

## 23, Impacto Ambiental na Substituição de Combustível Automotivo Convencional por GNV – Caso de Caminhões de Coleta de Lixo, 2014/2015

Danilo Tonus Kostenko & Edmilson Moutinho dos Santos

Gás Natural Fenosa

CA&E

IEE/USP

**Resumo** – Difunde-se os conceitos de transporte sustentável para a área de concessão da “Gas Natural Fenosa” (GNF), e se demonstra como esses conceitos convergem com as estratégias de promoção de maior utilização do GNV nos sistemas de transporte urbano e rodoviário, em substituição ao óleo diesel, contribuindo para as políticas voltadas a melhorias nos setores de energia, saúde e meio ambiente. Também se desenvolve os conceitos de corredor azul (*blue corridor*) e caminhão de lixo azul (*blue garbage truck*). Através desses conceitos, apresentam-se modelos de negócio simplificados que possam embasar uma política de promoção do GNV em caminhões para coleta de lixo na área de concessão da GNF. Neste sentido, o Projeto demonstra que existem soluções tecnológicas para utilização do GNV em substituição ao óleo diesel, e que tais soluções são compatíveis ao regime operacional crítico de caminhões de lixo. Benefícios de ordem ambiental local, menores emissões de poluentes e de ruído, são as principais justificativas de tal substituição.

Palavras-chave: transporte sustentável; substituição de óleo diesel; GNV; caminhão de lixo.

### Introdução

O transporte sustentável é definido como aquele que suporta, tanto, o crescimento econômico, quanto o bem-estar social e a proteção do ambiente, em condições tecnológicas e econômicas factíveis.

As abundantes reservas de gás natural que podem suprir a região Sudeste do Brasil tornam o GNV uma solução aceitável para o transporte urbano e rodoviário, em substituição ao óleo diesel. Essa substituição pode conferir benefícios ao clima (em escala global), e ganhos importantes de qualidade de vida dentro de grandes áreas urbanas (redução de emissões de poluentes e ruídos). Além de mais limpo, o GNV também é mais barato. Contudo os veículos a GNV ainda são mais caros do que seus homônimos a diesel.

Para a promoção de uma frota piloto de caminhões de coleta de lixo a GNV na área de concessão da GNF, há de se pensar em soluções dedicadas ou adaptações dos veículos, convertidos para o uso do GNV através da “ottolização”. Em uma escala ampliada, a logística de distribuição do combustível ainda é questão importante, que requer soluções não totalmente definidas.

O Projeto discute sobre os principais parâmetros tecnológicos e econômicos

referentes à utilização do GNV, em substituição ao óleo diesel, em caminhões de lixo. Demonstra-se que neste segmento específico do transporte urbano, o uso do GNV pode contribuir para melhorias ambientais no meio urbano, além da promoção do desenvolvimento regional. Por outro lado, no médio/longo prazo, pode-se igualmente alavancar outros combustíveis alternativos, como o hidrogênio e/ou biometano, pois a infraestrutura necessária é semelhante.

O projeto desenvolveu-se através do seguinte conjunto de atividades:

- Introdução e discussão de conceitos modernos de transporte sustentável para as realidades da área de concessão da GNF;
- Análise do papel do GNV como combustível alternativo ao óleo diesel, e sua compatibilidade com os conceitos de transporte sustentável;
- Desenvolvimento dos conceitos de “*blue corridor*” e “*blue garbage truck*”, como bandeiras de promoção do GNV em veículos pesados, principalmente caminhões, dentro da área de concessão da GNF;
- Demonstração de tecnologias existentes para caminhões de coleta de lixo operando com GNV;

- Apresentação de amplo *roadmap* com experiências internacionais e nacionais, mostrando como diferentes cidades já adotaram com sucesso veículos a GNV em seus sistemas de coleta urbana de lixo (eventualmente em soluções híbridas com o biogás). Tais soluções são compatíveis com a ideia de “transporte sustentável”;
- Apresentar modelos factíveis que podem ser adotados para a promoção de uma iniciativa piloto de uso do GNV em caminhões de coleta de lixo na cidade de Sorocaba (ou outras da área de concessão da GNF);
- Discussões das vantagens econômicas e ambientais (com redução das emissões de gases e de ruídos) que podem ser associadas a um eventual projeto de “*blue garbage truck*” em Sorocaba;
- A partir dos modelos desenvolvidos, analisar possíveis estratégias de política pública que precisam ser adotadas para se promover o GNV (e, no futuro, o biogás) na substituição sustentável do óleo diesel em caminhões de coleta de lixo;
- Discussão crítica e difusão dos resultados colhidos, com perspectivas de curto, médio e longo prazo.

