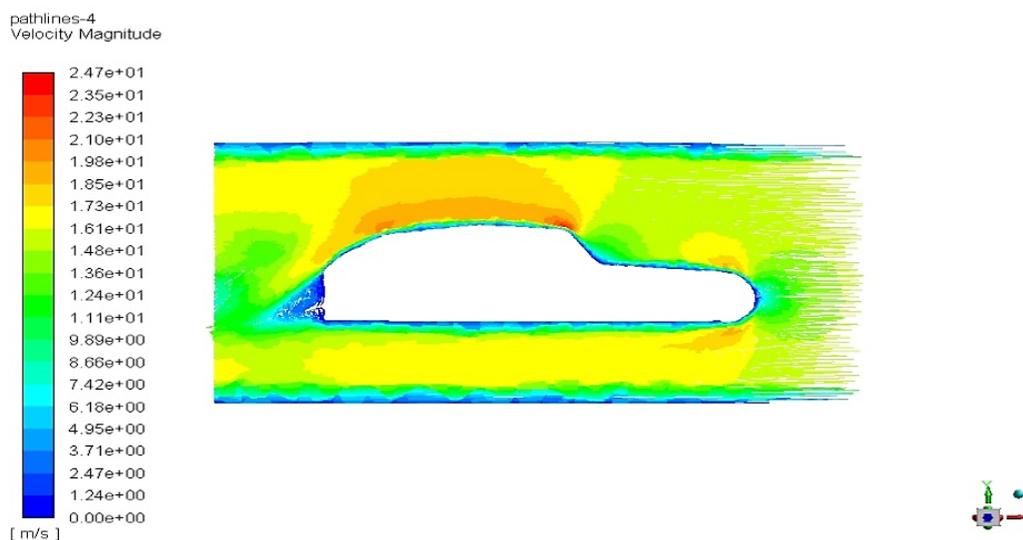


Figura 5. velocidade do fluido em relação a carenagem do EC-05

Com os valores da velocidade do fluido obtida e sabendo o valor da viscosidade dinâmica do ar que é de $1,849 \times 10^{-5} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$ e com uma densidade de $1,184 \text{ kg/m}^3$ com o ar a 25°C ambos os valores são tabelados e o perfil aerodinâmico sendo de $0,273\text{m}$, com base nestes dados é possível definir qual o valor da força de arrasto, pois ela tem o seguinte formato:

$$\vec{F}_A = \frac{C_A \cdot \rho \cdot v^2}{2} \quad (1)$$

A Eq. (1), possui os seguintes componentes, como \vec{F}_A , que é a força de arrasto, sendo esta proporcional a C_A , coeficiente de arrasto, que por sua vez é tabelado para este modelo, multiplicado por ρ que é a densidade do meio que o modelo se encontra e pela velocidade ao quadrado v^2 . Feita as devidas substituições, é se obtido o valor de cada força de arrasto proporcional a velocidade, que vai variando ao longo do protótipo.

Velocidade	Força de arrasto
2,47E+01	104,7402512
2,35E+01	94,81028
2,23E+01	85,3747472
2,10E+01	75,71088
1,98E+01	67,3054272
1,85E+01	58,75748
1,73E+01	51,3821072
1,61E+01	44,5011728
1,48E+01	37,6047872
1,36E+01	31,7539328
1,24E+01	26,3975168
1,11E+01	21,1526928
9,89E+00	16,79238133
8,66E+00	12,87524461
7,42E+00	9,452082752
6,18E+00	6,556871232
4,95E+00	4,2065892
3,71E+00	2,363020688
2,47E+00	1,047402512
1,24E+00	0,263975168

Tabela 2. Valores da força de arrasto

Com base nos dados obtidos, expressados na “Tab. 2” foi plotado um gráfico onde tem a função de expressar e para que se obtenha uma compreensão melhor de como a força de arrasto se comporta em relação a cada ponto da carenagem do protótipo.



