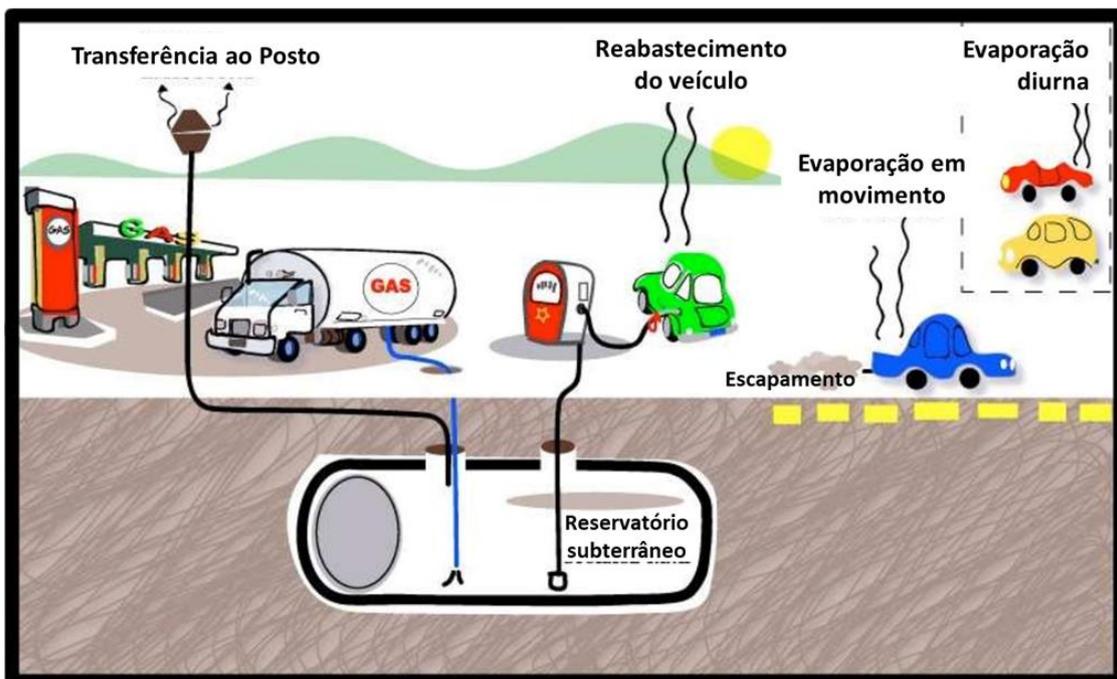


Considerações sobre a influência das alterações do cálculo de NMOG dos gases de escapamento na estratégia de abatimento de ozônio troposférico

VOC + NO_x → OZÔNIO



Fábio Cardinale Branco

Gabriel Murgel Branco

São Paulo, 02 de março de 2022.

Considerações sobre a influência das alterações do cálculo de NMOG dos gases de escapamento na estratégia de abatimento de ozônio troposférico

RESUMO

IBAMA publicou a Instrução Normativa 21/2021 que altera a regulamentação prevista no artigo 2º da Resolução Conama nº 492, em relação à determinação das emissões de gases orgânicos não metano (NMOG) provenientes do escapamento de veículos leves.

Ainda existem indagações a respeito da metodologia de cálculo do NMOG e dos valores de Máxima Reatividade Incremental (MIR) a serem adotados, visto que poucos ensaios foram realizados em alguns veículos dotados de tecnologia da fase L6 do PROCONVE, carecendo da extensão desses estudos a outras tecnologias ainda não contempladas.

Este trabalho discute a influência da emissão de NMOG sobre a formação de ozônio troposférico, comparada à de outras fontes de compostos orgânicos, a saber, as emissões evaporativas de combustíveis, tanto as emitidas diretamente pelos veículos, quanto as indiretas oriundas das operações de abastecimento e distribuição, que se tornarão as fontes mais relevantes.

Esta análise indica uma série de vantagens associadas ao uso do etanol em relação à gasolina, bem como recomenda a revisão de tal decisão e a continuidade dos estudos para ampliar o conhecimento do assunto e comenta os riscos de desincentivo ao uso de etanol potencialmente causados por uma estratégia de desenvolvimento precipitada.

