

Evaluaciones de Impacto Ambiental de Grupos Electrógenos

**Fábio C. Branco
Gabriel M. Branco**

São Paulo, 14 de noviembre de 2025

Trabajo preparado por EnvironMentality en nombre de la Asociación de Fabricantes de Equipos para el Control de Emisiones Vehiculares de América del Sur – AFEEVAS

Evaluaciones de Impacto Ambiental de Grupos Electrógenos

1. Introducción

Este trabajo se refiere al programa de control de emisiones para grupos electrógenos discutido con los miembros de AFEEVAS, ABIMAQ, agencias gubernamentales y otros miembros de la AEA, que será propuesto a CONAMA.

La estimación del impacto ambiental de los grupos electrógenos no se puede realizar de la manera tradicional debido a la falta de información sobre el número de generadores en funcionamiento en Brasil y la tasa de desguace de este tipo de máquinas.

Alternativamente, los impactos ambientales solo pueden estimarse en términos de la **Emisiones anuales causado por los generadores vendidos**, calculado para el escenario actual (con máquinas fabricadas sin control de emisiones) y comparado con un escenario futuro que se produciría tras la implantación de los límites sugeridos en todo el parque electrógeno, lo que mostrará la eficacia de las medidas propuestas, pero no los resultados finales en la atmósfera, teniendo en cuenta la tasa de desguace actual y el crecimiento futuro del número de máquinas.

La propuesta de límites Tier 4F norteamericanos, para los grupos electrógenos responsables de casi el 90% de la generación de energía por este segmento, le da alta calidad a la propuesta que desarrollamos, sin embargo, la adopción de límites Tier 2 y Tier 3 para los casos restantes, a pesar de presentar reducciones de emisiones de más del 70%, aún constituyen puntos que merecen algunos comentarios específicos para la aplicación de generadores en lugares restringidos o con gran circulación de personas, donde puede ser necesario emplear modelos Tier 4F, incluso en generadores de emergencia, ya que estarán disponibles en el mercado.

También en los casos en que la generación de energía se realiza predominantemente a partir de motores diesel, como ya es el caso en varias ciudades de Brasil, establecimientos comerciales e incluso edificios residenciales, el suministro de vehículos eléctricos debe admitirse solo si estas instalaciones cuentan con generadores Tier 4F, ya que la electrificación de los vehículos debe depender de fuentes de energía tan limpias como los motores de vehículos más modernos. Si los generadores no siguen esta tendencia, la movilidad eléctrica se verá muy afectada y no tendrá sentido en estas situaciones.

Estos aspectos deben mencionarse en el RIA y pueden discutirse convenientemente en términos comparativos con los vehículos P8 que operan en las mismas ubicaciones, lo que será un fuerte argumento a favor del Programa tal como está diseñado.

2. Evaluación de la flota de generadores vendidos en Brasil por categoría y propuesta de estándares tecnológicos

ABIMAQ, asociación que agrupa a las principales empresas brasileñas del sector, relevó el número de generadores vendidos e instalados en Brasil en los últimos veinte años y proporcionó una tabla con el número de máquinas, por clase de potencia y por tipo de uso (Prime – COP - Stand by¹), cuya distribución se ha estimado en proporción a las estadísticas de ventas de sus empresas miembros².

Cuadro 1 - Número de máquinas nacionales distribuidas según las estadísticas de 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/año	kVA medio	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

La categoría de "emergencia" se distingue de las demás por estar destinada al suministro de energía por períodos muy cortos, que raramente superan las 50 horas/año y tiene un bajo costo porque no requieren mayores requisitos para garantizar su durabilidad en servicios pesados.

