



# **REDUÇÃO DE EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO COM A IMPLEMENTAÇÃO DO BRT TRANSOESTE NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO**

**Gabriel Tenenbaum de Oliveira**

**Carlos Eduardo Sanches de Andrade**

**Ilton Curty Leal Junior**

**Carlos David Nassi**

**Clarisse Cunha Linke**

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-87893-17-8



9 788587 893178



# REDUÇÃO DE EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO COM A IMPLEMENTAÇÃO DO BRT TRANSOESTE NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

**Gabriel Tenenbaum de Oliveira**  
**Carlos Eduardo Sanches de Andrade**  
**Ilton Curty Leal Junior**  
**Carlos David Nassi**

Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Programa de Engenharia de Transportes / COPPE

**Clarisse Cunha Linke**  
Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento - ITDP

## RESUMO

O dióxido de carbono - CO<sub>2</sub> é o principal gás causador do efeito estufa. Sistemas de BRT têm potencial para reduzir o CO<sub>2</sub> gerado no deslocamento de passageiros, porém, a literatura acadêmica carece de avaliações de emissões de BRTs no contexto brasileiro. Este artigo objetiva mensurar o impacto de um sistema de BRT na cidade do Rio de Janeiro na redução de GEE. Foi empregado um modelo utilizado em projetos financiados pelo ADB e descrito detalhadamente no estudo. Os dados imputados foram obtidos a partir de pesquisa de campo com usuários e de revisão bibliográfica nacional. Resulta-se em redução de 50% de GEE para o corredor estudado, ou 16 Gg CO<sub>2</sub>/ano. O BRT se prova 14 vezes menos poluente que o carro ou 2 vezes menos que os ônibus convencionais, em termos de g CO<sub>2</sub>/pass.-km. O artigo conclui com uma análise comparativa com outros BRTs no mundo e recomendações para estudos futuros.

**Palavras-chave:** BRT, Gases do Efeito Estufa, Dióxido de carbono, Rio de Janeiro.

## ABSTRACT

Carbon dioxide - CO<sub>2</sub> is the main gas causing the greenhouse effect. BRT systems have the potential to reduce CO<sub>2</sub> generated in passengers commuting, however, the academic literature lacks BRT emissions evaluations in the Brazilian context. This paper aims to measure the impact of a BRT system in the city of Rio de Janeiro in GHG reduction. A model used in projects funded by ADB and described in detail in the study was employed. The imputed data was obtained from field research with system users and national literature review. Results show 50% reduction of GHG in the studied corridor, or 16 Gg CO<sub>2</sub> per year. The BRT is proven 14 times less polluting than car or 2 times less than conventional buses, in terms of g CO<sub>2</sub>/pass.-km. The article concludes with a comparative analysis with other BRT corridors in the world and recommendations for future studies.

**Keywords:** BRT, Green House Gases, Carbon Dioxide, Rio de Janeiro

## 1. INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente em nível mundial está relacionada ao agravamento de condições ambientais, decorrente dos processos de industrialização e urbanização (Vasconcellos, 2006). No que diz respeito ao transporte, as emissões atmosféricas, e principalmente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), constituem o principal foco de atenções para reverter o painel de mudanças climáticas. Segundo o IEA (2009), o setor é responsável por 23% do total de emissões de gases do efeito estufa – GEE no mundo, fatia que deve crescer 50% até 2030.

No Brasil, em 2013, as emissões pelo transporte corresponderam a 46% do total de emissões antrópicas geradas no país (EPE, 2014). Os veículos motorizados são responsáveis pela geração de mais de 210 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> (MMA, 2013) e os poluentes atmosféricos locais liberados – MP, NO<sub>x</sub> e SO<sub>x</sub> – acarretam um custo anual por doenças

respiratórias que atinge o patamar de R\$ 7,9 bi de reais (ANTP, 2012), o equivalente a 0,35% do PIB.

Na cidade do Rio de Janeiro, estima-se que 66% das emissões do município, ou mais de 5.700 Gg de CO<sub>2</sub> eq, estejam associadas ao setor (SMAC-RJ & COPPE, 2011). Neste cenário, o transporte público tem importante peso. De fato, 70% das viagens urbanas motorizadas são realizadas em transporte coletivo (SETRANS-RJ, 2013).

O sistema de transporte público da cidade do Rio de Janeiro movimenta 6,4 mi de pessoas diariamente (SETRANS-RJ, 2013) e é composto por uma rede radial metro-ferroviária, uma rede capilar de ônibus municipais e intermunicipais conectando a Região Metropolitana e, mais recentemente, uma linha troncal de *Bus Rapid Transit* – BRT interligando a Zona Oeste da cidade.

A linha de BRT TransOeste, como foi denominada, foi implementada em 2012 e é parte de uma rede de quatro corredores de *Bus Rapid Transit* propostos para conectar longitudinal e transversalmente a rede de transporte público já existente. Esses sistemas complementam uma brecha de performance do sistema carioca atual, em que há um sistema de ônibus de baixa capacidade e um sistema de metrô e de trens de alta capacidade, mas abrangência limitada.

Além da possibilidade de melhoria do sistema de transporte, com a redução dos tempos de viagem, este tipo de sistema apresenta ainda potencial de mitigação das emissões de dióxido de carbono da matriz de transporte público (COPPE, 2012). De fato, por suportar uma capacidade superior a dos ônibus convencionais, ter uma maior taxa de ocupação e utilizar combustível menos poluente, as emissões por passageiro transportado é menor (Embarq, 2013).

