

Avaliações do Impacto Ambiental de Grupos Geradores

**Fábio C. Branco
Gabriel M. Branco**

São Paulo, 14 de Novembro de 2025

Trabalho elaborado pela EnvironMentality sob demanda da Associação dos Fabricantes de Equipamentos para Controle de Emissões Veiculares da América do Sul – AFEEVAS

Avaliações do Impacto Ambiental de Grupos Geradores

1. Introdução

Este trabalho refere-se ao programa de controle de emissões para grupos geradores discutido com os associados da AFEEVAS, da ABIMAQ, órgãos de governo e outros associados da AEA, que será proposto ao CONAMA.

A estimativa do impacto ambiental dos grupos geradores não poderá ser feita nos moldes tradicionais por falta de informações sobre o número de geradores em funcionamento no Brasil e da taxa de sucateamento deste tipo de máquina.

Alternativamente os impactos ambientais poderão ser estimados apenas em termos das **emissões anuais causadas pelos geradores comercializados**, calculadas para o cenário atual (com as máquinas fabricadas sem controle de emissões) e comparadas para um cenário futuro que ocorreria após a implantação dos limites sugeridos em todo o parque de geradores, o que mostrará a eficácia das medidas propostas, mas não os resultados finais na atmosfera, considerando a taxa de sucateamento atual e crescimento futuro do número de máquinas.

A proposição dos limites norte-americanos Tier 4F, para os grupos geradores responsáveis por quase 90% da geração de energia por este segmento, confere alta qualidade à proposta que desenvolvemos, entretanto, a adoção de limites Tier 2 e Tier 3 para os casos remanescentes, apesar de apresentarem reduções de emissão superiores a 70%, ainda constituem pontos que merecem alguns comentários específicos para a aplicação de geradores em locais restritos ou com grande circulação de pessoas, onde poderá ser necessário雇用 os modelos Tier 4F, mesmo em geradores de emergência, uma vez que estes estarão disponíveis no mercado.

Também nos casos em que a geração de energia seja feita predominantemente a partir de motores diesel, como já ocorre em várias cidades do Brasil, estabelecimentos comerciais e até em prédios residenciais, o abastecimento de veículos elétricos deverá ser admitido somente se estas instalações tiverem geradores Tier 4F, visto que a eletrificação de veículos precisa contar com fontes de energia tão limpas quanto os motores veiculares mais modernos. Caso os geradores não sigam esta tendência, a mobilidade elétrica ficará muito prejudicada e não fará sentido nestas situações.

Estes aspectos devem ser mencionados na AIR e podem ser convenientemente discutidos em termos comparativos com veículos P8 funcionando nos mesmos locais, o que será um argumento fortemente favorável ao Programa como está desenhado.

2. Avaliação do parque de geradores comercializados no Brasil por categoria e proposta dos padrões tecnológicos

A ABIMAQ, associação que reúne as principais empresas brasileiras do setor, levantou o número de geradores comercializados e instalados no Brasil nos últimos vinte anos e forneceu uma tabela com o número de máquinas, por classe de potência

e por tipo de utilização (Prime – COP - Stand by¹), cuja distribuição foi estimada proporcionalmente às estatísticas de vendas das suas empresas associadas².

Tabela 1 - Número de máquinas nacionais distribuídas conforme estatísticas da ABIMAQ

		p < 10 kVA	10 kVA ≤ p < 30 kVA	30 kVA ≤ p < 75 kVA	75 kVA ≤ p < 150 kVA	150 kVA ≤ p < 250 kVA	250 kVA ≤ p < 400 kVA	400 kVA ≤ p < 550 kVA	550 kVA ≤ p < 750 kVA	750 kVA ≤ p < 1000 kVA	P ≥ 1000 kVA
horas/ano	kVA médio:	7	20	41,25	63,75	112,5	200	325	475	600	700
50	Stand by	6.287	27.524	21.144	21.144	46.017	66.464	34.115	32.496	8.531	8.531
1350	Prime	1.182	2.410	1.508	1.508	2.834	12.406	1.799	6.356	5.133	5.133
6307	COP	4.643	9.286	4.744	4.744	750	1.298	421	3.251	178	178
										543	327

A categoria “emergência” distingue-se das demais por se destinar ao fornecimento de energia por períodos muito curtos, que raramente ultrapassam 50 horas/ano e tem custo baixo por não exigirem requisitos de monta para assegurar a sua durabilidade em serviços pesados.

