

Influência do congestionamento e modo de condução, nas velocidades, consumos e emissões de um ônibus urbano

S. M. A. Romero¹, R. R. Silva²

Universidade do Estado do Pará, Departamento de Engenharia Ambiental, Belém, Pará, Brasil

A. C. M. Brasil³

Universidade Federal do Pará, Departamento de Engenharia Sanitária-Ambiental, Belém, Pará, Brasil

Artigo Recebido: 13/10/2004 - Aprovado: 13/04/2005

RESUMO: Este estudo avaliou o consumo e emissões de poluentes de um ônibus percorrendo uma via da Região Metropolitana de Belém (RMB). Essa via (Av. Almirante Barroso) foi escolhida por concentrar os problemas de transporte da RMB. Um ônibus teste, representativo da frota, foi selecionado para circular na avenida, avaliando-se as velocidades, consumos e emissões nas condições de trânsito da avenida. Duas características de motoristas foram simuladas: uma ostensiva e outra defensiva. Há pouca influência das características do motorista no consumo e emissões junto à influência das condições de trânsito. As velocidades máximas sofrem mais influência das condições de trânsito que da ostensividade do motorista. O consumo de combustível aumenta em até 8 vezes quando há condições de congestionamento, em comparação às condições de trânsito livre.

ABSTRACT: This study evaluated the fuel consumption and gas emissions of an urban bus circulating along an important avenue of the City of Belem. The avenue called Almirante Barroso was chosen for being the most problematic one in the City of Belem. A test bus (representative of the Belem's fleet) was submitted to the traffic conditions of the avenue, with consumption and emission measurements done simultaneously. Two driver's characteristics were simulated: an aggressive and a defensive one. Results showed that driver's behavior does not influence the fuel consumption and gas emissions; in contrast, the traffic conditions highly influence the fuel consumption and gas emissions. During traffic jam (with stop-and-run conditions) the fuel consumption is increased by 8 times compared to free flow conditions.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Região Metropolitana de Belém

A Região Metropolitana de Belém (RMB) tem uma população de 1,8 milhões de habitantes e uma frota de 2 mil ônibus, onde são transportados diariamente 1,7 milhões de passageiros. Na RMB, 75% das viagens motorizadas são realizadas em ônibus. A Cidade de Belém cresce preferencialmente em duas direções: Norte e Nordeste. Esses dois eixos, Norte e Nordeste, alimentam a Avenida Almirante Barroso (Figura 1). As maiores linhas de desejo de deslocamento na RMB são das zonas de expansão (eixos Norte e Nordeste) para a zona central da cidade, área número 1 da Figura 2.



Figura 1. Av. Almirante Barroso, encontro dos eixos Norte e Nordeste.

Isso faz com que a avenida Almirante Barroso seja hoje a via mais problemática da RMB. O fluxo diário

nessa avenida é de 91600 veículos. No pior horário, entre 7 e 8 horas da manhã, passam acima de 4300 veículos transportando mais de 50 mil passageiros. Neste mesmo horário, os ônibus transportam cerca de 42 mil passageiros por hora, no sentido Bairro-Centro. Ainda entre 7 e 8 horas da manhã, no pior trecho da avenida, passam 562 ônibus. Das 136 linhas existentes na RMB, 72 utilizam a avenida Almirante Barroso, ou seja, 52% das linhas passam por essa avenida em pelo menos dois quarteirões da mesma.

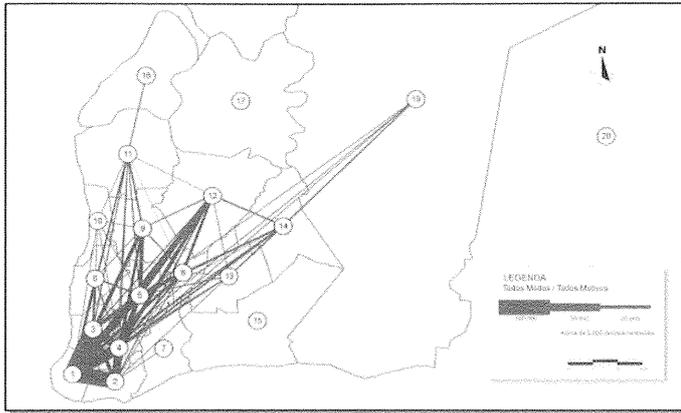


Figura 2. Linhas de desejo na RMB. Todos os modos e todos os motivos (Fonte PDTU, 2001).

