

## PROJETO

***“Avaliação dos efeitos de formulações de óleo diesel S10B10 e S500B10 e outras misturas nas emissões legisladas, não legisladas e no desempenho de motores e veículos do ciclo Diesel”***

Apresentação final

10<sup>a</sup> reunião ordinária do PCVE, 15/12/2020

# AGENDA

Objetivo e Revisão Bibliográfica

METODOLOGIA

RESULTADOS

COMENTÁRIOS FINAIS

# Objetivo e Revisão Bibliográfica

# Projeto de P&D do B10

## ➤ Objetivos:

- Identificar a influência nas emissões de NOx e MP (principais poluentes do motor diesel) e aldeídos nas misturas de biodiesel B10 a B20 no óleo diesel.
- Dados a serem usados como entrada para o modelo de simulação da USP.

## ➤ Metodologia:

- Ensaios de motores pesados e veículos comerciais leves em condições controladas de laboratório utilizando-se combustíveis com diferentes teores de biodiesel e enxofre.
  - Parceria tecnológica com o Instituto de Pesquisas - LACTEC.
-

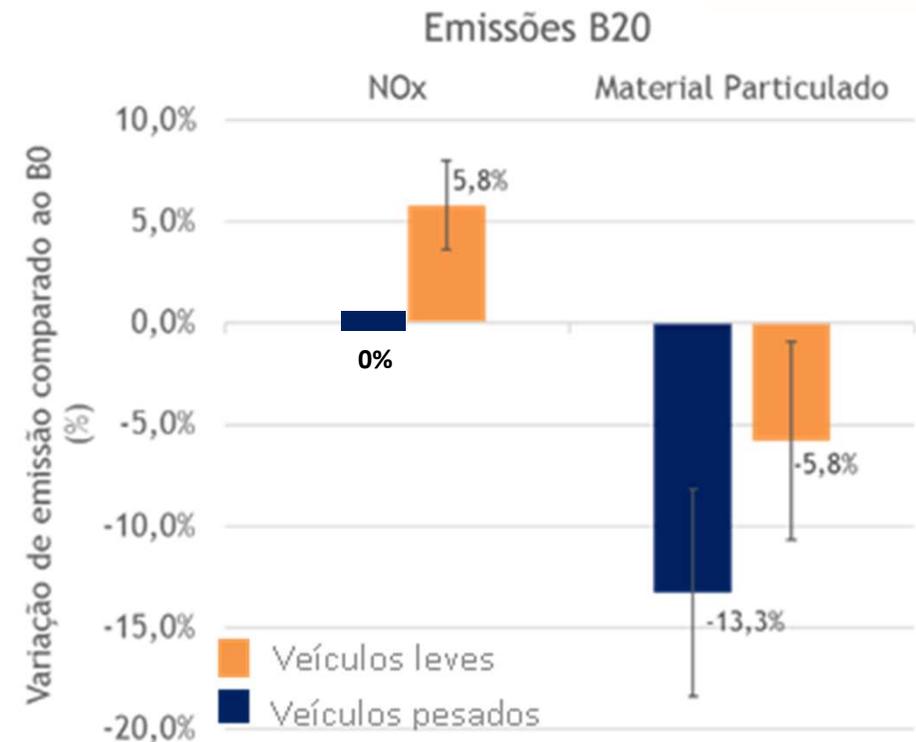
# Revisão Bibliográfica - Emissões

□ ANDERSON, L. G.

“Effects of Biodiesel Fuel Use on Vehicle Emissions”

World Renewable Energy Congress 2011. Univ. Colorado

- B20 x B0: 19 artigos sobre veículos pesados e 47 de veículos leves.