Introdução

Em novembro de 2021 o IBAMA colocou em consulta pública a “proposta de Instrução Normativa Ibama que altera o Art. 5º e Anexo e inclui um novo art. 9-A na Instrução Normativa 22, de 24 de setembro de 2020, que dispõe sobre a regulamentação prevista no artigo 2º da Resolução Conama nº 492, de 20 de dezembro de 2018, relativo à determinação das emissões de gases orgânicos não metano (NMOG) provenientes do escapamento de veículos rodoviários leves de passageiros e leves comerciais quando abastecidos com etanol hidratado brasileiro de referência (EHR), gasool A22, gasool A11H50, gás combustível veicular de referência (GVR) ou Diesel”.

O texto proposto levantou indagações a respeito da metodologia de cálculo do NMOG dos gases de escapamento e dos valores de Máxima Reatividade Incremental (MIR), ou máxima reatividade específica como denominada no referido documento, a serem adotados. Na qualidade de vice Coordenador do GT NMOG da AEA e consultor técnico

da AFEEVAS¹, elaboramos a presente análise do impacto ambiental associado à circulação de veículos para subsídio a estas Associações e aos Órgãos Ambientais, considerando desde a distribuição do combustível requerido pelo veículo até o seu funcionamento. Dada a exiguidade do tempo para comentários dirigidos à consulta pública, a EnvironMentality preparou este trabalho como ponto de partida para o embasamento das sugestões dadas ao IBAMA e para uma discussão mais aprofundada sobre a estratégia de controle ambiental representada por esta nova proposta de Instrução Normativa e subsídio à consulta pública sobre esta questão.

A Resolução CONAMA Nº 492, de 20 de dezembro de 2018 estabeleceu as Fases PROCONVE L7 e PROCONVE L8, introduzindo o conceito de potencial de formação de ozônio das emissões veiculares para controlar as concentrações ambientais de ozônio nas cidades brasileiras. Este regulamento, que entra em vigor na fase L7, iniciada em janeiro de 2022, adota o limite de 80 mg/km para a soma das emissões de NOx e de NMOG, determinado por um cálculo simplificado com o objetivo de reduzir a emissão excessiva de etanol não queimado que ocorria em cerca de 30% dos modelos Flex da fase L6, que atingiam mais de 200 mg/km apenas da parcela de NMHC + etanol não queimado. Com este limite espera-se que esta emissão de todos os modelos L7 seja reduzida para valores próximos da média atual dos modelos L6, que é de 44 mg/km.

O cálculo do potencial de formação de ozônio é baseado na gasolina brasileira de referência, de forma a permitir a avaliação das emissões de veículos abastecidos com etanol ou com gasolina, na mesma base. Para isso, os valores de NMOG medidos devem ser multiplicados pelo coeficiente de ajuste de reatividades fotoquímicas dado pelo quociente entre a média ponderada das reatividades dos compostos presentes na emissão do veículo e a da gasolina brasileira de referência.

Para regulamentar o cálculo das emissões de NMOG com os diferentes combustíveis, o IBAMA publicou a Instrução Normativa Nº 22/2020, estabelecendo os procedimentos de cálculo envolvidos e os MIR relativos às características da composição da gasolina e do etanol brasileiros de referência, válidos para a fase L7, sendo prevista uma revisão em nova regulamentação, cuja discussão ainda permanece sem solução.

O cálculo para a determinação da emissão de NMOG, em gramas por quilômetro (g/km), estabelecido naquela Instrução Normativa baseia-se na ponderação dos hidrocarbonetos não metano não oxigenados (NONMHC), etanol (ETOH) e aldeídos fórmico (HCHO) e acético (CH₃CHO), conforme a Equação a seguir:

$$NMOG = NONMHC * \frac{MIR_{NONMHC_{comb}}}{MIR_{NMOG_{E22}}} + ETOH * \frac{MIR_{ETOH}}{MIR_{NMOG_{E22}}} + HCHO * \frac{MIR_{HCHO}}{MIR_{NMOG_{E22}}} + CH_3CHO * \frac{MIR_{CH_3CHO}}{MIR_{NMOG_{E22}}}$$

Os valores de MIR adotados para fim deste cálculo são os constantes da tabela a seguir:

¹ AEA - Associação Brasileira de Engenharia Automotiva
AFEEVAS – Associação dos Fabricantes de Equipamentos de Controle de Emissões de Veículos da América do Sul

	Máxima reatividade (g de O ₃ /g composto orgânico)
Gasool E22	4,86
Etanol	1,53
Formaldeído	9,46
Acetaldeído	6,54
NONMHC _{Comb}	4,70 ^(*)

^(*) ou aquele determinado em laboratório para um dado modelo ou família de veículos, conforme procedimentos California non-methane organic gas test procedures (California Environmental Protection Agency - Air Resources Board, Adopted: September 2, 2015) e The California Low-Emission Vehicle Regulations (California Environmental Protection Agency - AirResources Board, 2017).