## Desenvolvimento

O projeto foi estruturado em 6 atividades:

Atividade 1 – Discussão sobre o papel do GNV. Nesta atividade foi verificada a função do GNV na matriz energética de transporte mundial e de sua convergência com os critérios de transporte sustentável. Revisitou-se o tema em escala mundial e, em seguida, adaptou-se o debate para as realidades da área de concessão da “GNF”.

Atividade 2 – Pesquisa dos conceitos de corredor e caminhão de lixo azul, i.e., “*blue corridor*” e “*blue garbage truck*”, como grandes bandeiras a embasar uma estratégia de promoção do GNV no transporte de veículos pesados na área de concessão da GNF. Enfatizou-se que um fator de viabilidade essencial é a existência de postos de abastecimento de GNV adequadamente situados.

Atividade 3 – Pesquisa de experiências de sucesso internacionais e nacionais de utilização do GNV em caminhões de coleta de lixo. Demonstração das melhorias de qualidade de vida, tanto em termos energéticos como ambientais (redução das emissões de poluentes e ruído), conquistadas por várias cidades.

Atividade 4 – Proposta de modelos factíveis para a promoção de caminhões de coleta de lixo a GNV em Sorocaba e outras cidades da área de concessão da GNF. Foram analisadas as dimensões econômicas, de impactos ambientais, e de consumo de combustível, contemplando ganhos associados à substituição de óleo diesel pelo GNV.

Atividade 5 – Análise crítica das alternativas de substituição propostas. Consolidação dos resultados das atividades anteriores. Sugestões de modelos de negócio que podem ser adotados e identificação de eventuais políticas públicas que precisam ser promovidas para embasar a substituição do diesel por GNV no cenário de utilização de combustíveis por caminhões de coleta de lixo urbano.

Atividade 6 – Divulgação das propostas e resultados. Durante esta etapa foi produzido o relatório final do projeto, além de se realizar um workshop para apresentação dos resultados e conclusões às partes interessadas. O evento ocorreu na cidade de Sorocaba, no dia 24 de novembro de 2016.

## Resultados

### A. CASOS INTERNACIONAIS/NACIONAIS

O uso de gás natural no setor de transporte, em especial no modal de veículos pesados (urbanos e rodoviários), tem apresentado crescimento. As tecnologias a GNV encontram-se disponíveis e consolidadas para uso do GNV em caminhões de coleta de lixo. Destacam-se iniciativas em diversas cidades dos EUA, Portugal, Espanha, Canadá e Suécia. E diversas iniciativas pilotos já foram testadas no Brasil, com diferentes graus de sucesso.

### B. CORREDOR AZUL

O conceito de “corredores azuis” (ou “Blue Corridors”) pode ser adaptado e aplicado a caminhões de coleta de lixo, chegando-se na bandeira promocional de “*blue garbage truck*”. Um corredor azul é uma rota sustentável para veículos pesados (de carga ou passageiros) a GNV, que permite a conexão entre centros urbanos. Visa romper o ‘Dilema do Ovo e da Galinha’ no que se refere à limitação de infraestrutura de abastecimento necessária à inserção e florescimento de frotas de veículos pesados a GNV.

### C. CAMINHÕES DE COLETA DE LIXO

Com relação aos caminhões de coleta de lixo, o uso de GNV atende a vários requisitos associados ao transporte sustentável, como:

- Eficiência na utilização de recursos naturais, ao reduzir o consumo de petróleo que impacta a balança comercial;
- Redução das emissões de poluentes e de GEE, diminuindo a poluição do ar;
- Redução da poluição sonora local;
- Adoção de tecnologias consolidadas e competitivas no mercado global;
- Retornos econômicos positivos a todas as partes interessadas, pois cenários apontam uma tendência de longo prazo de combustível mais barato;
- Contribuição para o desenvolvimento regional, pois o GNV pode ser uma âncora de ampliação do alcance da GNF além da região de Sorocaba e outras cidades já atendidas na área de concessão.

