

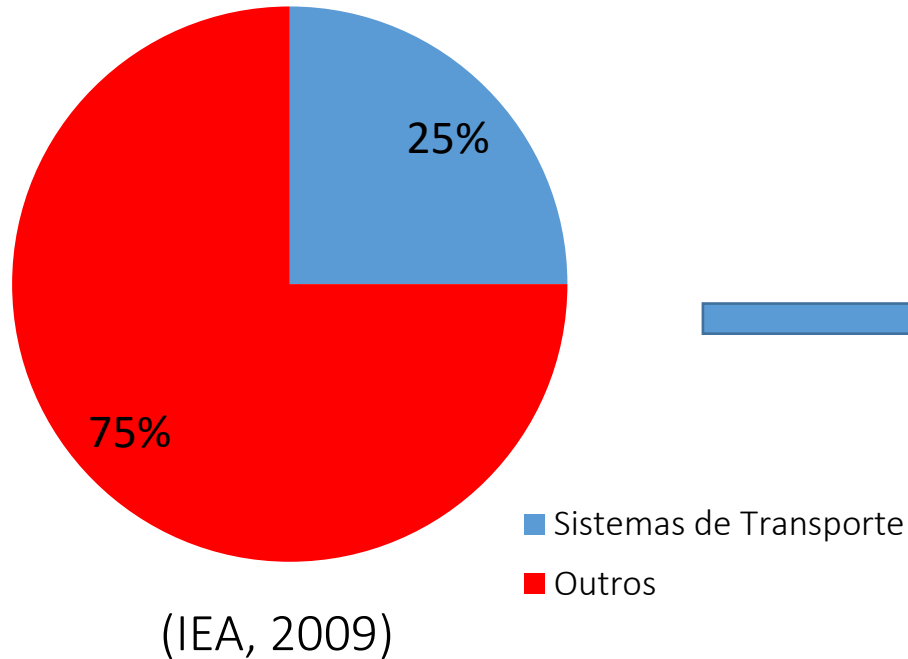
A CONTRIBUIÇÃO AMBIENTAL PROPORCIONADA PELAS OPERAÇÕES DE SISTEMAS METROFERROVIÁRIOS DE PASSAGEIROS, VISANDO À REDUÇÃO DAS EMISSÕES TOTAIS DE CO₂ DO SETOR DE TRANSPORTES DE UMA REGIÃO: APLICAÇÃO NOS SISTEMAS METROFERROVIÁRIOS DE PASSAGEIROS DO RIO DE JANEIRO – METRÔRIO E SUPERVIA

Carlos Eduardo Sanches de Andrade, D.Sc.
Márcio de Almeida D'Agosto, D.Sc.
Alessandro de Santana Moreira de Souza. M.Sc.

23ª Semana de Tecnologia Metroferroviária



Introdução – Emissões de CO2 no mundo



No Brasil = 45%
(EPE, 2017)

No Rio de Janeiro = 66%
(SMAC-RJ e COPPE, 2011)

- ✓ O sistema metroviário é considerado um meio de transporte de passageiros sustentável, com menor impacto na emissão de CO2, por não consumir diretamente combustíveis fósseis em sua operação.



Objetivos

- ✓ Em consonância com os esforços do país o Estado do Rio de Janeiro fixou pelo decreto nº 43.216 de 30/09/2011, objetivos de redução de 30% das emissões em transportes entre 2010 e 2030.
- ✓ Qual a contribuição da operação dos sistemas metroferroviários de passageiros do Rio de Janeiro para o atingimento das metas de redução totais das emissões do setor de transportes de uma região?
- ✓ Serão aplicados os procedimentos de cálculo da emissão, em gramas de CO₂ (gCO₂) por passageiro-quilômetro (pass-km), e em gCO₂ por passageiro transportado, na operação dos principais sistemas metroferroviários do Rio de Janeiro - METRÔRIO (sistema metroviário) e SUPERVIA (sistema ferroviário).
- ✓ Posteriormente, os resultados encontrados das emissões produzidas do METRÔRIO e da SUPERVIA serão comparados com os resultados das emissões produzidas por diferentes sistemas de transportes rodoviários do Brasil, a fim de comprovar os benefícios ambientais de redução de emissões proporcionados pela operação do transporte metroferroviário de passageiros.



