

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ - FAG**

**DOUGLAS MAROSTICA MARASCHIN**

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA NO DESEMPENHO DE MOTORES CICLO OTTO EM  
FUNÇÃO DA OCTANAGEM DA GASOLINA**

**CASCADEL – PR  
2018**

**DOUGLAS MAROSTICA MARASCHIN**

**ANÁLISE DA INFULÊNCIA NO DESEMPENHO DE MOTORES CICLO OTTO EM  
FUNÇÃO DA OCTANAGEM DA GASOLINA**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz – FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

**Professor Orientador Me.: Carlos Alberto Breda**

**CASCADEL – PR  
2018**

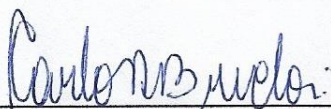
**CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ - FAG**

**DOUGLAS MAROSTICA MARASCHIN**

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA NO DESEMPENHO DE MOTORES CICLO OTTO EM  
FUNÇÃO DA OCTANAGEM DA GASOLINA**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz - FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor Engenheiro Mecânico Mestre Carlos Alberto Breda.

**BANCA EXAMINADORA**



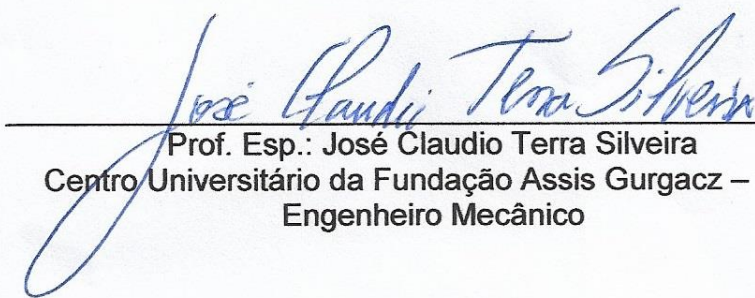
---

Orientador Prof. Me.: Carlos Alberto Breda  
Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz – FAG  
Engenheiro Mecânico



---

Prof. Me.: Roberson Parizotto  
Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz – FAG  
Engenheiro Mecânico



---

Prof. Esp.: José Claudio Terra Silveira  
Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz – FAG  
Engenheiro Mecânico

Cascavel, 18 de junho de 2018.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho à minha família, excepcionalmente meus pais, Deoclecio e Eunilse, que acreditaram e me apoiaram ao longo dessa jornada, e também aos amigos próximos, que compartilharam de perto os momentos de dificuldades.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, pela oportunidade e força colocada em minha vida.

À minha família, que sempre me ajudou e incentivou, mesmo passando por crises financeiras, e momentos difíceis.

Também agradeço ao professor Carlos Alberto Breda, pelo material de pesquisa e por me orientar de forma tranquila.

Agradeço também os meus amigos: Andrey e Carlos, pela colaboração prestada.

## RESUMO

Em consequência ao avanço da indústria automobilística, os motores ciclo Otto se desenvolvem cada vez mais. Não só o conjunto mecânico, como todo o sistema de alimentação, ignição e gerenciamento do mesmo. Sabe-se que os motores a combustão interna, dependem excepcionalmente de um combustível para o funcionamento do mesmo, e as características desse combustível, aliada a taxa de compressão, determinarão a eficiência, e o melhor padrão de funcionamento estabelecido pela unidade gerenciadora. A octanagem, é o principal fator para diferenciar esses combustíveis, e afeta de forma direta no desempenho e consumo do motor. A pesquisa teve como objetivo, mostrar a influência exercida por gasolinas de diferentes octanagens, em um determinado motor ciclo Otto, e para isso, foram executados testes de consumo médio convencional, volumétrico, e potência, seguindo alguns critérios da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Em suma, o motor empregado na pesquisa, demonstrou diferentes parâmetros de funcionamento, em influência da variação dos combustíveis utilizados, afinal nenhum deles contém o mesmo índice antidetonante, sendo que os melhores resultados apresentados, foram favoráveis aos combustíveis de maior octanagem.

**Palavras chave:** Potência. Autonomia. Antidetonante.

## **ABSTRACT**

In consequence to the progress of the automobile industry, the motors cycle Otto grows more and more. Not only the mechanical group, as the whole feeding system, ignition and administration of this kind. It is known that the engines of interns combustion, depend exceptionally on a fuel for the operation, and the characteristics of that fuel, allied the compression tax, they will determine the efficiency, and the best pattern of established operation for the unit manager. The octane, is the main factor to differentiate those fuels, and it affects in a direct way in the acting and consumption of the motor. The research has had as purpose, to show the influence exercised by gasolines of different octanes, in a certain motor cycle Otto, and for that, tests of conventional medium consumption, volumetric, and potency were executed, following some standards of the Brazilian Association of Technical Norms. In short, the engine used in the research demonstrated different operating parameters, in influence of the variation of the used fuels, after all, none of them contains the same anti detonation index, and the best presented results were shown favorable to the fuels of larger octane

**Keywords:** Power. Autonomy. Antiknock.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Lata de lubrificante.....                      | 19 |
| Figura 2 – Molécula Metano .....                          | 20 |
| Figura 3 – Molécula Isopentano. ....                      | 21 |
| Figura 4 – Molécula do Eteno.....                         | 21 |
| Figura 5 – Molécula do Ciclopropano.....                  | 22 |
| Figura 6 – Molécula de Benzeno.....                       | 22 |
| Figura 7 – Dados das gasolinas Petrobras. ....            | 27 |
| Figura 8 – Dados da Nafta YPF Super.....                  | 28 |
| Figura 9 – Dados da Nafta Shell V-Power Nitro+. ....      | 29 |
| Figura 10 – Tempos de funcionamento motor ciclo otto..... | 31 |
| Figura 11 – Freio dinamométrico.....                      | 33 |
| Figura 12 – Dinamômetro Inercial Dynotech .....           | 41 |
| Figura 13 – Amostra de gasolinas.....                     | 42 |
| Figura 14 – Materiais de medição e armazenamento .....    | 43 |
| Figura 15 – Localização do local de testes .....          | 44 |
| Figura 16 – Temperatura ambiente aferida .....            | 45 |
| Figura 17 – Realização teste de potência .....            | 47 |
| Figura 18 – Proveta contendo Nafta Super .....            | 48 |
| Figura 19 – Curvas de potência x rpm .....                | 49 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 1 – Rendimento teórico x real ciclo otto ..... | 30 |
| Gráfico 2 – Potência x rpm .....                       | 56 |

## LISTA DE QUADROS

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 – Especificações motor Duratec .....         | 40 |
| Quadro 2 – Dados para cálculo método volumétrico..... | 51 |
| Quadro 3 – Consumo médio convencional .....           | 52 |
| Quadro 4 – Consumo volumétrico.....                   | 52 |
| Quadro 5 – Dados potência e torque .....              | 54 |

## LISTA DE EQUAÇÕES

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Equação 1 – Determinação IAD .....                                | 26 |
| Equação 2 – Eficiência em razão da taxa de compressão .....       | 32 |
| Equação 3 – Torque do motor .....                                 | 33 |
| Equação 4 – Potência do motor .....                               | 33 |
| Equação 5 – Cálculo potência real de um dinamômetro inercial..... | 35 |
| Equação 6 – Consumo específico de motores ciclo otto .....        | 36 |
| Equação 7 – Eficiência térmica motores ciclo otto .....           | 36 |
| Equação 8 – Consumo volumétrico de combustível.....               | 36 |
| Equação 9 – Consumo médio convencional de combustível .....       | 37 |

## LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

**ANP** – Agência nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

**CV** – Cavalo-Vapor

**IO** – Índice de octanagem.

**IAD** – Índice antidetonante.

**KW** – Kilowatt

**MON** – Motor octane number (método motor - alta rotação).

**MCI** – Motor de combustão interna

**N** – Newton.

**PPM** – Partes por milhão.

**PMI** – Ponto morto inferior.

**PMS** – Ponto morto superior.

**P** – Potência.

**RC** – Relação de compressão

**RON** – Motor octane number (método pesquisa - baixa rotação).

**RPS** – Rotação por segundo.

**RPM** – Rotação por minuto.

**S** – Segundo.

**T** – Torque.

**W** – Watts.

## SUMÁRIO

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                               | <b>15</b> |
| 1.1 OBJETIVO GERAL .....                                                | 16        |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                         | 16        |
| 1.3 JUSTIFICATIVA .....                                                 | 16        |
| 1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA .....                                    | 17        |
| 1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....                                        | 17        |
| <b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>                                     | <b>18</b> |
| 2.1 BREVE HISTÓRIA DA GASOLINA .....                                    | 18        |
| 2.1.1 Breve história da gasolina no Brasil .....                        | 18        |
| 2.2 COMPOSIÇÃO DA GASOLINA .....                                        | 19        |
| 2.2.1 Hidrocarbonetos Parafínicos .....                                 | 20        |
| 2.2.2 Hidrocarbonetos Olefínicos .....                                  | 21        |
| 2.2.3 Hidrocarbonetos Naftênicos .....                                  | 22        |
| 2.2.4 Hidrocarbonetos Aromáticos .....                                  | 22        |
| 2.3 INFLUÊNCIA DOS HIDROCARBONETOS NA OCTANAGEM.....                    | 23        |
| 2.3.1 Modificação e hidrocarbonetos mais resistentes.....               | 23        |
| 2.4 ADITIVOS NA GASOLINA .....                                          | 24        |
| 2.4.1 Aditivos detergentes e dispersantes.....                          | 24        |
| 2.4.2 Aditivos redutores de atrito, antioxidantes e anticorrosivos..... | 24        |
| 2.4.3 Aditivos para aumentar a octanagem da gasolina.....               | 25        |
| 2.5 DETERMINANDO RON, MON E IAD.....                                    | 25        |
| 2.5.1 Índice de octanagem das gasolinas Petrobras no Brasil .....       | 26        |
| 2.5.2 Índice de octanagem das Naftas Argentinas .....                   | 27        |
| 2.6 COMO FUNCIONA UM MOTOR CICLO OTTO A GASOLINA .....                  | 29        |
| 2.6.1 Etapas de funcionamento de um motor ciclo otto.....               | 31        |
| 2.6.2 Taxa de compressão e eficiência .....                             | 32        |
| 2.7 DINAMÔMETRO .....                                                   | 32        |
| 2.7.1 Freio dinamométrico.....                                          | 32        |
| 2.7.2 Potência e torque de um dinamômetro .....                         | 33        |
| 2.7.3 Dinamômetro de chassi.....                                        | 34        |
| 2.7.4 Dinamômetro Inercial e aferição de desempenho .....               | 34        |

|                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.8 ENSAIO PARA AFERIÇÃO DE POTÊNCIA.....                                | 35        |
| 2.9 EFICIÊNCIA TÉRMICA E CONSUMO ESPECÍFICO DE UM MOTOR CICLO OTTO ..... | 35        |
| 2.10 CONSUMO VOLUMÉTRICO DE COMBUSTÍVEL .....                            | 36        |
| 2.11 CONSUMO MÉDIO CONVENCIONAL DE COMBUSTÍVEL .....                     | 37        |
| 2.12 CONDUÇÃO E PREPARAÇÃO DO VEÍCULO PARA MEDIR CONSUMO .....           | 37        |
| <b>3 METODOLOGIA .....</b>                                               | <b>39</b> |
| 3.1 MÉTODO DE PESQUISA .....                                             | 39        |
| 3.2 VARIÁVEIS E MATERIAIS UTILIZADOS.....                                | 39        |
| 3.2.1 Veículo e motorização .....                                        | 39        |
| 3.2.2 Dinamômetro para teste .....                                       | 40        |
| 3.2.3 Gasolinas utilizadas.....                                          | 41        |
| 3.2.4 Materiais de medição e armazenamento.....                          | 42        |
| 3.3 LOCAL E REALIZAÇÃO DOS TESTES .....                                  | 43        |
| 3.3.1 Teste de consumo .....                                             | 44        |
| 3.3.2 Teste de potência.....                                             | 46        |
| 3.4 COLETA DOS DADOS.....                                                | 47        |
| 3.4.1 Coleta dados de consumo .....                                      | 47        |
| 3.4.2 Coleta de dados de potência.....                                   | 49        |
| 3.5 ANÁLISE DOS DADOS.....                                               | 49        |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>                                    | <b>51</b> |
| 4.1 RESULTADOS DE CONSUMO .....                                          | 51        |
| 4.2 RESULTADOS DE DESEMPENHO.....                                        | 54        |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                                      | <b>57</b> |
| <b>6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>                          | <b>58</b> |
| <b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                | <b>59</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O combustível juntamente com o oxigênio, são elementos fundamentais para o funcionamento de um motor a combustão interna. Sabe-se que a gasolina é o carburante mais utilizado, sendo que a mesma é uma mistura de hidrocarbonetos obtidos através do petróleo bruto (CARVALHO, 2011).

