

# Instrumentação Veicular para Testes de Emissões – Avaliação de um Servo-Freio Eletromecânico no Sistema de Frenagem Automotivo

**Bruno Romão**  
**Emerson Batagini**  
**Martin Leder**  
 Robert Bosch Ltda.

E-mails: external.Bruno.Romao@br.bosch.com, Emerson.Batagini@br.bosch.com, Martin.Leder@br.bosch.com

## ABSTRACT

There are many studies for reducing fuel consumption and vehicles emissions as weight decrease of components as well as implementation of innovative, environmentally friendly technologies, as the usage of electromechanical brake booster vacuum-independent in braking system. It is essential to validate new technologies by collecting data on vehicles with precision and consistency. Test analysis can be done completely and significantly only if there is repeatability and accuracy in data collection. The proposal of this paper is to present the vehicle instrumentation for emission tests in the evaluation of the reduction of fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions with the application of an electromechanical brake booster. The vehicle instrumentation enabled data collection: vehicle dynamics from CAN network, electrical system by vehicle battery, generator, and the product under investigation and, fuel consumption through a mass flow meter. The results showed reduction of fuel consumption and emissions without impacts neither electrical system nor vehicle performance.

## INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização Meteorológica Mundial, os níveis de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) subiram para 413,2 partes por milhão em 2020. Apesar de ter ocorrido uma queda temporária dos índices durante os lockdowns causados pela pandemia de Covid-19, os resultados indicam um aumento maior do que a taxa média na última década. A taxa atual de aumento dos gases tem impacto direto no aquecimento global. Com a taxa atual os aumentos de temperatura estariam superiores à meta do Acordo de Paris que é de 1,5 graus Celsius acima da média pré-industrial para 2030 [1].

Atualmente, a China é o maior emissor mundial de CO<sub>2</sub>, em seguida estão Estados Unidos, UE, Índia, Rússia e Japão. No entanto, países do hemisfério sul, como o Brasil, também podem causar impacto significativo. Conforme figura 1, é possível identificar que as emissões combinadas

do restante do mundo superam a emissão de CO<sub>2</sub> da China [2].

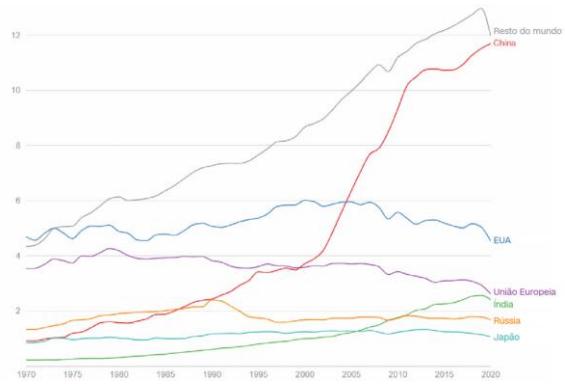


Figura 1. Emissões de CO<sub>2</sub> de combustíveis fósseis, em bilhões de toneladas métricas. Fonte: [2].

Além de afetar drasticamente a temperatura global, a poluição do ar compromete a saúde e qualidade de vida das populações e é um dos maiores problemas ambientais. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), são estimadas mais de 4 milhões de vidas ceifadas prematuramente devido a poluição do ar.

As emissões do modal rodoviário incluindo automóveis, ônibus, caminhões e motocicletas, são as principais fontes de poluição nas regiões metropolitanas. São várias substâncias tóxicas que compõem essas emissões e por isso causam efeitos na saúde. Dentre os gases emitidos estão: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), hidrocarbonetos (HC), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), entre outros [3].

Deste modo, é indispensável o desenvolvimento de políticas que controlem as emissões veiculares, como existente no Brasil: o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve). Um dos objetivos do Proconve é a promoção do desenvolvimento tecnológico nacional, com foco na engenharia automobilística e especificamente em métodos e

equipamentos para ensaios e medições da emissão de poluentes [4]. Tendo isto em vista, este trabalho apresenta a instrumentação veicular em ensaios de emissões. São descritos os equipamentos utilizados para medição de consumo de combustível do veículo assim como variáveis de dinâmica veicular, o que possibilita a análise da emissão de poluentes ao longo dos testes e o desenvolvimento de métodos para medições em ensaios de emissões veiculares.

### **PROGRAMA DE CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR POR VEÍCULOS AUTOMOTORES (PROCONVE)**

Entre as décadas de 1970 e 1980, não era realizado nenhum tipo de controle de emissões veiculares ou pós-tratamento no Brasil. Em meados da primeira década de 1980, foram inicialmente implantados laboratórios pelas próprias indústrias de motores e montadoras de veículos, as quais operavam de forma autônoma seus laboratórios. Somente em 1986 que foi publicada a Resolução nº.18 pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a qual estabelecia uma política de controle de emissões de longo prazo, definida por fases, de modo a permitir que os segmentos públicos e privados contassem com o tempo para tomar as ações devidas para redução das emissões. Com isso, estava criado o Proconve [4].

Os objetivos do Proconve, descritos na resolução do CONAMA 18/1986, não estavam exclusivamente direcionados em redução de emissão de poluentes, também estavam alinhados ao incentivo do desenvolvimento tecnológico assim como a melhora da qualidade dos combustíveis. Além disso, visavam a conscientização da população em relação a poluição do ar e a criação de programas voltados a inspeção e manutenção dos veículos utilizados [4].

