



Inventário de Emissões para Máquinas Agrícolas e Rodoviárias: Cenários Futuros e Projeções

Organização: Eduardo R. Oliveira
Membro do Conselho Diretor – AFEEVAS

Desenvolvimento: EnvironMentality
Consultoría Especializada – AFEEVAS

junho de 2024

Por solicitação da AFEEVAS, este inventário foi desenvolvido pela EnvironMentality em complemento ao inventário preliminar publicado em novembro de 2023, que conclui pela necessidade de uma nova fase para o Programa MAR I.

Seu objetivo principal é subsidiar tecnicamente a discussão de propostas para o cronograma de implantação da nova fase MAR II, baseado nas tecnologias atualmente em uso e induzidas pelos fatores de emissão Tier 4 Final, equivalentes aos PROCONVE P7 implantados no Brasil desde 2012.

Como resultado, este inventário indicou que a fase MAR II precisa contar com o maior número de categorias de máquinas possível para produzir uma redução efetiva do seu impacto ambiental e indica a possibilidade de priorização da entrada de cada uma na regulamentação.

Publicado em 10/06/2024

Inventário de Emissões para Máquinas Agrícolas e Rodoviárias: Cenários Futuros e Projeções

O inventário preliminar apresentado e discutido em novembro de 2023 foi aceito pelos participantes da discussão sobre a evolução do Programa de controle de emissões das máquinas agrícolas e rodoviárias para uma fase MAR II e gerou a expectativa de um salto tecnológico com a adoção dos fatores de emissão Tier 4 Final em vigor nos Estados Unidos.

Com base nesta hipótese, este trabalho estendeu as projeções para o horizonte de 2040, sob quatro cenários, para a introdução das novas tecnologias de forma escalonada em datas diferentes, de forma a permitir o desenvolvimento das novas máquinas.

Diante da ausência de projeções de vendas até 2040, foi utilizada a curva já estimada até 2030 no inventário preliminar, estendida linearmente até 2040 pela tendência dada pela regressão desta curva completa, ou seja, entre 1990 e 2030. As estimativas das frotas foram feitas com os mesmos critérios de sucateamento desenvolvidos para o inventário preliminar. Também foram mantidas as demais premissas adotadas no inventário preliminar, tais como fatores de uso, potência média por categoria, consumo específico de combustível e outros parâmetros necessários aos cálculos.

Para a estimativa dos fatores de emissão efetivamente trazidos pelos limites Tier 4, foram calculadas as razões entre os limites da fase P7 do PROCONVE para veículos pesados e as respectivas médias de emissão certificadas nos últimos dez anos, tendo em vista que as tecnologias da fase P7 são esperadas para o cumprimento de Tier 4 Final. Estas relações mantiveram-se constantes no período considerado e não houve distinção significativa entre os diferentes tamanhos de motor e, por isso, foram adotadas as médias obtidas para cada poluente. Desta forma a extensão dos

cenários MAR II ficaram coerentes com a fase MAR I, cujos valores foram as médias de certificação.

Com estas premissas, foram construídas as curvas de evolução das emissões anuais de NOx, MP, THC e CO esperadas até o ano de 2040, que oferecem as seguintes conclusões:

1. A atenuação do crescimento da emissão de NOx provocada pela fase MAR I é passageira e já mostra uma tendência de reverter, o que exige a implantação de uma nova fase MAR II;
2. Os cenários avaliados levam a dois níveis distintos de emissão em 2040: os que consideram as máquinas com potências inferiores a 75 kW e os que não as incluem por serem as de maior impacto social. Portanto, é mais importante incluí-las no Programa, mesmo que flexibilizando o seu prazo de implantação como mostram os cenários 4 e 5, do que antecipar os prazos das máquinas maiores;
3. Para compensar a exclusão das máquinas pequenas no programa, seria necessário antecipar a implantação de todas as demais, iniciando concomitantemente em janeiro de 2027, o que seria nitidamente inviável e justifica mais uma vez a necessidade de inclusão das máquinas com potência inferior a 76kW na fase MAR II com os mesmos limites das demais;
4. Estas conclusões são especialmente válidas para NOx e material particulado que são os poluentes mais preocupantes no controle dos motores Diesel;

São Paulo, 10 de junho de 2024.

