
MOTORES FLEX

Tadeu Cavalcante Cordeiro de Melo, M.Sc.
Aluno de doutorado do PEM - COPPE

novembro de 2011 – palestra para a UFRJ

FLEX FUEL BRASILEIRO

- Etanol hidratado (H100), gasolina (E18-E25) ou qualquer mistura entre os dois combustíveis. Nos EUA os veículos Flex utilizam o E85 (15% de gasolina adicionada ao etanol anidro), E0 e misturas;
- Derivado de motor a gasolina modificado nas partes de contato com o combustível, devido à maior corrosividade do etanol;
- Materiais mais resistentes para as sedes válvulas, devido à menor lubricidade do etanol;
- Incluído sistema de abastecimento a frio (partidas com $T < 15C$);
- Catalisador instalado mais próximo ao motor (close coupled) para aumento de sua eficiência na partida a frio com o uso do etanol. Objetivo reduzir emissões de aldeídos e etanol não queimado na partida.

“FLEX-FUEL” (FFV) – HISTÓRICO

- **1986 - Ford apresentou veículo que rodava com gasolina ou M-85 (mistura com 85% de metanol);**
- **Em 1993, GM, Ford e Chrysler começaram a vender veículos com E85;**
- **1998 - Bosch apresentou no Brasil – protótipo de FLEX - Chevrolet Omega – que podia usar qualquer mistura entre E22 e E100;**
- **2001 – VW apresentou o primeiro protótipo brasileiro do Flex que poderia funcionar com qualquer mistura entre E22 e E100;**
- **2003 - VW começou vender no Brasil o primeiro Flex (Gol Total Flex);**
- **2009-2011 – FLEX mais de 85% da venda de novos veículos leves.**
- **IPVA e IPI DO VEÍCULO FLEX foram reduzidos para serem iguais aos dos veículos a álcool, o que aumentou a atratividade da tecnologia.**

DIFICULDADES TÉCNICAS

- Diferenças nas composições dos combustíveis – Álcool apenas dois componentes (etanol e água) e gasolina – mais de 400 componentes;
- Para uma mesma vazão de ar, a Vazão de etanol é cerca de 50% > que a vazão de gasolina E22;

Gasolina (E25)¹:


Estequiometria: 13,0 : 1
Octanagem: ± 82 (MON)
Reid Pressão de Vapor: ± 56 kPa
Poder calorífico Inferior: 39 MJ/kg
Calor de Vaporiz.: 101 kcal/kg
Massa Específica a 20°C: 748 kg/m


Álcool Hidratado :

Estequiometria: 8,8 : 1
Octanagem: ± 90 (MON)
Reid Pressão de Vapor: ± 15 kPa
Poder calorífico Inf.: 25 MJ/kg
Calor de Vaporiz.: 201 kcal/kg
Densidade a 20°C: 808 kg/m


(1) E25= Gasolina com 25%vol. de etanol anidro

PRINCIPAIS DIFICULDADES

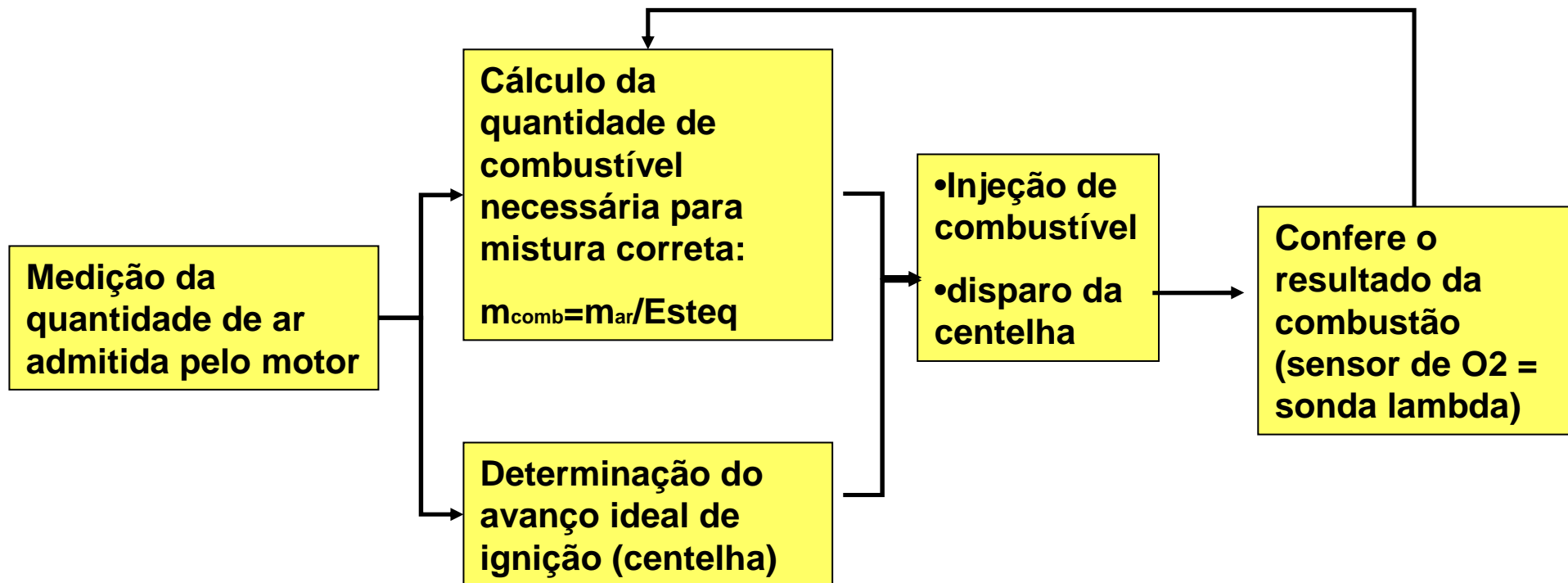
 *Taxa de compressão – Valores elevados beneficiam o ETANOL, porém compromete o rendimento do motor com gasolina (detonação). Optado inicialmente por taxas de compressão intermediárias;*

