

## DIMENSIONAMENTO DO POWERTRAIN DE UM PROTÓTIPO PARA PARTICIPAÇÃO EM COMPETIÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Jean Fernandes Garcez<sup>1</sup>  
Fabrício Fasolo<sup>2</sup>

**Resumo:** Com objetivo de incentivar a busca por carros com maior eficiência energética, a empresa Shell realiza anualmente uma competição denominada Shell Eco-Marathon, onde alunos projetam e constroem protótipos para participação. Diante disso, o objetivo deste trabalho é dimensionar o powertrain do protótipo da equipe da UniAmérica para participação na competição. Inicialmente identificou-se as normativas do regulamento da competição, juntamente com a análise das principais equipes. Posteriormente foi realizado a seleção do motor a combustão interna através do método de seleção multicritério, também foi selecionando os componentes necessários para montagem do sistema de injeção, do sistema de exaustão de gases e do reservatório de combustível, de acordo com as restrições do regulamento da competição. Por fim realizou a seleção do tipo de transmissão, visando um sistema simples e confiável. Após as análises, verificou-se que a grande maioria das equipes possui uma boa combinação dos componentes do powertrain, além de materiais nobres para a confecção do protótipo. Em relação ao motor, foi selecionado o Honda GX35, com potência de 0,96 cv, sendo um motor com baixo consumo e baixo peso. Os sistemas de injeção, exaustão e reservatório de combustível foram selecionados atendendo as demandas do projeto, e a transmissão selecionada foi a de tipo correntes, por ser de fácil montagem e desmontagem.

**Palavras-chave:** Eficiência energética. Powertrain. Protótipo.

### 1. INTRODUÇÃO

A Shell Eco-Marathon é uma competição que teve origem em meados de 1939, como Shell Mileage Marathon, resultado de uma discussão entre empregados do laboratório de investigação da Shell Oil's em Wood River – Illinois, sobre qual o veículo com menor consumo de combustível. As regras eram tão simples quanto o conceito: pretendia-se percorrer o maior número de quilômetros com o menor consumo de energia possível (GONÇALVES, 2008).

Para uma competição como a Shell Eco-Marathon em que o objetivo é ter a maior eficiência energética possível, é importante que todos os sistemas presentes no veículo sejam energeticamente eficientes (RODRIGUES, 2011). Diante disso, é de extrema importância que todos os componentes

---

<sup>1</sup> Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário União das Américas – UniAmérica, Foz do Iguaçu, Paraná. E-mail: [jeanfgarcez@gmail.com](mailto:jeanfgarcez@gmail.com)

<sup>2</sup> Docente Orientador do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário União das Américas – UniAmérica, Foz do Iguaçu, Paraná. E-mail: [fabricio.fasolo@uniamerica.br](mailto:fabricio.fasolo@uniamerica.br).

presentes no veículo tenham um dimensionamento correto, principalmente aqueles ligados com o Powertrain.

Motopropulsor ou Powertrain (no inglês), é o conjunto de sistemas que realizam trabalho (mecânico, elétrico ou térmico) para movimentar o veículo. De maneira geral é formada pelas rodas (e pneus), eixos, caixa de transmissão, motor e os sistemas de arrefecimento, de admissão e de escapamento (ROCCO, 2010).

Motores de combustão interna são máquinas térmicas capazes de transformar energia química, contida nos combustíveis, em energia mecânica (HEYWOOD, 1988). Os motores estão presentes no nosso dia a dia, como nos automóveis, ônibus, entre outros, utilizam-se de sua capacidade de transformar a energia química do combustível em energia mecânica. Com as legislações ambientais cada vez mais restritivas em relação à emissão de produtos da combustão, faz-se necessário motores com maior eficiência energética.

O conceito de transmissão diz respeito à necessidade de adequação do torque e velocidade fornecidos por um determinado motor, sendo controlados de acordo com a demanda. Devido à necessidade de maiores graus de eficiência em diversos tipos de transmissões para diversas aplicações, as transmissões são objeto chave no desenvolvimento de um veículo mais eficiente, (CANTARELLI, SILVA, 2016).