Cientificamente podem ser feitos alguns ajustes na determinação dos MIR, mas o grande objetivo da sua introdução na Resolução CONAMA 492/2018, que é a eliminação dos casos muito acima da média, já está atingido conforme indicado pelas primeiras certificações da fase L7.

O primeiro item ainda desconhecido no cenário brasileiro é a reatividade MIR dos vapores de gasolina. De acordo com as estimativas iniciais feitas a partir da composição declarada da gasolina nas Resoluções da ANP e nas tabelas de MIR de CARTER, W.P.L. (2003) "The Saprc-99 Chemical Mechanism and Updated VOC Reactivity Scales" (<http://pah.cert.ucr.edu/~carter/reactdat.htm>) o valor provável do MIR da gasolina seria 4,7 g O₃/g COV, como admitido nos primeiros estudos, em 2012, para subsídio do CONAMA. Por outro lado, o trabalho de V. Mugica-Alvarez et alii. – "Evaporative volatile organic compounds from gasoline in Mexico City: Characterization and atmospheric reactivity" (2019) indica que os vapores das gasolinas reformuladas daquela cidade apresentam uma reatividade de 2,8 g O₃/g COV, mesmo assim ainda muito superior à do etanol (1,53 g O₃/g COV), o que indica a necessidade de se realizar um levantamento desses valores de MIR para as emissões evaporativas das gasolinas brasileiras.

Estudos realizados e discutidos no âmbito do GT-NMOG da AEA para a determinação de MIR nos gases de escapamento mostraram valores discrepantes de concentração dos componentes do gás de escape de veículos a etanol, cuja margem de erro é comparável à ordem de grandeza da própria medição de alguns componentes, resultando em uma alta incerteza na sua determinação.

O que preocupa é a alteração dos valores para a caracterização do MIR dos NONMHC dos gases de escape na fase L8, em relação aos conhecidos quando da definição da Resolução CONAMA 492/2018, antes de caracterizar o MIR dos vapores de gasolina (que correspondem a 14 vezes mais, em massa por veículo-km), porque veículos já certificados como L7 terão seus níveis de emissão artificialmente aumentados por simples efeito das alterações do cálculo e poderão ser impedidos de continuar durante a fase L8 conforme previsto pelo CONAMA. É importante ressaltar que a L8 é uma fase

de transição que permite uma progressividade na redução média de emissões, baseada na introdução sucessiva de tecnologias mais limpas, que poderá ser comprometida por uma precipitação na correção dos cálculos de NMOG cujos procedimentos de medição ainda não estão suficientemente bem conhecidos e definidos. Este comprometimento seria devido à eventual substituição de veículos flex mal classificados por veículos a gasolina, no caso dos primeiros se tornarem inconvenientes ao cálculo da média corporativa, transformando esta estratégia de desenvolvimento tecnológico noutra que aumentaria o uso de gasolina.

Impacto da forma de cálculo do NMOG na formação de ozônio

O objetivo central de todo este processo é a redução das concentrações de ozônio. Este poluente é formado na atmosfera, através de um processo complexo de reações químicas entre os Compostos Orgânicos Voláteis (COV) e óxidos de nitrogênio (NOx). Por ser formado naturalmente, envolve quaisquer fontes de emissão destes compostos precursores, que devem ser controlados de maneira geral, dando-se prioridade às fontes artificiais mais relevantes. No caso dos veículos, não apenas o gás de escapamento, mas também as emissões por evaporação de combustível do próprio veículo e no seu abastecimento. Além dessas, devem ser consideradas as emissões associadas indiretamente ao uso do veículo, onde se destaca a emissão evaporativa oriunda das operações de distribuição de combustíveis.