MetrôRio

- ✓ Concessionária de transporte, que tem sob seu controle a administração, manutenção e operação das Linhas 1, 2 e 4 do transporte metroviário de passageiros do Rio de Janeiro, com um total de 53 quilômetros de extensão e com 42 estações.
- ✓ Em 2016, foram transportados aproximadamente 240 milhões de passageiros, que representa um aumento de 3,1% com relação ao ano anterior, número que fez da empresa a maior operadora privada de metrô do país.



SuperVia



✓ Concessionária de transporte, que tem sob seu controle a administração, manutenção e operação de toda malha do transporte ferroviário de passageiros do Rio de Janeiro com um total de 270 quilômetros de extensão e com 102 estações.

✓ Em 2016, foram transportados aproximadamente 180 milhões de passageiros, que representa um aumento de 2% com relação ao ano anterior.



A emissão de CO₂ produzida pelos sistemas de transportes de passageiros

- ✓ Abordagem mais simples – Considera apenas as emissões diretas produzidas pelo uso do veículo, ou seja, a queima de combustível. Esse modelo é conhecido como “Do tanque à roda” (*TTW – Tank To Wheel*).
 - ✓ Abordagem mais completa – Considera também a emissão na produção do combustível/energia. Essa produção do combustível é conhecida por “Do Poço (ou Origem) ao Tanque” (*WTT – Well To Tank*). A emissão total é conhecida por “Do Poço (ou Origem) à Roda” (*WTW – Well to Wheel*) e será a soma da emissão na produção do combustível/energia com a emissão no uso do veículo ($WTW = WTT + TTW$).
 - ✓ Quando se comparam diferentes modos de transporte quanto à emissão de CO₂ a questão que se coloca é se a base de comparação é justa e razoável. Sendo assim, nesse trabalho foi considerado que a base de comparação mais justa deve incluir também a emissão na produção de combustível/energia.
 - ✓ Outro tipo de abordagem consideraria o ciclo de vida do veículo e combustíveis. Elementos como a construção e manutenção da infraestrutura necessária ao transporte, a construção, manutenção e o fim de vida dos veículos seriam levados em conta nessa abordagem.
-



Emissões de CO2 indiretas, pelo uso da eletricidade, em sistemas metroferroviários

