



ECO-DRIVING: UMA FERRAMENTA PARA APRIMORAR A
SUSTENTABILIDADE DO TRANSPORTE DE CARGA – ESTUDO DE CASO
APLICADO A VEÍCULOS DE COLETA DE RESÍDUOS EM ÁREAS URBANAS

Vicente Aprigliano Fernandes

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes.

Orientador: Márcio de Almeida D’Agosto

Rio de Janeiro
Dezembro de 2013

ECO-DRIVING: UMA FERRAMENTA PARA APRIMORAR A
SUSTENTABILIDADE DO TRANSPORTE DE CARGA – ESTUDO DE CASO
APLICADO A VEÍCULOS DE COLETA DE RESÍDUOS EM ÁREAS URBANAS

Vicente Aprigliano Fernandes

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Examinada por:

Prof. Marcio de Almeida D'Agosto, D.Sc.

Prof. Marcio Peixoto de Sequeira Santos, Ph.D.

Ricardo Rodrigues Pacheco, D.Sc

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
DEZEMBRO DE 2013

Fernandes, Vicente Aprigliano

Eco-driving: Uma Ferramenta para Aprimorar a Sustentabilidade do Transporte de Carga – Estudo de Caso Aplicado a Veículos de Coleta de Resíduos em Áreas Urbanas /Vicente Aprigliano Fernandes. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013.

X, 63 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Márcio de Almeida D’Agosto

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2013.

Referências Bibliográficas: p. 51-53.

1. Eco-driving. 2. Logística Verde. 3. Coleta de resíduos em áreas urbanas. I. D’Agosto, Márcio de Almeida. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a minha família pelo apoio para a realização desta etapa da vida.

Gostaria de agradecer ao Prof. Marcio de Almeida D'Agosto pela orientação e pela oportunidade de trabalhar com este projeto.

Aos pesquisadores do LTC que ajudaram na pesquisa.

Aos funcionários do PET que ajudaram de forma direta e indireta.

Aos amigos que apoiaram e sempre torceram pelo melhor.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ECO-DRIVING: UMA FERRAMENTA PARA APRIMORAR A
SUSTENTABILIDADE DO TRANSPORTE DE CARGA – ESTUDO DE CASO
APLICADO A VEÍCULOS DE COLETA DE RESÍDUOS EM ÁREAS URBANAS

Vicente Aprigliano Fernandes

Dezembro/2013

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Programa: Engenharia de Transportes

A crescente preocupação com as mudanças climáticas e o entendimento de que as ações antropogênicas são significativas para o agravamento do aquecimento global e das emissões de poluentes atmosféricos tem intensificado o incentivo, por parte dos governos e das instituições privadas, para a implantação de soluções sustentáveis nas cidades e nas cadeias de produção, assim reduzindo os impactos no meio ambiente e nas condições de vida humana. Este trabalho busca avaliar a potencialidade do uso do *Eco-driving* aplicado ao transporte de carga, contextualizando sua posição como uma solução dentro da logística verde e também apresenta o benefício do *Eco-driving* aplicado a veículos de coleta de resíduos urbanos, que alcançaram até 7,6% em melhora da economia de combustível no teste piloto realizado para esta pesquisa.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ECO-DRIVING: A TOOL FOR IMPROVING THE SUSTAINABILITY OF
FREIGHT TRANSPORT - CASE STUDY APPLIED TO URBAN WASTE
COLLECTION VEHICLES

Vicente Aprigliano Fernandes

December/2013

Advisor: Márcio de Almeida D'Agosto

Department: Transport Engineering

The growing concern towards climate change and understanding that anthropogenic activities are significant towards global warming and atmospheric pollutants emissions has intensified the incentives of governments and private institutions to implement sustainable solutions in cities and supply chains, therefore reducing the impact on the environment and improving human life conditions. This study aims to evaluate the potentiality of using Eco-driving applied to freight transport, contextualizing its position as a solution within the green logistics. Furthermore, it presents a case of Eco-driving training applied on waste collection truck drivers, which reached 7.6% reduction of fuel consumption in the pilot test performed to this research.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Caracterização do Problema	2
1.2 Objeto e Objetivos	3
1.3 Justificativa	4
1.4 Estrutura do Trabalho	6
2 REVISÃO E DISCUSSÃO	7
2.1 Revisão de Conceitos	7
2.2 Revisão de Soluções de Logística Verde	8
2.3 Revisão de Soluções Verdes Aplicados ao Transporte de Carga	10
2.4 Revisão de Aplicações do Eco-driving: Brasil e Mundo	13
2.5 Relevância do Eco-driving	15
3 <i>ECO-DRIVING</i> APLICADO A COLETA DE LIXO EM ÁREAS URBANAS: METODOLOGIAS	16
3.1 Método de Aplicação do <i>Eco-driving</i>	17
3.1.1 Pré-Intervenção	17
3.1.2 Intervenção	22
3.1.3 Pós-Intervenção(Tratamento Estatístico)	24
3.2 Método de Avaliação Financeira	26
3.3 Método de Avaliação Ambiental	27
3.4 Considerações Finais	28
4 ESPECIFICAÇÃO DO ESTUDO DE CASO E CARACTERIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DOS VEÍCULOS SELECIONADOS	30
4.1 Descrição Operacional	30
4.2 Área de Implementação do Projeto Piloto	32
4.3 Considerações Finais	34

5 RESULTADOS _____	35
5.1 Caso Específico _____	35
5.1.1 Avaliação Financeira _____	37
5.1.2 Avaliação Ambiental _____	39
5.2 Caso Geral _____	40
5.2.1 Avaliação Financeira _____	41
5.2.2 Avaliação Ambiental _____	46
6 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS _____	48
6.1 Atingimento dos Objetivos _____	48
6.2 Considerações e Sugestões _____	49
6.3 Limitações da Pesquisa _____	50
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	51
ANEXOS _____	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fotos tiradas durante o acompanhamento de rota do P19 (08/03/2013) -----	20
Figura 2: Fotos tiradas durante o acompanhamento de rota do P6 (13/03/13) -----	21
Figura 3: Foto dos Participantes do Primeiro Treinamento - 07/04/2013 -----	23
Figura 4: Foto do Segundo Treinamento - 05/05/2013 -----	23
Figura 5: Foto dos Participantes do Segundo Treinamento - 05/05/2013-----	24
Figura 6: Área de atuação dos veículos compactadores da tabela 4 -----	33
Figura 7: Análise de Viabilidade Financeira do Treinamento de <i>Eco-driving</i> para o Estudo de Caso -----	38
Figura 8: Análise de Viabilidade Financeira do Treinamento de <i>Eco-driving</i> para o Caso Geral – Compactadores – 223 veículos -----	43
Figura 9: Análise de Viabilidade Financeira do Treinamento de <i>Eco-driving</i> para o Caso Geral – Veículos do Tipo P19 – 43 veículos -----	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variação da Redução do Consumo de Combustível por Tecnologia de Tração Prevista Para o Período de 2015-2020 -----	11
Tabela 2: Variação da Redução do Consumo de Combustível por Tecnologia de Construção do Veículo Prevista Para 2015-2020 -----	12
Tabela 3: Experiências de <i>Eco-driving</i> no Brasil e no Mundo -----	13
Tabela 4: Descrição da Frota da COMLURB -----	18
Tabela 5: Indicadores de <i>Eco-driving</i> -----	19
Tabela 6: Veículos Selecionados para o Projeto Piloto de Treinamento de <i>Eco-driving</i> -- -----	19
Table 7: Técnicas de <i>Eco-driving</i> -----	19
Tabela 8: Descrição do Treinamento 1 (07/04/2013) -----	22
Tabela 9: Descrição do Treinamento 2 (05/05/2013) -----	23
Tabela 10: Fatores de Emissão -----	28
Tabela 11: Frota da COMLURB do Caso Específico e Geral -----	31
Tabela 12: Teste do Qui-quadrado nos valores de economia de combustível do P6 ---	35
Tabela 13: Incerteza Estatística (P6 – dos valores de km/l) -----	35
Tabela 14: Economia de Combustível – P6 -----	35
Tabela 15: Teste do Qui-quadrado nos valores de economia de combustível do P19 --	36
Tabela 16: Incerteza Estatística (P19 – dos valores de km/l) -----	36
Tabela 17: Economia de Combustível – P19 -----	36
Tabela 18: Emissão de Poluente Atmosféricos pelo P6 – Estudo de Caso – 7 Veículos -- -----	40
Tabela 19: Emissão de Poluente Atmosféricos pelo P19 – Estudo de Caso – 4 Veículos - -----	40
Tabela 20: Emissão de Poluente Atmosféricos pela Frota de Compactadores - 223 Veículos -----	47
Tabela 21: Emissão de Poluente Atmosféricos pela Frota de Veículos P19 – 43 Veículos -----	47

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo será composto pela contextualização do problema, e em seguida a caracterização do problema, apresentação dos objetivos, justificativa e estrutura do trabalho.

A preocupação com a concentração de gases de efeito estufa (GEE) é de amplitude mundial. Através das Conferências das Nações Unidas (ECO-92, Rio+20, etc) os países buscam um consenso sobre os objetivos e metas a serem atingidos para evitar níveis de emissões que não impliquem alterações perigosas para o planeta. Neste contexto, o meio científico pesquisa soluções gerais para o globo e específicas para cada país. Uma das linhas de investigação importante é aquela que envolve as ações do homem (ações antropogênicas). O meio científico, os órgãos públicos e as organizações sociais tratam a concentração de GEE na atmosfera no tema geral das mudanças climáticas, que afetam fundamentalmente a saúde humana e a própria sustentabilidade do Planeta. De forma mais específica, a temática da concentração do GEE é estudada se considerando os diversos setores da economia, dentre eles o objeto desta dissertação é na contribuição de uma área específica do setor de transportes.

Os setores de transporte do Brasil e do mundo são responsáveis, respectivamente, por 9% e 13% da emissão de GEE (MCT, 2009; IPCC, 2007). De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, das emissões de GEE do setor de transportes no Brasil, 30% são oriundas de veículos pesados, 35% de automóveis e 35% outros meios de transporte (MMA, 2011). No Brasil a frota de transporte de carga equivale a 56% do total de todos os modos de transporte (MME, 2012).

Frente ao desafio de reduzir a emissão de GEE pelo transporte no Brasil, é possível apontar já a iniciativa da CNT (Confederação Nacional do Transporte), que hoje possui o “Programa Ambiental do Transporte”, também conhecido como “Despoluir”. Este programa possui dois grupos de atuação com seis projetos, que de diferentes formas tem o objetivo de incentivar a redução da emissão de GEE e poluentes atmosféricos locais, por veículos pesados. Dentre estes projetos se observa um que se enquadra no conceito de *Eco-driving*, que será detalhado no escopo desta dissertação. De outra forma, observa-se na literatura o interesse progressivo no tema, expresso no conceito da

chamada logística verde e suas propostas de soluções para redução de emissões de GEE (Ubeda *et al.*, 2010; Dekker *et al.*, 2012; Lin e Ho, 2010; Sbihi e Eglese, 2010; entre outros).

Entendendo que as ações antropogênicas são significativas tanto para o agravamento do aquecimento global, quanto para a redução de emissões de GEE e que elas são responsáveis pela emissão de poluentes atmosféricos locais (como monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e material particulado), esta dissertação estuda o *Eco-driving* como uma das ações importantes para a implantação de solução sustentáveis nas cidades e nas cadeias de produção, assim reduzindo os impactos negativos no meio ambiente e nas condições de vida humana.

1.1.Caracterização do Problema

A coleta de resíduos em áreas urbanas é uma importante atividade de transporte que gera a emissão de GEE e poluentes atmosféricos locais por veículos pesados. Assim, esta atividade foi selecionada para a pesquisa de campo desta dissertação. Esta coleta se mostra um desafio em diversos sentidos, desde o planejamento e realização de sua operação, gerenciamento dos resíduos e sua disposição final, dentre outras atividades desta área de atuação (Tian *et al.*, 2013). Além da preocupação com a realização de todo o processo de coleta e disposição dos resíduos, hoje existe a preocupação também com a realização destas atividades de forma menos agressiva ao meio ambiente e a saúde do homem, de tal forma que esta atividade atinja um nível que atenda ao tripé da sustentabilidade, que considera aspectos econômicos, sociais e ambientais (Tian *et al.*, 2013).

Com relação à operação de coleta de lixo, que envolve desde o planejamento do roteiro, a coleta e a disposição dos resíduos, considera-se que esta representa a prática de uma operação complexa, pois envolve o enfrentamento dos obstáculos inseridos no espaço urbano, desde o arranjo viário, o tráfego urbano até outras especificidades associadas ao desenho urbano.

No caso do Brasil, a preocupação com questões relativas aos resíduos sólidos urbanos (RSU) está crescendo, principalmente após a criação do Plano Nacional de Resíduos

Sólidos (PNRS) (MMA, 2011) que tem o objetivo de propor metas para aprimorar a gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil para os próximos anos. O PNRS busca sugerir soluções ligadas a disposição final dos resíduos, redução da geração de resíduos, inclusão de catadores para o lixo reciclável e recuperação de gases de aterro sanitário. Existe em algumas cidades a preocupação com a coleta seletiva (como Rio de Janeiro, São Paulo, Porto Alegre etc), mas mesmo esta prática ainda precisa ser aprimorada no sentido de dar um destino final apropriado para resíduos recicláveis. Mas quando se pensa em relação à operação da coleta domiciliar, não há diretrizes bem definidas neste plano. No caso de práticas ligadas a operação de coleta, já se considera a instalação de uma tecnologia de propulsão híbrida diesel-hidráulico em caminhões de coleta domiciliar (MAN, 2013), dessa forma gerando um menor consumo de combustível e assim uma redução também da emissão de GEE.

Esta pesquisa propõe trabalhar sobre um ângulo pouco abordado no caso da coleta de resíduos em áreas urbanas. Busca-se avaliar os benefícios em questões financeiras e ambientais através da mudança de comportamento do motorista, ou seja, conduzir o veículo de forma mais adequada. Esta pesquisa também propõe a utilização do *Eco-driving* como uma solução dentro da logística verde. O estudo de caso da pesquisa se dá na cidade do Rio de Janeiro, esta seleção se deu pelo fato da cidade ser uma das principais áreas urbanas do país e de existir um projeto na instituição (COPPE/UFRJ) financiado pela Fundação Clinton na temática desta dissertação.

1.2. Objeto e Objetivos

O objeto de estudo é a cadeia de coleta de resíduos urbanos da COMLURB (Companhia Municipal de Limpeza Urbana). Busca-se demonstrar os benefícios da mudança de comportamento dos motoristas, com o foco nas práticas do *Eco-driving*. Estes benefícios serão medidos em termos financeiro e ambiental, através de indicadores relativos à emissão de poluentes atmosféricos, consumo de combustível e custos.

