

## ESTUDO COMPARATIVO ENTRE MEDIDORES DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM UM DINAMÔMETRO AUTOMOTIVO

Pedro Bancillon Ventin Muniz<sup>1</sup>, Júlio Câmara<sup>1</sup>, Mauricio Bonifati<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Tecnologia Senai Cimatec, 41650-010, Salvador, BA, Brasil

E-mails: [Pedro.muniz@fieb.org.br](mailto:Pedro.muniz@fieb.org.br) , [jcamara@fieb.org.br](mailto:jcamara@fieb.org.br), [mauricio.bonifati@fieb.org.br](mailto:mauricio.bonifati@fieb.org.br)

### RESUMO

*Devido ao aumento do uso de inovação tecnológica no desenvolvimento dos novos motores, o número de ensaios realizados em dinamômetros tem aumentado de forma equivalente, isto porque o uso deste tipo de laboratório é mandatório para o desenvolvimento de um novo motor. Durante os testes em dinamômetros, diversas informações são levantadas para averiguação e estudos de pesquisadores e técnicos especialistas. O equipamento utilizado em um laboratório de dinamômetros deve possuir o menor erro de medição possível para que os resultados sejam confiáveis, dessa forma a averiguação e comparação entre medidores de consumo de combustível é um importante ponto na manutenção da qualidade de um dos ensaios realizados em dinamômetro. Atualmente, existem diversos tipos de medidores de consumo de combustível, os estudados neste trabalho são os medidores do tipo Coriolis e do tipo Balança Gravimétrica. Os ensaios realizados consistiram na extração de 3 curvas de consumo de combustível de cada um dos tipos de medidores e na comparação dos mesmos, percebendo que o medidor Balança Gravimétrica apresentou resultados seguros e satisfatórios.*

**Palavras-Chave:** Balança Gravimétrica; Coriolis; Medidor de Combustível em Dinamômetro.

### ABSTRACT

*Due to the increased use of technological innovation in the development of new engines, the number of trials in dynamometers have increased equivalently, this is because the use of this type of laboratory is mandatory for the development of a new engine. During the tests on dynamometers, various information is collected for investigation and studies of researchers and technical experts. The equipment used on a dynamometer lab must have the lowest possible measurement error for the results to be reliable, that way the investigation and comparison of fuel consumption meters is an important point in maintaining the quality of the trials in dynamometer. Currently, there are various types of fuel consumption meters, studied in this work are the meters of the Coriolis type and the type Balance Gravimetric. The performed tests consisted in extraction three fuel consumption curves for each of the types of meters and comparison of the same, realizing the Gravimetric measuring scale safe and showed satisfactory results.*

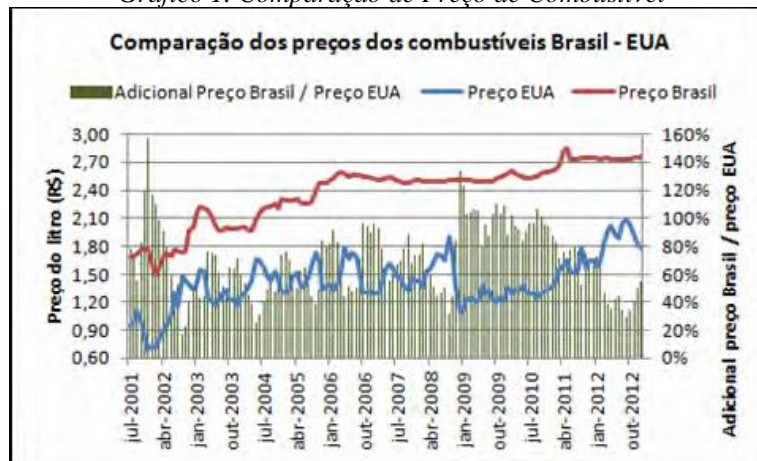
**Key Word:** Gravimetric Balance; Coriolis; Fuel Gauge Dynamometer.