É de especial interesse dos agentes públicos e privados e para eventuais financiadores envolvidos na implementação de um sistema BRT, o acompanhamento dos impactos na redução de emissões para o setor de transporte de passageiros. Dentre as metodologias disponíveis para se estimar a economia de emissões, fruto da transição modal de veículos particulares e de ônibus convencionais para o sistema de BRT, se destaca pela praticidade o modelo TEEMP, recomendado pelo *Global Environment Facility* e pelo Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento – ITDP e já aplicado, por exemplo, em projetos financiados pelo Banco de Desenvolvimento Asiático entre 2000 e 2009 (GEF & UNEP, 2012).

Neste contexto, ainda é visível que a literatura acadêmica carece de estudos nacionais que atestem o potencial de redução de emissão de GEE dos sistemas de BRT, quando considerado o contexto tecnológico nacional e fatores sistêmicos locais.

O objetivo deste artigo é calcular a redução de emissões de GEE, consequentes da implantação BRT TransOeste, na Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro. As emissões são calculadas em termos de CO<sub>2</sub>, o principal gás causador do efeito estufa, e a redução é estipulada a partir da transição modal observada no corredor, com dados obtidos em pesquisa de campo realizada pelo ITDP em 2012, após 9 meses de operação do sistema.

O trabalho se divide como segue: a seção 2 reúne uma revisão bibliográfica acerca da tecnologia de sistemas BRT, de emissões de sistemas no mundo e de metodologias de

avaliação de redução de emissões fruto da implantação de um sistema de BRT, com particular enfoque na descrição da metodologia empregada no estudo de caso. Em seguida, na seção 3, um estudo de caso para o corredor de BRT TransOeste da cidade do Rio de Janeiro é ensaiado e seus resultados são comentados levando em conta o contexto de emissões do município. Por fim, são traçadas na seção 4 uma conclusão sintética e uma análise sobre as limitações e desdobramentos do estudo realizado.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Características do Sistema de Bus Rapid Transit e Emissões de GEE no Mundo**

O *Bus Rapid Transit* – BRT é um termo geral utilizado para designar sistemas de transporte urbano com ônibus, em que melhorias significativas de infraestrutura, veículos e práticas operacionais resultam em uma qualidade de serviço mais atrativa (NTU, 2009).

Este sistema surgiu em 1974 com a implantação dos primeiros 20 km de vias exclusivas para “Ônibus Expressos” na cidade de Curitiba. Praticamente todos os componentes de BRT foram desenvolvidos na cidade de Curitiba durante os anos 70, 80 e começo dos anos 90 (NTU, 2009). No entanto, o termo BRT só foi adotado nos anos 90 na América do Norte, criando uma referência e imagem mundial.

Segundo o site *BRTdata.org*, organizado por instituições como Embarq, IEA e ALC, haveria sistemas de prioridade de ônibus e BRTs presentes em 180 cidades no mundo. Essa tecnologia vem sendo adotada por grandes cidades em todo o mundo, como Londres, Johannesburgo, Istambul, Ghanzhou, Jakarta, Lima, Los Angeles, Cidade do México, Bogotá e São Paulo (ALC-BRT & Embarq, 2014; ITDP China, 2014; Vuchic, 2007), entre outras.

De forma prática, elementos como: alinhamento das vias de ônibus que minimize conflitos com outros tráfegos (preferencialmente a esquerda da via); infraestrutura segregada com prioridade de passagem; cobrança de tarifa fora do veículo; prioridade nas interseções; e embarque por plataforma em nível podem ser considerados essenciais para que um sistema seja classificado como BRT (ITDP, 2013b). Em adição, o próprio veículo conta com design mais confortável, janelas maiores e piso rebaixado, além de maior capacidade por ser mono ou biarticulado (NTU, 2009). O sistema opera com linhas troncais de média capacidade aliadas a linhas alimentadoras, resultando em um sistema mais flexível, rápido e de baixo custo.

Embora haja casos de corredores de ônibus convencionais em São Paulo que dividiram fisicamente o território e impactaram negativamente no nível de ruído e poluição atmosférica, deteriorando economicamente a região (Vuchic, 2005); se bem planejado, o sistema de BRT pode ser um indutor de desenvolvimento local. É essencialmente a qualidade de serviço e economias de tempo oferecidas pela introdução do sistema que irão promover mudanças ou valorização do uso do solo do entorno (Cervero & Kang, 2011).

Em termos gerais, no que diz respeito a emissões atmosféricas, projetos de novos sistemas de transporte público têm potencial de redução de impacto se favorecem a transição de modos mais poluentes para modos menos poluentes, em relação à grama de CO<sub>2</sub> eq por pass-km transportado. Autores como Hook *et al.* (2010), Hossain e Kennedy (Hossain & Kennedy, 2008) e Vincent e Jerram (2006) já se implicaram em estudar os potenciais específicos de sistemas de BRT.

O IEA (2009) estima que, até 2050, seja possível obter reduções de emissões de GEE da ordem de 500 Gt de CO<sub>2</sub> eq por ano caso sistemas de BRT como o de Bogotá sejam implantados em largas extensões em 500 grandes cidades no mundo.