A produção de energia desses geradores foi estimada segundo estas características básicas para identificar as categorias e tipos de serviço mais significativos **entre os geradores** e que devem ser alvos prioritários para a aplicação da melhor tecnologia prática disponibilizável no mercado brasileiro. A tabela 2 apresenta os fatores de utilização para as três categorias de serviço e a tabela 3 mostra a produção anual de energia elétrica e a percentagem da geração total para cada categoria de grupos geradores associada às respectivas classes de potência e tipos de serviço. Os fatores de uso dos COP consideram 90% do total máximo de 8.760 horas por ano ($365 \times 24 \times 0,9 = 7.884$), enquanto os demais foram estimados pelos fabricantes.

Tabela 2 - Fatores de utilização

Categoria	Horas de trabalho/ano	% carga	Horas equivalentes em Potência Nominal
Prime	1500	90%	1350
COP	7884	80%	6307
Emergência	50	100%	50

¹ **Prime ou Prime Power** – uso contínuo com tempo de operação ilimitado, ideal para cargas variáveis e com capacidade de sobrecarga temporária (10% por até 1 hora a cada 12 horas);

COP ou Continuous Power - para operação contínua e constante, sem sobrecarga;

Stand by ou de **emergência** – adequado para funcionar por algumas horas ou até dias, operando no máximo 200 horas por ano e com carga variável.

² A identificação dos geradores é feita pela potência elétrica dada em kVA, que corresponde a uma potência mecânica do motor de 80% desse valor, em kW.

**Tabela 3 –Produção Anual de Energia do Parque Instalado, em 1000*kVA
(núm. máquinas * horas/ano * potência média)**

		p < 10 kVA	10 kVA ≤ p < 30 kVA	30 kVA ≤ p < 75 kVA		75 kVA ≤ p < 150 kVA	150 kVA ≤ p < 250 kVA	250 kVA ≤ p < 400 kVA	400 kVA ≤ p < 550 kVA	550 kVA ≤ p < 750 kVA		750 kVA ≤ p < 1000 kVA	P ≥ 1000 kVA
horas/ano	kVA médio:	7	20	41,25	63,75	112,5	200	325	475	600	700	875	1300
50	Stand by	2.200	27.524	43.608	67.395	258.846	664.640	554.369	771.780	255.915	298.568	76.475	34.970
1350	Prime	11.170	65.070	83.977	129.782	430.414	3.349.620	789.311	4.075.785	4.157.730	4.850.685	700.481	505.440
6307,2	COP	204.990	1.171.373	1.234.256	1.907.486	532.170	1.637.349	862.983	9.739.736	673.609	785.877	2.996.708	2.681.191

Fatores de Impacto Ambiental

50	Stand by	0,00%	0,06%	0,09%	0,14%	0,56%	1,43%	1,19%	1,65%	0,55%	0,64%	0,16%	0,07%
1350	Prime	0,02%	0,14%	0,18%	0,28%	0,92%	7,18%	1,69%	8,74%	8,92%	10,40%	1,50%	1,08%
6307	COP	0,44%	2,51%	2,65%	4,09%	1,14%	3,51%	1,85%	20,89%	1,44%	1,69%	6,43%	5,75%
Total por faixa de potência		0,47%	2,71%	2,92%	4,51%	2,62%	12,12%	4,73%	31,28%	10,91%	12,73%	8,09%	6,91%

A classificação acima, dada em percentagem da geração anual de energia do parque nacional de grupos geradores, permitiu estabelecer “*Fatores de Impacto Ambiental*”, proporcionais à geração de energia, como critérios de importância e de prioridade para o controle ambiental dos geradores, tendo-se chegado a um consenso sobre os padrões tecnológicos e os prazos para o seu desenvolvimento e implantação no Brasil, conforme apresentado na tabela 4.