A lei 8.723, de 28 de outubro de 1993, reforçou as definições da resolução do CONAMA. Nesta lei foi determinada a redução dos níveis de emissão de monóxido de carbono, óxido de nitrogênio, hidrocarbonetos, álcoois, aldeídos, fuligem, material particulado e outros compostos poluentes derivados de veículos comercializados no Brasil [5]. Para atingir a redução dos níveis de emissões de poluentes foram definidos padrões de emissão para diferentes tipos de veículos. Os veículos leves (L) representavam os automóveis de passageiros e veículos leves comerciais e os veículos pesados (P) continham o grupo de caminhões e ônibus. Os padrões se tornaram cada vez mais restritos ao longo do tempo, denominados “fases do Proconve”. A introdução das fases foi realizada em intervalo de tempos irregulares tanto a emissões de veículos leves como a emissões de veículos pesados. Em 2002, o programa de controle das emissões das motocicletas e veículos similares (Promot) foi introduzido pelo fato desta categoria começar a ser representativa no quesito de emissões de poluentes. Além disso, em 2011, foi

implementado o controle de emissão de máquinas agrícolas e rodoviárias no âmbito do Proconve. Desta forma, para esta categoria começou a valer a exigência do processo de homologação e limites específicos de emissão de poluentes e ruído [4].

Foram várias evoluções tecnológicas ao longo dos últimos 30 anos como: a substituição do carburador pela injeção eletrônica para atender as fases L2 e L3 do Proconve, utilização do catalisador para tratamento dos gases de exaustão, uma série de alterações nas especificações dos combustíveis de aplicação veicular, entre outras [4]. São notáveis os resultados atingidos pelo Proconve/Promot, as implementações reduziram em 98% a emissão de poluentes de veículos. Atualmente, a emissão de CO está em torno de 0,4 g/km para veículos leves, antes dos programas a emissão média era em torno de 54 g/km [5].

A partir de janeiro de 2022 começam a valer as novas fases do Pronconve L7 e P8, seguindo as resoluções 490 e 492 publicadas pelo CONAMA em 2018. O Proconve L7 traz limitações mais restritivas a emissão de poluentes nos veículos leves, com a exigência de níveis menores de gases do escapamento e a consideração de emissões de hidrocarbonetos, aldeídos e do etanol, os quais serão adicionais aos valores de NO<sub>x</sub>. Em questão a durabilidade dos catalisadores a exigência é dobrada, de 80 mil para 160 mil quilômetros. Assim como outras mudanças significativas que afetam diretamente projetos de motores mais antigos, como o caso de emissões evaporativas, as quais levam em conta o vapor tóxico liberado pelo tanque de combustível. O limite será diminuído de 1,5 grama, em testes laboratoriais, para 0,5 g por dia, impondo uma maior capacidade do filtro de carvão (canister) [6]. A partir de 2025 será implementada a nova fase L8, a qual propõe uma mudança metodológica para aprovação nos processos de licenciamento. Nesta fase a avaliação deixará de ser por modelo de veículo e a exigência será a partir da média de emissão dos veículos comercializados pela empresa. Com isso, espera-se induzir as empresas a produzir veículos de emissão zero, como veículos elétricos, para que a emissão da produção de veículos seja compensada [4].

A partir de janeiro de 2023, todos veículos comerciais pesados vendidos no Brasil deverão atender as determinações de emissões da norma P8, entretanto novos projetos deverão atender os limites definidos. Para esta norma, são considerados veículos novos com peso mínimo de 3,856 toneladas, equipados com motores de ignição por compressão ou por centelha. São determinados limites máximos de emissão para gases de escapamento, partículas e ruído, especificações relacionadas a durabilidade, sistemas de diagnóstico de bordo (OBD) e testes em uso, dentre outras determinações [7]. Adicionalmente às novas determinações, pelo menos um veículo, para cada família de motor, deverá ser submetido além das bancadas de testes a situações reais de tráfego, incluindo trajetos urbanos,

rodoviários e rurais, com coleta de dados obrigatória de emissões de CO<sub>2</sub> e consumo de combustível em g/kWh. Além disso, os veículos homologados deverão apresentar níveis similares de emissões ao longo do período do uso e em sua vida útil serão testados em laboratórios credenciados pelo Ibama (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). Os fabricantes deverão revalidar as medições a partir da apresentação de 0,3% de sua produção semestral de motores ou por semestre, no mínimo, três unidades [8].

## CICLO DE EMISSÕES

O ciclo de emissões realizado para o estudo foi o Federal Test Procedure (FTP-75), respeitando-se a preparação do veículo e execução do teste conforme ABNT NBR 6601 [9]. O ciclo FTP-75 é aprovado para teste de emissões e consumo de combustível para veículos leves na Austrália, Brasil e Estados Unidos. É executado em um dinamômetro de chassis e o teste é dividido em: fase de partida a frio, fase estabilizada, estabilização a quente (hot soak) e fase de partida a quente [10].

A fase de partida a frio é realizada em temperatura controlada entre 20 e 30 °C, e tem duração de 505 segundos (0 – 505 s). A fase estabilizada se inicia após a fase de partida a frio e tem duração de 866 segundos (506 – 1372 s). O veículo é desligado por no mínimo 540 segundos e no máximo 660 segundos. Esta fase é denominada estabilização a quente. Então, se inicia a fase de partida a quente que tem duração de 505 segundos (0 – 505 s). Totalizando 1877 segundos de ciclo mais o intervalo com o veículo desligado. A distância percorrida durante o ciclo é de 17,77 km, a velocidade média é de 21.2 mph (34,12 km/h) e a velocidade máxima é de 56.7 mph (91,25 km/h) [10]. O ciclo FTP-75 se encontra na figura 2.

