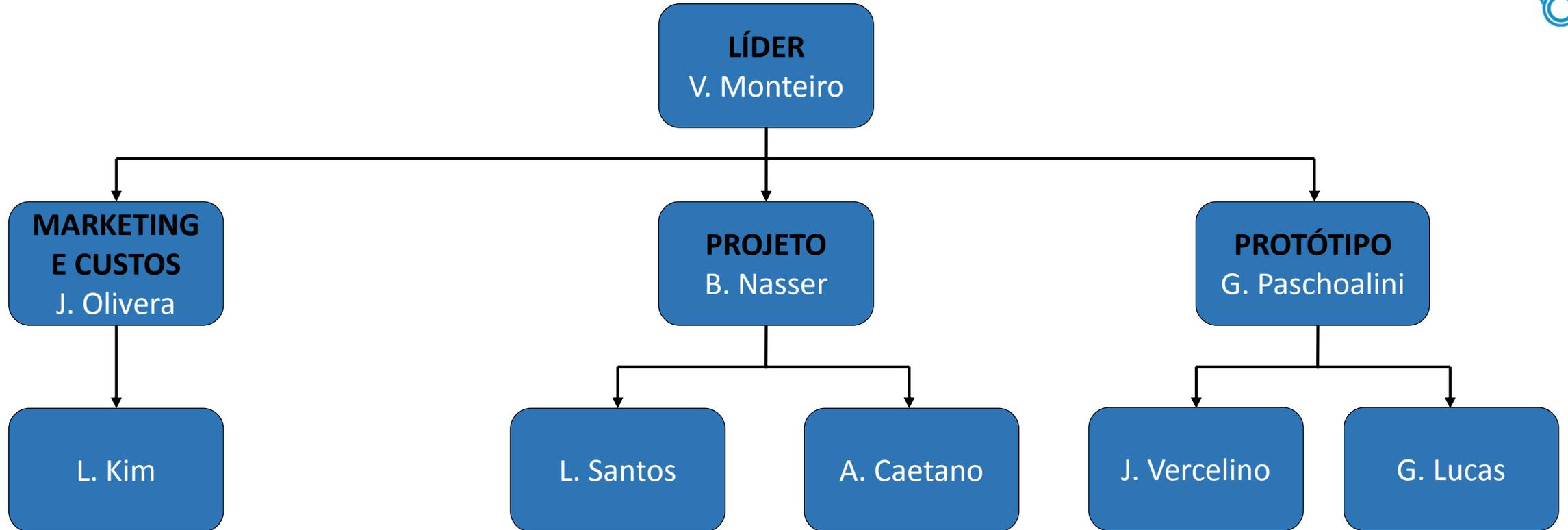


# X16 ENGINE



Melhorando a autonomia de motores de combustão interna.





Orientador: Silvio Shizuo

Coordenador: Marco Antonio Zanussi Barreto





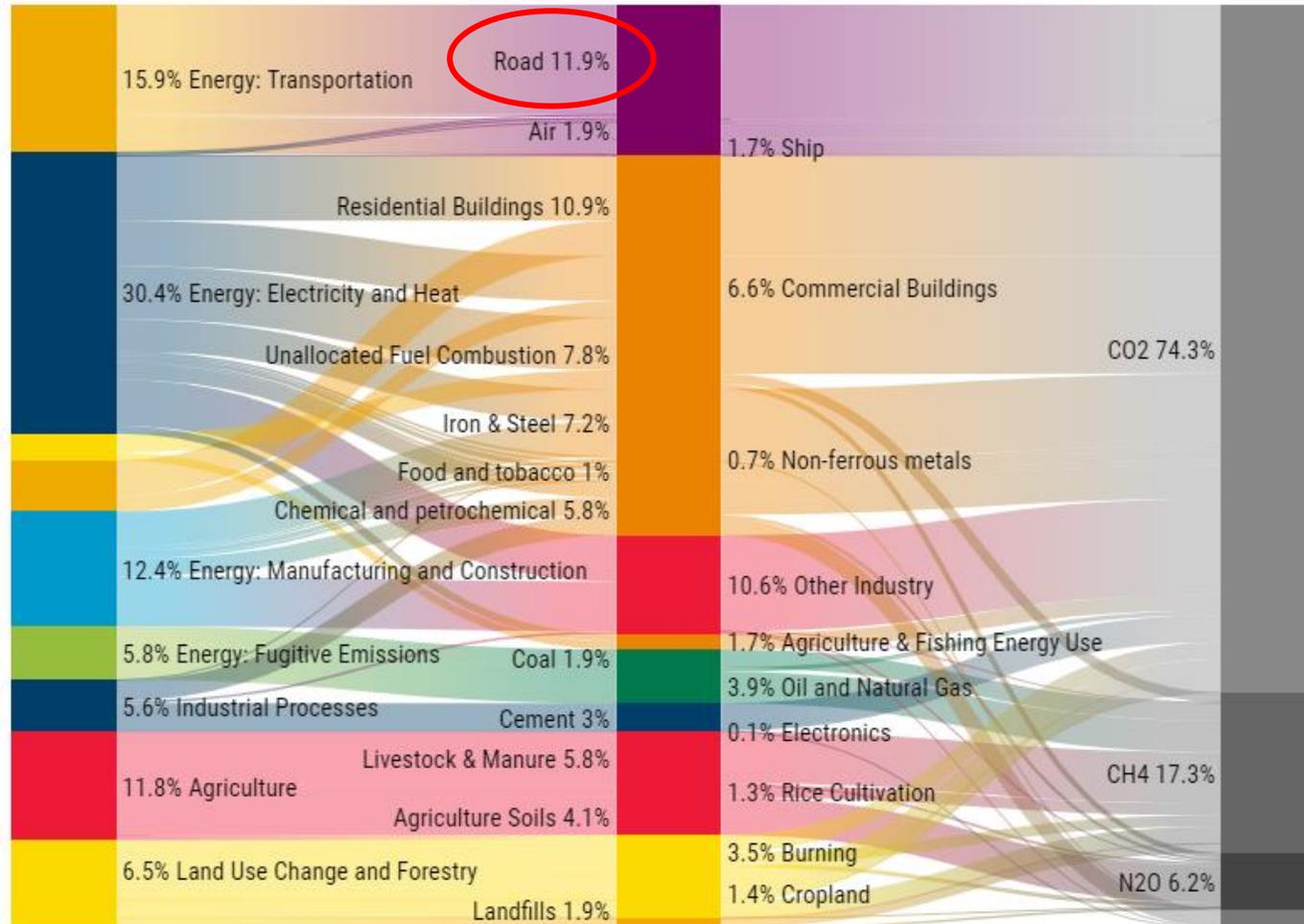
1. Definição do Problema;
2. Problema e Propósito do Projeto;
3. Golden Circle;
4. Normas e Legislação;
5. Avaliação Rápida;
6. Benchmarking;
7. Matriz de Decisão;
8. Storyboard;
9. Ferramentas de Estudo;
10. Engenharia Reversa;
11. Site do projeto;
12. DFMEA;
13. Target;
14. Cálculo de Melhoria;
15. Benchmarking Competidores;
16. Dimensionamento dos Componentes;
17. Modelo Canvas de Negócio;
18. Referências Bibliográficas.



# 1. Definição do Problema



## Emissão de Gases Poluentes em 2016



- O uso de meios de transporte rodoviários representam 11,9% do total de emissões.

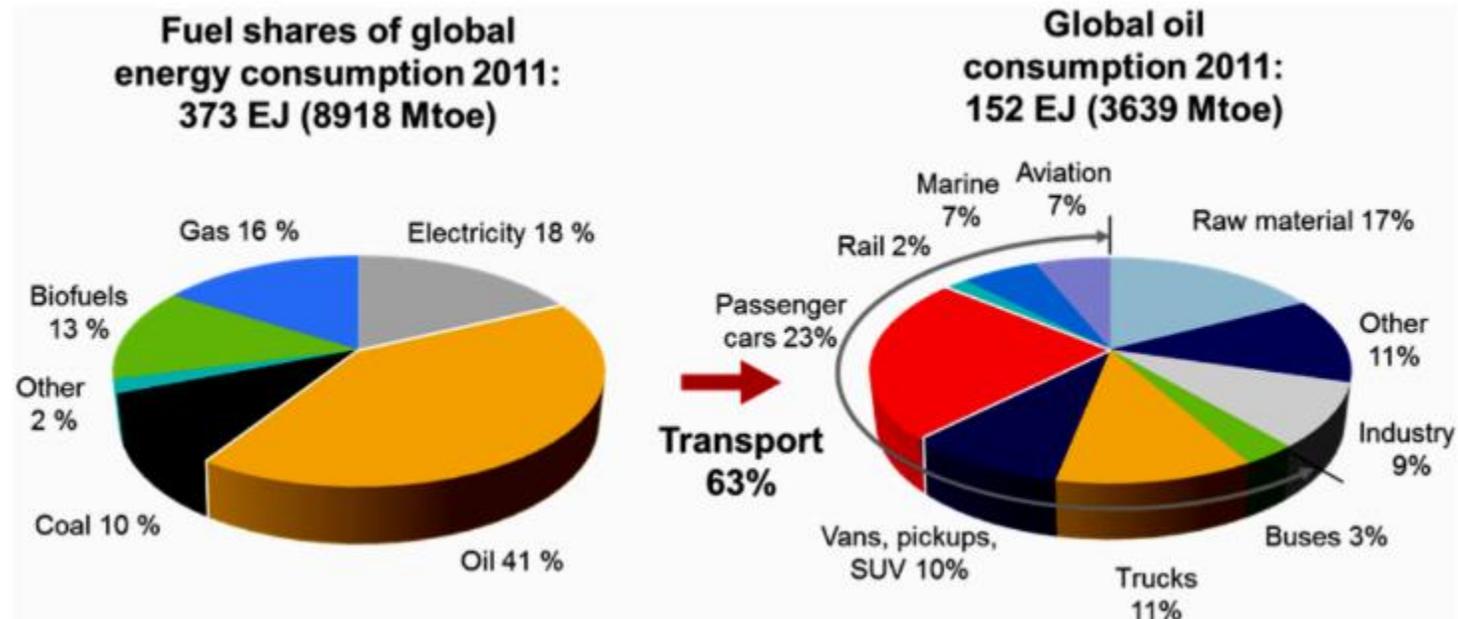
Fonte: [Climate Watch](http://Climate Watch), based on raw data from IEA (2018), CO2 Emissions from Fuel Combustion, [www.iea.org/statistics](http://www.iea.org/statistics); modified by WRI





# 1. Definição do Problema

## Energia Global e consumo de óleo em 2011



Fonte: Holmberg, K., Research, K. H, Erdemir, A. "Global Impact of Friction on Energy Consumption, Economy and Environment", FME Trans, 43:181, 2015

- O uso de meios de transporte representa 63% do consumo global de petróleo.

# 1. Definição do Problema

---



- “Em São Paulo, os automóveis são responsáveis por 72,6% das emissões de gases de efeito estufa”.



Fonte: Ituran



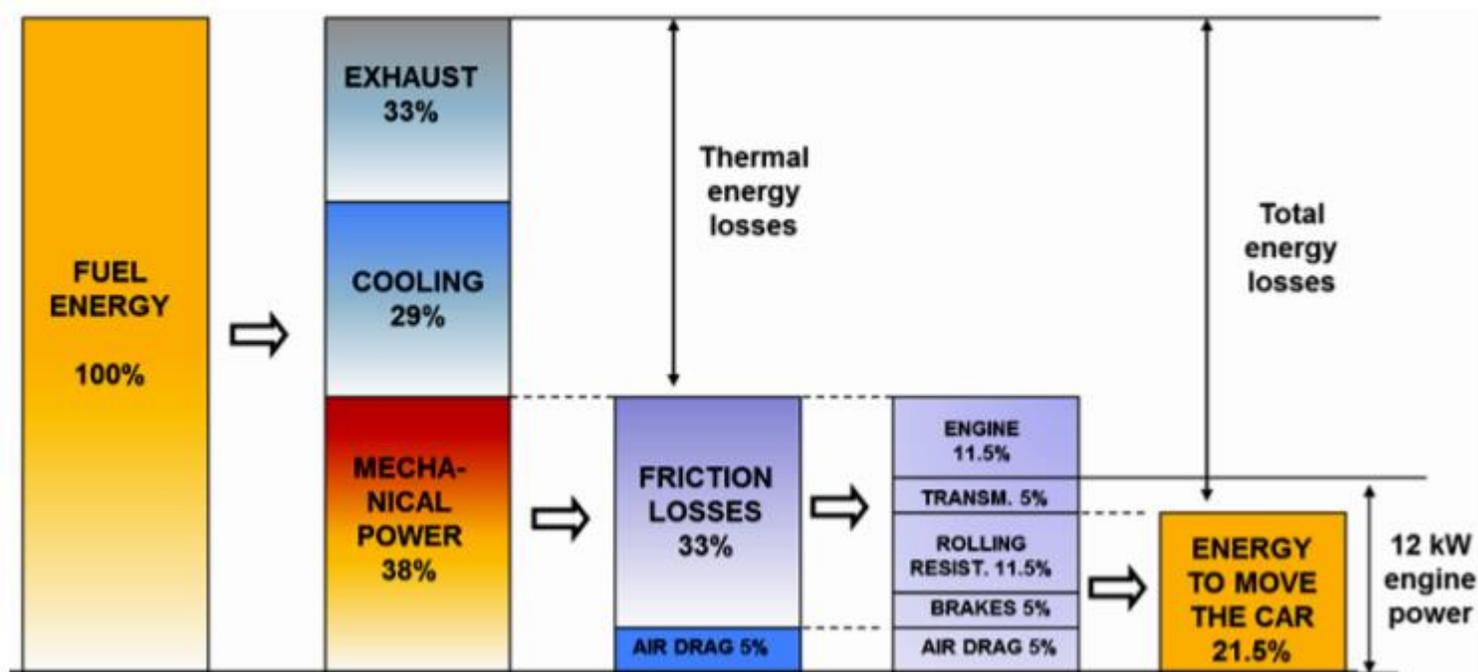
Fonte: exame.com





# 1. Definição do Problema

## Aproveitamento de combustível no carro de passeio



- Perdas por atrito no motor representam 11,5% do consumo de combustível.
- Somente é aproveitado 21,5% do total de combustível para mover o veículo.