Um aspecto importante nesta discussão é que o modo de funcionamento dos geradores de emergência, intermitente e de curta duração, dificulta o bom funcionamento dos sistemas de pós-tratamento de gases para o controle de emissão, requerendo procedimentos operacionais específicos para controlar a limpeza (regeneração) do filtro DPF e o aquecimento adequado do catalisador, geralmente presentes em máquinas do nível Tier 4F. Por esta razão, optou-se pela utilização dos padrões Tier 2 e Tier 3 como aplicação geral desta categoria de máquinas.

Tabela 4 - Padrões tecnológicos e prazos de implantação

		p < 10 kVA	10 kVA ≤ p < 30 kVA	30 kVA ≤ p < 75 kVA		75 kVA ≤ p < 150 kVA	150 kVA ≤ p < 250 kVA	250 kVA ≤ p < 400 kVA	400 kVA ≤ p < 550 kVA	550 kVA ≤ p < 750 kVA		750 kVA ≤ p < 1000 kVA	P ≥ 1000 kVA
horas/ano	kVA médio:	7	20	41,25	63,75	112,5	200	325	475	600	700	875	1300
50	Stand by	24 meses - TIER 3 - 5%						24 meses - TIER 2 - 1,4%					
1350	Prime	24 meses - TIER 2 - 6,1%						60 meses - TIER 4F - 72,7%					
6307	COP	84 meses - TIER 4F - 14,8%											

Com esta proposta, obtida em consenso no Grupo de Trabalho da AEA, é possível limitar os investimentos, ao mesmo tempo que viabiliza um alto nível de controle, pois 88% da geração de energia por este segmento já poderá ser atendida por geradores de nível Tier 4F.

3. Estimativas das emissões anuais dos grupos geradores

A tabela 5 apresenta as emissões anuais de poluentes do mesmo parque de geradores como se fossem novos e em conformidade com a proposta ora sob análise.

Estas emissões foram estimadas a partir da geração energética mostrada na tabela 3 e dos fatores de emissão associados à tabela 4 para cada nível tecnológico e classe de potência, tomados segundo os padrões norte-americanos Tier 2 a Tier 4F, conforme o caso. As linhas dos totais por faixa de potência foram classificadas por escalas de cor, sendo verde para os valores menos significativos e vermelho para os maiores, enquanto que nas linhas superiores foram mantidas as cores correspondentes aos padrões tecnológicos indicados na tabela 4.

Tabela 5 – Estimativas das emissões anuais do parque de geradores - ton/ano (conforme proposta)