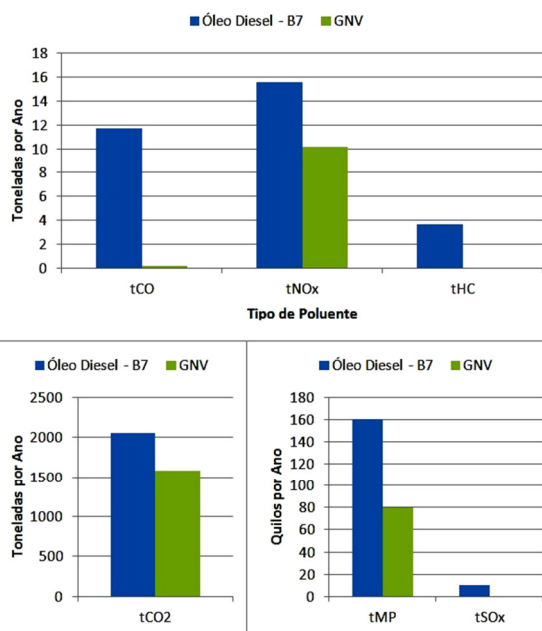
### D. EMISSÕES E POLUIÇÃO SONORA

Este estudo desenvolveu uma simulação para a substituição de uma frota piloto de 30 de caminhões de coleta de lixo na cidade de Sorocaba. Os resultados em termos de redução de emissões de CO<sub>2</sub> e gases poluentes locais são apresentados na *Figura 1*. A qualidade do ar na cidade pode ser melhorada. Outra vantagem ambiental da tecnologia de GNV em caminhões de coleta de lixo é a mitigação de poluição sonora. Os caminhões de coleta de lixo a GNV são mais silenciosos.

### E. SOLUÇÕES DISPONÍVEIS NO BRASIL

Montadoras internacionais com atuação no Brasil, destacando-se a IVECO, MERCEDES, MAN e SCANIA, já possuem soluções de veículos pesados a GNV, que podem sustentar plataformas de negócios. Para essas empresas, a pré-existência de uma frota ampla de veículos a gás natural, é essencial para se viabilizar o uso do GNV como alternativa financeiramente competitiva no setor de transporte.

Também estão disponíveis no Brasil soluções tecnológicas de conversão de motores ciclo Diesel para ciclo Otto. Esses processos podem ser realizados por empresas convertedoras especializadas, com destaque para a Freeland e a Convergás.



**Figura 1** – Estimativa das emissões da frota de caminhões de lixo de Sorocaba atual (B7) e caso seja substituída por GNV

Um sistema de conversão menos convencional é a tecnologia flexfuel desenvolvida pela Freeland, que permite a utilização flex ao longo de uma ampla gama, de 100% GNV a 100% etanol ou mistura/injeção simultânea de ambos os combustíveis. Há, ainda, tecnologias Dual Fuel GN/óleo Diesel, contudo, essas tecnologias não permitem o uso de 100% de GNV, limitando os benefícios econômicos e ambientais do uso do gás natural.

Um ponto negativo dos veículos otolizados é, frequentemente, a sua menor eficiência e autonomia, cerca de 40% menor. Assim, é necessário saber que tipo de operação o veículo realizará após a conversão. No caso do caminhão de coleta de lixo, a autonomia que os cilindros de GNV apresentam é suficiente para que ele faça seu ciclo de trabalho sem necessidade de abastecimento. Em geral estes veículos realizam dois turnos por dia de trabalho, onde eles já são reabastecidos.

### Conclusões e Contribuições

É importante frisar que a mera substituição de combustíveis veiculares não é condição suficiente para uma efetiva e abrangente promoção do Transporte Sustentável. Este também requer mudanças em diversos outros elementos não energéticos inerentes à atividade do transporte. A utilização de

combustíveis mais limpos é, no entanto, um importante ponto de partida.

Sorocaba encontra-se em posição privilegiada para implantação de projetos pioneiros para o uso de GNV em frotas cativas, particularmente em caminhões de coleta de lixo e ônibus urbanos.