## 1. INTRODUÇÃO

O mercado mundial de automóveis tem experimentado um crescimento constante na demanda e oferta de modelos. Os volumes de produção, mesmo com as recentes crises de 2008 e 2012, têm sido incrementados notadamente em países emergentes, como Brasil, China e Rússia [1]. Antes de oferecer seus veículos ao mercado consumidor, as montadoras necessitam validar os seus produtos e uma parte destes produtos é o motor de combustão interna. Para a validação, é necessário efetuar testes em bancadas de dinamômetros avaliando, principalmente, o consumo em relação ao desempenho do veículo.

Neste cenário, e considerando a contínua busca por uma diferenciação em um ambiente de alta competitividade as fábricas de automóveis passaram a investir em equipamentos com maior capacidade de determinar com clareza e precisão os parâmetros de funcionamento de um motor de combustão interna. O monitoramento destes parâmetros permite assegurar que o motor desenvolvido atenda as necessidades de durabilidade, desempenho, emissões de poluentes e consumo de combustível. De acordo com o aumento do preço do combustível nos últimos anos (ver gráfico 1), o mercado mundial tem optado pela compra de automóveis mais econômicos.

Gráfico 1. Comparação de Preço de Combustível



Fonte: Anuário de Preços 2014 ANP

Desta forma, é necessário que os testes de consumo proporcionem os resultados verdadeiros para os engenheiros e a escolha do tipo de equipamento utilizado não comprometa os resultados dos ensaios. Atualmente existem diversos modelos de medidores de consumo em um dinamômetro: Medidor de Fluxo Volumétrico, Medidor de Vazão Tipo Turbina, Medidor Tipo Rotâmetro, Medidor de Fluxo Tipo Turbina, Medidor de Fluxo Tipo Palheta, Medidor de Fluxo Tipo Engrenagem e Medidor de Fluxo em Massa. Os que possuem larga utilização industrial, e são abordados neste artigo, são os Medidores de Fluxo em Massa do Tipo Balança Gravimétrica e Coriolis. Estes apresentam grande capacidade de medição, mesmo em intervalos de tempo curtos, bem como confiabilidade nos dados extraídos, porém a diferença de custo entre os medidores estudados é de aproximadamente 300%.

## 2. METODOLOGIA

O teste foi desenvolvido em um único motor de combustão interna ciclo Otto, 1600 cm<sup>3</sup> de cilindrada e 16 válvulas, em que foi submetido à obtenção da curva de desempenho em um teste estático utilizando gasolina tipo C. Estas curvas de desempenho demonstraram informações como torque, potência, consumo específico e rotações por minuto. O estudo foi baseado em informações contidas nos descritivos dos equipamentos de medição de combustível do tipo Balança Gravimétrica - modelo 733S e Medidor de combustível Coriolis – modelo 735S, além de testes realizados em um laboratório de Dinamômetros de Motores no SENAI CIMATEC. Estes equipamentos utilizados encontravam-se calibrados e em funcionamento de acordo com a NBR 1585.

Durante este teste, foram extraídas 3 curvas de desempenho em cada um dos medidores. Após esta etapa, foi gerada uma curva média de cada um dos medidores, afim de compararmos o valor obtido e assegurarmos a informação contida nos manuais e descritivos técnicos dos equipamentos.