As gasolinas agregam diferentes características, podendo variar em função do teor das naftas utilizadas em sua fórmula. Sendo que, as principais propriedades que interferem no funcionamento de um motor, é seu índice de octano e volatilidade (BRUNETTI, 2012).

Compreende-se que a característica mais relevante do combustível em motores de ignição comandada é a octanagem, ou também conhecido por índice antidetonante, e este atributo aliado a taxa de compressão, é o fator determinante para o funcionamento de um motor. O motor por sua vez, é projetado com uma única taxa de compressão, que consequentemente se enquadrará para utilizar um determinado combustível, com um valor X de octanagem (MARTINS, 2006).

De forma simplificada, a octanagem indica o quanto a mistura ar-combustível no motor ciclo Otto, resiste às altas pressões e temperaturas formadas na câmara de combustão, momentos antes da queima. Sendo que um combustível de alta octanagem consegue suportar melhor esses fatores, consequentemente resulta em um melhor desempenho do motor (PETROBRAS, 2015).

Este estudo aborda o comportamento de um determinado motor ciclo Otto, quando for empregado no mesmo, gasolinas e naftas de diferentes octanagens, demonstrando através de cálculos de consumo e potência, o quanto o índice antidetonante pode interferir nestas medidas,

A pesquisa também esclarece que, apesar do motor ciclo Otto possuir uma única taxa de compressão, o mesmo pode modificar seus parâmetros de trabalho em função da variação de octanagem do combustível, fazendo assim com que seu sistema de gerenciamento, procure a melhor condição com determinada gasolina/nafta, e assim obtenha os melhores resultados para a situação ao qual foi exigida.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o consumo e potência de um motor ciclo Otto, utilizando gasolinas comercializadas no Brasil, e realizar o mesmo procedimento utilizando Naftas da Argentina, e posteriormente comparar os resultados.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular a potência e consumo de um motor ciclo Otto, utilizando a gasolina Grid;
- Calcular a potência e consumo de um motor ciclo Otto, utilizando a gasolina Podium;
- Calcular a potência e consumo de um motor ciclo Otto, utilizando a Nafta Super grado 2;
- Calcular a potência e consumo de um motor ciclo Otto, utilizando a Nafta Super grado 3.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Sabe-se que o combustível tem o papel fundamental para funcionamento de um motor. No caso de motores ciclo Otto, que possuem projetos tecnológicos, houve uma necessidade na mudança da octanagem dos combustíveis e níveis de emissões (CARVALHO, 2011).

A característica mais importante para o funcionamento de um MCI é o índice de octano, além de determinar a taxa e compressão do motor, irá atuar indiretamente na velocidade da combustão. Um motor projetado com alta taxa de compressão, aliado a uma gasolina com maior IO, pode fornecer maior potência (MARTINS, 2006).

Motores modernos, os quais possuem sistemas de gerenciamento sofisticados, permitem rodar de forma eficiente com combustíveis que possuem ampla faixa de octanagem. Porém cada motor possui uma ótima octanagem, para cada condição de operação que possa ser exigido. Se um combustível, está sendo utilizado nas condições sensivelmente abaixo da situação ótima para o motor,

consequentemente um combustível com octanagem melhor, fará o sistema de gerenciamento do veículo se adequar para uma situação ótima (MORAES, 2003).

#### 1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Se o motor ciclo Otto não possuir alta taxa de compressão, utilizar combustível de alta octanagem não altera a eficiência do mesmo?

#### 1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Os estudos foram feitos com as gasolinas Petrobras Grid e Podium, e as Naftas Argentinas Super grado 2 e Super grado 3, comercializadas pela YPF e Shell respectivamente.

Para realização dos testes, foram seguidos alguns critérios das normas ABNT NBR 6601, NBR 7024 e NBR ISO 1585. Critérios esses que exigem um local de teste, dinamômetro, preparação do veículo, equipamentos de medição e método de condução.

O veículo utilizado foi um Ford Focus ano e modelo 2009, com motor DURATEC-HE 2.0L 16 válvulas original somente à gasolina, com transmissão manual de 5 velocidades. O mesmo possui sistema de injeção eletrônica multiponto digital sequencial, e taxa de compressão de 10,8:1.

O trabalho realizado, determina o consumo médio convencional e volumétrico de cada combustível, com base nas variáveis coletadas e calculadas. Para determinação de potência, os valores são aferidos pelo software do dinamômetro, cabendo apenas alguns critérios para execução do ensaio. Todos os testes de consumo e potência, foram realizados pelo mesmo operador.

Os resultados finais procuraram demonstrar o diferencial de consumo e potência, quando empregados os combustíveis de diferentes octanagens no motor ciclo Otto especificado. Não faz parte da pesquisa, calcular as perdas por variações de fatores externos durante os testes, aos quais podem interferir de alguma forma nos resultados.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 BREVE HISTÓRIA DA GASOLINA

Desde 1850 até o final do século XIX, o querosene era o principal produto da indústria petrolífera, sendo responsável por revolucionar a sociedade e se tornar a maior fonte de iluminação na Europa, tendo em vista que o mesmo era a opção mais vantajosa na época. A gasolina por sua vez, era um subproduto do refino do querosene, e geralmente era descartada pois não havia valor no mercado de combustíveis.

Com o desenvolvimento do motor a combustão interna (ciclo Otto) em 1876, e a produção em linha do primeiro motor Ford em 1908, a indústria automobilística começou a crescer, e com isso a produção da gasolina, que por consequência se desenvolveria no processo de refino. A gasolina teve então, um grande valor para a primeira Guerra Mundial em 1917, onde ajudou de forma significativa os Estados Unidos e seus aliados, pois a mesma era utilizada em aviões para frente de Batalha. Em 1937, foi implantado o sistema de craqueamento catalítico, onde proporcionava um maior rendimento na manufatura de gasolinas de alta octanagem, sendo que esse sistema recebeu grandes incentivos durante a segunda guerra mundial, para gasolinas de aviação (SOUZA, 2013).

A indústria do petróleo se consolidou graças a gasolina, pois a mesma tinha como objetivo suprir o transporte motorizado na época, que por sua vez não parava de crescer. O grande problema da gasolina era a baixa resistência a detonação, porém este foi sanado com a adição de Chumbo-Tetra-Etila, descoberto por Midgley e Brown da General Motors. Sendo que mais tarde, o chumbo dava lugar a outros aditivos, por se tratar de um elemento tóxico (BRUNETTI, 2012).

#### 2.1.1 Breve história da gasolina no Brasil

A ExxonMobil (fusão entre Exxon e Mobil), foi a empresa pioneira no Brasil em produtos derivados do petróleo, sendo instalada em 1912 com o nome de “Standard Oil Company of Brazil”. A mesma inicialmente vendia “gasolina” e

“kerozene”, em tambores e latas. Na imagem a seguir, uma lata de óleo lubrificante, também comercializada pela empresa.

Figura 1 – Lata de lubrificante.



Fonte: ExxonMobil (2017).

A empresa também foi precursora na instalação de bombas de rua, abastecimento de aeronaves, e lançamentos de combustíveis como o primeiro álcool aditivado (Maxxi Álcool) e da primeira gasolina Premium aditivada (EXXONMOBIL, 2017).

Em 1953 o Presidente Getúlio Vargas assina a lei nº 2004 criando a Petróleo Brasileiro S.A (Petrobras). A mesma é controlada pelo governo Federal, é a maior empresa brasileira produtora de petróleo, e a única produtora de Nafta petroquímica do Brasil. Em 1971 foi criada a Petrobras distribuidora S.A (BR), a fim de distribuir produtos de derivados do petróleo e álcool carburante competindo com as demais empresas implantadas no país. A empresa é líder no mercado brasileiro desde 1974, mantendo uma tecnologia avançada, com rígidos critérios de qualidade (SANÇA, 2006).

## 2.2 COMPOSIÇÃO DA GASOLINA

A gasolina é o segundo combustível mais utilizado no Brasil, perdendo apenas para o óleo Diesel. É composta por uma mistura de hidrocarbonetos (átomos de carbono e hidrogênio) de série parafínicas, olefínicas, naftênicas, e aromáticas,

formados por cadeia de 4 a 12 átomos de carbono. Podem ser encontrados também mesmo que em pequenas quantidades, átomos de nitrogênio, enxofre, metais e oxigênio.

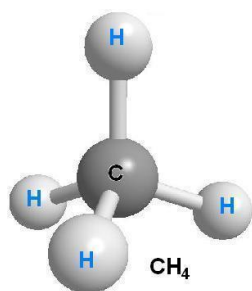
O ponto de ebulição da mesma varia entre 30° e 215 °C, e sua composição final pode se diferenciar de acordo com o processo de produção (ANP, 2016).

### 2.2.1 Hidrocarbonetos Parafínicos

Os hidrocarbonetos saturados, que são conhecidos por Alcanos ou Parafínicos, possuem átomos de carbonos de simples ligações ao maior número de átomos de hidrogênio. Podem constituir cadeias lineares, ramificadas, cíclicas, interligadas ou não.

Os mesmos possuem a fórmula geral  $C_nH_{2n+2}$ , podem ser classificados por parafinas normais, tais como: Metano, Etano e propano, ou também como isoparafinas, por apresentarem ramificações em um ou mais átomos de carbono. A seguir na figura 2, temos a molécula do Metano.

Figura 2 – Molécula Metano

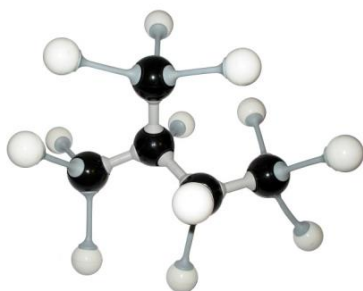


Fonte: Débora Silva (2017).

Nota-se que a molécula possui apenas um átomo de carbono, e quatro de hidrogênio, de ligações simples e sem ramificações.

Na figura 3 em seguida temos o isobutano, um exemplo de isoparafina, onde o átomo de carbono pode ter uma ou mais ramificações (ZOUAIN, 2017).

Figura 3 – Molécula Isopentano.



Fonte: Inventec – Performance chemicals (2017).

### 2.2.2 Hidrocarbonetos Olefínicos

Hidrocarbonetos olefínicos são insaturados, e possuem uma dupla ligação na cadeia. São hidrocarbonetos mais reativos que os saturados e bastante utilizados em refinarias como matéria prima para plantas petroquímicas. Podem ser classificados pela fórmula geral  $C_nH_{2n}$  (VILAS, 2012).

No detalhe da figura 4 a seguir, nota-se a dupla ligação entre os átomos de carbono.

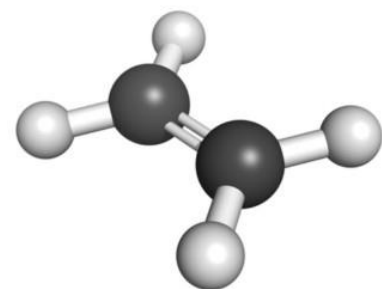


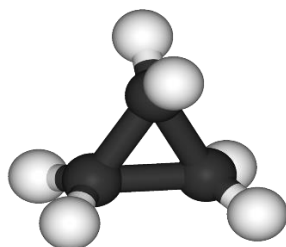
Figura 4 – Molécula do Eteno.

