

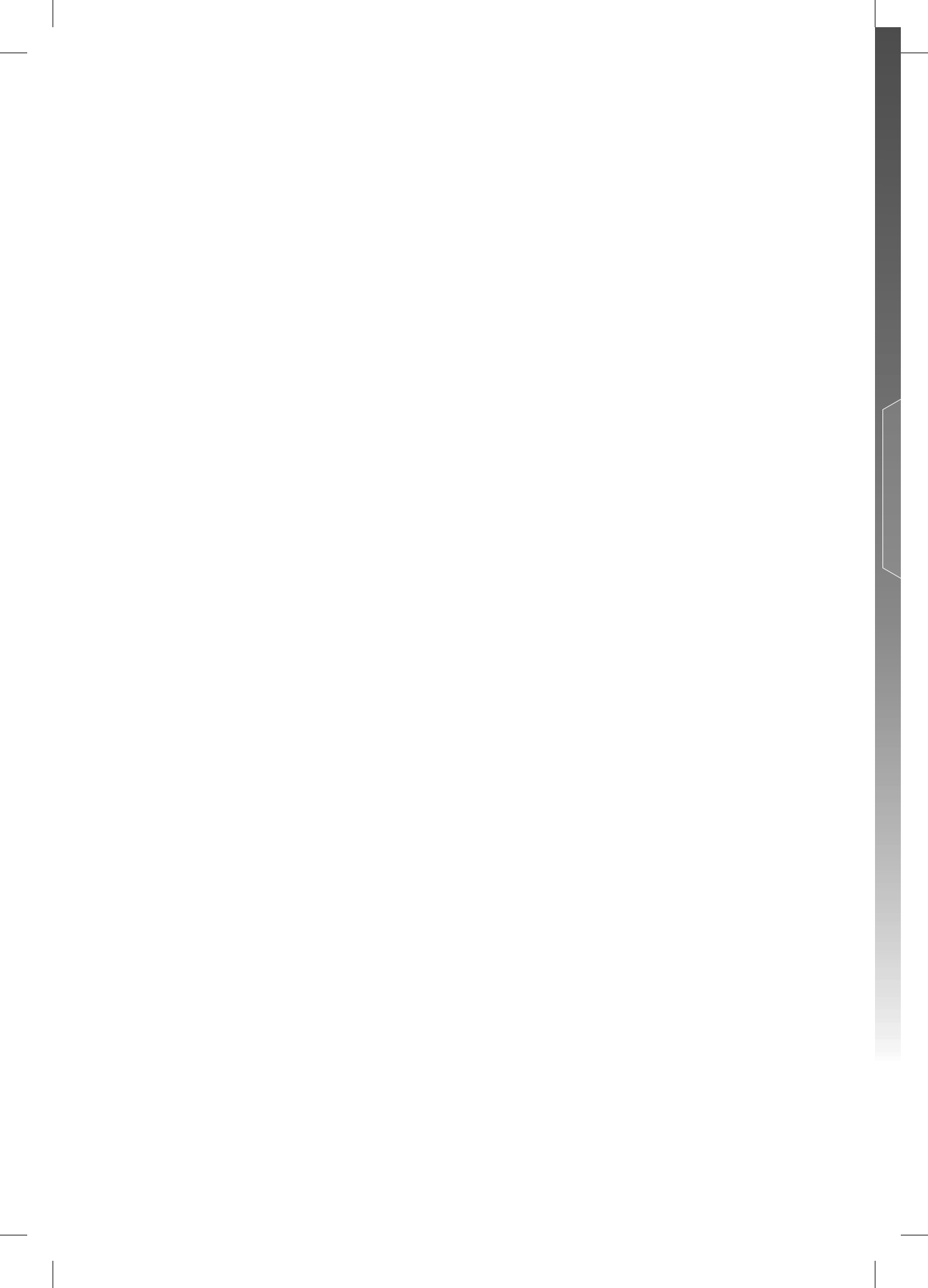
Série RCGI/USP/SYNERGIA – Gases Combustíveis e Sustentabilidade

Impacto Ambiental na Substituição de Combustível Automotivo Convencional por

GNV | Caso de Caminhões de Coleta de Lixo



Edmilson Moutinho dos Santos • Rodrigo Galbieri
Thiago Luis Felipe Brito • Paul Poulallion • Dominique Mouette



Série RCGI/USP/SYNERGIA – Gases Combustíveis e Sustentabilidade

Impacto Ambiental na Substituição de Combustível Automotivo Convencional por

GNV | Caso de Caminhões de Coleta de Lixo



Edmilson Moutinho dos Santos • Rodrigo Galbieri
Thiago Luis Felipe Brito • Paul Poulallion • Dominique Mouette



INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



Research Centre
for Gas Innovation



SYNERGIA
EDITORA

Copyright © 2018 Edmilson Moutinho dos Santos

Todos os direitos desta edição reservados à Synergia Editora

A edição deste livro contou com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (processos 2017/14681-0 e 2014/50279-4).