## 3. EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA AUTOMOTIVA

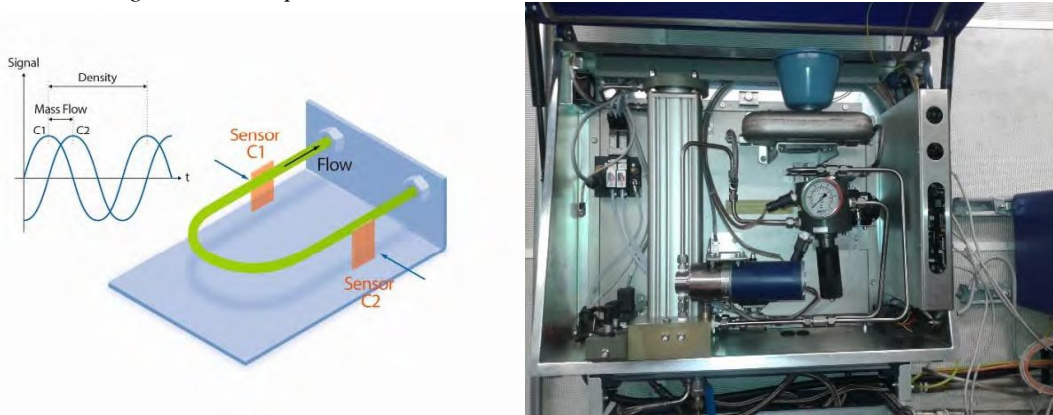
A indústria automotiva evolui com o passar das décadas, fato este que culminou num maior aperfeiçoamento dos elementos e componentes que funcionam em um automóvel. Uma das maiores preocupações foi com o motor de combustão interna, pois o equipamento passou por avanços para ser vendido em diversos países. Um fator que permitiu o avanço destas máquinas foram os testes realizados em dinamômetros de motores. Estas máquinas funcionam como um freio acoplado ao motor em teste e afere, utilizando uma célula de carga, a força gerada em diferentes rotações [2]. O resultado do produto entre a força e a velocidade de rotação determina a potência do motor. Existem diversos tipos de dinamômetros para motores: Inercial, Hidráulico tipo Froude, Hidráulico Tipo Enchimento Variável, Hidráulico Tipo de Disco, Corrente Contínua, Corrente Alternada, Corrente de Foucault e Fricção. Estes diferentes tipos de dinamômetros possuem características distintas como investimento, velocidade de obtenção nos dados, controle e precisão, porém o mais utilizado é o Corrente de Foucault [3], pois é robusto, possui rápida resposta com um fácil controle eletrônico, além de apresentar baixa inércia. O dinamômetro consegue executar alguns tipos de testes, os mais comuns são divididos em testes estáticos e testes dinâmicos ou transientes. Esta definição é proveniente da característica de resposta na absorção de dados de cada um dos testes. No funcionamento do motor, existem pequenas faixas de ciclos que podem interferir no seu desempenho ideal, porém, estas faixas cíclicas possuem um intervalo de tempo muito limitado, o que as torna de difícil determinação.

A depender do teste realizado em um dinamômetro, e, principalmente, do objetivo estudado com aquele experimento, pode-se optar por verificar o comportamento destes ciclos ou não. Um teste é tido estático no momento em que o motor é levado a uma condição de trabalho em que esta fase se mantém entre 100ms e 5s [3]. Durante este período de tempo, uma medição é realizada e, a cada período determinado neste intervalo, ocorrem outras medições. No final, os

dados são apresentados de forma a calcular a média de diversos pontos no intervalo de tempo de todo o teste. O teste dinâmico é quando ocorrem medições com um intervalo de tempo curto, variações na faixa de 2ms a 50ms [3]. Comumente, a variação entre 50ms é a mais praticada, tendo em vista que medições com intervalo de tempo menor não surtem efeitos técnicos valiosos para estudos em motores. A execução em testes de motores em dinamômetros proporciona a extração de dados como torque, rotação, potência, temperaturas de: óleo lubrificante, água do sistema de arrefecimento, gases de admissão e escape. Para a execução de testes em dinamômetros, é importante o fornecimento de insumos como: água, óleo, ar, gases da exaustão e combustível. O fornecimento do combustível é de vital importância para um laboratório de dinamômetro, pois é a partir desta informação, que será realizada a curva de consumo de um motor, ou seja, a quantidade de combustível consumido durante o tempo de teste do equipamento. Para a medição do combustível comumente são utilizadas duas tecnologias de medição, a balança gravimétrica de combustível e o medidor Coriolis.

O princípio de medição do medidor Coriolis (ver figura 2) consiste em o combustível passar através de um tubo em forma de U, que vibra com a sua frequência natural. Esta frequência é proporcional à densidade do combustível, o que, além do fluxo de massa, é uma variável medida separada e, assim, permite a produção de valores de medição volumétrica. O intervalo de tempo da frequência de vibração C1 a C2 é proporcional ao fluxo de massa.