Assim, verifica-se, que o BRT é capaz de garantir dois dos princípios previstos na Lei de Mobilidade Urbana promulgada recentemente no país, ao priorizar o serviço de transporte coletivo sobre o transporte individual motorizado e reduzir custos ambientais dos deslocamentos de pessoas na cidade (Brasil, 2012).

Na Tabela 1, encontram-se informações de economias de emissões de sistemas de BRTs de diversas cidades do mundo, reunidas após revisão bibliográfica internacional.

**Tabela 1. Reduções de Emissão de GEE para sistemas de BRT ao redor do mundo**

Ano Avaliação	País	Cidade	Sistema	Reduções de CO <sub>2</sub> (ton/ano)	Demanda anual (pass./ano)
2009	China	Chongqing	-	95.098 <sup>1</sup>	266
2010	China	Chongqing	Lines 1-4	218.067 <sup>2</sup>	266
2012	China	Lanzhou	Lanzhou BRT	12.621 <sup>2</sup>	42
2011	China	Zhengzhou	Zhengzhou BRT	204.715 <sup>2</sup>	195
2011	Colômbia	Barranquilla	Transmetro	55.828 <sup>2</sup>	36,3
2006	Colômbia	Bogotá	-	83.520 <sup>1</sup>	594
2006	Colômbia	Bogotá	TransMilenio Phase II - IV	246.563 <sup>2</sup>	594
2008	Colômbia	Bogotá	TransMilenio Phase II - IV	62.813 <sup>3</sup>	594
2010	Colômbia	Cali	Metro Cali	113.428 <sup>4</sup>	160
2012	Colômbia	Medellin	Metroplus	123.479 <sup>2</sup>	18
2009	Colômbia	Pereira	-	10.464 <sup>1</sup>	31,5
2009	Indonésia	Jakarta	TransJakarta	60.000 <sup>3</sup>	120
2012	Guatemala	Guatemala City	TransMetro	536.148 <sup>2</sup>	73,5
2012	México	Guadalajara	Macrobus	54.325 <sup>2</sup>	38,1
2008	México	Mexico City	-	4.416 <sup>1</sup>	270
2009	México	Mexico City	Metrobus Insurgentes	26.816 <sup>3</sup>	270
2011	México	Mexico City	Metrobus Insurgentes	46.544 <sup>2</sup>	270
2011	México	Mexico City	Lines 1-5 EDOMEX	145.863 <sup>2</sup>	270
2012	México	Mexico City	Metrobus 2-13	134.601 <sup>2</sup>	270
2012	Turquia	Istambul	Metrobus	60.955 <sup>5</sup>	220

Emissões: dados em: 1. IEA (2009); 2. CDM (2014); 3. Hook *et al.* (2010); 4. Turner *et al.* (2012); 5. Alpkokin e Ergun (Alpkokin & Ergun, 2012)

Demanda: dados em [brtdata.com](http://brtdata.com) (ALC-BRT & Embarq, 2014), [chinabrt.org](http://chinabrt.org) (ITDP China, 2014) e CDM (2014)

Observa-se que as quantidades de emissão calculadas variam enormemente, inclusive para análises sobre um mesmo sistema. De fato, é importante que a metodologia utilizada esteja bem descrita de forma a ser reproduzível e que os resultados sejam revistos após o decorrer dos anos de operação do projeto. O caso do corredor TransMilenio, em Bogotá, é, neste sentido, ilustrativo (Hook *et al.*, 2010): em 2006, foi estimado que a redução seria da ordem de 250 mil toneladas de CO<sub>2</sub> por ano. No entanto, após o terceiro ano de operação, em 2008, aferiu-se uma transição considerável de viagens que eram realizadas em transporte público para automóveis particulares. Tal transição haveria sido consequência do descongestionamento de diversas vias da cidade após a implementação do BRT. A redução recalculada ficou em torno de 60 mil toneladas de CO<sub>2</sub> por ano, ou 75% menor que o previsto inicialmente. A documentação de estudos de casos como os apresentados pode auxiliar em futuros cálculos semelhantes e este artigo se propõe a fazê-lo no caso do corredor TransOeste da cidade do Rio de Janeiro.

### 2.3. Metodologias de Avaliação de Redução de Emissões

Existem diferentes metodologias de cálculo de economias diretas de emissão de GEE para projetos de transporte público. Depois da assinatura do Protocolo de Kyoto, diversas linhas de financiamento, como da UNFCCC e do ADB, dependem de avaliações deste tipo, que podem ser feitas antes ou depois da entrega do projeto.

A metodologia proposta pelo Painel de Convenção de Mudanças Climáticas das Nações Unidas (UNFCCC), conhecida como *Clean Development Mechanism* – CDM, por exemplo, é seguida após a implementação do projeto e redução de emissões resultante define os financiamentos atrelados.

Por outro lado, a metodologia proposta pela *Global Environment Facility*, chamada de *Transportation Emissions Evaluation Model for Projects* – TEEMP, pode fornecer uma estimativa *ex-ante* de impactos diretos de redução de GEE e tem foco em países emergentes, em que dados muitas vezes não estão disponíveis (GEF & UNEP, 2012).