1.2 Características dos Ônibus

A média das idades dos ônibus das linhas da RMB é de 5,9 anos. O histograma da Figura 3 mostra ainda que mais de 80% dos ônibus têm acima de 5 anos de idade. Essa distribuição da idade da frota é semelhante para os ônibus que circulam somente na avenida Almirante Barroso. Adicionalmente, há dois tipos de veículo mais ocorrentes na frota, especialmente aqueles que passam pela avenida Almirante Barroso. A Figura 4 mostra que um pouco mais da metade (53%) dos ônibus que circulam naquela avenida, são do fabricante Mercedes-Benz. Desses 53%, 90% são os modelos OF1620 e OF1721 (Figura 5). Portanto, 47,7% de todos os ônibus que passam na avenida Almirante Barroso, são os modelos citados acima.

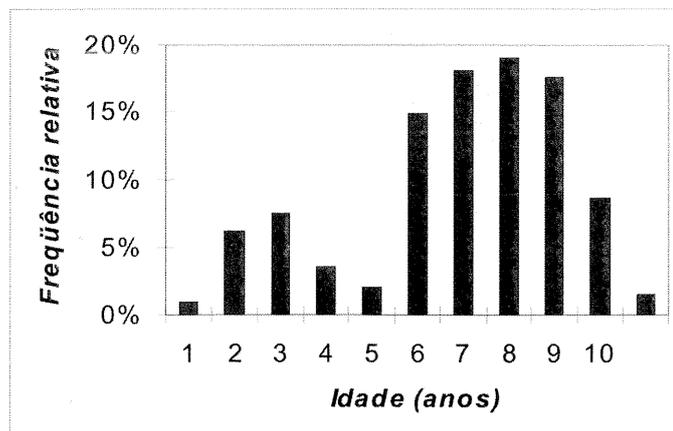


Figura 3. Histograma da idade dos ônibus na Av. Almirante Barroso.

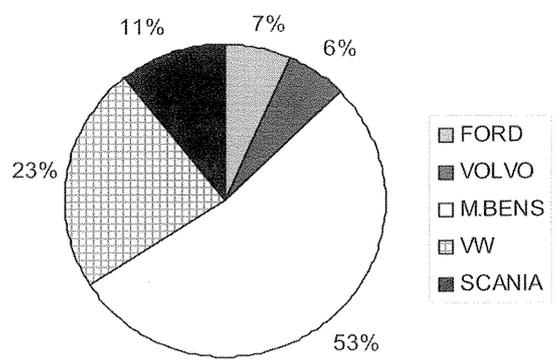


Figura 4. Distribuição dos ônibus na Av. Almirante Barroso, segundo o fabricante.

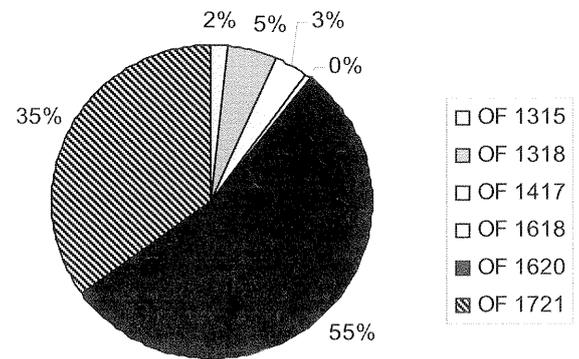


Figura 5. Distribuição dos ônibus na Av. Almirante Barroso, segundo o fabricante.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo IPEA (1998) e referências citadas naquele trabalho, o consumo de DIESEL e emissões de poluentes de ônibus urbanos podem ser estimados a partir de funções relativamente simples. As emissões dos poluentes CO, NOx, HC e Material Particulado, sugeridas naquele trabalho, são funções inversamente proporcionais à velocidade média do ônibus, enquanto que a função para o consumo de DIESEL é decrescente com o aumento da velocidade média, mas passa por um valor mínimo em 43 km/h sofrendo um leve crescimento para velocidades maiores que 43 km/h e menores de 50 km/h. Tais funções são:

$$\text{CO (g/km)} = 43,34 - 8,98 \ln V \quad (1)$$

$$\text{NOx (g/km)} = 37,21 - 6,46 \ln V \quad (2)$$

$$C = 0,44428 + 0,00008V^2 - 0,00708 V + (1,37911/V) + 0,00107 \text{ carr} \quad (3)$$

Onde:

CO = Emissão de CO (g/km)

NOx = Emissão de NOx (g/km)

C = Consumo (l/km)

V = velocidade (km/h)

carr = carregamento (sentado + em pé)

O GEIPOT (2002) estabelece um consumo ótimo de 2,56 km/l para ônibus urbanos, ou ainda,

0,39 l/km.