Para avaliar a influência da forma de cálculo do NMOG na formação de ozônio, a emissão de escapamento foi incluída no contexto de todas as fontes de emissão mencionadas acima, apenas para os automóveis como exemplo, sendo que as emissões evaporativas se subdividem em diurnas (ensaio de 48 horas com o veículo estacionado sujeito à variação da temperatura ambiente), no abastecimento (ORVR), no resfriamento (após o uso do veículo), em movimento (durante o uso do veículo), por permeação (nas mangueiras e paredes do tanque do veículo) e de distribuição de combustíveis (que inclui o carregamento dos caminhões-tanque e o transbordo para o reservatório dos postos de gasolina). Estas emissões foram avaliadas segundo as seguintes premissas que correspondem às notas indicadas nas tabelas adiante:

- 1) Emissões evaporativas do veículo e seu abastecimento: fatores de emissão medidos nos EUA, e EMFAC (California Air Resources Board - <https://arb.ca.gov/emfac/>), comparados aos da CETESB e outras medições que nortearam a proposta da Resolução 492/2018. O MIR para os NMHC formados a partir da queima da gasolina foi tomado como 3,7 g_{O₃}/g_{COV} (ora proposto). Para os vapores de gasolina foi adotado 2,8 g_{O₃}/g_{COV}, ambos inferiores ao baseado na tabela de CARTER, W.P.L. (2003) adotados de forma conservadora para os efeitos desta análise. Para os vapores de etanol, foi adotado o valor de 1,53 g_{O₃}/g_{COV} (CARTER, W.P.L., 2003);
- 2) Emissão de vapores na distribuição de combustíveis: igual ao dobro da emissão de reabastecimento do veículo sem ORVR, considerando duas transferências de

combustível (da base de distribuição para o caminhão tanque e deste caminhão para o posto de gasolina) e o mesmo MIR adotado para as evaporativas emitidas diretamente pelo veículo;

- 3) Emissões de escapamento (NMHC e NOx): os dados da CETESB para a média dos modelos 2020 já atendem ao limite L7, de forma que apenas os modelos que excederem deverão ser aprimorados. Por isso, a média foi mantida, de uma forma conservadora, nos anos seguintes, tanto para E22 quanto para E100;
- 4) NMOG + NOx dos veículos abastecidos com E22: os valores L6 foram calculados segundo as definições da L7 para as emissões determinadas no item 3, que são inferiores ao limite L7 de 80 mg/km também indicado nas tabelas, como referência;

Todos os fatores de emissão foram convertidos para a mesma base comparativa em g/km a partir do consumo médio de veículos desta categoria e da quilometragem diária.

Com base nestas premissas, os fatores de emissão adotados nesta análise foram os seguintes:

Fator de emissão - g/km veículos abastecidos com E22

Descrição	L6	L7 c/48hr somente	L7 c/48hs +ORVR	Notas
Diurna	0,045	0,003	0,003	1
Abastecimento	0,113	0,113	0,002	
Resfriamento	0,010	0,005	0,002	
Em movimento	0,438	0,080	0,060	
Permeação	0,048	0,012	0,008	
Distribuição	0,226	0,226	0,226	2
EtOH Escapamento	Não aplicável			
NMHC escapamento	0,022	0,022	0,022	3
NOx	0,011	0,011	0,011	
NMOG + NOx	0,033	0,080 (*)	0,080 (*)	4