Figura 6. Gráfico do comportamento da força de arrasto

Desta maneira a força de arrasto que é exercida sobre a carenagem do protótipo é uma variável, pois depende da velocidade do fluido. Foi analisado mais duas outras características importantes, que são a pressão que é exercida sobre o protótipo de forma que possa ser verificada onde são os pontos críticos que serão expostos a uma maior pressão, outra característica que é deveras importante ser estudada é a turbulência.

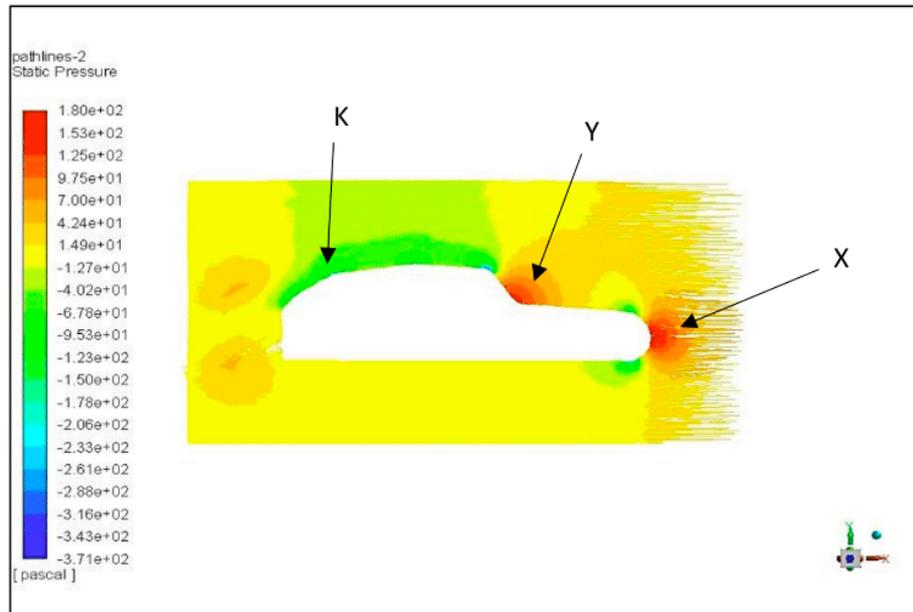


Figura 7. Análise do comportamento da pressão sobre o EC-05

Com essa simulação pode-se perceber que a pressão varia e que este formato de carenagem tem duas áreas com maior ponto de pressão sendo elas X e Y que estão mais expostas ao contato com o meio externo e também por conta de seus formatos acabam proporcionando esse tipo de reações, enquanto a área K conta com uma pressão menor, por contar com curvas mais suaves, isso provando que o fluido tem maior facilidade em escoar sobre essa superfície.

Tendo como base a “Fig. 7”, percebe-se que mesmo a área Y sendo um pouco mais acentuada do que a X ambas tem o mesmo nível de exposição e com isso contam com reações parecidas, na parte X está localizada o bico do protótipo e por isso, a pressão nele exposto vai ser maior, pois ao se locomover pode-se dizer que será uma das áreas que mais vai entrar em contato com fluido, da mesma forma acontece na parte Y, mesmo ela tendo um formato menos agressivo que o X, vai sofrer reações parecidas, por também entrar em contato com o fluido da mesma maneira que em X, com essas diferenças de pressões ocorre um fenômeno conhecido como turbulência na parte traseira do protótipo como pode-se ter um entendimento melhor na “Fig. 8”.