O objetivo deste estudo é dimensionar e selecionar o powertrain do protótipo para participação na competição de eficiência energética “Shell Eco-Marathon”, selecionando o motor a combustão interna, sistema de injeção de combustível, sistema de exaustão de gases, reservatório de combustível e transmissão, de acordo com o regulamento da competição de 2020.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Para o dimensionamento e seleção do powertrain, foi utilizado o projeto do protótipo do Centro Universitário União das Américas – UniAmérica, localizada em Foz do Iguaçu - Paraná.

### **2.1. Estudo do regulamento da competição**

O regulamento analisado foi o do ano de 2020, retirado do site oficial da competição Eco Shell Marathon.

Os parâmetros estudados do regulamento foram relacionados com o motor de combustão interna, injeção de combustível, reservatório de combustível, sistema de exaustão de gases e transmissão.

## 2.2. Estudo das equipes participantes

Buscando analisar os sistemas de powertrain de outras equipes participantes da competição, foi realizado um estudo com as principais equipes da “Shell Eco Marathon Mundial” dos anos de 2017, 2018 e 2019.

As pesquisas foram realizadas diretamente nas páginas e sites das equipes selecionadas, onde foram levantadas as informações conforme Tabela 1 abaixo:

**Tabela 1.** Informações levantadas

COMPONENTE		PARÂMETROS ANALISADOS				
Motor de combustão interna	Capacidade volumétrica	Potência	Torque	Peso	Sistema de exaustão	
Sistema de injeção	Reservatório/ bomba de combustível	Módulo de controle	Sonda lambda	Bico injetor	Bobina de ignição	Atuador de marcha lenta
Transmissão	Tipo	Relação	Material	Peso		
Desempenho	Velocidade máxima	Peso	Quilômetros por litro	Média de velocidade		

**Fonte:** Autor (2020).

## 2.3. Seleção do motor

Foi realizado o estudo do regulamento e análise do motor a combustão interna das principais equipes da “Shell Eco Marathon Mundial” dos anos de 2017, 2018 e 2019, sendo posteriormente definidos os critérios para pré-seleção, conforme apresentado na Tabela 2.

Após a definição dos critérios, a seleção do motor foi através da pesquisa dos modelos disponíveis, com custo acessível e disponibilidade imediata.

**Tabela 2.** Critérios para pré-seleção do motor

<b>Tipo do Ciclo</b>	4 tempos
<b>Tipo de refrigeração</b>	A ar
<b>Capacidade volumétrica</b>	Até 80 cilindradas

**Fonte:** Autor (2020).

### 2.3.1. Definição dos critérios de escolha

Os critérios para seleção do motor, foram baseados nos parâmetros exibidos na Tabela 3.

**Tabela 3.** Critérios de seleção

<b>Critério</b>	<b>Peso do critério</b>
<b>Potência desenvolvida</b>	7%
<b>Potência máxima</b>	7%
<b>Torque máximo</b>	12%
<b>Consumo de combustível</b>	24%
<b>Peso</b>	39%
<b>Custo</b>	11%

**Fonte:** Autor (2020).

Os valores dos critérios exibidos na Tabela 3 foram definidos utilizando o método de seleção por multicritério, cada valor foi calculado utilizando uma matriz de comparação, que estabelece o peso de cada critério com base na sua importância para com o objetivo de selecionar o melhor motor de combustão interna.

### 2.3.2. Análise por método de seleção multicritério

Para a seleção final do motor, foi utilizado o método AHP (Analytic Hierarchy Process), que possibilita a classificação e a comparação de critérios. Após a seleção dos critérios, deve ser desenvolvida uma matriz de comparação de pesos dos critérios, conforme Tabela 4.

Essa matriz analisa os critérios de dois em dois utilizando uma escala que indica o quanto um elemento é importante sobre o outro, como exemplificado na tabela 4 o critério 1 com relação ao critério 3, tem o valor de 5 de importância, e de 3 para 1 é o inverso, tendo o valor de 1/5.

**Tabela 4.** Exemplo de matriz

Critérios	Critério 1	Critério 2	Critério 3
<b>Critério 1</b>	1	1/9	5
<b>Critério 2</b>	9	1	1/7
<b>Critério 3</b>	1/5	7	1

**Fonte:** Autor (2020).

A Tabela 5 abaixo apresenta a escala de importância.