Fonte: Jennifer Rocha Vargas Fogaça (2017).

### 2.2.3 Hidrocarbonetos Naftênicos

Hidrocarbonetos naftênicos, são saturados e formados por ligações simples. Os mesmos apresentam uma cadeia fechada de carbono (cíclica), sendo que o teor de cicloparafinas no petróleo pode chegar a mais de 60%. Na maioria dos casos, as misturas de petróleo que tiver cinco átomos de carbono, haverá compostos naftênicos. Sendo sua fórmula geral  $C_nH_{2n}$ , e são dispostos geralmente na forma de anéis (VILAS, 2012). Na figura 5 a seguir é possível ver a formação do anel.

Figura 5 – Molécula do Ciclopropano.

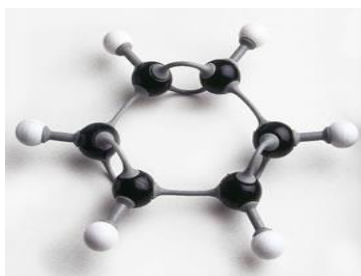


Fonte: Wikiwand (2017).

### 2.2.4 Hidrocarbonetos Aromáticos

Considerado importante grupo de hidrocarbonetos, encontrados na maioria das misturas de petróleo do mundo, são saturados de cadeia cíclica, e contam com o anel de benzeno. Possuem alta resistência à detonação, porém tendem a gerar fumaça e depósito de carvão durante a queima no motor (VOSNIAK TAKESHITA, 2006). Em sequência na figura 6, a molécula do Benzeno.

Figura 6 – Molécula de Benzeno.



Fonte: Líria Alves (2017).

## 2.3 INFLUÊNCIA DOS HIDROCARBONETOS NA OCTANAGEM

A qualidade dos combustíveis com base no petróleo, dependem de sua composição e hidrocarbonetos contidos na mistura. Cada combustível possui composição e propriedades diferentes, sendo assim o resultado de desempenho do motor, vai depender do combustível utilizado (CARVALHO, 2011).

Parafinas em gerais apresentam baixa octanagem, sendo que as normais apresentam o pior IAD. Já as isoparafinas possuem uma octanagem um pouco melhor, aumentando ainda mais se forem ramificadas. As olefinas têm maior octanagem que as parafinas, e por fim os aromáticos possuem os maiores índices antidetonantes (VOSNIAK TAKESHITA, 2006).

### 2.3.1 Modificação e hidrocarbonetos mais resistentes

Através da modificação dos compostos de hidrocarbonetos, pode-se mudar a resistência a detonação dos mesmos. No caso de compostos parafínicos, quanto maior e mais ramificada for a molécula, conseqüentemente maior será sua temperatura de autoignição e resistência a detonação. Nos compostos olefínicos eles devem possuir um maior número de ligações duplas, para atingir um índice de detonação menor, com exceção do (etileno, acetileno e propileno), e também se caracterizam por serem mais resistentes que os parafínicos de mesma estrutura carbônica. Os compostos naftênicos, possuem uma pior resistência a detonação que os aromáticos, e devem ter mais ligações duplas para poder aumentar a resistência a detonação. Já os aromáticos possuem uma grande resistência a detonação, isso devido a sua alta estabilidade química do anel benzênico, que é difícil de ser quebrado, apenas radicais são adicionados para aumentar ainda mais a resistência a detonação. Contudo os compostos oxigenados, são os que possuem a maior resistência a detonação, ficando acima de todos os hidrocarbonetos de mesma cadeia (BRUNETTI, 2012).

## 2.4 ADITIVOS NA GASOLINA

A gasolina pode ser modificada desde seu processo de fabricação, ou então através da inclusão de aditivos, após ter passado pelo processo de refinamento. Os aditivos podem ser detergentes e dispersantes, redutores de atrito, antioxidantes, anticorrosivos, e também aditivos para aumento de octanagem (PETROBRAS, 2015).

### 2.4.1 Aditivos detergentes e dispersantes

Os aditivos detergentes e dispersantes, são responsáveis por manter o sistema de alimentação de combustível do veículo limpo. Eles são compostos basicamente por uma substância ativa (um polímero), um fluidizante (óleo mineral ou produto sintético), e solventes (PETROBRAS, 2015).

Os aditivos podem limpar e manter limpos os bicos injetores do veículo, a câmara de combustão, e as válvulas. Além das funções detergentes, o mesmo possui inibidor de corrosão (BR QUÍMICA, 2017).

### 2.4.2 Aditivos redutores de atrito, antioxidantes e anticorrosivos

Aditivos redutores de atrito são especificamente destinados a atuar em componentes internos do motor, justamente para diminuir o atrito entre as partes metálicas e ocasionar um maior aproveitamento da energia mecânica produzida (PETROBRAS, 2015).

Antioxidantes são utilizados para evitar a formação de oxidação, mais precisamente a formação de “goma” na gasolina, e constituem-se por compostos de fenilenodiamina, fenóis e aminofenóis. São utilizados inibidores de corrosão ou ferrugem, que por sua vez derivam de ácidos carboxílicos, sulfônicos ou fosfóricos. (GUIMARÃES, 2009).

Poluentes externos podem entrar pela admissão do motor ou pelo próprio combustível e assim prejudicar seu funcionamento. As naftas comercializadas possuem formulação para este tipo de situação, onde criam um escudo anticorrosivo protegendo assim o sistema e garantindo suas condições de design (YPF, 2017).

### 2.4.3 Aditivos para aumentar a octanagem da gasolina

Nos últimos anos, devido à preocupação com o impacto ambiental causado pela queima da gasolina, aditivos antigos como o chumbo-tetraetila foram substituídos. Os aditivos atualmente utilizados e menos prejudiciais são os éteres, sendo que o principal empregado aqui no Brasil é o etanol. O mesmo é renovável, vem de plantas, e além de reabsorver o CO<sub>2</sub> liberado na queima, possui uma maior octanagem que a gasolina (FRASSON SCAFI, 2005).

O etano combustível é consumo no Brasil sob duas formas: etanol anidro e etanol hidratado. O anidro é misturado à gasolina A, para formar a gasolina C, comercializada nas revendas varejistas, constituída de 73% de gasolina A e 27% de etanol anidro. O hidratado é comercializado diretamente nas revendas varejistas (ANP, 2017).

Existem também algumas formas para aumentar a octanagem do combustível tradicional, como comprar aditivos, ou então adicionar gasolinas com mais alta octanagem, como gasolina de aviação ou metanol (MORAES, 2003).

A gasolina Podium, possui a maior octanagem de todas no Brasil. É produzida através de uma fórmula exclusiva, onde já em seu processo de refinamento, utilizam-se combinações de hidrocarbonetos a fim de aumentar o IO, em seguida é feita a adição do álcool e demais aditivos (PETROBRAS, 2015).

## 2.5 DETERMINANDO RON, MON E IAD

A característica antiknock (antidetonante) do combustível, nada mais é que sua compressibilidade, ela determina se a mistura ar-combustível não está explodindo muito rapidamente, e quanto maior for o IAD da gasolina, mais resistente ela será à essas explosões espontâneas.

A octanagem da gasolina pode ser avaliada por dois métodos, um deles é o MON (motor octane number) que avalia a resistência à detonação em altas rotações, enquanto o outro é o RON (research octane number) que avalia a resistência à detonação em baixas rotações ou condições mais suaves de funcionamento (FRASSON SCAFI, 2005).

Para determinar a octanagem, é necessário testar o combustível em um motor com taxa de compressão variável. O teste inicia-se com RC baixa, que então vai aumentando até o aparecimento da detonação. Depois compara-se o resultado,

juntamente com misturas de hidrocarbonetos de iso-octano ( $C_8H_{18}$ ) e heptano ( $C_7H_{16}$ ), até obter o início da detonação para a mesma taxa de compressão. Para efetuar a medição do RON, o motor deve estar girando em 600 rotações por minuto (rpm), e a mistura é admitida com uma temperatura de 149 °C (422K), enquanto para o regime de alta rotação (MON), o motor está em 900rpm e 52 °C (325K) (MARTINS, 2006).

O motor em si, é um monocilíndrico especial com taxa de compressão entre 4:1 até 18:1, onde o mesmo forma uma única peça entre cabeça e cilindro e pode ser movido para cima e para baixo para obter as relações de compressões desejadas.

A partir dos valores de RON e MON, para determinar o principal critério de qualidade para os motoristas (índice antidetonante), o cálculo é feito de maneira simples através da equação 1 (MORAES, 2003).

$$IAD = \frac{RON+MON}{2} \quad (1)$$

Onde:

*IAD* = índice antidetonante

*RON* = research octane number

*MON* = motor octane number

### 2.5.1 Índice de octanagem das gasolinas Petrobras no Brasil

A Petrobras produz e comercializa gasolinas para o mercado Brasileiro, sendo combustíveis que atendem a necessidade dos consumidores, tanto para veículos leves, como para transporte de passageiros e cargas. A seguir na imagem, temos a tabela das gasolinas vendidas pela Petrobras, onde o índice de octanagem é dado pela média entre o RON e MON, também é possível saber o teor de enxofre, presença de aditivos e corantes. Nota-se que o teor de enxofre reduziu drasticamente, em relação as gasolinas comercializadas antigamente, que eram de até 800ppm. E sabe-se que o enxofre é um elemento químico tóxico, sendo assim prejudicial à saúde (PETROBRAS, 2015).

Figura 7 – Dados das gasolinas Petrobras.

|                                |  |  |  |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Octanagem</b><br>(IAD) min. | 87                                                                                | 87                                                                                | 97*<br>(maior desempenho)                                                          |
| <b>Enxofre</b><br>(ppm) máx.   | 50                                                                                | 50                                                                                | 30<br>(menos poluente)                                                             |
| <b>Aditivos</b>                | Não                                                                               | Sim                                                                               | Sim<br>(menor nível de depósitos)                                                  |
| <b>Corantes</b>                | Não*                                                                              | Sim<br>(verde)                                                                    | Não**                                                                              |

**IAD** = Índice Antidetonante  
**PPM** (partes por milhão) = mg/kg  
 (\*) Valor médio  
 (\*\*) Apresenta coloração levemente alaranjada em razão do corante laranja adicionado no etanol anidro

Fonte: Petrobras (2017).

### 2.5.2 Índice de octanagem das Naftas Argentinas

A YPF é a maior produtora e exploradora de produtos hidrocarbonetos na Argentina, ficando em terceiro lugar da Américas. Seus combustíveis cumprem os mais altos níveis de qualidade do mercado, tanto em desempenho do motor, quanto em cuidados ao meio ambiente.

A Nafta grado 2, foi especialmente desenvolvida para alcançar uma resposta máxima do motor, incluindo um pacote de aditivos com bioetanol que além de ajudar desempenho, respeita as emissões ao meio ambiente (YPF, 2017).

A empresa SHELL atua nas atividades de exploração e produção de petróleo e gás, refino do petróleo e comercialização de combustíveis. Seus produtos são amplamente reconhecidos por sua qualidade superior e alto desempenho.

A Nafta grado 3, é uma nova tecnologia desenvolvida em experiência da Shell com a Ferrari em fórmula 1, a mesma contém pacote de aditivos, incluindo para reduzir atrito e contribuir com o a eficiência do motor (SHELL, 2012).

A empresa YPF utiliza a nomenclatura “Super” para a Nafta grado 2, enquanto a concorrente utiliza Shell V-Power Nitro+ para a Nafta grado 3. É possível obter o IAD, através da média entre o RON e MON, tendo em vista que, os valores são delimitados individualmente, diferente quando comparado ao Brasil, onde aparece somente o valor médio da octanagem.