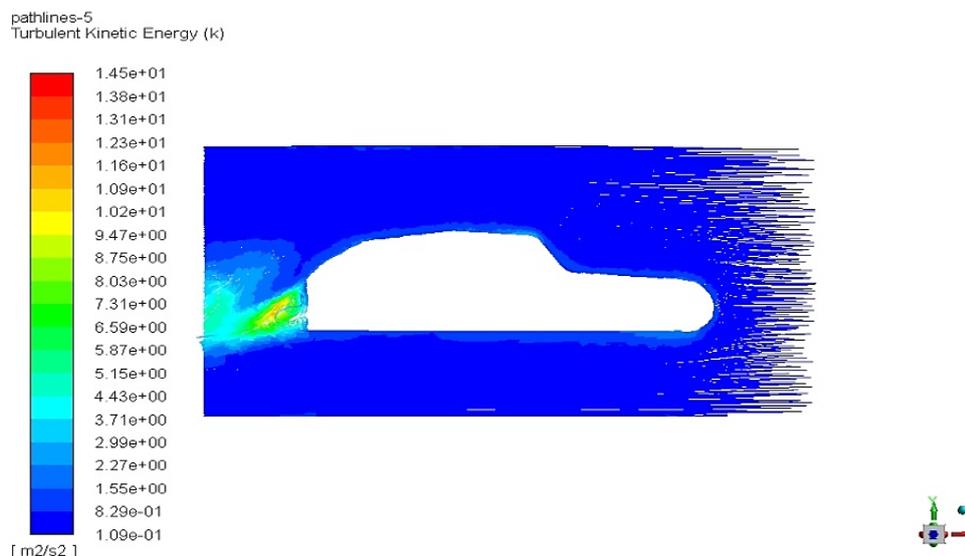


Figura 8. Análise de onde o fluido começa a ter maior turbulência

Nesta simulação da “Fig. 8” há uma área que ocorre um aumento na turbulência do fluido, esta área se localiza na parte traseira do protótipo onde o seu formato não é completamente arredondado, portanto quando o fluido escoar sobre a carenagem ele irá sair em regime turbulento, um dos motivos desse fenômeno ocorrer está ligado também a diferença de pressão, onde pode-se ver melhor na “Fig. 7” pois nela mostra a distribuição de pressão pelo perfil aerodinâmico e nas áreas Y e K há uma diferença de pressão, com isso pode causar um aumento na turbulência do fluido.

Um outro estudo bem interessante é o da tensão de cisalhamento que o fluido exerce sobre a carenagem, essa tensão é uma força de corte, ou seja, é uma força que age tangencialmente sobre um corpo.