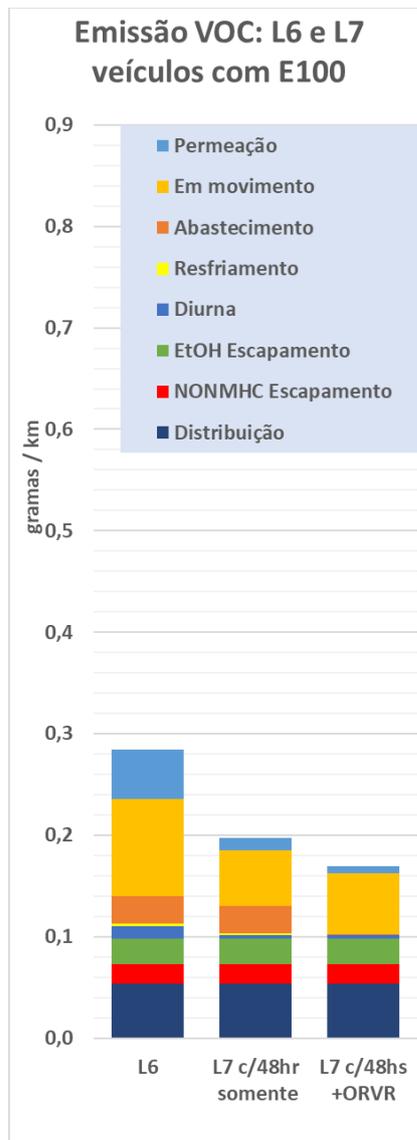
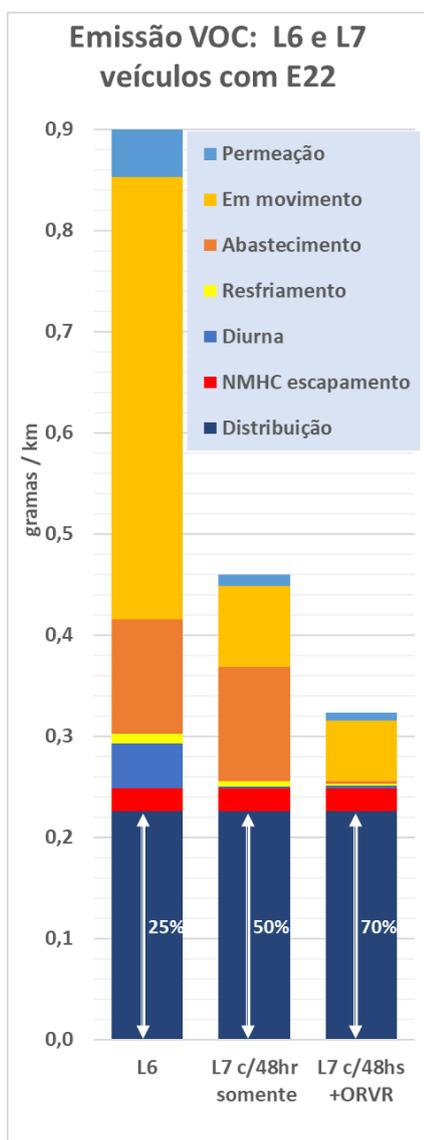
(*) limite de referência aplicável

Fator de emissão - g/km veículos abastecidos com E100

Descrição	L6	L7 c/48hr somente	L7 c/48hs +ORVR	Notas
Diurna	0,012	0,004	0,004	1
Abastecimento	0,027	0,027	0,001	
Resfriamento	0,002	0,001	0,000	
Em movimento	0,097	0,055	0,060	
Permeação	0,048	0,011	0,008	
Distribuição	0,054	0,054	0,054	2
EtOH Escapamento	0,025	0,025	0,025	3
NONMHC Escapamento	0,019	0,019	0,019	
NOx	0,012	0,012	0,012	
NMOG + NOx	0,042	0,080 (*)	0,080 (*)	4
Aldeídos	0,006	0,012	0,012	

(*) limite de referência aplicável

Estes fatores de emissão permitem concluir que as fontes predominantes de emissão de COV associadas aos veículos da fase L6 correspondem às emissões evaporativas, principalmente dos veículos em movimento quando abastecidos com E22, as quais sofrerão fortes reduções com a entrada da fase L7. Quando comparadas as emissões dos veículos abastecidos com E22 ou E100, verifica-se que as de gasolina são substancialmente mais importantes. Entretanto, as emissões provenientes da distribuição de combustíveis, que já apareciam em segundo lugar na análise relativa aos veículos L6, representando 25% da emissão total dos veículos a gasolina, não sofrerão redução alguma, posto que não há legislação nacional prevendo o seu controle, passando a representar 70% e tornando-a o foco da necessidade de controle para os próximos esforços regulatórios. Entretanto, o total de VOC para E100 da fase L6, incluindo a distribuição, já é inferior ao total para gasolina no final da fase L7. A figura a seguir ilustra graficamente estes resultados.



Para estimar os efeitos das emissões mencionadas sobre a formação de ozônio é necessário considerar os valores de MIR dos compostos envolvidos, conforme especificado para os gases de escape, tanto na Resolução CONAMA quanto na Instrução Normativa do IBAMA mencionadas. É igualmente importante uniformizar o cálculo do potencial de formação de ozônio também para as emissões evaporativas diretas do veículo e indiretas da distribuição de combustíveis.

Os fatores de emissão apresentados foram então convertidos para fatores de formação de ozônio (em g de O₃ por quilômetro rodado) com base nos valores de MIR de cada parcela de emissão que fossem mais conservadores para esta comparação (mais baixos para a E22 e mais altos para E100, dentre as alternativas sugeridas), conforme mencionado anteriormente, resultando nos seguintes potenciais de formação de ozônio.