A seguir nas figuras 8 e 9, podemos analisar os valores de octanagens das naftas, além disto, também é possível visualizar outras propriedades como a densidade, percentual de bioetanol (etanol), que é de 12% na Super, e entre 5% e 10% na Shell V-Power Nitro+.

Figura 8 – Dados da Nafta YPF Super.

| YPF                          |        |                  |       |
|------------------------------|--------|------------------|-------|
| ANÁLISIS TÍPICOS             |        |                  |       |
| Ensayos                      | Unidad | Método           | SUPER |
| Densidad a 15 °C             | g/cm3  | ASTM D-1298/4052 | 0,740 |
| RON – Research Octane Number |        | ASTM D-2699      | 95    |
| MON – Motor Octane Number    |        | ASTM D-2700      | 84    |
| Bioetanol *                  | % vol. | ASTM D-4815      | 12    |
| Azufre                       | mg/kg  | ASTM D-5453      | 75    |
| Benceno                      | % vol. | ASTM D-6839      | 0,7   |
| Color                        |        | Visual           | Azul  |

Fonte: YPF (2017).

A Shell Argentina, disponibiliza a tabela de dados mais completa de todos os combustíveis testados, porém é a única que não especifica um valor exato para a concentração de Bioetanol, como podemos observar na figura 9 a seguir.

Figura 9 – Dados da Nafta Shell V-Power Nitro+.




Shell V-Power Nitro+ Nafta es una nueva tecnología en combustibles. Es una mejorada fórmula que contiene un nuevo paquete de aditivos multifuncionales.

Una nafta, especialmente desarrollada por Shell utilizando su experiencia junto a Ferrari en la Fórmula 1, diseñada para actuar instantáneamente sobre los depósitos del motor, mejorando la respuesta y el desempeño del mismo.

Además, Shell V- Power Nitro+ Nafta, por su formulación y aditivación exclusiva, contribuye a reducir la fricción y mejorar la eficiencia del motor.

No contiene aditivos mejoradores de octano en base a metales como el manganeso (MMT), hierro (Ferrocene) u otro aditivo de tipo metálico.

**Características típicas**

| Ensayo                  | Método             | Unidad   | V- Power |
|-------------------------|--------------------|----------|----------|
| Color                   |                    |          | verde    |
| Densidad a 15°C         | ASTM D1298         | g/cc     | 0.750    |
| Destilación             | ASTM D86           |          |          |
| Evaporado a 70°C        |                    | % v/v    | 28       |
| Evaporado a 100°C       |                    | % v/v    | 54       |
| Evaporado a 180°C       |                    | % v/v    | 92       |
| Punto Final             |                    | °C       | 180      |
| Número Octano (RON)     | ASTM D2699         |          | > 98     |
| Número Octano (MON)     | ASTM D2700         |          | > 85     |
| Azufre total            | ASTM D5453         | % p/p    | < 0.005  |
| Benceno                 | ASTM D6293         | % v/v    | <1.0     |
| Contenido de Plomo      | ASTM D3237         | g/l      | < 0.002  |
| Goma existente          | ASTM D381          | mg/100ml | 0.9      |
| Contenido de Aromáticos | ASTM D6293         | % v/v    | 33       |
| Oxígeno total           | ASTM D4815         | % v/v    | < 3.7    |
| Presión Vapor Reid      | ASTM D 323 / D5191 |          |          |
| Verano (máximo)         |                    | kPa      | < 70,0   |
| Invierno (máximo)       |                    | kPa      | < 80,0   |

Valores representativos de los obtenidos en producción. No constituyen una especificación

Nota: de acuerdo a Ley 26.093, Res. 1283/06, Res. 478/09 y Res 733/09 podrá contener entre 5% y 10% en volumen de Bioetanol.

Fuente: Shell (2012).

## 2.6 COMO FUNCIONA UM MOTOR CICLO OTTO A GASOLINA

O ciclo Otto nada mais é que, um ciclo termodinâmico ideal para definir o funcionamento de um motor a combustão interna de ignição por centelha. O mesmo foi implementado em 1876 pelo engenheiro alemão Nikolaus Otto.

Em teoria, este ciclo foi dividido em quatro processos:

AB – Processo de compressão adiabática

BC – Processo de aquecimento isométrico de calor

CD – Processo de expansão adiabática

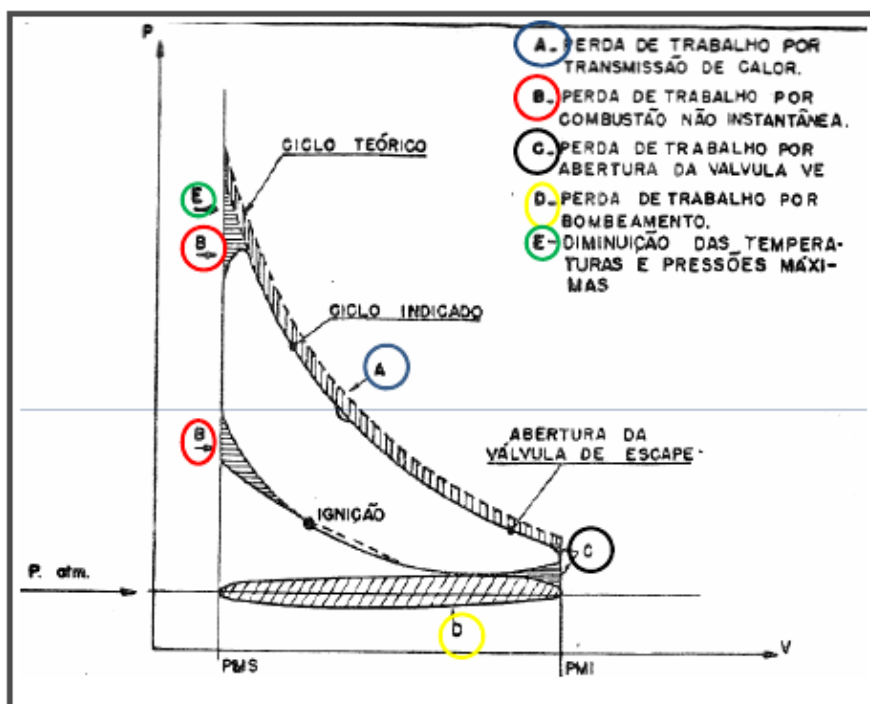
DA – Processo de rejeição isométrica de calor

Porém, os motores de combustão interna a gasolina, é um dos exemplos onde a teoria se distancia da prática. Isso acontece, devido há alguns fatores que compõem o motor, como: as válvulas (que controlam a entrada e saída de ar), as velas (que emitem faísca para dar início a explosão), e o virabrequim, que controla várias funções do motor (pistões, transmissão de força ao câmbio) (SCHULZ, 2009).

Podem ter também perdas por transmissão de calor, tendo em vista que nos processos de compressão e expansão, o cilindro troca calor com o fluido refrigerante, portanto não é um processo adiabático, mas sim politrópico. Existem perdas de trabalho por combustão não instantânea (no ciclo teórico o volume é supostamente constante), sendo que a chama leva um certo tempo para se deslocar desde seu ponto inicial até a superfície mais distante. Existem também perdas por bombeamento, onde possui um diferencial de pressão na admissão dentro da câmara de combustão, em relação a pressão atmosférica, e também um diferencial de pressão quando ocorrer o escape. Podem ocorrer também a diferenciação das temperaturas e pressões máximas, tendo em vista que o fluido de trabalho não é ar ideal (BORTOLAIA, 2017).

Abaixo temos o gráfico da pressão em função do volume, onde pode-se notar a diferença entre o ciclo teórico e real.

Gráfico 1 – Rendimento teórico x real ciclo otto



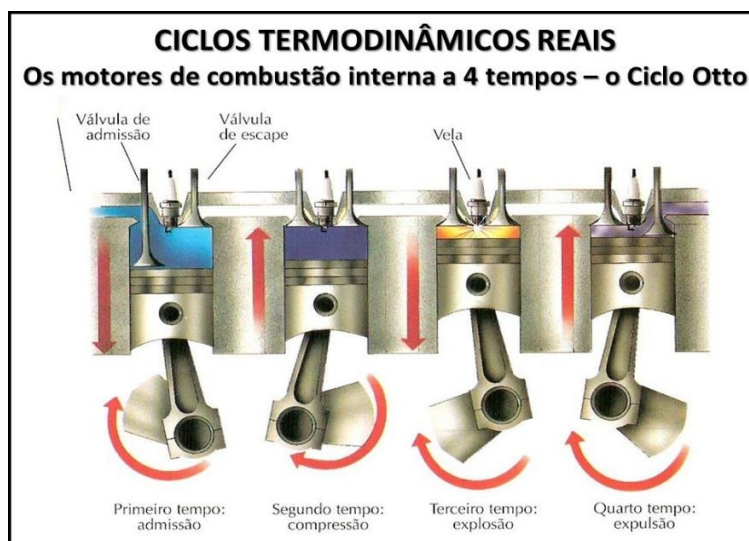
Fonte: Bortolaia (2017).

### 2.6.1 Etapas de funcionamento de um motor ciclo otto

A primeira etapa, é a que chamamos de admissão, onde o pistão desloca-se do PMS (ponto morto superior) ao PMI (ponto morto inferior). Neste tempo, a válvula de admissão se abre, e a mistura de ar combustível é vaporizada e aspirada para dentro do cilindro. Para esta etapa, o virabrequim efetua meia volta, ou seja  $180^\circ$ . A segunda etapa é a compressão, onde a válvula de admissão se fecha, e o pistão sobe para o PMS, comprimindo assim a mistura de ar combustível, neste momento, o virabrequim completa uma volta inteira,  $360^\circ$ . A terceira é a combustão, que ocorre pouco antes do pistão atingir o PMS, através do sistema de ignição, é transmitido corrente elétrica para a vela, que no mesmo instante produz centelha, ocasionando a explosão da mistura comprimida e os gases resultantes, forçam o pistão para o PMI, e assim sendo, o virabrequim efetua outra meia volta,  $540^\circ$ . A última etapa é a expulsão/escape, que nada mais é que o tempo após a queima da mistura e expulsão dos gases. Quando o pistão se movimenta do PMI sentido PMS, os gases são forçados para fora do cilindro, ocasionando assim outra meia volta do virabrequim, totalizando duas voltas e fechando  $720^\circ$ .

Por conta disto os motores ciclo otto, são chamados também 4 tempos e vale ressaltar que somente no tempo de combustão se produz energia mecânica, no restante apenas a mesma é absorvida (TILLMAN, 2013). A seguir na Figura 10, é possível observar as etapas de funcionamento de um motor ciclo Otto.

Figura 10 – Tempos de funcionamento motor ciclo Otto



Fonte: Demetrius (2017).

### 2.6.2 Taxa de compressão e eficiência

Para ser válido um aumento da taxa de compressão de um mesmo motor, é requerido um aumento da octanagem do combustível. Elevando-se a taxa de compressão, conseqüentemente será elevado a eficiência termodinâmica do motor, como mostra a equação 2.

$$Eficiência = 1 - \frac{1}{(taxa\ de\ compressão)^{k-1}} \quad (2)$$

Onde:

$k$  = taxa de calor específico com pressão e volume de fluídos de trabalho constantes (na maioria dos casos é o ar, onde pode ser tratado como gás ideal com valor = 1,4).

Existem suposições de que o motor a gasolina de ignição por centelha, atinge a eficiência máxima com taxa de 17:1 (MORAES, 2003).

## 2.7 DINAMÔMETRO

O dinamômetro é nada mais é que uma ferramenta de grande importância para motores a combustão interna, onde é possível obter vários parâmetros, dentre eles estão a aferição de potência mecânica e torque, dados de consumo de combustível e emissões de gases. Esses parâmetros já são disponibilizados para o operador, a partir do próprio software do dinamômetro (GUANABARA KELLER GESTEIRA, 2014).