 *ETANOL com poder calorífico menor que a gasolina implicando em maiores consumos de combustível;*

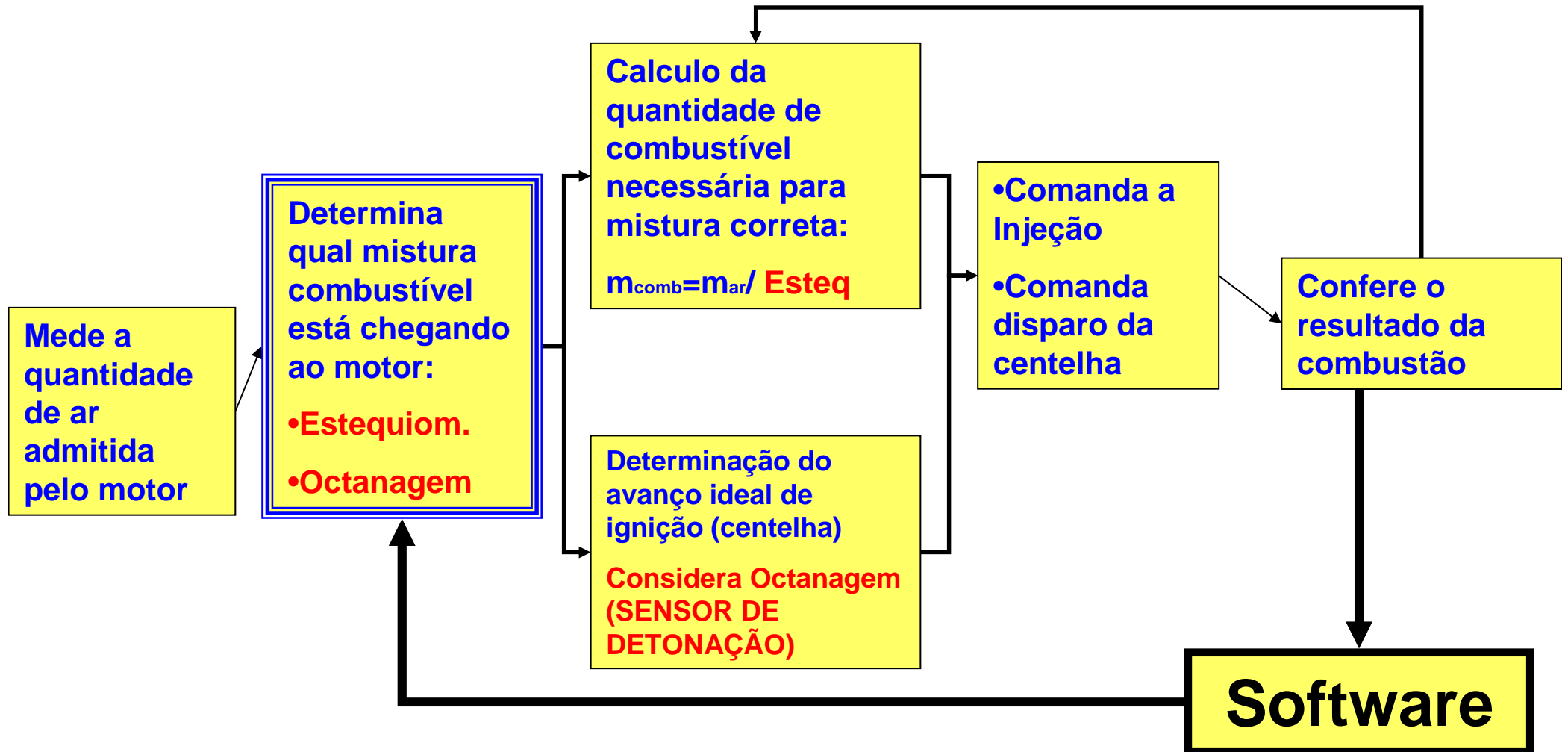
 *Partida a Frio – quanto maior a adição de ETANOL à gasolina, maior a dificuldade de partida e dirigibilidade a frio (temperaturas < 15°C);*