Potencial de formação de ozônio - g/km veículos abastecidos com E22

Descrição	L6	L7 c/48hr somente	L7 c/48hs +ORVR	Notas	MIR
Diurna	0,125	0,007	0,009	1	2,8
Abastecimento	0,316	0,316	0,006		2,8
Resfriamento	0,027	0,013	0,006		2,8
Em movimento	1,226	0,224	0,168		2,8
Permeação	0,136	0,032	0,021		2,8
Distribuição	0,633	0,633	0,633	2	2,8
EtOH Escape	Não aplicável				
NMHC escape	0,081	0,081	0,081	3	3,7

Potencial de formação de ozônio - g/km veículos abastecidos com E100

Descrição	L6	L7 c/48hr somente	L7 c/48hs +ORVR	Notas	MIR
Diurna	0,019	0,006	0,006	1	1,53
Abastecimento	0,041	0,041	0,001		1,53
Resfriamento	0,004	0,002	0,000		1,53
Em movimento	0,148	0,085	0,092		1,53
Permeação	0,074	0,018	0,011		1,53
Distribuição	0,083	0,083	0,083	2	1,53
EtOH Escape	0,038	0,038	0,038	3	1,53
NONMHC Escape	0,108	0,108	0,108		5,7

Neste caso observa-se que, embora a distribuição entre as parcelas de emissão se mantenha para cada combustível, o efeito das emissões dos veículos abastecidos com etanol na formação de ozônio reduz-se significativamente, aumentando a diferença em relação àqueles abastecidos com E22, como pode ser visto nos gráficos a seguir. Neste caso, a formação de ozônio devido à distribuição de E22 tem impacto 7,6 vezes maior do que a de E100 para a realização do mesmo serviço (deslocar um veículo por 1 km).

É importante observar que após a implantação total da fase L7 (caracterizada como “L7 c/48hs +ORVR”) a formação de ozônio associada ao uso de veículos abastecidos com

etanol será a metade da parcela de correspondente apenas à distribuição de gasolina, de forma que qualquer estratégia que induza à migração do uso de E100 para E22 resultará em aumento significativo da formação de ozônio e consequente prejuízo ambiental.

A utilização de valores mais (ou menos) conservadores para os diversos MIR pode alterar ligeiramente este quadro, mas não altera significativamente as conclusões apresentadas. Como exemplo, a utilização de um MIR de 5,7 g_{O₃}/g_{COV} para os NONMHC dos veículos abastecidos com E100, conforme adotado de maneira conservadora neste estudo, leva a um potencial total de formação de ozônio de 0,339 g_{O₃}/km. A alteração deste MIR para os 4,7 g_{O₃}/g_{COV}, calculados nos estudos iniciais com base em CARTER, W.P.L. (2003) e nas características dos combustíveis brasileiros, leva a um total de 0,320 g_{O₃}/km. Esta diferença, de apenas 0,019 g_{O₃}/km, representa uma redução insignificante na formação de ozônio pelo conjunto de todas as fontes de emissão associadas à operação do veículo e, conseqüentemente na proteção ambiental, frente às emissões 33 vezes superiores das operações de distribuição de gasolina, ainda sem a perspectiva de controle.

Entretanto, é importante ressaltar que a escolha dos valores de MIR para o cálculo do NMOG altera muito o resultado do cálculo do NMOG dos gases de escapamento. A Instrução Normativa do IBAMA nº 21 de dezembro de 2021 fixou valores que aumentam os resultados para E100 e reduzem aqueles para E22, causando uma diferença de 45% na dificuldade de atendimento aos limites da Resolução CONAMA 492/2018 com etanol em relação ao caso da gasolina, o que representa um desincentivo à produção de veículos flex em favor da substituição desses modelos por veículos idênticos, porém certificados somente para a utilização de gasolina.