O PROCONVE (IBAMA, 1998) estabelece os limites de emissão para ônibus segundo o ano de fabricação. Entretanto, esses limites de emissão são para ônibus novos, não levando em conta o aumento das emissões com a deterioração. Sendo assim, estimativas de emissões de poluentes a partir dos valores estabelecidos pelo PROCONVE, podem indicar um valor mínimo, caso a frota estivesse em perfeito estado de manutenção.

Adicionalmente, os limites estabelecidos pelo PROCONVE são em g/kWh. Sendo assim, inicialmente, deve-se dividir o consumo mássico específico do motor pela massa específica do óleo DIESEL para se obter o consumo volumétrico específico (em litros de DIESEL por kWh). O consumo volumétrico específico será multiplicado pelo limite estabelecido pelo PROCONVE, obtendo-se assim um limite em gramas de poluente por litro de DIESEL consumido. Para o caso dos motores dos ônibus urbanos, o consumo volumétrico específico é 0,228 l/kWh.

Para a frota da RMB, a grande maioria dos ônibus foi fabricada até o ano 1997. O limite estabelecido pelo PROCONVE para ônibus fabricados em 1997 é de 4,9g/kWh para CO e 9,0g/kWh para NOx. Esses valores multiplicados por 0,228 l/kWh resultam em limites de emissão de 21,5g/l e 39,5g/l respectivamente. Portanto, pode-se avaliar a emissão de poluentes, multiplicando os limites (em g/l) pelo consumo de um ônibus (em l/km), resultando em valores com unidades de g/km.

Portanto, o que foi visto acima pode ser usado para estimar o consumo de combustível e as emissões de poluentes de ônibus. Contudo, as estimativas baseadas nos limites do PROCONVE não prevêm a deterioração da frota, nem a influência do comportamento do motorista e do congestionamento. Embora o estudo do IPEA (1998) forneça uma relação entre consumos, emissões e velocidades, ainda assim, há a necessidade de se conhecer a influência do comportamento do motorista. Para que essas influências fossem pesquisadas, no caso da avenida Almirante Barroso, um estudo experimental foi desenvolvido.

3 ESTUDO EXPERIMENTAL

O estudo experimental foi realizado em uma manhã de sábado, das 10:10 às 10:50 horas. Foi utilizado um ônibus Mercedes-Benz OF1620 que fez duas passagens (de ida e volta) pela avenida Almirante Barroso, sem passageiros. Para este estudo experimental, a escolha de um ônibus sem passageiros, em um dia atípico e fora do horário de pico, foi para evidenciar as diferenças das condições de fluxo livre e congestionado, bem como, permitir simulações do comportamento do motorista.

O ônibus em teste trafegou na avenida Almirante

Barroso, que tem uma extensão de cerca de 5,5 km, parando em todos os pontos de ônibus ao longo da avenida.

Um GPS 45 Garmin instalado no teto do ônibus e ligado a um notebook, foi utilizado para medir as velocidades e posição geográfica do ônibus. Um recipiente com 20 litros, graduado e calibrado, ligado às linhas de alimentação e retorno de combustível, foi utilizado para medir o consumo de combustível ao longo da avenida. As concentrações dos gases CO, CO₂ e NO_x, foram medidas por meio de um analisador de gases TESTO 300XL, cuja sonda de captação de gases foi fixada à saída do tubo de escapamento do ônibus.

4 RESULTADOS E CONCLUSÕES

4.1 Acelerações

Durante as simulações na via, o motorista do ônibus teste teve um comportamento mais defensivo na ida e mais ostensivo na volta. Entretanto, as condições de trânsito foram diferentes, com maior congestionamento na volta. Isso é claramente identificado nos gráficos de acelerações na ida e na volta (Fig. 6). As linhas são funções de ajuste e os símbolos (círculos e cruzes) representam o aumento de velocidade em função do tempo, durante todas as acelerações do ônibus teste após as paradas ao longo da avenida.