Este estudo apresentou uma ampla discussão sobre essas oportunidades e dos desafios que ainda precisam ser superados para um efetivo e disseminado uso do gás natural no setor veicular municipal, particularmente em caminhões de lixo. Esse uso veicular urbano, aliás, revela-se um dos mais desafiadores e de maior dificuldade para o gás natural, principalmente devido ao regime de operação de caminhões de lixo.

Contudo, a proposta de expansão do uso do GNV nesse segmento está alinhada com metas de uso racional dos recursos e de maior sustentabilidade ambiental previstas nos planejamentos nacional e estadual e municipal. Trata-se, na verdade, de um nicho no setor de transporte onde os ganhos sociais, ambientais e energéticos esperados do GNV são máximos (principalmente devido à redução de emissões de poluentes e de ruído em escala local).

Este projeto evidencia as diversas ações que precisam ser estabelecidas, estimuladas e promovidas para que os benefícios e resultados apresentados no estudo possam ser concretizados. Entre as diversas sugestões apresentadas no documento final, destacam-se as seguintes:

- Disponibilidade de tecnologias adequadas para uso do GNV em caminhões de lixo;
- Operadores das coletas de lixo nas cidades necessitam ser envolvidos em experiências pilotos para verificarem os benefícios prometidos e também desmistificarem os vários tabus que ainda cercam o tema do GN no setor de transporte pesado;
- Fomento da solução GNV requer o envolvimento de um fabricante de motor ou um conversor que possa manter o máximo das garantias e serviços pós-venda aos operadores;
- A temática da revenda dos veículos ainda é uma dificuldade a ser pensada e encarada, porém não é um obstáculo definitivo. Aliás, o tema tende a reduzir em importância na medida que motores a gás tiverem uma maior escala de uso;
- As vantagens de emissões reduzidas de poluentes locais devem ser privilegiadas, mesmo em detrimento de eventual aumento das emissões de CO<sub>2</sub>. No entanto, algumas

soluções tecnológicas podem ser aprimoradas e levar a uma redução das emissões de CO<sub>2</sub> igualmente;

- No caso de caminhões de lixo, mais importante do que o tema das emissões, é a melhor adequação desses motores e produção de muito menos ruído;
- Cenários de preços relativos do GNV e óleo diesel devem ser monitorados, pois são essenciais ao equacionamento econômico da solução gás.

## Referências

ALTER-MOTIVES. Documentation and Evaluation of International Case Studies: Deriving effective least-cost policy strategies for alternative automotive concepts and alternative fuels. 2010. Disponível em CD-ROM.

ANDRADE, S.M.M. Poluição Sonora e Direito Ambiental. Caderno de Estudos e Pesquisas-Universidade Salgado de Oliveira, Goiânia, v. 3, n. 4, Abril 1999.

ARAÚJO, L. F. A. O Biogás de Aterro e seu Aproveitamento Energético nos Caminhões de Coleta e Resíduos Sólidos Urbanos Tese de Mestrado. Rio de Janeiro: PUC, Engenharia Urbana e Ambiental, 2014.

ASLAM, M. U., MASJUKI, H. H., KALAM, M. A., ABDESSELAM, H., MAHLIA, T. M. I., AMALINA, M. A. Na experimental investigation of CNG as an alternative fuel for a retrofitted gasoline vehicle. Fuel, N° 85, pp. 717-724, 2005.

BAKER, C., BEER, T. Comments on 'Emissions from a vehicle fitted to operate on either petrol and compressed natural gas' by Ristovski et al. (2004). Science of the Total Environment, N° 366, pp. 392-394, 2006.

BALDASSARRI, L. T., BATTISTELLI, C. L., CONTI, L. Evaluation of emission toxic of urban bus engines: Compressed natural gas and comparison with liquid fuels. Science of the Total Environment, N° 355, pp. 64-77, 2005.

BELIZARIO, Adenilson Cristiano. Avaliação da confiabilidade do motor Diesel com a adição de sistemas de injeção de gás na câmara de combustão. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica. Faculdade de Engenharia Mecânica, USP. São Paulo, SP, 2012.

BRITO, Thiago Luis Felipe. Modelagem ambiental e Análise Qualitativa Comparativa de políticas de implantação de Gás Natural Veicular em ônibus. 2015. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Energia, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2015.