Editor Jorge Gama

Editora assistente Isabelle Assumpção

Capa Equipe Synergia

Diagramação Flávio Meneghesso

Revisão Natália Mendonça

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Elaborado por Vagner Rodolfo da Silva - CRB-8/9410

134 Impacto ambiental na substituição de combustível automotivo por gnv: caso de caminhões de coleta de lixo / Edmilson Moutinho dos Santos ... [et al.]. – Rio de Janeiro : Synergia, 2018.

228 p. ; 16cm x 23cm.

ISBN: 978-85-68483-68-8

1. Economia. 2. Combustível automotivo. 3. Caminhões.
4. Coleta de lixo. 5. Impacto ambiental. I. Moutinho dos Santos, Edmilson. II. Galbieri, Rodrigo. III. Brito, Thiago Luis Felipe. IV. Poulallion, Paul Louis. V. Mouette, Dominique. VI. Título.

2018-257

CDD 330.0981

CDU 33(81)

Índice para catálogo sistemático

1. Economia : Brasil 330.0981

2. Economia : Brasil 33(81)



Livros técnicos, científicos e profissionais

Tel.: (21) 3259-9374

www.synergiaeditora.com.br – comercial@synergiaeditora.com.br



AGRADECIMENTOS¹

O desenvolvimento deste livro contou com recursos e apoio do Centro de Pesquisa para Inovação do Gás (Research Centre for Gas Innovation – RCGI), uma parceria entre a Shell, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e a Universidade de São Paulo (USP) (Proc. FAPESP 2014/50279-4 e Proc. FAPESP 2017/14681-0). O RCGI tem como objetivo propor soluções inovadoras para os problemas tecnológicos relacionados ao gás natural, bem como fornecer suporte para a melhoria das políticas de energia no estado de São Paulo, no Brasil e no mundo. A elaboração da pesquisa que conduziu a este livro contou com apoio institucional da Gás Natural São Paulo Sul S/A - GNSPS, através de seu Programa de P&D, regulamentado pela Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo (ARSESP), que é uma autarquia de regime especial, vinculada à Secretaria de Governo do Estado de São Paulo, criada pela Lei Complementar nº 1.025, de 07 de dezembro de 2007, e regulamentada pelo Decreto nº 52.455, de 07 de dezembro de 2007.

¹ As opiniões, hipóteses e conclusões, ou recomendações, expressas neste material são de inteira responsabilidade dos autores e não necessariamente refletem a visão da FAPESP, do RCGI/USP, da GNSPS e da ARSESP.



PREFÁCIO

O avanço das discussões sobre mudanças do clima e medidas típicas de redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE) no setor dos transportes vêm trazendo um foco excessivamente intenso – e um certo grau de ansiedade – sobre a alternativa da tração elétrica pura, em substituição ao diesel, especialmente no que concerne aos ônibus e veículos de carga de operação essencialmente urbana.

A premência da adoção de soluções tecnológicas, especialmente as mais drásticas e eficazes na redução das emissões, bem como a materialidade incontestável das emissões nulas de dióxido de carbono (CO₂) e outros poluentes tóxicos, geram um natural sentido de urgência, especialmente entre a militância ambientalista, políticos e tomadores de decisão. Lembre-se, porém, que essas emissões somente são nulas no uso final da eletricidade na operação dos veículos, uma vez que, no Brasil, há grande participação de usinas térmicas a gás natural fóssil na fase da geração.

Por outro lado, também é fato que recentes artigos e estudos sobre diversificação tecnológica e energética no setor do transporte coletivo urbano de passageiros vêm indicando consistentemente que, nos países desenvolvidos, muito provavelmente, somente num prazo de dez a quinze anos (em 2028-2033), os ônibus elétricos a bateria serão a opção natural dos operadores de transporte.