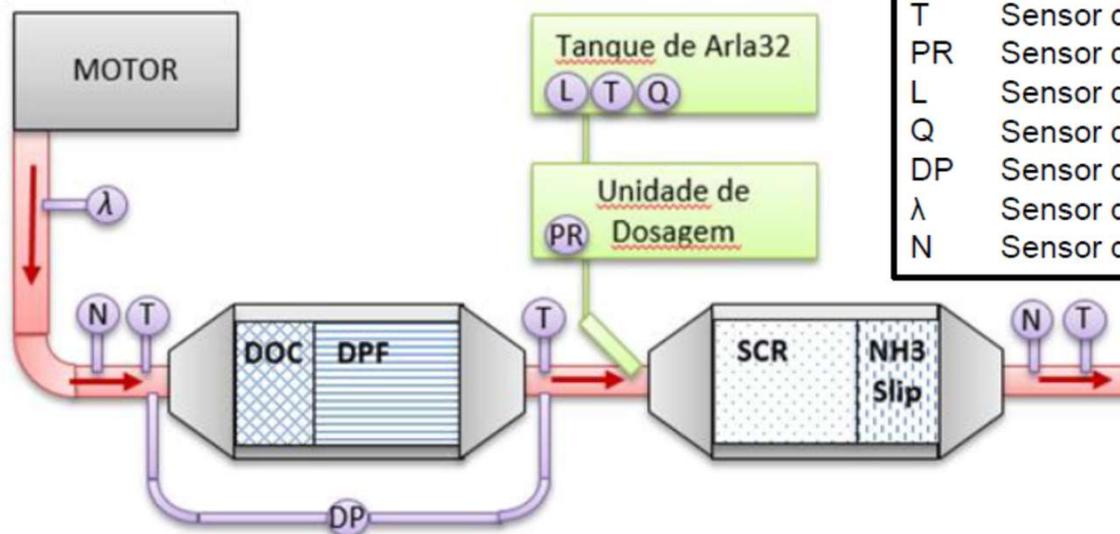


□ MACHADO, A.G.; SHIRAIWA, N. M.. SAE 2013-36-0208. “Emission and Performance Evaluation of a PROCONVE P7 (Euro V) Engine Working with 5% up to 100% of Biodiesel Blends”. MBB. SAE Brasil, 2013

- Motor CONAMA P7 com SCR. Óleo diesel S50, Comparação B5 x B20 redução máxima de material particulado de 31% e aumento máximo de NOx de 13%.

# FUNCIONAMENTO PÓS-TRATAMENTO: CONAMA P8 (EURO VI)

## Sistema de Pós-Tratamento



### LEGENDA

T	Sensor de Temperatura
PR	Sensor de Pressão
L	Sensor de Nível
Q	Sensor de Qualidade de Uréia
DP	Sensor de Pressão Diferencial
λ	Sensor de Lambda
N	Sensor de NOx

### Legenda:

DOC - CATALISADOR DE OXIDAÇÃO

DPF - FILTRO DE MATERIAL PARTICULADO

- ❑ **Sistemas de pós-tratamento: + complexos, + elementos ativos e diferentes graus de sensibilidade à contaminantes e às variações das condições de operação**

# Revisão Bibliográfica - Durabilidade de Emissões



## Impact of Biodiesel Impurities on the Performance and Durability of DOC, DPF and SCR Technologies

### Preprint

Aaron Williams, Jon Luecke and  
Robert L. McCormick  
*National Renewable Energy Laboratory*

Rasto Brezny  
*Manufacturers of Emission Controls Association*

Andreas Geisselmann  
*Umicore*

Ken Voss and Kevin Hallstrom  
*BASF Catalysts LLC*

Matthew Leustek, Jared Parsons and  
Hind Abi-Akar  
*Caterpillar*

- **NREL, 2012 : Durabilidade B20 X S10 (B0)**
  - Envelhecimento em banco de provas
  - 3 diferentes tipos de DPF (Filtro de Material Particulado), DOC (Catalisador de Oxidação) e SCR (Catalisador de Redução - NO<sub>x</sub>).
  - Biodiesel produziu mais fuligem, resultando em aumento de 7% da pressão no filtro
  - DOC reduziu em 30% formação de NO<sub>2</sub>, colaborando para perda de 5% de eficiência do SCR
  - Conclusão: Metais alcalinos (Na, Ca e K) do biodiesel no limite da especificação impactaram na performance do DOC, DPF e SCR
  
- **MISTURAS B20 [IOJOIU, 2017; RODRÍGUES-FERNÁNDEZ, 2017; CHEN, 2017]**
  - Eficiência de conversão SCR e Capacidade de regeneração do DPF comprometidas
  - Metais alcalinos e Fósforo causaram envenenamento dos catalisadores