Figura 2. Princípio de Funcionamento do Medidor de Combustível Coriolis



Fonte: AVL

O princípio de medição de combustível da Balança gravimétrica (ver figura 3) é realizado a partir de um recipiente de medição continuamente ponderada com todas as propriedades do reservatório do veículo. A detecção do peso do combustível é implementada com um sensor de deslocamento capacitivo, que está conectado ao recipiente de medição por meio de um feixe (ver figura 4). Um peso de calibração é usado para realizar o teste de precisão e procedimentos de calibração. A calibração é executada de uma forma totalmente automática em poucos minutos e é integrada por padrão na balança de combustível.

Figura 3. Princípio de Funcionamento do Medidor de Combustível Balança Gravimétrica

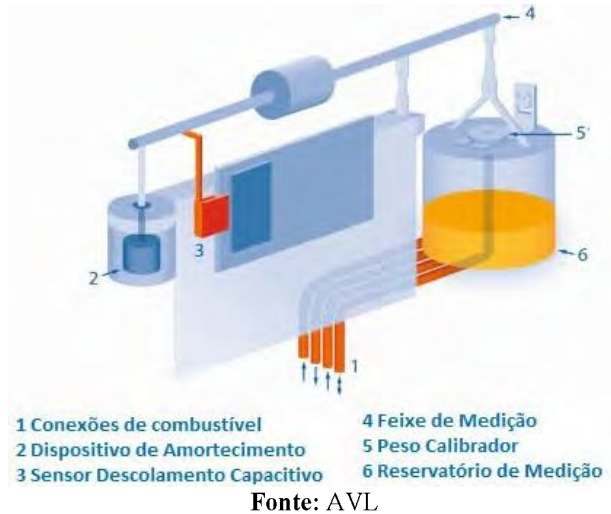


Figura 4. Medidor de Combustível Balança Gravimétrica



Fonte: Fonte Própria

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo como base o estudo comparativo utilizando os manuais de especificação dos equipamentos de medição, observou-se que os mesmos possuem características semelhantes no que diz respeito ao erro de medição, porém, a sua maior diferença está na velocidade com que as balanças conseguem efetuar as medições. O medidor do tipo Coriolis suporta os tipos de testes dinâmicos e estáticos, já que a frequência de um teste dinâmico é de até 20Hz. O medidor do tipo Balança gravimétrica não consegue acompanhar os resultados de um teste totalmente dinâmico, pois a frequência limite de sua medição é 10Hz. Em razão destas informações, foi gerado um experimento em que foi comparado o resultado para um teste estático nos dois medidores, possibilitando aos técnicos em laboratório uma confiança na



utilização de qualquer medidor para testes estáticos. A seguir são apresentadas as especificações técnicas dos equipamentos extraídos do fabricante (ver tabela 1):