Primeiramente, foram demonstrados os resultados do treinamento de *Eco-driving* aplicado aos motoristas da COMLURB, que foi realizado através de um projeto do Programa de Engenharia de Transporte (PET) em parceria com a Fundação Clinton/C40 e a CNT (SEST-SENAT).

Em um segundo momento, com base em dados cedidos pela COMLURB (2012) e resultados obtidos no treinamento de *Eco-driving*, foi realizada a avaliação dos benefícios financeiros e ambientais, supondo uma extrapolação dos parâmetros obtidos no estudo piloto do *Eco-driving* aplicado à frota da COMLURB.

Em linhas gerais, esta pesquisa busca avaliar os benefícios que o *Eco-driving* pode gerar dentro do contexto da cadeia de coleta de resíduos urbanos. Buscando realizar uma avaliação que demonstre se o investimento feito no treinamento de *Eco-driving* pode gerar retorno financeiro positivo, além dos benefícios ambientais.

A seguir são apresentados os objetivos específicos desta pesquisa:

- a) Caracterizar a cadeia de coleta de resíduos urbanos da COMLURB;
- b) Buscar experiências anteriores de estudos relativos ao *Eco-driving*, através de revisão bibliográfica.
- c) Elaborar método de aplicação do *Eco-driving* na frota da COMLURB;
- d) Aplicar métodos de avaliação financeira e ambiental ao estudo de caso;
- e) Verificar os resultados relativos à economia de combustível e redução da emissão de poluentes Atmosféricos.

1.3. Justificativa

Como já abordado anteriormente, a preocupação com as ações humanas sobre o meio ambiente é crescente, em todas as escalas, desde os problemas relativos ao aquecimento global, quanto a impactos ambientais mais localizados, como por exemplo, poluição atmosférica, da água e solo, alta densidade de produção de lixo urbano, dentre outros impactos. Este é um tema atual que já vem sendo discutido em artigos e outros documentos, como se pode observar nos trabalhos de Sivak e Schoettle (2012), Barkenbus (2010), Barth e Boriboonsomsin (2009), Zarkadoula et al (2007), Ando e Nishihori (2011) e outros.

No caso do *Eco-driving*, acredita-se que sua aplicação pode gerar, principalmente, benefícios ambientais e econômicos. Quanto a benefícios ambientais, refere-se a um modo de condução que propicie maior durabilidade ao veículo, suas partes e componentes, ou seja, proporciona menor consumo de matéria prima oriundas do meio ambiente. Permite também menor consumo de combustível, conseqüentemente reduz as emissões de poluentes atmosféricos. Os benefícios econômicos são mais diretos, pois havendo a redução do consumo de combustível há uma redução no custo operacional.

O *Eco-driving* é um conceito de abrangência geral, ou seja, pode ser aplicado em veículos de todas as categorias. Desta forma, pode-se afirmar que as possibilidades de beneficiar o meio ambiente com o *Eco-driving* sejam também abrangentes. Tratar deste tema é relevante por conta da escala que ele pode alcançar. Entende-se, também, que seja uma forma de divulgar e incentivar uma ideia democrática que pode ser utilizado em setores privados (individual e coletivo) e públicos.

Observa-se que soluções referentes ao aprimoramento de sistemas de propulsão permitem redução no consumo de combustível entre 6% e 50% (TRB, 2010). A implantação de tecnologias inovadoras pode gerar reduções de consumo de 1% a 15% (TRB, 2010). Porém, não adianta introduzir tecnologias inovadoras se a condução e operação são ruins. Logo, a introdução do *Eco-driving* é ao mesmo tempo uma solução que tem o potencial de reduzir uma parcela significativa do consumo de combustível, até 25% (Sivak e Schoettle, 2012), e impacta nas demais medidas de redução no consumo de combustível.

Sua aplicação está alinhada com os princípios da Lei No 12.587 (Política Nacional de Mobilidade Urbana) que em seu Art. 5º, § II, preconiza o desenvolvimento sustentável das cidades e em seu Art. 6º, §§ IV e V, tem como diretrizes a mitigação dos custos ambientais, sociais e econômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas nas cidades e o incentivo ao desenvolvimento científico-tecnológico e ao uso de energias renováveis e menos poluentes para atingir o objetivo de promover o desenvolvimento sustentável e a mitigação dos custos ambientais e socioeconômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas nas cidades (Art. 7º, § IV).

1.4. Estrutura do Trabalho

Este trabalho consiste em 6 capítulos, incluindo a introdução, estruturados da seguinte forma:

- O capítulo 2 se refere à revisão bibliográfica que possibilitou o embasamento teórico para o desenvolvimento da pesquisa. Este capítulo aborda e faz a relação entre os conceitos de *Eco-driving* e logística Verde. Neste capítulo também é feita uma revisão das “soluções verdes” aplicados ao transporte de carga. Também se discute a relevância do *Eco-driving* aplicado ao transporte de carga.
- O capítulo 3 descreve a metodologia utilizada no estudo de caso, que é a aplicação do *Eco-driving* na cadeia de coleta de resíduos em áreas urbanas. Este capítulo possui três partes fundamentais: a descrição de como foi aplicado o *Eco-driving*; descrição do método de análise financeira e descrição do método de análise ambiental.
- O Capítulo 4 tem a intenção de caracterizar a operação da COMLURB (Companhia Municipal de Limpeza Urbana), dando ênfase nos tipos de veículos selecionados para realização do estudo de caso.
- O capítulo 5 contempla os resultados da aplicação dos métodos de análise financeiro e ambiental no estudo de caso e na frota da COMLURB.
- O capítulo 6 apresenta as conclusões referentes a todo o processo de aplicação do *Eco-driving*, as considerações finais a respeito da aplicação dos métodos e dos seus resultados, as limitações encontradas ao longo da pesquisa e o desdobramento de ideias para trabalhos futuros.

2. REVISÃO E DISCUSSÃO DA LITERATURA

Este capítulo busca apresentar os conceitos-chaves e estudos já realizados na área de soluções verdes aplicadas ao transporte de carga, sendo dividido em revisão de conceitos; revisão de soluções da logística verde; revisão de soluções verdes aplicadas ao transporte de carga; revisão da aplicação do *Eco-driving* no Brasil e no mundo; e relevância do *Eco-driving*.

2.1. Revisão de Conceitos

Este item busca apresentar, de forma breve, uma revisão bibliográfica sobre os dois principais conceitos levantados para este trabalho: *Eco-driving* e Logística Verde. Pode-se afirmar que o *Eco-driving* (direção verde) é um termo que está direcionado a união das técnicas de direção econômica, ambiental e segura, com o objetivo de diminuir o consumo de combustível e, conseqüentemente, reduzir a emissão de gases de efeito estufa (ex: CO₂), desta forma gerando eficiência operacional (Sivak e Schoettle, 2012). A aplicação das técnicas da direção sustentável em veículos de qualquer porte e função pode levar a obtenção de aumento da eficiência de combustível de até 25% (Sivak e Schoettle, 2012).

De acordo com Sivak e Schoettle (2012) o *Eco-driving* é caracterizado pela tomada de decisões estratégicas (seleção veicular e manutenção), decisões táticas (seleção de rota e peso do veículo) e decisões operacionais (comportamento do motorista) que melhoram a economia de combustível na operação do veículo. Para Barth e Boriboonsomsin (2009) o *Eco-driving* envolve a manutenção preventiva e o comportamento do motorista ao conduzir o veículo. Já para Barkenbus (2010), Ando e Nishihori (2011) e Zarkadoula et al (2007) o *Eco-driving* envolve as práticas de condução do veículo que levam ao consumo reduzido de combustível e conseqüentemente há uma redução da emissão de gases de efeito estufa.

Como este trabalho também busca apresentar o *Eco-driving* como uma possível solução dentro da logística verde, desta forma busca-se compreender o conceito de Logística Verde. Logística Verde é a prática de integração de aspectos ambientais na logística (Dekker et al, 2012; Lin e Ho, 2010). Entretanto Lin e Ho (2010), além de apresentarem o conceito de logística verde, citam alguns objetivos específicos que são: reduzir

emissões de poluentes atmosféricos, do consumo de energia, do consumo de recursos naturais, da produção de resíduos e otimizar a exploração de recursos.

Dentre as práticas utilizadas na logística para alcançar os objetivos citados anteriormente, as mais comuns são embarques consolidados (aproveitando o limite de carregamento do veículo – em peso ou em volume), descarte responsável do lixo, compra de produtos ecológicos, redução do consumo de energia, adoção de métodos de transporte mais limpos (com menos emissão de poluentes – do ar, da água e do solo - e consumo de recursos naturais) e utilização de embalagens recicláveis (Lin e Ho, 2012).

É possível observar que as práticas de Logística Verde podem reduzir os efeitos negativos da atividade logística no meio ambiente a partir de diversas frentes de atuação que vão desde a exploração da matéria prima, passando pelo transporte, a produção do produto e seu uso indo até o seu descarte. O transporte pode ser considerado uma frente importante de atuação para reduzir os impactos ambientais na atividade logística tendo em vista que consome 80% de todo o combustível fóssil do mundo (World Bank, 2013).

Neste sentido, os benefícios do *Eco-driving* (direção sustentável) estão presentes em 3 eixos: econômico, ambiental, e de segurança. No âmbito econômico, a aplicação de técnicas de direção sustentável pode gerar maior eficiência quanto a custos operacionais relativos a consumo de combustível e maior preservação das condições do veículo (pneus, motor e outros componentes). Os benefícios ambientais ocorrem na preservação da qualidade das condições atmosférica, com menor emissão de poluentes no ar. O aspecto de segurança faz referência aos reflexos das técnicas de direção sustentável na segurança do motorista e de terceiros, com o foco em evitar acidentes e fatalidades.

2.2. Revisão de Soluções da Logística Verde

Com base em revisão bibliográfica, neste capítulo serão apresentados os benefícios da implantação de soluções de Logística Verde em cadeias logísticas, particularmente na parte que tange ao transporte.

Quando lidando com impactos ambientais de uma cadeia logística, o transporte, geralmente, é a parte da cadeia que gera impactos mais visíveis no meio ambiente

(Dekker *et al*, 2012). Para Dekker *et al* (2012) existem quatro principais práticas de Logística Verde que podem ser aplicados ao transporte, dentro de uma cadeia logística.

A primeira prática está ligada a escolha modal do transporte, ou seja, considerar que existem 6 escolhas de transporte: aéreo, aquaviário, rodoviário, ferroviário e dutoviário. O autor afirma que para cada tipo de transporte existem questões relativas a custo, tempo, acessibilidade e também desempenho ambiental.

O transporte intermodal é o segundo aspecto que pode tornar uma cadeia mais ambientalmente eficiente (Dekker *et al*, 2012). O autor afirma que a transferência da carga de um modo para o outro é o momento mais ineficiente da cadeia logística. Entretanto o uso de containers passou a reduzir esta ineficiência, pois, uma vez que a carga está confinada no container, há menos chance de avarias, perdas e danos sobre a carga, bem como menos transferência destes danos, se ocorrerem, para o meio ambiente.

A terceira prática é a escolha do equipamento, ou seja, pensar no tipo e tamanho da unidade que transportará a carga (Dekker *et al*, 2012). Esta decisão está diretamente relacionada à capacidade, velocidade, desempenho econômico e ambiental do veículo. Dekker *et al* (2012) afirmam que quanto maior a capacidade do veículo menor será a quantidade de CO₂ emitido por kg transportado.

Dekker *et al* (2012) apontam que o quarto aspecto para obter um melhor desempenho ambiental é a escolha de combustíveis de baixo carbono. A partir dos anos 1990, as refinarias passaram a focar no desenvolvimento de gasolina com menor acréscimo de aditivos para que haja menor impacto ambiental na atmosfera. A produção de biocombustíveis também passou a ser uma prioridade e favorece a redução de emissão de poluentes. Outra fonte de energia para automóveis é o motor a propulsão elétrica, que vem sendo aprimorado e que gera quase nenhuma emissão de poluentes atmosféricos.

De acordo com Ubeda *et al* (2011) o tema de Logística Verde, mesmo nos dias atuais, ainda não possui uma repercussão relevante no meio acadêmico, e também é um tema

que passou a ser discutido a partir dos anos 1990, quando a Logística Verde passou a ser relevante para questões sociais e econômicos.

O trabalho de Ubeda *et al* (2011) tem o objetivo de avaliar os efeitos ambientais das decisões operacionais nas atividades de transporte, aplicado a uma empresa no ramo da distribuição de alimentos. No caso, este autor aplica métodos de otimização da operação da frota, como, (1) melhorar o agendamento das rotas de entrega, (2) reduzir o número de viagens, e (3) desenvolver um método para resolver problemas de roteirização.

Com todas as práticas implementadas no trabalho de Ubeda *et al* (2011) alcançou-se uma redução na emissão de CO₂ próxima de 25%. É evidente que houve também redução do consumo de combustível e conseqüentemente redução de gastos, pois o autor realizou o cálculo de emissão com base em fator de emissão de CO₂ de valor fixo.

Observa-se que os autores revisados neste item apresentam soluções distintas quanto a seus pontos de vista, quanto à logística verde. O primeiro autor (Dekker *et al*, 2012) demonstra preocupações com o tipo de veículo utilizado, operação durante a transferência da carga de um modo para o outro e tipo de combustível utilizado. O segundo autor (Ubeda *et al*, 2011) demonstra preocupações com o agendamento das entregas, quantidade de viagens e aprimoramento do método de roteirização. Entretanto, destes trabalhos revisados, não se observou sugestões de práticas de logística verde relacionadas às pessoas que operam os equipamentos.

Considerando que um dos objetivos da logística verde é reduzir o consumo de energia e que o comportamento humano também influencia no desempenho dos veículos, pode-se afirmar que soluções relativas ao uso adequado dos veículos utilizados no transporte de carga também estão ligados à logística verde.

2.3. Revisão de Soluções Verdes Aplicado ao Transporte de Carga

Existem algumas opções para redução de emissão de GEE pelo setor de transporte. Considerando o transporte rodoviário, algumas das soluções identificadas em Sivak e Schoettle (2012), Barkenbus (2010), Barth e Boriboonsomsin (2009), Ando e Nishihori (2011), Zarkadoula *et al* (2007) são: (i) uso de combustíveis de baixo carbono ou de

outras fontes de energia; (ii) veículos mais eficientes, por meio da introdução de tecnologias inovadoras; (iii) ou por meio de soluções relacionadas ao conceito de *Eco-driving*.

Com relação à primeira solução apresentada sugere-se o uso de etanol, biodiesel ou veículos elétricos, pois são as fontes de energia com menores taxas de emissão líquida de carbono, comparadas com os combustíveis fósseis. Os biocombustíveis, por exemplo, podem gerar uma redução das emissões líquidas de CO₂ entre 70% e 80% (Leal Junior e D'agosto, 2012).