# REV. BIBLIOGRÁFICA

• SAE 2020-36-0263

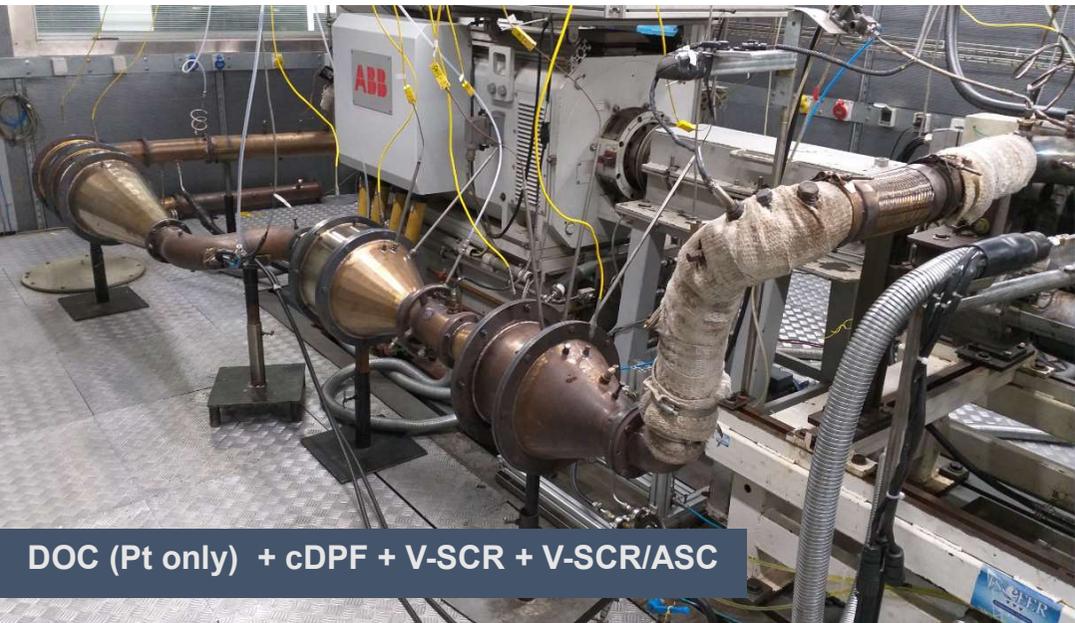
**“Effect of Biodiesel Blends on the Aging of EURO VI Aftertreatment System - Technical paper apresentado no CONGRESSO SAE WEB FORUM BRASIL 2020”**

Engine	Procedures
<ul style="list-style-type: none"> <li>OEM Calibration</li> <li>7 L - L6</li> <li>220 kW</li> </ul>	500h Aging Cycle – simulating 300Tkm (each one set for each fuel – B10 and B20)
	WHTC Cycles – each 100h
	Active Regeneration Check (ARC) – Fresh, 300h and 500h

B10

B20

- Fuels formulated using commercial diesel and biodiesel fuels
- B100 (ANP max. limit Na+K = 5 mg/kg; Ca+Mg = 5mg/kg; P = 10mg/kg)
- Na + K content: 4.8 mg/kg
- Ca + Mg content: 4.9 mg/kg
- P content: ~ 1.5 mg/kg
- B10 and B20 blends according to ANP specification



DOC (Pt only) + cDPF + V-SCR + V-SCR/ASC

**Conclusions:**

- Higher aging on DOC+cDPF catalysts, in comparison with SCR+ASC.
- B20 : higher impact on NO<sub>2</sub> formation after aging cycle, reducing passive regeneration capacity and NOx conversion.
- DOC storage capacity of THC decreased on both systems, but B20 presented slip earlier than B10, according to aged ARC test.
- News studies should be performed in order to check other PROCONVE P8 requirements, such as RDE.

# METODOLOGIA

# PROJETO P&D B10: Combustíveis



➤ Misturas B10, B15 e B20 com óleo diesel S10 e S500

➤ Motores P4 e P5: S500

➤ Motor P7 e veículos L6: S10

## PRINCIPAIS PROPRIEDADES DOS COMBUSTÍVEIS

NORMAS	Unidade	*S10 B10	*S10 B15	*S10 B20	**S500 B10	**S500 B15	**S500 B20
Massa específica a 20°C, ASTM D4052	kg/m <sup>3</sup>	836,8	839,0	841,2	844,6	846,6	847,9
Teor de Enxofre, ASTM D5453*/ASTM D7039**	mg/kg	4,9	4,9	4,6	129	131	117
Teor de Biodiesel, ABNT NBR 15568*/EN 14708**	% volume	9,4	14,4	19,1	10,0	14,6	18,3
Número de Cetano Derivado, ASTM D6890	-	50,9	51,0	51,5	45,0	44,8	44,8
Poder Calorífico Inferior, metodologia própria LACAUT***	MJ/kg	42,02	41,60	41,27	41,60	41,35	41,09