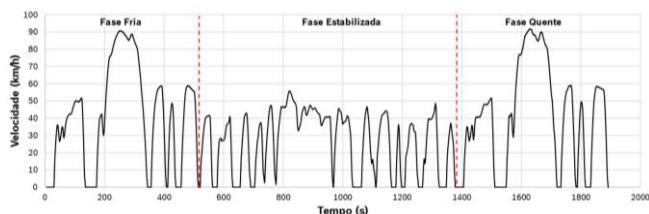


Figura 2. Ciclo FTP-75. Fonte: Elaboração Própria.

## ENSAIO DE EMISSÕES

Para validação de novas tecnologias é necessária a execução de ensaios que comprovem sua eficiência energética dentro do Ensaio de Emissões de gases. Nestes ensaios o veículo é submetido a ciclos homologados em um dinamômetro de chassis e são adquiridas variáveis que possibilitam certificar a redução de consumo e emissão de poluentes. A tecnologia avaliada nas próximas seções é um

amplificador de força de frenagem eletromecânico em comparação a um amplificador assistido a vácuo.

O estudo foi realizado com um veículo com amplificador de força de frenagem assistido a vácuo, com vácuo proveniente de uma bomba mecânica. Serão apresentadas as metodologias e considerações utilizadas para determinar os resultados encontrados.

**SOMA TRAPEZOIDAL DE RIEMANN** – Durante o ensaio de Eficiência Energética foram medidas variáveis instantâneas como vazão mássica de combustível ( $q_m$ ) e corrente elétrica de componentes.

A vazão mássica ( $q_m$ ) medida foi na unidade de quilogramas por hora, desta maneira utilizando-se o valor da densidade do combustível ( $\rho_r$ ) conhecida em quilograma por litros e a relação da equação 1, encontra-se a vazão volumétrica ( $q_v$ ) em litros por hora de combustível.

$$q_v = \frac{q_m}{\rho_r} \quad (1)$$

Desta forma, para se encontrar o volume em litros de combustível ( $V$ ) deve-se realizar a integral da vazão volumétrica entre o intervalo de tempo final ( $t_f$ ) e tempo inicial da medição ( $t_i$ ), conforme equação 2. Durante a análise crítica dos resultados e o comparativo entre condições de testes considerou-se o volume de combustível consumido durante cada condição.

$$V = \int_{t_i}^{t_f} q_v * dt \quad (2)$$

Para as grandezas elétricas considerou-se o cálculo inicial da potência elétrica instantânea ( $P$ ) em Watts a partir da multiplicação da corrente elétrica ( $i$ ) em Ampere do componente e a tensão de alimentação do mesmo ( $U$ ) em Volts, conforme equação 3.

$$P = U * i \quad (3)$$

Como as curvas de carga eram diferentes entre os componentes analisados considerou-se analisar a energia elétrica consumida ( $E$ ). Realizou-se o cálculo da energia integrando-se a potência elétrica instantânea entre o intervalo de tempo final ( $t_f$ ) e tempo inicial da medição ( $t_i$ ), conforme equação 4.

$$E = \int_{t_i}^{t_f} P * dt \quad (4)$$

Para realizar o cálculo de integral das grandezas de vazão volumétrica e potência elétrica utilizou-se o conceito de integração pela Regra Trapezoidal de Riemann. A partir da soma das áreas dos trapézios é possível realizar uma

aproximação da integral da curva. O resultado disto é aproximadamente o valor da integral da curva [11].

A partir da Regra Trapezoidal de Riemann conforme equação 5 a integral da figura 3 pode ser calculada, dividindo-se a curva em intervalos de tempo definidos de 0,5 segundos. Generalizando-se a expressão para uma determinada curva tem-se a equação 6, a qual foi utilizada para todos os cálculos quando necessário o conceito de integral.

$$\int_0^2 f(x)dx \approx A1 + A2 + A3 + A4 \quad (5)$$

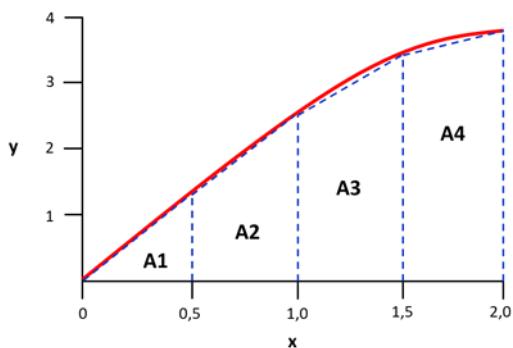


Figura 3. Integral pela Regra Trapezoidal de Riemann.  
Fonte: Elaboração Própria.

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{\Delta x}{2} [f(x_0) + 2f(x_1) + 2f(x_2) + \dots + 2f(x_{n-1}) + f(x_n)] \quad (6)$$

**INSTRUMENTAÇÃO VEICULAR** – Para facilitar a substituição do amplificador de força de frenagem assistido a vácuo (AFV) adotou-se a estratégia de realizar conexões externas devido ao espaço disponível para montagem variar de veículo a veículo. Para rápida substituição do AFV pelo amplificador de força de frenagem eletromecânico (AFE) durante os testes se utilizaram engates rápidos hidráulicos. Para simular a aplicação de força no pedal de freio foi construído um dispositivo manual.