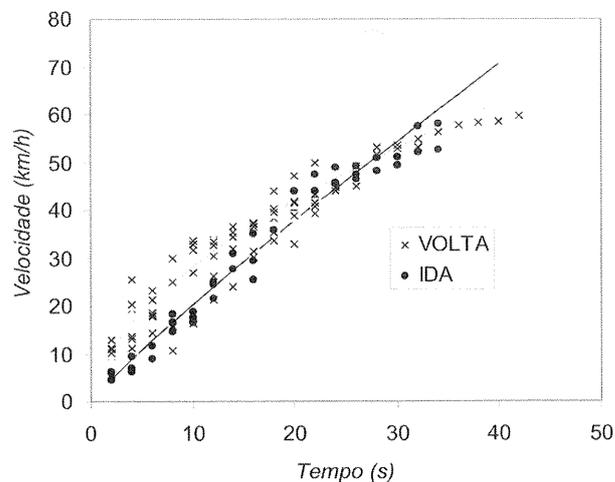


Figura 6. Acelerações do ônibus teste ao longo da Av. Almirante Barroso.

Ao comparar as duas curvas, abaixo dos 50 km/h, as velocidades na volta foram maiores que as velocidades na ida. Nota-se, portanto que, para velocidades baixas, as acelerações na volta foram maiores que na ida. Contudo, a via teve o trânsito mais tumultuado na volta, e conseqüentemente, a freqüência com que o ônibus desenvolveu velocidades máximas acima de 40 km/h, foi menor que na ida. Por esse motivo, para velocidades acima dos 50 km/h, as curvas se invertem; os valores de velocidades na ida ficaram acima da curva na volta, indicando que o motorista mesmo acelerando suavemente na ida, conseguiu desenvolver velocidades máximas acima

de 40 km/h, com maior frequência que na volta.

4.2 Velocidades e Consumo de Combustível

A Figura 7 e Figura 8 mostram as velocidades (linhas claras) e consumo (linhas escuras) em função da distância percorrida pelo ônibus no trajeto de ida e volta, respectivamente. Nos primeiros 1000 metros da ida (Fig. 7), com a avenida operando com fluxo de tráfego baixo, o ônibus desenvolveu curvas bem definidas de aceleração até uma velocidade máxima seguida de desaceleração até parar nos pontos, atingindo velocidades máximas acima de 40km/h. Já nos 1000 metros da volta (Fig. 8), a avenida tinha maior quantidade de veículos circulando, portanto, o ônibus teste não percorreu trechos longos com acelerações e desacelerações bem definidas. Nota-se que as velocidades máximas nos primeiros 1000 metros da volta, não ultrapassaram os 40km/h (com exceção de um evento). Ao final do percurso, na volta, houve um trecho de congestionamento com baixas velocidades e condições de “anda-e-pára”. Esse trecho foi determinante, evidenciando as diferenças entre as condições de trânsito livre e congestionamento. As velocidades médias, na ida e na volta, incluindo as paradas e os sinais, foram 11,2km/h e 9,2km/h, respectivamente.

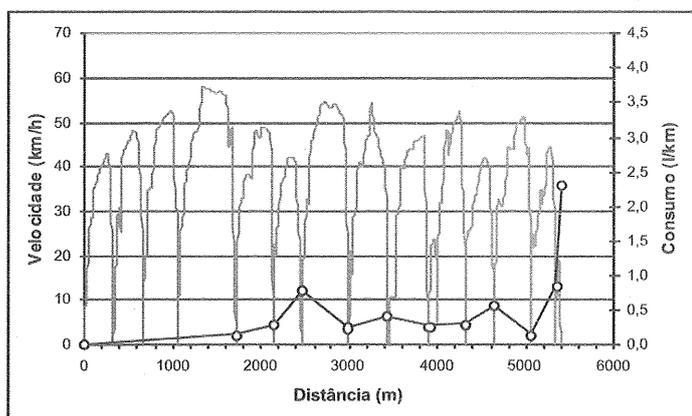


Figura 7. Consumos e Velocidades no percurso de ida na Av. Almirante Barroso.

Em relação aos consumos, na ida (Fig. 7), o ônibus percorreu 5475 metros e consumiu 1,92 litros. Mesmo com um aumento do consumo nos últimos 400 metros do trajeto, o consumo médio total foi de 3,09 km/l. Vale ressaltar que o Ministério dos Transportes (GEIPOT, 2002) estabelece um consumo ótimo de 2,56 km/l para ônibus urbanos. Esse baixo consumo do ônibus teste (3,09 km/l) se deveu principalmente às condições de trânsito livre associadas a pouca carga do ônibus (sem passageiros).