Embora os custos continuamente decrescentes das baterias e a simplicidade de manutenção dos veículos elétricos já produzam simulações econômicas que indicam níveis economicamente

competitivos em relação aos ônibus convencionais a diesel (considerando todo ciclo de vida operacional), algumas questões de fundo relevantes ainda não resolvidas subsistem no mundo real das garagens: o conforto e o apego à cultura quase secular do confiável motor a diesel; o alto custo de aquisição e a baixa autonomia dos ônibus elétricos; o processo, ainda em desenvolvimento, de consolidação dos mecanismos financeiros e regulatórios específicos dos veículos elétricos; e o conhecimento tecnológico e implementação da infraestrutura de abastecimento de energia elétrica.

Esse prazo de dez a quinze anos pode eventualmente estender-se no Brasil, dada a defasagem local em relação ao fenômeno de transição para alternativas tecnológicas sustentáveis diversificadas de motorização, que já ocorre há vários anos em diversas cidades de países desenvolvidos: são geralmente pequenas ou até relativamente grandes frotas-piloto diversificadas de veículos híbridos (diesel-elétricos), veículos adaptados com filtros de material particulado (*retrofit*), ônibus movidos a células de combustível (hidrogênio), utilização de biodiesel, etanol, gás natural e biometano, entre outros biocombustíveis, e veículos elétricos a bateria – todos vêm apresentando excelentes resultados ambientais, operacionais e econômicos.

Enquanto a nova e promissora tecnologia dos veículos elétricos a bateria ainda não se firma como preferência nacional dos operadores de transportes urbanos por aqui, confirmando as profecias dos gurus da energia veicular (*se é que isso de fato ocorrerá nas próximas décadas, em meio a outras alternativas concorrentes em franco desenvolvimento que “correm por fora” no campo dos biocombustíveis renováveis líquidos e gasosos*), abre-se uma grande janela de oportunidade para o avanço de diversas alternativas operacionais e economicamente consolidadas, para composição de um sistema de transporte sustentável. Entre elas, destaca-se o largamente utilizado gás natural veicular (GNV); ele será utilizado como ponte, ou transição, rumo a um cenário futuro de energia 100% renovável em transportes, onde o biogás e o biometano terão papel essencial.

Há mais de duas décadas, o GNV é considerado em todo planeta a melhor alternativa aos ônibus e caminhões urbanos movidos a

diesel. Ele preenche todos os requisitos para ser credenciado como combustível veicular sustentável, sob a óptica do meio ambiente local e global, com emissões de gases, partículas cancerígenas e ruído muito reduzidas e emissões de GEE no ciclo de vida mais baixas que seu concorrente diesel; do aspecto econômico, com custo no ciclo de vida operacional mais baixo que o diesel; e do desenvolvimento e bem-estar social.

Os protocolos internacionais oriundos das negociações para o controle do aquecimento global; as NDCs (*Nationally Determined Contributions*) recentemente assinadas pelo Brasil; as leis nacionais, estaduais e municipais de políticas de mudanças climáticas, que impõem metas e medidas de mitigação de emissões GEE; e os programas globais e locais de energia limpa em transportes que ganham rapidamente popularidade e adesões de dezenas de grandes cidades, como o *Clean Bus Declaration* ou o *Soot-free Bus*, abriram um caminho sem volta.

É chegado o momento das decisões políticas e administrativas no Brasil que remetem concretamente à substituição de combustíveis fósseis no transporte público, na coleta do lixo e em outras diferentes operações urbanas de transportes motorizados. Assim, é com satisfação, e grande honra pelo convite para escrever este prefácio, que cumprimento os professores, autores desta obra. Além de ilustrarem de forma detalhada e abrangente quase todos os aspectos do universo do gás natural veicular – “Alternativa Número 1 ao Diesel” – estão oferecendo aos acadêmicos, estudiosos, técnicos, especialistas em transporte e meio ambiente e tomadores de decisão, um manancial de conhecimento e informação de alto valor e utilidade, especialmente neste momento do início da transição brasileira para o transporte sustentável e limpo.