O modelo TEEMP compara as emissões de um cenário-base, sem a implementação do projeto em questão, com o cenário pós-projeto construído. Para projetos de transporte público de média ou alta capacidade os impactos diretos de redução de GEE são resultado dos seguintes fatores:

- Transição modal resultante da implementação do projeto;
- Redução de quilometragem percorrida pela reorganização de linhas;
- Eficiência energética por operação otimizada e combustível menos poluente (em termos de poluentes locais);
- Veículos mais eficientes, em termos de gramas de CO<sub>2</sub> por pass-km, dada frota renovada ou maior capacidade;
- Estímulo a um desenvolvimento mais compacto por eventuais câmbios no uso do solo, o que diminui a dependência de automóveis privados, induz a transição modal e diminui as distâncias percorridas por viagem. Este ponto, para ser calculado como um impacto indireto secundário depende da existência de políticas específicas.

De forma prática, para o cálculo, são imputadas no modelo disponível no *site* da GEF (2014) variáveis locais sobre o tempo de amortização da infraestrutura em questão e sobre o setor de transporte público e privado na área de influência do projeto. Os dados básicos necessários para o modelo dizem respeito aos modos de transporte afetados pelo novo sistema de Transporte Público e ao BRT e são:

- Demanda esperada para o sistema;
- Transição modal esperada para os anos de operação do sistema;
- Características tecnológicas e ambientais para cada um dos modos de transporte existente no sistema:
  - Tipo de motor, combustível utilizado e fator de consumo de combustível;
  - Ocupação, velocidade média e quilometragem média por passageiro transportado;
  - Fator de emissão de GEE e poluentes locais para cada tipo de combustível e motor.

Em termos de resultados, o modelo TEEMP fornece, além da redução anual de emissão de GEE, as reduções em: tempo de viagem, poluição atmosférica, custo para os usuários, combustível utilizado e acidentes de trânsito, porém somente os primeiros resultados serão explorados na análise de caso apresentada na seção 3.

### 3. ANÁLISE DE CASO: REDUÇÃO DE EMISSÕES COM O BRT TRANSOESTE NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

Um estudo de caso foi empreendido para analisar a redução de GEE com a implantação do sistema de BRT TransOeste inaugurado em 2012 na cidade do Rio de Janeiro. O estudo é dividido em 3 partes:

1. O caso do sistema de BRT é contextualizado em termos de emissões na cidade do Rio de Janeiro;
2. São apresentados os dados imputados no modelo para cálculo da redução de emissões de GEE;
3. Os resultados principais do modelo em termos de emissão de GEE são apresentados e discutidos.

#### 3.1. Emissões de Transporte na Cidade do Rio de Janeiro e a Rede de BRTs

Na cidade do Rio de Janeiro, segundo a Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMAC-RJ & COPPE, 2011), em 2005, até 53% das emissões de GEE estariam atreladas ao setor de transporte de passageiros (Tabela 2). O mesmo relatório atesta que, com a implantação dos projetos de transporte públicos já então licenciados – rede de BRTs e expansão da rede de metrô –, seria possível, até 2016, reduzir este total em cerca de 500 Gg de CO<sub>2</sub> eq, de um total de 10.744 Gg de CO<sub>2</sub> eq, passando tal percentual para 44%.

**Tabela 2. Emissões de Energia da Cidade do Rio de Janeiro – fonte: SMAC (2011)**

Ano	Cenário	Emissões (Gg CO <sub>2</sub> eq)					Total Transportes Urbanos	Total Energia	Participação Transportes Urbanos no Total (%)
		Veículos Leves	Veículos Pesados	Ferro-viário	Hidro-viário				
2005	cenário-base (A <sub>0</sub> )	2.974	1.417	13	11	4.415	8.348	53%	
2016	cen.-base projetado (A)	3.184	1.754	27	13	4.978	10.744	46%	
2016	cen.-base proj. (A) + rede de transp. (B)	2.972	1.436	65	13	4.486	10.235	44%	
<b>Redução de Emissões (B – A)</b>		<b>212</b>	<b>318</b>	<b>-37</b>	<b>0</b>	<b>493</b>	<b>509</b>	<b>-</b>	

No Rio de Janeiro a rede de BRT está sendo implantada com a concepção de eixos de transportes que se integrem à rede de corredores existente. O projeto se baseia na construção de faixas exclusivas para o ônibus de média capacidade a esquerda do fluxo de veículos. Os corredores fazem parte dos eixos de transportes propostos no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano da cidade (Rio de Janeiro, 2011). O projeto prevê a implantação de 4 (quatro) corredores de BRT: TransOeste, TransCarioca, TransBrasil e TransOlímpica,

Este estudo enfoca na análise do corredor TransOeste, por ser, até o momento, o único corredor em operação integral. O projeto inicial prevê 74 estações nos 56 km de extensão do corredor e um total de 230 ônibus articulados para atender à demanda. Em 2012, quando da

realização do estudo de impacto pelo ITDP (2013a), o corredor tinha 42,6 km de extensão, operava com 41 estações já construídas e com 91 ônibus articulados na frota.

O corredor TransOeste é a principal conexão da extensa região Oeste do Rio de Janeiro: a ligação atende desde os bairros de Santa Cruz e Campo Grande até o terminal Alvorada na Barra da Tijuca e haverá, segundo previsto, extensão futura até o início deste bairro. A cobrança da tarifa é feita nas estações, o que aumenta a rapidez de embarque no veículo. Há prioridade semafórica automatizada nos cruzamentos para os veículos do BRT e existe, ainda, um Centro de Controle e Monitoramento responsável pelo controle dos horários das viagens e pela supervisão da operação. Nos terminais, há serviços de informação eletrônica, que auxiliam os usuários na identificação das linhas, horários e destinos. A arrecadação é controlada pela operadora do sistema e não há subsídio governamental na tarifa para o Corredor TransOeste.