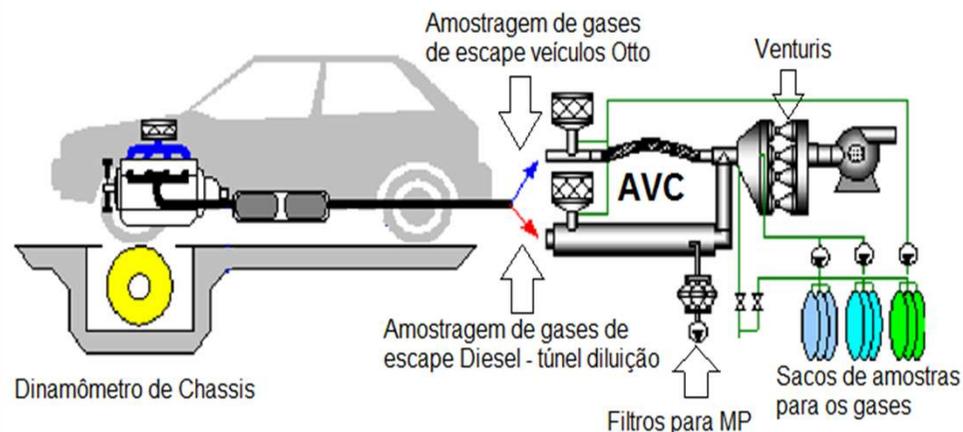
\* S10 – Análise no CENPES

\*\* S500 – Análise no Laboratório de Análise de Combustíveis Automotivos da UFPR (LACAUT)

\*\*\* Cálculo via equação de Dulond, tomando como base o resultado de Poder Calorífico Superior determinado via ASTM D240

# Metodologia de Ensaio - Veículos Diesel

- 3 veículos leves diesel da fase L6 do PROCONVE;
- Pelo menos 3 Ensaios de emissões em dinamômetro de chassis, norma NBR 6601.
- Aldeídos: NBR 12026 (adaptado: não há limite no Proconve para veículos diesel)
- Tratamento estatístico das médias - ANOVA



	Veículos Diesel L6		
	V1 2012/2013	V2 2014/2014	V3 2012/2013
Capacidade volumétrica (L)	2,8	2,0	3,0
Número cilindros	4	4	4
Potência (cv)	180	180	171
Sistema injeção	Common rail	Common rail	Common rail
Sistema de pós tratamento	DOC+EGR	DOC+EGR +DPF	DOC+EGR



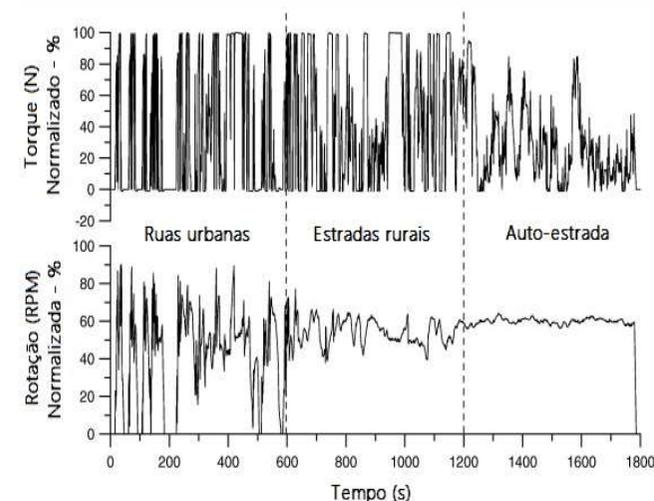
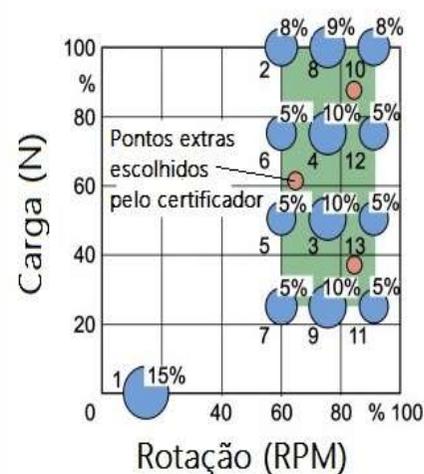
# Metodologia de Ensaio - Motores