### 2.7.1 Freio dinamométrico

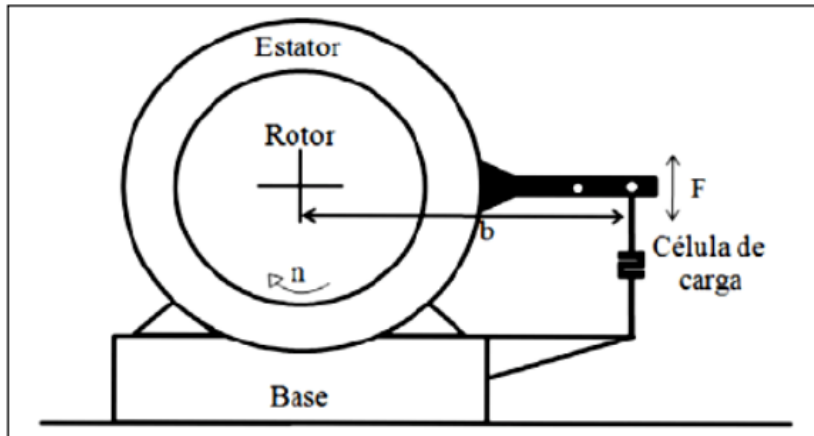
O freio dinamométrico é composto por um rotor, que está acoplado ao motor ou rodas do veículo, de um estator apoiado em rolamentos, ao qual está interligado com uma célula de carga, que por sua vez se conecta no extremo de uma alavanca.

O dispositivo serve para medir a força contraditória que o motor faz no mesmo, de modo a forçar a parada do motor. Através desta força aplicada na alavanca é

possível determinar o torque, e consequentemente multiplicando pela velocidade resultará na potência.

Em sequência temos a imagem, a qual pode-se notar o princípio de funcionamento de um freio dinamométrico (MARTINS, 2006).

Figura 11 – Freio dinamométrico.



Fonte: GUANABARA KELLER GESTEIRA (2014).

### 2.7.2 Potência e torque de um dinamômetro

Com base na Figura 11, é possível determinar o torque, sabendo-se a força exercida pelo motor, e tendo especificado o comprimento  $b$ . O cálculo então, é feito pela equação 3.

$$T = F * b \quad (3)$$

Onde:

$$T = (\text{N.m})$$

$$F = (\text{N})$$

$$b = \text{comprimento do braço da alavanca em (m)}$$

A partir da equação 3, pode-se obter a potência gerada e dissipada pelo freio durante o teste, como mostra a equação 4.

$$P = T * 2\pi * n \quad (4)$$

Onde:

$P$  = Potência (W)

$T$  = (N.m)

$n$  = (rps)

Este tipo de dinamômetro pode apresentar a potência de várias maneiras, sendo que o freio pode ser eletrodinâmico, hidráulico ou de fricção. O veículo pode ser operado em condições variáveis ou constantes, que atenderá as condições do freio (GUANABARA KELLER GESTEIRA, 2014).

### 2.7.3 Dinamômetro de chassi

Este tipo de dinamômetro, tem como objetivo a aferição de desempenho do veículo, porém alguns fatores reais não têm como serem levados em conta, como direção do vento, temperatura, entre outros.

Para o funcionamento, é necessário posicionar as rodas do veículo sobre o rolo, onde o mesmo irá medir a potência fornecida, através da força gerada no freio dinamométrico ou então em dinamômetros inerciais.

Geralmente dinamômetros de chassi são os mais utilizados para medições de potência torque e velocidade em veículos, pois o ambiente não varia, o clima pode ser controlado, e não possui trânsito para atrapalhar (GUANABARA KELLER GESTEIRA, 2014).

### 2.7.4 Dinamômetro Inercial e aferição de desempenho

Como o próprio nome já diz, este tipo de dinamômetro simula a inércia do veículo, para medir a velocidade em função do tempo. O mesmo consiste em massas (cilíndricas) que são obrigadas a rodar pelo motor.

O motor pode estar acoplado ao dinamômetro, quanto pode colocar diretamente as rodas sobre o mesmo, sendo que neste último caso haverão as perdas por transmissão, embreagem, semieixos, entre outros (MARTINS, 2006).

A verificação de desempenho consiste em fazer o dinamômetro de chassi desacelerar naturalmente com a combinação mais utilizada de inércia e potência, e comparar o tempo de desaceleração natural obtido, com o tempo calculado através da equação definida, com a respectiva inércia equivalente (NBR 6601, 2012).

É definido então, através da equação 5.

$$PR = k \frac{M - MRT}{t} \quad (5)$$

Onde:

$PR$  = é a potência real, em quilowatts (kW)

$M$  = é a inércia equivalente, em quilogramas (kg)

$MRT$  = é a inércia equivalente do rolo traseiro livre, em quilogramas (kg)

$t$  = é o intervalo de tempo em segundos (s), gasto pelos rolos para desacelerarem de 88,5 km/h à 72,4 km/h

$k$  = é igual a 0,09984 km<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> ( $k = 0,06073$  milhas<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>)

## 2.8 ENSAIO PARA AFERIÇÃO DE POTÊNCIA

Inicialmente o dinamômetro sofre uma calibração que é determinada pelo fabricante (NBR 6601, 2012).

O ensaio de potência para motores com ignição por centelha deve ser feito com o acelerador plenamente acionado. As medições devem ser tomadas em um número suficiente de rotações do motor, para que a curva de potência seja delimitada entre a mais baixa e mais alta rotação do motor recomendada pelo fabricante. Essa faixa de rotação apresentará onde o motor produz o pico máximo de potência (NBR ISO 1585, 1996).

## 2.9 EFICIÊNCIA TÉRMICA E CONSUMO ESPECÍFICO DE UM MOTOR CICLO OTTO

A eficiência térmica de um motor ciclo Otto, pode ser dada através da potência de saída do motor, em relação a energia entrada de combustível. Já o consumo específico, é representado pelo consumo mássico de combustível por unidade de

trabalho de saída (CARVALHO, 2011). Levando em consideração esses fatores, o consumo específico fica delimitado pela equação 6.

$$CE = \frac{\dot{m}f}{W} \quad (6)$$

Onde:

$W$  = representa a potência em unidade de energia (KW)

$\dot{m}f$  = vazão mássica do combustível em (g/h)

$CE$  = consumo específico do combustível em (g/kWh)

Logo temos que a eficiência pode ser dada pela equação 7.

$$\eta_t = \frac{1}{CE * PC} \quad (7)$$

Onde:

$\eta_t$  = eficiência térmica (%)

$CE$  = consumo específico (g/kWh)

$PC$  = poder calorífico do combustível (kW/g)

## 2.10 CONSUMO VOLUMÉTRICO DE COMBUSTÍVEL

O consumo volumétrico de combustível, leva em conta fatores determinantes, para que haja uma melhor exatidão no cálculo final. Além da quantidade de litros consumidos e distância percorrida, o método agrega a temperatura do combustível, seu coeficiente de dilatação volumétrica e a temperatura durante o ensaio, que deve estar entre 20 °C e 30 °C (ABNT NBR 7024, 2017). A equação 8 delimita o cálculo do método.

$$C_{volumétrico} = \frac{V * [(1 + \alpha * (20 - T))]}{D} \times 100 \quad (8)$$

Onde:

$C_{volumétrico}$  = consumo de combustível, expresso em (L/100km);

$V$  = quantidade de combustível consumido, expresso em litros (L);

$D$  = é a distância efetiva percorrida, expressa em quilômetros (km);

$\alpha$  = é o coeficiente de dilatação volumétrica do combustível, igual a 0,001/°C  
 $T$  = é a temperatura do combustível expressa em graus Célsius (°C).

## 2.11 CONSUMO MÉDIO CONVENCIONAL DE COMBUSTÍVEL

O consumo médio convencional de combustível de um veículo, consiste na quantidade de combustível gasta em uma determinada quilometragem percorrida (CARVALHO, 2014). O cálculo é feito através da equação 9.

$$\left[ \frac{l}{100km} \right] = \frac{\text{Consumo total de combustível [l]}}{\text{Distância percorrida [km]}} \times 100 \quad (9)$$

Onde:

$l$  = litros de combustível

$km$  = quilometragem

Para obter os valores em quilômetros por litro (km/l), basta pegar 100km e dividir pelo valor final encontrado na equação.

## 2.12 CONDUÇÃO E PREPARAÇÃO DO VEÍCULO PARA MEDIR CONSUMO

Para execução do método de consumo, deve-se levar em conta os fatores e parâmetros envolvendo o veículo, equipamentos, método de condução e ambiente. As condições são feitas em dinamômetro, de preferência com temperatura ambiente controlada (entre 20 °C e 30 °C), pressão dos pneus em aproximadamente 310 kpa com margem de 20kpa para + ou – (entre 42 à 47psi), vazão do ventilador deve ser no máximo de 2,50 m³/s, os diâmetros nominais dos rolos devem ser maiores ou iguais a 219 mm, deve ser registrado a temperatura do combustível, e o percurso total é de aproximadamente 12,1km, somando as fases de partida à frio, partida à quente e transitória à quente. Para execução do próximo ensaio, deve-se aguardar o período de 12h à 36h, que é o tempo suficiente para resfriamento total do motor. A primeira marcha deve ser engatada 15s após o funcionamento do motor.

O veículo deve ter a ordem de velocidade da troca das marchas, da seguinte maneira:

- Primeira para a segunda: 25 km/h
- Segunda para a terceira: 40 km/h
- Terceira para a quarta: 65 km/h
- Quarta para a quinta: 72 km/h
- Quinta marcha: 80,5 km/h (com margem de 3,2 km/h para + ou -)

Desligar o veículo 2 segundos após a desaceleração.

O reservatório de combustível deve ser colocado externamente ao veículo e conectado ao sistema de alimentação, sem que haja alteração nas condições de alimentação do motor. O reservatório deve ser drenado ou limpo no final de cada teste, e abastecido com quantidade suficiente, em torno de 40% o valor de sua capacidade. (ABNT NBR 6601, 2012).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 MÉTODO DE PESQUISA

A metodologia nada mais é que, o método utilizado pelo pesquisador desde o início de sua caminhada, com a formulação de um problema, até o final de sua pesquisa. Pode-se entender por um conjunto de etapas que serão executadas, a fim de mostrar a veracidade de forma sistematizada. O método científico, procura abordar e analisar a realidade, é ele quem será responsável pela transparência e objetivos da pesquisa (BONAT, 2009).

#### 3.2 VARIÁVEIS E MATERIAIS UTILIZADOS

Por se tratar de um processo, onde as escolhas de variáveis e materiais podem influenciar diretamente no resultado, o método utilizado procura ser o mais claro e objetivo possível, seguindo alguns critérios estabelecidos nas normas da ABNT NBR 6601, NBR 7024 e NBR ISO 1585. Os critérios, estabelecem local, padrões para materiais utilizados, para condução do veículo, medição de consumo e potência. Também agrega variáveis como temperatura, pressão dos pneus, aceleração do veículo, velocidade e distância, intensificando assim a precisão nos resultados obtidos na pesquisa.

##### 3.2.1 Veículo e motorização

O veículo utilizado no teste, foi um Ford Focus ano e modelo 2009, com motorização Duratec-HE aspirada 2.0 16v, e transmissão manual de 5 velocidades. O motor é totalmente original, sem nenhuma modificação mecânica ou no sistema de ignição/alimentação. Vale salientar que, o veículo é somente a gasolina, ainda não possui o sistema flex, e seu sistema de injeção é digital multiponto sequencial.

O carro encontra-se com atuais 122.000km, e em condições iniciais, a Ford declara a potência de 107 KW (145CV) à 6000rpm e 185 N.m (18,86 kgfm) à 4500rpm,

taxa de compressão de 10,8:1 e recomenda-se utilizar gasolina tipo C com 20 a 25% de álcool, porém não determinado o número de octanagem, como mostrado no quadro 1 a seguir.