O BRT já representa um avanço em relação à configuração urbanística da Zona Oeste, voltada exclusivamente para o uso do automóvel particular. O BRT TransOeste implementado usufruiu de ampla adaptação da rede viária existente. Não contribuiu assim para a segregação espacial dos bairros onde passa, pois os mesmos se desenvolveram ao longo dos eixos viários aproveitados. Sua função é de conexão de áreas distantes da cidade, tendo caráter também social ao atender uma população historicamente com acesso limitado a linhas de transporte público de melhor desempenho.

### **3.2. Dados para Cálculo de Redução de Emissões do BRT TransOeste**

Analisou-se o sistema de BRT TransOeste com ano base de 2012 e horizonte de 20 anos. A fim de tornar os resultados mais fidedignos ao contexto local, buscou-se utilizar valores locais ou nacionais para as variáveis presentes no modelo, conforme descrito a seguir.

A demanda planejada para o corredor é apresentada na Tabela 3. No modelo, um ajuste é realizado à mesma considerando aspectos técnicos do projeto e do sistema que favoreçam a adesão de usuários.

**Tabela 3. Demanda Planejada e Ajustada para o BRT TransOeste**

<b>Demanda</b>	<b>2012</b>	<b>2021</b>	<b>2031</b>
Planejada	105 000	220 000	243 017
Ajustada	123 480	258 720	285 788

Na Tabela 4, estão reunidas as características para cada um dos modos de transportes presentes no corredor e a transição modal para o BRT observada em pesquisa em campo realizada pelo ITDP (2013a), após 9 meses de operação do corredor. A pesquisa foi levada a cabo em outubro de 2013 junto a mais de 400 passageiros do BRT TransOeste para determinar qual modo utilizavam antes da operação do corredor.



**Tabela 4. Característica dos Modos de Transporte no Corredor TransOeste**

Modo de Transporte	Transição Modal para o BRT <sup>1</sup>			Ocupação <sup>2</sup> (pass./veíc.)	Distância Média por Viagem (km) <sup>3</sup>	Velocidade Média (km/h) <sup>4</sup>		
	2012	2021	2031	2012 - 2031	2012 - 2031	2012	2021	2031
Carro	2,0%	4,0%	8,0%	1,3	9,9	20	18	16
Motocicleta	1%	2%	4%	1,1	6,7	30	28	26
Táxi	0,4%	0,8%	1,6%	2,3	9,9	20	18	16
Ônibus	85,3%	82,2%	75,9%	50	17,1	16	14	12
Van Passageiro	6,8%	6,5%	6,0%	12	9,9	16	14	12
BRT	-	-	-	140	17,1	45	45	45

<sup>1</sup> Transição Modal para o BRT TransOeste: pesquisa em campo realizada pelo ITDP. 4,5% dos entrevistados declararam não realizar a viagem anteriormente ao BRT. Transição modal para veíc. particulares estimada em dobrar a cada 10 anos.

<sup>2</sup> Ocupação por Modo: valores médios do Rio de Janeiro para veículos particulares. Para modos públicos, ocupação média de 80% a partir da capacidade máxima.

<sup>3</sup> Distância Média por Viagem: valores-base do modelo TEEMP.

<sup>4</sup> Velocidade Média: da cidade do Rio de Janeiro, segundo entrevista (Jornal O GLOBO, 2011) do então secretário estad. de Transportes, Júlio Lopes, para modos privados (estimativa para motoc.), e segundo dados da Secretaria Municipal de Transportes (ITDP, 2013a), para ônibus e BRT; com projeção de queda de 2 km/h a cada dez anos para modos sem via exclusiva.

A Tabela 5 reúne, para cada um dos modos de transporte do corredor, o tipo de fonte de energia e o consumo em termos de combustível utilizado. Em estudo de emissões similar realizado pelo ITDP (2013a) sobre o corredor TransOeste, fatores de consumo diferentes em função da velocidade foram adotados. Porém, neste estudo optou-se por considerar para efeito de cálculo, que o consumo de combustível independe da velocidade do veículo. Por fim, a Tabela 6 apresenta os fatores de emissão de dióxido de carbono para cada um destes tipos de combustíveis. O efeito de outros gases emitidos e contribuidores para o efeito estufa (CO, NO<sub>x</sub> e SO<sub>x</sub>) não é somado a estes fatores de emissão. Considera-se também que o tipo de motor (padrões PROCONVE) não influi no fator de emissão de dióxido de carbono.

**Tabela 5. Características Tecnológicas e Ambientais dos Modos de Transportes**

Modo de Transporte	Fonte de Energia <sup>1</sup>				Consumo Energético Médio <sup>2</sup>			
	Gasolina	Diesel	Álcool	GNV	Gasolina (km/l)	Diesel (km/l)	Álcool (km/l)	GNV (km/kg)
Carro	83%	-	17%	-	11,3	-	8,5	15,6
Motocicleta	96%	-	4%	-	37,2	-	29,3	-
Táxi	62%	-	13%	25%	11,3	-	8,5	15,6
Ônibus	-	100%	-	-	-	2,7	-	-
Van Passageiro	-	100%	-	-	-	8,0	-	-
BRT	-	100%	-	-	-	1,7	-	-

<sup>1</sup> Fonte de Energia: dados para carros, motos e ônibus do MMA (2013, p. 26 e 46). Maior percentual de uso de GNV para táxis; van passageiro suposto igual ao ônibus.