Quanto à segunda solução, o TRB (2010) gerou uma previsão da redução potencial do consumo de combustível pelo aprimoramento dos sistemas de propulsão. Observa-se que o aprimoramento das tecnologias relativas à redução do consumo do combustível permitirá uma economia significativa no consumo de combustível, como pode ser visto na Tabela 1. Destacam-se as tecnologias de tração híbridas (diesel-elétrico ou diesel-hidráulico), que podem permitir o aproveitamento da energia cinética da frenagem e torna o uso do veículo mais eficiente energeticamente. Uma vez que ocorra o menor consumo de combustível fóssil, haverá menor emissão de CO₂, principal GEE.

Tabela 1: Variação da Redução do Consumo de Combustível por Tecnologia de Tração Prevista Para o Período de 2015-2020.

Tecnologia	Redução do consumo de combustível (%)
Motor a Diesel	15 – 21%
Motor a Gasolina	Até 24%
Transmissão Automatizada	4 – 8%
Tecnologia Híbrida	5 – 50%

Fonte: adaptado do TRB (2010)

Ainda quanto à segunda solução sugerida, relativo a veículos mais eficientes, a Tabela 2 indica uma seleção de alternativas tecnológicas que podem ser aplicadas a construção dos veículos e suas respectivas reduções de consumo de combustível (TRB, 2010).

Tabela 2: Variação da Redução do Consumo de Combustível por Tecnologia de Construção do Veículo Prevista Para 2015-2020.

Tecnologia	Redução de consumo de Combustível (%)
Aerodinâmica	3 – 15%
Potências auxiliares	1 – 2,5%
Resistência a Rolamento	4,5 – 9%
Redução de Peso	2 – 5%
Redução de Ponto Morto	5 – 9%
Veículo Inteligente (ex: GPS)	8 – 15%

Fonte: adaptado do TRB (2010)

Segundo Sivak e Schoettle (2012) as soluções relativas ao *Eco-driving* envolvem três aspectos: Comportamento do motorista; seleção do veículo e manutenção preventiva e logística.

Com relação ao comportamento do motorista, podem-se citar as ações que o motorista realiza ao conduzir o veículo, como por exemplo, trocar de marcha na rotação ideal do motor, evitar o uso do ponto morto ao conduzir, guiar com previsão, usar corretamente o acelerador e o freio, dentre outras ações. Sendo estas ações realizadas corretamente pode-se gerar maior eficiência energética do veículo, com menor consumo de combustível e emissão de gases de efeito estufa.

A seleção do veículo e sua manutenção preventiva envolvem desde a seleção do veículo correto para uma operação específica até escolha de pneus adequados e a manutenção das condições de regulagem (calibragem dos pneus, alinhamento dos sistema de direção, balanceamento das rodas, cambagem do sistema de suspensão etc). O aspecto da logística está relacionado à roteirização do veículo, ou seja, selecionar a rota mais adequada à operação realizada, considerando distância, tipo de terreno, pavimento e tráfego e questões particulares da operação entre outras condições ligadas ao caminho que o veículo percorre ao longo da sua operação.

Com base em testes realizados pelo Banco Mundial em 2010 e 2011, Rocky Mountain Institute (2008), GTZ (2005) e Silva (2007) pode-se afirmar que a economia de combustível alcançada pela aplicação do *Eco-driving* pode ser de até 25%.

2.4. Revisão de Aplicações do *Eco-driving*: Brasil e Mundo

Foram identificados cinco trabalhos que realizaram testes de *Eco-driving* (Tabela 3), três deles no Brasil e os outros em âmbito internacional. Estes são trabalhos que aplicam o treinamento para mudar o comportamento do motorista e aprimorar as condições operacionais do veículo, os autores também verificam a eficiência energética alcançada. Estes trabalhos foram selecionados, pois estão entre os que aplicam o *Eco-driving* em veículos pesados. Das instituições que realizaram os testes considera-se: Confederação Nacional dos Transportes (CNT), entretanto sem resultados; Banco Mundial; Sociedade Alemã de Cooperação Técnica (GTZ) e *Rocky Mountain Institute*. Foi encontrada também uma dissertação de mestrado (Silva, 2007) sobre direção econômica que se assemelha a prática do *Eco-driving*.

Tabela 3: Experiências de *Eco-driving* no Brasil e no Mundo

Literatura	Testes	Economia de Combustível
Silva (2007)	(1) <i>Eco-driving</i> ; (2)Pneus de baixa resistência ao rolamento; (3) Equipamentos de aerodinâmica.	±11,4%
World Bank (2011) - Brazil	(1) <i>Eco-driving</i> ;	±1%
GTZ (2005)	(1) <i>Eco-driving</i> ;	±14,2
<i>Rocky Mountain Institute</i> (2008)	(1) <i>Eco-driving</i> ; (2)Pneus de baixa resistência ao rolamento (3) Equipamentos de aerodinâmica,; (4) Redução de peso da estrutura.	±12,3
World Bank (2011) - China	(1) <i>Eco-driving</i> ; (2)Pneus de baixa resistência ao rolamento (3) Equipamentos de aerodinâmica,; (4) Redução de peso da estrutura.	±23,77

Fonte: Adaptado de Silva (2007); World Bank (2011), GTZ (2005), *Rocky Mountain Institute* (2008) e World Bank (2011)

Com relação aos testes realizados no Brasil, no trabalho de Silva (2007) foi realizado um treinamento de direção econômica, que envolve técnicas de condução iguais às aplicadas na técnica do *Eco-driving*. Neste treinamento participaram 105 motoristas (frota de veículos de transporte de carga). Além do treinamento foram instalados equipamentos para melhorar a aerodinâmica nos caminhões e foram utilizados pneus de baixa resistência ao rolamento. Neste experimento Silva (2007) constatou uma melhora na eficiência (com relação à redução no consumo de combustível) de aproximadamente 11,4%. Neste caso não é possível isolar apenas o resultado imposto pelo *Eco-driving*.

O Banco Mundial (2011) realizou o mesmo procedimento que Silva (2007), entretanto com uma frota de 8 veículos (de transporte de carga), e testando a eficiência das práticas separadamente. Considerando a redução no consumo de combustível, encontrou-se no teste de pneus de baixa resistência redução de 1%, com a instalação de equipamentos de aerodinâmica a redução foi de 3%, e o treinamento dos motoristas gerou uma redução 1%.

A CNT com a parceria do SEST (Serviço Social do Transporte) e do SENAT (Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte) realizam treinamentos de *Eco-driving* desde 2007, entretanto ainda não possuem registros divulgados da eficiência que o treinamento pode gerar na redução do consumo de combustível.

No âmbito internacional, testes foram realizados na Alemanha, Chile, Argentina, Estados Unidos e China. Nos primeiros três países, os testes foram realizados pela GTZ (2005) e nestes testes foram realizados apenas os treinamentos *Eco-driving*, com foco em mudança de comportamento. Na Alemanha foi realizado o teste com 40 vans e após o treinamento alcançou-se uma economia de combustível de 8%. No Chile foram testados 11 ônibus (transporte público) e a economia de combustível foi de 14,2%. Na Argentina também se testou 7 ônibus e o resultado da economia de combustível chegou a 14%.

No trabalho do *Rocky Mountain Institute* (2008) testou-se 1 veículo de transporte de carga, sendo considerados os elementos do teste de Silva (2007) com o acréscimo de mais um elemento, que é a redução do peso do veículo, através da utilização de materiais mais leves em sua estrutura. Neste teste a economia de combustível chegou a 12,3%.

O Banco Mundial realizou também em 2011 um teste na China, sendo testados 2 caminhões de carga de grande porte, 6 caminhões de carga de médio porte e 2 caminhões de lixo. Foram utilizadas todas as práticas citadas anteriormente, ou seja, realização de treinamento, instalação de equipamentos para aprimorar a aerodinâmica, uso de pneus de baixa resistência ao rolamento e redução do peso do veículo. A economia de combustível foi de 6,6%, 1,8% e 23,7%, respectivamente, para os caminhões de grande porte, médio porte e os caminhões de lixo.

A partir da pesquisa realizada, pode-se observar que o aumento da eficiência energética gerada pela aplicação de *Eco-driving* em uma frota de caminhões pode variar entre 1% e 14,2%, considerando os casos que aplicaram apenas o *Eco-driving*.

2.5. Relevância do *Eco-driving*

O transporte é um elemento fundamental em uma cadeia logística. O *Eco-driving* aplicado a uma frota de veículos de carga poderiam gerar benefícios significantes do ponto de vista financeiro e ambiental.

Quanto ao ponto de vista financeiro, é preciso usar uma ferramenta para avaliar os benefícios do *Eco-driving*. Em um primeiro momento, destaca-se a possibilidade de uma avaliação com base no fluxo de caixa, ou seja, verificar o retorno financeiro do *Eco-driving* a partir do custo de implantação (treinamento). No caso de avaliação ambiental, considera-se o cálculo da emissão de CO₂ e poluentes locais (CO; NMHC; NOx; MP) ao longo do ciclo de uso do veículo.

Adicionalmente, a prática do *Eco-driving* pode gerar benefícios com relação ao retorno financeiro através dos créditos de carbono. Para se beneficiar deste retorno, o Protocolo de Kyoto (1998) determina 3 critérios: (1) participação voluntária aprovada por cada parte envolvida; (2) ser aplicável, mensurável e deve gerar benefícios de longo prazo relacionados com a mitigação das mudanças do climáticas, e (3) reduzir emissões que sejam adicionais às que ocorreriam na ausência da atividade certificada no projeto.

Percebe-se que o *Eco-driving* pode ser inserido como uma das práticas da Logística Verde, proporcionando benefícios através da redução das emissões de poluentes atmosféricos, redução do consumo de energia e custos operacionais no setor do transporte. Observa-se que o transporte de carga no Brasil é um forte candidato para aplicação do *Eco-driving*. Pois por este modal representar mais da metade dos transportes, frente a outros modais, também pode-se supor que existe um potencial para se reduzir também em grandes proporções da emissão de poluentes atmosféricas e consumo de combustível no Brasil.

3. ECO-DRIVING APLICADO A COLETA DE LIXO EM ÁREAS URBANAS: METODOLOGIA

Este capítulo apresenta 3 itens que englobam o método de aplicação do *Eco-driving*, o método de avaliação financeira e o método de avaliação ambiental. Assim descrevendo desde a forma de aplicação do *Eco-driving* até os métodos de avaliação usados neste trabalho.

Para a aplicação do *Eco-driving* em uma frota 11 veículos (7 compactadores e 4 carretas) da COMLURB, obteve-se suporte das seguintes instituições, além da COPPE-UFRJ: C40 *cities*; Confederação Nacional do Transporte (CNT – SEST/SENAT); e a Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB).

A C40 *cities* é uma organização global que busca investir no desenvolvimento e implementação de políticas e programas que gerem reduções das emissões de gases de efeito estufa e riscos climáticos nas cidades. Esta organização selecionou a COPPE-UFRJ para o desenvolvimento do projeto piloto de *Eco-driving* aplicado a veículos de coleta de resíduos em áreas urbanas, e forneceu recursos financeiros para o desenvolvimento do projeto.

A COPPE teve a função de desenvolver o projeto, através do Laboratório de Transporte de Carga (LTC) do Programa de Engenharia de Transportes (PET/COPPE/UFRJ), no sentido de estabelecer as bases teóricas e metodológicas para a aplicação do *Eco-driving* e análise dos resultados.

A CNT forneceu apoio para desenvolvimento do material didático, aplicação do treinamento e cedeu um profissional especializado no campo de treinamento de motorista com foco em condução econômica.

A COMLURB permitiu acesso aos dados necessários para realização do projeto e também proporcionou visita técnicas nas Estações de Transferências de Resíduos (ETRs) e no Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) de Seropédica. Com a permissão da COMLURB realizou-se também acompanhamento operacional dos veículos testados.

3.1.Método de Aplicação do *Eco-driving*

Este item está dividido em três partes, pré-intervenção, intervenção e pós-intervenção. Primeiramente, será descrito o processo de preparação e avaliação do contexto de aplicação do *Eco-driving*, considerando particularidades da operação dos veículos envolvidos no estudo de caso. No subitem referente a intervenção será descrito o processo de aplicação do treinamento de *Eco-driving*. Na terceira parte, referente a pós-intervenção, serão descritos os métodos de tratamento estatístico, realizados para aprimorar a qualidade dos dados amostra.

3.1.1. Pré-intervenção

No período de pré-intervenção foram avaliados quais seriam os veículos da COMLURB mais apropriados para realização do treinamento dos motoristas. Os principais critérios para seleção de veículos para o projeto piloto foram: o nível de economia de combustível, a quantidade de veículos na frota e uma seleção de condições de operação para a realização deste teste, atendendo os seguintes critérios, o veículo percorrer a mesma rota em sua operação rotineira e possuir o mesmo motoristas. Desta forma, reduzindo o efeito incontrolável de fatores externos, como por exemplo, mudanças bruscas de distâncias percorridas.

De acordo com a tabela 4, é possível observar que na frota da COMLURB, dentre os 5 veículos com menor economia de combustível, 3 são compactadores, mas aqueles com maior quantidade são o P7 e o P6. O veículo menos eficiente da frota da COMLURB é o P19, que realiza o transporte de resíduos para o aterro sanitário. Com base nestas informações acrescidas da viabilidade de aplicação do treinamento de *Eco-driving* na empresa prestadora de serviço que aluga os veículos com motoristas para a COMLURB, foi considerado o P6 e o P19 para aplicação do projeto piloto de treinamento de *Eco-driving*. O motivo pelo qual estes dois veículos foram selecionados está associado, primeiramente, a eles atenderem os critérios de operar nas mesmas rotas com os mesmos motoristas e a consideração de especialistas da empresa prestadora de serviço, que afirmam que dentre os compactadores o P6 vêm gerando maiores gastos por ser o veículo com maior atuação em áreas urbanas e no caso do P19, este veículo apresenta uma operação similar àquelas encontradas nas aplicações apresentadas na revisão bibliográfica.