**Tabela 5.** Escala de Importância

INTENSIDADE DE IMPORTÂNCIA	DEFINIÇÃO
<b>1</b>	Igual importância
<b>3</b>	Importância moderada
<b>5</b>	Importância grande ou essencial
<b>7</b>	Importância muito grande
<b>9</b>	Extrema ou absoluta
<b>2,4,6,8</b>	Valores intermediários

**Fonte:** Autor (2020).

## 2.4. Seleção do sistema de injeção

Para a seleção do sistema de injeção, foi analisado o regulamento da competição do ano de 2020, onde ele não permite a utilização do sistema carburado, podendo ser utilizado o sistema de injeção eletrônica de combustível.

Para a seleção do sistema de injeção, foi realizado um estudo em manuais dos fabricantes, como o Electronic Automotive Handbook da empresa Bosch e Automotive Technology, manual de

instalação da empresa Injepro, visando determinar os componentes necessários para instalação de um sistema de injeção eletrônica indireta ao motor previamente selecionado.

### **2.5. Seleção do sistema de exaustão de gases**

O sistema de exaustão de gases, foi dimensionado através do regulamento, que estabelece os critérios para com emissão de gases e ruídos, sendo ele o subsistema com maior variação de impacto no projeto devido ao pouco espaço disponível, além da habilidade necessária para construção, podendo afetar o equilíbrio do protótipo e ou aderindo peso de forma desnecessária.

### **2.6. Seleção do reservatório de combustível**

O reservatório de combustível foi dimensionado seguindo as normas impostas pela competição, onde deve ser translúcido, equipado com uma válvula de segurança configurada para máximo de 5 bar, ou a pressão de funcionamento mais baixa do sistema do veículo. A capacidade deve ser de 250 cm<sup>3</sup>, disposto na posição vertical e com certificação apave.

### **2.7. Seleção do sistema de transmissão**

Para a seleção do sistema de transmissão, foram analisadas as diversas formas de transmissão de potência, onde a pesquisa concentrou-se na definição do tipo de transmissão mais adequada para a equipe UA Eco. O sistema deverá ser simples, confiável e seguro devido as necessidades de ajustes, montagem do veículo durante a competição.

Para o cálculo do torque mínimo requerido, foi utilizado a Equação 1 abaixo, onde o peso total foi considerado o peso dos componentes somado com o piloto, além de considerar que 25% desse peso está sob o eixo traseiro segundo análise do centro de gravidade. O coeficiente de atrito em condições tanto de chuva quanto tempo seco foi considerado de 0,45 (NICOLAZZI, 2001).

$$\text{Torque mínimo requerido} = \text{Peso do veículo} * \text{coeficiente de atrito} * \% \text{ peso traseiro} \quad (1)$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a análise do regulamento da competição, segue abaixo os resultados obtidos.

#### 3.1. Estudo das equipes participantes

As equipes selecionadas para análise foram a Patoajato, Drop Team e Lanceiros Negros, pois foram as equipes brasileiras com mais abundância e facilidade de acesso as informações. Analisando as equipes de no ano de 2017, 2018 e 2019, a Tabela 6 apresenta as principais informações, como consumo, combustível utilizado, peso e cilindrada.

**Tabela 6.** Informações levantadas

<b>Equipe</b>	<b>Consumo (km/l)</b>	<b>Combustível</b>	<b>Peso do veículo (kg)</b>	<b>Cilindrada</b>
Patoajato	702	Etanol	33	35
Drop Team	542	Gasolina	35	35
Lanceiros Negros	424	Gasolina	40	85

**Fonte:** Autor (2020).

Conforme a Tabela 6, foram observados os dados de: peso, consumo, tipo de combustível e a capacidade volumétrica do motor, onde nota-se que as equipes utilizam motores com baixa cilindrada, e priorizam a redução de peso do protótipo. A partir do baixo peso, é possível utilizar motores compactos de menor potência, que proporcionam bons valores de consumo, chegando em até 700 km/l no etanol, como a equipe Patoajato.