<sup>2</sup> Fator de Consumo a 50 km/h: dados para carros e motos do MMA (2013, p. 42 e 51); para vans estimado baseado em dados do mercado; para ônibus e BRT, em estudo da COPPE (2012)

**Tabela 6. Fatores de Emissão de Dióxido de Carbono dos Combustíveis**

Fator de Emissão <sup>1</sup>			
Gasolina (kg CO <sub>2</sub> /l)	Diesel (kg CO <sub>2</sub> /l)	Álcool (kg CO <sub>2</sub> /l)	GNV (kg CO <sub>2</sub> /kg)
2,2	2,6	1,5	2,6

<sup>1</sup>Fatores de Emissão: dados do MMA (2013, p. 35)

### 3.3. Resultados e Discussões

O modelo fornece a quantidade, detalhada, por ano e por modo de transporte, para os seguintes itens: total de viagens; total de veículos-km; total de passageiros-km; emissões em toneladas de CO<sub>2</sub>. Na Tabela 7, são apresentadas as médias considerando o período 2012 a

2031 para o cenário-base (A), sem a implementação do corredor de BRT, e para o cenário com o BRT (B), com a consequente variação em termos absolutos e percentuais.

**Tabela 7. Resumo de Resultados do Modelo – Médias considerando período 2012-2031**

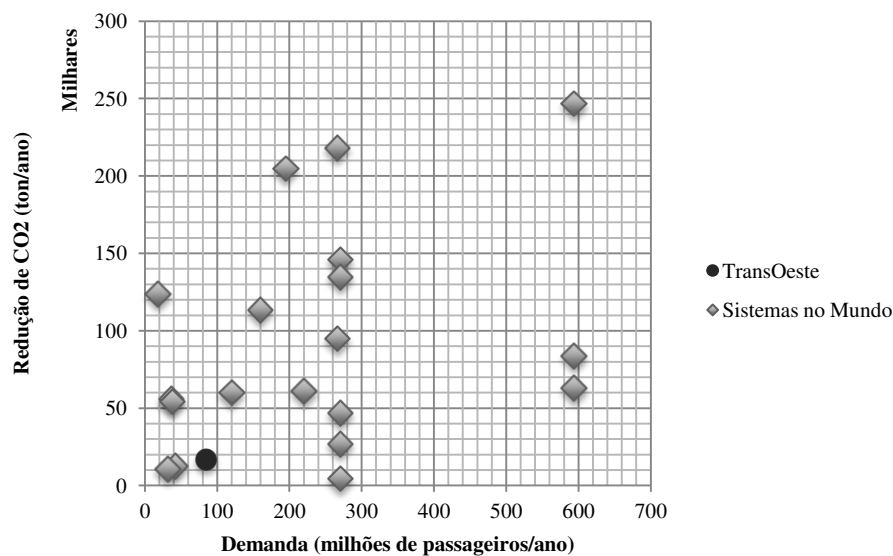
Modo de Transporte	Passageiros transport. (por dia)	Pass.-km (por dia)	Veíc.-km (por dia)	Emissões CO <sub>2</sub> (ton/ano)	Emissões CO <sub>2</sub> (g/pass-km)	Emissões CO <sub>2</sub> relativas ao BRT
Carro	11.820	117.022	90.017	6.338	148,4	13,6
Motoc.	5.910	39.598	35.999	777	53,8	4,9
Táxi	2.364	23.404	10.176	692	81,1	7,4
Ônibus	186.903	3.196.047	63.921	22.493	19,3	1,8
Van Passageiro	14.900	147.507	12.292	1.460	27,1	2,5
<b>Total (Cen. A)</b>	<b>221.898</b>	<b>3.523.579</b>	<b>212.405</b>	<b>31.760</b>	<b>24,7</b>	<b>2,3</b>
<b>BRT (Cen. B)</b>	<b>232.354</b>	<b>3.794.451</b>	<b>27.103</b>	<b>15.147</b>	<b>10,9</b>	<b>1,0</b>
<b>Variação absoluta (B - A)</b>	<b>10.456</b>	<b>270.872</b>	<b>-185.301</b>	<b>-16.613</b>	<b>-14</b>	<b>-</b>
<b>Variação relativa</b>	<b>5%</b>	<b>8%</b>	<b>-87%</b>	<b>-52%</b>	<b>-56%</b>	<b>-</b>

Nota-se, em primeiro lugar, que o corredor aumenta a mobilidade, aqui mensurada em total de passageiros e em pass-km transportados: de fato, na pesquisa conduzida em campo, 5% dos entrevistados afirmou que não realizava tal viagem anteriormente ao BRT TransOeste (ITDP, 2013a). Ao mesmo tempo observa-se uma expressiva queda no total de veículos-quilômetros viajados – correspondente a mais de quatro vezes a circunferência do planeta Terra – consequência da maior capacidade do BRT.

Em segundo lugar, percebe-se que o corredor TransOeste é capaz de reduzir o total de emissões de GEE geradas em mais de 50%, passando de mais de 31 Gg CO<sub>2</sub>/ano para cerca de 15 Gg CO<sub>2</sub>/ano. Esta redução, sozinha, corresponde a 4% da previsão de redução para transportes urbanos segundo o Inventário da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (2011).