- 3 motores pesados: PROCONVE P4, P5 e P7
- Tratamento estatístico das médias - ANOVA
- Pelo menos 3 Ensaio de emissões em bancada dinamométrica:
  - P4: NBR 14.489 (ECE R-49), ciclo de 13 pontos
  - P5: NBR 15.634, ciclo ESC
  - P7: NBR 15.634, ciclos ESC e ETC



	Motores pesados		
	P4	P5	P7
Capacidade volumétrica (L)	4,8	5,9	8,9
Número cilindros	4	6	6
Potência (cv)	218	275	330
Sistema injeção	Unidade injetora	Common rail	Common rail
Sistema de pós tratamento	-	-	DOC + SCR



# RESULTADOS

(Comparações com Ref. B10)

# NOx em Veículos L6 (g/km)



- Diferenças somente com V1 com B20: Aumento de 4%

	V1	V2 (DPF)	V3
B10 x B15	=	=	=
B10 x B20	+4,0%	=	=
B15 x B20	=	=	=

Obs: o primeiro combustível indicado na comparação é aquele usado como referência.

		V1	V2 (DPF)	V3	
NOx (g/km)	LIMITE do Proconve L6	0,35 g/km			
	S10 B10	MÉDIA	0,341	0,329	0,339
		DESVIO PADRÃO	0,009	0,008	0,004
		COEF. VARIAÇÃO	2,56%	2,29%	1,05%
	S10 B15	MÉDIA	0,344	0,324	0,350
		DESVIO PADRÃO	0,010	0,004	0,018
		COEF. VARIAÇÃO	2,80%	1,09%	5,27%
	S10 B20	MÉDIA	0,354	0,351	0,340
		DESVIO PADRÃO	0,007	0,038	0,007
		COEF. VARIAÇÃO	2,00%	10,95%	2,09

# MP em Veículos L6 (g/km)



❑ B15 sem diferenças

❑ Com B20:

- V1 e V3 apresentaram redução de até 9,9% e 18,7% respectivamente.
- **V2 com DPF: Sem diferenças.** Valores cerca de 2,5 % do limite e com elevada dispersão (regeneração do filtro). Veículo mais moderno com póstratamento.

	V1	V2 (DPF)	V3
B10 x B15	=	=	=
B10 x B20	-9,9%	=	-18,7%
B15 x B20	-6,4%	=	-18,3%

Obs: o primeiro combustível indicado na comparação é aquele usado como referência.

		V1	V2 (DPF)	V3	
MP (g/km)	LIMITE do Proconve L6	0,04 g/km			
	S10 B10	MÉDIA	0,0214	0,0011	0,0192
		DESVIO PADRÃO	0,0013	0,0004	0,0016
		COEF. VARIAÇÃO	6,10%	35,12%	8,30%
	S10 B15	MÉDIA	0,0206	0,0009	0,0193
		DESVIO PADRÃO	0,0010	0,0002	0,0019
		COEF. VARIAÇÃO	4,63%	28,59%	9,85%
	S10 B20	MÉDIA	0,0193	0,0008	0,0157
		DESVIO PADRÃO	0,0015	0,0002	0,0016
		COEF. VARIAÇÃO	7,83%	27,61%	10,33%

# Aldeídos em Veículos L6 (g/km)



- ☐ Apenas V1 teve diferença estatística (B15 e B20) com aumento de até 61%
- ☐ Valores absolutos cerca de 10% do limite de aldeídos de veículos Flex (0,02 g/km)
- ☐ Valores próximos ao limite de detecção do método

	Aldeídos totais		
	V1	V2 (DPF)	V3
B10 x B15	=	=	=
B10 x B20	61%	=	=
B15 x B20	49%	=	=
Obs: Ref. vs BX			