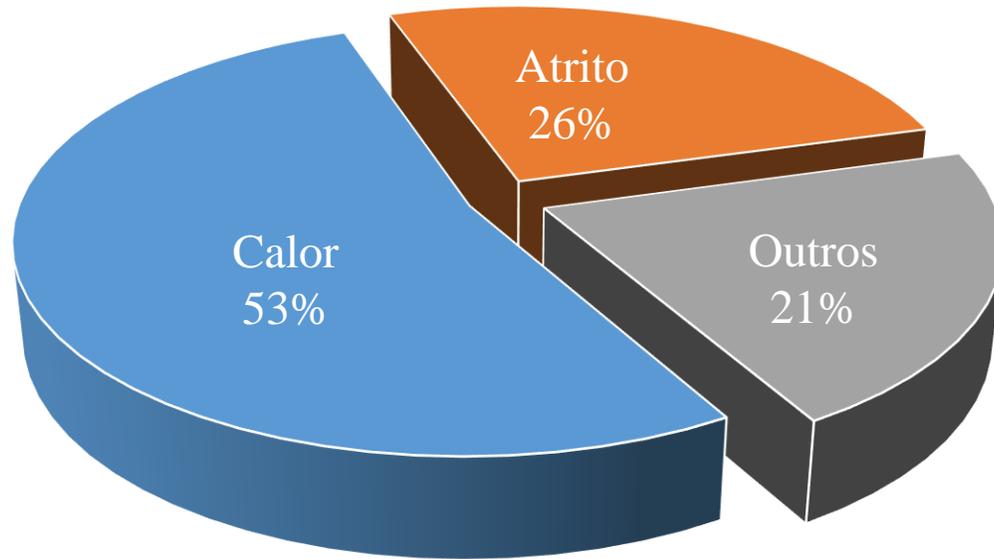
Fonte: Holmberg, K., Research, K. H, Erdemir, A. "Global Impact of Friction on Energy Consumption, Economy and Environment", FME Trans, 43:181, 2015



# 1. Definição do Problema



## Percentual de estudos de perdas dos motores



Fonte: Autor

## Exemplos de artigos que tratam das perdas térmicas:

### Abstract

The stringent environmental constraints have led the industry to look for new technologies that improve the design of internal combustion engines (ICE), mainly focused on achieving higher thermal efficiency and reducing pollutant emissions. Numerical simulations play a key role for optimizing engine design, but modelling the physical processes such as the combustion and the heat transfer to the walls, represents a challenge due to the complexity of the phenomena involved. Combustion has to be modeled properly, and heat transfer models from gas to wall require coupling with solid wall models (CHT Conjugate Heat Transfer

Fonte: Sciencedirect.com

Three analysis techniques were used to measure the heat rejection of a 55 cc air-cooled two-stroke engine. This study was performed as part of a larger effort aimed at extending range and endurance limitations of Group 1 & 2 Remotely Piloted Aircraft (RPA). The engine selected for the study is a gasoline-fueled, carbureted, spark-ignition engine made by 3W and is representative of RPA engines in these groups. With a surface area to volume ration of 1.48, the engine is in a size region where thermal losses begin to dominate engine efficiency and thermal efficiencies of less than 15% are common. The first method was to perform an energy balance between the fuel energy entering the system and the various avenues for energy to leave the system. The second method used an enclosure around the engine and measured the enthalpy increase of the air flowing past the cooling fins. The

Fonte: ARC- arc.aiaa.org

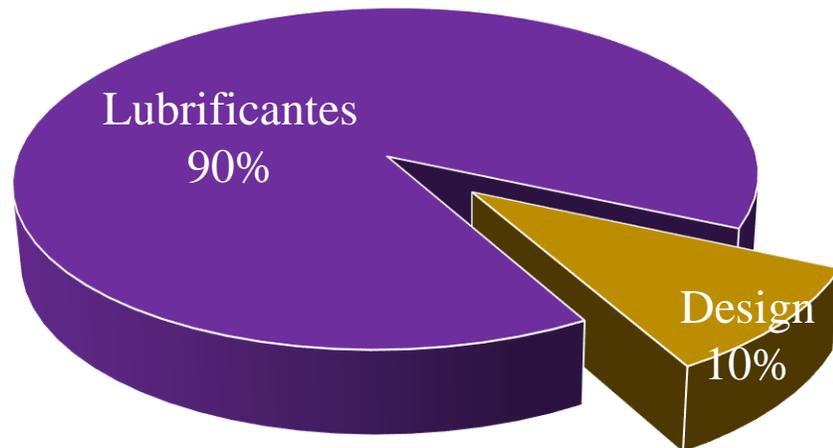
- As perdas por atrito são pouco estudadas quando comparas às perdas por dissipação de calor.



# 1. Definição do Problema



## Percentual de estudos em perdas por atrito em motores



Fonte: Autor

## Exemplos de artigos que tratam de troca de lubrificantes:

**Abstract:** The increasing global environmental awareness, evidenced by recent worldwide calls for control of climate change and greenhouse emissions, has placed significant new technical mandates for automotives to improve engine efficiency, which is directly related to the production of carbon dioxide, a major greenhouse gas. Reduction of parasitic losses of the vehicle, powertrain and the engine systems is a key component of energy conservation. For engine efficiency improvement, various approaches include improvements in advanced combustion systems, component system design and handling—such as down-sizing, boosting, and electrification—as well as waste heat recovery systems etc. Among these approaches, engine friction reduction is a key and relatively cost-effective approach, which has been receiving significant attention from tribologists and lubricant-lubrication engineers alike. In this paper, the fundamentals of friction specific to the environments of engine components tribology are reviewed, together with discussions on the impact of developing vehicle powertrain technologies, surface and material technologies, as well as lubricant and additive technologies on promises of continuing friction and wear reduction trends. The international accords on climate change require further gains in fuel efficiency and energy sustainability from all industry sectors including those in the automotive and the broader internal combustion engine industries, and the latter encompass off-highway, power generation, marine, and rail industries as well. This paper focuses on friction reduction in mainly automotive engines, however.

Fonte: Wong-Tung 2016 Article

### Abstract

Nanoscale copper powder has been produced using such an energetic method as the electric explosion of metallic wire (“EEW” process) in an inert gas. The crystalline structure of nanoparticles has been characterized by HRTEM and particle size distribution has been measured. The nanopowder has been added to motor oil and friction coefficient measured to compare with that of pure oil. SEM characterization of the worn surfaces and X-ray microanalysis have been performed to reveal both changes in topology of the worn surfaces and traces of copper.

Fonte: A. Fischer, M. Papini - WEAR

- A maior parte de estudo e perdas por atrito, trata da melhoria do lubrificante.



# 1. Definição do Problema



- **Shell Eco-Marathon**

Competição automobilística que busca novas ideias e desenvolvimento de projetos de carros com novas tendências, buscando o aumento de eficiência energética e diminuição de emissões de gases poluentes.



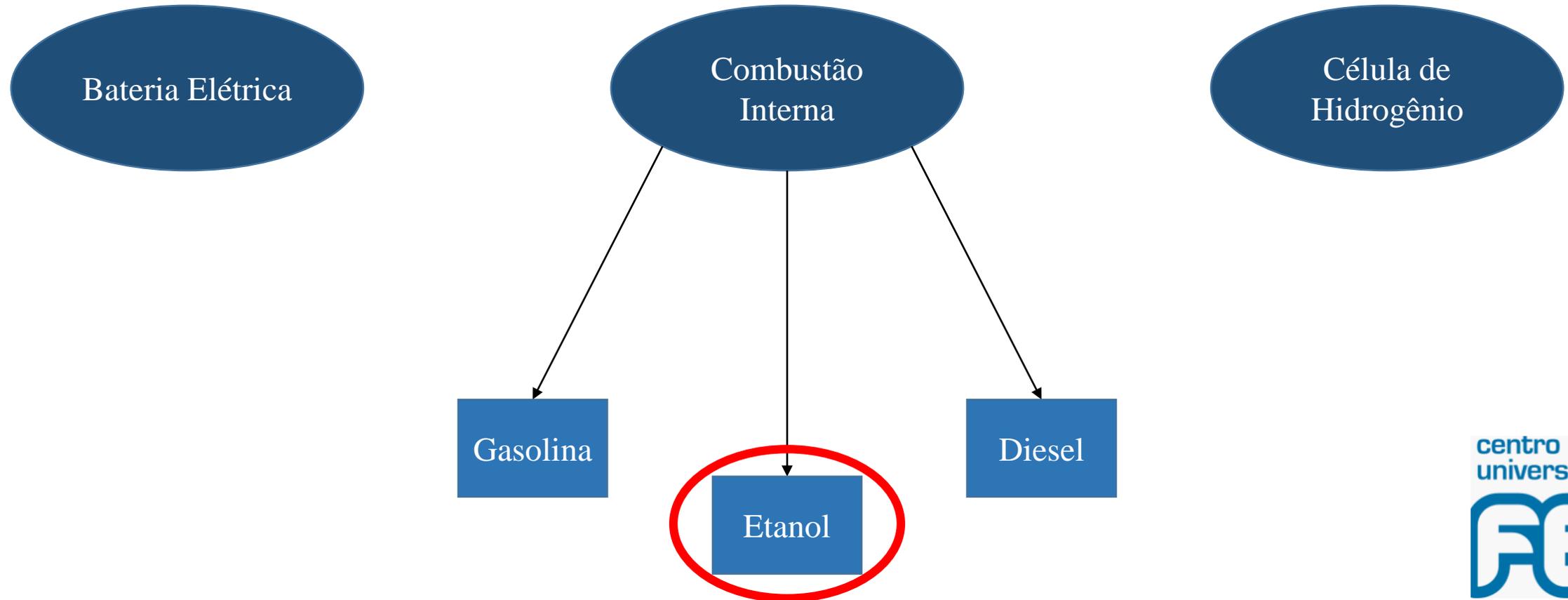
Fonte: Site oficial Shell Eco-Marathon



# 1. Definição do Problema



## Shell Eco-Marathon



## 2. Problema e propósito do projeto

---



### Problema

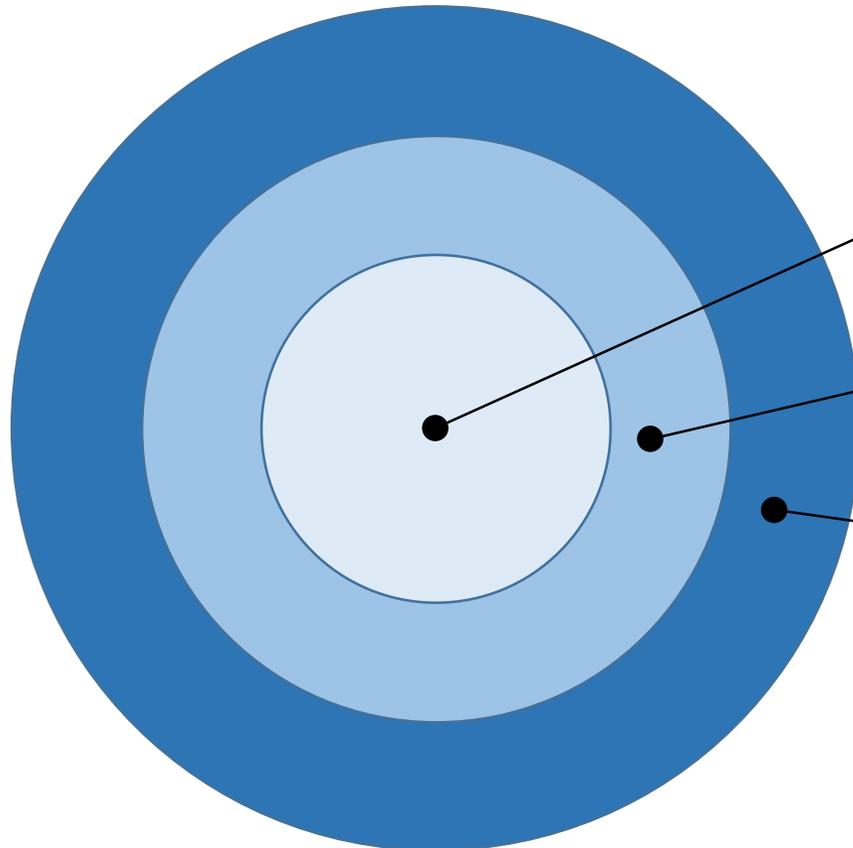
Perdas mecânicas geradas pelo atrito nos motores

### Propósito

Reduzir as perdas por atrito



# 3. Golden Circle



## Por que?

Acreditamos em um planeta mais limpo e menos poluído.

## Como?

Aumentando a autonomia dos automóveis e diminuindo as perdas mecânicas do motor.

## O que?

Produzindo um motor com menos perdas por atrito.



# 4. Normas e Legislação

---



- **Regras Oficiais SHELL ECO-MARATHON**

**ARTIGO 53** – Tipos de energia: Estabelece as 3 categorias de energias. Para motores de combustão interna, temos como combustível Shell FuelSave Unleaded 95(Europe / Asia) / Shell Nitorgen Enriched (US) Gasoline; Shell FuelSave Diesel(Europe) /Shell Diesel (Asia and US) e Ethanol E100 (Denatured)

**ARTIGO 59** – Propulsão: O tipo e design do motor de combustão interna não são restritos, porém devem funcionar utilizando um dos combustíveis fornecidos pelos organizadores e não devem consumir qualquer tipo de óleo de motor (motores 2-tempos não são permitidos).

**ARTIGO 62** – Sistema de Combustível .C) Motores com carburador são proibidos (injeção eletrônica de combustível é obrigatória)

**ARTIGO 64** – Sarter .A) Um mecanismo elétrico deve ser usado durante a competição. Iniciar o motor de maneira manual é proibido.