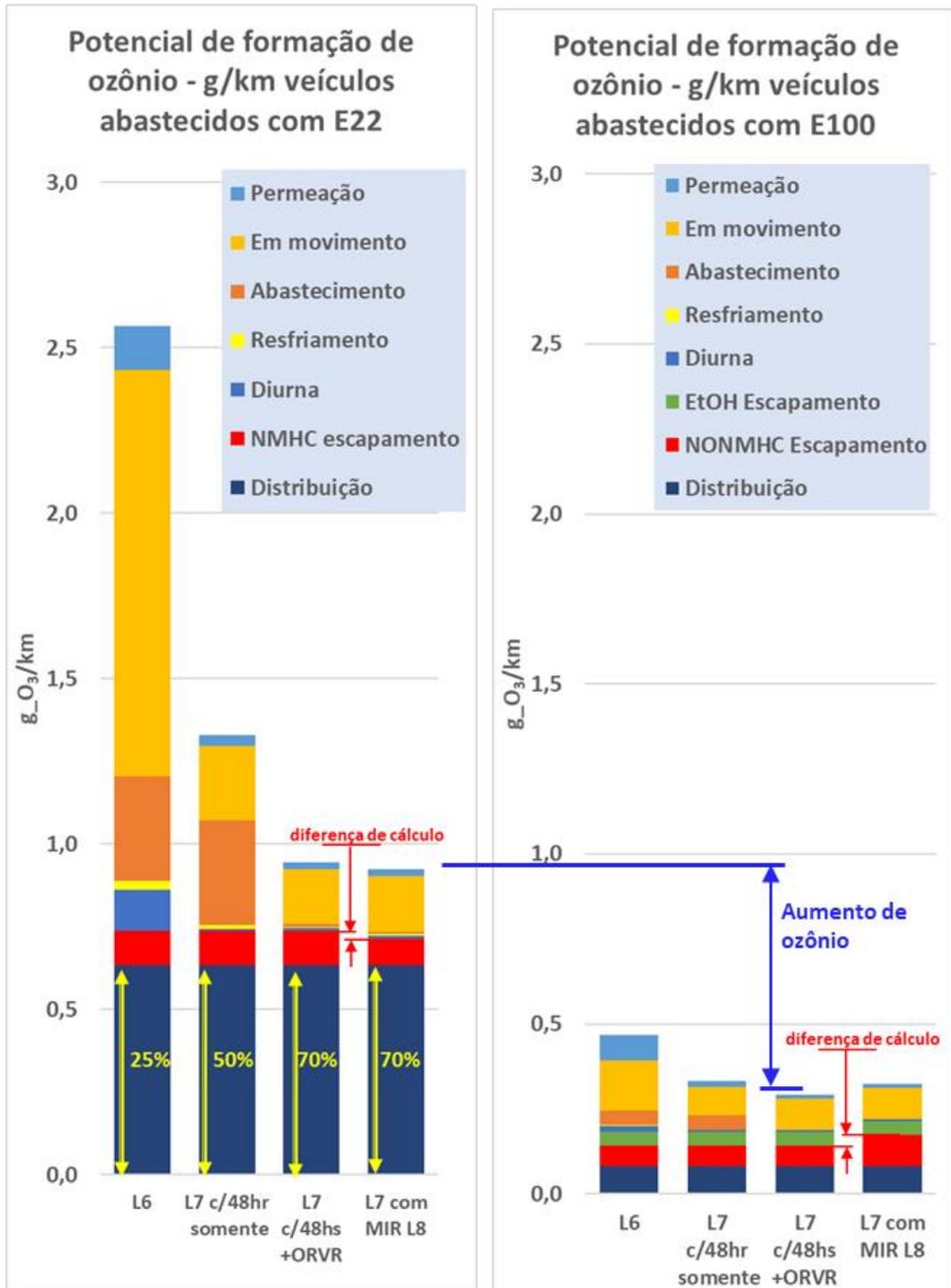
Entretanto, tal dificuldade é muito expressiva, mas se aplica à menor parcela dos precursores de ozônio, que é o gás de escapamento, enquanto que o eventual abandono da versão flex força a migração do uso do etanol para a gasolina com emissões evaporativas e, conseqüentemente a formação de ozônio, muito maiores. A figura a seguir indica os potenciais de formação de ozônio calculados segundo a IN 22/2020 para as fases L6 e L7, ao lado dos mesmos resultados da L7 recalculados com as reatividades da nova IN, como se fosse L8.

As “diferenças de cálculo” impostas pela referida Instrução Normativa comparada ao “aumento de ozônio” decorrente da possível migração do uso de E100 para E22 mostram um erro estratégico. Ou seja, na tentativa de aprimorar o tratamento dos gases de escapamento para a redução do ozônio, perde-se muito mais na estratégia geral de controle do próprio ozônio.

Além disso, este mesmo erro estratégico comprometerá definitivamente as políticas de controle do aquecimento global, por duas razões: a primeira porque o ozônio troposférico é reconhecido como um gás de efeito estufa (GEE) de vida curta, cuja estratégia de abatimento é a que estamos discutindo; a segunda porque o etanol

brasileiro, produzido a partir da cana de açúcar, é um combustível dos mais avançados para a mitigação de GEE, em especial pela redução da emissão de CO₂.