Tabela 4: Descrição da Frota da COMLURB

Tipo	Descrição	Função	km/l	Quantidade
P19	Cavalo mecânico + semi-reboque caminhão 45m ³	Transporte de resíduos para o aterro sanitário	1,4	43
P7	Compactador de três eixos 19m ³	Coleta de lixo domiciliar	1,5	80
P13	Vassoura mecânica	Varrição de estradas, tuneis e parques	1,5	12
P25	Super compactador de três eixos 19m ³	Coleta de lixo domiciliar, pública e de lixo especial	1,5	18
P6	Compactador de dois eixos 15m ³	Coleta de lixo domiciliar	1,75	97
P5	Compactador Pequeno 6m ³	Coleta de lixo domiciliar	2	18
P5A	Compactador de dois eixos 10m ³	Coleta de lixo domiciliar	2	10
P9	Caminhão de três eixos 12m ³	Remoção de lixo público	3	35
P10A	Poliguindaste duplo	Remoção de lixo público	3	32
P12	Roll on/Roll off	Remoção de lixo público	3	6
P8	Caminhão de dois eixos 7m ³	Remoção de lixo público	4	135
P10	Poliguindaste simples	Remoção de lixo público	4	12
P11	Caminhão barril de água 7000L	Limpeza de áreas comerciais e ruas	4	28
P28	Caminhão com vagão fixo 20m ³	Coleta de lixo reciclável	4	5
P29	Caminhão para containers	Coleta de lixo concentrado em containers	4	2
P27	Caminhão de 3m ³	Remoção de entulho e sucata	5	3
P26	Caminhão pequeno 3m ³	Coleta de lixo domiciliar e pública em favelas	6	24
P2	Micro ônibus	Transporte de funcionários	7	45
P17	Caminhão com vagão de metal fixo 4m ³	Transporte de móveis e materiais grandes	7	9

Fonte: COMLURB, 2012

A tabela 5 apresenta os principais indicadores que foram considerados nesta pesquisa, com relação economia de combustível e emissão de poluentes. Para a economia de combustível será considerada a quilometragem percorrida por litro de combustível consumido. Para a emissão de poluentes, considera-se o CO₂, principal gás de efeito estufa, e os poluentes atmosféricos locais, que são o monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não metano (NMHC), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP). Na tabela 6 estão os veículos selecionados, em que os motoristas farão parte do treinamento de *Eco-driving*.

Tabela 5: Indicadores de *Eco-driving*

Indicadores	Medidas
Economia de Combustível	km/l
Emissão de Poluentes	CO ₂ kg
	CO g
	NMHC g
	NOx g
	MP g

Fonte: Elaborado pelo autor, 2013

Tabela 6: Veículos Selecionados para o Projeto Piloto de Treinamento de *Eco-driving*

Placa	ID	Tipo	Imagem
KNU7570	G05	P6	
LPJ7286	G06		
LPJ3398	G07		
KVO3176	G08		
KZB2093	G09		
KZB2209	G10		
LKW8468	G13		
EWJ4808	F58	P19	
EWJ 4809	F64		
EWJ4818	F71		
EWJ4820	F73		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2013

Antes de aplicar o treinamento para os motoristas dos veículos selecionados, foi realizado um acompanhamento de operação em cada tipo de veículo selecionado, um P6 e outro P19. O P6 (G13) foi acompanhado no dia 13/03/13, e o P19 (F58) no dia 08/03/2013. Este monitoramento de operação incluiu a observação dos seguintes aspectos: dificuldades do motorista durante a operação (aspectos internos e externos ao veículo) e o comportamento do motorista, observando se são utilizadas as técnicas presentes na tabela 7.

Table 7: Técnicas de *Eco-driving*

Técnicas de <i>Eco-driving</i>
Antecipar o fluxo do tráfego
Uso correto dos freios
Manter velocidade constante
Evitar ponto morto
Uso adequado da marcha

Fonte: Elaborado pelo autor, 2013

No primeiro acompanhamento operacional (figura 1), referente ao P19 e quanto ao comportamento do motorista, foi observado que houve dificuldades de realizar a antecipação do fluxo do tráfego, manter a velocidade constante e o uso adequado dos freios. Outro ponto observado é que o veículo possui sistema de marcha automática, com opção de modo manual, mas o motorista tinha dificuldade de selecionar que tipo de marcha era mais adequado para momentos diferentes do roteiro, principalmente em ladeiras.



Figura 1: Fotos tiradas durante o acompanhamento de rota do P19 (08/03/2013)

No acompanhamento operacional do P6 (figura 2), foram observados alguns aspectos externos ao veículo desfavoráveis a melhora da economia de combustível. Percebeu-se que esta operação enfrenta engarrafamentos nas áreas urbanas e também utiliza vias que se apresentam em condições inadequadas (ruas não asfaltadas ou esburacadas).

Observou-se que o veículo estava operando com pneus já desgastados e com problema na bomba de óleo. Com relação ao comportamento do motorista, foi percebido que as condições operacionais deste veículo dificultam o motorista dirigir de forma adequada as práticas do *Eco-driving*. Outro fator, particular desta operação, se relaciona ao *stress* gerado por conta da forma de tratamento que cidadãos têm com relação ao motorista do veículo. Durante a operação, houve cidadãos que ofenderam o motorista, por afirmarem que o veículo estava bloqueando a passagem.



Figura 2: Fotos tiradas durante o acompanhamento de rota do P6 (13/03/13)

Observa-se que apesar de haver minimização dos efeitos de fatores externos incontrolláveis através dos critérios estabelecidos para a seleção da amostra de teste, foi identificado ainda há fatores que podem influenciar no resultados de consumo de combustível que vão além da seleção do veículo e motorista, como por exemplo, condições físicas da via e a realização de manutenção preventiva ou corretiva do veículo.

3.1.2. Intervenção

A fase intervenção consistiu em dois dias de treinamento. No primeiro dia (07/04/2013), houve o suporte da CNT (Confederação Nacional dos Transportes), que ofereceu o material didático aos motoristas e cedeu um professor especialista em treinamento de condução econômica para dar o suporte ao treinamento. O segundo dia de treinamento (05/05/2013), foi realizado pela COPPE e C40, e consistiu na revisão das técnicas de *Eco-driving*. Também buscou-se compreender as dificuldades dos motoristas para aplicarem as técnicas em questão. As tabelas 8 e 9 apresentam o plano de cada dia de treinamento.

O primeiro treinamento consistiu em aulas expositivas e práticas. O segundo treinamento foi baseado na revisão do material da primeira aula e também na busca do ponto de vista dos motoristas com relação ao treinamento e a aplicação das técnicas de *Eco-driving*. As figuras 3, 4 e 5 registram os treinamentos realizados.

Tabela 8: Descrição do Treinamento 1 (07/04/2013)

Horário	Atividades
08:00 – 10:00	Enfoque nas técnicas da tabela 7
10:00 – 10:30	<i>Coffee Brake</i>
10:00 – 12:00	Enfoque nas técnicas da tabela 7
12:00 – 12:40	Almoço
12:40 – 14:00	Importância ambiental do <i>Eco-driving</i>
14:00 – 17:00	Aulas práticas

Fonte: Elaborado pelo autor, 2013



Figura 3: Foto dos Participantes do Primeiro Treinamento - 07/04/2013

Tabela 9: Descrição do Treinamento 2 (05/05/2013)

Horário	Atividades
8:00 – 8:30	Apresentação da C40 e individual de todos que participaram do treinamento.
8:30 – 8:40	Conto de uma história com a intenção de motivar os motoristas “O leão e o rato”
8:40 – 9:30	Depoimentos sobre as dificuldades diárias da condução do veículo de trabalho
9:30 – 10:00	<i>Coffee Brake</i>
10:00 – 10:30	Sugestão dos motoristas para implementação do <i>Eco-driving</i>
10:30 – 11:30	Revisão das Técnicas de <i>Eco-driving</i>

Fonte: Elaborado pelo autor, 2013



Figura 4: Foto do Segundo Treinamento - 05/05/2013



Figura 5: Foto dos Participantes do Segundo Treinamento - 05/05/2013

Com base nos depoimentos dos motoristas no segundo treinamento, é possível afirmar que não é incomum haver problema técnico no veículo. Os motoristas que participaram dos treinamentos afirmam que se houvessem manutenções preventivas e corretivas com mais frequência, seria mais favorável aplicar as técnicas do *Eco-driving*.

3.1.3. Pós-intervenção (Tratamento Estatístico)

Neste item serão apresentados os métodos usados para realizar o tratamento estatístico dos dados coletados ao longo do período entre 01/03/2013 e 30/06/2013. Este tratamento foi realizado por conta da possível imprecisão no levantamento de dados de economia de combustível. Com a finalidade de estabelecer os valores da linha de base e dos dados pós-intervenção, estabeleceu-se que os dados da linha de base são aqueles que foram levantados durante o período de 01/03/2013 e 06/04/2013, e os dados pós-treinamento são aqueles entre o período de 07/04/2013 até 30/06/2013. Desta forma os dados pós-intervenção dizem respeito ao período após os dois treinamentos de *Eco-driving*.

Para realização do tratamento estatístico dos dados, primeiramente, foi retirado dos dados que se apresentavam 3 vezes maior e menor da média de economia de combustível (eq. 1). Este processo foi repetido até todos os dados se encontrarem dentro

da faixa de 3 vezes o desvio padrão maior ou menor que a media de economia de combustível.

$$X_i = (3 \times DESVPAD) \pm EC_m \quad (1)$$

Em que:

X_i : Resultado da economia de combustível linha de base para retirada dos dados discrepantes

$DESVPAD$: Desvio padrão;

EC_m : Média da economia de combustível (km/l);

Após o procedimento estatístico descrito anteriormente, foi realizado o teste do qui-quadrado para avaliar a distribuição da amostra, buscando ver sua aproximação com a distribuição normal. Este teste compara a distribuição dos valores observados (H_1) com os valores esperados (H_0). Os valores observados (H_1) foram encontrados através da equação 2 e os valores esperados através da equação 3, obtido através de uma função do Excel (versão 2007). Para o teste do qui-quadrado foi considerado o nível de significância de 99%. Desta forma se H_1 for menor que H_0 , não se pode rejeitar a hipótese de que a H_1 se aproxima de uma distribuição normal.

$$H_1: \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2)$$

Em que:

H_1 : Teste estatístico cumulativo de Pearson, que se aproxima assintoticamente a uma distribuição normal;

O_i : Frequência observada;

E_i : Frequência esperada, baseado na distribuição normal;

n = Quantidade de dados coletados.

$$H_0: INV. QUI(\alpha; (k - 1)) \quad (3)$$

Em que:

H_0 : O valor teórico do qui-quadrado obtido através da tabela de distribuição do qui-quadrado;

α : A probabilidade associada à distribuição qui-quadrada;

$K - 1$: Grau de liberdade.

Com relação aos dados de economia de combustível (km/l), para calcular O_i e E_i os dados obtidos foram divididos em intervalos de 0,25 km/l entre cada grupo de dados, ou seja, foram agrupados os dados entre 0,01 e 0,24 km/l, depois os dados de 0,25 e 0,49

km/l, e assim em diante. Seguindo este padrão para cada cenário, antes e depois do treinamento, os dados foram divididos em 6 grupos de dados no caso do P6 e 8 grupos de dados para o P19. Entretanto para o caso do P19, os grupos de dados iniciam a partir de 1,00 km/l.

Para verificar a incerteza estatística dos resultados encontrados, foi realizado o teste *T-Student*, com base nos dados de economia de combustível e tamanho da amostra. Entretanto este teste é realizado apenas nos casos que obtiveram resultados aceitáveis no teste do qui-quadrado, ou seja, $H_1 < H_0$.

3.2.Método de Avaliação Financeira

Para avaliação financeira utilizou-se o método de fluxo de caixa, pois o objetivo é avaliar a viabilidade de obter retorno do investimento feito para aplicar o treinamento de *Eco-driving*. Desta forma o fluxo de caixa se mostra um método eficiente, pois avalia a montante de entradas e saídas de capital durante um período de tempo determinado pelo projeto.

O método de avaliação financeira baseia-se no fluxo de caixa mensal uniforme, em que o custo adicional do treinamento de *Eco-driving* (VPLT) será distribuído mensalmente por igual, representado um custo de capital (CC) (Eq. 4), utilizando o fator de recuperação (FR) (Eq. 5), o custo fixo, determinado a partir do custo de capital menos o crédito de carbono (CrC), (Eq. 6) será considerado para cada tipo de veículo (tipo de veículo j). Estes custos podem ser recuperados de acordo com a economia monetária (EM) (Eq. 7) alcançada pela melhora da economia de combustível, em função do aumento na economia de combustível e da intensidade da atividade.

$$CC = (VPLT) \times FR \quad (4)$$

Em que:

CC: Custo de Capital [R\$/month]

VPLT: valor presente líquido de todos os custos para a realização do treinamento de *Eco-driving* [R\$]

FR: Fator de recuperação de capital [adimensional]

$$FR = j \times \left\{ \frac{(1 + j)^n}{(1 + j)^n - 1} \right\} \quad (5)$$

Em que:

n: Prazo do projeto [meses]

$$CrC_j = PCa \times FEC \times FS_j \quad (6)$$

Em que:

CrC_j: Crédito de carbono para o tipo de veículo j [R\$/mês]

PCa: Preço do carbono (CO₂) [R\$/kg_{CO2}]

FEC: Fator de emissão de CO₂ [kg_{CO2}/l_{combustível}]

FS_j: Economia mensal de combustível por tipo de veículo j [l_{combustível}/mês]

$$EM_j = PC \times FS_j \quad (7)$$

Em que:

EM_j: Economia monetária para o tipo de veículo j [R\$/mês]

PC: Preço do combustível [R\$/l_{combustível}]

FS_j: Economia mensal de combustível por tipo de veículo j [l_{combustível}/mês]

Para o caso específico da frota de veículos da COMLURB de coleta de resíduos em áreas urbanas, foram consideradas as seguintes informações: VPLT = R\$ 20.751,58 (para uma turma de até 30 alunos), considerando a aplicação de 10 treinamentos de *Eco-driving* durante 5 anos (2 treinamentos por ano) (CNT, 2013); j = 0.09/ano (taxa SELIC); n = 60 meses; PCa = R\$ 0,0519/kg (BM&F BOVESPA, 2008 *apud* LIPINSKI, 2012); FEC = 2.671 kg/l (MMA, 2011); PC = R\$ 1.98/l (ANP, 2012); Esta análise considera um ciclo de vida de 5 anos para os veículos, por ser uma exigência da COMLURB, os veículos de coleta de resíduos devem ser trocados a cada 5 anos, por veículos novos.

3.3.Método de Avaliação Ambiental

Este item apresenta a metodologia de avaliação ambiental da aplicação do treinamento de *Eco-driving* em veículos de coleta de resíduos em áreas urbanas. O aspecto ambiental será medido através da emissão de poluentes atmosféricos (em kg ou g). São eles: o CO₂, principal gás de efeito estufa, e os poluentes locais monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não-metano (NMHC), óxidos de azoto (NOx), e material particulado (MP).