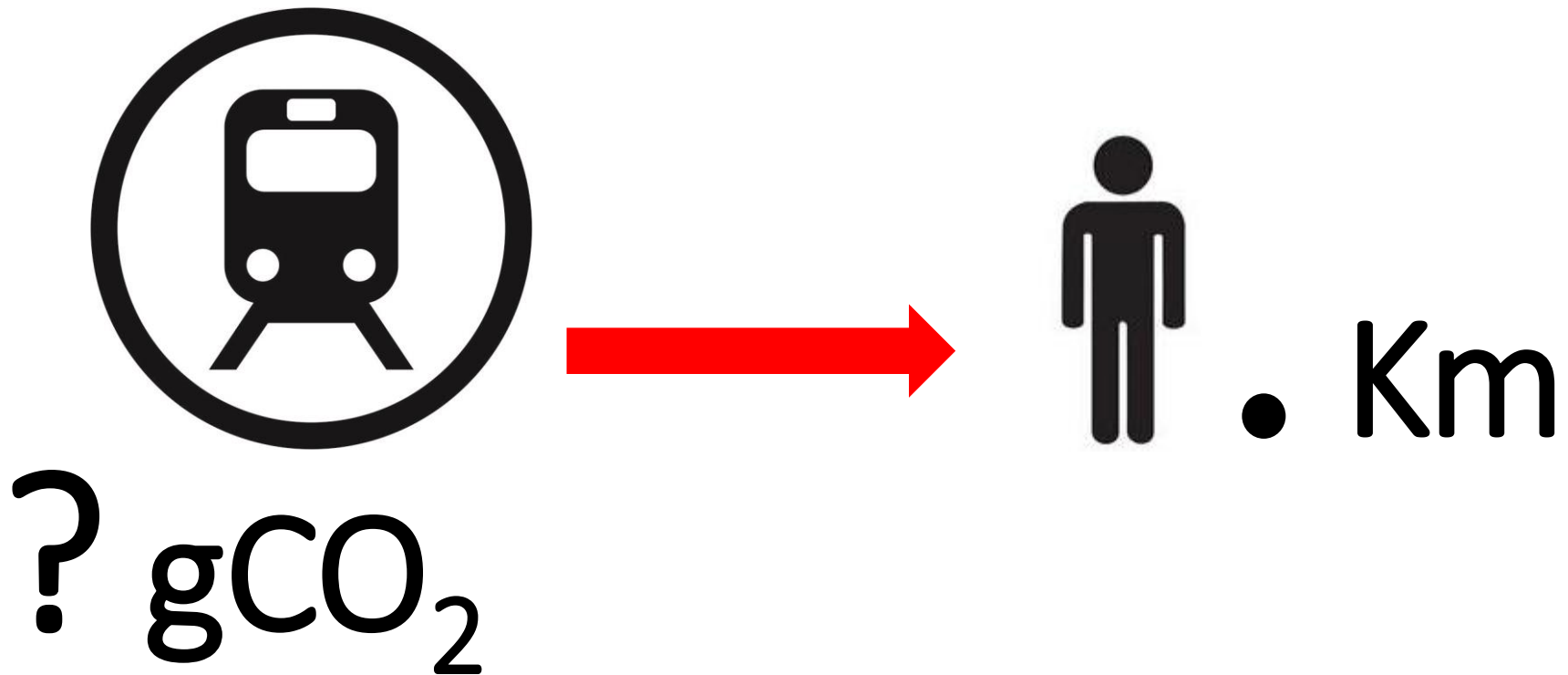
- ✓ Os sistemas metroferroviários estão entre os maiores consumidores individuais de energia elétrica, sendo a força de tração dos trens responsável por cerca de 70% de toda a energia consumida.

Metrô	Consumo de energia elétrica	Fontes:
Nova Iorque	3,4 TWh	MTA (2008)
Hong Kong	1,4 TWh	MTR (2013)
Londres	1,0 TWh	LU (2009)
São Paulo	0,6 TWh	METRÔ SÃO PAULO (2014b)
Porto	0,5 TWh	METRÔ PORTO (2011)

- ✓ O valor das emissões depende das fontes energéticas utilizadas pelo sistema gerador dessa energia. Nesse aspecto, o Brasil é favorecido por utilizar predominantemente fontes hídricas.