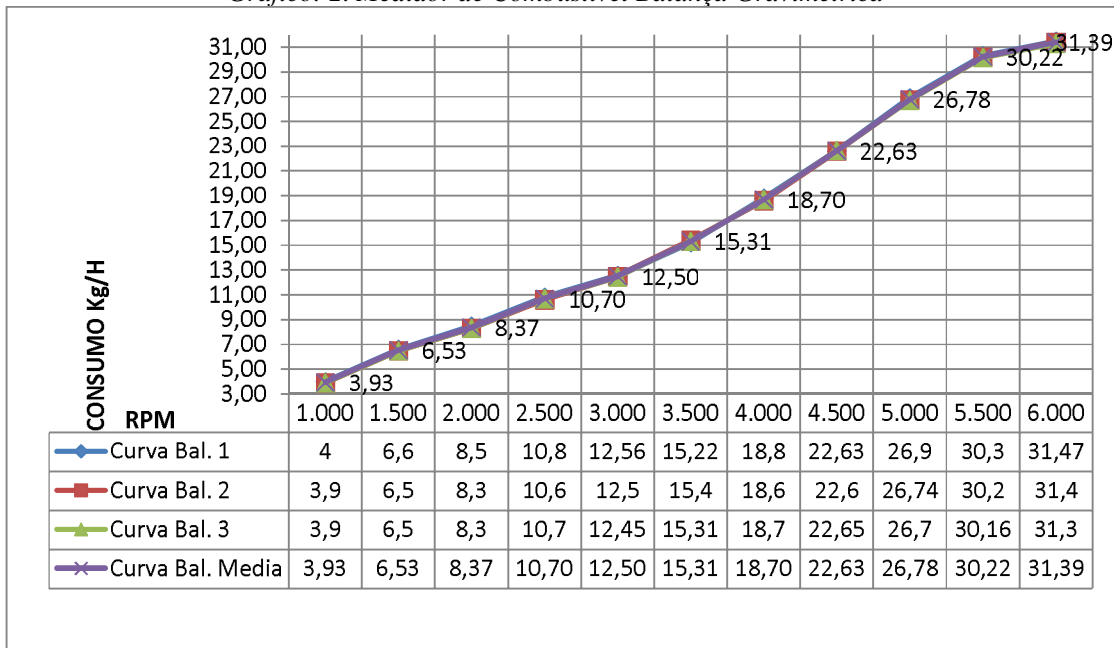
Tabela 3 - Comparativo entre Medidores de Combustível

Informações	Medidor Coriolis – 735S	Medidor Balança Gravimétrica - 733S
Faixa de medição recomendada	0 ... 125 kg/h; 0 ... 165 l/h (a 0,75 g/cm <sup>3</sup> )	0 ... 150 kg/h
Incerteza de medição sistemática	Us = 0,12%	Us = 0,12%
Incerteza de medição Densidade	≤ 0,0005 g/cm <sup>3</sup>	Não informado
Máxima frequência de medição	20 Hz (saída analógica)	10 Hz
Número de medições (média de execução)	1 ... 99	1 ... 99

Fonte: AVL

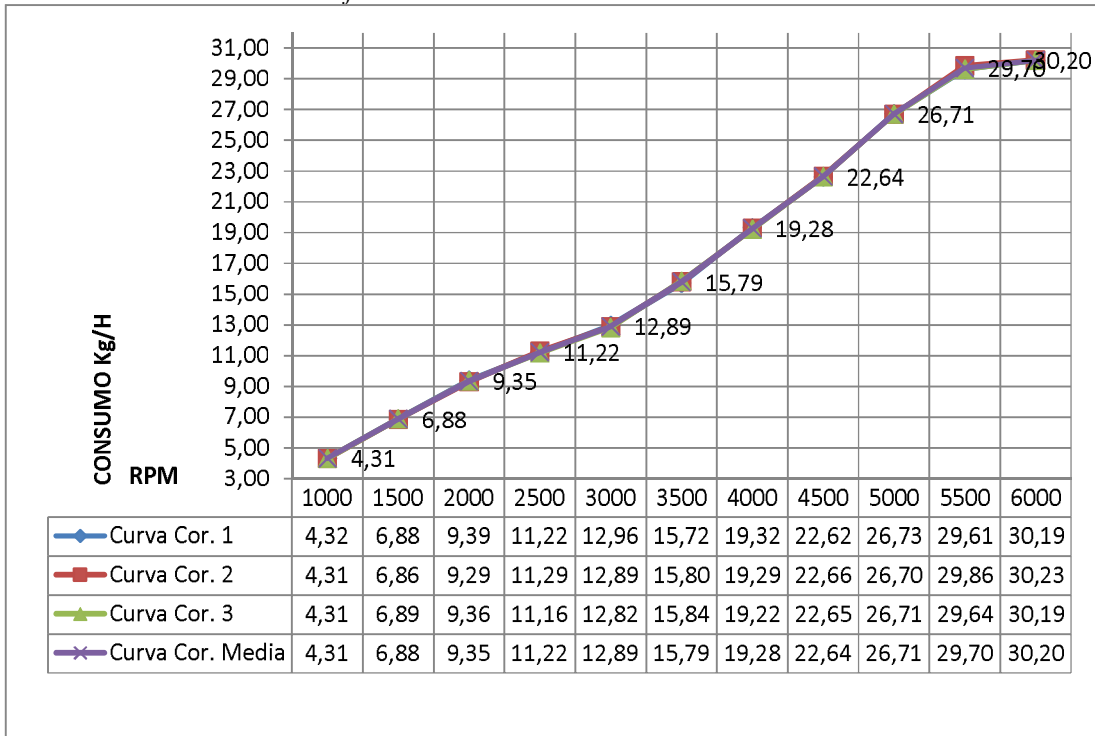
Após a avaliação dos manuais, foram realizados os ensaios na sala de dinamômetro. Foram geradas 3 curvas de consumo no medidor Balança Gravimétrica e calculada uma curva com a média dos 3 valores (ver gráfico 2). O resultado obtido neste teste foi o seguinte:

Gráfico: 2. Medidor de Combustível Balança Gravimétrica



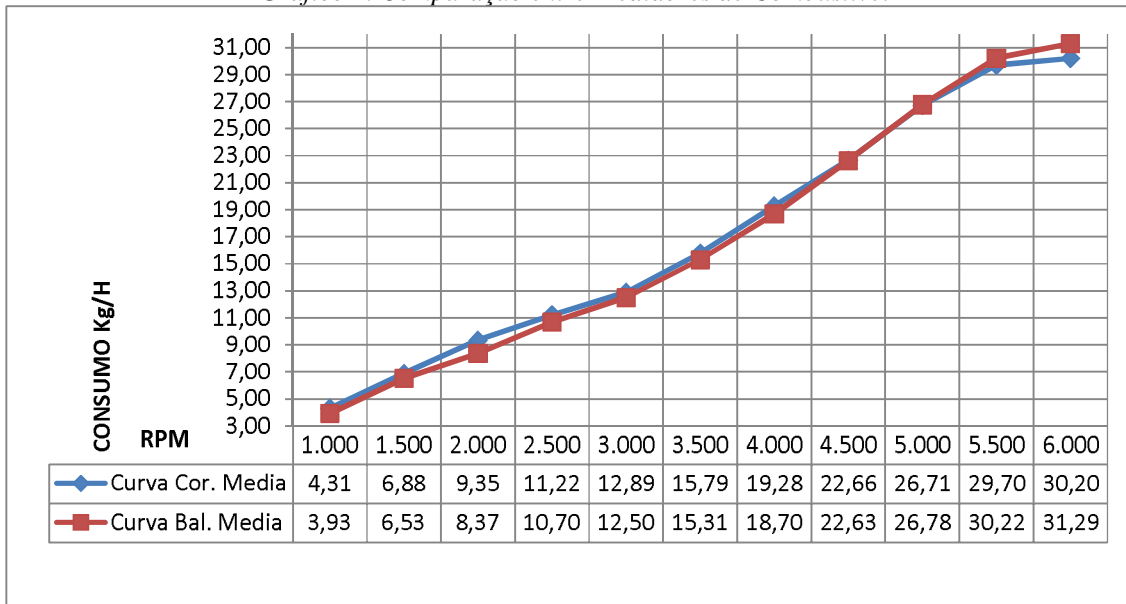
Após este teste em na balança gravimétrica, o equipamento de medição foi substituído por um medidor Coriolis, utilizando o mesmo método anterior, obteve-se o seguinte resultado (ver gráfico 3):

Gráfico 3. Medidor de Combustível Coriolis



Sendo assim, comparamos os valores médios das duas balanças (ver gráfico 4):

Gráfico 4. Comparação entre Medidores de Combustível



Realizando avaliações estatísticas, o desvio padrão de uma amostra é utilizado para determinar a variação ou dispersão estatística entre valores, de modo que um baixo desvio

V WORKSHOP DE PESQUISA TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (PTI)

I SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA (SIINTEC)

10 e 11 de setembro de 2015 / Salvador, Bahia, Brasil

padrão determina que os valores em questão estejam próximos da média. Para a utilização nestas tabelas, calcula-se o desvio padrão das três curvas para cada um dos medidores. Isso gerou um valor de desvio padrão de cada curva. Após isso, foi calculado o desvio padrão entre as médias das curvas, onde os resultados são apresentados na Tabela 2.