As conexões elétricas foram realizadas com a utilização de chicotes e cabos entre os pinos do conector do AFE. Os pinos do conector do sensor de curso do pedal e os pinos do conector do AFE foram conectados a uma caixa de passagem (BoB – Breakout Box), alimentada pela bateria do veículo. As conexões foram possíveis a partir da BoB, estendendo os pinos do conector do AFE.

Para leitura dos dados da rede CAN foi usado um cabo Lemo conectado a CAN do ESC (Electronic stability control). Para medição dos sinais do AFE e CAN do veículo usou-se um software de medição e calibração de sistemas de controle de chassis. Com este software é possível medir sinais de diversas fontes como CAN,

FlexRay e sinais em alta resolução em canais A/D (Analógico-Digital) utilizando-se os hardwares adequados.

A alimentação elétrica dos equipamentos foi realizada com uma fonte de tensão com saída dupla, de forma que cada uma das saídas pode ser regulada de forma independente. A tensão usada foi próxima de 12,5 V. Uma das saídas foi utilizada para alimentação da VX1135 e a outra para alimentação do medidor de vazão Coriolis, ETAS ES650 e a ACW-Lite Box.

A ACW-Lite box (ACW) da Gi-Electronic GmbH tem a função de realizar a leitura e tratamento dos dados no formato analógico e conversão para o formato CAN [15]. Como no veículo protótipo não estavam disponíveis informações elétricas como tensão da bateria, corrente da bateria e corrente do alternador, optou-se por adquirir as grandezas elétricas de tensão e corrente diretamente do veículo. Para medição da tensão da bateria do veículo utilizou-se dois cabos em paralelo à bateria do veículo. O sinal de saída foi conectado a outro cabo com saída LEMO padrão macho com 5 pinos e conectado a ACW.

As medições de corrente elétrica foram realizadas com pontas de prova do modelo 1146A da Keysight Technologies. A ponta de prova opera com tecnologia de efeito Hall para medir sinais de corrente contínua e alternada de 100 mA a 100 A RMS, com frequências de até 100 kHz em corrente contínua [16]. Como a saída da ponta de prova é padrão BNC, utilizou-se um cabo adaptador da Pomona Electronics, modelo 3073, para conectar o sinal de saída aos pinos de entrada da ACW.

Para medição da corrente da bateria conectou-se uma ponta de prova na saída do polo positivo e o sinal de saída a ACW. Para a medição da corrente do alternador a ponta de prova foi conectada à saída do alternador e o sinal de saída da ponta de prova a ACW. Para a medição da corrente consumida pelo AFE conectou-se a ponta de prova no seu polo positivo de alimentação.

Também foram coletados dados de vazão mássica de combustível do veículo em kg/h. Utilizou-se um medidor de vazão Coriolis fabricado pela Emerson. O medidor de vazão realiza a leitura dos dados em kg/h e fornece um valor proporcional em tensão, de acordo com a tabela 1.

Tabela 1. Valores para leitura dos dados do medidor Coriolis. Fonte: Elaboração Própria.

[kg/h]	[V]
0	2,008
100	10,004

A partir da leitura dos valores analógicos foi possível transformá-los em dados de vazão. Para a leitura dos

valores analógicos utilizou-se um hardware ETAS ES650. Este equipamento possui 8 canais para medição de temperatura e 8 canais de entradas analógicas. Possui resolução de 16 bits atingindo uma precisão de medição de tensão de 2 mV [13].

O software utilizado para comunicação com o ETAS foi o INCA, software de calibração, diagnose e validação de sistemas eletrônicos automotivos. As ferramentas do INCA podem ser aplicadas tanto em ambiente virtual como em desenvolvimento, teste e validação de experimentos práticos [14].

Para a coleta de dados utilizou-se um notebook Lenovo ThinkPad com sistema operacional Windows 10 64 bits, processador Intel Core i5-6300U, e 8GB de memória RAM.

O esquemático contendo as ligações com os equipamentos se encontra na figura 4.

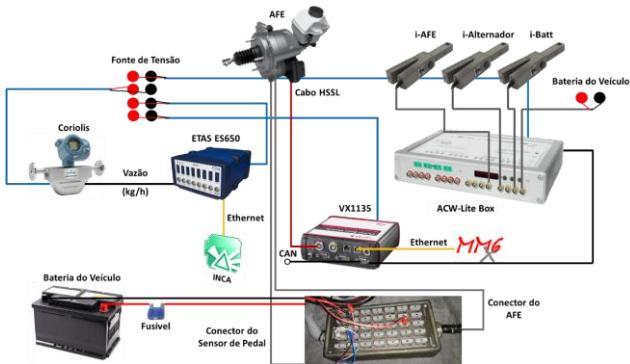


Figura 4. Esquemático de ligação dos equipamentos. Fonte: Elaboração Própria.

APURAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS VIA INSTRUMENTAÇÃO VEICULAR – Ao todo foram seis testes realizados com o ciclo FTP-75 no dinamômetro de chassis, três repetições na condição original do veículo com AFV e três repetições na condição com AFE. Os cálculos realizados de consumo de combustível e energia elétrica foram realizados utilizando-se a Soma Trapezoidal de Riemann.