# 5. Avaliação Rápida



## Problema

- Perdas mecânicas geradas pelo atrito nos motores

## Clientes

- Fabricantes de Motores
- Equipes Shell Eco-Marathon

## Disposto a Pagar

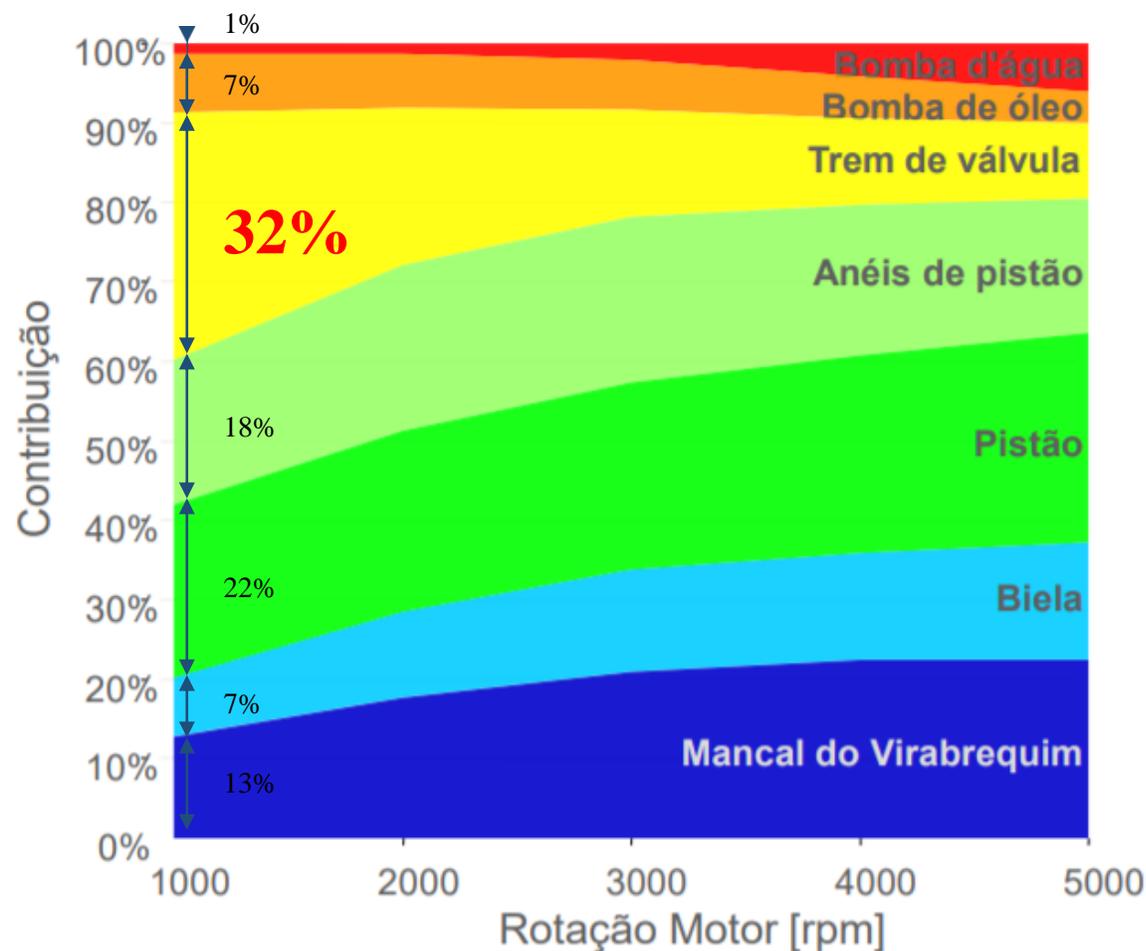
- Redução de consumo  
 $\left(\frac{g}{kWhR\$}\right)$



# 6. Benchmarking



### Gráfico de Contribuição de Atrito dos Componentes do Motor



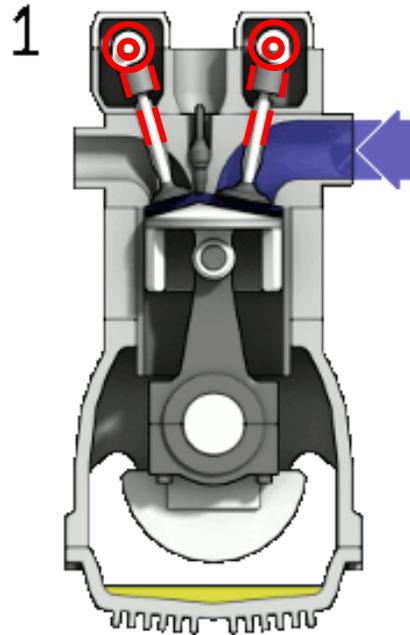
O trem de válvula é o componente que mais contribui com atrito em baixas rotações.



# 6. Benchmarking



## Representação do Atrito do Trem de Válvulas



Fonte: Wikipedia.com





- **Premissas do Projeto:**
  - **Reduzir atrito;**
  - **Aumentar eficiência;**
  - **Manter / Diminuir a massa;**
  - **Manter o rendimento térmico.**



# 7. Matriz de Decisão

---



- **Possíveis modificações:**
  - **Revestimento;**
  - **Alteração de material base dos guias de válvulas;**
  - **Fechamento de válvulas sem uso de mola;**
  - **Uso de balancins roletados.**



# 7. Matriz de Decisão

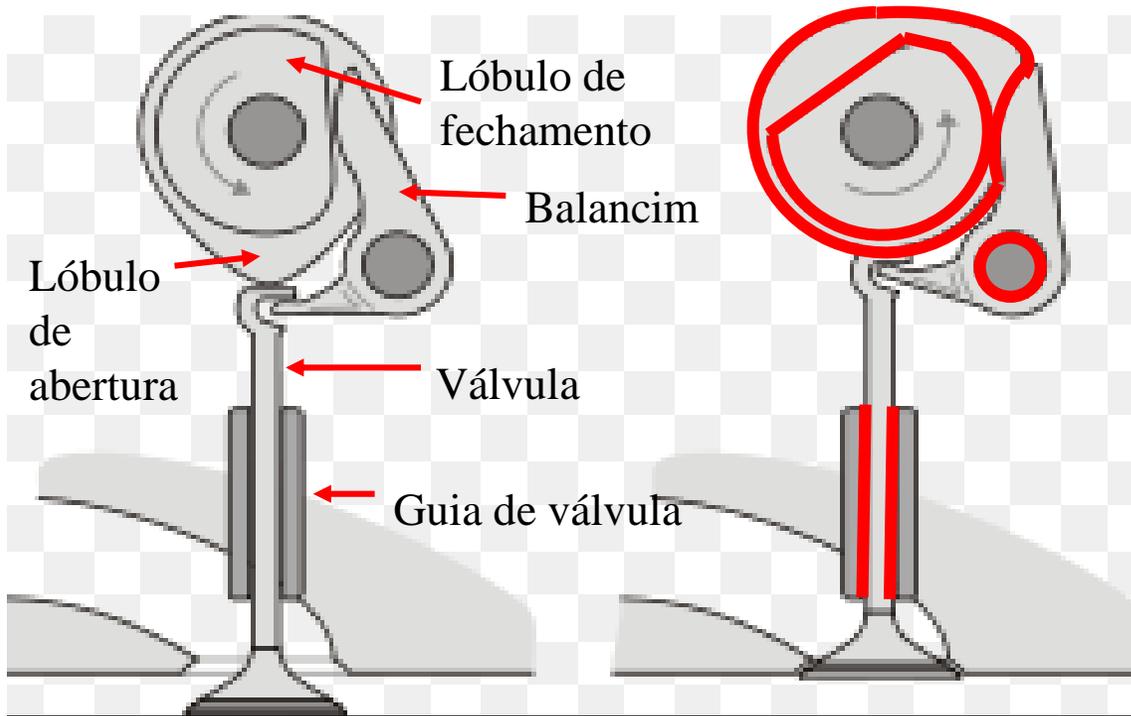


## Matriz de decisão - Redução das Perdas Mecânicas no Motor

		Referência	1º alternativa	2º alternativa	3º alternativa	4º alternativa
Critérios	Peso dos Critérios	Motor Shell X16	Tratamento superficial	Material	Balancins roletados	Fechamento de válvula sem uso da mola
Contribuição de Atrito	0,40	3	4	4	5	5
Aumento de Eficiência	0,20	3	3	3	5	4
Peso	0,15	3	3	4	3	3
Rendimento Térmico	0,15	3	3	3	3	3
Inovação	0,10	3	3	3	3	5
<b>TOTAL</b>	<b>1,00</b>	<b>0,50</b>	<b>0,57</b>	<b>0,59</b>	<b>0,70</b>	<b>0,70</b>

Legenda: 1- Muito pior; 2- Pior; 3- Referência; 4- Bom; 5- Muito Bom.

# 8. Storyboard



Fonte: WikiHow



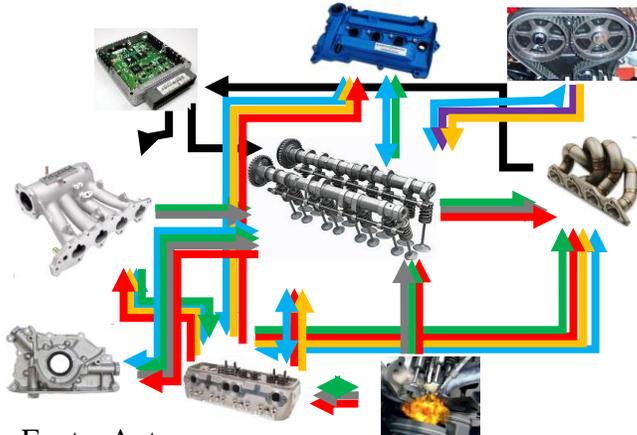
Fonte: Ducati.com - Modificado



# 9. Ferramentas de Estudo



## Boundary Diagram



Fonte: Autor

## Value Analysis

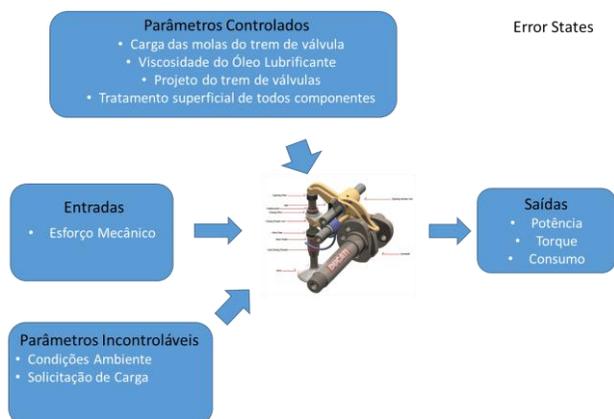
COMPONENTES	FUNÇÕES
EIXO COMANDO DE VÁLVULAS	REGULAR ABERTURA AUMENTAR ATRITO
BALANCIM	TRANSMITIR MOVIMENTO AUMENTAR ATRITO
EIXO DOS BALANCINS	TRANSMITIR MOVIMENTO
VÁLVULA DE ADMISSÃO	CONTROLAR MISTURA
VÁLVULA DE EXAUSTÃO	LIBERAR GASES
RETENTOR DE VÁLVULA	VEDAR ÓLEO

Fonte: Autor

FUNÇÃO	CLASSIFICAÇÃO		
	P/S	R/I/ND	U/E
REGULAR ABERTURA	P	R	U
AUMENTAR ATRITO	S	ND	U
TRANSMITIR MOVIMENTO	S	R	U
CONTROLAR MISTURA	S	R	U
LIBERAR GASES	S	R	U
VEDAR ÓLEO	S	R	U

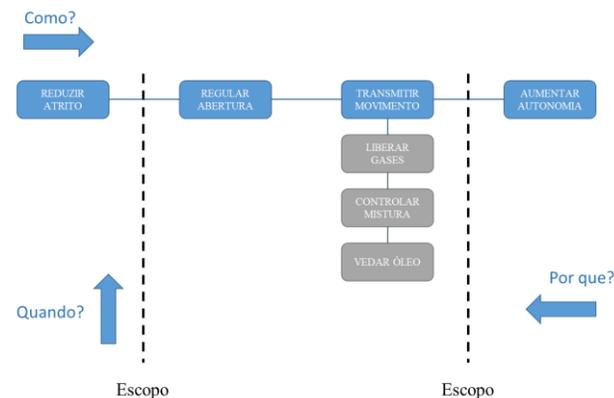
LEGENDA
P/S = PRIMARIA / SECUNDARIA
R/I/ND = RELEVANTE / IRRELEVANTE / NÃO DESEJADO
U/E = USO / ESTETICO

## P Diagram



Fonte: ducati.com

## FAST



Fonte: Autor

# 10. Engenharia Reversa



➤ **Componente:**

- Eixo comando de válvulas.



➤ **Processo de fabricação:**

- Fundição;
- Forjamento;
- Usinagem.

➤ **Material:**

- Ferro Fundido;
- Aço Carbono.

➤ **Fornecedores:**



Fonte imagem: mahle.com

➤ **Componente:**

- Balancim.



➤ **Processo de fabricação:**

- Fundição.

➤ **Material:**

- Ferro Fundido;
- Aço Carbono.

➤ **Fornecedores:**



Fonte imagem: wgindustria.com.br

➤ **Componente:**

- Eixo dos balancins.



➤ **Processo de fabricação:**

- Fundição.

➤ **Material:**

- Ferro Fundido.

➤ **Fornecedores:**



Fonte imagem: letopecas.com.br

➤ **Componente:**

- Válvula de admissão.



➤ **Processo de fabricação:**

- Usinagem e soldagem.

➤ **Material:**

- Aço austenítico.

➤ **Fornecedores:**



Fonte imagem: penoestribo.com.br

➤ **Componente:**

- Válvula de exaustão.



➤ **Processo de fabricação:**

- Usinagem e soldagem.

➤ **Material:**

- Aço austenítico.

➤ **Fornecedores:**



Fonte imagem: letopecas.com.br

➤ **Componente:**

- Vedador de válvulas.



➤ **Processo de fabricação:**

- Injeção e vulcanização.

➤ **Material:**

- Material nitrílico.