Medida das emissões de CO₂ em sistemas de transportes

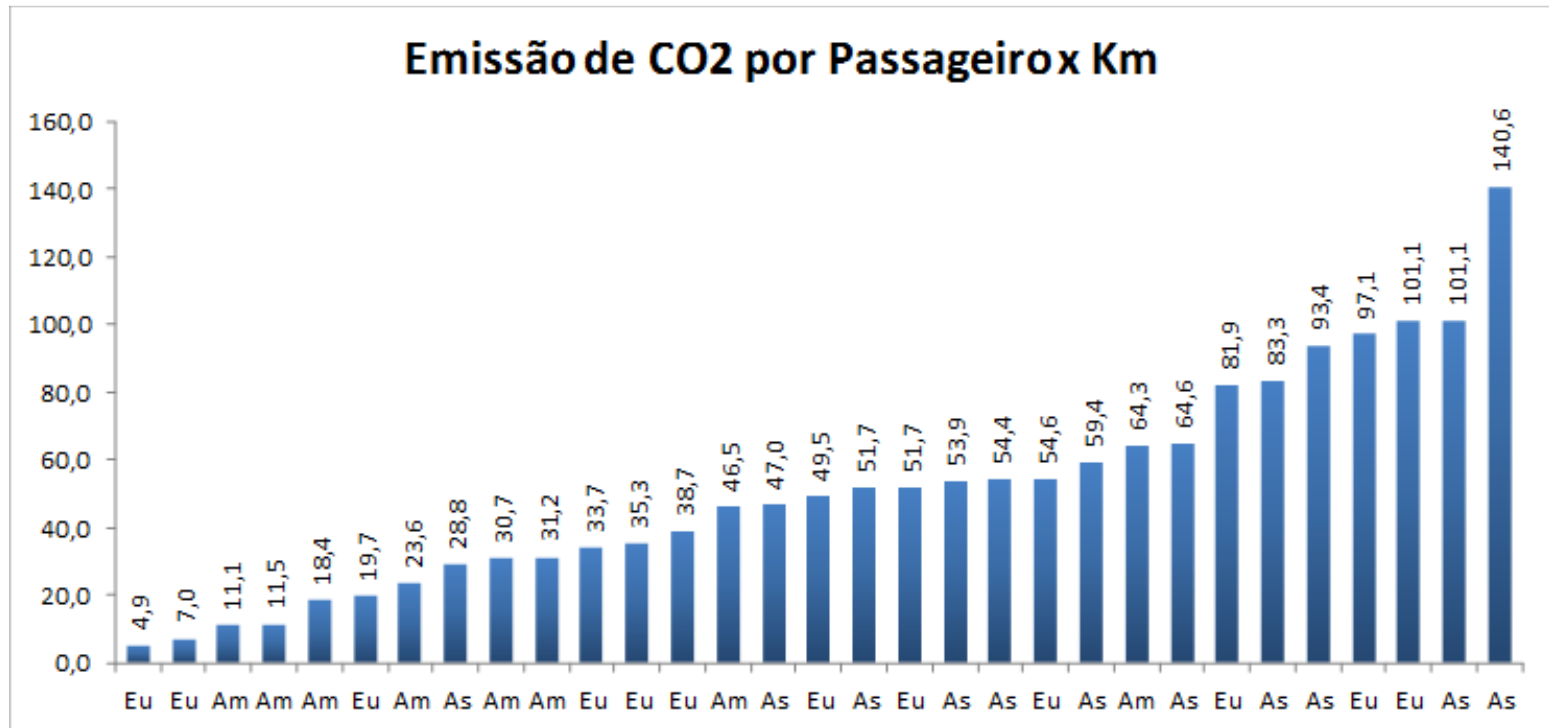


- ✓ Ela é mais representativa do que os valores das emissões totais das viagens dos veículos, uma vez que considera as emissões relacionada diretamente à quantidade de passageiros transportados.



Resultados das emissões de CO₂ de sistemas metroferroviários de passageiros em 2015

✓ Resultados de 31 sistemas metroferroviários dos Grupos CoMET e NOVA:

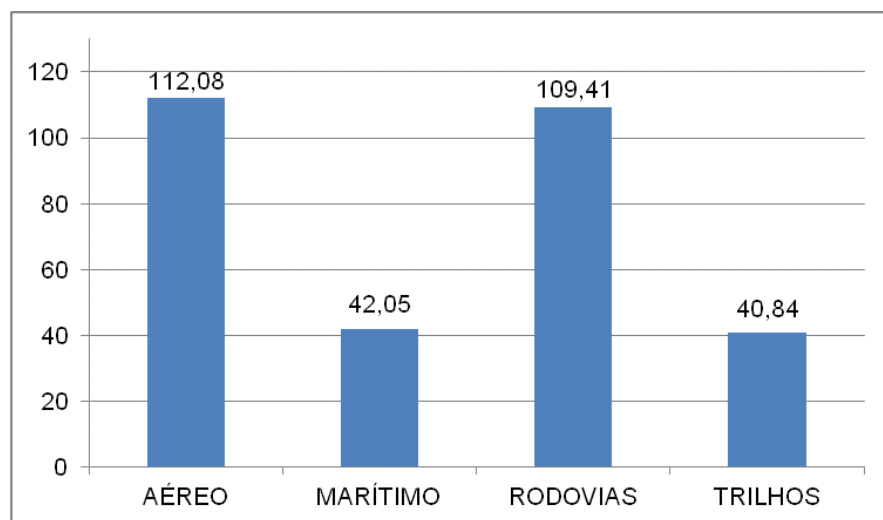


✓ Valor Médio da Emissão = 51,3 gCO₂ por pass-km



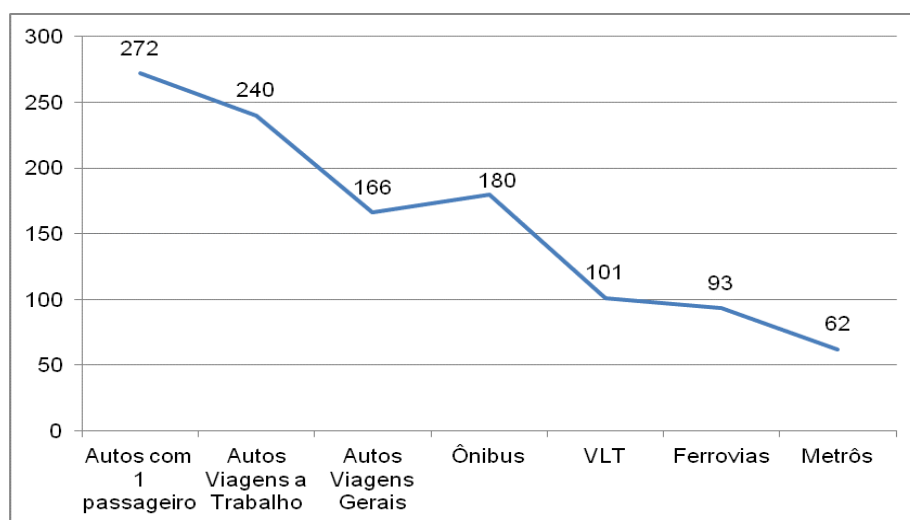
Resultados comparativos das emissões de CO₂ em sistemas de transportes

✓ EUROPA:



✓ Dados do ano 2011 (Fonte: EEA, 2011)

✓ ESTADOS UNIDOS:



✓ Dados do ano 2010 (Fonte: FTA, 2010)



Aplicação dos procedimentos de cálculos das emissões de CO₂ no METRÔRIO e SUPERVIA

- ✓ Devido ao SIN - Sistema Interligado Nacional de distribuição de energia, os sistemas brasileiros utilizam o fator de emissão anual levantado pelo Governo Brasileiro, que varia de ano a ano, em função do crescimento do país e da ocorrência maior ou menor de chuvas, fatos que eventualmente podem levar a uma utilização maior das fontes térmicas.
- ✓ Com isso, foram utilizados os fatores médios nacionais de emissão do setor elétrico, divulgados pelo Governo Brasileiro de forma mensal e anual (MCTI, 2017).



Resultados dos cálculos das emissões de CO₂ no METRÔRIO e SUPERVIA no ano de 2016

MetrôRio									
Mês	CONSUMO TRAÇÃO (SEM PERDAS) (MWh)	PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO (8%) E TRANSMISSÃO (4%) DA ENERGIA (MWh)	CONSUMO TRAÇÃO (COM PERDAS) (MWh)	Fatores de Emissão de CO ₂ (tCO ₂ /MWh)	Emissões de CO ₂ produzidas (tCO ₂)	Passageiros Transportados	Passageiro-km	Emissões em gCO ₂ /passageiros transportados	Emissões em gCO ₂ /pass-km
jan-16	13.267	1.592	14.859	0,0960	1.426	18.222.867	198.602.991	78,3	7,2
fev-16	13.474	1.617	15.091	0,0815	1.230	19.997.924	217.430.439	61,5	5,7
mar-16	13.742	1.649	15.391	0,0710	1.093	21.825.473	237.332.043	50,1	4,6
abr-16	12.758	1.531	14.289	0,0757	1.082	20.264.959	221.717.829	53,4	4,9
mai-16	13.257	1.591	14.848	0,0701	1.041	20.697.684	226.694.665	50,3	4,6
jun-16	13.325	1.599	14.924	0,0760	1.134	21.478.770	235.447.571	52,8	4,8
jul-16	13.422	1.611	15.033	0,0725	1.090	21.001.255	229.202.054	51,9	4,8
ago-16	16.117	1.934	18.051	0,0836	1.509	22.858.111	247.083.931	66,0	6,1
set-16	14.191	1.703	15.894	0,0897	1.426	20.681.634	223.826.549	68,9	6,4
out-16	13.274	1.593	14.867	0,0925	1.375	19.158.433	207.540.171	71,8	6,6
nov-16	12.838	1.541	14.379	0,1002	1.441	18.819.710	203.561.752	76,6	7,1
dez-16	13.857	1.663	15.520	0,0714	1.108	19.247.901	207.978.744	57,6	5,3
TOTAL 2016	163.522	19.623	183.145	0,0817	14.963	244.254.721	2.656.418.740	61,3	5,6