 *Necessidade de adaptação rápida para diferentes valores de relação Ar/combustível estequiométrica, sendo que a homologação quanto a emissões deve ser com E22, E100 e E50%;*

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO GERENCIAMENTO DO MOTOR CONVENCIONAL

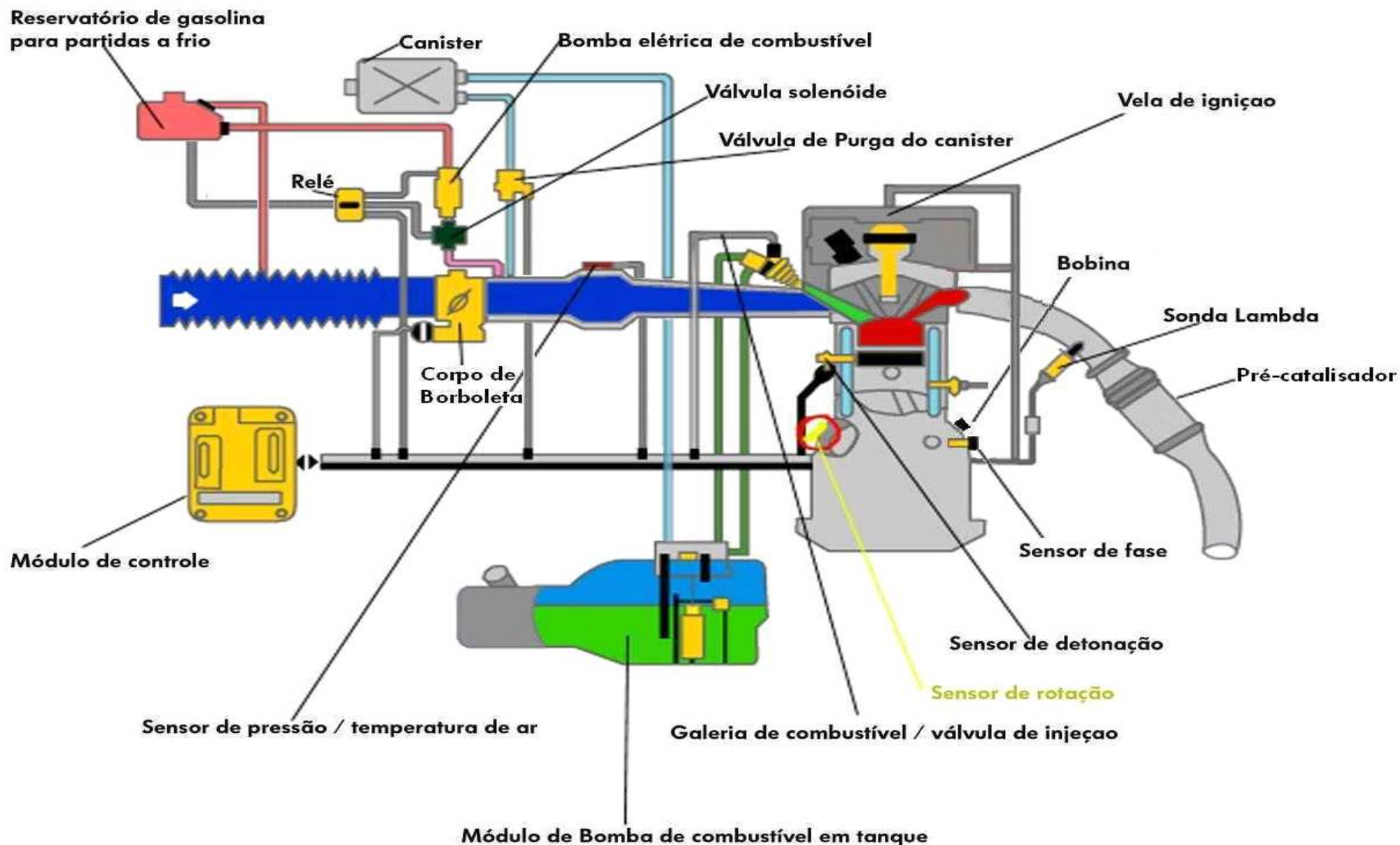


PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO GERENCIAMENTO DO MOTOR FLEX