BRITO, Thiago Luis Felipe. GALBIERI, Rodrigo. MOUTINHO DOS SANTOS, Edmilson. COSTA, Hirda Katarina de Medeiros. MOUETTE, Dominique. Simulação de um Corredor Azul entre as Cidades de Campinas e São Paulo: Estimativas de emissões veiculares. IN: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte. 29<sup>o</sup>, 2015, Ouro Preto. Anais...

CANNON, J. S. Greening Garbage Trucks: Trends in Alternative Fuel Use, 2002 – 2005, 2006. INFORM, Inc. New York, NY.

CHENG, E. et al. Compressed Natural Gas Vehicles for the City of Milwaukee's Department of Public Works: A Cost-Benefit Analysis by. La Follett ed. Milwaukee: [s.n.].

CONCEIÇÃO, G.W. de. A Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental da Inserção do Gás Natural Veicular em Frotas do Transporte Coletivo Urbano de Passageiros. Tese de Mestrado. Rio de Janeiro: COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ, 2006.

COPPE. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia. Alternativas tecnológicas para ônibus no Rio de Janeiro, 2012.

DALKMANN, Holger. HUIZENGA, Cornie. Advancing Sustainable Low-Carbon Transport Through the GEF. A STAP advisory document Global Environmental Facility. Washington, D.C. 2010.

DENATRAN – Departamento Nacional de ECE – Economic Commission for Europe. Blue Corridor Project: on the use of natural gas as a motor fuel in international freight and passenger traffic. United Nations. New York and Geneva. 2003.

EFDB – Emission Factor Database, IPCC. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php>> Acesso em 12 de junho de 2015.

EKMAN, M. BiMe Trucks and LNG Blue Corridors Nordic Biogas Conference. Anais...Reykjavik: 2014

ENCANA. Fueling Change. Encana Corporation, s.n.t.

ENGERER, H., HORN, M. Natural gas vehicles: An Option for Europe, 2010. Energy Policy, Vol. 38, pag.1017–1029.

EUROPE NGVA. MADRID'S FLEET OPERATORS HEAVILY RELY ON HEAVY-DUTY NGVS. Disponível em: <<http://www.ngvaeurope.eu/madrids-fleet-operators-heavily-rely-on-heavy-duty-ngvs>>. Acesso em: 5 dez. 2015.

FERRAZ, Fagner Barbosa. Análise de desempenho de um motor Diesel

turboalimentado otimizado para gás natural, 2014. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica da UFPB, João Pessoa, Paraíba.

FONTARAS, G. et al. Assessment of on-road emissions of four Euro V diesel and CNG waste collection trucks for supporting air-quality improvement initiatives in the city of Milan. Science of the Total Environment, v. 426, p. 65–72, 2012.

GALBIERI, R. O transporte rodoviário de passageiros no Brasil: Estratégias de mitigação do consumo energético e da emissão de CO<sub>2</sub>. Tese de doutorado. Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP. Planejamento de Sistemas Energéticos, Campinas, SP, 2013.

IGU&ECE – International Gas Union & Economic Commission for Europe. Natural Gas Vehicles (NGV). 2012.

INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR NATURAL GAS VEHICLES, I. Vehicle Types. Disponível em: <<http://www.iangv.org/natural-gas-vehicles/vehicle-types/>>. Acesso em: 4 dez. 2015.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Chapter 3: Mobile Combustion. In: IPCC Guidelines for Natural Greenhouse Gas Inventories. Vol. 2: Energy. IGES. Hayama. 2006.

ISS - INSTITUTO SAÚDE E SUSTENTABILIDADE. Avaliação do impacto da poluição atmosférica no Estado de São Paulo sob a visão da saúde. São Paulo. 2013. Disponível em: [www.saudeesustentabilidade.org.br](http://www.saudeesustentabilidade.org.br)

LÓPEZ, J. M. et al. Comparison of GHG emissions from diesel, biodiesel and natural gas refuse trucks of the City of Madrid. Applied Energy, v. 86, n. 5, p. 610–615, 2009.

LUTSEY, N. SPERLING, D. Greenhouse Gas Mitigation Supply Curve for the United States for Transport Versus Other Sectors, 2008. Journal: Elsevier, Transportation Research Part D 14 (2009) p. 222-229.

MAKARTCHOUK, A. Diesel Engine Engineering: Thermodynamics, Dynamics, Design, and Control. New York: Marcel Dekker Inc. 2002.).