A estimativa das emissões dos poluentes atmosféricos selecionados serão feitos com base na equação 8 e considerando as seguintes informações: que a distância mensal

percorrida pelo P6 e P19 são, respectivamente, 5.200 e 10.000 km. (COMLURB, 2013) e os fatores de emissão apresentados na tabela 10.

$$ET_i = (FE_i) \times (D_j/EC_j) \quad (8)$$

Em que:

ET_i: Emissão total do tipo de poluente atmosférico i [kg ou g]

FE_i: Fator de emissão do poluente i [kg/l ou g/l]

D: Distância média percorrida do tipo de veículo j [km]

EC_j: Economia de combustível [km/l]

Tabela 10: Fatores de Emissão

Referência	Economia de Combustível (km/l)	CO ₂ (kg/l)	CO (g/l)	NMHC (g/l)	NO _x (g/l)	MP (g/l)
a – P6	1,21					
b – P6	1,22					
a – P19	1,70	2,71	3,66	0,64	7,30	0,073
b – P19	1,83					

Fonte: Adaptado de “Greenhouse Gas Inventory and Emissions Scenario of Rio de Janeiro City - Brazil Technical Summary” (2011).

3.4. Considerações Finais

Buscou-se nesta pesquisa selecionar métodos de aplicação e avaliação do treinamento de *Eco-driving* que sejam exequíveis e confiáveis, ou seja, que torne o *Eco-driving* uma opção real a ser pensada pelos tomadores de decisão (de empresas públicas e privadas).

Como já foi comentado anteriormente, o *Eco-driving* se mostra uma solução dentro da logística verde, em que é possível avaliar sua viabilidade financeira e os benefícios ambientais. Com os métodos sugeridos nesta pesquisa, divulga-se uma forma de avaliar o quanto o *Eco-driving* contribui ao tripé da sustentabilidade, considerando aspectos econômicos, ambiental e social.

No aspecto econômico observa-se que a opção de aplicar o treinamento de *Eco-driving* em uma frota de veículos de carga pode ser avaliada financeiramente, de forma que seja possível identificar se é uma solução viável, considerando o investimento realizado e o retorno de capital.

No aspecto ambiental, pode-se mensurar a quantidade de poluentes atmosféricos emitidos antes e após a realização do treinamento de *Eco-driving*. Desta forma a empresa pode mostrar o quanto contribui com o meio ambiente, através da redução da emissão de poluentes atmosféricos.

Quanto ao aspecto social, observa-se que é possível gerar um bem estar maior dos motoristas, pois estarão agregando conhecimentos aplicáveis na profissão. Desta forma agregando valor ao capital humano.

4. ESPECIFICAÇÃO DO ESTUDO DE CASO E CARACTERIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DOS VEÍCULOS SELECIONADOS

Esta dissertação foi elaborada com base no estudo de caso do projeto realizado por meio do acordo de cooperação técnica entre a C40 e a Fundação Clinton com o Programa de Engenharia de Transportes (PET) da COPPE/UFRJ, em especial realizado pelo Laboratório de Transporte de Carga (LTC), onde o autor desta dissertação participou ativamente.

Este projeto foi dividido em 3 relatórios. No primeiro relatório objetivou-se definir o plano de teste, incluindo engajamento e educação dos condutores e definir a forma de coleta dos dados, considerando a seleção das variáveis e a frequência de sua obtenção.

No segundo relatório buscou-se desenvolver um projeto de avaliação do benefício do uso de “pneus verdes” (com baixa resistência ao rolamento), buscando estabelecer um plano de medição da economia de combustível e buscar a relação entre a manutenção dos veículos e medição de opacidade.

O terceiro relatório teve como objetivos: descrever os procedimentos e apresentar os resultados relativos ao treinamento de *Eco-driving*, os teste de opacidade, a análise de pneus usados (inservíveis) e do perfil de carregamento de resíduos. Também foram apresentadas as limitações enfrentadas durante o projeto.

Ao longo deste projeto contou-se também com a colaboração de diferentes instituições, como a CNT, a COMLURB, a empresa privada prestadora de serviço do ramo de aluguel de veículos que opera a frota da COMLURB e a fabricante de pneus.

4.1. Descrição Operacional

Neste item o foco é descrever a operação realizada pelos veículos que serão considerados nesta pesquisa. Tanto para análise financeira quanto ambiental serão considerados dois casos de análise. O primeiro é o estudo de caso e o segundo é a projeção dos resultados obtidos para toda frota da COMLURB, correspondente aos veículos do estudo de caso. Desta forma com base na tabela 4 (item 3.1.1), foi elaborada a tabela 11, que apresenta os dois casos desta pesquisa.

Tabela 11: Frota da COMLURB do Caso Específico e Geral

Casos	Tipo dos Veículos	Quantidade
1 (Caso Específico)	P6	7
	P19	4
2 (Caso Geral)	P5	18
	P5A	10
	P6	97
	P7	80
	P25	18
	P19	43

Fonte: Elaborado pelo autor, 2013

Com base em dados fornecidos pela COMLURB (2012) e também através de acompanhamento de operações em campo, realizados nas datas de 08/03/2013 e 13/03/2013, foram levantadas as informações necessárias para a descrição operacional dos veículos dos casos estudados.

Nos casos dos veículos compactadores e de transferência de resíduos para o aterro sanitário, entende-se que para cada veículo há 2 motoristas fixos, que alternam os turnos de trabalho. Com relação à rotina operacional, pode-se afirmar que os compactadores atuam nos bairros da Cidade do Rio de Janeiro, ou seja, operam em áreas densamente populosas e construídas, atuando principalmente em áreas residenciais, com o objetivo de realizar a coleta de lixo domiciliar. Compactadores são veículos que operam em baixa velocidade, em média 12 km/h, e possuem uma característica de andar e parar frequentemente para coletar o lixo.

No caso do P19, este é o veículo responsável pela transferência do lixo da ETR (Estação de Transferência de Resíduos) para a CTR (Centro de Tratamento dos Resíduos). Este veículo possui uma operação mais contínua, ou seja, não possui pontos de paradas intermediários, é um veículo que opera com o objetivo de levar o lixo de um ponto inicial a um ponto final.

A seguir apresenta-se a descrição operacional dos compactadores e veículos de transferência de resíduos, testados nesta pesquisa:

- P19 – Este veículo leva o lixo da ETR, no Caju, para a CTR, em Seropédica. Este veículo percorre longas distâncias diárias sem paradas, percorrer uma media de 70

km a cada viagem realizada da ETR para a CTR e vice-versa. Busca-se sempre carregar o veículo em seu limite permitido (26 toneladas). Ele percorre 140 km por viagem, em que 70 km são percorridos com o caminhão cheio e os outros 70 km é percorrido vazio.

- Compactadores – Este tipo de veículo tem a função principal de coleta de resíduo domiciliar, operando em rotas determinadas pela COMLURB. Este veículo possui uma operação lenta, em que há uma média de paradas a cada 50 metros para coletar lixo. Ao longo da rota, quando o veículo alcança sua capacidade de carregamento, dirige-se a ETR para descarregar. Depois da descarga, retorna ao local do roteiro onde havia parado de coletar. Assim repetindo este processo até que todo o lixo do roteiro determinado tenha sido coletado.

4.2. Área de Implementação do Projeto Piloto

Este experimento possui área de atuação indicada na Figura 6 onde as áreas demarcadas compreendem, respectivamente, 6,3% e 6,8% dos valores totais de população e domicílios das áreas de estudo em relação ao total do município do Rio de Janeiro.

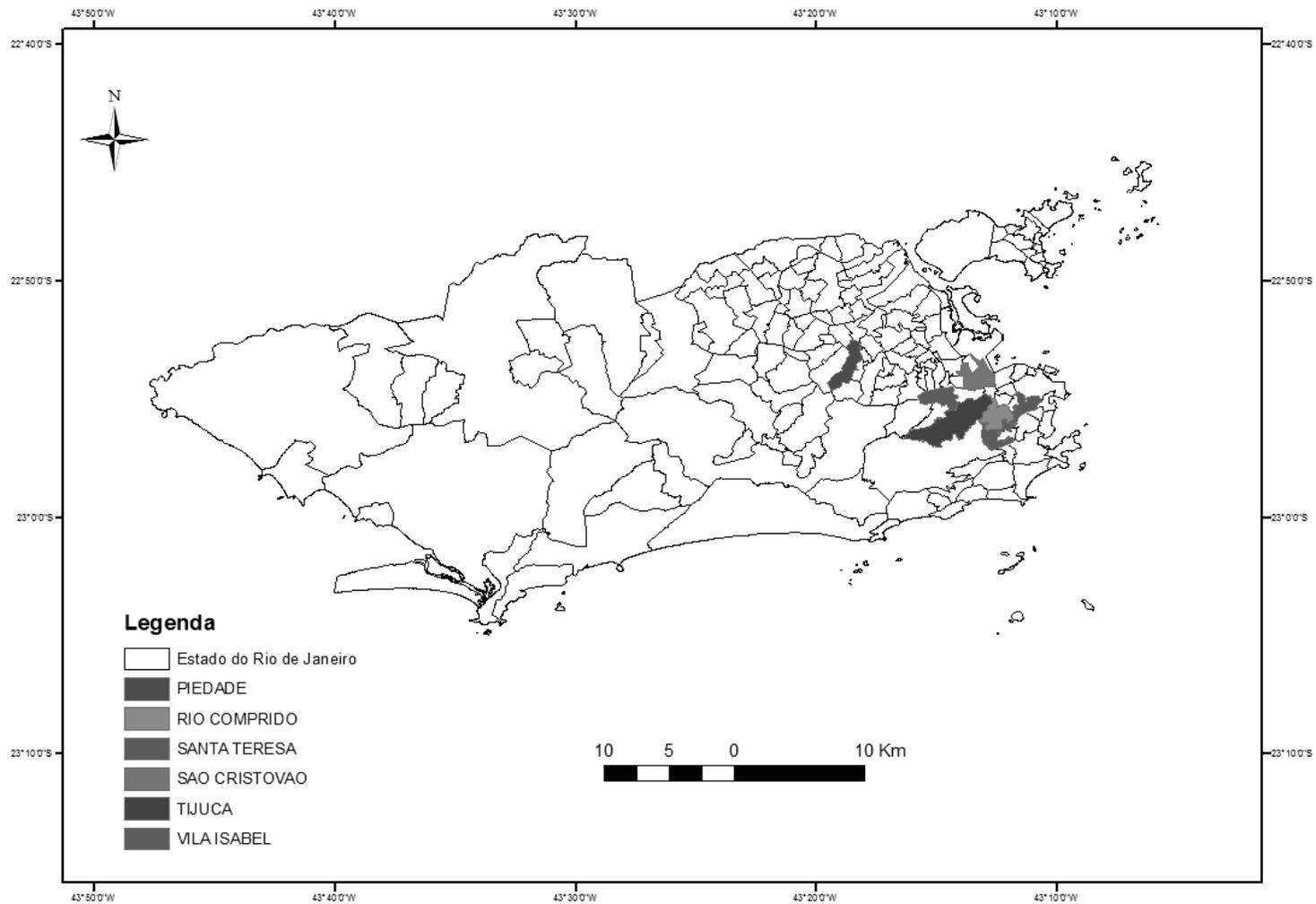


Figura 6: Área de atuação dos veículos compactadores da tabela 4 – Elaboração do Autor, 2013

Entende-se que as áreas indicadas na Figura 6 possuem diferentes características geográficas, urbanas e de tráfego, ou seja, devem ser consideradas as externalidades das condições de operação nestas áreas ao aplicar soluções sustentáveis na cadeia logística de coleta de resíduos urbanos.

Com relação aos veículos do tipo P6, cada um (na tabela 6) possui uma rota diferente, com condições diferentes de roteiros, atuando sobre as áreas demarcadas da Figura 6. Entretanto os veículos referentes ao tipo P19 possuem os mesmos roteiros atuando sempre entre a estação de transferência de Santa Cruz e o aterro de Seropética/RJ.

4.3. Considerações Finais

Observa-se que a amostra do P6 do estudo de caso equivale a 3,1% da frota completa de compactadores de COMLURB. No caso dos veículos do tipo P19 do estudo de caso, representa 9,3% do total de veículos do tipo P19 da COMLURB. De uma forma geral o estudo de caso representa 4,1% do caso geral desta pesquisa.

As áreas de atuação dos veículos do estudo de caso são densamente populosas e urbanizadas. As áreas residenciais deste espaço de atuação dos veículos são caracterizadas pela verticalização urbana, ou seja, houve substituição das casas, por prédios residenciais. Desta forma gerando maior adensamento populacional e conseqüentemente maior produção de resíduos domiciliares.

Especialistas da COMLURB, afirmam que os roteiros de coleta de resíduos domiciliares são os mesmos a, pelo menos, 1 década. Desta forma, pode-se observar que isto torna a operação de coleta ainda mais complicada, pois o que um veículo deveria coletar de resíduos em um determinado tempo, ha 10 anos atrás, hoje pode ser que esta quantidade seja o dobro, para ser coletado no mesmo tempo.

Observa-se que há um desgaste operacional, por conta deste fator da intensificação da urbanização, e isto pode refletir sobre as condições de trabalho de um motorista ao operar um veículo de coleta de resíduos em áreas urbanas.

5. RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados encontrados. Para isso, buscou-se separar a sua exposição em pré e pós treinamentos da seguinte forma: Os resultados referentes ao período pré treinamento serão intitulados com a letra “a”; e os resultados referentes ao período pós os treinamentos realizados serão intitulados com a letra “b”. Para cada caso serão avaliados os quesitos financeiros e ambientais já estabelecidos.

5.1.Caso Específico

Para o veículos tipo P6, a partir dos valores do teste de qui-quadrado (Tabela 12) observou-se que a distribuição dos dados obtidos nos períodos pré e pós treinamento acompanham a distribuição normal. Desta forma pôde-se realizar os cálculos de incerteza estatísticas (Tabela 13) nos períodos “a” e “b”, obtendo-se incerteza, respectivamente, de 4% e 2% para cada período.

Tabela 12: Teste do Qui-quadrado nos valores de economia de combustível do P6

Teste do Qui-quadrado com 99% de nível de confiança		
Períodos	H0	H1
A	1,24	0,10
B	1,24	0,01

Fonte: Elaborado pelo autor, 2013

Tabela 13: Incerteza Estatística (P6 – dos valores em km/l)

Incerteza Estatística (95% de nível de confiança)	
Períodos	Incerteza Estatística
a	4%
b	2%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2013

Quanto ao resultado alcançado após os dois treinamentos realizados com os motoristas dos veículos do tipo P6, pode-se afirmar, com base na Tabela 14, que houve uma melhora de 0,8% na economia de combustível.

Tabela 14: Economia de Combustível – P6

Resultados	
Períodos	km/l
a	1,21
b	1,22

Fonte: Elaborado pelo autor, 2013

Para o caso do P19 observou-se que os resultados do teste qui-quadrado no pré e pós treinamento (Tabela 15), indica que os valores possuem distribuição próxima da normal. Desta forma possibilitando o cálculo da incerteza estatística (Tabela 16), que para as situações “a” e “b” foram 4%.