Quadro 1 – Especificações motor Duratec

| <b>Dados técnicos</b>           | <b>Motor 2.0L – Duratec-HE</b>                              |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Localização/posição             | Dianteiro transversal                                       |
| Ciclo / tempos                  | Otto / 4 tempos                                             |
| Número e posição dos cilindros  | 4 em linha                                                  |
| Válvulas                        | 4 por cilindro                                              |
| Cilindrada                      | 1999 cm <sup>3</sup>                                        |
| Relação de compressão           | 10,8:1                                                      |
| Potência do motor               | 107KW (145CV) @6000rpm                                      |
| Torque máximo (gasolina tipo C) | 185 N.m (18,86 kgfm) a 4500rpm                              |
| Combustível (gasolina tipo C)   | Gasolina sem chumbo regular com 20% a 25% de álcool etílico |
| Rotação máxima do motor         | 6450 rpm                                                    |
| Sistema de alimentação          | Injeção eletrônica digital multiponto sequencial            |
| Ordem de ignição                | 1 – 3 – 4 – 2                                               |
| Sistema de ignição              | Eletrônica digital                                          |
| Índice de CO em marcha lenta    | <1,0%                                                       |
| Indução de ar                   | Aspirada                                                    |

Fonte: Ford (2009).

### 3.2.2 Dinamômetro para teste

Foi utilizado um dinamômetro, modelo inercial da Dynotech, 1050I. O mesmo funciona pelo princípio da inércia, e é constituído por quatro rolos onde as rodas do

veículo são apoiadas. O dinamômetro pode calcular a potência e torque em roda, e também através das diferenças de aceleração e desaceleração, mostra a perda de potência entre o conjunto de transmissão, que é do virabrequim até a roda, ou seja, o mesmo é capaz também de mostra o resultado de potência no motor.

A seguir na figura 12 temos o modelo do dinamômetro, no qual foram realizados os testes

Figura 12 – Dinamômetro Inercial Dynotech

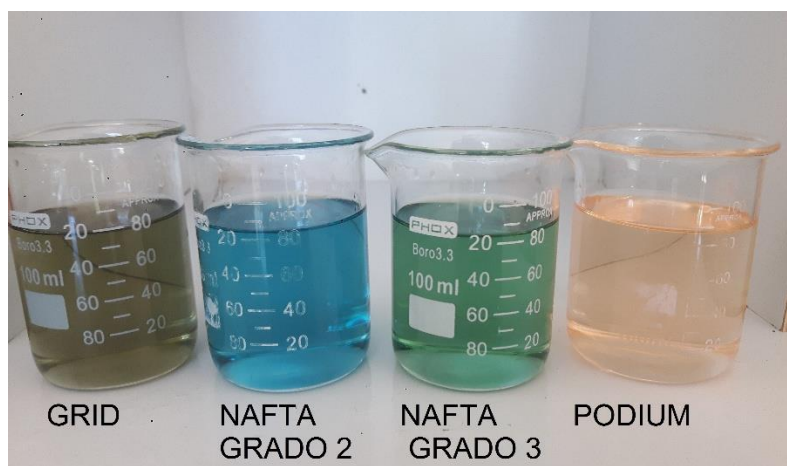


Fonte: Dynotech (2018).

### 3.2.3 Gasolinas utilizadas

Foram utilizados quatro tipos de combustíveis, a gasolina Grid e Podium foi obtida em um posto Petrobras na cidade de Cascavel - PR, já as Naftas foram adquiridas em Puerto Iguazú – MIS na Argentina, em um posto da rede YPF e Shell respectivamente. Nota-se que possuem coloração distintas, como pode-se ver na imagem 13 a seguir, e isso aplica-se devido a diferença de aditivos utilizados nas mesmas.

Figura 13 – Amostras de gasolinas



Fonte: Autor (2018).

### 3.2.4 Materiais de medição e armazenamento

Para armazenamento das gasolinas, foram utilizados galões de plástico com capacidade de até 5 litros, e também um balde com capacidade de até 8 litros, onde foi utilizado para colocar o combustível que a bomba succionava.

Para medição, foi necessário a utilização de uma proveta, béqueres, um termômetro digital de temperatura e umidade relativa, e também um termômetro convencional para medir a temperatura do combustível.

Os galões e balde, foram comprados excepcionalmente para fins da pesquisa, e os demais instrumentos de medição, foram emprestados pelo Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz. Foi necessário também, fazer uma adaptação no chicote elétrico da bomba, para poder alongar a extensão do mesmo, sendo utilizado fios de mesmo diâmetro dos originais.

Na sequência, temos a figura 14, onde é possível visualizar os materiais citados anteriormente.

Figura 14 – Materiais de medição e armazenamento



Fonte: Autor (2018).

### 3.3 LOCAL E REALIZAÇÃO DOS TESTES

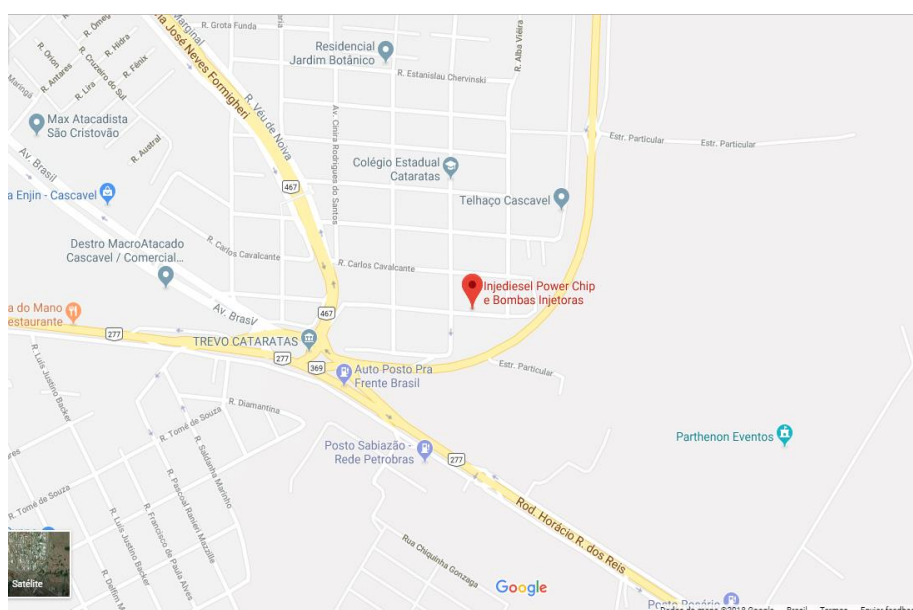
Os testes foram realizados na cidade de Cascavel-PR, na Injodiesel Power Chip e Bombas Injetoras, localizada na rua Francisco Ignacio Fernandes, 149 – Cataratas. A empresa está no ramo desde 1987, abrangendo toda linha diesel e flex, e possui softwares de reprogramação de injeção eletrônica, por conta disto a mesma dispõe de um ambiente com equipamentos e profissionais qualificados para manuseio do dinamômetro, o qual é utilizado com frequência. Os testes foram realizados dentro de um período de duas horas, para que houvesse o mínimo de variação de fatores climáticos possíveis.

O ambiente possui uma estrutura fechada, sem exposição ao sol, porém a temperatura não é controlada. O teste foi iniciado as 14h e teve seu término

aproximadamente às 15:30h, tendo como o primeiro combustível utilizado a Nafta grado 3, em seguida a Nafta grado 2, Grid e Podium.

A seguir temos a imagem da localização onde foram efetuados os testes, vale salientar que a pressão atmosférica no dia, era de 928 Hpa (92,8 kpa), aferidos pelo software do dinamômetro.

Figura 15 – Localização do local de testes



Fonte: Google maps (2018).

### 3.3.1 Teste de consumo

Inicialmente, o conjunto da bomba de combustível foi desacoplada do tanque original, para ser utilizada no reservatório externo, mantendo o filtro e linha de alimentação original.

O MCI Duratec-HE, não contém o retorno de combustível na flauta, ou seja, seu regulador de pressão encontra-se acoplado no conjunto da bomba, onde o mesmo recebe o estímulo de ar por uma tubulação ligada ao coletor de admissão, que é controlada por uma espécie de “regulador eletrônico”. Sendo assim apenas o combustível necessário é enviado à flauta que alimenta os injetores, justificando assim o contexto de utilizar o mesmo conjunto da bomba do carro original, apenas adaptando-o no novo reservatório.

A preparação do veículo era então iniciada, que consistia em “amarrar” o mesmo ao dinamômetro, calibrar a pressão dos pneus, posicionar o ventilador e deixar o motor do veículo aquecido. O método de condução consistia em engrenar o veículo 15s após a partida, e logo após seguir a ordem para velocidades e mudanças das marchas:

- Primeira para a segunda: 25km/h
- Segunda para a terceira: 40km/h
- Terceira para a quarta: 65km/h
- Quarta para a quinta: 72km/h
- Quinta marcha: 80,5 km/h (com margem superior ou inferior de 3,2km/h)

Como o veículo possui transmissão manual de 5 velocidades, foi possível executar com precisão a sequência. Era necessário desligar o veículo 2s após atingir o percurso desejado. Observa-se na figura abaixo, que a temperatura ambiente aferida em determinado teste foi de 30 °C, ficando no limite máximo determinado pela norma ABNT NBR 6601 e NBR 7024.

Figura 16 – Temperatura ambiente aferida



Fonte: Autor (2018).

Como o reservatório tinha a capacidade de 8 Litros, eram adicionados 3,2 litros de combustível que correspondem aos 40% de sua capacidade total, delimitados assim pela norma. Porém, antes de adicionar o combustível com a capacidade medida no reservatório, a linha era drenada e o veículo funcionava por pelo menos 1 minuto com o novo combustível, a fim da central de injeção reconhecer as propriedades da gasolina que foi usada no teste.

A distância total percorrida, também foi seguida conforme critério da norma de condução, onde totalizava um percurso aproximado de 12,1 km, porém o mesmo foi executado somente em uma fase transitória a quente, devido a inviabilidade do tempo referente à espera de partida a frio, que segundo a norma deve ser entre 12h e 36h. Ao chegar no valor do percurso, o freio do dinamômetro era acionado, e o veículo desligado 2s após.

### 3.3.2 Teste de potência

O teste de potência era realizado logo em seguida aos testes de consumo, onde o veículo já estava preparado, o motor já havia se adequado as condições do combustível e o dinamômetro calibrado. Para a calibração do dinamômetro, que é feita de acordo com o fabricante do mesmo, o veículo era operado por alguns segundos no regime de 3000 rpm em terceira marcha, enquanto o operador realizava os ajustes no software. Vale frisar que houve uma variação na umidade relativa registrada pelo próprio software, onde o valor nos testes iniciais era de 34% e finalizou em 29%.

Foram efetuados dois procedimentos para cada combustível. O teste iniciava-se com o carro engrenado em terceira marcha, com o regime de rotações do motor baixa. Logo em seguida, o acelerador era pressionado de forma plena, até atingir o limite máximo de rpm determinados pelo fabricante.

Como o dinamômetro era inercial, o mesmo agrega no cálculo de potência a desaceleração do veículo, portanto o veículo devia ser desengrenado ao final da aceleração, e parado somente pelo dinamômetro. Na imagem 17 a seguir, mostra o veículo executando o procedimento de potência, com o ventilador posicionado frente ao veículo.

Figura 17 – Realização teste de potência



Fonte: Autor (2018).

### 3.4 COLETA DOS DADOS

Para a coleta dos dados, principalmente de quantidade consumida de combustível, foram utilizados métodos matemáticos e precisos, pois uma pequena variação, pode interferir ligeiramente no resultado final.

Além do operador que conduzia o veículo, foi necessária uma segunda pessoa, para ajudar no processo. Encontrava-se à disposição uma calculadora, caneta, e uma tabela com as características de cada gasolina, contendo as variáveis necessárias, para cada dado coletado ser preenchido.