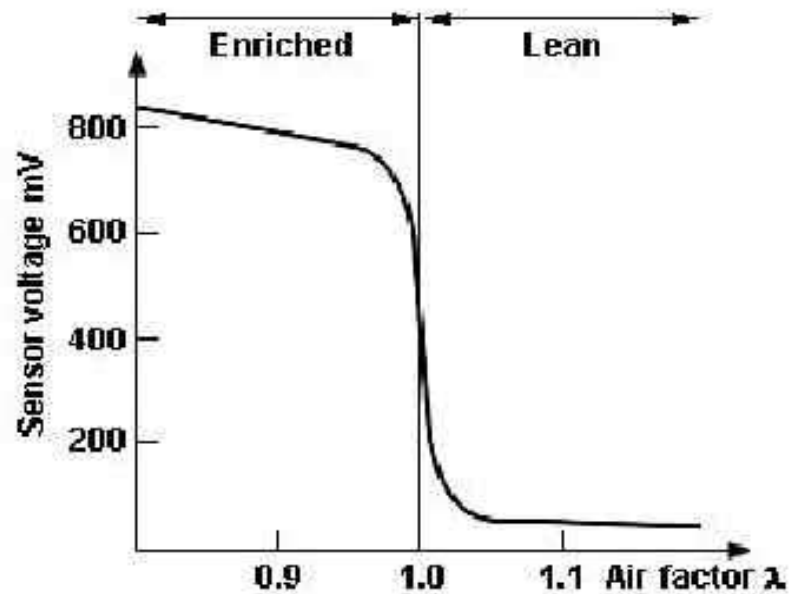
SFS - Software Fuel Sensor – desenvolvido pela Marelli