Tabela 15: Teste do Qui-quadrado para os valores de economia de combustível do P19

Teste do Qui-quadrado com 99% de nível de confiança		
Períodos	H0	H1
a	2,09	1,97
b	2,09	1,98

Fonte: Elaborado pelo autor, 2013

Tabela 16: Incerteza Estatística (P19 – dos valores em km/l)

Incerteza Estatística (95% de nível de confiança)	
Cases	Incerteza Estatística
a	4%
b	4%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2013

Quanto ao resultado alcançado após os dois treinamentos realizados nos motoristas dos veículos do tipo P19, pode-se afirmar, com base na Tabela 17, que houve uma melhora de 7,6% na economia de combustível.

Tabela 17: Economia de Combustível – P19

Resultados	
Períodos	km/l
a	1,70
b	1,83

Fonte: Elaborado pelo autor, 2013

Com relação aos resultados encontrados para a economia de combustível para os dois tipos de veículos testados, observa-se que a melhora para o veículo tipo P6 ficou abaixo do menor percentual encontrado na revisão bibliográfica, que foi 1%. O veículo tipo P19 atingiu uma melhora de 7,6%, um pouco mais aderente ao intervalo dos resultados obtidos na revisão bibliográfica. A razão destes resultados pode estar associada às características particulares dos veículos e suas operações. O P19 realiza uma operação igual a dos veículos testados nos trabalhos revisados, ou seja, um veículo que tem o

objetivo de levar a carga de um ponto inicial até um ponto final, sem paradas durante o caminho.

5.1.1. Avaliação Financeira

Neste item será analisado os resultados de avaliação financeira do estudo de caso que envolve 7 veículos P6 e 4 veículos P19.

Nesta análise o valor total do investimento para realizar 2 treinamentos de *Eco-driving* por ano, durante 5 anos, foi parcelado por 60 vezes, considerando a taxa SELIC de 0,09/ano. Desta forma o valor mensal para realizar os 2 treinamentos ficou R\$ 427,24 para apenas 1 turma, que é o caso analisado neste item.

Observa-se na Figura 7, no caso do P6, que mesmo considerando o crédito de carbono, o retorno financeiro se inicia, aproximadamente, aos 4500 km por mês. Considerando que a média de distância percorrida mensalmente pelo P6, no estudo de caso, é de 5200 km por mês. Ao longo de todo o mês, para o caso do P6, deixaram de ser gastos, aproximadamente, R\$ 455,41 com consumo de combustível, superando o investimento inicial de R\$ 427,24.

Para o caso do P19, o estudo de caso se mostrou mais favorável (Figura 7), uma vez que a quilometragem mensal média do P19 é de 10.000 km e o retorno financeiro sem a inclusão dos créditos de carbono ocorre a partir de, aproximadamente, 2.500 km. Com a inclusão do crédito de carbono o retorno ocorre aproximadamente a partir de 2.000 km. Ao longo de todo o mês, para o caso do P19, deixaram de ser gastos, aproximadamente, R\$ 1.711,79 com consumo de combustível, superando o investimento inicial de R\$ 427,24.

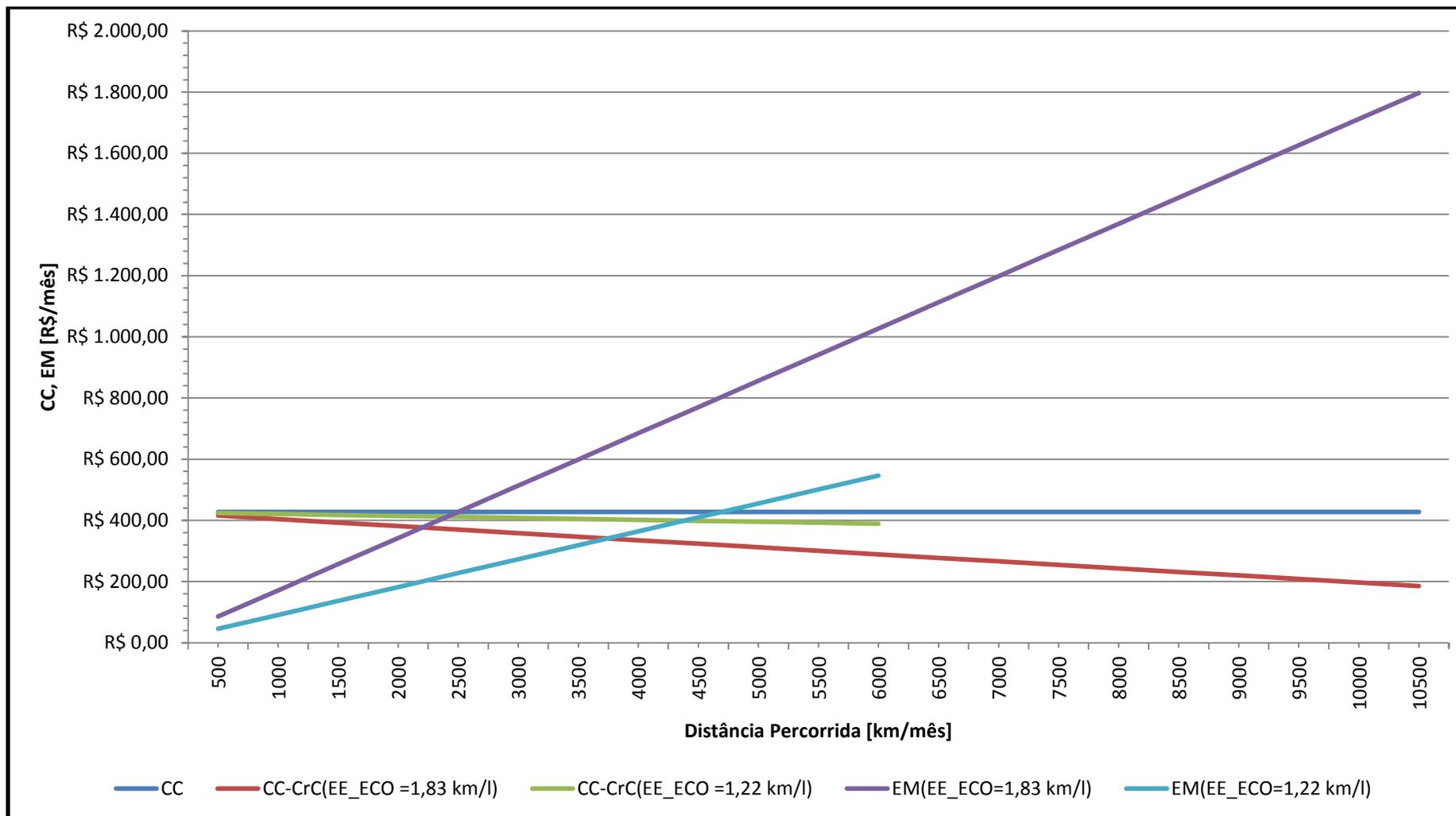


Figura 7: Análise de Viabilidade Financeira do Treinamento de *Eco-driving* para o Estudo de Caso

Pela análise realizada da Figura 7, afirma-se que no estudo de caso os dois veículos testados apresentaram resultados favoráveis, ou seja, obtiveram retorno financeiro antes de completar a média mensal de quilometragens percorridas. Ao alcançar a média mensal de distância percorrida, o P6 e o P19 superaram, respectivamente, 6,59% e 300,66% o valor do investimento inicial.

Sendo mais específico em relação ao que deixou de ser gasto com os créditos de carbono, pode-se observar que no caso do P6, aos 5200 km percorridos, houve uma redução aproximada de 8% do investimento inicial, sem considerar os créditos de carbono. Para o caso do P19 esta redução foi de, aproximadamente, 53%, aos 10000 km percorridos. Desta forma, observa-se que para o caso do P19, há um maior potencial de aproveitamento dos créditos de carbono.

5.1.2. Avaliação Ambiental

Neste item será calculada a emissão de poluentes atmosféricos para o caso específico antes e depois de dois treinamentos de *Eco-driving*, considerando a metodologia descrita no item 4.3 e os desempenhos alcançados, apresentados nas tabelas 14 e 17. Os poluentes avaliados nesta pesquisa são o CO₂, CO, NMHC, NO_x e MP. Para avaliação ambiental será considerada uma média mensal de 5.200 km (P6) e 10.000 km (P19).

A Tabela 18 apresenta os resultados alcançados, em quesito de emissão de poluentes atmosféricos, pelo grupo de veículos do tipo P6. Observa-se inicialmente que houve uma redução geral das emissões em 0,8%, ou seja, reduzindo, aproximadamente, 246 kg de CO₂ emitidos mensalmente. Os poluentes locais obtiveram uma redução que varia entre, aproximadamente, 18 g e 1.800 g.

Tabela 18: Emissão de Poluente Atmosféricos pelo P6 – Estudo de Caso – 7 Veículos

Emissão de Poluentes – P6							
Referência	Economia de combustível (km/l)	l/mês	CO2(kg)	CO (g)	NMHC (g)	NOx (g)	PM (g)
a	1,21	30.082,64	81.523,96	110.313,1	19.523,63	219.693,5	2.195,97
b	1,22	29.836,03	80.855,74	109.408,9	19.363,61	217.892,8	2.177,98
Redução	#	246,61	668,22	904,19	160,02	1.800,75	17,99
Redução (%)	#	0,82%	0,82%	0,82%	0,82%	0,82%	0,82%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2013

No caso do P19, na Tabela 19, observa-se que houve uma redução geral da emissão de poluentes atmosféricos de 7,1%. Para o CO₂ deixaram de ser emitidos, aproximadamente, 4.500 kg, e para os poluentes locais houve uma variação de 122 g a 12.206 g que deixaram de ser emitidos.

Tabela 19: Emissão de Poluente Atmosféricos pelo P19 – Estudo de Caso – 4 Veículos

Emissão de Poluentes - P19							
Referência	Economia de combustível (km/l)	l/mês	CO2(kg)	CO (g)	NMHC (g)	NOx (g)	PM (g)
a	1,70	23529,4	63764,68	86282,32	15270,56	171835,3	1717,64
b	1,83	21857,92	59234,96	80153	14185,76	159628,4	1595,6
Redução	#	1671,48	4529,72	6129,32	1084,8	12206,88	122,04
Redução (%)	#	7,10%	7,10%	7,10%	7,10%	7,10%	7,11%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2013

5.2. Caso Geral

Este item tem o intuito de simular os resultados encontrados no estudo de caso (ou caso específico) para o caso geral, ou seja, utilizar-se das eficiências encontradas no caso específico e gerar resultados, supondo que o treinamento de *Eco-driving* tivesse sido aplicado para toda a frota da COMLUBR, com perfil apresentado na Tabela 11 (item 5.1).

Verifica-se que além do veículo tipo P6 existem mais 4 tipos de caminhões compactadores, somando uma frota de 223 veículos. Toda a frota de veículos do P19

corresponde a 43 veículos. A frota de compactadores e P19 correspondem, respectivamente, a 33,8% de 6,5% de toda a frota de veículos da COMLURB.

Nesta avaliação serão feitos 2 gráficos diferentes para cada tipo de veículo, pois seriam necessárias 15 turmas de treinamento para atender todos os motoristas dos compactadores e 3 turmas de treinamento para atender os motoristas do veículos do tipo P19.

5.2.1. Avaliação Financeira

A Figura 8 apresenta a avaliação financeira da implantação do treinamento de *Eco-driving* na frota de compactadores da COMLURB. Supondo que todos alcançaram um melhora de desempenho de 0,8% na economia de combustível como foi encontrado no estudo de caso.

São 223 veículos, ou seja, 446 motoristas. Para atender a todos os motoristas, foi necessário formar 15 turmas, onde cada turma possui 30 alunos. Desta forma, o valor de investimento total para realização de dois treinamentos por ano, durante 5 anos, foi de, aproximadamente, R\$ 311.273,00, que acarretaram gasto mensal de, aproximadamente, R\$ 6.408,00.

Diferente do estudo de caso, em que o retorno financeiro passa a ocorrer a partir 4.500 km, o caso geral se mostra mais favorável, pois este retorno passa a acontecer a partir de, aproximadamente, 2.250 km. Considerando que a média de quilometragem percorrida por todos os compactadores varia entre, aproximadamente, 4.000 km e 5.000 km, a aplicação do *Eco-driving* apresenta-se positivo para este caso. Entretanto, assim como o caso dos créditos de carbono do estudo de caso, este também proporcionou diferenças pouco significativas da quilometragem necessária para o retorno financeiro. Esta diferença variando em torno de 200 km. Ao longo de todo o mês, para o caso do geral dos compactadores, deixaram de ser gastos, aproximadamente, R\$ 14.508,16 com consumo de combustível, superando o investimento inicial de R\$ 6.408,00.

Quando analisando a possibilidade de uso dos créditos de carbono no caso dos compactadores, observa-se que aos 5000 km percorridos há uma redução de, aproximadamente, 15% do investimento inicial sem os créditos de carbono.

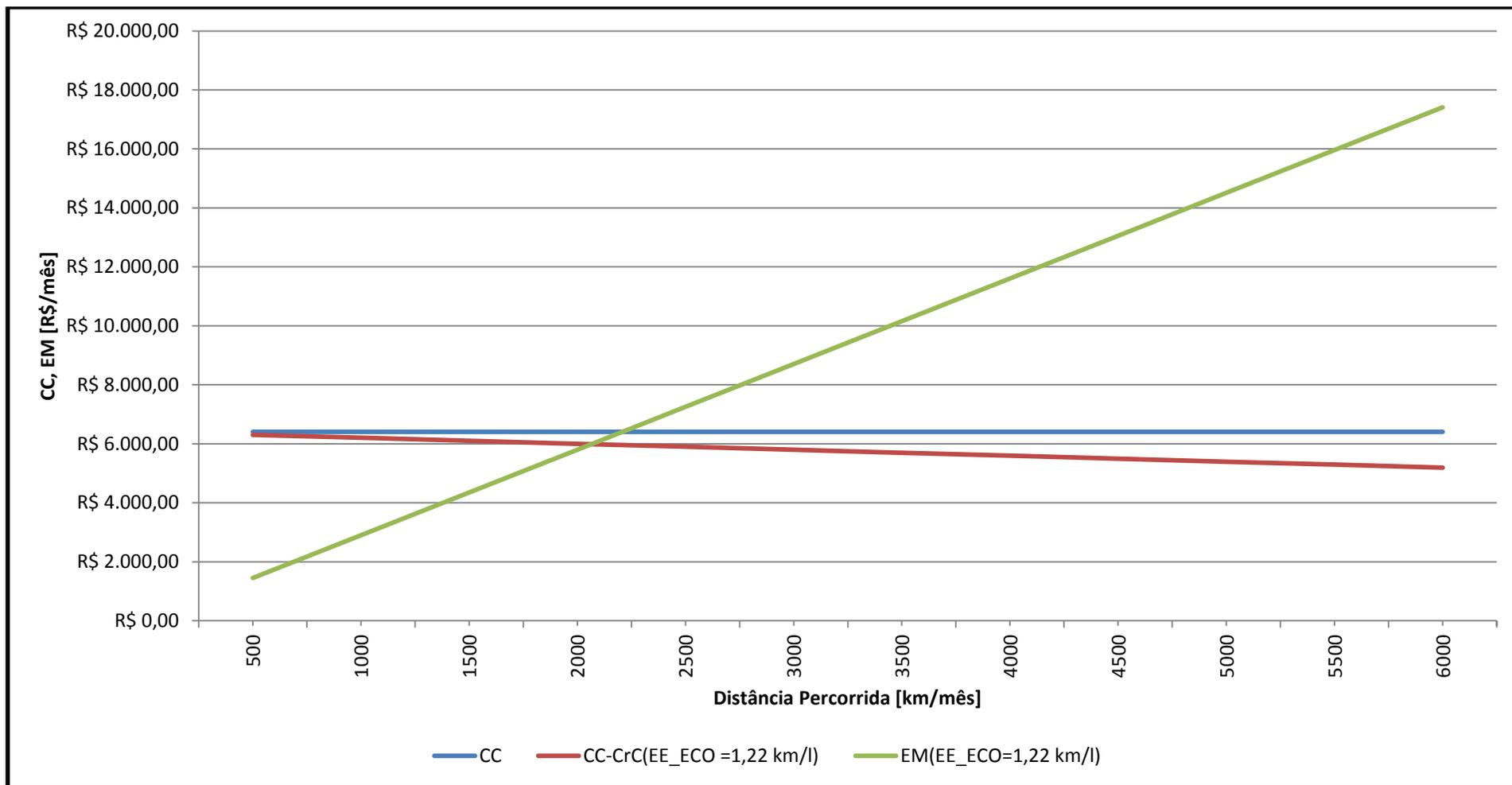


Figura 8: Análise de Viabilidade Financeira do Treinamento de *Eco-driving* para o Caso Geral – Compactadores – 223 veículos

No caso da avaliação da frota do P19 (Figura 9), será considerada a melhora de desempenho na economia de combustível alcançado no estudo de caso para este veículo, que foi de 7,6%.