Na volta (Fig. 8), o consumo médio total foi de 2,5 km/l, confirmando o valor sugerido pelo Ministério dos Transportes. Entretanto, quando o consumo foi analisado em trechos característicos do ensaio, alguns detalhes

marcantes foram observados. O ônibus percorreu 5139 metros (quase todo percurso de volta) antes de atingir o congestionamento. Nesses 5139 metros, o consumo foi de 1,44 litros, o que resulta em 3,57 km/l (menor que o consumo total do percurso de ida). Após os 5139 metros, o ônibus percorreu apenas 324 metros em condições de congestionamento (situação de “anda-e-pára”). Com isso, nos últimos 324 metros do percurso, o consumo foi de 0,72 litros, resultando em um consumo de 0,45 km/l para esse trecho final em congestionamento.

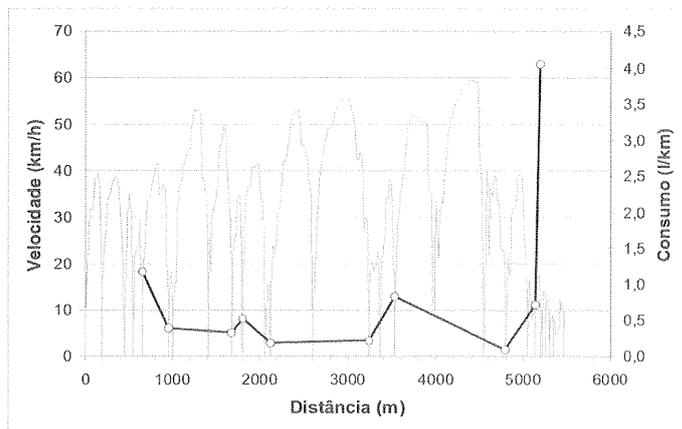


Figura 8. Consumos e Velocidades no percurso de volta na Av. Almirante Barroso.

Esses dados indicam que as condições de congestionamento e excesso de ônibus na via Almirante Barroso, podem resultar em um aumento de quase 8 vezes o consumo de combustível a cada quilômetro. Comparando um consumo de 2,5 km/l em condições normais, com 0,45 km/l em condições de congestionamento, significa que as condições de congestionamento entre 7 e 8 horas da manhã (quando passam 562 ônibus no pior trecho da Almirante Barroso), podem resultar em uma deseconomia de cerca de R\$ 2,70 para cada ônibus por quilômetro percorrido (somente devido ao aumento de consumo de combustível). Vale ressaltar que, no trecho em condições de congestionamento, o comportamento ostensivo do motorista não influenciou nos consumos, já que o andamento do trânsito se deu em velocidades muito baixas e condições de “anda-e-pára”.

4.3 Emissão de poluentes

A Figura 9 e a Figura 10 mostram, na ida e na volta, respectivamente, valores de velocidades (linhas claras) e concentrações (linhas com símbolos) de monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NOx) à saída do tubo de escapamento do ônibus, em função da distância percorrida pelo ônibus.

Nota-se que as emissões de CO tiveram menores valores na ida (Figura 9) quando comparados aos valores na volta (Fig. 10). Isso se deveu principalmente às características ostensivas, ou não, do motorista. Na volta (Fig. 10), observa-se que as emissões foram

maiores nos 2000 metros iniciais, resultado da combinação entre maiores acelerações (devido ao motorista mais ostensivo) e condições de trânsito mais tumultuado. Ainda na volta, após os 2000 metros iniciais, observa-se que as emissões reduziram quase à metade, devido a quatro trechos da avenida que o ônibus conseguiu acelerar livremente até velocidades acima dos 50 km/h, desacelerando em seguida até parar nos pontos ou sinais.