MOTOR "FLEX-FUEL" – ESQUEMA COMPLETO



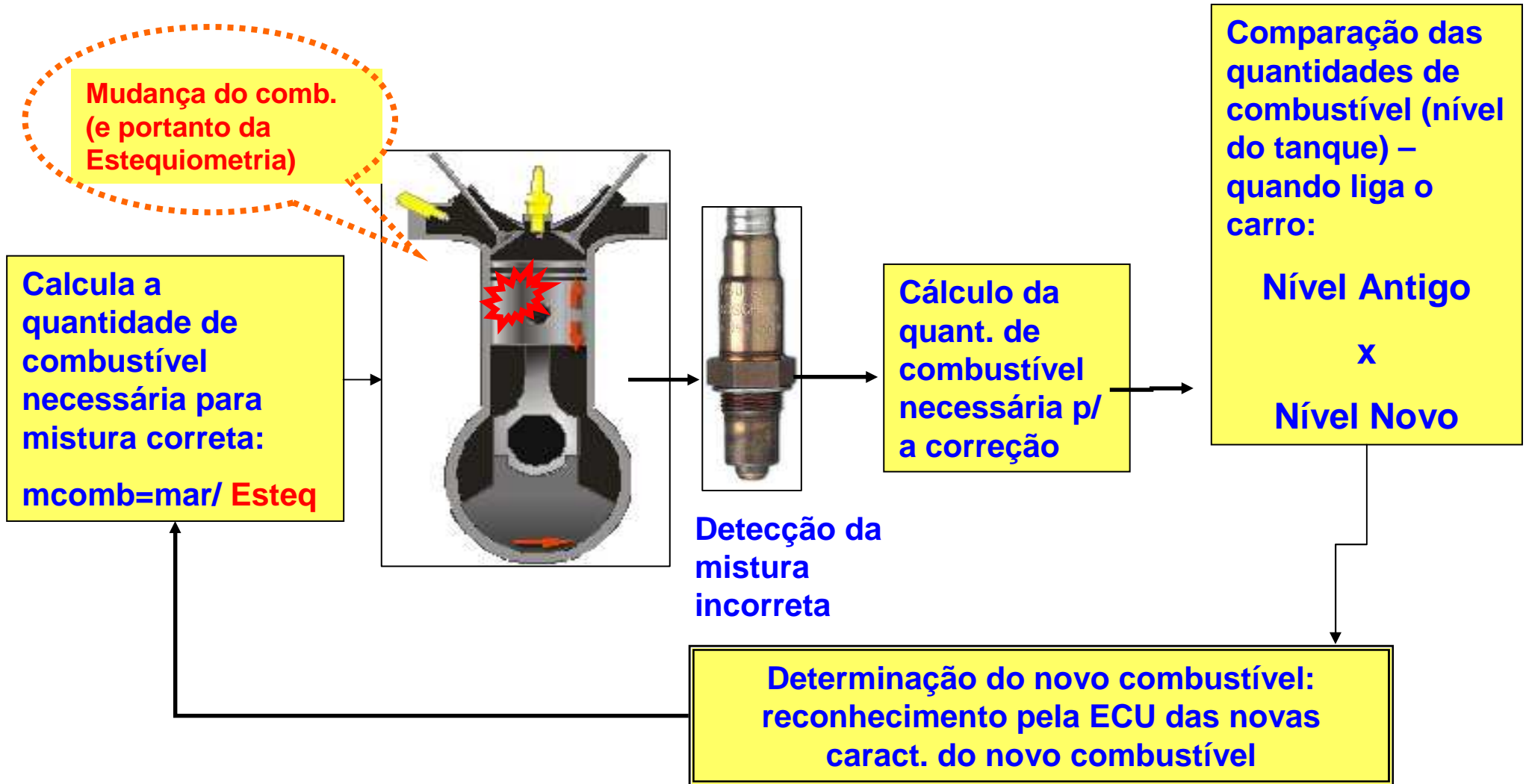
FUNÇÃO DA SONDA LAMBDA

O sinal da Sonda Lambda é usado para determinar se a mistura queimada está rica (excesso de combustível) ou pobre (excesso de ar);



Com isso a ECU mantém o motor funcionando sempre na mistura correta.

FUNCIONAMENTO DO SFS:



SISTEMA AUXILIAR DE PARTIDA A FRIO

A baixa pressão de vapor das misturas com alto % de álcool faz necessária a presença de um **sistema auxiliar de partida a frio**;

Ao ligar a chave de ignição:

ECU checa o último combustível registrado

Teor Álcool > 80%?

Sim

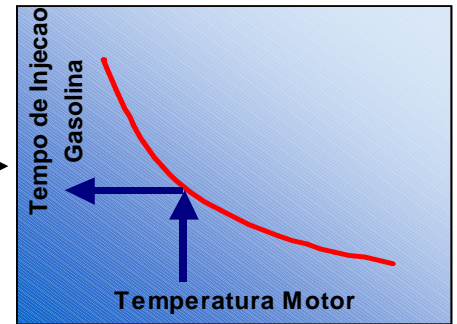
Temp. Motor < 20 °C?