➤ **Fornecedores:**



Fonte imagem: nauticatrupel.com.br



# 11. Site do Projeto



MELHORANDO AUTONOMIA DE MOTORES DE  
COMBUSTÃO INTERNA

Sistema com alta eficiência energética

<https://x16-engine.webnode.com/>



# 12. DFMEA



Item	Função	Modo de falha potencial	Potenciais Efeitos de Falha	Classificação	Causas potenciais de falha	Controles de Prevenção	Controles de Detecção	Ações Recomendadas
Vedador da Válvula	Vedar e impedir a passagem de óleo e outros fluídos do cabeçote do motor para a câmara de combustão	Vazamento de óleos indesejados na câmara de combustão	Folga existente entre a válvula e o canal	3	Temperatura de funcionamento fora do padrão desejado	Isolamento térmico	Controle da temperatura dentro da câmara de combustão	Escolha do material apropriado para o vedador
Eixo comando de válvulas	Regular a abertura das válvulas	Resquícios de combustível dentro da câmara de combustão	"over lap" na câmara de combustão	2	Rotação do eixo muito baixa	Simulação	Controle da rotação do eixo	Aumentar a rotação do eixo
Balancim	Transmitir o movimento do comando para as válvulas	Mal funcionamento do trem de válvulas	Uso de dois balancins por válvula	3	Superdimensionamento dos balancins	Dimensionamento e simulação	Testes operacionais	Rever o projeto do balancim

Fonte: Autor



# 13. Target

---



O estudo de Andrew D. Ball – “Study of Design and Performance of Automotive Cams” nos mostrou que, ao comparar-se o uso de um trem de válvulas desmodrômico vs um trem de válvulas convencional, observamos que a redução de atrito apresentada foi de 16,2% em baixas rotações (1200 rpm). Com isso estabelecemos um target de 16,2% a 1200 rpm, conforme o estudo realizado.



# 14. Cálculo da Melhoria



## Modificações X16 – AVL Boost

- Contato entre Came e Balancim

Valve Train

Type of Valve Train: SOHC-Rocker Arm

Number of Camshafts Bearings: 2

Maximum Valve Lift: 5.68 mm

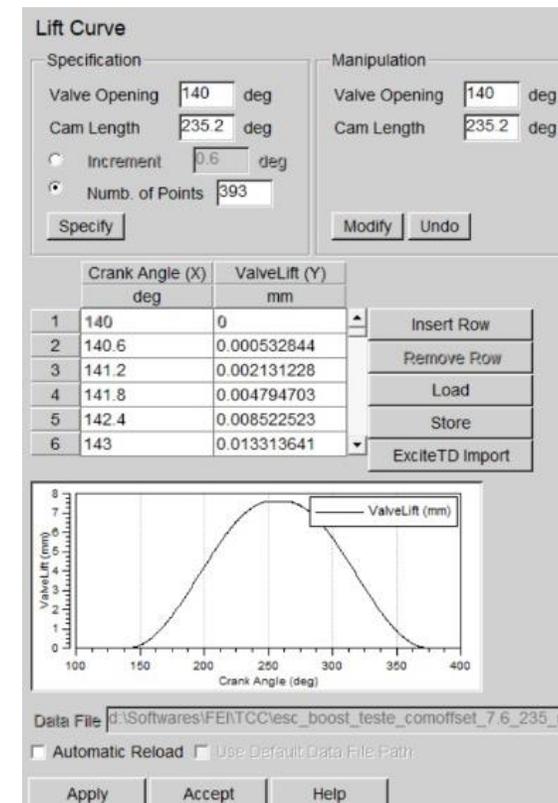
Type of Cam Follower: **Roller Follower**

Oil Type: SAE 10/W30 Oil Temperature: 110 degC

Injection Pump

Apply Accept Help

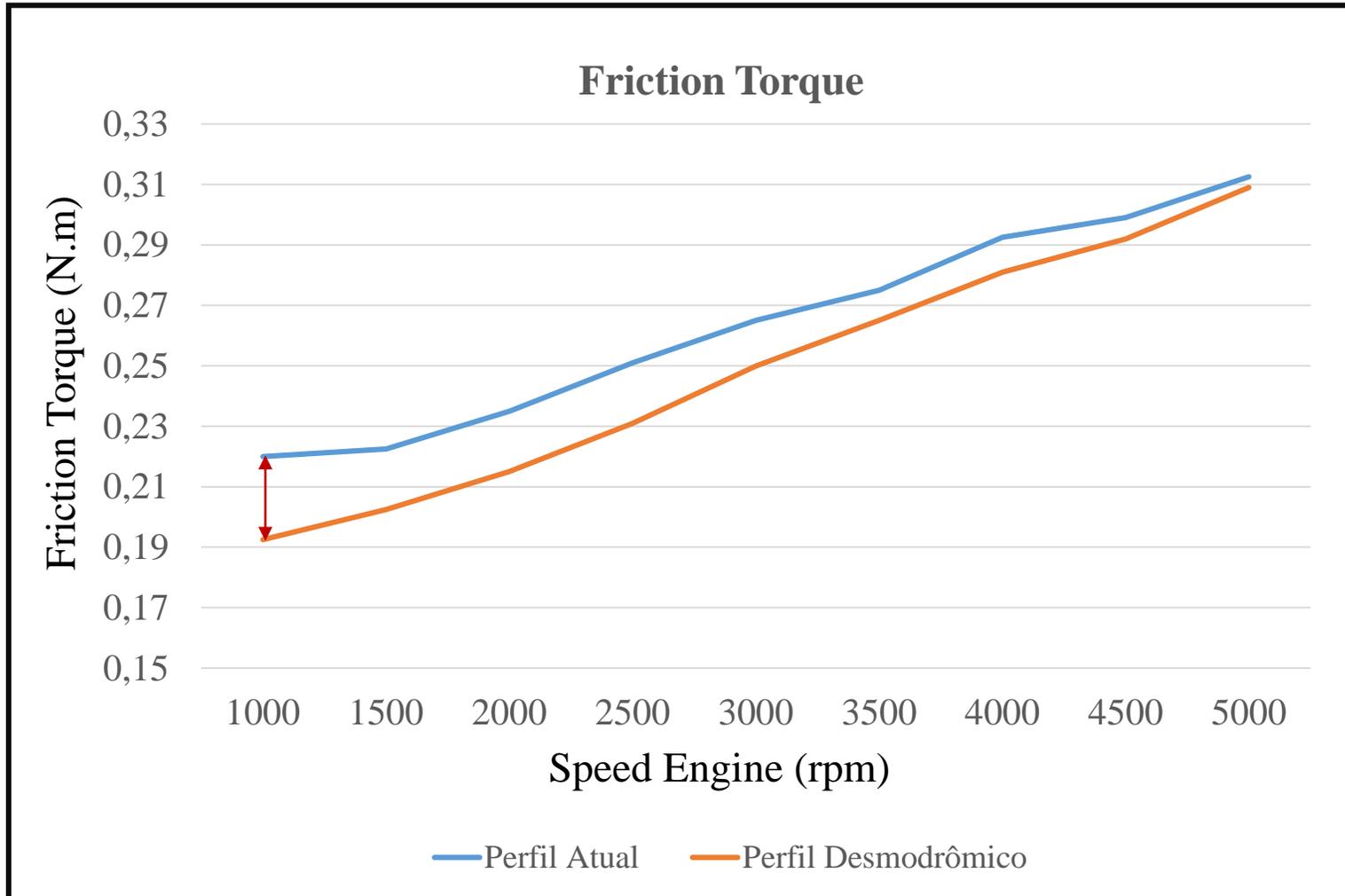
- Gráfico de Levante da Válvula



# 14. Cálculo da Melhoria



Redução de atrito com a utilização do modelo desmodrômico



$$R\% = \left( 1 - \frac{0,192}{0,22} \right) \times 100$$

**R% = 12,73%**

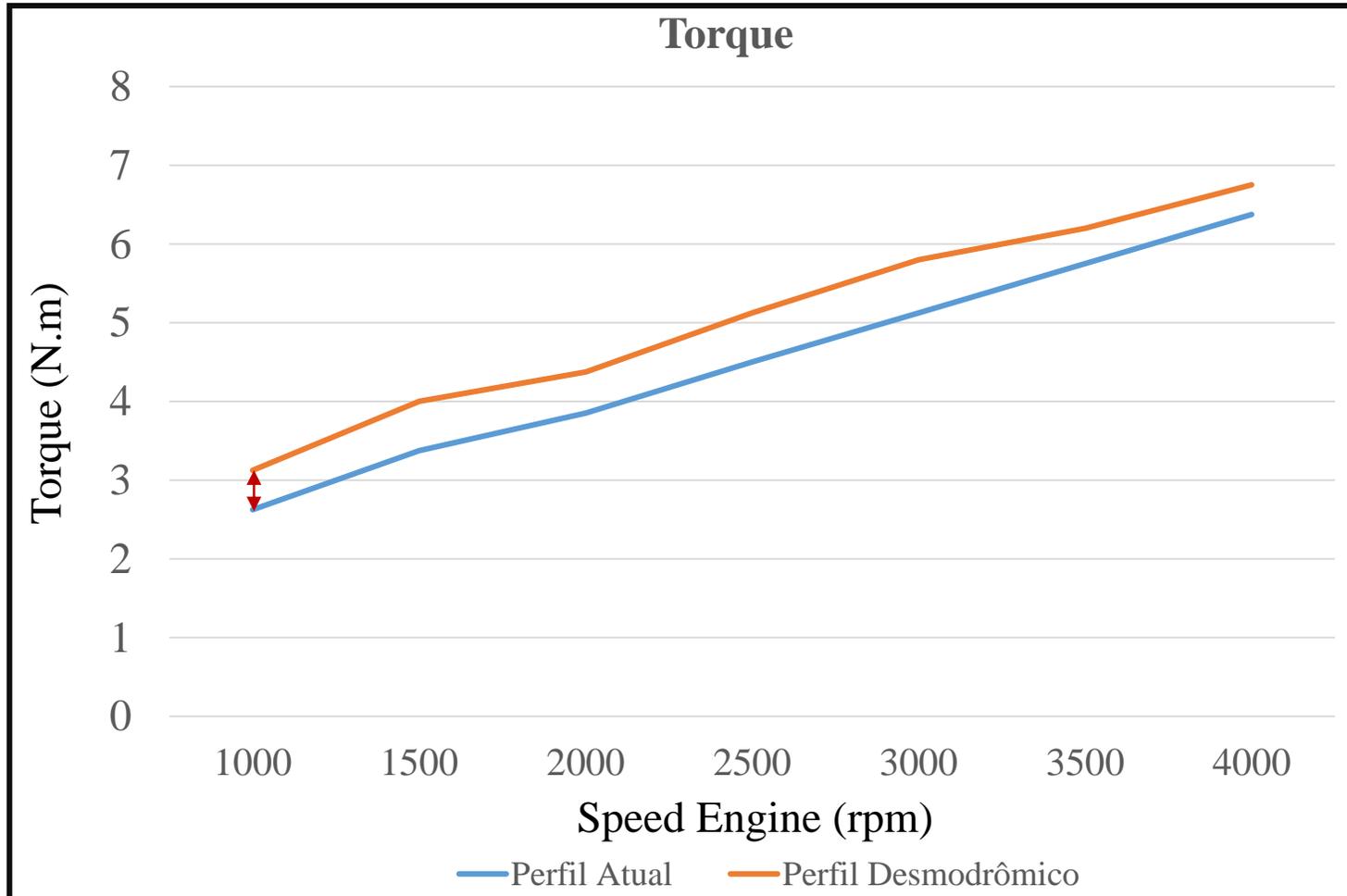


# 14. Cálculo da Melhoria



## Melhorias com o modelo desmodrômico

- Aumento de Torque



$$A\% = \left( \frac{3,125}{2,625} - 1 \right) \times 100$$

$A\% = 19,05\%$

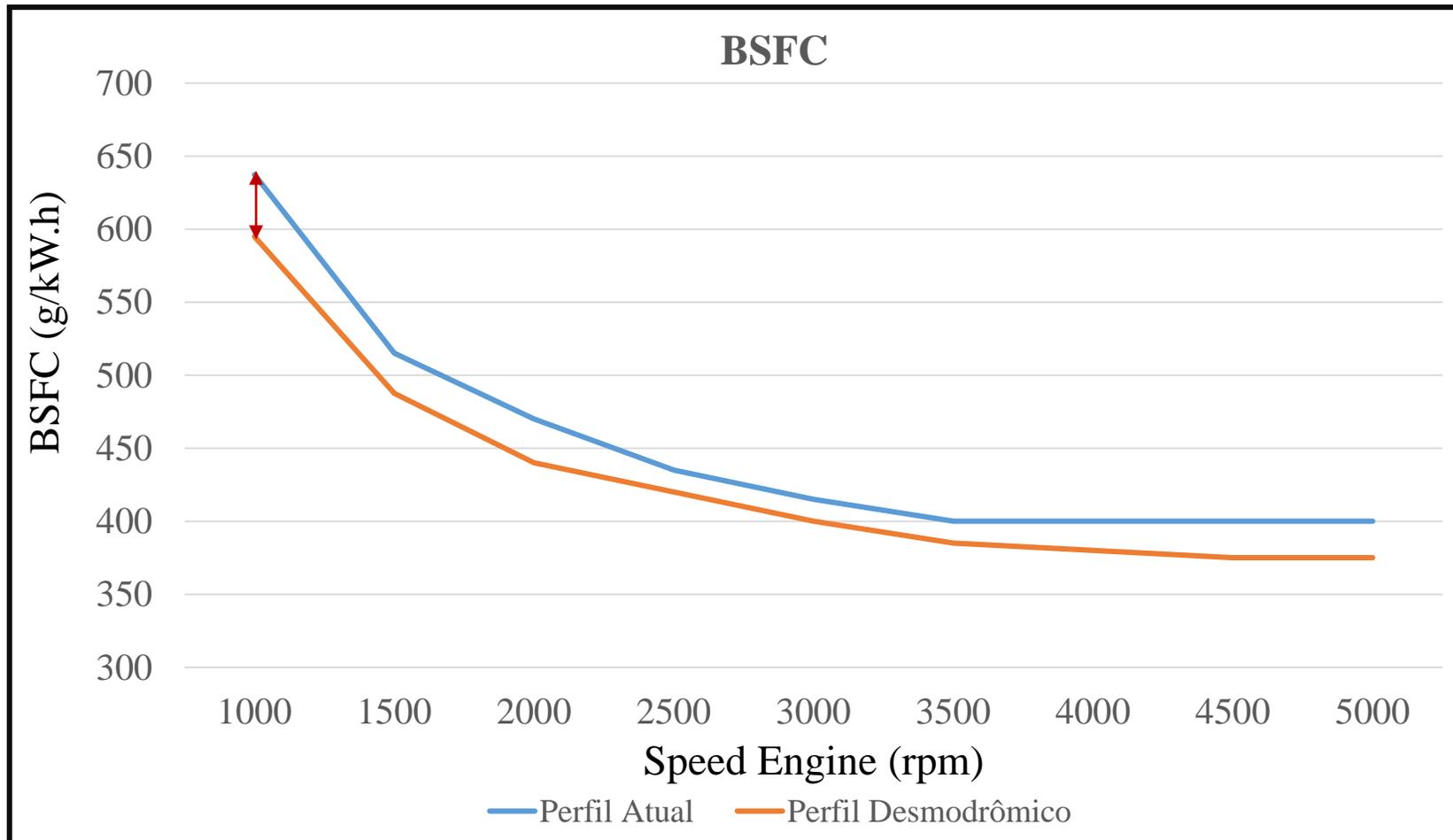


# 14. Cálculo da Melhoria



## Melhorias com o modelo desmodrômico

- Redução do consumo específico



$$R\% = \left(1 - \frac{595}{640}\right) \times 100$$

$R\% = 7,03\%$



# 15. Benchmarking Competidores



X16 Engine (3000 rpm) - Etanol

UESC (3000 rpm) - Gasolina

TORQUE	CONSUMO ESPECÍFICO
5,1 N.m	400 g/KWh

TORQUE	CONSUMO ESPECÍFICO
1,8 N.m	350 g/KWh

Fonte: Autor

Fonte: XXVI CREEM, Agosto de 2019 – Ilhéus, BA - Modificado

TORQUE:

$$A\% = \left( \frac{5,1}{1,8} - 1 \right) \times 100 = 183,3\%$$

CONSUMO ESPECÍFICO:

$$A\% = \left( \frac{3,1}{2,6} - 1 \right) \times 100 = 14,3\%$$



# 15. Benchmarking Competidores



Poder Calorífico:

- Gasolina: 42,5 MJ/kg;  
- Etanol: 27 MJ/kg.

$$\text{Relação} = \left( \frac{27,0}{42,5} \right) \times 100 = 63,5\%$$

Fonte: Simulação de curvas de rendimento do motor de combustão interna do ciclo otto – UTFPR, 2015 - Modificado

- UESC (3000 rpm) – Consumo Específico – Conversão para Etanol.

$$\text{CE gas.} = \left( \frac{350}{63,5} \right) \times 100 = 551,2 \text{ g / kW.h}$$

CONSUMO ESPECÍFICO:

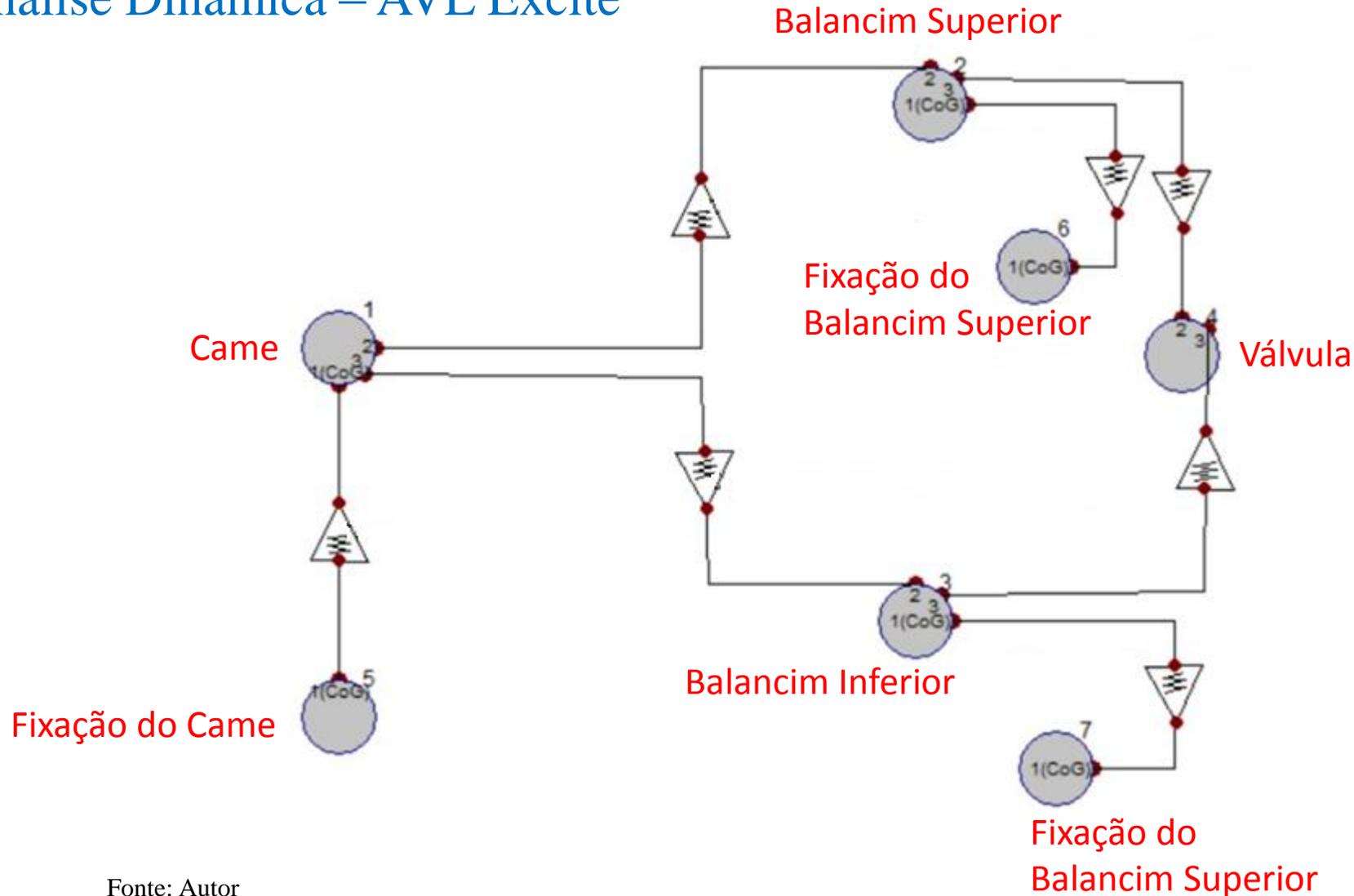
$$R\% = \left( 1 - \frac{400}{551,2} \right) \times 100 = 27,4\%$$



# 15. Dimensionamento dos Componentes



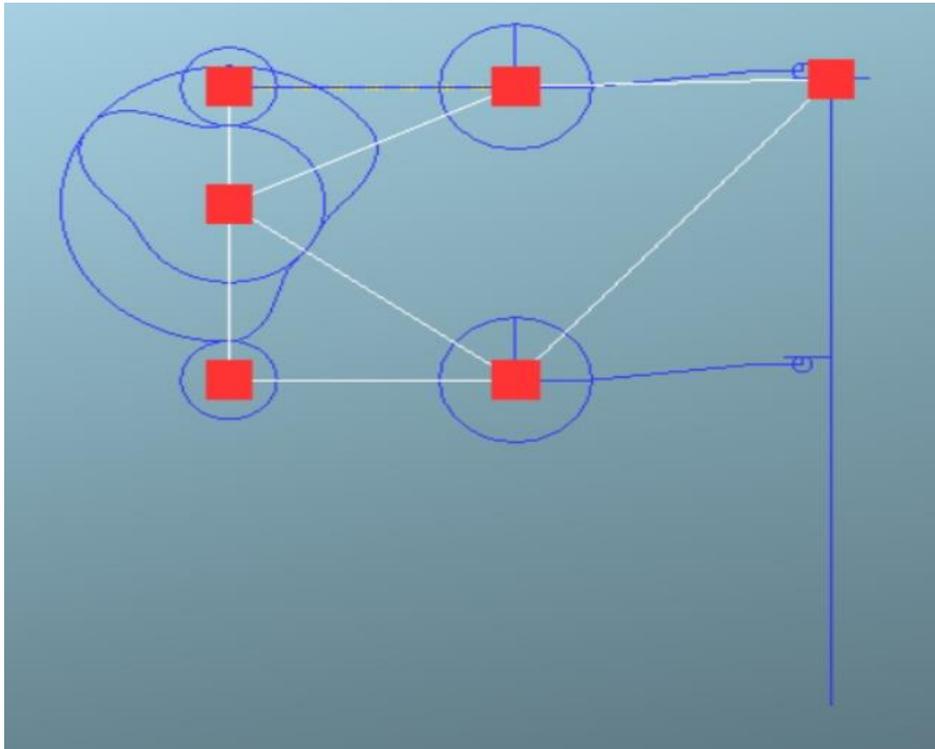
## Análise Dinâmica – AVL Excite



# 16. Dimensionamento dos Componentes



## Representação dos Roletes e Balancins – AVL Excite



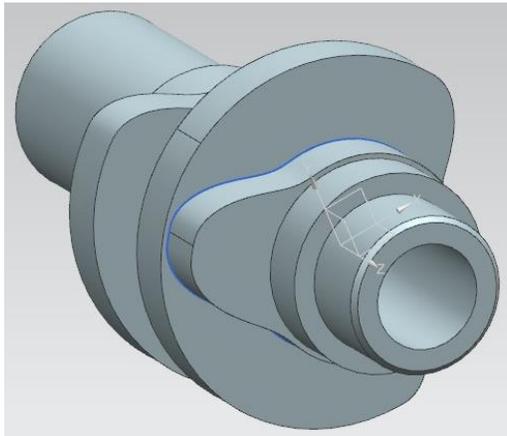
Fonte: Autor

# 16. Dimensionamento dos Componentes



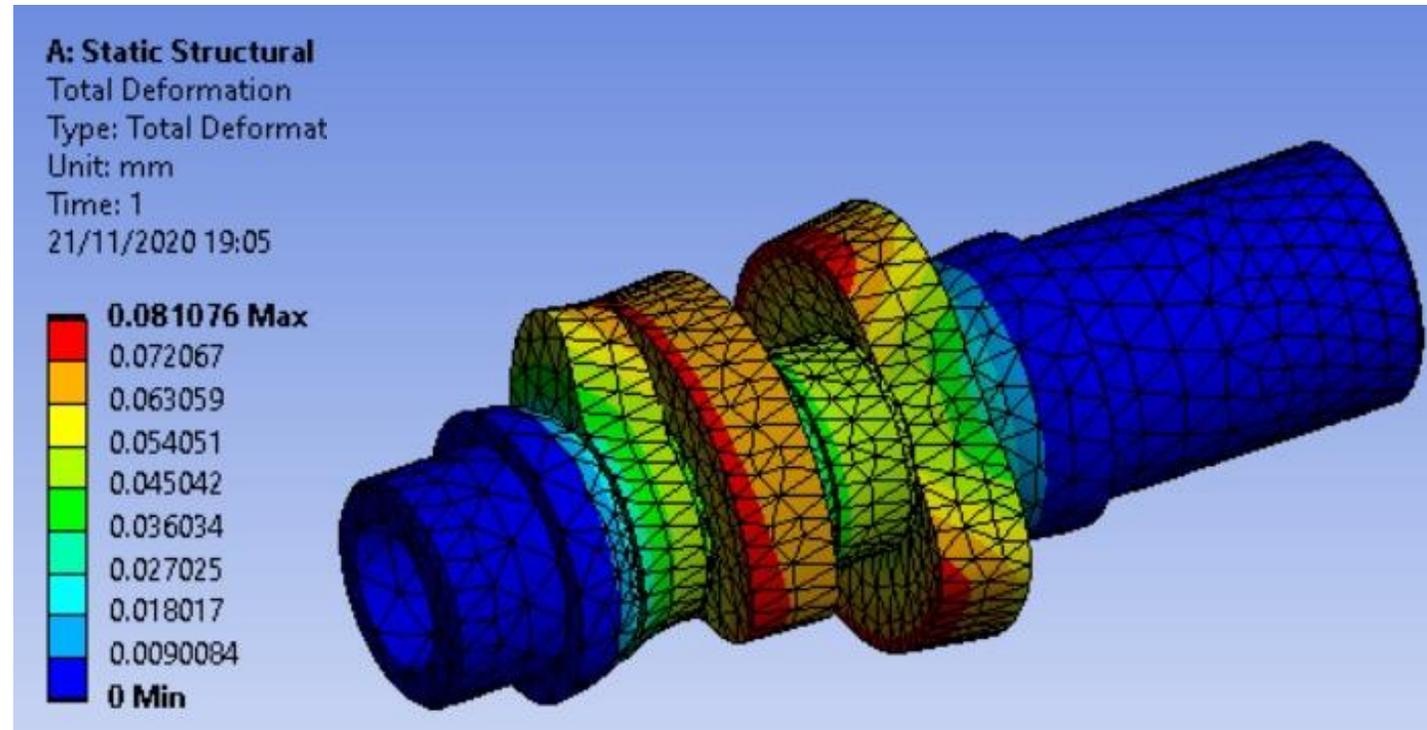
## Modificações Realizadas nos Componentes