La producción de energía de estos generadores se estimó de acuerdo con estas características básicas para identificar las categorías y tipos de servicio más significativos **entre generadores** y que deben ser objetivos prioritarios para la aplicación de la mejor tecnología práctica disponible en el mercado brasileño. La Tabla 2 presenta los factores de utilización para las tres categorías de servicio y la Tabla 3 muestra la producción anual de electricidad y el porcentaje de generación total para cada categoría de grupos electrógenos asociados con las respectivas clases de potencia y tipos de servicio. Los factores de uso de COP consideran el 90% del total máximo de 8.760 horas al año ($365*24*0,9=7.884$), mientras que los demás fueron estimados por los fabricantes.

Cuadro 2 - Factores de utilización

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

¹ **Primo o Potencia principal** – uso continuo con tiempo de funcionamiento ilimitado, ideal para cargas variables y con capacidad de sobrecarga temporal (10% hasta 1 hora cada 12 horas);

POLICÍA o Potencia continua - para un funcionamiento continuo y constante sin sobrecarga;

Espera o Emergencia – Adecuado para funcionar durante unas horas o incluso días, funcionando un máximo de 200 horas al año y con carga variable.

² La identificación de los generadores se realiza mediante la potencia eléctrica dada en kVA, que corresponde a una potencia mecánica del motor del 80% de este valor, en kW.

**Tabla 3 – Producción anual de energía del parque instalado, en 1000*kVA
(número de máquinas * horas/año * potencia media)**

		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

Factores 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%

La clasificación anterior, dada como porcentaje de la generación eléctrica anual del parque nacional de grupos electrógenos, nos permitió establecer "*Factores de impacto ambiental*", proporcional a la generación de energía, como criterios de importancia y prioridad para el control ambiental de los generadores, y se llegó a un consenso sobre el Estándares tecnológicos y plazos para su desarrollo e implementación en Brasil, como se muestra en la tabla 4.

Un aspecto importante en esta discusión es que el modo de funcionamiento de los generadores de emergencia, intermitente y de corta duración, dificulta el buen funcionamiento de los sistemas de postratamiento de gases para el control de emisiones, requiriendo procedimientos operativos específicos para controlar la limpieza (regeneración) del filtro DPF y el calentamiento adecuado del catalizador, generalmente presente en máquinas de nivel Tier 4F. Por esta razón, se decidió utilizar los estándares Tier 2 y Tier 3 como aplicación general de esta categoría de maquinaria.

Cuadro 4 - Normas tecnológicas y plazos de aplicación

		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 2 - 6,1%	24 meses - TIER 3 - 5%					24 meses - TIER 2 - 1,4%					
1350	Prime		60 meses - TIER 4F - 72,7%							84 meses - TIER 4F - 14,8%			
6307	COP												

Con esta propuesta, obtenida por consenso en el Grupo de Trabajo AEA, es posible limitar las inversiones, al tiempo que permite un alto nivel de control, ya que el 88% de la generación de energía por este segmento ya puede ser atendida por generadores de nivel Tier 4F.

3. Estimaciones de las emisiones anuales de los grupos electrógenos

En la Tabla 5 se presentan las emisiones anuales de contaminantes del mismo parque generador como si fueran nuevos y de acuerdo con la propuesta que aquí se analiza.

Estas emisiones se estimaron a partir de la generación de energía que se muestra en la tabla 3 y los factores de emisión asociados a la tabla 4 para cada nivel tecnológico y clase de potencia, tomados de acuerdo con las normas norteamericanas Tier 2 a Tier 4F, según corresponda. Las líneas de los totales por rango de potencia se clasificaron por escalas de colores, siendo verde para los valores menos significativos y rojo para los más grandes, mientras que en las líneas superiores se mantuvieron los colores correspondientes a los estándares tecnológicos indicados en la Tabla 4.

**Tabla 5 – Estimaciones de las emisiones anuales del parque electrógeno - tonelada/año
(según lo propuesto)**

	horas/año	kVA medio	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		
CO ton/ano	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

Es importante señalar que las categorías de potencia entre 10 y 50 kVA parecen ser críticas después de la implementación completa del programa, sin embargo estas clases son las primeras en implementarse, en 24 meses, destacándose con reducciones de emisiones entre el 70% y el 80% como se muestra en la tabla 6, pero pierden esta imagen de la introducción de los límites Tier 4F, más tarde, en las otras categorías.