Sim

Não

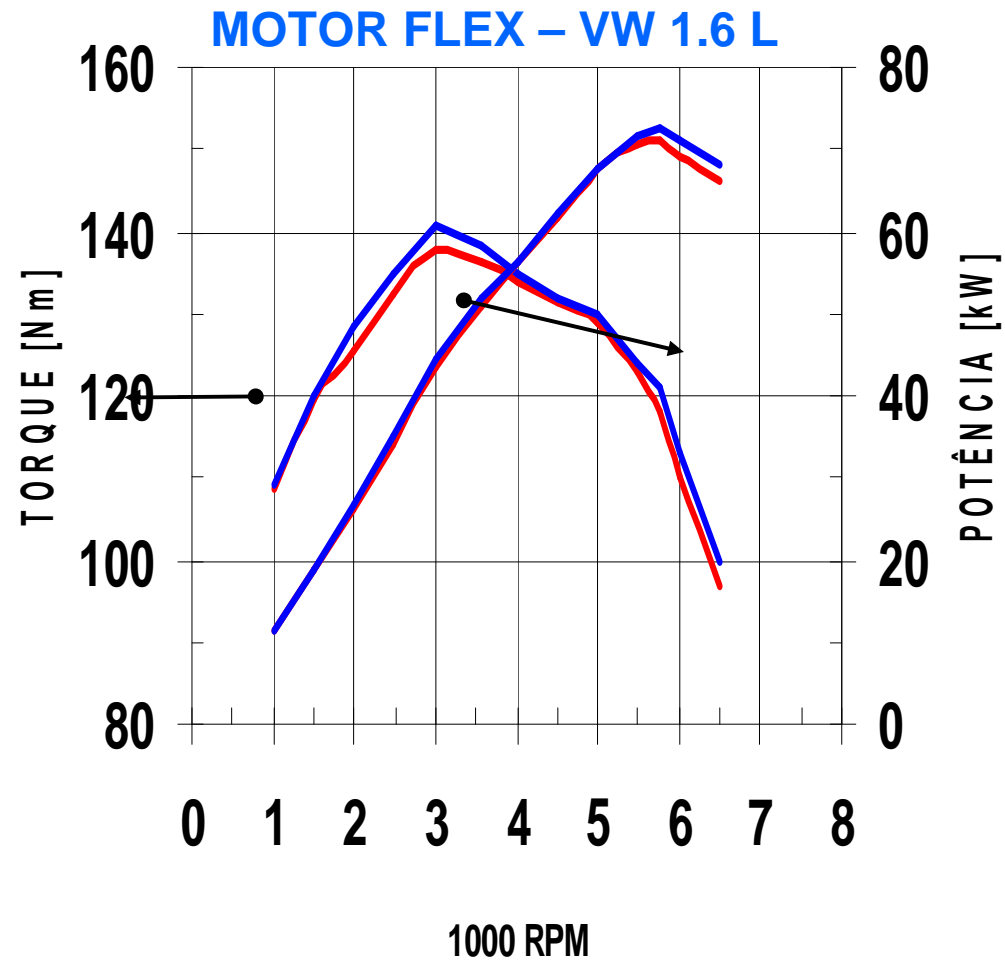
Não

Não é acionado o sistema auxiliar de partida

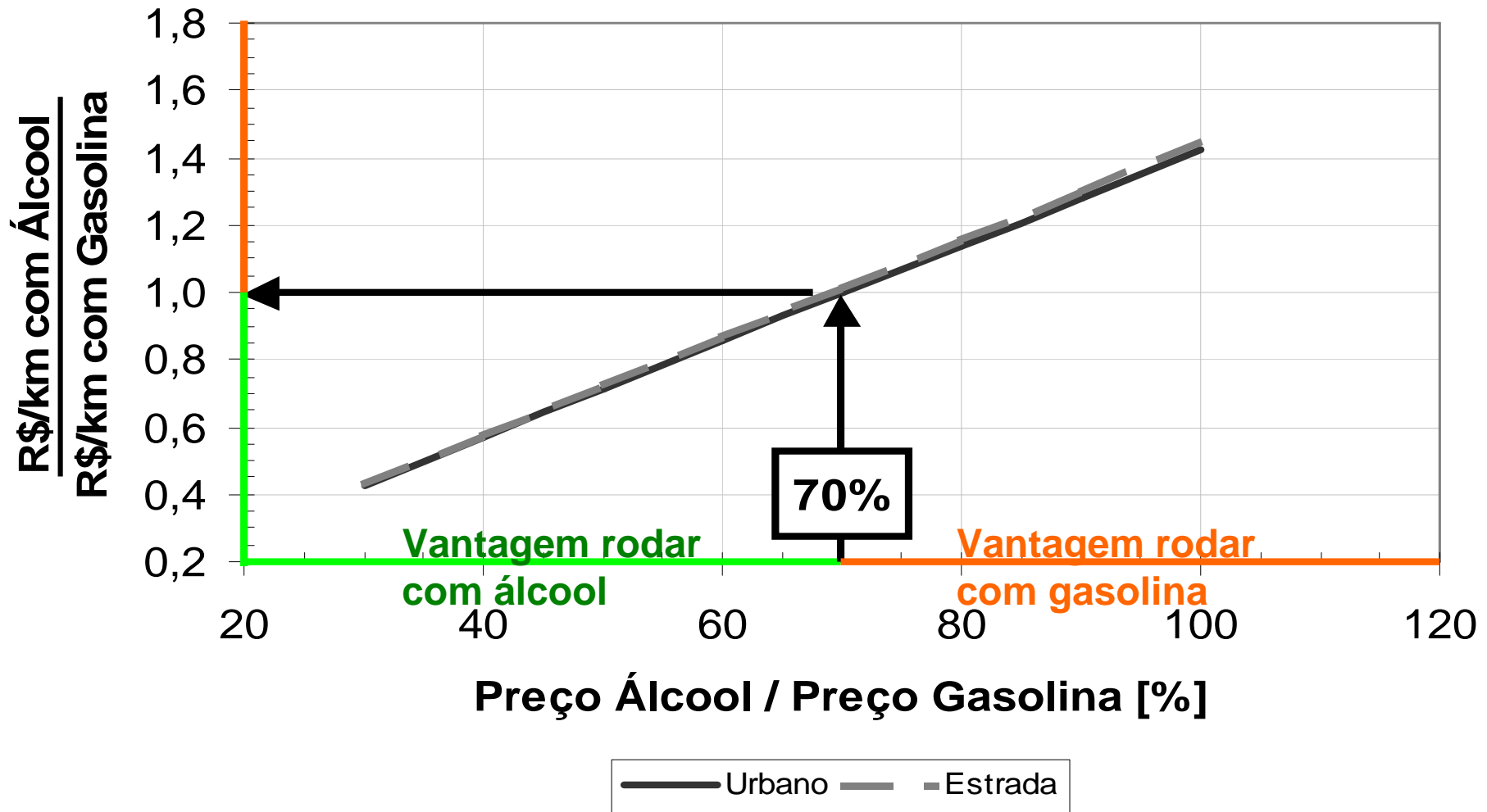


Monitora a ocorrência da partida

CURVAS DE DESEMPENHO



QUANDO RODAR COM ÁLCOOL? QUANDO RODAR COM GASOLINA?