Entende-se que os pontos no gráfico são estatisticamente iguais caso o desvio padrão das curvas dos medidores sejam menores que o desvio padrão das médias. Dessa forma, analisando detalhadamente os pontos em questão, é possível perceber que o desvio padrão da curva média nos pontos de 4500, 5000 e 5500 RPM possuem variações que não compreendem os desvios padrões das curvas dos medidores. Neste caso, foi levado em consideração que os cálculos mencionados foram gerados a partir da ferramenta de Estatística Descritiva do Excel, sendo que o grau de confiabilidade para as operações matemáticas são de 95%. A maior variação de divergência está no ponto 5000 RPM entre os valores de desvio padrão da curva média e medidor de Balança Gravimétrica. Esta diferença vale 0,353119%, podendo assumir que o valor é aceitável devido às prerrogativas do cálculo.

Tabela 4. Desvio Padrão entre Medidores

	Medidor de Combustível Coriolis		Medidor de Combustível Balança Gravimétrica		Média entre Balanças	
<i>1000 RPM</i>						
Média	4,3133		3,9333		4,1233	
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,0058</b>		<b>0,0577</b>		<b>0,2687</b>	
<b>INTERVALO</b>	4,3076	4,3191	3,8756	3,9911	3,8546	4,3920
<i>1500 RPM</i>						
Média	6,8767		6,5333		6,7050	
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,0153</b>		<b>0,0577</b>		<b>0,2428</b>	
<b>INTERVALO</b>	6,8614	6,8919	6,4756	6,5911	6,4622	6,9478
<i>2000 RPM</i>						
Média	9,3467		8,3667		8,8567	
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,0513</b>		<b>0,1155</b>		<b>0,6458</b>	
<b>INTERVALO</b>	9,2954	9,3980	8,2512	8,4822	8,2109	9,5025
<i>2500 RPM</i>						
Média	11,2233		10,7000		10,9617	
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,0651</b>		<b>0,1000</b>		<b>0,3701</b>	
<b>INTERVALO</b>	11,1583	11,2884	10,6000	10,8000	10,5916	11,3317
<i>3000 RPM</i>						
Média	12,8952		12,5521		12,7237	
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,0700</b>		<b>0,0551</b>		<b>0,2734</b>	
<b>INTERVALO</b>	12,8252	12,9652	12,4970	12,6072	12,4502	12,9971
<i>3500 RPM</i>						
Média	15,7985		15,3120		15,5553	
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,0611</b>		<b>0,0090</b>		<b>0,3371</b>	
<b>INTERVALO</b>	15,7374	15,8596	15,3030	15,3210	15,2182	15,8923
<i>4000 RPM</i>						



V WORKSHOP DE PESQUISA TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (PTI)

I SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA (SIINTEC)

10 e 11 de setembro de 2015 / Salvador, Bahia, Brasil

Média	19,2854		18,7086		18,9970
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,0513</b>		<b>0,1000</b>		<b>0,4078</b>
<b>INTERVALO</b>	19,2341	19,3367	18,6086	18,8086	18,5892 19,4048
<i>4500 RPM</i>					
Média	22,6642		22,6321		22,6482
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,0058</b>		<b>0,0252</b>		<b>0,0212</b>
<b>INTERVALO</b>	22,6584	22,6700	22,6069	22,6573	22,6269 22,6694
<i>5000 RPM</i>					
Média	26,7133		26,7852		26,7493
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,0153</b>		<b>0,1058</b>		<b>0,0471</b>
<b>INTERVALO</b>	26,6981	26,7286	26,6794	26,8910	26,7021 26,7964
<i>5500 RPM</i>					
Média	29,6985		30,2239		29,9612
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,1365</b>		<b>0,0721</b>		<b>0,3653</b>
<b>INTERVALO</b>	29,5620	29,8350	30,1518	30,2960	29,5959 30,3265
<i>6000 RPM</i>					
Média	30,2028		31,3899		30,7964
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,0231</b>		<b>0,0854</b>		<b>0,8391</b>
<b>INTERVALO</b>	30,1797	30,2259	31,3045	31,4753	29,9573 31,6355