Además, se realizaron nuevas estimaciones de emisiones de los mismos grupos electrógenos en base a los límites de emisiones de vehículos pesados en la fase P2 de PROCONVE para caracterizar el escenario base, representativo de la situación actual sin control de emisiones. La efectividad del programa propuesto se determinó comparando el escenario base con el resultante de la aplicación de las normas sugeridas, que supera el índice general del 90% para los contaminantes más significativos de los motores diésel, a saber, PM, NOx y HC, como se indica en la tabla 6.

Este análisis demuestra que la implementación de límites de emisiones Tier 4F en las principales clases y categorías de potencia reducirá significativamente los impactos ambientales actuales de los grupos electrógenos **en su conjunto**, actuando con mayor intensidad en las categorías Prime y COP. La permanencia de los límites de Nivel 2 y Nivel 3 para generadores de emergencia y aquellos con potencia inferior a 50 kVA los hará relativamente más significativos y puede merecer futuras actualizaciones.

Sin embargo, en el caso del impacto puntual de un grupo electrógeno en un microambiente, como en un garaje o patio donde las personas están directamente expuestas a sus emisiones, el problema puede requerir limitaciones adicionales en la concesión de licencias de las instalaciones, dependiendo de la configuración del entorno y los límites ambientales aplicables a las fuentes de emisión fijas.

Tabla 6 –Emisiones anuales de los generadores y eficacia del programa – tonelada/año

CENÁRIO BASE (PRODUÇÃO ATUAL SEM CONTROLE)