Desta forma, em que pese o rigor científico da Instrução Normativa mencionada no que concerne ao cálculo de NMOG de escapamento, ela considera apenas esta emissão, que é uma das menores parcelas do problema ambiental, e traz em seu bojo uma falha estratégica para o seu próprio objetivo e coloca em risco as estratégias brasileiras para o controle das mudanças climáticas.



Conclusão

Diante do exposto, a nova IN é praticamente inócua para o controle geral de ozônio, ao mesmo tempo que cria entraves significativos ao desenvolvimento dos novos veículos flex ou a etanol, pois o procedimento de cálculo aumentaria o rigor do controle das emissões de NMOG pelo escapamento, somente para este combustível, em 25% a 60%, conforme demonstrado pelo IBAMA nas primeiras 30 certificações realizadas para a fase L7. Se esta diferença tiver que ser compensada em termos tecnológicos, o modelo de veículo afetado poderá precisar ser completamente remodelado ou, no caso de um veículo flex, o seu fabricante poderá simplesmente certificá-lo como veículo somente a gasolina para reequilibrar a sua média corporativa, eliminando a possibilidade do uso de E100 neste modelo, com significativo aumento das emissões totais de COV e do potencial de formação de ozônio. Tal estratégia também comprometeria o equilíbrio da matriz energética brasileira, tornando-a “mais fóssil” e aumentaria a emissão de CO₂ não renovável, comprometendo os compromissos brasileiros relativos ao clima.

Além disso, não se cogita controlar nacionalmente a emissão de VOC na distribuição de combustíveis que atinge 70% do total, no caso da gasolina, passando a predominar amplamente depois da implantação da Resolução 492, conforme demonstrado.

Esta estratégia pode ser contrária ao desenvolvimento tecnológico ao invés de ser um incentivo, visto que diante de uma dificuldade artificialmente imposta aos veículos flex, os fabricantes serão induzidos a voltar sua atenção para o lançamento de novos modelos a gasolina em seu lugar, reduzindo o uso de etanol em favor da gasolina, o que representa um aumento no potencial de formação de ozônio de 339 mg_{O₃}/km para 924 mg_{O₃}/km, referente ao total de operações associadas à operação de um veículo com um ou outro combustível.

Finalmente, é importante ressaltar que a determinação das reatividades dos vapores de combustível também assume importância prioritária para um equacionamento mais preciso de um programa de controle de ozônio. A abordagem das emissões evaporativas com a inclusão das operações de transporte e distribuição dos combustíveis é urgente e demandará tempo, o que permite o aprimoramento mais cuidadoso do cálculo de NMOG em bases mais sólidas do que as atuais.

Diante do exposto, é recomendável a manutenção dos procedimentos e fatores de cálculo do NMOG, já adotados para a fase L7 pela Instrução Normativa 22/2020 do IBAMA, também para toda a fase L8 e iniciar imediatamente os estudos necessários à determinação das reatividades fotoquímicas (MIR) dos vapores de combustíveis para o equacionamento mais abrangente do controle de ozônio.

São Paulo, 02 de março de 2022

Elaborado por:

Fábio Cardinale Branco e Gabriel Murgel Branco

Ambos são especialistas em prevenção e controle da poluição veicular e consultores técnicos da AFEEVAS desde 2001



Bibliografia utilizada:

IBAMA; CETESB; MAUÁ - Proposta de valores de máxima reatividade específica relativos a todos os NONMHC utilizados para o cálculo da emissão de NMOG para a Fase PROCONVE L8 - Brasília, 16 de novembro de 2021

Instrução Normativa 22 do IBAMA, de 24 de setembro de 2020

Resolução CONAMA Nº 492, de 20 de dezembro de 2018

CARTER, W.P.L. (2003) "The Sapr-99 Chemical Mechanism and Updated VOC Reactivity Scales" (<http://pah.cert.ucr.edu/~carter/reactdat.htm>)

V. Mugica-Alvarez et alii. – "Evaporative volatile organic compounds from gasoline in Mexico City: Characterization and atmospheric reactivity" - 6th International Conference on Energy and Environment Research, ICEER 2019, 22–25 July, University of Aveiro, Portugal

EMFAC - Emission Factors (California Air Resources Board - <https://arb.ca.gov/emfac/>)

CETESB – Emissões veiculares no Estado de São Paulo - 2020

Branco, G.M.; Szwarc, A.; Branco, F.C.; Nigro, F.E.B. - Controle de emissão de compostos orgânicos com base no potencial de formação de ozônio – XXI Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva – SIMEA, 2013