O treinamento de *Eco-driving* será aplicado hipoteticamente em uma frota de 43 veículos e 86 motoristas, que corresponde à frota da COMLURB de veículos do tipo P19. Esta situação irá requisitar a montagem de 3 turmas, de 30 alunos, que receberão os dois treinamentos de *Eco-driving* por ano, durante 5 anos. Isto consistirá no investimento total de, aproximadamente, R\$ 62.250,00, e investimento mensal de R\$ 1.280,00.

A Figura 9 demonstra que o investimento realizado para o treinamento dos motoristas da frota de veículo do tipo P19 é favorável desde os primeiros 500 km percorridos. Diferente do caso anterior, em que o crédito de carbono não proporcionou diferenças significativas, este caso mostra que através dos créditos de carbono é possível obter o retorno total do investimento, e a partir do momento em que a linha do crédito de carbono passa a ser negativo, por volta de 5.000 km. Ao longo de todo o mês, para o caso do geral dos compactadores, deixaram de ser gastos, aproximadamente, R\$ 35.441,69 com consumo de combustível, superando de forma significativa o investimento inicial de R\$ 1.280,00.

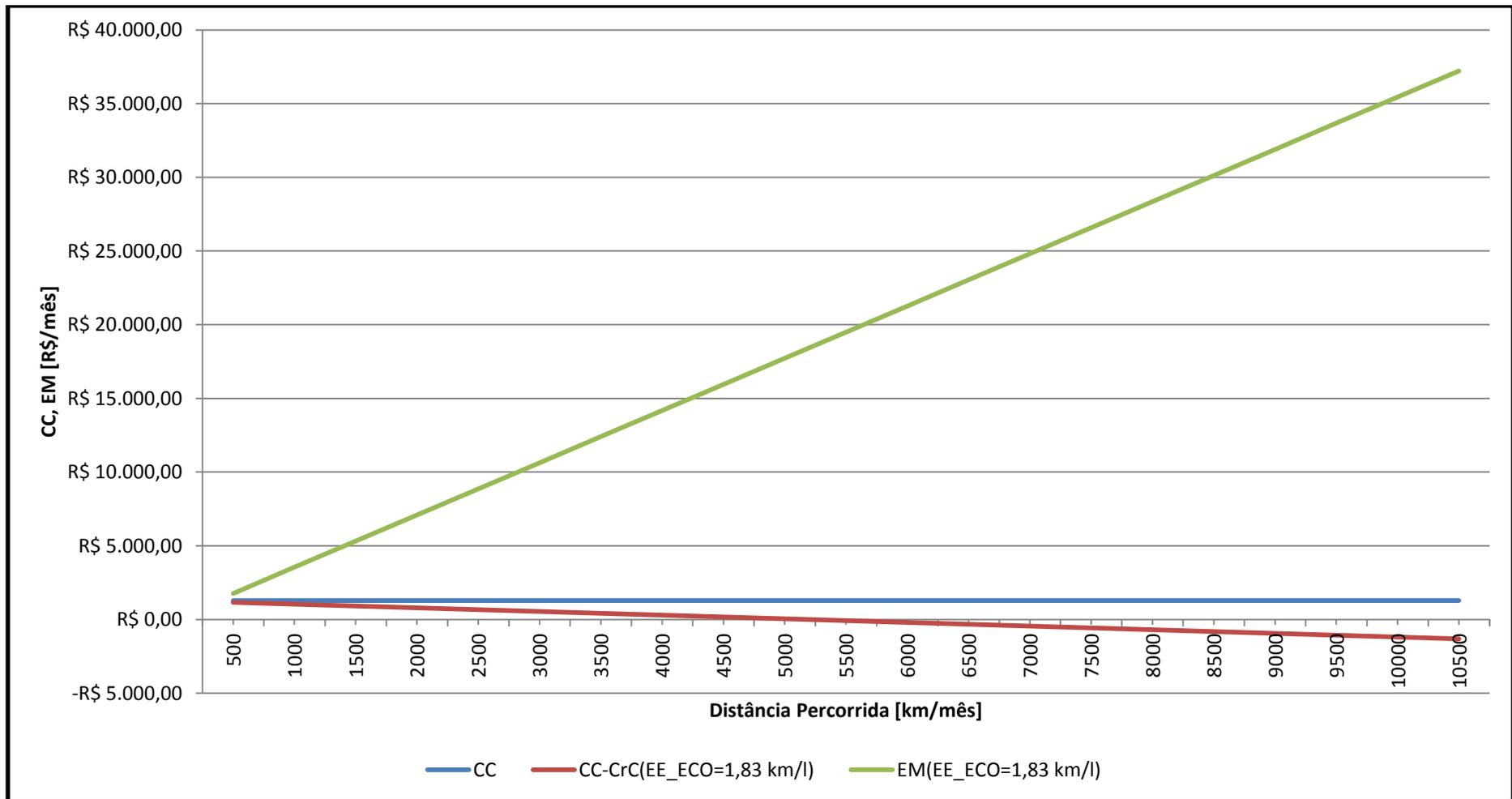


Figura 9: Análise de Viabilidade Financeira do Treinamento de *Eco-driving* para o Caso Geral – Veículos do Tipo P19 – 43 veículos

Para os casos gerais analisados, tanto para os compactadores quanto para a frota de veículos do tipo P19, obtiveram-se resultados positivos, uma vez que com margem grande de quilometragem percorrida pôde-se observar o retorno financeiro do investimento realizado no *Eco-driving*. Para o caso do P6, obteve-se retorno financeiro com uma margem que varia entre 2.000 km e 3.000 km antes da média observada de quilometragem percorrida mensalmente pelos compactadores. Para os veículos do tipo P19 obteve-se margem de 10.000 km em relação à quilometragem média observada, pois, já nos primeiros 500 km percorridos já haveria o retorno do investimento.

Observou-se para a aplicação no caso geral, que quando se alcança média mensal de distância percorrida, nos compactadores e nos veículos do tipo P19, foi superado, respectivamente, um percentual, aproximado, de 26,40% e 2668,88% o valor do investimento inicial para cada caso.

5.2.2. Avaliação Ambiental

Este item busca avaliar as emissões de poluentes atmosféricos do caso geral considerado nesta pesquisa. As emissões serão calculadas com base na equação 5, entretanto para todos os compactadores serão considerados o mesmos fatores de emissão e economia de combustível do veículo tipo P6, do estudo de caso e também sobre a suposição de que a média de quilometragem percorrida para toda frota de compactadores mensalmente é 5.200 km, como se observa para o veículo tipo P6. Para o cálculo das emissões para a frota de veículos do tipo P19, serão também considerados os mesmos valores de quilometragem média, fatores de emissão e economia de combustível do caso específico.

A tabela 20 tem o objetivo de apresentar as emissões de CO₂, CO, NMHC, NO_x e MP antes a após os treinamentos de *Eco-driving*. Pode-se observar que o percentual de redução da emissão de poluentes atmosféricos foi de 0,8%. Este percentual surtiu na redução de 21.287 kg na emissão de CO₂ e quanto aos poluentes locais a redução da emissão variou entre 573 g e 57.366 g. A menor e maior quantidade de poluentes locais que deixaram de ser emitidas são, respectivamente, de material particulado e o NO_x.

Tomando como referência o estudo de caso, o aumento de poluentes que deixaram de ser emitidos no caso geral dos compactadores foi de 3.185%, para cada poluente atmosférico.

Tabela 20: Emissão de Poluente Atmosféricos pela Frota de Compactadores - 223 Veículos

Emissão de Poluentes – Frota de Compactadores							
Referência	Economia de combustível (km/l)	l/mês	CO2(kg)	CO (g)	NMHC (g)	NOx (g)	PM (g)
a	1,21	958.347,0	2.597.120	3.514.259	621.967,1	6.998.808	69.957,33
b	1,22	950.490,7	2.575.833	3.485.454	616.869,3	6.941.441	69.384,22
Redução	#	7.856,29	21.287,58	28.804,91	5.097,78	57.366,75	573,11
Redução (%)	#	0,82%	0,82%	0,82%	0,82%	0,82%	0,82%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2013

Na tabela 21 apresenta os resultados correspondentes à emissão da frota de 43 veículos do tipo P19. Observa-se que o percentual de redução de emissão de poluentes atmosféricos alcançou um valor de 7,1%, para todos os poluentes considerados. Esta redução corresponde a 48.694 kg de CO₂ e dos poluentes locais alcançou-se até 131.224 g de NO_x.

Tabela 21: Emissão de Poluente Atmosféricos pela Frota de Veículos P19 – 43 Veículos

Emissão de Poluentes – Frota de Veículos do Tipo P19							
Referência	Economia de combustível (km/l)	l/mês	CO2(kg)	CO (g)	NMHC (g)	NOx (g)	PM (g)
a	1,70	252.941,1	685.470,3	927.534,9	164.158,5	1.847.229	18.464,63
b	1,83	234.972,6	636.775,8	861.644,8	152.496,9	1.716.005	17.152,7
Redução	#	17.968,41	48.694,49	65.890,19	11.661,6	131.224	1.311,93
Redução (%)	#	7,10%	7,10%	7,10%	7,10%	7,10%	7,11%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2013

Foi observado potencial de benefícios ambientais significativos por meio da aplicação do treinamento de *Eco-driving* para toda a frota de compactadores e de veículos do tipo P19 da COMLURB. Para os compactadores e veículos do tipo P19 houve redução de emissão de aproximadamente 3.000% e 1.000% de massa de poluentes, em comparação com o estudo de caso.

6. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este item aborda o atingimento dos objetivos da pesquisa, apresenta considerações e sugestões e finaliza com comentários sobre as limitações da pesquisa.

6.1. Atingimento dos Objetivos

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar os benefícios financeiros e ambientais da aplicação do treinamento de *Eco-driving* aos motoristas de uma frota de veículos de coleta de lixo em áreas urbanas. Este objetivo foi alcançado nesta pesquisa ao longo do cumprimento dos objetivos específicos. Os benefícios financeiros podem ser representados pela economia mensal estimada para a frota dos compactadores e dos veículos do tipo P19, que foi, respectivamente, de R\$ 8.100,00 e R\$ 34.161,00, considerando que o investimento no treinamento já está quitado, ou seja, ao longo dos 5 anos para a frota de compactadores haveria uma economia de R\$ 486.000,00 e para o a frota dos veículos do tipo P19 seria uma economia, aproximada, de R\$ 2 milhões, sem os créditos de carbono.

Os benefícios ambientais estimados para estes mesmos dois casos são representados respectivamente por uma redução de 0,8% e 7,1% nas emissões dos poluentes atmosféricos medidos. Unindo os resultados dos veículos do caso geral, deixam de ser emitidos, aproximadamente, 4 mil toneladas CO₂, no período de 5 anos (aproximadamente, 214 mil reais em créditos de carbono).

Quanto aos objetivos específicos, eles foram atingidos inicialmente pela caracterização da cadeia de coleta de resíduos da COMLURB, com foco na operação dos veículos testados. Foi realizada uma revisão bibliográfica das experiências relativas ao *Eco-driving* no Brasil e no mundo e identificaram-se métodos exequíveis de avaliação financeira e ambiental desta atividade, os quais foram aplicados ao estudo de caso. E no final, os resultados gerados foram analisados com base nas duas perspectivas de avaliações propostas (financeira e ambiental).

Pode-se afirmar que os objetivos estabelecidos foram alcançados, e que o *Eco-driving*, se mostrou uma ferramenta viável para aprimorar a sustentabilidade no transporte de

resíduos urbanos, ou seja, além de proporcionar o retorno financeiro, por conta de seus efeitos sobre a economia de combustível, também reduz a emissão de CO₂, um dos principais componentes do GEE, e poluentes locais.

6.2. Considerações e Sugestões

Foi observado ao longo desta pesquisa, que o *Eco-driving* não envolve apenas o comportamento do motorista, mas também a manutenção preventiva e a escolha do roteiro do veículo. Desta forma, entende-se que para uma aplicação mais eficiente do *Eco-driving* é importante realizar manutenção preventiva em uma frequência que mantenha o veículo em melhores condições de uso, considerando que o motorista tenha o comportamento de condução de acordo com as técnicas do *Eco-driving*. Este é um ponto a se considerar em pesquisas futuras, avaliar os efeitos de uma gestão eficiente de manutenção preventiva nos veículos de coleta de lixo em áreas urbanas, uma vez que a operação de coleta de lixo pela sua complexidade gera desgastes de proporções significativas no veículo, prejudicando seu desempenho, independente do comportamento do motorista. Este fato é particularmente importante em cidades onde as infraestruturas viárias são deficientes, como se observa na cidade do Rio de Janeiro. Acredita-se que o desempenho com o treinamento do *Eco-driving* pode ser ainda maior que os resultados alcançados nesta pesquisa se houver manutenção preventiva adequada dos veículos.