#### 3.2. Seleção do motor a combustão interna

Para a pré-seleção do motor a combustão interna, foram seguidos os critérios definidos na Tabela 2, buscando um motor com boa relação custo benefício, sendo os modelos abaixo pré-selecionados:

- Branco B4T-2.8H;
- Toyama tft25fxw;
- Buffalo bfg 2.8;
- Importway 50cc;

- Mitsubishi gt 241;
- Bicimoto 5GT;
- Honda GX35.

Os motores pré-selecionados foram analisados de acordo com cada critério apresentado na Tabela 3, onde a pontuação final pode ser conferida na Tabela 7.

**Tabela 7.** Seleção por multicritério

<b>Critérios/ Alternativas</b>	<b>Potência desenvolvida</b>	<b>Potência máxima</b>	<b>Torque máximo</b>	<b>Consumo de combustível</b>	<b>Peso</b>	<b>Custo</b>	<b>VETOR DECISÃO</b>
<b>Peso dos critérios</b>	7%	7%	12%	24%	39%	11%	
<b>Branco B4T-2.8H</b>	19%	18%	22%	15%	9%	16%	0,12
<b>Buffalo Bfg 2.8</b>	19%	18%	18%	14%	9%	14%	0,13
<b>Mitsubishi GT 240</b>	14%	15%	20%	16%	11%	20%	0,15
<b>Toyama tft25fxw</b>	14%	15%	14%	15%	9%	15%	0,12
<b>Importway</b>	12%	16%	11%	13%	10%	14%	0,12
<b>Bicimoto 5GT</b>	17%	10%	11%	12%	17%	14%	0,14
<b>Honda GX35</b>	7%	9%	4%	13%	34%	7%	0,18

**Fonte: Autor (2020).**

O vetor de decisão é calculado a partir da pontuação em cada critério, conforme Equação 2 abaixo:

$$\text{Vetor de decisão} = \sum \text{pesos dos critérios} * \sum \text{pontuação do motor nos critérios} \quad (2)$$

Após análise dos vetores de decisão, foi selecionado o motor que apresenta o maior valor, sendo o motor Honda GX35. O motor possui baixo peso com relação aos demais, sendo até 40% mais leve. O consumo de combustível também é um diferencial quando comparado com os outros modelos pré-selecionados, atendendo as necessidades do projeto. Os dados técnicos do motor são apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8.** Dados técnicos do motor selecionado

<b>Honda GX35</b>	
Potência desenvolvida	0,96 cv
Potência máxima	1,4 cv
Torque máximo	0,16 kgf.m
Consumo de combustível:	360 g/kWh
Peso	2,9 kg

**Fonte:** Autor (2020).

### 3.3. Seleção do sistema de injeção eletrônica

Após alguns estudos, o sistema de injeção é composto por sensores e atuadores conectados a um software que realiza cálculos constantemente, ajustando a quantidade de combustível a ser injetada, o tempo de injeção e tempo de ignição, sempre buscando a melhor eficiência. A Tabela 9 apresenta os componentes selecionados para o sistema de injeção a partir da pesquisa previamente realizada.

**Tabela 9.** Sistema de injeção selecionado

<b>Componente</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Modelo</b>
<b>Modulo de controle</b>	Injepto	S4500
<b>Bico injetor</b>	Honda	Biz 110I
<b>Sensor de rotação</b>	Volkswagen	Gol 1.6 2004
<b>Sonda lambda Finger</b>	bosch	Gol 2002
<b>Bobina de ignição</b>	Volkswagen	Gol 1.6 2015

**Fonte:** Autor (2020).

Os componentes da injeção foram selecionados conforme a disponibilidade comercial local, onde os mesmos atendem os requisitos mínimos para a instalação do sistema de injeção eletrônica (BRUNETTI, 2012).

### 3.4. Seleção do sistema de exaustão de gases

O sistema de exaustão de gases foi dimensionado tendo em vista o espaço disponível no protótipo, assim como a suas necessidades. Para a modelagem 3D, foi utilizado o software Solidworks, conforme apresentado na Figura 1 abaixo.



**Figura 1.** Sistema de exaustão de gases  
**Fonte:** Autor (2020)

### 3.5. Seleção do reservatório de combustível

Após os requisitos apresentados no tópico 2.6, foi selecionado um modelo comercial no qual atende os requisitos de espaço do projeto. A Figura 2 apresenta o modelo selecionado do reservatório de combustível comumente utilizado em aeromodelos.