### Came



Fonte: Autor

- Simulação de pressão



Fonte: Autor

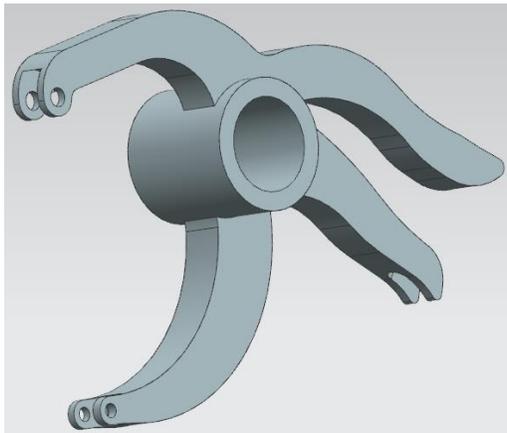


# 16. Dimensionamento dos Componentes



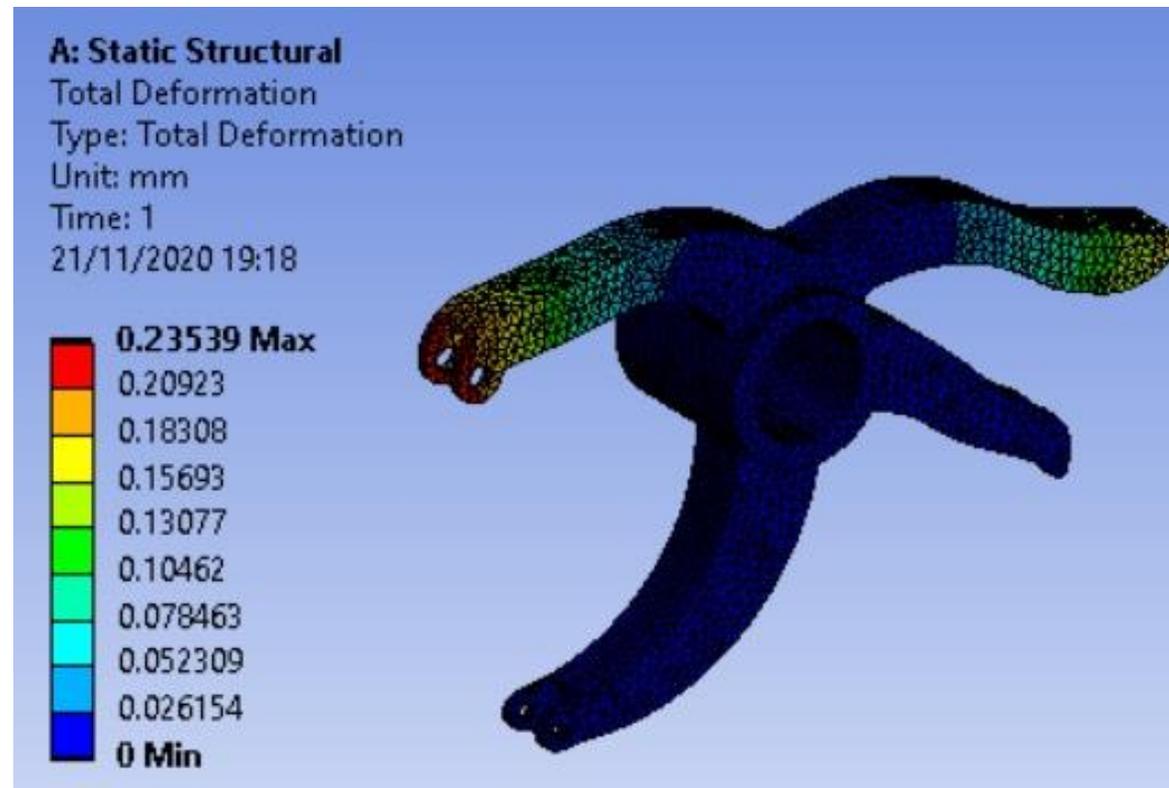
## Modificações Realizadas nos Componentes