Fábio C. Branco

Gabriel M. Branco

Desenvolvimento do PROCONVE MAR 2

Inventário de Emissões

CENÁRIOS FUTUROS E PROJEÇÕES

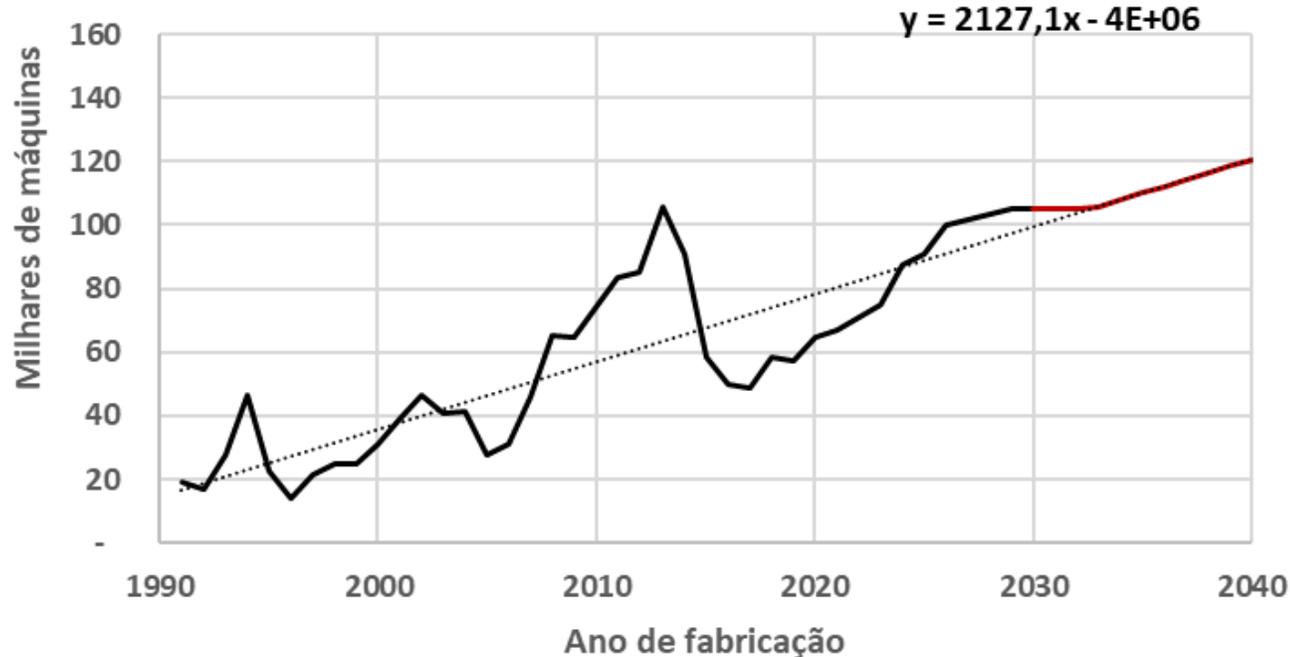
Fábio Cardinale Branco

Gabriel Murgel Branco

São Paulo, maio de 2024

1. As estimativas de vendas calculadas no inventário preliminar foram mantidas até o ano de 2030, até que se disponham de dados mais atualizados
2. A projeção de vendas a partir de 2017, utilizada para a estimativa dos valores de 2030, não se mostra realista no cenário de 2040, devido à sazonalidade
3. Foi feita nova projeção, considerando as vendas reais e estimadas a partir de 1991, que inclui os ciclos sazonais recentes
4. A junção das curvas foi feita mantendo-se as estimativas anteriores, de estabilidade, fornecidas pela Bosch
5. As curvas de sucateamento utilizadas no inventário preliminar foram mantidas

Histórico de vendas - extrapolação desde 1991



Frotas estimadas

	Total	Máquinas agrícolas	Máquinas de construção
2020	1.743.787	1.122.436	621.351
2023	1.844.727	1.170.078	674.649
2030	2.262.710	1.390.245	872.466
2040	2.930.974	1.757.231	1.173.742

Foram simulados quatro dos cinco cenários estabelecidos na reunião da AEA de 25/04, além do cenário-base (MAR I) para comparação. O cenário 3 foi descartado em comum acordo na última reunião (09/05).