SuperVia									
Mês	CONSUMO TRAÇÃO (SEM PERDAS) (MWh)	PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO (8%) E TRANSMISSÃO (4%) DA ENERGIA (MWh)	CONSUMO TRAÇÃO (COM PERDAS) (MWh)	Fatores de Emissão de CO ₂ (tCO ₂ /MWh)	Emissões de CO ₂ produzidas (tCO ₂)	Passageiros Transportados	Passageiro-km	Emissões em gCO ₂ /passageiros transportados	Emissões em gCO ₂ /pass-km
jan-16	18.789	2.255	21.044	0,0960	2.020	13.431.553	298.355.087	150,4	6,8
fev-16	18.675	2.241	20.917	0,0815	1.705	13.586.247	301.791.305	125,5	5,6
mar-16	21.480	2.578	24.057	0,0710	1.708	16.260.960	361.204.704	105,0	4,7
abr-16	20.233	2.428	22.661	0,0757	1.715	15.255.954	338.880.506	112,4	5,1
mai-16	19.283	2.314	21.597	0,0701	1.514	15.878.166	352.701.701	95,3	4,3
jun-16	18.508	2.221	20.729	0,0760	1.575	16.440.914	365.202.023	95,8	4,3
jul-16	19.393	2.327	21.720	0,0725	1.575	15.756.778	350.005.310	99,9	4,5
ago-16	21.772	2.613	24.385	0,0836	2.039	16.291.901	361.891.997	125,1	5,6
set-16	20.865	2.504	23.369	0,0897	2.096	15.633.576	347.268.624	134,1	6,0
out-16	21.185	2.542	23.728	0,0925	2.195	14.242.095	316.359.656	154,1	6,9
nov-16	20.523	2.463	22.986	0,1002	2.303	14.068.506	312.503.724	163,7	7,4
dez-16	22.705	2.725	25.429	0,0714	1.816	14.265.270	316.874.443	127,3	5,7
TOTAL 2016	243.413	29.210	272.623	0,0817	22.273	181.111.920	4.023.039.080	123,0	5,5

Análise comparativa das emissões do METRÔRIO e SUPERVIA com outros meios de transportes do RJ

✓ Para uma comparação mais justa, será utilizada a abordagem mais completa - "Do Poço (ou Origem) à Roda" (*WTW – Well to Wheel*) - Soma da emissão na produção do combustível/energia com a emissão no uso do veículo ($WTW = WTT + TTW$).

✓ Os resultados das emissões de outros meios de transportes do RJ, sob a abordagem *WTW – Well to Wheel*, foram produzidos por um dos autores desse trabalho, em outras 02 publicações em Periódicos Internacionais. Nesses trabalhos, foram encontrando os resultados médios das emissões de diversos sistemas de transportes do Rio de Janeiro, fazendo com que a comparação de resultados se torne a mais justa possível, envolvendo apenas os resultados de sistemas de transportes dentro do RJ.

D'Agosto, M.A.; Oliveira, C.M.; Assumpção, F.C.; Deveza, A.C.P. (2015) *Assessing Cleaner Energy Alternatives for Bus Transit in Rio de Janeiro: A Life Cycle Inventory Analysis*. J. Environ. Prot. v6, pp1197–1218.