CO ton/ano	horas/ano	kVA médio:	p < 10 kVA	10 kVA ≤ p < 30 kVA	30 kVA ≤ p < 75 kVA	75 kVA ≤ p < 150 kVA	150 kVA ≤ p < 250 kVA	250 kVA ≤ p < 400 kVA	400 kVA ≤ p < 550 kVA	550 kVA ≤ p < 750 kVA	750 kVA ≤ p < 1000 kVA	P ≥ 1000 kVA		
	50	Stand by	14	145	174	270	1035	1861	1552	2161	717	836	214	98
	1350	Prime	71	344	336	519	1722	9379	2210	11412	11642	13582	1961	1415
	6307	COP	1312	6185	4937	7630	2129	4585	2416	27271	1886	2200	8391	7507
	Total por faixa de potência		1.398	6.674	5.447	8.419	4.886	15.825	6.179	40.844	14.244	16.618	10.566	9.020
HC ton/ano	50	Stand by	2	20	32	31	103	263	220	306	167	195	50	23
	1350	Prime	8	48	62	20	65	509	120	620	632	737	106	77
	6307	COP	152	871	917	290	81	249	131	1480	102	119	455	408
	Total por faixa de potência		162	939	1.012	341	249	1.021	471	2.406	902	1.052	612	507
NOx ton/ano	50	Stand by	12	145	229	222	726	1864	1554	2164	1184	1381	354	162
	1350	Prime	59	342	441	42	138	1072	253	1304	1330	1552	224	162
	6307	COP	1078	6158	6488	610	170	524	276	3117	216	251	959	858
	Total por faixa de potência		1.148	6.644	7.159	874	1.034	3.459	2.083	6.585	2.730	3.185	1.537	1.182
MP ton/ano	50	Stand by	1	18	21	22	62	106	89	123	41	48	12	6
	1350	Prime	7	42	40	2	7	54	13	65	67	78	11	8
	6307	COP	131	750	592	31	9	26	14	156	11	13	48	43
	Total por faixa de potência		140	809	654	54	78	186	115	345	118	138	71	57

É importante notar que as categorias de potência entre 10 e 50 kVA aparecam ser críticas após a implementação completa do programa, entretanto estas classes são as primeiras a serem implementadas, em 24 meses, destacando-se com reduções de emissão entre 70% e 80% como mostrado na tabela 6, mas perdem esta imagem a partir da introdução dos limites Tier 4F, posteriormente, nas demais categorias.

Complementarmente, foram feitas novas estimativas das emissões dos mesmos grupos geradores com base nos limites de emissão dos veículos pesados da fase P2 do PROCONVE para caracterizar o cenário-base, representativo da situação atual sem controle de emissões. A eficácia do programa proposto foi determinada pela comparação do cenário-base com o resultante da aplicação dos padrões sugeridos, a qual supera o índice geral de 90% para os poluentes mais significativos dos motores Diesel, a saber MP, NOx e HC, como indicado na tabela 6.

Esta análise demonstra que a implantação dos limites de emissão Tier 4F nas categorias e classes de potência principais reduzirão significativamente os impactos

ambientais atuais dos grupos geradores **como um todo**, atuando mais intensamente nas categorias Prime e COP. A permanência de limites Tier 2 e Tier 3 para os geradores de emergência e os de potência inferior a 50kVA fará com que estes se tornem relativamente mais significativos e poderão merecer atualizações futuras.

Entretanto, no caso do impacto pontual de um grupo gerador em um microambiente, como numa garagem ou pátio onde pessoas fiquem expostas diretamente às suas emissões, o problema pode exigir limitações adicionais no licenciamento das instalações, dependendo da configuração do ambiente e dos limites ambientais aplicáveis às fontes fixas de emissão.

Tabela 6 –Emissões anuais dos geradores e eficácia do programa – ton/ano

CENÁRIO BASE (PRODUÇÃO ATUAL SEM CONTROLE)

Categoria	CO	HC	NOx	MP
Stand by	39.121	7.078	35.208	2.445
Prime	245.113	44.350	220.602	15.320
COP	312.675	56.575	281.407	19.542
Total	596.909	108.003	537.218	37.307

CENÁRIO APÓS A IMPLANTAÇÃO TOTAL DA PROPOSTA

Categoria	CO	HC	NOx	MP
Stand by	9.078	1.412	9.996	549
Prime	54.593	3.005	6.919	393
COP	76.449	5.256	20.705	1.822
Total	140.120	9.674	37.620	2.764

REDUÇÕES POTENCIALIZADAS PELO PROGRAMA

Categoria	CO	HC	NOx	MP
Stand by	77%	80%	72%	78%
Prime	78%	93%	97%	97%
COP	76%	91%	93%	91%
Total	77%	91%	93%	93%