Categoría	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

Categoría	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

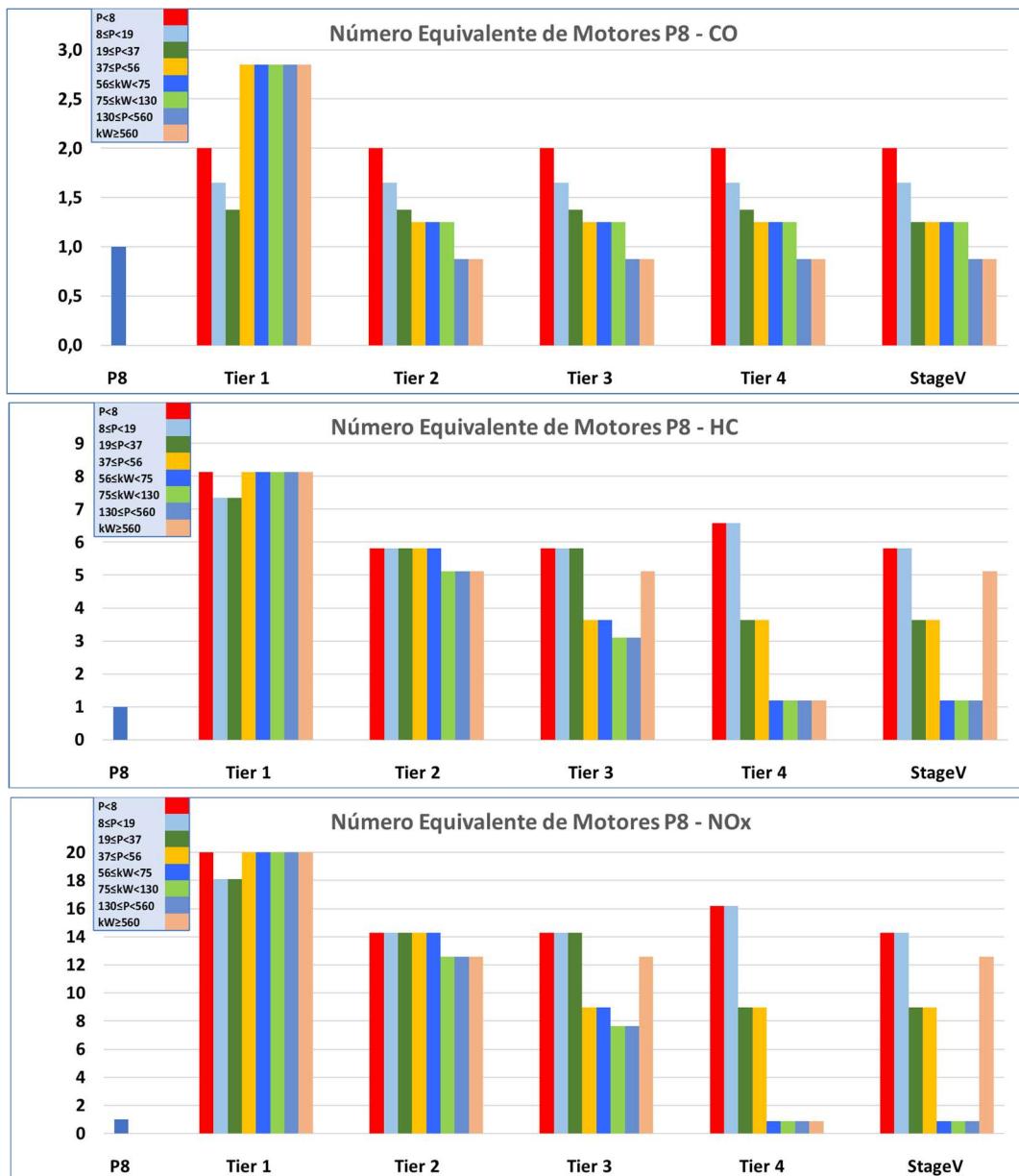
REDUÇÕES POTENCIALIZADAS PELO PROGRAMA

Categoría	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. Análisis de la exposición individual en las proximidades de un generador

El análisis más simple e intuitivo del impacto de un generador que funciona en las proximidades de las personas es la comparación con vehículos de la misma potencia que viajan a la misma distancia de las personas expuestas. Los gráficos de la figura 1 comparan las emisiones contaminantes de cada categoría de generador con las de los vehículos de acuerdo con la etapa P8, expresadas como "número equivalente de

vehículos P8" de la misma potencia, con la excepción de que no hay vehículos pesados con menos de 56 kW. Los límites P8 (o EURO VI) representan el mejor estado de la técnica del mundo, obligatorios en Brasil desde 2023, y que ya ofrecen condiciones minimizadas de impacto ambiental, consideradas suficientes para garantizar la calidad del aire en el entorno urbano.



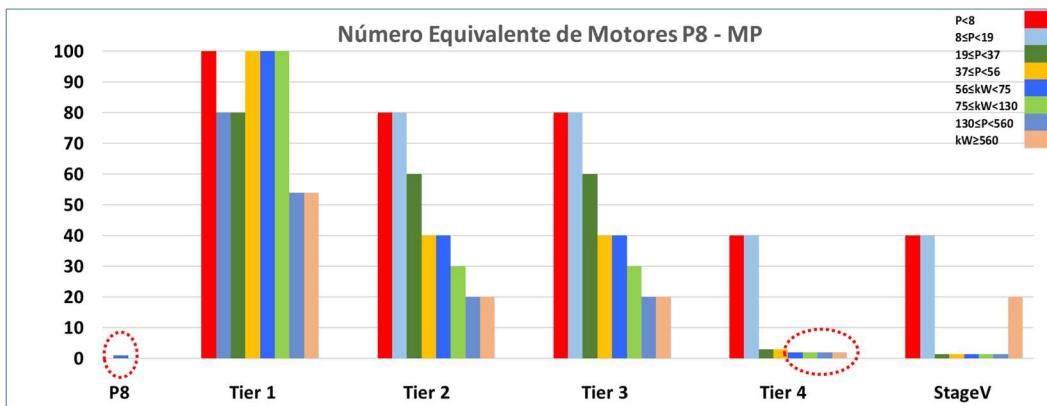


Figura 1 – Emisiones de un generador en un número equivalente de vehículos P8, por rango de potencia y nivel tecnológico.