		Aldeídos totais		
		V1	V2 (DPF)	V3
S10 B10	MÉDIA (g/km)	0,0019	0,0046	0,0009
	DESVIO PADRÃO	0,0004	0,0010	0,0002
	COEF. VARIAÇÃO	21,14%	22,35%	28,01%
S10 B15	MÉDIA (g/km)	0,0020	0,0051	0,0007
	DESVIO PADRÃO	0,0006	0,0013	0,0002
	COEF. VARIAÇÃO	29,97%	25,17%	28,29%
S10 B20	MÉDIA (g/km)	0,0030	0,0054	0,0009
	DESVIO PADRÃO	0,0002	0,0007	0,0002
	COEF. VARIAÇÃO	8,33%	13,70%	19,52%

Nota: PROCONVE L6 – Veículos Flex aldeídos limite de 0,02 g/km.  
Não há limite para veículos diesel

# Emissões de NOx e MP em Motor P4 (Ciclo ECE R-49)



- Sem diferenças para o NOx e MP
- Problemas operacionais na medição do B15
- Motor antigo: Valores de NOx cerca de 11% acima do limite do Proconve

	NOx	MP
B10 x B20	=	=

		NOx g/kWh	MP g/kWh	
CONAMA P4 - ciclo R-49	LIMITE do Proconve P4	7,00	0,15	
	S500 B10	MÉDIA	7,780	0,0944
		DESVIO PADRÃO	0,053	0,0005
		COEF. VARIAÇÃO	0,68%	0,58%
	S500 B15	MÉDIA	ND	ND
		DESVIO PADRÃO	ND	ND
		COEF. VARIAÇÃO	ND	ND
	S500 B20	MÉDIA	7,837	0,0937
		DESVIO PADRÃO	0,099	0,0057
		COEF. VARIAÇÃO	1,26%	6,13%

# Emissões NOx e MP em Motor P5 (Ciclo ESC)



- B15: sem diferenças para NOx e MP
- B20: Aumento de até 2,4% no NOx e redução de até 9,1% no MP.
- Obs: valores de MP cerca de 40% do limite.

	NOx	MP
<b>B10 x B15</b>	=	=
<b>B10 x B20</b>	2,3%	-9,1%
<b>B15 x B20</b>	2,4%	-7,5%

		NOx g/kWh	MP g/kWh	
CONAMA P5- ciclo ESC	<b>LIMITE do Proconve P5</b>	<b>5,00</b>	<b>0,10</b>	
	S500 B10	MÉDIA	4,319	0,042
		DESVIO PADRÃO	0,015	0,001
		COEF. VARIAÇÃO	0,34%	2,28%
	S500 B15	MÉDIA	4,317	0,041
		DESVIO PADRÃO	0,036	0,001
		COEF. VARIAÇÃO	0,84%	2,34%
	S500 B20	MÉDIA	4,421	0,038
		DESVIO PADRÃO	0,013	0,001
		COEF. VARIAÇÃO	0,29%	2,26%

# Emissões NOx e MP em Motor P7



- MP: Redução de até 14% no ESC e 17% no ETC (valores cerca de 33% do limite)
- NOx: Sem diferenças significativas no ESC e redução de 2,6% no ETC (Valores cerca de 60% do limite)

CONAMA P7 - PÓS-CATALISADOR				
	Ciclo ESC		Ciclo ETC	
	NOx	MP	NOx	MP
	g/kW h	g/kW h	g/kW h	g/kW h
B10 x B15	=	-11%	-2,6%	-11%
B10 x B20	=	-14%	-2,5%	-17%
B15 x B20	=	=	=	-6,7%

CONAMA P7 - PÓS-CATALISADOR					
		Ciclo ESC		Ciclo ETC	
		NOx	MP	NOx	MP
		g/kW h	g/kW h	g/kW h	g/kW h
<b>LIMITES CONAMA P7</b>		<b>2,00</b>	<b>0,02</b>	<b>2,00</b>	<b>0,03</b>
<b>S10 B10</b>	MÉDIA	1,203	0,0046	1,303	0,0098
	DESVIO PADRÃO	0,051	0,0001	0,007	0,0005
	COEF. VARIAÇÃO	4,27%	2,77%	0,54%	4,70%
<b>S10 B15</b>	MÉDIA	1,245	0,0041	1,269	0,0090
	DESVIO PADRÃO	0,007	0,0001	0,016	0,0004
	COEF. VARIAÇÃO	0,57%	3,09%	1,27%	4,61%
<b>S10 B20</b>	MÉDIA	1,337	0,0039	1,270	0,0080
	DESVIO PADRÃO	0,096	0,0002	0,021	0,0001
	COEF. VARIAÇÃO	7,20%	3,97%	1,65%	1,26%