4. Análise da exposição individual nas proximidades de um gerador

A análise mais simples e intuitiva do impacto de um gerador funcionando nas proximidades de pessoas é a comparação com veículos de mesma potência trafegando à mesma distância das pessoas expostas. Os gráficos da figura 1 comparam as emissões de poluentes de cada categoria de gerador às dos veículos em conformidade com a fase P8, expressas em “número equivalente de veículos P8” de mesma potência, ressaltando-se que não existem veículos pesados com menos de 56 kW. Os limites P8 (ou EURO VI) representam o melhor estado da arte mundial, obrigatórios no Brasil desde 2023, e que já oferecem condições minimizadas de impacto ambiental, consideradas como suficientes para assegurar a qualidade do ar no ambiente urbano.

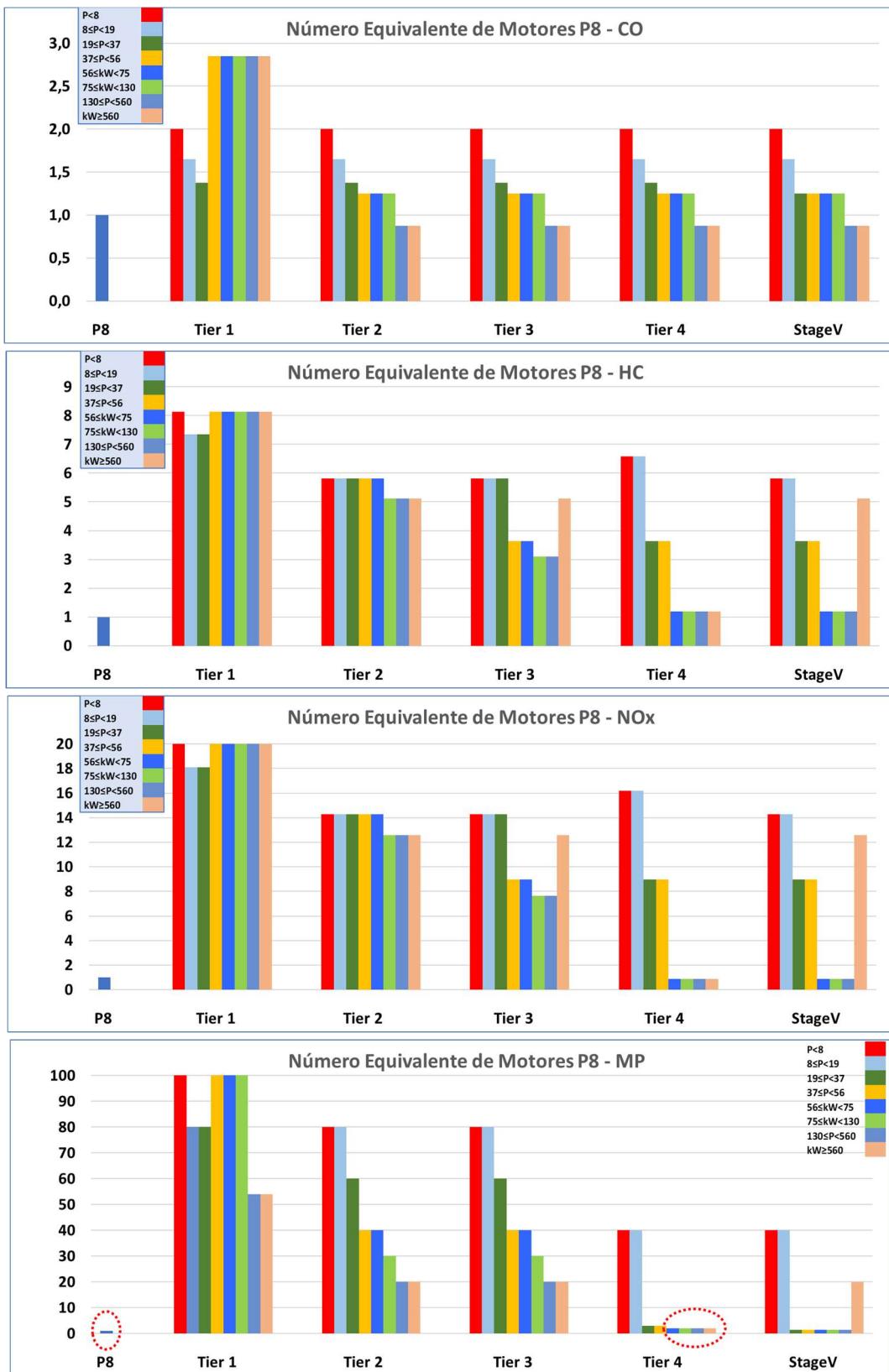


Figura 1 – Emissões de um gerador em número equivalente de veículos P8, por faixa de potência e nível tecnológico.

A título ilustrativo, estas comparações foram estendidas aos limites atuais europeus Stage V para máquinas fora de estrada e geradores, como referência alternativa. De forma geral, observa-se as seguintes características da proposta para a regulamentação brasileira de emissões para os geradores:

- a. Em termos de CO, a equivalência situa-se entre 0,9 e 2,0 veículos P8 de mesma potência, mesmo para os geradores pequenos que serão Tier 2. Observa-se que a emissão deste poluente é a que apresenta menor significado ambiental nos motores Diesel;
- b. Para os hidrocarbonetos, que são associados principalmente ao odor característico dos gases de motores Diesel, temos 3 categorias a considerar:
 - os geradores COP e Prime de potência superior a 56 kW (Tier 4F) equivalem a 1,2 veículos P8 de mesma potência, o que é bastante aceitável sob o aspecto de incômodo;
 - todos os geradores de potência inferior a 56kW, assim como os de emergência com potência superior a 560 kW, serão Tier 2 e equivalem a 5 ou 6 motores P8 de mesma potência;