O medidor de vazão permite registrar os valores de consumo instantâneo durante os testes de emissões. Com isso, é possível se ter uma análise detalhada e determinar possíveis variações durante o teste e redução de consumo de combustível em trechos do ciclo. No caso dos resultados encontrados, foi possível identificar redução de 3,3% de consumo de combustível na condição com AFE comparando-se todas as frenagens do ciclo. Comparando-se os resultados encontrados de consumo de combustível com as medições do medidor de vazão mássica em relação aos

resultados de emissão de CO<sub>2</sub> (g/km) do relatório de emissões encontrou-se alta correlação entre os dados, conforme figura 5.

A variação entre os resultados obtidos pelo medidor de vazão mássica é em torno de 0,5% em relação aos resultados de emissões. A partir dos dados encontrados de alta correlação e baixa variação em relação aos resultados do relatório é possível afirmar que o medidor de vazão tem alta confiabilidade e pode ser utilizado em testes de emissões para determinar o consumo de combustível em conjunto com o relatório homologado de emissões.

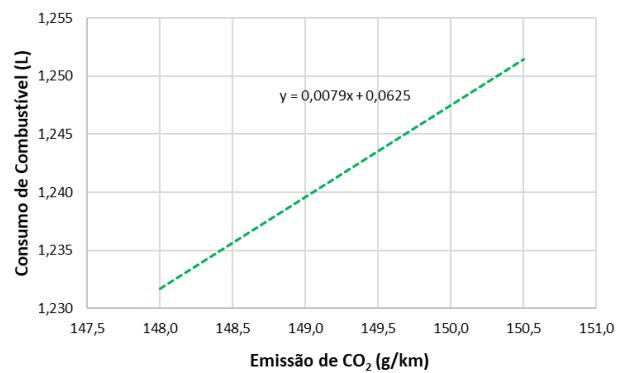


Figura 5. Correlação entre consumo de combustível e emissão de CO<sub>2</sub> (g/km). Fonte: Elaboração Própria.

Como exemplo, os resultados coletados referentes aos dados elétricos do alternador na fase 3 do ciclo FTP -75 se encontram nas figuras 6 e 7. A partir da tensão da bateria e da corrente do alternador calculou-se a potência elétrica fornecida do alternador para a bateria, conforme figura 6. Para o cálculo de potência elétrica usou-se a equação 3. Com os dados de potência elétrica, calculou-se a energia elétrica do alternador para cada dia de teste durante o ciclo a partir da Soma Trapezoidal de Riemann e da equação 4, referente ao cálculo de energia. Calculou-se a média da energia consumida pelo alternador para os três dias de testes com AFE e para os três dias de testes com AFV. Os resultados das médias de energia elétrica do alternador se encontram na figura 7.

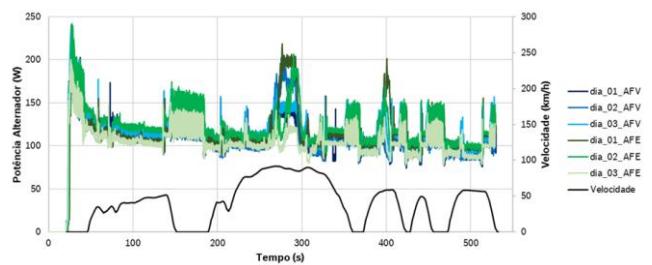


Figura 6. Potência elétrica do alternador fase 3 do ciclo FTP-75. Fonte: Elaboração Própria.

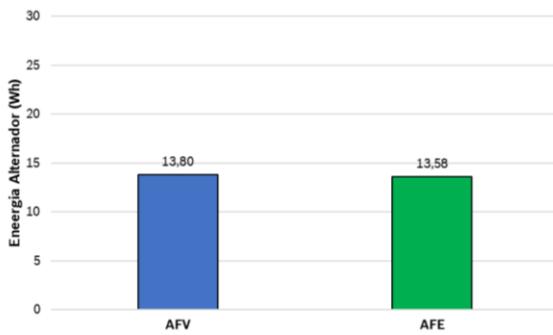


Figura 7. Energia elétrica do alternador durante a fase 3 do ciclo FTP-75. Fonte: Elaboração Própria.

A partir dos resultados de potência elétrica do alternador observa-se similaridade entre as curvas medidas em diferentes dias de testes e eventuais cargas elétricas que demandam maior potência do alternador. Os resultados de energia elétrica da figura 7 demonstram energia elétrica do alternador equivalente entre a condição AFV e AFE.

Os resultados referentes ao consumo elétrico da bateria na fase 3 do ciclo FTP-75 se encontram nas figuras 8 e 9. Na figura 8, se encontram as curvas de corrente da bateria medidas durante os testes. Pelo fato de a corrente da bateria alternar entre valores positivos e negativos aplicou-se o conceito de valor quadrático médio utilizando-se a equação 7 para obter o valor de corrente eficaz.