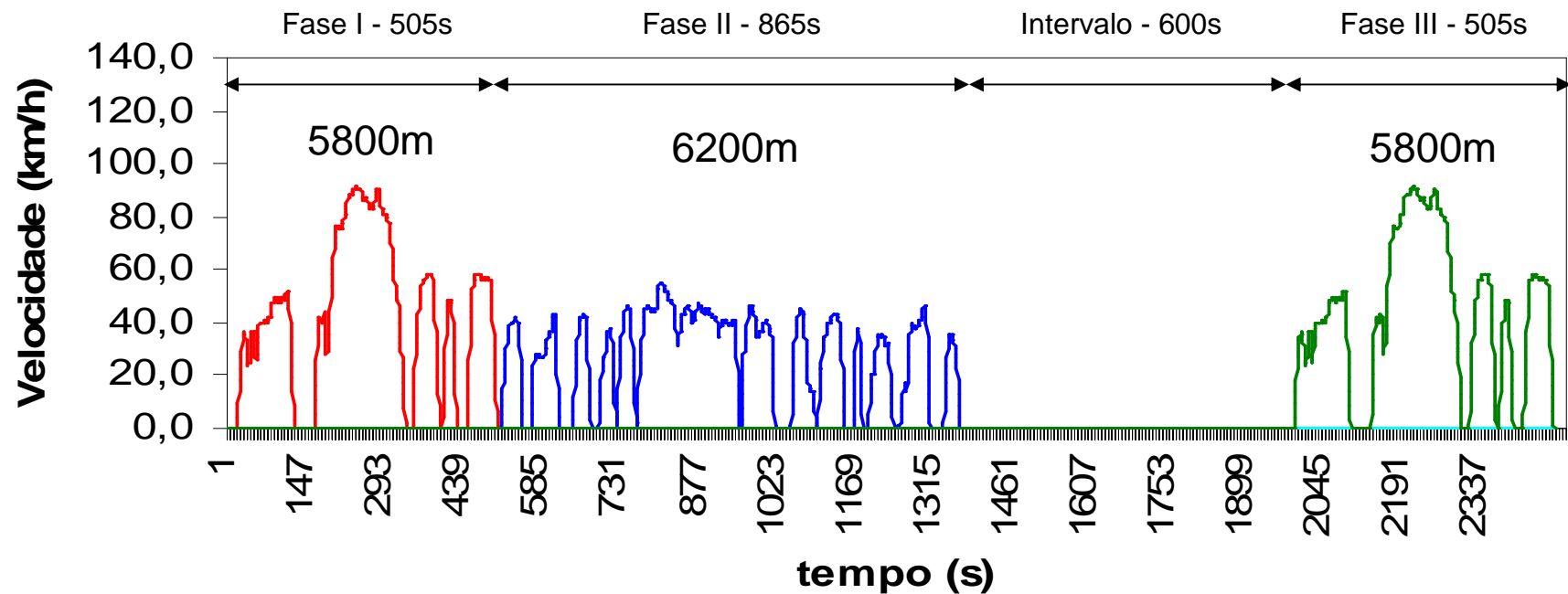
VEÍCULOS FLEX FUEL

- Representam **acima de 90%** da produção de novos veículos no Brasil;
- Encerramento da produção de veículos exclusivamente a gasolina pela maioria das montadoras;
- Franceses e Japoneses, que originalmente não detinham a tecnologia do veículo a álcool entraram apenas em 2006 e 2007;
- Brasil **líder mundial** dessa tecnologia e com a **maior frota do mundo**;
- Perda de eficiência de consumo em ambos os combustíveis, quando comparados aos resultados dos veículos com combustíveis originais.
- Veículo Flex dos EUA com E0 (GASOLINA PURA) e/ou E85 (ÁLCOOL COM 15% DE GASOLINA) , sendo que possui sensor de tipo de combustível no tanque.
- Redução do CO2 - depende mais do ciclo de vida da produção do bio-combustível e menos do veículo. Com etanol cerca de 5% menos CO2 no escape do que com gasolina E22.

ENSAIO DE EMISSÕES - CICLO NBR 6601 ~ FTP 75 (G/KM)

FASE I – URBANA – TRANSITÓRIA COM PARTIDA A FRIO (TF);
FASE II – ESTRADA – FASE ESTABILIZADA (TE)
FASE III – URBANA – TRANSITÓRIA COM PARTIDA A QUENTE (TQ)

Ciclo de Emissões NBR 6601



PROCONVE – HISTORICO

Fases do PROCONVE	Ano de Fabricação do Veículo	CO (g/km)	HC (g/km)	NMHC (g/km)	NOx (g/km)	HCHO (g/km)
L-1	1989	24,0	2,1	-	2,0	-
L-2	1992	12,0	1,2	-	1,4	0,16
L-3	1997	2,0	0,3	-	0,6	0,03
L-4	2007	2,0	0,3	0,16	0,25	0,03
L-5	2009	2,0	0,3	0,05	0,12	0,02
L-6	2013	1,3	0,3	0,05	0,08	0,02