#### 3.4.1 Coleta dados de consumo

A coleta dos dados de consumo, exigia cautela e atenção no manuseio dos equipamentos, por se tratar de um processo executado de forma manual.

Os valores de temperatura do combustível eram obtidos através do termômetro, onde o mesmo era mergulhado no galão de armazenamento, logo antes do combustível correspondente ser utilizado no ensaio.

Ao término do teste de consumo, para retirar e medir o combustível restante do reservatório, foi-se necessária a ajuda de uma proveta. A proveta possuía capacidade máxima de 1000ml, com escala de precisão  $\pm 10$ ml. Devido ao volume

de armazenamento da proveta, era necessário colocar o combustível retirado e medido no final do teste em um galão vazio, pois a quantidade de litros que continham no reservatório de sucção da bomba, ultrapassava a capacidade da proveta. Era necessário completar o nível máximo da proveta por duas vezes, para só então na terceira vez, saber qual nível a gasolina atingiria no devido instrumento de medição.

Como a quantidade inicial colocada no reservatório era de 3200 ml, bastava subtrair o valor à medida final encontrada, para ter o valor da gasolina consumida. A seguir na figura 18, temos a Nafta Super sendo medida na proveta.

Figura 18 – Proveta contendo Nafta Super



Fonte: Autor (2018).

A distância percorrida durante o teste, foi aferida pelo próprio odômetro do painel do veículo, que possui uma escala de precisão de 100 metros. O mesmo era zerado antes de iniciar o percurso, e quando atingia os 12,1km imediatamente era finalizado o teste.

### 3.4.2 Coleta de dados de potência

Os dados de potência eram coletados através do gráfico da curva de potência, obtida pelo próprio software do dinamômetro. Ao final do teste, além de mostrar a curva de potência em função do rpm, o software já apresentava o valor de potência máxima em sua respectiva rotação do motor, e de mesmo modo, os valores para o torque máximo.

A figura 19 a seguir, apresenta curvas de potência x rpm, de diferentes gasolinas testadas.

Figura 19 – Curvas de potência x rpm



Fonte: Autor (2018).

## 3.5 ANALISE DOS DADOS

Com os valores de temperatura do combustível, distância percorrida, coeficiente de dilatação volumétrica e quantidade de litros consumida durante o teste, é possível determinar o consumo médio convencional e volumétrico de combustível. Através destes consumos, serão analisadas as diferenças e compará-los, constatando assim qual deles foi o que obteve o menor consumo para o MCI utilizado nos ensaios.

Os valores de desempenho, mais precisamente potência e torque, serão delimitados pelo software do próprio dinamômetro. Como foi realizado dois ensaios

de potência para cada combustível, será feito a escolha do ensaio que obteve o melhor resultado.

Dessa maneira, é possível constatar, se o diferencial de octanagem contido nas gasolinas, tiveram interferência nos resultados de consumo e desempenho apresentados, pelo respectivo motor ciclo Otto utilizado na pesquisa

## 4 RESULTADOS E DISCUSSOES

### 4.1 RESULTADOS DE CONSUMO

Os números de octanagem, dados coletados durante os testes e o coeficiente de dilatação do combustível em função da temperatura, foram delimitados pelo quadro 2 a seguir.

Quadro 2 – Dados para cálculo método volumétrico

| Tipos de Gasolinas          | Quantidade consumida Combustível (litros) | Distância percorrida em (km) | Temperatura do combustível em (°C) | RON/MON ou IAD                     | Coeficiente de dilatação 0,001/°C |
|-----------------------------|-------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Gasolina Grid</b>        | 0,530                                     | 12,1km                       | 25°C                               | IAD = 87                           | 0,025                             |
| <b>Gasolina Podium</b>      | 0,480                                     | 12,1km                       | 28°C                               | IAD = 97                           | 0,028                             |
| <b>Nafta Super</b>          | 0,515                                     | 12,1km                       | 24°C                               | RON = 95<br>MON = 84<br>IAD = 89,5 | 0,024                             |
| <b>V-Power Nitro+ Nafta</b> | 0,475                                     | 12,1km                       | 26°C                               | RON = 98<br>MON = 85<br>IAD = 91,5 | 0,026                             |

Fonte: Autor (2018).

Com os valores acima, é possível executar o procedimento de consumo médio convencional com base na equação 9, tendo como exemplo a Grid, e seguindo a sequência do quadro.

$$\frac{l}{100km} = \frac{\text{quantidade de combustível consumida}}{\text{distância percorrida}} \times 100$$

$$\frac{0,530}{12,1} \times 100 = 4,38l/100km$$

*Transformando em km/l = 22,83 km/l*

Os valores então ficam delimitados no quadro 3 a seguir.

Quadro 3 – Consumo médio convencional

| <b>Gasolina Grid</b> | <b>Gasolina Podium</b> | <b>Nafta Super</b> | <b>V-Power Nitro+ Nafta</b> |
|----------------------|------------------------|--------------------|-----------------------------|
| 22,83 km/l           | 25,20 km/l             | 23,49 km/l         | 25,47 km/                   |

Fonte: Autor (2018).

Para realizar os cálculos de consumo volumétrico, aplica-se os dados do quadro 2, na equação 8. Inicia-se pela gasolina Grid e acompanha-se a sequência do quadro.

$$Cv = \frac{V * (1 + \alpha(20 - T))}{D} \times 100$$

$$Cv = \frac{0,530 * (1 + 0,025(20 - 25))}{12,1} \times 100$$

$$Cv = 3,83 \text{ l/100km}$$

$$Cv = 3,07 \text{ l/100km}$$

$$Cv = 3,84 \text{ l/100km}$$

$$Cv = 3,31 \text{ l/100km}$$

Os valores obtidos através dos cálculos, demonstram a quantidade de litros de combustível consumida para 100 quilômetros, porém sabe-se que a maneira mais utilizada e prática, é em quilômetros/litro. Portanto basta dividir os 100km pela quantidade de litros. Temos então os valores finais em km/l, no quadro 4 a seguir.

Quadro 4 – Consumo volumétrico

| <b>Tipo de combustível</b> | <b>Consumo volumétrico em l/100km</b> | <b>Transformando l/100km em km/l</b> | <b>Consumo volumétrico em km/l</b> |
|----------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| Gasolina Grid              | 3,83                                  | $\frac{100}{3,83}$                   | 26,10                              |
| Gasolina Podium            | 3,07                                  | $\frac{100}{3,07}$                   | 32,57                              |
| Nafta Super                | 3,84                                  | $\frac{100}{3,84}$                   | 26,04                              |
| V-Power Nitro+ Nafta       | 3,31                                  | $\frac{100}{3,31}$                   | 30,21                              |

Fonte: Autor (2018).

Podemos notar então que, pelo método de consumo volumétrico, os valores se distanciam bastante, devido a diferença de temperatura e coeficiente de dilatação volumétrica do combustível.

Observa-se no quadro 3, que a gasolina Podium obteve um consumo médio convencional levemente maior que a Shell V-Power Nitro+ Nafta. Porém a diferença de temperatura entre ambas, era de 2 °C, e isso interferiu de forma significativa no resultado do cálculo de consumo volumétrico, demonstrando assim que a gasolina Podium, foi a que obteve um menor consumo neste caso.

O mesmo ocorreu em relação a Nafta Super e a gasolina Grid, onde inicialmente a Grid possuía a maior quantidade de combustível consumida, e ao ser aplicada na fórmula de consumo volumétrico, conseguiu resultado praticamente igual com a Nafta Super.

Se analisarmos o IAD dos combustíveis do quadro 2, e compararmos com o resultado em km/l do quadro 3 e 4, nota-se que a “proporção” em relação de, quanto maior o número de octanagem menor será o consumo, não se manteve. Pode-se afirmar isso, observando que a diferença de IAD entre a Grid e a Nafta Super, foi quase semelhante entre a diferença de octanagem da Nafta Super e a V-Power Nitro+ Nafta.

Ao analisar as variáveis, pode-se admitir que no ensaio executado, a temperatura interferiu ligeiramente no consumo volumétrico, sendo que durante os testes o ambiente possa ter sofrido variação, e por consequência o combustível armazenado também.

Outro detalhe a se averiguar, é a distância percorrida, que é aferida em km e possui precisão de 100 metros. Sendo que por se tratar de um trajeto curto, valores inferiores a 100 metros podem interferir no resultado, apesar do procedimento ser feito de maneira semelhante com todos os combustíveis.

Entretanto, mesmo assumindo a pior hipótese de temperatura registrada e maior distância percorrida dentro da precisão do odômetro, para a gasolina Grid (que inicialmente foi a que mais consumiu), a mesma ainda ficaria com números de consumo expressivamente piores que a V-Power Nitro+ Nafta e Podium, ratificando assim que o aumento de octanagem melhora os números de consumo médio convencional e volumétrico neste motor ciclo Otto.

Por fim, para termos de comparação, baseado nos valores de consumo médio convencional do quadro 3, pode-se afirmar que a Shell V-Power Nitro+ Nafta (a menor

quantidade consumida) foi até 10,37% mais econômica que Grid (maior quantidade consumida). Já ao analisarmos o quadro 4, onde apresenta o consumo volumétrico, a gasolina Podium (obteve melhores resultados) foi até 20% mais econômica que a Nafta Super (que obteve o pior resultado).

#### 4.2 RESULTADOS DE DESEMPENHO

Os resultados de desempenho, foram obtidos através dos valores apresentados pelo software do dinamômetro, ao qual já executava a conversão de potência das rodas, para o motor. A seguir no quadro 5, os valores de potência e torque no motor.

Quadro 5 – Dados potência e torque

| <b>Tipos de combustíveis</b> | <b>Torque máximo em kgfm @ rpm</b> | <b>Potência máxima em cv @ rpm</b> |
|------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Grid                         | 16,99 @4500 rpm                    | 120,4 @6000rpm                     |
| Podium                       | 17,51 @4550rpm                     | 126,95 @6000rpm                    |
| Nafta Super                  | 17,21 @4450 rpm                    | 121,32 @5850rpm                    |
| V-power Nitro+ Nafta         | 17,80 @4450rpm                     | 128,08 @5950rpm                    |

Fonte: Autor (2018).

Nota-se valores bem expressivos em diferença de potência e torque, ao se comparar o mais alto e mais baixo combustível utilizado (V-Power Nitro+ Nafta e Grid).

Sabe-se que durante os testes, houve uma variação de umidade relativa, sendo a inicial registrada em 34% e a final em 29%, aferidos no software do dinamômetro. Sendo assim, uma pequena variação de temperatura ocorreu, mais precisamente aumentou desde o primeiro ao último teste. Porém a variação não seria grande suficiente, afim de justificar uma diferença de 7,68cv (aproximadamente 6%). O caso só poderia ser analisado e plausível, quando a diferença de potência for pequena ( $\geq 1$ cv) ou a diferença de temperatura for muito grande ( $\leq 10$  °C).