Na figura 9, se encontram as médias da corrente eficaz de testes na condição com AFV e na condição com AFE. Obteve-se o mesmo comportamento na corrente elétrica da bateria, assim como nos resultados encontrados pelas medidas do alternador. As curvas da corrente da bateria mostraram repetibilidade da medição em dias diferentes e tanto em condição com AFV e em condição com AFE. Os resultados da figura 9 mostram que o consumo elétrico da bateria foi equivalente nas condições AFV e AFE.

$$I_{eficaz} = \sqrt{\frac{i_1^2 + i_2^2 + \dots + i_n^2}{n}} \quad (7)$$

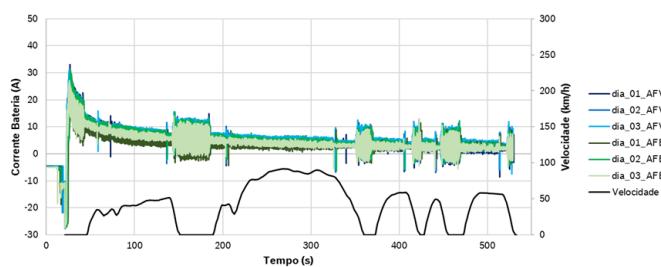


Figura 8. Corrente da bateria durante a fase 3 do ciclo FTP-75. Fonte: Elaboração Própria.

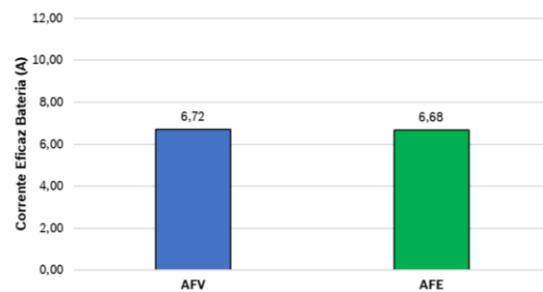


Figura 9. Corrente eficaz da bateria durante a fase 3 do ciclo FTP-75. Fonte: Elaboração Própria.

Durante os testes na condição com AFE, mediu-se a sua corrente consumida pela bateria. Observando que o AFV não possui consumo elétrico, pois o seu princípio de funcionamento é mecânico a partir do vácuo do coletor de admissão ou de uma bomba de vácuo elétrica ou mecânica. No veículo utilizado o vácuo é fornecido a partir de uma bomba de vácuo mecânica acoplada ao eixo de comando de válvulas do motor, o que gera maiores perdas por atrito e consequentemente aumento de consumo de combustível. Os resultados de consumo elétrico do AFE na fase 3 do ciclo FTP-75 se encontram na figura 10. A partir da potência elétrica consumida pelo AFE, multiplicando-se a tensão da bateria e corrente elétrica consumida, calculou-se a energia elétrica média dos três testes. Utilizou-se as equações 3 e 4 para o cálculo de potência elétrica e energia, respectivamente.



Figura 10. Energia consumida pelo AFE durante a fase 3 do ciclo FTP-75. Fonte: Elaboração Própria.

É possível identificar que a energia elétrica consumida pelo AFE durante o ciclo foi baixa, cerca de 2,6% da energia total do alternador. O que justifica a similaridade dos resultados do alternador, pois durante o acionamento do AFE o alternador não necessitou empregar maior potência para carregamento da bateria. Deste modo, com as pontas de corrente foi possível obter informações de consumo elétrico durante o ciclo, o que mostra que podem ser aplicadas na análise de outros tipos de produtos que sejam consumidores do sistema elétrico automotivo.

Conectando-se os dados de consumo de combustível, os dados elétricos e os dados via CAN do veículo é possível

ter compreendimento da dinâmica veicular durante os testes, conforme exemplo de um trecho de frenagem na figura 11.

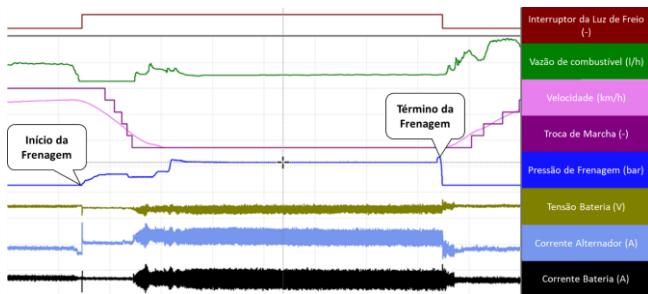


Figura 11. Trecho de frenagem durante a fase 3 do ciclo FTP-75. Fonte: Elaboração Própria.

O veículo está acelerando durante o ciclo, conforme curva de velocidade (Velocidade), e o consumo de combustível (Vazão de combustível) acompanha a aceleração do veículo, porém como pode se identificar de forma menos estável. O motorista então executa a frenagem, como pode se observar o aumento de pressão (Pressão de Frenagem) e a ativação do interruptor de luz de freio (Interruptor da Luz de Freio). De forma instantânea a relação de marchas em Troca de Marcha cai até atingir a primeira marcha e há uma queda de tensão da bateria (Tensão Bateria), compensada pelo aumento de corrente do alternador (Corrente Alternador) e consequentemente da corrente da bateria (Corrente Bateria). A unidade de controle do motor corta a injeção de combustível durante a desaceleração e solicita a redução das marchas. Como o veículo continua ligado ocorre uma reinjeção de combustível para controlar a rotação de marcha lenta e logo após isso a injeção de combustível é reduzida. Após atingir a rotação de marcha lenta o consumo de combustível fica estável, assim como o fornecimento de corrente pelo alternador e a corrente da bateria. O veículo é acelerado e é possível identificar o aumento da relação de marchas e do consumo de combustível.

Deste modo, a partir da instrumentação realizada no veículo foi possível coletar informações adicionais ao relatório de emissões e que possibilitam análise mais aprofundada da dinâmica veicular com informações do sistema elétrico e de consumo de combustível instantâneo. Os equipamentos mostraram consistência durante as medições e nenhuma falha ocorreu. Permitindo identificar eventos durante o ciclo de emissões e compreendê-los com confiabilidade e precisão.

## AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DO TESTE DE EMISSÕES

Os dados coletados demonstraram ganhos em redução de consumo de combustível e emissões de gases poluentes como CO<sub>2</sub>. A média das emissões estimadas de CO<sub>2</sub> (g/km)

dos três dias de testes por condição durante as frenagens se encontram na figura 12.

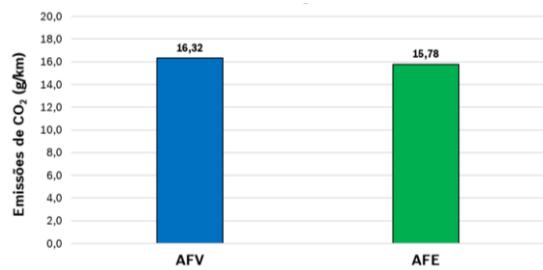


Figura 12. Emissões durante as frenagens do ciclo FTP-75. Fonte: Elaboração Própria.

A redução de gases foi em torno de 0,5 g/km de CO<sub>2</sub>. A utilização do AFE pelas montadoras europeias e asiáticas já é uma realidade e diversas montadoras no Brasil já iniciaram avaliações técnicas para a sua introdução em série. Adotando-se uma frota de 500.000 veículos por ano, considerando veículos de baixa cilindrada com bomba de vácuo mecânica e uma média de 13.000 km percorridos em um ano [17], totaliza-se uma redução de 3.250 t/km de CO<sub>2</sub>. Contribuindo de forma significativa para a redução de emissões veiculares na atmosfera.

A determinação do nível de emissões pelos laboratórios homologados no Brasil segue as definições da norma brasileira ABNT NBR 6601. O gás de escapamento do veículo é amostrado por equipamentos que funcionam com princípios de dinâmica dos fluidos e a partir disto é possível determinar o nível de concentração de diversos tipos de gases como: hidrocarbonetos (HC), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), hidrocarbonetos não-metano (NMHC), metano (CH<sub>4</sub>), etanol (EtOH), NMHC-EtOH. As tabelas 2 e 3 exemplificam os resultados do laboratório de emissões, reportando dados referentes ao primeiro dia de testes na condição com AFV.

Os resultados da tabela 2, demonstram as emissões referentes as fases 1, 2 e 3 do ciclo FTP-75. Para os resultados totais de emissões, encontrados na tabela 3, são realizadas somas ponderadas a partir dos dados coletados em cada fase. Com estes testes homologados é possível comprovar a redução de gases poluentes em emissões veiculares, cooperando para a certificação das restrições do Proconve.

Tabela 2. Emissões de gases referentes as fases do ciclo FTP-75. Fonte: Elaboração Própria.

Emissões	HC [g/km]	CO [g/km]	CO <sub>2</sub> [g/km]	NO <sub>x</sub> [g/km]	NMHC [g/km]	CH <sub>4</sub> [g/km]	NMHC-EtOH [g/km]	Fuel cons. [l/100km]
Fase 1	0,1138	0,7624	156,67	0,0242	0,0934	0,0208	0,0934	7,25
Fase 2	0,0005	0,0162	151,19	0,0112	0,0005	0,0000	0,0005	6,93
Fase 3	0,0040	0,1118	145,33	0,0037	0,0007	0,0033	0,0007	6,67

Tabela 3. Emissões de gases referentes ao ciclo FTP-75.

Fonte: Elaboração Própria.

Emissões	HC [g/km]	CO [g/km]	CO <sub>2</sub> [g/km]	NO <sub>x</sub> [g/km]	NMHC [g/km]	CH <sub>4</sub> [g/km]	NMHC- EtOH [g/km]	Fuel cons. [l/100km]
Total	0,0249	0,1970	150,71	0,0119	0,0198	0,0052	0,0198	6,92

## CONCLUSÃO

O modal rodoviário é um dos principais agentes de poluição das regiões metropolitanas. No Brasil, o Proconve teve e tem papel essencial para o controle de emissões de veículos leves e pesados a partir das fases de implementação. As emissões de poluentes foram reduzidas em 98% a partir das implementações e cada vez as requisições pelo programa se tornam mais restritas. O que traz o desenvolvimento tecnológico nacional a partir da promoção de novas tecnologias automobilísticas e a evolução de métodos e equipamentos para determinar emissões de poluentes.

Este trabalho demonstrou a instrumentação veicular em ciclo de emissões e os métodos utilizados. O conceito de Soma Trapezoidal de Riemann foi utilizado para os cálculos de consumo de combustível e de energia elétrica. A partir das utilizações de medidores de vazão mássica, pontas de prova de corrente e, equipamentos de aquisição de dados como a VX1135 para a rede CAN e o ETAS 6S650 para dados analógicos foi possível obter vários dados que complementaram os resultados do relatório de emissões veiculares.

As medições realizadas pelo medidor de vazão Coriolis mostraram alta correlação em relação aos resultados do relatório, com variação em torno de apenas 0,5%. Possibilitaram coletar dados instantâneos de vazão de combustível e identificar redução de combustível durante as frenagens do ciclo, tais resultados sem as medições com o Coriolis não seriam possíveis de se observar. As pontas de prova de corrente e a coleta de tensão da bateria permitiram realizar a análise do sistema elétrico e comparar as condições AFV e AFE durante os testes. Foi possível identificar similaridade da energia elétrica do alternador e da corrente eficaz da bateria. Além disso, coletou-se a corrente elétrica do AFE durante os testes, o que possibilitou determinar seu baixo consumo elétrico.