### Balancim



Fonte: Autor

- Simulação de esforços no Balancim



Fonte: Autor



# 16. Dimensionamento dos Componentes

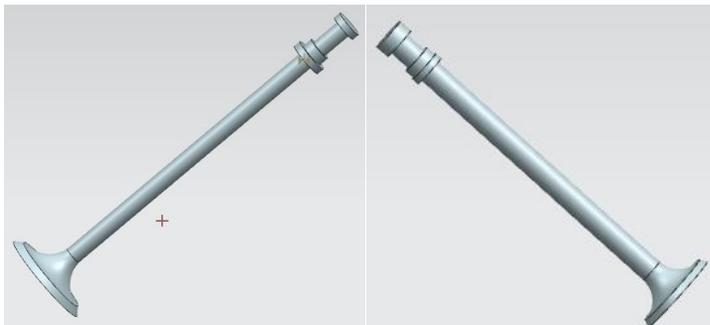


## Modificações Realizadas nos Componentes

### Válvulas

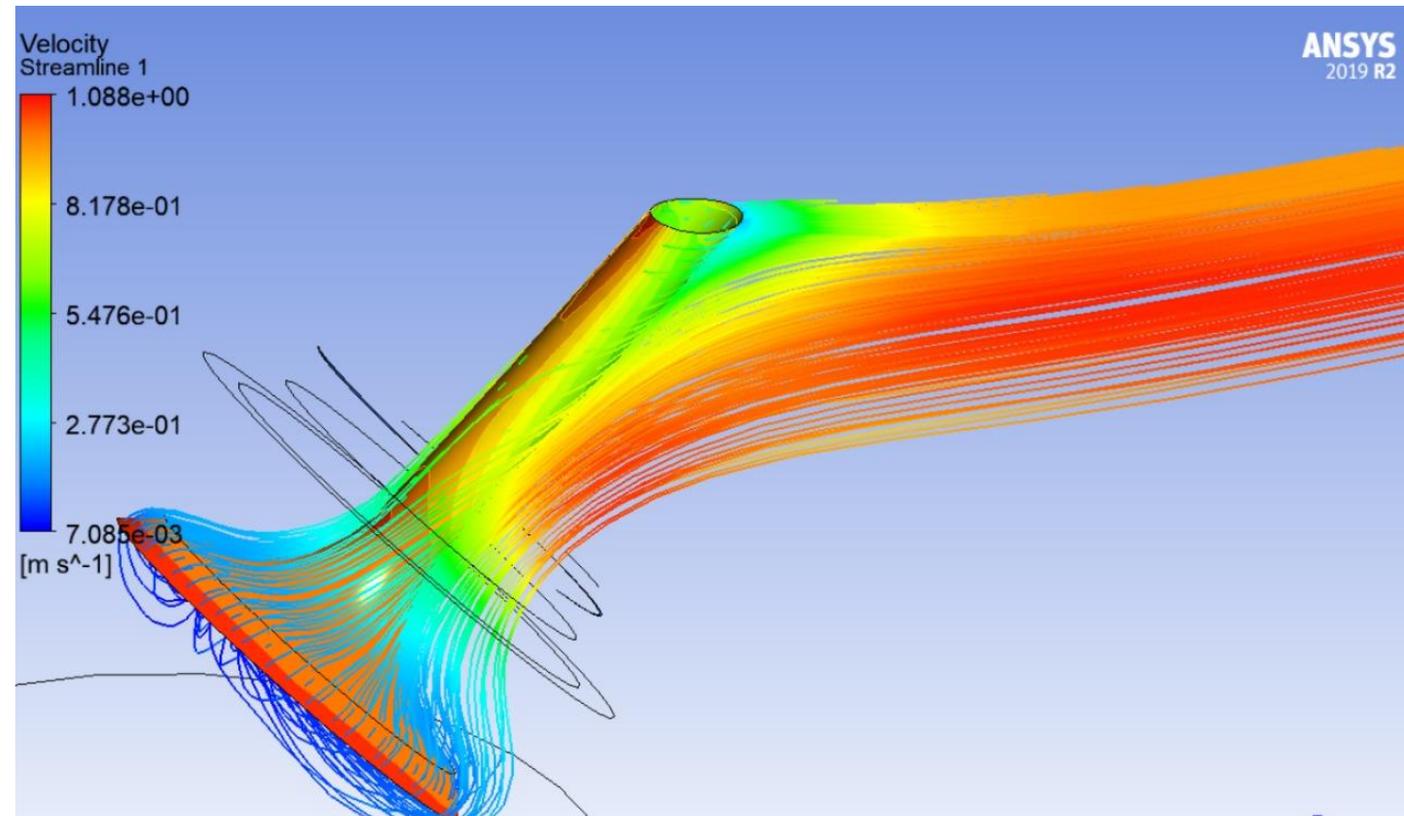
Admissão

Escape



Fonte: Autor

- Simulação de fluxo de ar sobre a válvula



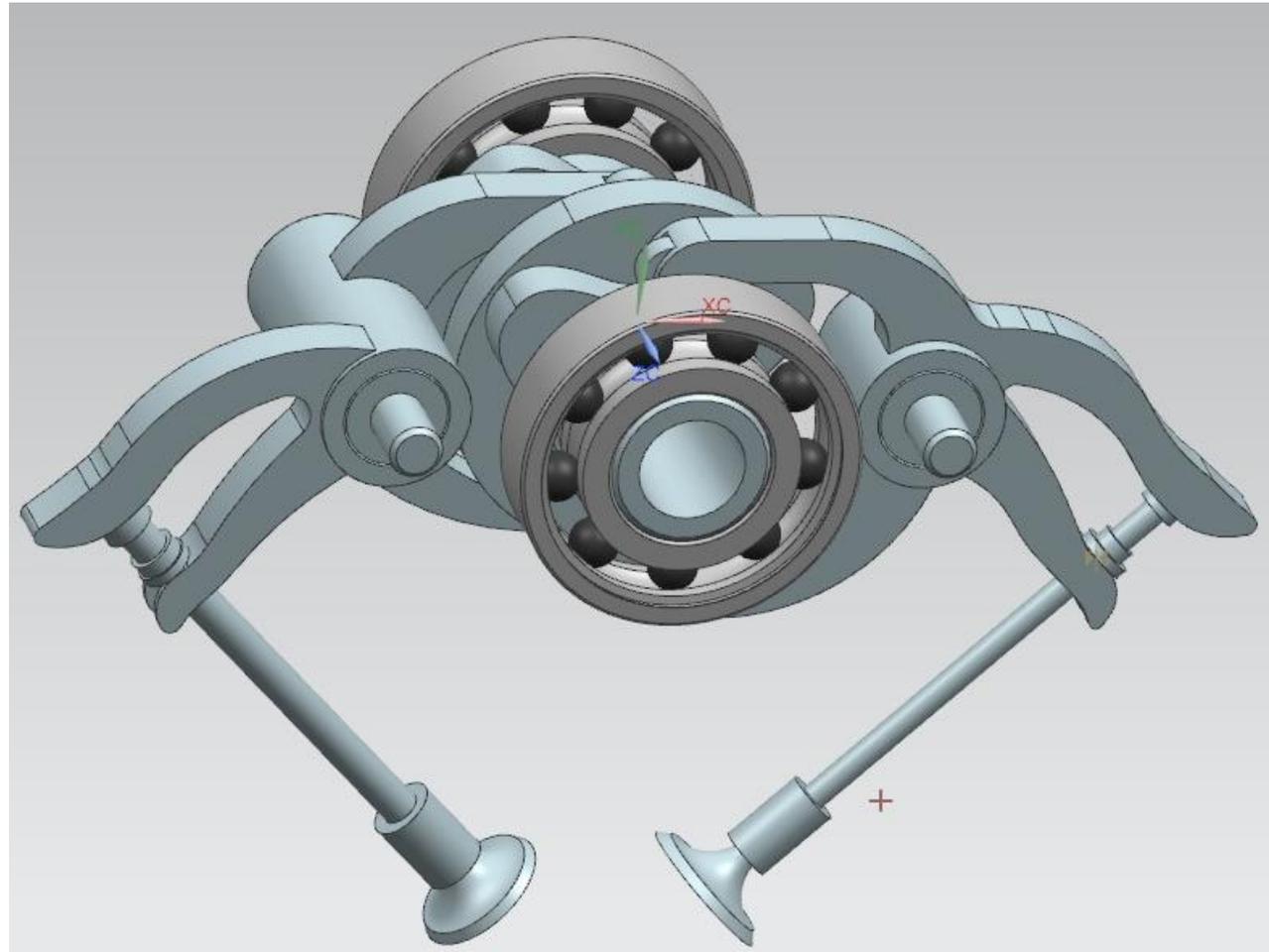
Fonte: Autor



# 16. Dimensionamento dos Componentes



## Trem de Válvulas



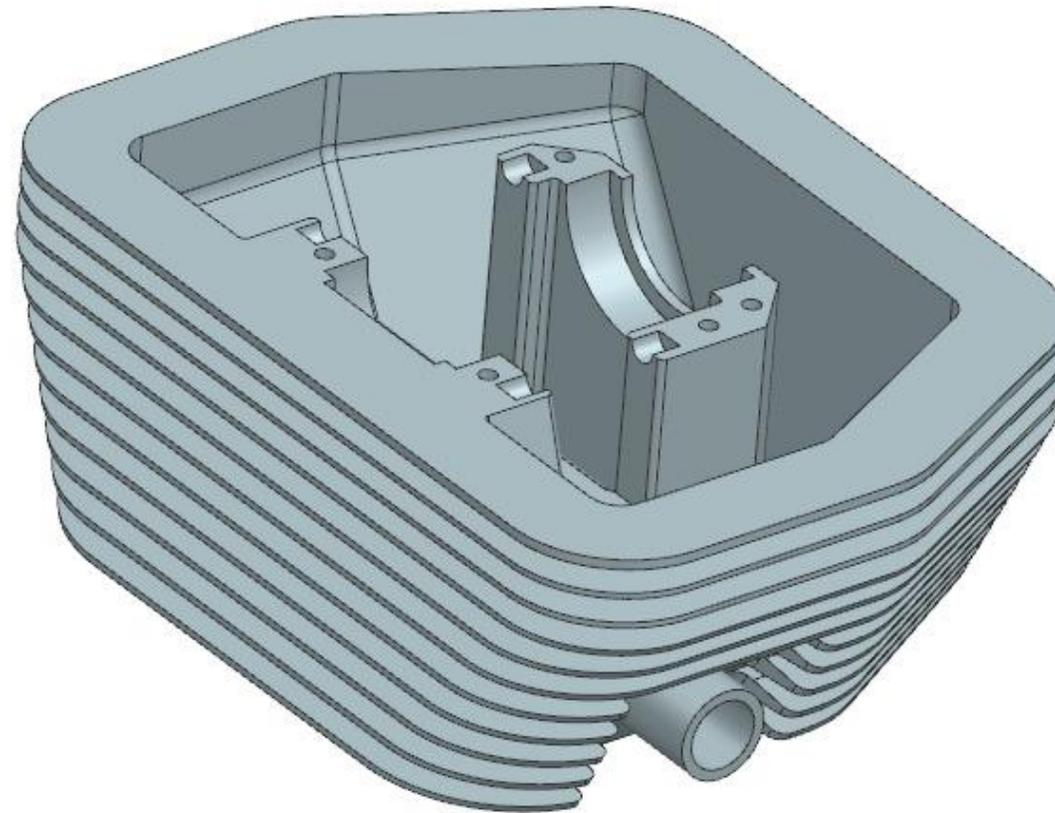
Fonte: Autor



# 16. Dimensionamento dos Componentes



## Cabeçote



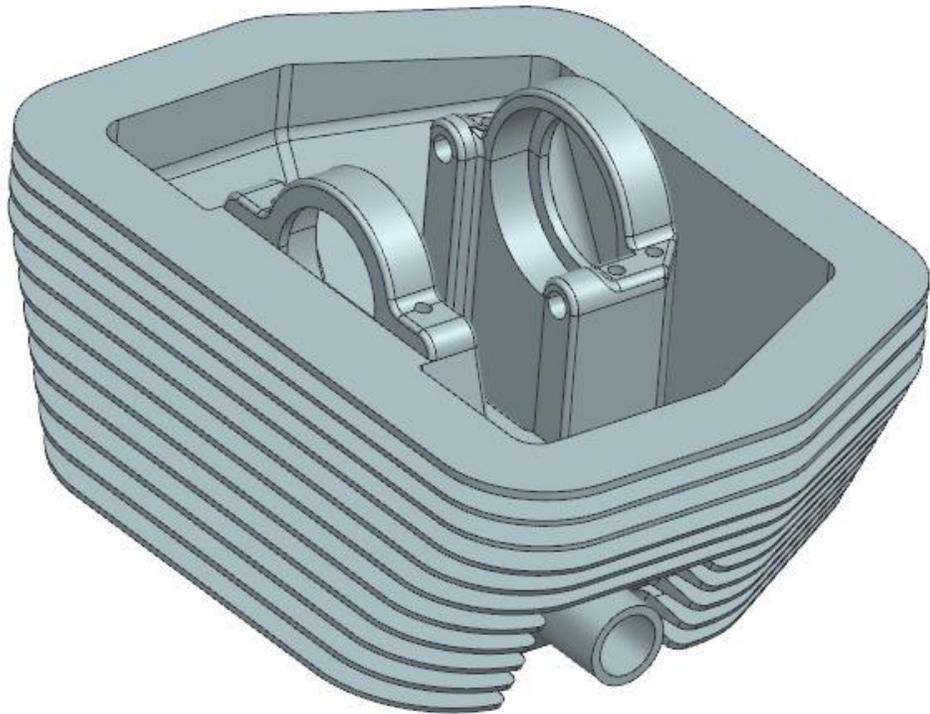
Fonte: Autor



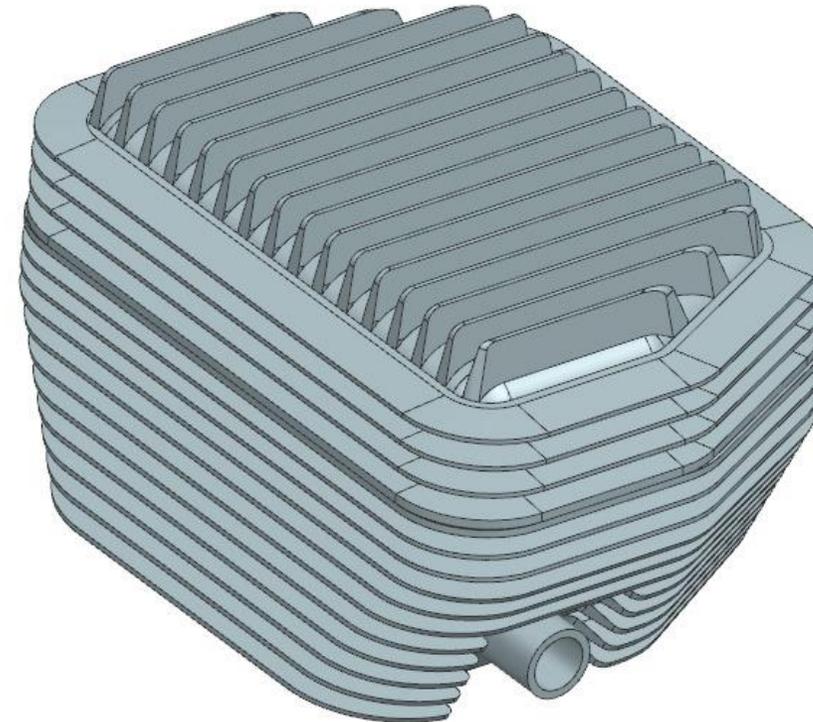
# 16. Dimensionamento dos Componentes



## Cabeçote



Fonte: Autor



Fonte: Autor



# 16. Dimensionamento dos Componentes



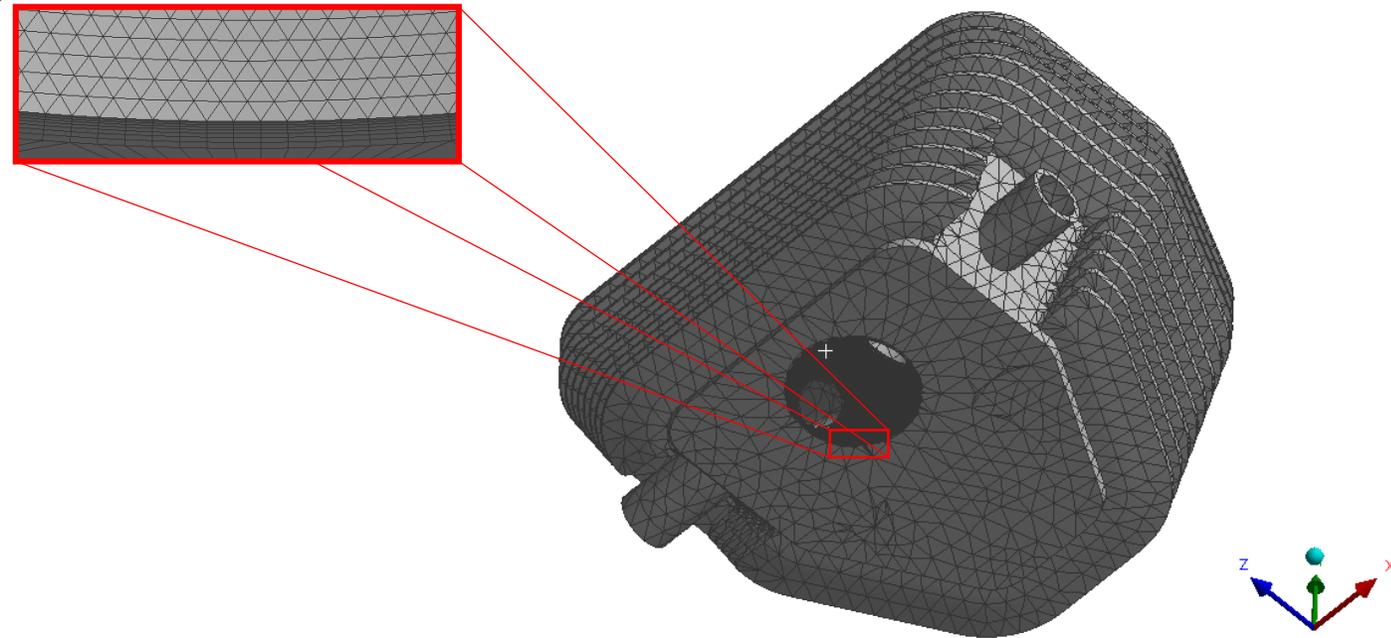
## Cabeçote

- Refinamento de Malha

Comando: Inflation

-8 Camadas;

-Taxa de crescimento de 1,2



Fonte: Autor



# 16. Dimensionamento dos Componentes



## Cabeçote

- Análise de Tensões

### A: Static Structural

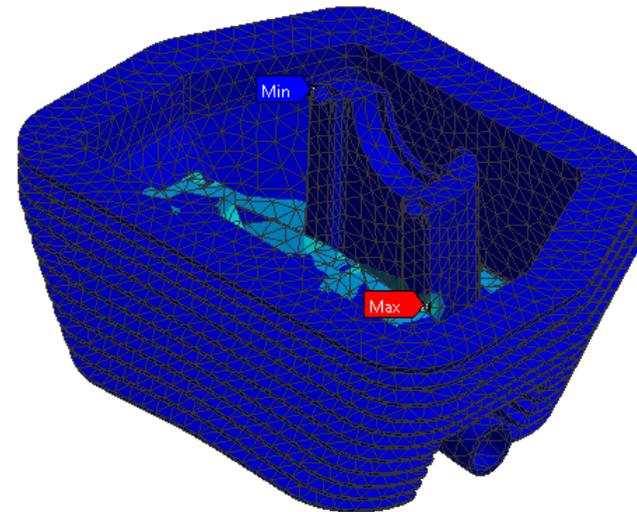
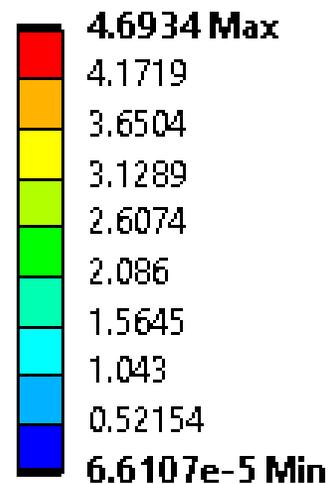
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

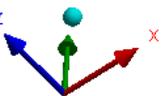
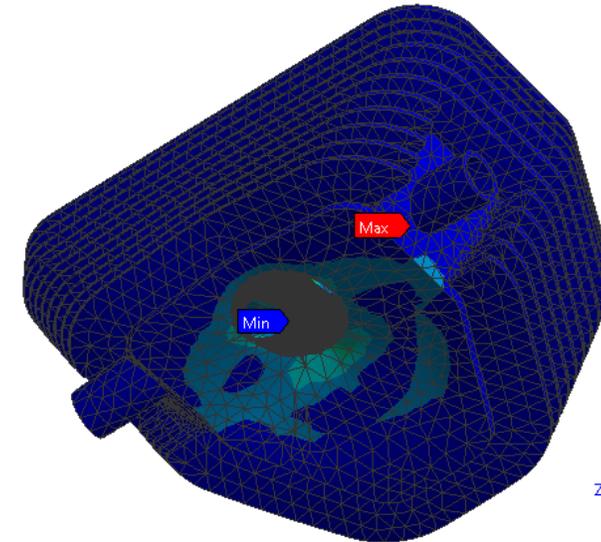
Unit: MPa

Time: 1

11/21/2020 9:12 PM



Fonte: Autor



# 16. Dimensionamento dos Componentes



## Cabeçote

- Deformação do Componente

### A: Static Structural

Directional Deformation

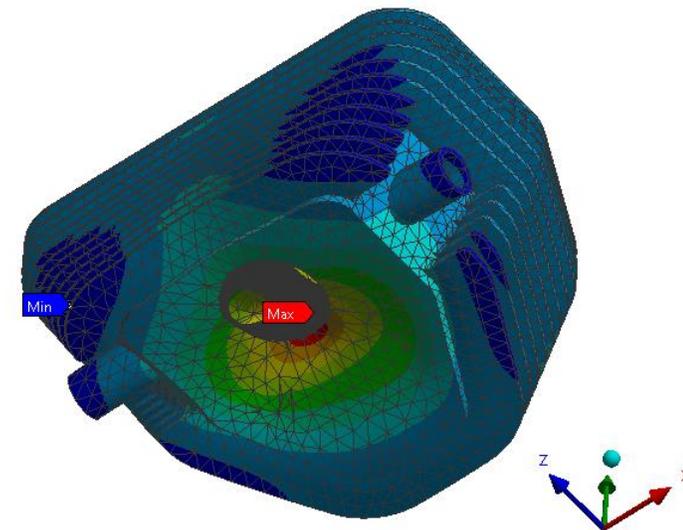
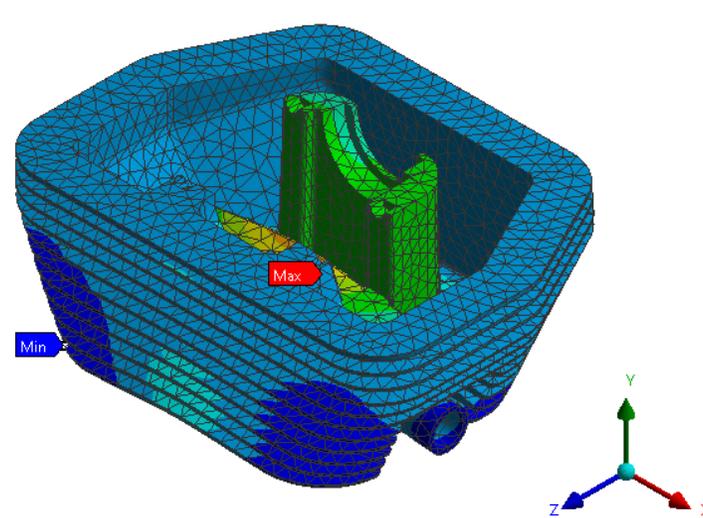
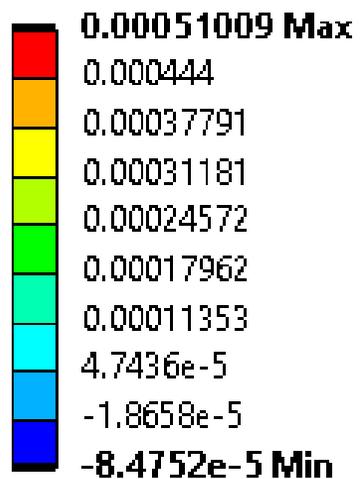
Type: Directional Deformation(Y Axis)