Por fim, é notório que o BRT, dentre as tecnologias presentes no corredor é a menos poluente em termos de emissão de gCO<sub>2</sub> por pass-km: em relação a esta medida, um BRT emite quase 14 vezes menos que um carro ou 2 vezes menos que um ônibus convencional. No entanto, é importante observar que o modo metroviário na cidade do Rio de Janeiro é duas vezes e meia menos poluente que o BRT, por ter emissão equivalente a 4,0 g CO<sub>2</sub> eq por passageiro-km (Andrade, D'Agosto, & Leal Jr., 2013).

Na Figura 1, exibe-se a redução de emissão de CO<sub>2</sub> em função da quantidade de passageiros transportados anualmente para o BRT TransOeste e para os sistemas levantados na revisão bibliográfica.



**Figura 1. Redução de emissões de CO<sub>2</sub> e Demanda anual para sistemas de BRT no mundo**

Em relação a outros sistemas de BRT percebe-se que a redução esteve abaixo da média. Isto pode estar atrelado ao fato de que, no BRT TransOeste, a demanda observada é inferior àquela da maioria dos outros sistemas ou que apenas 2% dos usuários cambiaram do automóvel particular. As considerações metodológicas adotadas podem também levar a cálculos distintos. No cálculo aqui executado, por exemplo, não levou-se em consideração melhorias tecnológicas ao longo dos anos no que diz respeito a emissões de GEE ou variações de consumo em função da velocidade para os diferentes modos. O estudo realizado pelo ITDP sobre o mesmo corredor (2013a) incorporou variações de consumo de combustível com a velocidade e encontrou redução de 95% dos GEE, ou 107 Gg de CO<sub>2</sub>/ano. De toda forma, há sistemas com redução similar ao aqui estudado, o que corrobora os resultados apresentados.

#### 4. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Este artigo conseguiu atingir seu objetivo, ao mensurar o impacto da implantação de um sistema de BRT na redução de GEE. No corredor estudado, o BRT TransOeste na cidade do Rio de Janeiro, a tecnologia é a mais limpa em termos de emissão de CO<sub>2</sub> por pass-km. A transição modal observada após mais de 9 meses de operação do sistema permitiu chegar por meio de um modelo a uma redução calculada de 16 Gg CO<sub>2</sub>/ano no corredor, ou 50% do que seria emitido caso o sistema não fosse implantado. O BRT TransOeste é 14 vezes menos poluente – em gCO<sub>2</sub> por pass.-km – que o automóvel particular e 2 vezes menos que o ônibus convencional.

O sistema de BRT comprova assim seu potencial de redução de emissão de GEE ao favorecer a transição de viagens para um modo menos poluente e resta uma alternativa de interesse tanto para autoridades quanto para financiadores de projetos ligados a pegada de carbono.

O corredor estudado mostrou-se abaixo da média de corredores presentes no mundo tanto em relação à redução de emissões quanto em relação a demanda anual de passageiros. Diferenças metodológicas podem ter contribuído para um valor calculado de emissão de GEE inferior, como a não introdução de variação do consumo com a velocidade ou aspectos de inovação tecnológica dos modos.

A baixa redução de GEE é em parte consequência da transição a partir dos modos particulares esetar ainda abaixo de 5%. Neste sentido, o corredor tem ainda potencial de redução de emissões. Agentes públicos podem, por exemplo, promover campanhas para atrair usuários de carros para o BRT. Caso o corredor se conecte com o metrô no início da Barra da Tijuca, é provável que a capacidade de atração de usuários seja ainda maior. É importante também ressaltar que uma alternativa metroviária para o atual corredor reduziria ainda, em termos operacionais, a emissão de GEE.

A redução de GEE estudada para o corredor contribui ao inventário de emissões do município ao detalhar o cálculo para um sistema recém-implantado e à literatura nacional de análises de impactos ambientais globais relacionados a sistemas de transporte de passageiros. É de se esperar que corredores similares a serem implantados possam ter suas emissões quantificadas de forma similar à realizada neste estudo, o que contribuiria para a validação da metodologia empregada.

Em termos de recomendação para estudos futuros, espera-se que dados mais precisos quanto aos modos presentes no corredor (ocupação, velocidade e distância média percorrida) possam tornar o cálculo mais próximo do contexto observado. De fato, sabe-se, por exemplo, que a velocidade influi no consumo de combustível pelo modo estudado, o que pode resultar em uma emissão total distinta para o mesmo sistema. Recomenda-se para estudos mais aprofundados sobre este tema a metodologia da Agência Europeia do Meio Ambiente (EEA, 2013).

Alternativa possível seria estudar o impacto de utilização de combustíveis mais limpos, como o biodiesel ou etanol, e alternativas tecnológicas, como ônibus híbridos-elétricos, nas emissões do corredor. Em teoria, ônibus elétricos representam uma redução de 24 a 48% nas emissões de CO<sub>2</sub> por km rodado; o biodiesel tem potencial para reduzir em 10%; e o etanol chega a 100%, por vir da cana de açúcar e apresentar ciclo de vida quase nulo em emissões de GEE (COPPE, 2012; D'Agosto, Ribeiro, & de Souza, 2013).