Com informações de consumo de combustível e do sistema elétrico junto às informações da rede CAN é possível compreender os eventos durante os testes de emissões e analisá-los de forma mais eficiente. Os equipamentos demonstraram confiabilidade durante os testes e repetibilidade e agregaram ao estudo informações essenciais.

Portanto, a instrumentação veicular realizada possibilitou comparar a condição com AFV em relação a

condição com AFE e determinar redução de consumo de combustível sem impactos no sistema elétrico. Com precisão e confiabilidade a partir dos equipamentos utilizados.

## REFERÊNCIAS

- [1] CNN Brasil, 2021. Mundo está ‘fora do rumo’ para diminuir aumento da temperatura global, diz ONU. [Online]. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/mundo-esta-fora-do-rumo-para-diminuir-aumento-da-temperatura-global-diz-onu/>> [Acesso 30 de março 2022].
- [2] Keefe, J. and Ramirez, R., 2021. “Mundo prometeu reduzir emissão de poluentes, mas nem todos estão cumprindo meta”. *CNN Brasil*. [Online]. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/mundo-prometeu-reduzir-emissao-de-poluentes-mas-nem-todos-estao-cumprindo-meta/>> [Acesso 30 de março 2022].
- [3] CETESB. “Emissão Veicular – Introdução”. [Online]. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/veicular/>> [Acesso em 06 de abril 2022].
- [4] CETESB. “Emissão Veicular – Proconve”. [Online]. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/veicular/>> [Acesso em 06 de abril 2022].
- [5] IBAMA. 2021. “Programa de controle de emissões veiculares (Proconve)”. [Online]. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/emissoes/veiculos-automotores/programa-de-controle-de-emissoes-veiculares-proconve>> [Acesso em 06 de abril 2022].
- [6] Oliveira, D., 2021. “Proconve L7: novos limites de emissões vão tirar de linha motores antigos”. *Jornal do Carro*, Estadão. [Online]. Disponível em: <<https://jornaldocarro.estadao.com.br/carros/proconve-l7-novos-limites-de-emissoes-vao-tirar-de-linha-motores-antigos/>> [Acesso em 06 de abril 2022].
- [7] Miller, J. and Posada, F., 2019. “NORMA PROCONVE P-8 DE EMISSÕES NO BRASIL”. *International Council on Clean Transportation*. [Online]. Disponível em: <[https://theicct.org/sites/default/files/publications/P8\\_emission\\_Brazil\\_policyupdate\\_20190227.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/P8_emission_Brazil_policyupdate_20190227.pdf)> [Acesso em 06 de abril 2022].
- [8] Kutney, P., 2018. “Euro 6/P8 é definido pelo Conama para 2022/23”, *Automotive Business*. [Online]. Disponível em: <<https://www.automotivebusiness.com.br/pt/posts/noticias/euro-6-p8-e-definido-pelo-conama-para-2022-23/>>. [Acesso em 06 de abril 2022].
- [9] ABNT, 2021. “Veículos rodoviários automotores leves – Determinação de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, dióxidos de carbono e material particulado no gás de escapamento”, Norma Brasileira ABNT NBR 6601.
- [10] DieselNet. 2014. “Emissions Test Cycles – FTP-75”. [Online]. Disponível em: <<https://dieselnet.com/standards/cycles/ftp75.php/>>. [Acesso em 02 de maio 2022].

- [11] Kreider, D. and Dwight, L. 2010. “Trapezoid Rule and Simpson's Rule”. [Online]. Disponível em: <<https://math.dartmouth.edu/~m3cod/klbookLectures/406unit/trap.pdf>>. [Acesso em 02 de maio 2022].
- [12] Vector. “VX1000 – Product Information”. [Online]. Disponível em: <[https://cdn.vector.com/cms/content/products/vx1000/Docs/VX1000\\_ProductInformation\\_EN.pdf](https://cdn.vector.com/cms/content/products/vx1000/Docs/VX1000_ProductInformation_EN.pdf)>. [Acesso em 02 de maio 2022].
- [13] ETAS. “ES650 – Thermo and A/D Module”. [Online]. Disponível em: <<https://www.etas.com/en/products/es650.php>>. [Acesso em 02 de maio 2022].
- [14] ETAS. “INCA Software Products”. [Online]. Disponível em: <[https://www.etas.com/en/products/inca\\_software\\_products.php](https://www.etas.com/en/products/inca_software_products.php)>. [Acesso em 02 de maio 2022].
- [15] Gi-Electronic GmbH. 2012. “ACW-Lite Box Ref. 4.1x (Lite 3)”.
- [16] Keysight Technologies. “1146A Ponta de prova de corrente CA/CC 1146A de 100kHz/100A”. [Online]. Disponível em: <<https://www.keysight.com/br/pt/product/1146A/100-khz-100a-acdc-current-probe.html>>. [Acesso em 02 de maio 2022].
- [17] KBB. 2019. “Brasileiros rodam em média 12,9 mil Km no primeiro ano de uso de um veículo”. 2019. [Online]. Disponível em: <<https://www.kbb.com.br/detalhes-noticia/quanto-brasileiro-roda-carro-ano/?ID=1830>>. [Acesso em 02 de maio 2022].