A modo de ilustración, estas comparaciones se han extendido a los límites europeos actuales de Stage V para máquinas y generadores fuera de carretera, como referencia alternativa. En general, se pueden observar las siguientes características de la propuesta de regulación brasileña de emisiones para generadores:

- En términos de CO, la equivalencia es de entre 0,9 y 2,0 vehículos P8 de la misma potencia, incluso para pequeños generadores que serán de Nivel 2. Se observa que la emisión de este contaminante es la que menos importancia ambiental tiene en los motores Diesel;
- Para los hidrocarburos, que se asocian principalmente con el olor característico de los gases de los motores diésel, tenemos 3 categorías a considerar:
 - los generadores COP y Prime con potencia superior a 56 kW (Tier 4F) equivalen a 1,2 vehículos P8 de la misma potencia, lo que es bastante aceptable desde el punto de vista de las molestias;
 - todos los generadores con una potencia inferior a 56kW, así como los generadores de emergencia con una potencia superior a 560 kW, serán Tier 2 y equivalentes a 5 o 6 motores P8 de la misma potencia;
 - los generadores de emergencia con potencias entre 56kW y 560kW (Tier 3) equivaldrán a 3 o 4 vehículos P8 de la misma potencia.
- En términos de NOx, solo los generadores con una potencia de salida de más de 56 kW (COP y Prime, Tier 4F) equivaldrán a 0,9 vehículos P8. Los generadores con potencia inferior a 56kW y todos los generadores de emergencia (Tier 2 y Tier 3) equivaldrán a 8 a 14 vehículos P8 de la misma potencia;
- En términos de partículas, tenemos 3 categorías a considerar:
 - incluso los generadores COP y Prime con una potencia superior a 56 kW (nivel Tier 4F) equivaldrán a 2 vehículos P8 de la misma potencia;

- todos los generadores con una potencia inferior a 56 kW (Tier 2) equivaldrán a 40 a 80 motores P8 de la misma potencia, lo que puede representar una molestia;
- los otros generadores de emergencia (Nivel 2 y Nivel 3) equivaldrán a 20 a 40 vehículos P8 de la misma potencia, lo que puede representar una molestia.

Brevemente, las observaciones anteriores se pueden visualizar mejor en la tabla 7 e indican que las opciones para los estándares de Nivel 2 y Nivel 3 pueden requerir requisitos adicionales en la fase de concesión de licencias de instalaciones fijas, donde hay exposición de personas.

Cuadro 7 - Impacto localizado de un grupo electrógeno en un número equivalente de vehículos P8 por categoría y nivel tecnológico propuesto

Patrón	Categoría	Potencia del motor	CO	HC	Nox	PM
Nivel 2	Todos	kW<56	De 1,3 a 2,0	6	14	De 40 a 80
	Espera	kW≥560	0,9	5	13	20
Nivel 3	Espera	56≤kW<560	De 0,9 a 1,3	3 a 4	8 a 9	De 20 a 40
Nivel 4F	Prime/COP	kW>56	De 0,9 a 1,3	1,2	0,9	2,0

5. Conclusiones

La propuesta de un programa de control de emisiones para grupos electrógenos se ha discutido con los fabricantes de equipos y sistemas de control de emisiones, agencias gubernamentales y otros miembros de la AEMA que han participado en el Grupo de Trabajo, reúne varios intereses de manera equilibrada y se puede resumir de la siguiente manera.