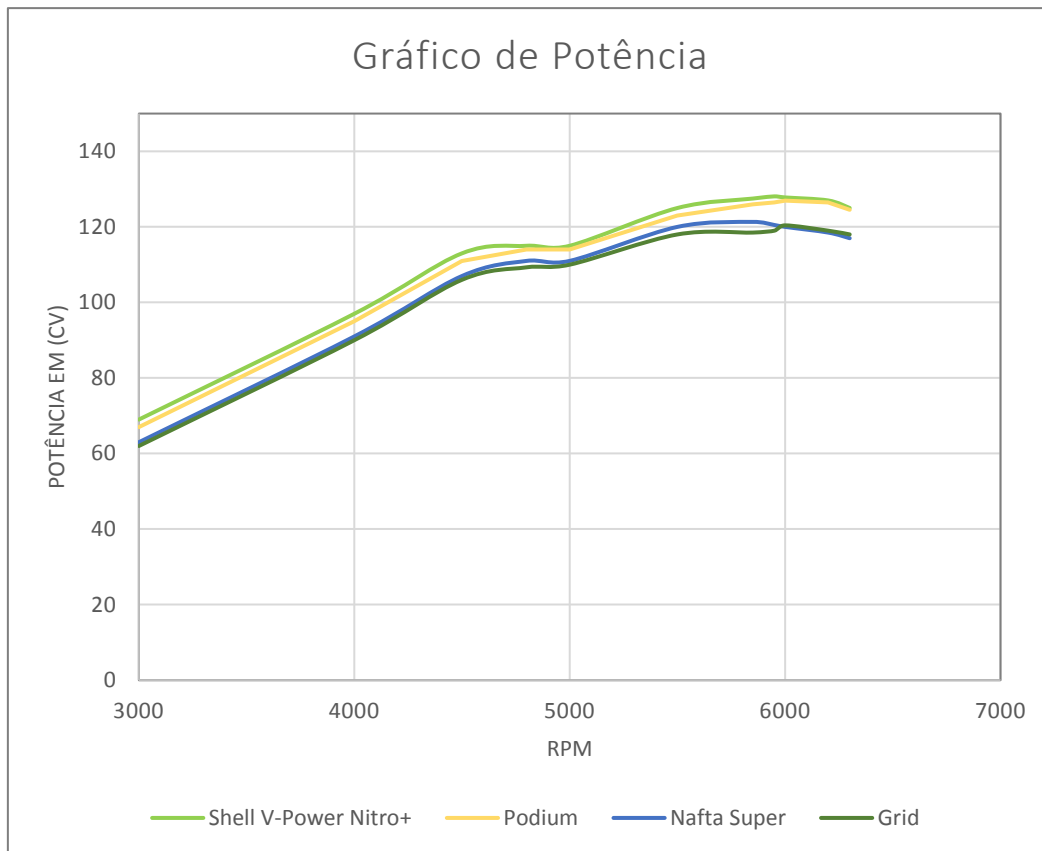
Pode-se dizer que os valores da Grid e Nafta Super foram aproximadamente iguais, o mesmo vale para a Shell V-Power Nitro+ e Podium. Pois nesses casos, onde a diferença de potência é mínima, pode-se agrupar variáveis como temperatura ambiente, temperatura do arrefecimento do motor, da entrada de ar do motor, ou seja, fatores esses que influenciam de forma detalhada, no resultado final de desempenho.

Contudo, os resultados se mostraram semelhantes ao teste de consumo, onde a proporção de variação de octanagem não se manteve com base nos resultados, porém os dois combustíveis com maior IAD, obtiveram os melhores números de potência e torque. É de grande destaque esclarecer que, mesmo em condições severas, como no teste de potência, o sistema de gerenciamento do motor, reconheceu as Naftas argentinas sem haver reações indesejadas no funcionamento do mesmo.

Vale salientar também que, mesmo no melhor resultado apresentado, a potência e torque do motor, aferiu um valor bem abaixo do divulgado pelo fabricante. Isso pode ocorrer por diversas variáveis com relação ao motor ciclo Otto, pois o mesmo possui uma quilometragem e tempo de uso, diferente de quando o fabricante disponibiliza os dados. Essas variáveis podem ser na alimentação de combustível, no sistema de ignição, no sistema de entrada de ar, no diferencial de pressão atmosférica, na precisão do dinamômetro ou até mesmo por algum defeito/desgaste mecânico. Porém, o mesmo não apresentava falhas, ou luz de anomalia no painel, indicando algum problema.

O gráfico 2 a seguir, foi transcrito com os valores da melhor condição de potência apresentada por cada combustível. Os valores mostram a curva de potência x rpm, onde de maneira mais clara, é possível ver a diferença entre os quatro combustíveis. A curva é a melhor maneira de avaliar o comportamento de potência e torque do motor do veículo, neste caso pode-se afirmar que o motor ciclo Otto utilizado no teste, é um motor “elástico”, onde a potência aparece e se mantém nos regimes de alta rotação, um dos principais fatores contribuintes para isto, é o cabeçote com 16 válvulas.

Gráfico 2 – Potência x rpm



Fonte: Autor (2018).

Analisando as curvas do gráfico, é presumível de que o aumento de potência em relação a diferente octanagem dos combustíveis, não é somente um “pico”, mas sim se estende por toda faixa de rpm de trabalho do motor.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A principal hipótese da pesquisa, foi que motores com baixa taxa de compressão, não sofrem alterações de potência e consumo em função do aumento da octanagem do combustível. Entretanto, motores com uma taxa de compressão maior, podem ser mais eficientes quando utilizados combustíveis com alto IAD.

Os fatores externos no momento do teste, puderam interferir em certa parte, sendo que a temperatura do combustível e distância percorrida, são diferenciais consideravelmente importantes no cálculo de consumo médio e volumétrico. Porém, os dois combustíveis com maior octanagem tiveram um consumo médio convencional e volumétrico, bem mais satisfatório, construindo assim uma ampla vantagem em relação aos combustíveis com menor IAD, e conseqüentemente descartando a possibilidade de que fatores externos poderiam inverter a ordem no âmbito dos resultados.

Na aferição de potência, as variáveis que portavam condições de interferir, eram de menor relevância. A temperatura ambiente, teve uma pequena variação com base na umidade relativa constatada, mas longe de ser o suficiente, para alterar a massa de ar admitida pelo veículo e intervir nos valores de potência e torque. Por fim, os resultados mantiveram o mesmo paradigma dos testes de consumo, onde os combustíveis com maior octanagem, tiveram uma ampla margem de superioridade.

Apesar dos diferenciais de octanagem dos combustíveis não manterem uma proporção nos resultados, no contexto geral, ficou evidente a hegemonia dos combustíveis com maior IAD, sendo que se tratando de consumo médio convencional a Shell V-Power Nitro+ Nafta foi cerca de 10,3 % mais econômica, e 6% mais potente em relação ao pior combustível (Grid), e a Petrobras Podium foi cerca de 9,4 % mais econômica e 5 % mais potente em relação ao mesmo combustível comparado.

Portanto, pode-se dizer que, o motor ciclo Otto utilizado na pesquisa, possui uma taxa de compressão intermediária, e um sistema de gerenciamento capaz de trabalhar com combustíveis de menor concentração de etanol, e se adequar com combustível de mais alto índice de octano, aos quais conseguiu atribuir uma condição ótima de funcionamento, e obter os melhores resultados.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, sugere-se efetuar uma análise do percentual exato de etanol do combustível Shell V-Power Nitro+ Nafta, e em seguida acrescentar etanol anidro até atingir a proporção de 27% para 73% de Nafta. Por fim, efetuar os testes de desempenho e consumo em um motor ciclo Otto com a Shell V-Power Nitro+ Nafta em sua formulação original, e realizar o mesmo procedimento após a adição do álcool anidro.

Sugere-se executar os testes em função do tempo e consequentemente distância, para calcular com precisão o consumo específico e posteriormente eficiência do motor.

Também pode-se efetuar modificações no motor ciclo Otto, para aumento da taxa de compressão (como rebaixar o cabeçote), e comparar resultados antes x depois.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Gasolina**, 2016. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/petroleo-derivados/155-combustiveis/1855-gasolina>>. Acesso em 07 out. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 1585**: Código de ensaio de motores – potência líquida efetiva. Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_. **NBR 6601**: Veículos rodoviários automotores leves – Determinação de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, dióxido de carbono e material particulado no gás de escapamento. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 7024**: Veículos rodoviários automotores leves – Medição de consumo de combustível – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2017.

BONAT, D. **Metodologia de pesquisa**. 3 ed. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2009.

BORTOLAIA, L. A. **Sistemas térmicos**. 1 ed. Ouro Preto: Módulo Engenharia Mecânica Universidade Federal de Ouro Preto, 2017.

BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna**. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2012.

BR QUÍMICA. **Benefícios dos aditivos para gasolina e diesel**, 2017. Disponível em: <<http://www.bradaptivos.com.br/home-2>>. Acesso em: 17 out. 2017.

CARVALHO, R. H. C. D. **Metodologia de cálculo de consumo de combustível e emissões de poluentes baseada em perfis de condução**. 2014. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica) – Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa.

CARVALHO, M. A. S. **Avaliação de um motor de combustão interna ciclo otto utilizando diferentes tipos de combustíveis**. 2011. Dissertação (Mestrado em engenharia Industrial) – Universidade Federal da Bahia, Salvador.

EMPRESA BRASILEIRA DE COMERCIALIZAÇÃO E TRANSPORTE DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E SEUS DERIVADOS - PETROBRAS. **Gasolinas automotivas**, 2015. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/produtos-e-servicos/produtos/automotivos/gasolina/>>. Acesso em: 01 out. 2017.

EMPRESA MULTINACIONAL DE PETRÓLEO E GÁS DOS ESTADOS UNIDOS - EXXONMOBIL. **História do grupo Exxon Mobil no Brasil**, 2017. Disponível em: <<http://corporate.exxonmobil.com/en/company/worldwide-operations/locations/brazil/about/overview>>. Acesso em: 04 out. 2017.

EMPRESA MULTINACIONAL PETROLÍFERA ANGLO-HOLANDESA - SHELL. **Commercial fuels**, 2012. Disponível em: <<https://www.shell.com.ar/empresas/commercial-fuels.html>>. Acesso em: 03 abr. 2018.

ESTATAL ARGENTINA DEDICADA A EXPORTAÇÃO, REFINO E VENDA DO PETRÓLEO E SEUS PRODUTOS DERIVADOS - YPF. **Combustíveis**, 2017. Disponível em: <<http://www.ypf.com/productosyservicios/Paginas/Estaciones-de-servicio-combustibles.aspx>>. Acesso em: 23 out. 2017.

FRASSON SCAFI, S. H. **Sistema de monitoramento em tempo real de destilações de petróleo e derivados empregando a espectroscopia no infravermelho próximo**. 2005. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de Campinas, Campinas.

GUANABARA KELLER GESTEIRA, L. G. **Sistema de aquisição de dados baseado em labview para um dinamômetro de chassi**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade Federal da Bahia, Salvador.

GUIMARÃES, M. B. **Aditivos utilizados na gasolina e óleo diesel**. 2009. Dissertação (Pós-Graduação em Química Analítica) – Universidade Federal do Maranhão, São Luiz.

MARTINS, J. **Motores de combustão interna**. 2 ed. Porto: Publindústrias, edições técnicas, 2006.

MORAES, J. E. B. **Módulo experimental para determinação da octanagem dos combustíveis**. 2003. Dissertação (Pós-Graduação em engenharia mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SANÇA, R. L. R. **Fatores inibidores do uso de técnicas ambientais nos postos de combustíveis**. 2006. Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia em produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

SCHULZ, D. Programa de pós-graduação em ensino de física - UFRGS **Ciclo Otto**, 2009. Disponível em: <[https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/ciclo\\_otto.htm](https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/ciclo_otto.htm)>. Acessado em: 24 out. 2017.

SOUZA, D. C. **Sensor capacitivo para monitoramento do teor de álcool etílico anidro combustível (AEAC) em amostras de gasolina comercial**. 2013. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Maranhão, São Luiz.

TILLMAN, C. A. C. **Motores a combustão interna e seus sistemas**. 1 ed. Pelotas: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense, 2013.

VILAS, T. G. **Identificação de componentes de frações de petróleo através de massas moleculares para formação de modelo moleculares**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

VOSNIAK TAKESHITA, E. **Adulteração de gasolina por adição de solventes: Análise dos parâmetros Físico-Químicos**. 2006. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ZOUAIN, R. N. A. **Sistemas de produção, refino e transporte de petróleo**, 2017. Disponível em: <[http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/492\\_aula\\_2\\_p\\_1\\_prof\\_ayup\\_03\\_12.pdf](http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/492_aula_2_p_1_prof_ayup_03_12.pdf)>. Acesso em: 02 out. 2017.