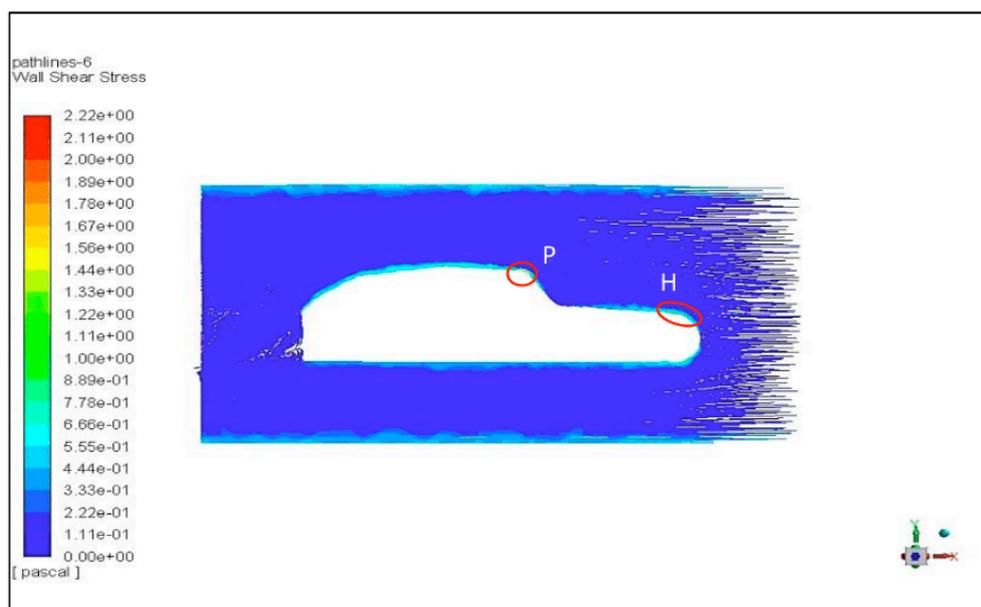


Figura 9. Análise da tensão de cisalhamento sobre a carenagem do EC-05

Na simulação de tensão de cisalhamento, exposta na “Fig. 9”, percebe-se que há uma certa distância da carenagem ela é mínima, só que a tensão de cisalhamento aqui estuda está sendo representada sobre a camada limite, assim como foi explicado ela é uma força que age tangencialmente sobre o corpo do protótipo, sendo assim quando se analisa mais profundamente essa ação, percebe-se que ela tem uma influência, sendo maior nos pontos P e H, pois são pontos onde a o início e o final de áreas específicas da carenagem, como na H que se localiza próximo ao bico do carro e o P, localizando-se próximo ao teto e a parte de visão do piloto.

4 | CONCLUSÃO

Por meio deste trabalho foi possível ter um conhecimento de como a carenagem do EC-05 se comporta em relação ao meio que está exposto e com os dados obtidos com este estudo, é possível ter uma análise de pontos específicos ao longo da carenagem que sofrem maiores interferências do fluido que age sobre ela e assim fazer a verificação de quais forças agem sobre o protótipo como é o caso da pressão, do comportamento da tensão de cisalhamento e se há indícios de regime turbulento do fluido e o que está ocasionando esse fenômeno, com estes resultados foi possível calcular a força de arrasto atuante no perfil aerodinâmico com diferentes velocidades do fluido. Estes dados são de grande importância para uma compreensão melhor de que o atual formato da área da frente do protótipo, possui uma ação elevada da pressão enquanto em outros pontos a ação é mínima e com essas características de diferença de pressão, foi observado que na saída do fluido ocasiona uma turbulência, com estas análises é possível fazer alterações no formato da carenagem visando uma diminuição desses fatores.

Com os dados alcançados por meio da simulação já é possível projetar um novo protótipo com características em seu design diferente do atual, com alterações específicas na sua parte da frente, onde o principal objetivo será fazer estudos em um formato que não sofra tanta pressão como o atual e que seja aerodinamicamente melhor que seu antecessor, a outra alteração deve ser na traseira, pois como a atual proporciona uma turbulência do fluido ao escoar, deve-se projetar um modelo onde diminua essa turbulência e diferenças de pressões bruscas.

REFERÊNCIAS

ÇENGEL, Yunus A., CIMBALA, J.M. **Mecânica dos Fluidos: Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: McGraw-Hill, 2007

FOUX, A., FANGER-VEXLER, S., KATZ, J. **Full-Scale, On-Road Study of the Effect of Automobile Shape on its Aerodynamic Characteristics, and Comparison with Small-Scale Wind Tunnel Results**, SAE Paper No. 850287. Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pa., 1985.

MORELLI, A. **A new Aerodynamics Approach to Advanced Automobile Basic Shapes**. 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, USA, 2000.

RODRIGUEZ, Oscar M. H. et al. **Escoamento Multifásico**. 1. Ed. Rio de Janeiro: ABCM, 2010

SZABÓ, B. A.; BABUŠKA, I. **Introduction to Finite Element Analysis – Formulation, Verification and Validation**. Chichester, United Kingdom, 2011.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Henrique Ajuz Holzmann - Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

João Dallamuta - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Engenheiro de Telecomunicações pela UFPR. Especialista em Inteligência de Mercado pela FAE Business School. Mestre em Engenharia pela UEL. Trabalha com os temas: Inteligência de Mercado, Sistemas Eletrônicos e Gestão Institucional.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-247-0