MATTOS, LAURA BEDESCHI REGO. A Importância do Setor de Transportes na Emissão de Gases do Efeito Estufa – O Caso do Município do Rio de Janeiro, 2001. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Tese (Mestrado).

MORAES, NATÁLIA GONÇALVES. Avaliação das Tendências da Demanda de Energia no Setor de Transportes no Brasil,

2005. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Tese (Mestrado).

MOUTINHO DOS SANTOS, Edmilson; FAGA, Murilo; GALBIERI, Rodrigo; BRITO, Thiago Luis Felipe; SIMOES, André. Felipe. Revisão do Conceito de Transporte Sustentável & Promoção do GNV na Estratégia de Substituição do Óleo Diesel no Transporte Urbano. COMGÁS. São Paulo. 2013.

MOUTINHO DOS SANTOS, Edmilson; FAGA, Murilo; GALBIERI, Rodrigo; BRITO, Thiago Luis Felipe; SIMOES, André. Felipe. Revisão do Conceito de Transporte Sustentável & Promoção do GNV na Estratégia de Substituição do Óleo Diesel no Transporte Urbano. COMGÁS. São Paulo. 2013

NASO, V. ORECCHINI, F. ARTUSO, P. FARIOLI, F. BRUHOVA-FOLTYNOVA, H. MACA, V. CONTESTABILE, M. MOREIRA, A. MOBIDAYS – Sustainable Mobility Days – Publishable Report. 2010.

PASTORELLO, C.; DILARA, P.; MARTINI, G. Effect of a change towards compressed natural gas vehicles on the emissions of the Milan waste collection fleet. Transportation Research Part D: Transport and Environment, v. 16, n. 2, p. 121–128, 2011.

PERSSON, T.; SVENSSON, M. Non-Grid Biomethane Transportation in Sweden and the Development of the Liquefied Biogas Market. Malmö: [s.n.].

ROSE, L. et al. A comparative life cycle assessment of diesel and compressed natural gas powered refuse collection vehicles in a Canadian city. Energy Policy, v. 52, p. 453–461, 2013.

SALA, J. F., Valorização dos Custos Ambientais Relacionados à Saúde – Estudo de Caso: Setor de transportes da Cidade de São Paulo, Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.

SALDIVA, P. H., OLIVEIRA, C. R., POZO, R. M. K., LOBO, D. J. A., et al. Diesel emissions

significantly influence composition and mutagenicity of ambient particles: a case study in São Paulo. Brazil, Environmental Research, Nº 98, pp. 1-7, 2005

SALDIVA, P.; VORMITTAG E. A saúde precária de uma velha senhora. Scientific American Brasil, abril 2010, p. 28.

SALDIVA, Paulo Hilário Nascimento; MARTINS, Lourdes Conceição; LATORRE, Maria do Rosário Dias de Oliveira; CARDOSO, Maria Regina Alves; GONÇALVES, Fábio Luiz Teixeira; BRAGA, Alfésio Luís Ferreira. Poluição atmosférica e atendimentos por pneumonia e gripe em São Paulo, Brasil. IN: Revista de Saúde Pública 36(1). São Paulo. 2002. P. 88-94

SALDIVA, P. H.; ROMÃO, R.; PEREIRA, L. A. A.; PINHEIRO, P. M.; BRAGA, A. L. F.; MATINS, L. C. The relationship between low birth weight and exposure to inhalable particulate matter. IN: Caderno de Saúde Pública, nº29. Rio de Janeiro. pp. 1101-1108. Jun/2013.

UNECE. The United Nations Economic Commission for Europe. Diesel Engines Exhausts: myths and realities, 2013.

WBCSD. World Business Council for Sustainable Development. Mobility 2030: Meeting the Challenges to Sustainability, 2004. The Sustainable Mobility Project. Full Report.

WITTNEBEN, B., BONGARDT, D., DALKMANN, B., STERK, W., BAATZ, C. Integrating Sustainable Transport Measures into the Clean Development Mechanism, 2009. Transport Reviews, Vol. 29, No. 1, 91–113, January 2009.

ZANETTE, A. Z. Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil Tese de Mestrado. Rio de Janeiro: COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ, 2009.

ZHOU, Z., JIANG, H., QIN, L. Life cycle sustainability assessment of fuels, Fuel, 2006.