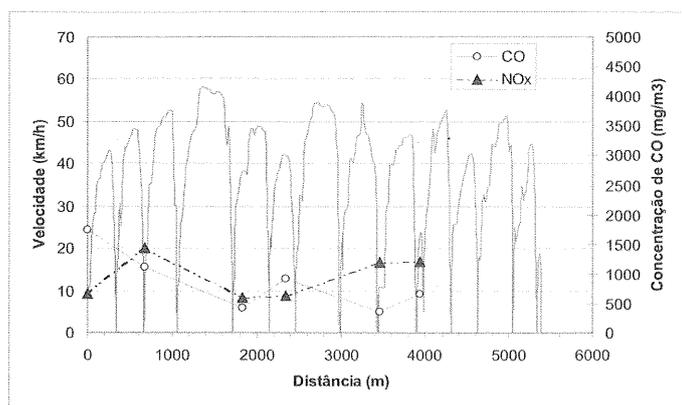


Figura 9. Emissão de poluentes e Velocidades na ida. Av. Almirante Barroso

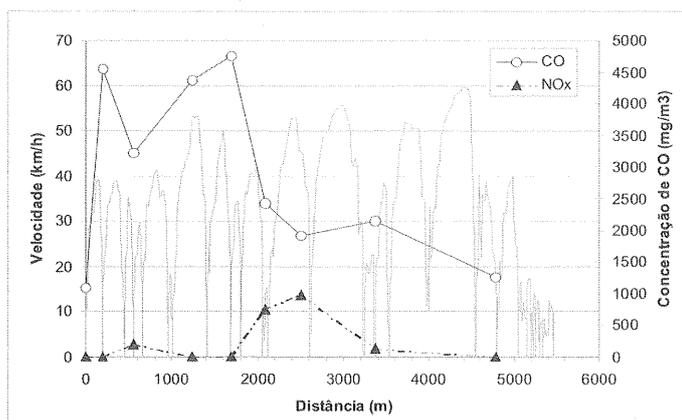


Figura 10. Emissão de poluentes e Velocidades na volta. Av. Almirante Barroso

As emissões de NOx tiveram valores ligeiramente maiores na ida (Fig. 9) quando comparados aos valores na volta (Fig. 10). Isso se deveu novamente às características, mais ou menos, ostensivas do motorista e condições de trânsito diferentes na ida e na volta. Na volta, devido à condução mais ostensiva do motorista, embora não estejam apresentado nas figuras, o motor desenvolveu maiores rotações durante todo o trajeto, quando comparado ao trajeto de ida. A maior rotação média do motor resultou em menores níveis de NOx emitidos ao

longo do percurso.

Quando os valores experimentais de concentração foram calculados em unidades de gramas de poluentes por quilômetro (Genovese e Ragona, 2003), obteve-se na ida 2,1 g/km para CO e 2,7 g/km para NOx, enquanto que na volta os valores foram 15,8 g/km para CO e 1,0 g/km para NOx.

As emissões experimentais foram comparadas com valores estimados segundo o item 2. Como visto no item 4.2, o consumo de combustível na ida foi de 0,32 l/km e 0,40 l/km na volta. Multiplicando esses consumos pelos limites estabelecidos pelo PROCONVE (IBAMA, 1998), obtiveram-se valores de emissões em g/km. Adicionalmente, conhecendo os valores de velocidade média na ida de 11,2 km/h e 9,2 km/h na volta (item 4.2), as funções sugeridas por IPEA (1998) foram utilizadas. As comparações estão apresentadas na Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1. Emissões de CO

	PROCONVE	IPEA	EXPERIMENTAL
IDA	6,88g/km	21,6g/km	2,1g/km
VOLTA	8,60 g/km	23,4g/km	15,8g/km

Tabela 2. Emissões de NOx

	PROCONVE	IPEA	EXPERIMENTAL
IDA	12,0g/km	21,6g/km	2,7g/km
VOLTA	15,8 g/km	22,9g/km	1,0g/km

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COHAB/SEDURB/JICA (2000). *Relatório Intermediário do Plano Diretor de Transporte Urbano da Região Metropolitana de Belém*. Companhia de Habitação do Pará, Belém, PA.
- GEIPOP (2002). *Anuário estatístico dos transportes – 2000*. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, Ministério dos Transportes, Brasília, DF.
- Genovese, A. and Ragona, R. (2003). *Public Transport and CO2 Emission: A comparative assessment between conventional and innovative vehicles*. Clean Air. Vol. 4, pp. 187-201.
- IBAMA (1998). Programa de Controle da poluição do ar por veículos automotores – PROCONVE. *Coleção Meio Ambiente–Série Diretrizes–Gestão Ambiental n°2*. MMA/IBAMA, Brasília, DF.
- IPEA/ANTP (1998). *Redução das Deseconomias Urbanas Com a Melhoria do Transporte Público*. Relatório Síntese, Brasília, DF.
- Ministério do Meio Ambiente e Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente/COPPE/UFRJ (1999). *Avaliação do PROCONVE – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores*.

CONTATOS

¹Nome: Sidney Máximo Arrifano Romero
E-mail: sidneyromero@superig.com.br

²Nome: Ruivaldo Rodrigues da Silva
E-mail: rrsamb@ig.com.br

³Nome: Augusto César de Mendonça Brasil
E-mail: ambrasil@ufpa.br