Cenário 01

Faixa de Potência	Referência	Data estimada de publicação da Norma	Data de implementação
130 < P ≤ 560	Tier4 F	dez/25	2030
75 < P ≤ 130	Tier4 F	dez/25	2032
37 ≤ P ≤ 75	MAR-I	-	-

Cenário 02

Faixa de Potência	Referência	Data estimada de publicação da Norma	Data de implementação
130 < P ≤ 560	Tier4 F	dez/25	2029
75 < P ≤ 130	Tier4 F	dez/25	2031
37 ≤ P ≤ 75	MAR-I	-	-

Cenário 03

Faixa de Potência	Referência	Data estimada de publicação da Norma	Data de implementação
130 < P ≤ 560	Tier4 F	dez/25	2028
75 < P ≤ 130	Tier4 F	dez/25	2031
37 ≤ P ≤ 75	MAR-I	-	-

Cenário 04

Faixa de Potência	Referência	Data estimada de publicação da Norma	Data de implementação
130 < P ≤ 560	Tier4 F	dez/25	2029
75 < P ≤ 130	Tier4 F	dez/25	2031
56 < P ≤ 75	Tier4 F	dez/25	2033
37 ≤ P ≤ 56	Tier4 F	dez/25	2033

Cenário 05

Faixa de Potência	Referência	Data estimada de publicação da Norma	Data de implementação
130 < P ≤ 560	Tier4 F	dez/25	2030
75 < P ≤ 130	Tier4 F	dez/25	2032
56 < P ≤ 75	Tier4 F	dez/25	2034
37 ≤ P ≤ 56	Tier4 F	dez/25	2034

Margens em relação aos limites P7

Categoria	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NOx (g/kWh)	MP (g/kWh)
Caminhões - Semileves	0,013	0,021	0,672	0,221
Caminhões - Leves	0,066	0,025	0,745	0,401
Caminhões - Médios	0,049	0,028	0,735	0,416
Caminhões - Semipesados	0,027	0,032	0,757	0,480
Caminhões - Pesados	0,055	0,039	0,711	0,443
Média - Caminhões	0,042	0,029	0,724	0,392

Ônibus - Micro-ônibus	0,029	0,032	0,621	0,300
Ônibus - Urbanos	0,069	0,022	0,721	0,408
Ônibus - Rodoviários	0,067	0,041	0,694	0,452
Média - Ônibus	0,055	0,032	0,679	0,387

	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NOx (g/kWh)	MP (g/kWh)
Média geral	0,047	0,030	0,707	0,390

Fatores de emissão recalculados (médias P7/EURO V)

Tier 4F - original (limites)

Faixa de Potência	CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	NOx [g/kWh]	PM [g/kWh]
0 - 37 [kW]	5,500	0,192	4,508	0,012
37 - 56 [Kw]	5,000	0,192	4,508	0,012
56 - 75 [kW]	5,000	0,190	0,400	0,008
75 - 130 [kW]	5,000	0,190	0,400	0,008
130 - 225 [kW]	3,500	0,190	0,400	0,008
225 - 450 [kW]	3,500	0,190	0,400	0,008
450 - 560 [kW]	3,500	0,190	0,400	0,008

Tier 4F - recalculado (margens)

Faixa de Potência	CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	NOx [g/kWh]	PM [g/kWh]
0 - 37 [kW]	0,259	0,006	3,188	0,007
37 - 56 [Kw]	0,235	0,006	3,188	0,007
56 - 75 [kW]	0,235	0,006	0,283	0,005
75 - 130 [kW]	0,235	0,006	0,283	0,005
130 - 225 [kW]	0,165	0,006	0,283	0,005
225 - 450 [kW]	0,165	0,006	0,283	0,005
450 - 560 [kW]	0,165	0,006	0,283	0,005