 - os geradores de emergência de potências entre 56kW e 560kW (Tier 3) serão equivalentes a 3 ou 4 veículos P8 de mesma potência.
- c. Em termos de NOx, somente os geradores de potência superior a 56 kW (COP e Prime, Tier 4F) serão equivalentes a 0,9 veículos P8. Os geradores com potência abaixo de 56kW e todos os de emergência (Tier 2 e Tier 3) equivalerão a 8 a 14 veículos P8 de mesma potência;
- d. Em termos de material particulado, temos 3 categorias a considerar:
 - mesmo os geradores COP e Prime com potência superior a 56 kW (nível Tier 4F) serão equivalentes a 2 veículos P8 de mesma potência;
 - todos os geradores com potência inferior a 56 kW (Tier 2) equivalerão a 40 a 80 motores P8 de mesma potência, podendo representar incômodo;
 - os demais geradores de emergência (Tier 2 e Tier 3) equivalerão a 20 a 40 veículos P8 de mesma potência, podendo representar incômodo.

Resumidamente, as observações acima podem ser melhor visualizadas na tabela 7 e indicam que as opções pelos padrões Tier 2 e Tier 3 podem requerer exigências adicionais na fase do licenciamento de instalações fixas, onde haja exposição de pessoas.

Tabela 7 - Impacto localizado de um grupo gerador em número equivalente de veículos P8 por categoria e nível tecnológico proposto

Padrão	Categoria	Engine power	CO	HC	NOx	PM
Tier 2	Todos	kW<56	1,3 a 2,0	6	14	40 a 80
	Stand by	kW≥560	0,9	5	13	20
Tier 3	Stand by	56≤kW<560	0,9 a 1,3	3 a 4	8 a 9	20 a 40
Tier 4F	Prime/COP	kW>56	0,9 a 1,3	1,2	0,9	2,0

5. Conclusões

A proposta ora analisada de um programa de controle de emissões para grupos geradores foi discutida com os fabricantes de equipamentos e de sistemas de controle de emissões, órgãos de governo e outros associados da AEA que tomaram parte no Grupo de Trabalho, reúne vários interesses de forma equilibrada e pode ser resumida como segue.