Unit: mm

Global Coordinate System

Time: 1

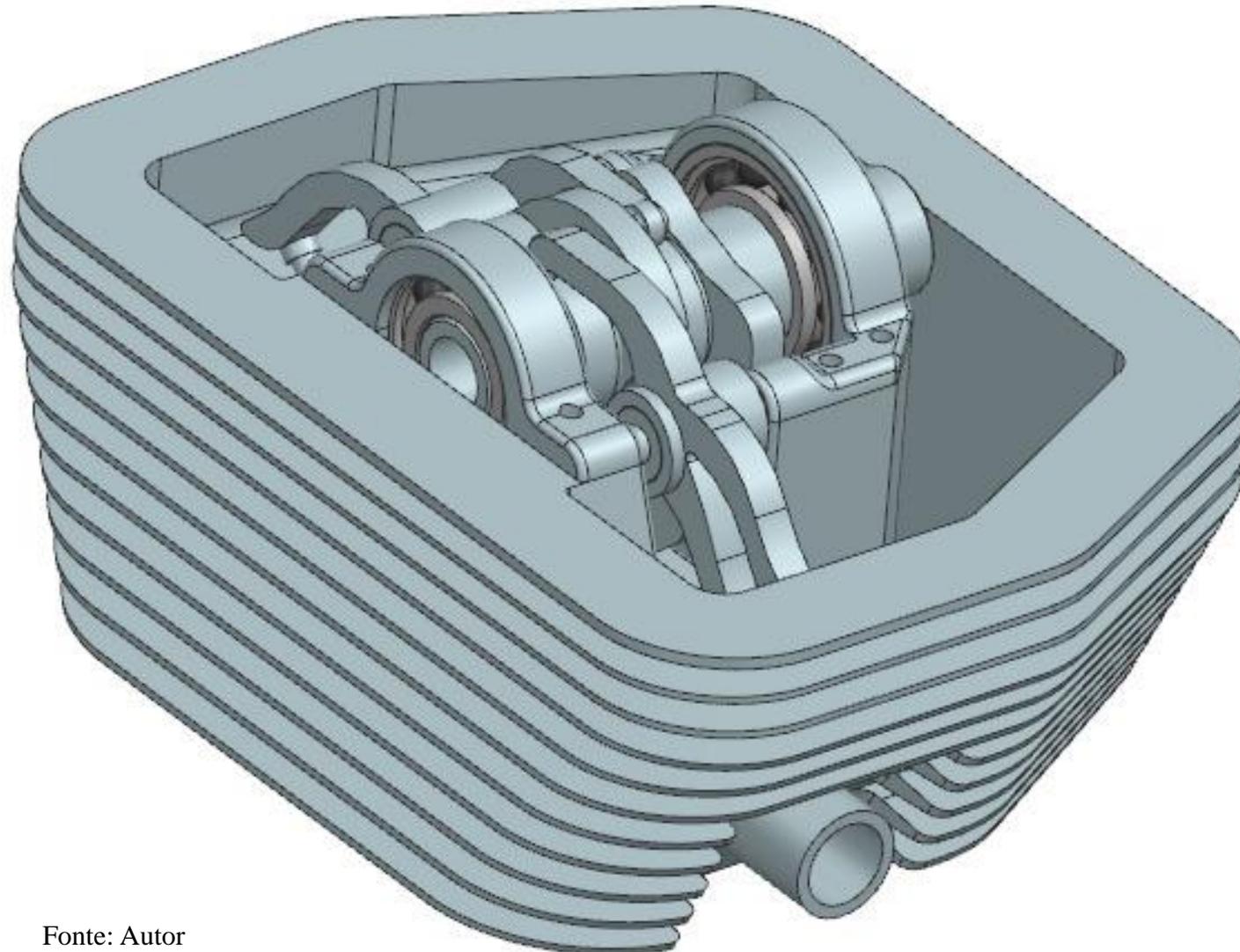
11/21/2020 9:14 PM



Fonte: Autor



# 16. Dimensionamento dos Componentes



Fonte: Autor



# 17. CANVAS de Negócio



## The Business Model Canvas

<b>Oferta de Valor</b>	<b>Atividades chave</b>	<b>Segmento de clientes</b> Equipes da competição e eventuais montadoras.	<b>Relacionamento</b>	<b>Parcerias chave</b> Empresas produtoras de peças, prestadoras de serviços, a FEI, empresas buscando divulgação de produtos e tecnologias, etc.
Oferecer projetos e soluções para o desenvolvimento de motores, com a menor dissipação de perdas mecânicas possíveis, para a competição Shell Eco Marathon.	<b>Recursos chave</b> Simulações, peças, mão de obra do grupo, apoio da faculdade e oficina, e orientação.		<b>Canais</b> Reportagens, matérias, visitas, redes sociais e principalmente a própria competição.	
<b>Estrutura de custos</b> Setores de vendas e marketing; Setor de desenvolvimento de projetos; Setor de engenharia e simulação.		<b>Fontes de receita</b> Empresas parceiras; Clientes; Eventuais patrocinadores.		

Strategyzer



# 18. Referências bibliográficas

---



- Simmons, Shanna. “Shell Eco Marathon Official Rules”. 2019 Edition;
- Assumpção, José Luis A. Quelhas, Osvaldo L. G. Lima. Gilson Brito A. de Souza, Oscar Ethal. “Poluição do ar por veículos automotores”;
- Tabela veículos leves Inmetro, disponível em:  
[http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos\\_leves\\_2020.pdf](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos_leves_2020.pdf);
- Friction 4(1): 1-28 (2016):  
<http://link.springer.com>;
- Sciencedirect.com;
- SAE Paper 2000-01-2902 - Schommers et al. MTZ 2013 vol. 74;
- Tomanik – SAE PWT 2019;
- Site oficial Shell Eco-Marathon:  
<https://www.shell.com.br/energia-e-inovacao/ecomarathon/shell-eco-marathon-brasil.html>;
- Reduction of Friction in the Cylinder Running Surface of Internal Combustion Engines by the Finishing Process - Bernhard Karpuschewski et al;
- Projecto de um Motor de Combustão Interna para um Veículo Automóvel de Extra-Baixo Consumo de Combustível – José Pedro Bordonhos Bandeira Rodrigues;

# 18. Referências bibliográficas

---



- <https://jornal.usp.br/tecnologia/estudo-do-atrito-entre-partes-do-motor-pode-gerar-economia-de-combustivel-e-manutencao/>;
- <https://blog.texaco.com.br/havoline/lubrificacao-de-motores/>;
- <https://link.springer.com/article/10.1007/s41104-019-00045-x#Sec5>;
- <https://www.greencarcongress.com/2015/06/20150611-tac.html>;
- [https://www.researchgate.net/publication/311302452\\_Improvement\\_in\\_Thermal\\_Efficiency\\_of\\_a\\_CI\\_Engine\\_Using\\_a\\_Waste\\_Heat\\_Recovery\\_Technique](https://www.researchgate.net/publication/311302452_Improvement_in_Thermal_Efficiency_of_a_CI_Engine_Using_a_Waste_Heat_Recovery_Technique);
- Apostila de Motores de Combustão Interna I – Centro Universitário FEI;
- SHELL ECO-MARATHON 100 % of Final Report – Bryan Acosta, Marco Betancourt, Fernando Pinheiro;
- Adaileh, Weil; Alahmer, Ali. Recovery of Exhaust Waste Heat for ICE Using the Beta Type Stirling Engine;
- Ahmad, Jehad Yamin. Heat losses minimization from hydrogen fueled 4-stroke spark ignition engines;
- N. Dolatabadi , S. Theodossiades , S. J. Rothberg. Power Loss Investigation in an Internal Combustion Engine Piston Equipped With a Nonlinear Energy Absorber;

# 18. Referências bibliográficas

---



- E Ciulli. A Review of Internal Combustion Engine Losses Part 1: Specific Studies on the Motion of Pistons, Valves and Bearings;
- A.Broach; P.Olmeda; X.Margot; J.Escalona. New approach to study the heat transfer in internal combustion engines by 3D modelling;
- James, Christopher Joseph. Analysis of Parasitic Losses in Heavy Duty Diesel Engines;
- Ricardo, Harry R. RECENT RESEARCH WORK ON THE INTERNAL-COMBUSTION ENGINE;
- Orlov, Vladimir N.; Berry, R. Stephen. Power and efficiency limits for internal combustion engines via methods of finite-time thermodynamics;
- Offner, Günter. Friction Power Loss Simulation of Internal Combustion Engines Considering Mixed Lubricated Radial Slider, Axial Slider and Piston to Liner Contacts;
- Projecto de um Motor de Combustão Interna para um Veículo Automóvel de Extra-Baixo Consumo de Combustível – Universidade de Coimbra;
- GOMES, Cleber. Curso SAE BRASIL Calibração de Motores. 1.ed. São Paulo: SAE BRASIL, 2009;
- Ducati Ind. - <https://www.ducati.com/br/pt/home>;

# 18. Referências bibliográficas

---



- <https://www.ansys.com/blog/what-is-dfmea>;
- Holmberg, K., Research, K. H, Erdemir, A. “Global Impact of Friction on Energy Consumption, Economy and Environment”, FME Trans, 43:181, 2015;
- Kenneth Holmberg, Research Professor VTT Technical Research Centre of Finland, 182 ▪ VOL. 43, No 3, 2015;
- Jost, H.P.: Tribology micro & macro economics: A road to economic savings, Tribology and Lubrication Technology, Vol. 61, No. 10, pp. 18-23, 2005;
- EU Transport in Figures, Statistical Pocketbook 2012, European Commission, Brussels, 2012;
- <https://mechanics.stackexchange.com/questions/23962/why-did-ducatti-decide-to-use-the-desmodromic-valve-train-rather-than-a-more-trad>;
- <https://qastack.com.br/mechanics/23962/why-did-ducatti-decide-to-use-the-desmodromic-valve-train-rather-than-a-more-tradition-valve-train>;
- BRUNETTI, Franco. Motores de combustão interna. São Paulo : Edgard Blücher. 2014. ISBN 9788521207092 (v. 2);

# 18. Referências bibliográficas

---



- MARTINS, Jorge. Motores de combustão interna. 4. ed. rev. e aum. Porto. 2013. ISBN 9789897230332;
- HEYWOOD, John B. Internal combustion engine fundamentals. New York; St. Louis : Access Intelligence. 1988. ISBN 0071004998;
- SCHELLING, Freier. “Factors influencing the friction power of pistons” - publicação MAHLE, circa 1995;
- TOMANIK et al. “Reduced Friction Power Cell Components” - artigo SAE2000-01- 3321, São Paulo - Brasil, 2000;
- JOCSAK, J. et al. “The effects of cylinder liner finish on piston ring-pack friction”, artigo ASME ICEF2004-952, Sacramento, EUA, 2004;
- NAKAYAMA, K. et al. “The Effect of Crankshaft Offset on Piston Friction Force in a Gasoline Engine”, artigo SAE 2000-01-0922, Detroit-EUA, 2000;
- Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA); [iema.es.gov.br](http://iema.es.gov.br);
- [exame.com/brasil](http://exame.com/brasil);



# 18. Referências bibliográficas

---



- Moratto, Luis Fernando Costa Aranha Sebrían, Trabalho de conclusão de curso: “Simulação de curvas de rendimento do motor de combustão interna do ciclo otto” – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa – 2015;
- XXVI Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica, CREEM 2019 – “MAPEAMENTO DA ALIMENTAÇÃO DE UM MOTOR À COMBUSTÃO INTERNA EM TERMOS DE CONSUMO ESPECÍFICO PARA PROTÓTIPO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA” – Ilhéus, BA;
- Artigo Revisado: “Overview of automotive engine friction and reduction trends– Effects of surface, material, and lubricant-additive technologies” – Victor W. Wong, Simon C. Tung - Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139, USA; Vanderbilt Chemicals LLC, Norwalk, CT 06856, USA; Received: 06 January 2016 / Revised: 26 February 2016 / Accepted: 29 February 2016;
- A. Fischer, M. Papini. “WEAR”. Volumes 460-461, 15 November 2020;
- Christopher DellaCorte. “Tribology Transactions” – Volume 58, 2015, Issue 2;
- Christopher DellaCorte. “Tribology Transactions” – Volume 44, 2001, Issue 4;
- Philippa Cann. “Tribology International” – Volume 44, Issue 10, January 2013;

# 18. Referências bibliográficas

---



- Paper SAE International. “Engine Friction Reduction for Improved Fuel Economy” – January 2<sup>nd</sup>, 1982;
- Journal “Friction Reduction Tested for a Downsized Diesel Engine with Low-Viscosity Lubricants Including a Novel Polyalkylene Glycol”, by David E. Santer, Christoph Knauder, Hannes Allmaier, Slavitsa Damjanović-Le Baleur and Philippe Mallet – 14 March 2017;
- American Society for Testing and Materials - ASTM E8 / E8M – 13a: Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. United States, 2013;
- DOWLING, N. E. Mechanical Behavior of Materials. 4<sup>a</sup>. ed. [S.l.]: Pearson, 2012;
- MASSARANI, M., Redução de custos através da engenharia de valor. Apostila do curso mestrado profissional de engenharia automotiva, 2007. Acesso em: 30 set. 2020;
- CSILLAG, J. M., Análise do Valor – Metodologia do Valor. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1991. Acesso em: 30 set. 2020;
- ALVES, Marta Duarte; COSTA, Jorge Moreira da. Estratégia de gestão de obras de arte baseada numa análise de risco segundo a FMEA. 2004. Acesso em: 20 set. 2020;

# 18. Referências bibliográficas

---



- MTS. < <http://www.mts.com/en/products/producttype/test-systems/load-frames-uniaxial/universal/electromechanical/index.htm>>. Acesso em: 17 ago. 2016;
- HEINZ HEISLER, “Advanced Engine Technology” – 1st Ed. – London, 1985;
- GORDON P. BLAIR, “Design and Simulation of Four Stroke Engines” – 1st Ed. – Warrendale, August of 1999.