Médias P7

95%

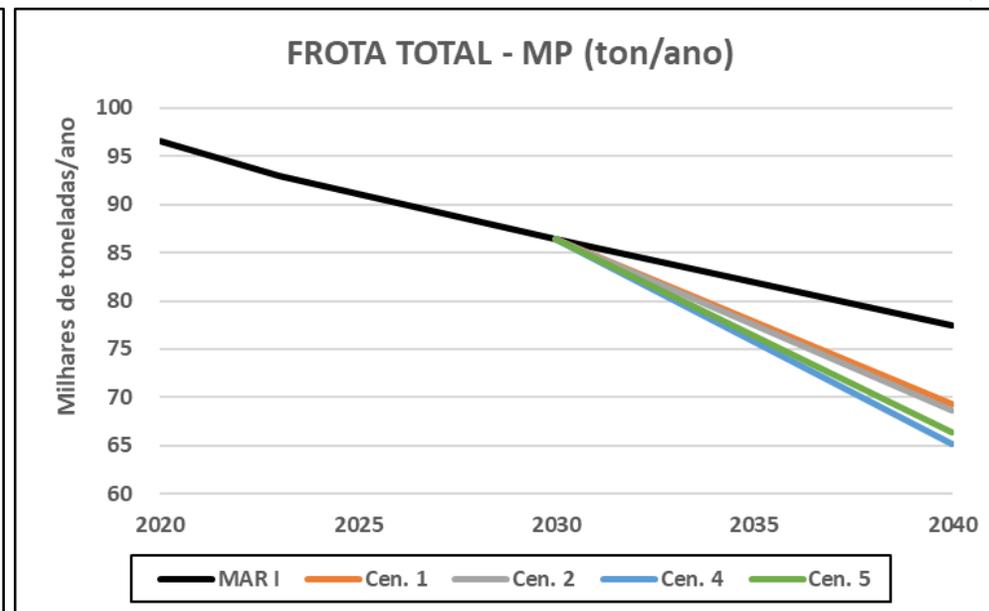
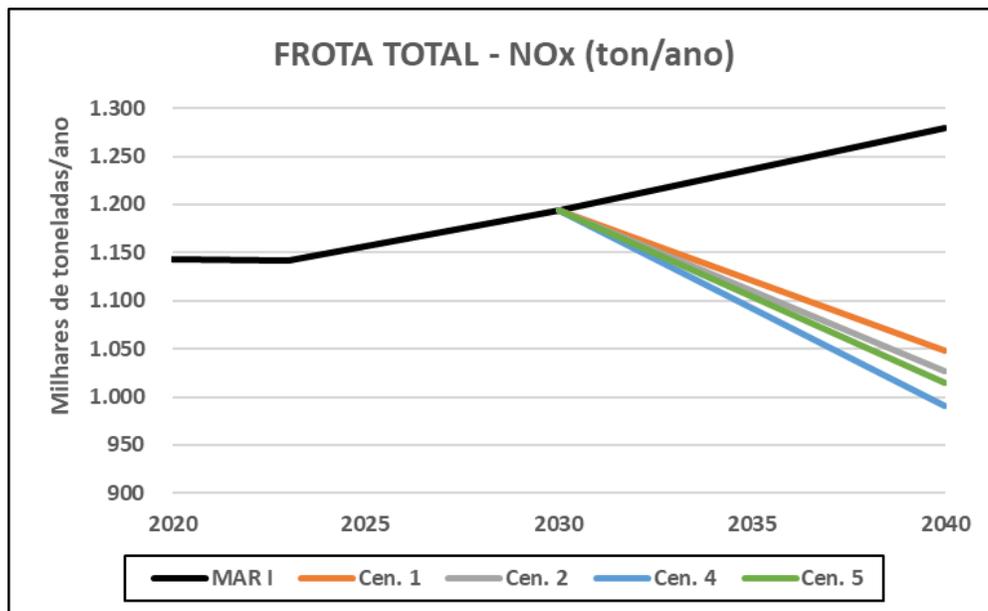
97%