# Emissões de Aldeídos em Motores (g/kWh)



Aldeídos totais				
	P4	P5	P7	
			ESC	ETC
B10 x B15	ND	=	=	=
B10 x B20	11%	-7,8%	=	=
B15 x B20	ND	-5,5%	=	=

P4: Aumento de até 11% com B20  
 P5: Redução de até 7,8% com B20  
 P7: Sem diferenças

Aldeídos totais					
		CONAMA P4 S500 R49	CONAMA P5 S500 ESC	CONAMA P7	
				S10 ESC	S10 ETC
B10	MÉDIA	0,0083	0,0074	0,0013	0,0034
	DESVIO PADRÃO	0,0003	0,0003	0,00017	0,0001
	COEF. VARIAÇÃO	3,07%	3,95%	13,46%	3,28%
B15	MÉDIA	0,0085	0,0073	0,0011	0,0032
	DESVIO PADRÃO	0,00007	0,0002	0,000040	0,00015
	COEF. VARIAÇÃO	0,80%	2,91%	3,45%	4,58%
B20	MÉDIA	0,0093	0,0069	0,0013	0,0033
	DESVIO PADRÃO	0,0005	0,0002	0,000140	0,00020
	COEF. VARIAÇÃO	5,27%	3,12%	11,08%	6,16%

Nota:

- Encontrados valores e diferenças pequenas e sem parâmetro de limite de emissões (nacional e internacional).
- Cabe notar que o motor P7 não apresentou variações (possui sistema de pós-tratamento)

# COMENTÁRIOS FINAIS

# COMENTÁRIOS FINAIS



## ❑ METODOLOGIA:

- INFRA: Veículos L6 (V1 e V3 -ano: 2012/2013, V2 (2014) c/ DPF); Motores P4,P5 e P7; Misturas B10,B15 e B20
- Ensaios de Emissões de NOx, MP e Aldeídos
- Feita comparação de médias com o B10 como referência (Análise de ANOVA)

## ❑ VEÍCULOS L6

- NOx: V2 e V3 sem diferenças. V1 com B20 houve aumento de 4%

### ▪ MATERIAL PARTICULADO:

Com B15: Sem variação significativa nos 3 veículos

Com B20:

- V1 e V3 redução de até 9,9% e até 18,7% respectivamente
- V2 com DPF: Sem diferenças. Valores cerca de 2,5 % do limite e com elevada dispersão (regeneração do filtro).

### ▪ ALDEÍDOS:

- Apenas V1 teve diferença estatística (B15 e B20) com aumento de até 61%
- Valores absolutos cerca de 10% do limite de aldeídos de veículos Flex (0,02 g/km)

# COMENTÁRIOS FINAIS



## ❑ MOTORES

- **CONAMA P4:** Não foram encontradas diferenças significativas para NOx e MP. Valores de NOx cerca de 11% acima do limite
- **CONAMA P5:**
  - B15: sem diferenças para NOx e MP
  - B20: Aumento de até 2,4% no NOx e redução de até 9,1% no MP. Valores de MP cerca de 40% do limite
- **CONAMA P7:**
  - **NOx** (cerca de 60% do limite): Sem diferença para o ciclo ESC. No ETC redução de 2,6% para o B15 e de 2,5 % para o B20.
  - **MP** (cerca de 33% do limite ):
    - Ciclo ESC redução de até 11% para o B15 e de até 14% para o B20
    - Ciclo ETC redução de até 11% para o B15 e de até 17% para o B20
- **ALDEÍDOS: B15:** Sem diferenças para os 3 motores testados.
  - B20: verificado aumento de até 11% com o P4 e uma redução de até 7,8% com o P5. Sem diferenças para o P7
  - Valores e diferenças pequenas e sem parâmetro de limite de emissões (nacional e internacional).
- Não fez parte do escopo a análise de motores EURO VI (P8) e o efeito da durabilidade nas emissões
- Conclusões do trabalho se restringem às amostras de combustíveis e motores/veículos utilizados
- Resultados usados como dados de entrada para o modelo de qualidade do ar em parceria com a USP