Olimpio Alvares

*é engenheiro mecânico pela Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo,
consultor especializado em emissões e transporte sustentável e
foi gerente na área de controle de emissões veiculares da
Cetesb, onde atuou por 26 anos.*



SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	1
1 – REVISAR, ADAPTAR E DIFUNDIR OS CONCEITOS DE TRANSPORTE SUSTENTÁVEL E DO PAPEL DO GNV	9
1.1 Introdução.....	9
1.2 Setor de Transportes e Energia	10
1.3 Transporte Sustentável	13
1.3.1 A importância do planejamento urbano e dos mecanismos de comando e controle na promoção do transporte sustentável	18
1.4 Impactos da Poluição na Saúde	21
1.5 O GNV e a Qualidade do Ar.....	28
1.6 Poluição Sonora	32
1.6.1 Principais fontes de ruído do caminhão de coleta de lixo com compactador	34
2 – COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS E TECNOLOGIAS PARA VEÍCULOS PESADOS	39
2.1 Histórico do GNV no Brasil	39
2.2 Situação atual do GN no Brasil.....	41
2.3 O GN e os veículos a GNV	43
2.4 Potencial do gás natural como combustível de transição para um transporte sustentável.....	51
2.5 Projeto Ecofrota.....	53
2.6 Biogás	56
2.7 Tratamento do biogás para uso como combustível veicular	58

2.8	Tecnologias de veículos a gás natural	61
2.8.1	Funcionamento dos motores de combustão interna.....	65
2.8.2	A cadeia da conversão dos motores ao metano	73
2.8.3	Conversão de motores para uso de gás	76
2.8.4	Justificativa das conversões.....	79
2.8.5	Purificação do Gás	80
2.8.6	Armazenamento do gás	85
2.8.7	Sistemas de injeção.....	88
2.8.8	Conjunto de equipamentos de conversão – Kits.....	89
2.8.9	Motores	90
2.8.10	Ottolização	94
2.9	Tipos de Veículos Coletores	98
2.9.1	Experiências de utilização de GNV em veículos pesados no Brasil	101
2.10	Conclusões	110
3	CORREDOR AZUL E CAMINHÃO DE LIXO	115
3.1	Introdução.....	115
3.2	Simulação de um Corredor Azul para o Estado de São Paulo.....	117
3.3	Conclusões	124
4	EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS DE USO DO GÁS NATURAL EM TRANSPORTE RODOVIÁRIO.....	125
4.1	GNV para Caminhões no Mundo	126
4.2	Casos Estudados	130
4.2.1	Berlim – Alemanha.....	130
4.2.2	Kungsbacka – Suécia	131
4.2.3	Groot Industries, Inc. – Estados Unidos.....	132
4.2.4	Lisboa – Portugal.....	133
4.2.5	Madri – Espanha	134
4.2.6	Milwaukee – Estados Unidos	136
4.2.7	Republic Services – Estados Unidos.....	137
4.2.8	Sundsvall – Suécia.....	139
4.2.9	Surrey – Canadá.....	140
4.3	Conclusões	144

5 – MODELOS DE SIMULAÇÃO SIMPLIFICADOS PARA A ANÁLISE DE IMPACTOS AMBIENTAIS NO CASO DE CAMINHÕES DE COLETA DE LIXO	147
5.1 Inventário de Fontes Móveis.....	147
5.2 Modelo	148
5.2.1 Modelo adotado no presente estudo	148
5.2.2 Resultados	151
5.3 Conclusões	152
6 – ANÁLISE CRÍTICA E PROPOSIÇÃO DE ALTERNATIVAS DE SUBSTITUIÇÃO DO CAMINHÃO CONVENCIONAL (ÓLEO DIESEL) POR UM CAMINHÃO A GNV	155
6.1 Questionário	159
6.1.1 Conclusões dos questionários.....	166
7 – ANÁLISE ECONÔMICA DA ADOÇÃO DO GNV NA FROTA DE CAMINHÕES DE LIXO	169
7.1 Operação em Sorocaba	171
7.2 Análise Técnica dos Sistemas Ofertados	175
7.2.1 <i>Retrofit</i>	179
7.2.2 Emissões	180
7.3 Especificidades das Tecnologias para <i>diesel</i> e para GNV	181
7.3.1 Abastecimento dos combustíveis.....	181
7.3.2 Especificação dos cilindros de gás	185
7.3.3 Compressão e custos envolvidos.....	186
7.4 Análise Comparativa dos Custos.....	187
7.4.1 Consumo e custo do combustível <i>diesel</i>	187
7.4.2 Consumo e Custo do Combustível GNT	189
7.4.3 Outros dados	191
7.5 Resultados	192
7.6 Conclusões e Recomendações	197
8 – CONCLUSÕES GERAIS.....	203
REFERÊNCIAS.....	207
APÊNDICE – QUESTIONÁRIO.....	215