Analisando o teste dinâmico, observa-se por meio da tabela 3, extraída de um banco de dados do laboratório, que a frequência de oscilações do teste está em 10 Hz. Este valor condiz com o limite de medição da balança gravimétrica, por onde se consegue perceber variações mostradas no gráfico de consumo por rotação. Porém, quando utiliza-se uma frequência superior a 10Hz, a balança não possui condições de exercer a medição dos valores testados.

Tabela 5. Teste Dinâmico em Dinamômetro

Tempo	Rotação	Torque	Consumo
S	RPM	Nm	Kg/h
0,1	891	-13,73	1,21
0,2	955	-9,91	1,21
0,3	1029	31,63	1,21
0,4	1109	53,74	1,21
0,5	1213	98,83	1,21
0,6	1300	106,66	1,21
0,7	1382	116,26	1,21
0,8	1454	126,98	1,21
0,9	1519	134,33	1,21
1	1578	126,40	1,21

## 6. CONCLUSÃO

A cada ano surgem novas tecnologias e aparatos que permitem a evolução de máquinas existentes e/ou criação de novos equipamentos. Este rápido incremento tecnológico tem feito com que as fábricas busquem laboratórios capacitados para realizarem testes em motores, os laboratórios dinamômetros. Em um laboratório de dinamômetros, a medição de combustível mostrou-se estatisticamente igual para os dois tipos de equipamentos de medição de combustível utilizados: Coriolis e Balança Gravimétrica. Enquanto um teste estático for realizado, é possível a escolha por parte do requisitante ou do técnico responsável, de qualquer um dos tipos de medidor, tendo em vista que estes não influenciam no produto final e extração de dados.

Caso o laboratório seja especializado em testes estáticos como: curva de desempenho e durabilidade de motores, não se faz necessário à aquisição de um medidor do tipo Coriolis. Fato este que foi comprovado por meio dos estudos apresentados a favor do sistema gravimétrico. Contudo, para a realização de um teste dinâmico, o medidor do tipo Coriolis torna-se fundamental, pois é o que possui capacidade de medição de frequência dos dados de saída do dinamômetro até 20 Hz, diferente da Balança Gravimétrica onde o limite de medição é 10 Hz.

## 7. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos aos técnicos do laboratório de Dinamômetros da área automotiva, em especial ao Sr. Adriano Isao e ao co-orientador Mauricio Bonifati, pela disponibilidade de equipamentos, motores e pela presteza em responder questionamentos.

Agradecimentos também ao Sr. Msc. Leonardo Sanches pelas contribuições acerca de análise estatísticas, e ao orientador Sr. Msc. Júlio Câmara pelas valiosas contribuições sobre funcionamento e estudos paralelos referentes ao dinamômetro.

## 8. REFERÊNCIAS

<sup>1</sup>Sítio da OICA - Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles. Anuário estatístico. Disponível em: <<http://www.oica.net>>. Acessado em 10/07/2014.

<sup>2</sup>MARTINS, Jorge. Motores de Combustão Interna, Segunda Edição, Editora Publindustria, **2004**.

<sup>3</sup>MARTYR, A. J. e PLINT, M. A. Engine Testing, Terceira Edição, Editora BH, **2007**.

<sup>4</sup>CÂMARA, Júlio Cesar Chaves. Desenvolvimento Tecnológico dos Automóveis: Aplicação de Dispositivos Eletrônicos de Diagnóstico Automotivo na Área de Educação. SENAI CIMATEC, **2014**.

<sup>5</sup>AVL – Consumption Measurement. Acessado em 12/07/2015. [www.avl.com/consumption-measurement1](http://www.avl.com/consumption-measurement1)

<sup>6</sup>ANP – Agência Nacional de Petróleo. Boletim Anual de Preços, **2014**.