D'Agosto, M.A.; Ribeiro, S.K. (2009) *Assessing total and renewable energy in Brazilian automotive fuels. A life cycle inventory (LCI) approach*. Renew. Sustain. Energy Rev. v13, pp1326–1337



Análise comparativa das emissões do METRÔRIO e SUPERVIA com outros meios de transportes do RJ

Meio de transporte	Emissão (gCO ₂ /pass-km)	Comparação com MetrôRio e SuperVia
Automóvel a gasolina C	193,90	Cerca de 35 vezes maior
Automóvel a GNC	207,18	Cerca de 37 vezes maior
Automóvel a etanol hidratado	16,43	Cerca de 3 vezes maior
Ônibus a diesel (100% diesel)	17,081	Cerca de 3 vezes maior
Ônibus a diesel B8 (8% biodiesel)	16,431	Cerca de 3 vezes maior
Ônibus a GNC (100%)	17,317	Cerca de 3 vezes maior
Ônibus a GNC + diesel B8	13,665	Cerca de 3 vezes maior
Ônibus a biodiesel (100% biodiesel)	3,151	Cerca de 57%
Ônibus a etanol hidratado E95	2,37	Cerca de 43%

- ✓ A venda de gasolina C no Rio de Janeiro em 2016 foi maior do que a venda de etanol hidratado (ANP, 2017). Também dados nacionais de participação de etanol hidratado e gasolina nos veículos leves indicam, em 2016, 36% de etanol e 64% de gasolina (EPE, 2017). Com isso, pode-se supor que, em 2016, os automóveis usaram mais gasolina do que o etanol.
- ✓ Comparando a emissão dos automóveis com a do MetrôRio e da SuperVia, em qualquer situação a emissão dos automóveis é sempre maior, de 3 a 37 vezes maior.
- ✓ A grande maioria dos ônibus do RJ são à diesel ou a diesel B8, sendo a emissão cerca de 3 vezes maior.

Conclusões

- ✓ A abordagem mais adequada para facilitar comparações com outros meios de transporte é a da emissão da "produção da energia e uso do veículo" (*WTW – Well To Tank*). Nessa abordagem, a maioria dos sistemas pesquisados em todo o mundo teve emissão variando de 4,9 a 140,6 gCO₂ por pass-km.
 - ✓ Os sistemas metroferroviários de passageiros do Rio de Janeiro (MetrôRio e SuperVia) apresentaram em 2016, em média, emissão 3 vezes menor que os ônibus e 35 vezes menor que os automóveis. Eles estão entre os sistemas sobre trilhos de menor emissão em todo o mundo.
 - ✓ A operação do metrô e ferrovia do Rio de Janeiro emite 10 vezes menos, por passageiro-quilômetro, do que a média de um grupo internacional de 31 sistemas metroferroviários.
 - ✓ Foi comprovado que os sistemas metroferroviários de passageiros são de baixa emissão de CO₂ e, portanto, a sua ampliação é uma maneira segura de contribuir para a redução das emissões de CO₂ da cidade do Rio de Janeiro e de outras cidades do país, possibilitando o cumprimento dos compromissos assumidos perante a comunidade internacional.
-



A CONTRIBUIÇÃO AMBIENTAL PROPORCIONADA PELAS OPERAÇÕES DE SISTEMAS METROFERROVIÁRIOS DE PASSAGEIROS, VISANDO À REDUÇÃO DAS EMISSÕES TOTAIS DE CO₂ DO SETOR DE TRANSPORTES DE UMA REGIÃO: APLICAÇÃO NOS SISTEMAS METROFERROVIÁRIOS DE PASSAGEIROS DO RIO DE JANEIRO – METRÔRIO E SUPERVIA

Carlos Eduardo Sanches de Andrade – carlos.andrade@metrorio.com.br

Márcio de Almeida D'Agosto – dagosto@pet.coppe.ufrj.br

Alessandro de Santana Moreira de Souza – alessandro.santana@unigranrio.edu.br

23ª Semana de Tecnologia Metroferroviária