Para concluir, com a crescente atenção às mudanças climáticas provocadas pelo efeito estufa, é proporcional o aumento de estudos relativos às raízes do problema. Este artigo contribui à discussão no que tange a sistemas de BRTs, empregados progressivamente tanto em países emergentes quanto já desenvolvidos, e espera poder constituir bibliografia de estudo de caso.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao SEST - Serviço Social do Transporte, SENAT - Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte e ITL - Instituto de Transporte e Logística, pelo suporte técnico e financeiro concedido ao trabalho desta pesquisa.

## **BIBLIOGRAFIA**

- ALC-BRT, & Embarq. (2014). BRT Data. Retrieved July 04, 2014, from <http://brtdata.org/>
- Alpkokin, P., & Ergun, M. (2012). Istanbul Metrobüs: first intercontinental bus rapid transit. *Journal of Transport Geography*, 24, 58–66. doi:10.1016/j.jtrangeo.2012.05.009
- Andrade, C. E. S. de, D'Agosto, M. D. A., & Leal Jr., I. C. (2013). Avaliação do ganho na redução de CO<sub>2</sub> devido a disponibilidade de um sistema metroviário : Aplicação no metrô do Rio de Janeiro. *Revista Transportes*, 21(2), 5–12. doi:10.4237/transportes.v21i2.653.TRANSPORTES

- ANTP. (2012). *Sistema de Informações da Mobilidade Urbana 2011*.  
 Brasil. (2012). Lei de Mobilidade Urbana, Lei nº 12.587/2012. Brasília.
- Cervero, R., & Kang, C. D. (2011). Bus rapid transit impacts on land uses and land values in Seoul, Korea. *Transport Policy*, 18(1), 102–116. doi:10.1016/j.tranpol.2010.06.005
- COPPE. (2012). *Alternativas Tecnológicas para Ônibus no Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro.
- D'Agosto, M. D. A., Ribeiro, S. K., & de Souza, C. D. R. (2013). Opportunity to reduce greenhouse gas by the use of alternative fuels and technologies in urban public transport in Brazil. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(2), 177–183. doi:10.1016/j.cosust.2013.03.003
- EEA. (2013). *EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2013*.
- Embarq. (2013). Social, Environmental and Economic Impacts on BRT Systems: Bus Rapid Transit Case Studies from Around the World. Retrieved from [www.embarq.org](http://www.embarq.org)
- EPE. (2014). *Balanco Energético Nacional - Relatório Síntese*. Retrieved from <https://ben.epe.gov.br>
- GEF. (2014). Global Environment Facility Website.
- GEF, & UNEP. (2012). *Calculating Greenhouse Gas Benefits of Global Environment Facility Transportation Projects*.
- Hook, W., Kost, C., Navarro, U., Replogle, M., & Baranda, B. (2010). Carbon Dioxide Reduction Benefits of Bus Rapid Transit Systems. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2193(-1), 9–16. doi:10.3141/2193-02
- Hossain, M., & Kennedy, S. (2008). Estimating Energy Savings from Bus Improvement Options in Urban Corridors. *Journal of Public Transportation*, 11(3).
- IEA. (2009). *Transport, Energy and CO2* (p. 29).
- ITDP. (2013a). *Impact Analysis of Transoeste Bus Rapid Transit System in Rio de Janeiro*. Retrieved from [www.itdpbrasil.org.br](http://www.itdpbrasil.org.br)
- ITDP. (2013b). *Padrão de qualidade de BRT 2013*.
- ITDP China. (2014). Bus Rapid Transit Information. Retrieved from <http://www.chinabrt.org/>
- Jornal O GLOBO. (2011, December 17). Cariocas convivem cada vez mais com engarrafamentos. 17/12/2011. Rio de Janeiro. Retrieved from <http://oglobo.globo.com/transito/cariocas-convivem-cada-vez-mais-com-engarrafamentos-3471657>
- MMA. (2013). *Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários - v. 2013, ano-base 2012*.
- NTU. (2009). *Avaliação Comparativa das Modalidades de Transporte Público Urbanos*. Rio de Janeiro. (2011). *Plano Diretor do Município do Rio de Janeiro, Lei Complementar nº 111/2011*. Rio de Janeiro.
- SETRANS-RJ. (2013). *Plano Diretor de Transporte Urbano - RJ*. Rio de Janeiro. Retrieved from [www.rj.gov.br/web/setrans/](http://www.rj.gov.br/web/setrans/)
- SMAC-RJ, & COPPE. (2011). *Inventário e Cenário de Emissões dos Gases de Efeito Estufa da Cidade do Rio de Janeiro*.
- Turner, M., Kooshian, C., & Winkelman, S. (2012). *Case Study: Colombia's Bus Rapid Transit (BRT) Development And Expansion*.
- UNFCCC. (2014). Project Cycles in Clean Development Mechanism Website. Retrieved from <http://cdm.unfccc.int/>
- Vasconcellos, E. A. de. (2006). *Transporte e Meio Ambiente: Conceitos e Informações para Análise de Impactos* (1ª Ed.). São Paulo.
- Vincent, W., & Jerram, L. C. (2006). The Potential for Bus Rapid Transit to Reduce Transportation-Related CO2 Emissions. *Journal of Public Transportation, BRT Special*, 219–237.
- Vuchic, V. R. (2005). *Urban Transit: Operations, Planning and Economics*. John Wiley & Sons.
- Vuchic, V. R. (2007). *Urban Transit: Systems and Technology* (p. 624). John Wiley & Sons.