**Figura 2.** Reservatório de combustível  
**Fonte:** Autor (2020)

### 3.6. Seleção do sistema de transmissão

Analisando as necessidades do protótipo, e com o requisito de selecionar um tipo de transmissão com facilidade de manuseio, para realização de possíveis ajustes, foi escolhido o sistema de transmissão por corrente, no qual o jogo de coroa e pinhão foi dimensionado visando o torque e potência necessários para que o veículo tenha o melhor desempenho possível com o menor consumo de energia. O dimensionamento do torque está apresentado na Tabela 10.

**Tabela 10.** Torque máximo requerido

<b>Peso do veículo</b>	120 kg
<b>Porcentagem do peso traseiro do carro</b>	25%
<b>Coefficiente de atrito</b>	45%
<b>Torque mínimo requerido</b>	13,5 N.m

**Fonte:** Autor (2020).

O peso de 120 kg é referente a 60 kg do protótipo e 60 kg do piloto. Com isso, o toque mínimo requerido calculado através da Equação 1 foi de 13,5 N.m.

Com o valor do torque definido, foi dimensionado o sistema de transmissão, como é possível visualizar na Tabela 11, que apresenta o dimensionamento da coroa e pinhão da transmissão.

**Tabela 11.** Dimensionamento da relação de transmissão

<b>Diâmetro Pinhão (mm)</b>	<b>Diâmetro coroa (mm)</b>	<b>Velocidade angular pinhão (rpm)</b>	<b>Velocidade angular coroa (rpm)</b>	<b>Torque pinhão (N.m)</b>	<b>Torque coroa (N.m)</b>
30	170	3000	264,7	1,6	18,13

**Fonte:** Autor (2020).

## 4. CONCLUSÃO

A seleção dos componentes do powertrain do protótipo foi baseada no regulamento da competição, juntamente com a análise das principais equipes concorrentes, onde o motor a combustão interna selecionado foi o Honda GX35, com potência de 0,96 cv e peso de 2,8 kg. O

motor selecionado se destaca em relação a outros motores devido ao baixo consumo de combustível e baixo peso.

Os componentes para montagem do sistema de injeção eletrônica, sistema de exaustão e reservatório de combustível foram selecionados conforme o regulamento da competição, priorizando marcas nacionais com disponibilidade no mercado local.

O sistema de transmissão selecionado foi do tipo transmissão por correntes, que atende as necessidades de agilidade no processo de montagem e desmontagem, e foi dimensionado para atender o torque requerido de 13,5 N.m.

## **5. REFERÊNCIAS**

Bosch, R. **Electronic Automotive Handbook**. 1. Edition, GmbH, 2002

BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna**. São Paulo: BLUCHER, 2012.

CANTARELLI, J. V. C. S.; SILVA, A. A. **Projeto preliminar de um veículo de alta eficiência energética**. Trabalho Final de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

FOURTITUDE V2 Gas Tank. 2005. Disponível em: <https://www.redwingrc.com/Fourtitude-V2-Gas-Tank-20oz.html>. Acesso em: 23 set. 2020.

FUELTECH, FT200. **Sistema de injeção e ignição eletrônica programável, manual de instalação e operação**. Versão 1.6, 2012.

GONÇALVES, P. M. F. **Concepção de um motor de combustão interna para um veículo automóvel de extra baixo consumo de combustível**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, 2008

HEYWOOD, J. **Internal combustion engine fundamentals**. United States of America: McGraw-Hill. 1988.

NICOLAZZI, L. **Introdução à Modelagem Quase-Estática de Veículos Automotores de Rodas**. Publicação interna do GRANTE, Departamento de Engenharia Mecânicas, Universidade Federal de Santa Catarina, 2001

ROCCO, G. C. **Desenvolvimento de um método para levantamento de tecnologias de materiais empregados no trem de força automotivo (powertrain)**. Dissertação (Mestrado) - curso engenharia de materiais, Universidade federal de São Carlos, 2010.

RODRIGUES, J. B. B. **Projeto de um Motor de Combustão Interna para um Veículo Automóvel de Extra Baixo Consumo de Combustível**. Dissertação (Mestrado) - Curso de

Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2011.