29%

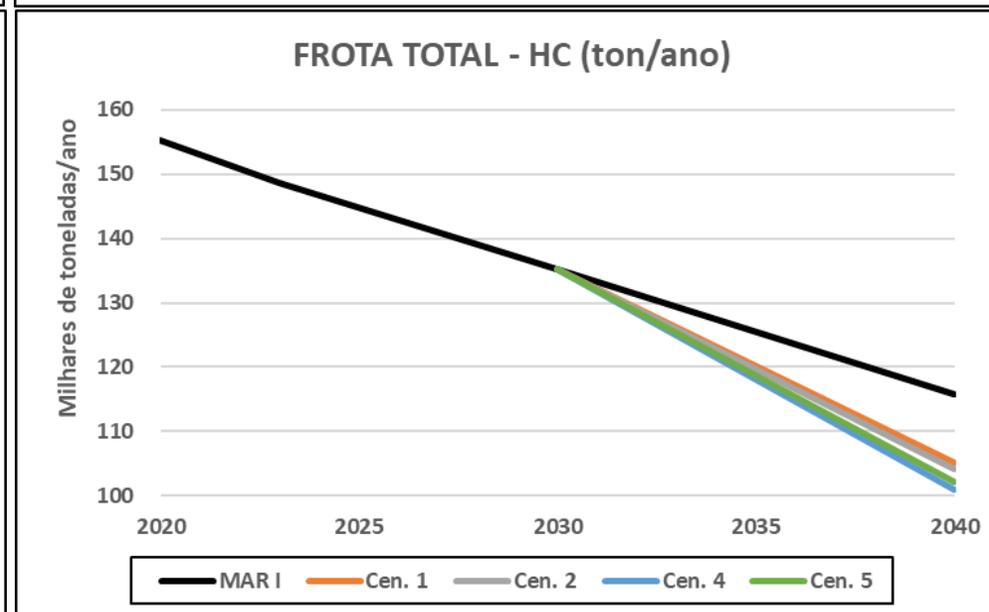
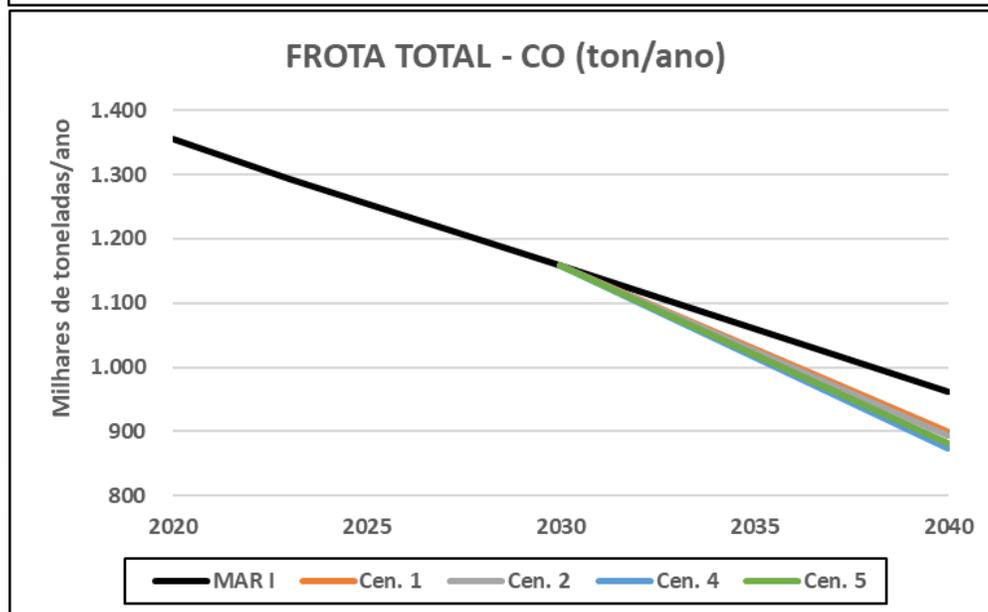
61%

Estimativas do inventário para o ano 2040

	NOx	MP
MAR I	-7%	12%
Ganhos adicionais MAR II		
Cen. 1	18%	10%
Cen. 2	20%	11%
Cen. 4	23%	16%
Cen. 5	21%	14%



	CO	HC
MAR I	20%	17%
Ganhos adicionais MAR II		
Cen. 1	7%	9%
Cen. 2	7%	10%
Cen. 4	9%	13%
Cen. 5	8%	12%



Tendência atual
Redução em rel. à tendência atual