CONSUMO E EMISSÕES FLEX – ALCOOL X GASOLINA E GNV

Combustível	THC (g/km)	CO (g/km)	NOx (g/km)	CO ₂ (g/km)	Aldeídos (g/km)	Autonomia Urbana (km/l) (km/m ³)
PROCONVE FASE 3	0,300	2,000	0,600	---	0,0300	---
Gasolina Padrão (média de 3 ensaios)	0,120	0,995	0,122	192,632	0,0033	11,18
AEHC (média de 3 ensaios)	0,117	0,899	0,051	187,032	0,0123	6,91
GNV-Rio (Ajuste IMPERIAL)	0,522	1,511	0,556	146,008	0,0012	13,48
	0,512	1,468	0,539	146,030	0,0016	14,29
	0,516	1,359	0,602	144,471	0,0015	13,98

LIMITES DE EMISSÕES PARA VEÍCULO LEVES DE PASSAGEIROS

Poluentes (g/km)	NMOG	EPA Tier 2 - Bin 8	PROCONVE L6 (2013)	EPA Tier 2 - Bin 7	EPA Tier 2 - Bin 6	EPA Tier 2 - Bin 5	PROPOSTA PROCONVE L7*	EPA Tier 2 - Bin 4	EPA Tier 2 - Bin 3	EPA Tier 2 - Bin 2	EPA Tier 2 - Bin 1	California ULEV - 50k	California SULEV - 90k
	NMHC	-	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CO	2,1	1,3	2,1	2,1	2,1	1,3	1,3	1,3	1,3	0,0	1,063	0,213
	NOx_gasol	0,09	0,08	0,07	0,05	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,00	0,031	0,006
	NOx_diesel												
	PM	0,01	-	0,01	0,01	0,01	-	0,01	0,01	0,01	0,00	0,006	0,001
	HCHO	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,003	0,000	0,005	0,001
	HC	-	0,3	-	-	-	0,16	-	-	-	-	-	-

CÁLCULO DO NMOG

“*California Non-Methane Organic Gas Test Procedures*”

-Veículos a etanol ou misturas com gasolina, massa de NMOG calculada pela soma das massas de NMHC, RCHO (aldeídos) e ROH (etanol).

$$NMOG_M = NMHC_M + RCHO_M + ROH_M$$



$$NMHC_M = Ved \cdot d_{NMHC} [NMHC_e - NMHC_d \cdot (1 - 1 / RD)] \cdot 10^{-6}$$

• *RD* = Razão de Diluição.

HISTÓRICO

- Álcool Não Queimado (AÑQ)

- Emitidos principalmente na partida a frio do ensaio de emissões;
- **PROCONVE não estabelece limites de emissões;**
- Resolução CONAMA nº 9/94 - Estabeleceu metodologia para a medição de AÑQ por cromatografia gasosa (CG);
- **Uso de etanol - IBAMA permite dedução do AÑQ dos resultados do NMHC (Instrução Normativa CONAMA nº 54/04);**
- 2008 - NBR 15598 “Veículos rodoviários automotores leves – Determinação de etanol não queimado contido no gás de escapamento, por cromatografia gasosa – Método de ensaio”;
- **Ensaio de Emissões feitos no Brasil - valores elevados de AÑQ;**
- Em estudo dispositivos para melhorar partida a frio com etanol.

FTIR – ENSAIOS DO CENPES

Formação de Aldeídos em veículo FLEX 2008 com Etanol (Resultados PETROBRAS)

Ensaio de Emissões com FTIR - Ciclo FTP 75_Fase 1 (Partida a Frio)

Álcool Não Queimado
Conc. = 15.127ppm

Acetaldeído
Conc. = 1.120,5 ppm

PARTIDA A FRIO

Formaldeído
Conc. = 205,6 ppm

Velocidade

Tempo = 90 seg



DESAFIOS

- ⦿ Reduzir o excesso de Álcool na partida a frio, o que pode contaminar o óleo lubrificante e gera emissões elevadas de aldeídos e álcool não queimado.
- ⦿ Melhorar a eficiência energética – Foi lançado em 2008/2009 o programa de etiquetagem veicular no Brasil. 2011 – ainda com poucos participantes de forma voluntária. No futuro veículos mais eficientes podem ter uma redução de impostos.
- ⦿ Novas fases do PROCONVE que poderão incluir emissões de álcool não queimado e valores muito baixo de NOx.

Volkswagen lança o Polo E-Flex, primeiro veículo nacional adaptado com sistema de aquecimento para o álcool combustível.



Desenvolvido pela Bosch, o sistema Flex Start dispensa o uso do reservatório auxiliar de gasolina (“tanquinho”) para partida a frio, utilizado em veículos abastecidos com álcool combustível.

Uma resistência elétrica instalada próxima ao bico injetor aquece o álcool durante o processo de partida a frio e também no pós-partida, enquanto o motor opera em baixas temperaturas. .

Em locais com temperaturas de até -5°C , o tempo necessário para o aquecimento do álcool é de 14 segundos. Se a temperatura ambiente for de 14°C , o de aquecimento é reduzido para 2 segundos. Com isso, o combustível pode chegar à temperatura de 120°C , o que torna a sua queima mais eficiente e, conseqüentemente, reduz o consumo.