Este programa não é voltado propriamente a uma redução das emissões dos geradores existentes, mas destina-se a viabilizar uma alternativa realista para que os novos geradores possam ser ofertados ao mercado em conformidade com os melhores padrões de emissão internacionais. Com isso, este programa estancará o crescimento das emissões do parque de grupos geradores e oferecerá as melhores soluções para correção de instalações existentes, onde haja problemas com as emissões de um equipamento, que poderá ser substituído por um gerador limpo.

O estado da arte, representado pelo padrão americano Tier 4 Final (muito próximo do Stage V europeu) será aplicado às categorias de geradores que respondem por 87,5% da energia por eles produzida. Estes são também geradores com potência nominal acima de 56kW.

Inversamente, todos os geradores com potência inferior a 56kW, que respondem por apenas 6,1% da geração de energia, atenderão ainda aos padrões Tier 2, visto serem máquinas de baixo custo e menor impacto ambiental, embora suas emissões, expressas em g/kWh, ainda sejam muito mais elevadas.

Finalmente, por conta dos custos elevados das tecnologias Tier 4F e pelas dificuldades operacionais dos sistemas de pós-tratamento para a utilização em geradores de emergência, estão propostos os padrões Tier 3 apenas para aqueles de potência entre 56 e 560 kW, que são os mais relevantes e respondem por 5% da energia gerada, sendo que os ainda maiores permanecem como Tier 2 por serem de pequena produção e responderem por apenas 1,4% do total da energia gerada.

Com esta estrutura, o programa de controle de emissões de grupos geradores produzirá reduções significativas das emissões, sendo superiores a 90% para HC (poluente associado ao odor), NOx e MP, que são os poluentes principais dos motores Diesel.

Sob o aspecto individual de uma instalação, todos os geradores Tier 4F terão impacto semelhante ao de um caminhão de igual potência, sendo perfeitamente aceitáveis. Nos demais casos, os geradores equivalerão a dezenas de caminhões equivalentes funcionando no mesmo local, principalmente no tocante aos particulados e NOx. Este aspecto remeterá a instalação a um licenciamento específico para cada local, especialmente onde houver exposição de pessoas, quando exigências adicionais poderão ser feitas pelo órgão ambiental, algumas delas comentadas a seguir.

Entretanto, para os geradores com potência inferior a 56kW, esta comparação não é muito realista, dado o tamanho reduzido do motor, e para os geradores com potência acima de 56kW sempre haverá a possibilidade de atender uma exigência específica, como escolher um modelo Prime, que estarão disponíveis no mercado nos padrões Tier 4F, embora requeiram procedimentos operacionais especiais para funcionamento intermitente. Esta possibilidade aplica-se, inclusive, à substituição de geradores em instalações já existentes.

Também é importante ressaltar que para geradores que venham a ser utilizados para o abastecimento de veículos elétricos, será necessário implantar tecnologias de último nível, visto que a eletrificação de veículos precisa contar com fontes de energia tão limpas quanto os motores veiculares mais modernos, o que somente ocorre com os padrões Tier 4F.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem aos integrantes da ABIMAQ, AFEEVAS e AEA pelas valiosas informações que permitiram a elaboração deste trabalho.

São Paulo, 14 de novembro de 2025.

Elaborado por:

Fábio C. Branco

Gabriel M. Branco

Este trabalho foi realizado pela EnvironMentality sob demanda da Associação dos Fabricantes de Equipamentos para Controle de Emissões Veiculares da América do Sul – AFEEVAS, a partir de dados fornecidos pela Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos – ABIMAQ e das propostas discutidas no âmbito do GT – Geradores da AEA - Associação Brasileira de Engenharia Automotiva, podendo ser citado no todo ou em partes, desde que devidamente citada a fonte e que o trabalho original completo esteja publicado na página da AFEEVAS na internet.