Este programa no está exactamente dirigido a reducir las emisiones de los generadores existentes, sino que pretende habilitar una alternativa realista para que los nuevos generadores puedan ofrecerse al mercado de acuerdo con los mejores estándares internacionales de emisiones. Como resultado, este programa detendrá el crecimiento de las emisiones del parque de grupos electrógenos y ofrecerá las mejores soluciones para corregir las instalaciones existentes, donde hay problemas con las emisiones de los equipos, que pueden ser reemplazados por un generador limpio.

El estado del arte, representado por el estándar americano Tier 4 Final (muy cercano al Stage V europeo) se aplicará a las categorías de generadores que representan el 87,5% de la energía producida por ellos. Estos también son generadores con una potencia nominal superior a 56kW.

Por el contrario, todos los generadores con potencias inferiores a 56kW, que representan solo el 6,1% de la generación de energía, seguirán cumpliendo con los estándares Tier 2, ya que son máquinas de bajo coste y con menor impacto ambiental, aunque sus emisiones, expresadas en g/kWh, siguen siendo mucho mayores.

Finalmente, debido a los altos costos de las tecnologías Tier 4F y las dificultades operativas de los sistemas de posttratamiento para su uso en generadores de emergencia, se proponen estándares Tier 3 solo para aquellos con potencia entre 56 y 560 kW, que son los más relevantes y representan el 5% de la energía generada, y los aún más altos se mantienen como Tier 2 porque son de pequeña producción y representan solo el 1,4% del total energía generada.

Con esta estructura, el programa de control de emisiones de grupos electrógenos producirá reducciones significativas en las emisiones, siendo superior al 90% para HC

(contaminante asociado al olor), NOx y PM, que son los principales contaminantes de los motores Diesel.

Desde el punto de vista individual de una instalación, todos los generadores Tier 4F tendrán un impacto similar al de un camión de igual potencia, y son perfectamente aceptables. En otros casos, los generadores equivaldrán a decenas de camiones equivalentes trabajando en el mismo lugar, especialmente en lo que respecta a partículas y NOx. Este aspecto hará referencia a la instalación a una licencia específica para cada ubicación, especialmente donde hay exposición de personas, cuando se pueden realizar requisitos adicionales por parte de la agencia ambiental, algunos de ellos comentados a continuación.

Sin embargo, para los generadores con potencia inferior a 56kW, esta comparación no es muy realista, dado el pequeño tamaño del motor, y para los generadores con potencia superior a 56kW siempre existirá la posibilidad de cumplir con un requisito específico, como elegir un modelo Prime, que estará disponible en el mercado en estándares Tier 4F, aunque requieren procedimientos operativos especiales para el funcionamiento intermitente. Esta posibilidad también se aplica a la sustitución de generadores en instalaciones existentes.

También es importante destacar que para los generadores que se utilizarán para abastecer vehículos eléctricos, será necesario implementar tecnologías de última generación, ya que la electrificación de los vehículos necesita depender de fuentes de energía tan limpias como los motores de vehículos más modernos, lo que solo ocurre con los estándares Tier 4F.

6. Gracias

Los autores desean agradecer a los miembros de ABIMAQ, AFEEVAS y AEA por la valiosa información que permitió la preparación de este trabajo.

São Paulo, 14 de noviembre de 2025.

Preparado por:

Fábio C. Branco

Gabriel M. Branco

Este trabajo fue realizado por EnvironMentality a solicitud de la Asociación de Fabricantes de Equipos para el Control de Emisiones Vehiculares de América del Sur – AFEEVAS, con base en datos proporcionados por la Asociación Brasileña de la Industria de Máquinas y Equipos – ABIMAQ y las



propuestas discutidas en el ámbito del GT – Generadores de la AEA – Asociación Brasileña de Ingeniería Automotriz, y pueden ser citadas en su totalidad o en parte. siempre que se cite debidamente la fuente y que el trabajo original completo se publique en el sitio web de AFEEVAS.