Com base nas revisões bibliográficas realizadas nesta pesquisa, foi observado que questões relativas ao *Eco-driving* passaram a ser abordados na década de 2000, ou seja, é um tema recente e existem ainda poucas publicações acadêmicas quanto a este tema. Desta forma, pode-se afirmar que este trabalho contribui com os seguintes pontos: reunir os trabalhos atuais mais significantes no tema e realiza a primeira, no melhor de nosso conhecimento, aplicação e avaliação de *Eco-driving* em frotas de veículos de coleta de lixo em áreas urbanas com resultados estimados.

Para pesquisas futuras, além da avaliação da eficácia da manutenção preventiva, sugere-se realizar revisões sobre questões relativas a políticas públicas, avaliando a possibilidade de implementar o *Eco-driving* como uma ferramenta de sustentabilidade que seja obrigatório através de cursos para habilitar o cidadão a dirigir veículos leves ou

pesados. Desta forma, o *Eco-driving* contribuiria não só para o transporte de carga, mas também para automóveis particulares, pois são os dois tipos de transporte que geram maior quantidade de emissão de CO₂ no Brasil.

6.3. Limitações da Pesquisa

As limitações do projeto se apresentaram ao longo do levantamento de dados e condições de teste. Com relação ao levantamento de dados, buscou-se a possibilidade de utilização de equipamentos que medissem com maior precisão o consumo de combustível e emissão de poluentes atmosféricos, entretanto são equipamentos com preço de compra e aluguel maiores do que os recursos financeiros do projeto. Desta forma, realizaram-se tratamentos estatísticos para minimizar os erros de levantamento de dados de economia de combustível, e utilizou-se de cálculos de emissão de poluentes pelos fatores de emissão levantados na revisão bibliográfica.

As condições de teste envolviam fatores externos incontroláveis. Apesar da preocupação de escolher a amostra de forma lógica, com base em características específicas de operação, os fatores ligados ao tráfego urbano, desenho urbano e condições viárias ainda se fizeram presentes. Embora, estes elementos deem uma realidade mais acurada dos resultados, eles dificultam a generalização dos resultados.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDO, R; NISHIHORI, Y (2011): How does driving behavior change when following an eco-driving car? In *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 20, pp. 577–587.

BARKENBUS, J. N. (2010): Eco-driving: An overlooked climate change initiative. In *Energy Policy* 38 (2), pp. 762–769.

BARTH, M; BORIBOONSOMSIN, K (2009): Energy and emissions impacts of a freeway-based dynamic eco-driving system. In *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 14 (6), pp. 400–410.

IPCC (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report*. <http://www.ipcc.ch/>.

IPEA (2012). *A Nova Lei de Diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana*. Comunicados do IPEA. 06 de janeiro de 2012. Acesso em: <http://www.ipea.gov.br>

CNT/SEST/SENAT – Caminhoneiro amigo do meio ambiente. – Brasília : CNT, 2012.

COPPE and Rio Prefeitura. 2011. *Greenhouse Gas Inventory and Emissions Scenario of Rio de Janeiro, Brazil: Technical Summary*. Available: <http://www.rio.rj.gov.br/web/smac/exibeconteudo?article-id=2351770>

DEKKER, R., BLOEMHOF, J., MALLIDIS, I. (2012). Operations Research for green logistics—An overview of aspects, issues, contributions and challenges. *European Journal of Operational Research*, 219(3), 671-679.

GTZ (2005). *Sustainable Transport: A Sourcebook for policy-makers in developing cities*. Module 4f, Ecodriving. Federal Ministry for Economic Cooperation and development, Germany.

LEAL Jr, I. C.; D'AGOSTO, M. A. (2012). Ações de ecoeficiência para melhoria do desempenho no transporte rodoviário de produtos perigosos. *TRANSPORTES*, 20(3), 5-17.

LIN, C. Y., HO, Y. H. (2011). Determinants of green practice adoption for logistics companies in China. *Journal of business ethics*, 98(1), 67-83.

MAN (2013). *Ganhos Energéticos do Caminhão Híbrido*. 1º Seminário Internacional de Eficiência Energética. Confederação Nacional de Transportes. Brasília, 05 de Junho de 2013.

MCT, 2004. Ministério da Ciência e Tecnologia (Ministry of Science and Technology), 2004. *Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa*. Relatórios de referência para emissões e remoções de dióxido de carbono por conversão de florestas e abandono de terras cultivadas, Brasília.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA) (2011). Primeiro inventário de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários – relatório final. Jan. 2011. Disponível em: < www.mma.gov.br>.

MMA (2011). Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Versão Preliminar. Brasília-DF.

MME (2012). Estudo associado ao plano decenal de energia – PDE 2021: consolidação de bases de dados do setor de transporte: 1970-2010. Nota técnica SDB-Abast No 1/2012. Empresa de Pesquisa Energética – Ministério de Minas e Energia – Brasil.

OGBURN, M. L.; RAMROTH, A. B. 2008. Transformational trucks: Determining the energy efficiency limits of a class-8 tractor trailer. Snowmass, CO: Rocky Mountain Institute. Publ.#T08-08, www.rmi.org/rmi/Library/T08-08_TransformationalTrucksEnergyEfficiency.

SBIHI, A., EGLESE, R. W. (2007). Combinatorial optimization and green logistics. *Operational Research*, 5(2), 99-116.

SILVA, W. B (2007). Aprendizagem: um estudo da contribuição da capacitação de motoristas de caminhão para a redução dos custos operacionais da frota. Dissertação apresentada à Banca Examinadora da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.

SIVAK, M; SCHOETTLE, B (2012): Eco-driving: Strategic, tactical, and operational decisions of the driver that influence vehicle fuel economy. In *Transport Policy* 22, pp. 96–99.

TIAN, H., GAO, J., HAO, J., LU, L., ZHU, C., QIU, P. (2013). Atmospheric pollution problems and control proposals associated with solid waste management in China: A review. *Journal of hazardous materials*.

TRANSPORT RESEARCH BOARD (TRB). Committee to Assess Fuel Economy Technologies for Medium-, and Heavy-Duty Vehicles. *Technologies and Approaches to Reducing the Fuel Consumption of Medium-and Heavy-duty Vehicles*. National Academy Press, 2010

UBEDA, S., ARCELUS, F. J., FAULIN, J. (2011). Green logistics at Eroski: A case study. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 44-51.

WORLD BANK. Brazil Green Freight Transport Report: World Bank NLTA: “Mainstreaming Green Trucks in Brazil”. (2011)

WORLD BANK. Guangzhou Green Trucks Pilot Project: Technology Pilot Report for the World Bank “Truck GHG Emission Reduction Pilot Project”. (2011)

YOUNG, M. S; BIRRELL, S. A; STANTON, N. A. Safe driving in a green world: a review of driver Performance benchmarks and technologies to support smart driving. *Applied Ergonomics*, 42(4):533-539, 2011.

ZARKADOULA, M; ZOIDIS, G; TRITOPOULOU, E (2007): Training urban bus drivers to promote smart driving: A note on a Greek eco-driving pilot program. In *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 12 (6), pp. 449–451.

UNITED NATIONS (1998). *Kyoto Protocol, Kyoto*. Nations framework convention on climate change.

Banco Mundial - <http://data.worldbank.org> - acesso em: 20/05/2013

Dados cedidos: COMLURB, 2013

ANEXO I

Base de dados

Dados Pré-Treinamento																			
Amostras de dados dos veículos de Tipo P6																			
Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l
1	1,79	16	1,10	31	1,48	46	0,98	61	1,20	76	1,15	91	1,34	106	1,22	121	1,36	136	1,61
2	1,06	17	0,80	32	1,43	47	0,15	62	1,02	77	1,42	92	1,29	107	1,21	122	1,31	137	1,50
3	0,93	18	0,86	33	1,20	48	1,16	63	1,14	78	1,24	93	1,13	108	1,08	123	1,55	138	1,24
4	1,24	19	0,94	34	1,33	49	1,05	64	0,97	79	1,11	94	1,57	109	4,45	124	1,17	139	1,11
5	1,08	20	0,94	35	0,76	50	1,62	65	0,47	80	1,03	95	1,52	110	4,49	125	1,68	140	1,01
6	0,66	21	1,21	36	1,69	51	0,87	66	0,63	81	2,07	96	1,12	111	6,63	126	1,25	141	1,34
7	0,77	22	0,68	37	1,35	52	1,17	67	1,23	82	1,39	97	0,84	112	1,70	127	1,06	142	2,38
8	1,24	23	0,49	38	1,02	53	1,38	68	1,08	83	0,81	98	1,46	113	2,00	128	1,14	143	1,19
9	1,02	24	1,24	39	1,35	54	0,63	69	1,10	84	2,46	99	1,55	114	4,48	129	1,43	144	0,93
10	1,58	25	2,25	40	1,77	55	0,99	70	1,55	85	2,16	100	0,84	115	1,19	130	1,18	145	1,09
11	1,31	26	3,17	41	1,31	56	1,00	71	1,40	86	2,22	101	1,72	116	2,81	131	1,06	146	1,25
12	1,03	27	1,48	42	0,92	57	1,10	72	1,04	87	1,37	102	0,94	117	1,26	132	1,18	147	1,21
13	1,01	28	1,22	43	1,15	58	1,63	73	1,11	88	3,09	103	1,15	118	1,21	133	1,19	148	1,35
14	1,79	29	1,63	44	1,05	59	2,06	74	0,95	89	2,62	104	1,08	119	0,73	134	1,33	-	-
15	0,77	30	1,10	45	1,38	60	5,87	75	1,28	90	1,32	105	1,15	120	1,35	135	1,19	-	-

Fonte: COMLURB, 2013

Dados Pós-treinamento																					
Amostras de dados dos veículos de Tipo P6																					
Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l		
1	1,40	31	1,29	61	1,45	91	1,04	121	1,02	151	1,54	181	1,15	211	1,51	241	1,04	271	1,34	301	1,33
2	1,17	32	1,27	62	0,95	92	0,89	122	1,55	152	0,79	182	1,41	212	1,15	242	1,60	272	1,32	302	1,36
3	1,04	33	0,91	63	1,27	93	1,23	123	1,20	153	1,07	183	0,90	213	1,56	243	1,37	273	1,55	303	1,50
4	1,19	34	1,50	64	1,11	94	0,92	124	1,76	154	1,10	184	1,13	214	1,14	244	1,32	274	1,02	304	1,40
5	1,29	35	0,98	65	1,57	95	0,95	125	0,94	155	1,34	185	1,36	215	1,30	245	1,31	275	1,52	305	1,46
6	1,11	36	1,09	66	1,22	96	0,98	126	1,24	156	1,17	186	1,38	216	1,28	246	1,10	276	1,29	306	1,23
7	0,98	37	1,15	67	1,14	97	0,92	127	1,35	157	1,06	187	1,21	217	1,28	247	1,11	277	1,05	307	1,58
8	1,21	38	1,21	68	1,22	98	0,91	128	1,09	158	0,87	188	1,25	218	1,15	248	0,93	278	1,30	308	1,01
9	1,10	39	1,19	69	1,06	99	0,92	129	0,93	159	1,47	189	1,10	219	1,52	249	1,31	279	1,26	309	1,36
10	1,37	40	1,21	70	0,75	100	1,10	130	1,17	160	1,70	190	1,37	220	1,24	250	1,69	280	1,31	310	1,26
11	0,87	41	1,08	71	0,93	101	1,19	131	1,28	161	0,79	191	1,26	221	1,21	251	1,02	281	1,38	311	1,00
12	1,38	42	1,18	72	1,41	102	1,57	132	1,14	162	1,15	192	0,94	222	1,27	252	0,94	282	1,52	312	1,41
13	1,09	43	1,20	73	1,12	103	0,97	133	1,12	163	1,27	193	1,39	223	1,44	253	1,51	283	0,73	313	1,40
14	1,20	44	1,21	74	1,39	104	0,91	134	0,97	164	1,31	194	1,12	224	1,20	254	1,04	284	1,37	314	1,20
15	1,30	45	1,21	75	1,21	105	1,36	135	1,27	165	1,58	195	0,73	225	1,23	255	1,10	285	1,20	315	1,15
16	1,11	46	1,40	76	1,16	106	0,88	136	0,99	166	0,98	196	1,60	226	1,26	256	1,42	286	1,18	316	1,00
17	1,37	47	1,18	77	1,32	107	0,99	137	1,05	167	1,37	197	1,08	227	1,49	257	1,56	287	1,19	317	1,31
18	1,11	48	1,42	78	1,15	108	1,20	138	1,21	168	1,22	198	1,26	228	1,66	258	0,79	288	1,27	318	1,85
19	1,00	49	1,50	79	0,97	109	0,73	139	1,47	169	1,53	199	1,26	229	1,29	259	1,60	289	1,32	319	1,35
20	1,04	50	0,94	80	1,04	110	0,96	140	1,09	170	1,16	200	1,38	230	1,22	260	0,93	290	1,21	320	1,37
21	1,08	51	1,29	81	1,29	111	0,74	141	1,15	171	1,19	201	1,48	231	1,36	261	1,24	291	1,35	321	1,30
22	1,21	52	1,55	82	1,72	112	0,88	142	1,17	172	1,48	202	1,27	232	1,22	262	1,56	292	1,22	322	1,19
23	1,25	53	0,99	83	1,33	113	0,96	143	1,25	173	1,47	203	1,27	233	1,36	263	1,44	293	1,59	323	1,47
24	0,79	54	1,16	84	1,16	114	1,56	144	1,34	174	1,04	204	1,62	234	1,27	264	1,07	294	1,38	324	1,17
25	1,20	55	1,28	85	1,25	115	0,80	145	1,16	175	1,41	205	1,21	235	1,34	265	0,76	295	1,17	325	1,45
26	1,13	56	0,95	86	0,87	116	0,94	146	0,92	176	1,12	206	1,54	236	1,26	266	1,40	296	1,28	326	1,17
27	1,08	57	1,41	87	1,21	117	1,09	147	1,35	177	1,40	207	1,32	237	1,32	267	1,60	297	1,18	-	-
28	1,00	58	1,25	88	0,86	118	1,37	148	1,20	178	1,40	208	1,52	238	1,30	268	1,03	298	1,37	-	-
29	1,23	59	1,32	89	1,23	119	0,88	149	1,33	179	1,54	209	1,16	239	1,50	269	1,23	299	1,01	-	-
30	0,86	60	1,19	90	0,78	120	1,05	150	1,06	180	0,93	210	1,25	240	1,67	270	1,21	300	1,29	-	-

Fonte: COMLURB, 2013

Dados Pré-Treinamento									
Amostras de dados dos veículos de Tipo P19									
Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l
1	1,42	16	2,33	31	2,50	46	1,50	61	1,36
2	1,58	17	1,43	32	2,63	47	3,19	62	1,50
3	1,49	18	1,58	33	1,50	48	1,75	-	-
4	1,57	19	1,49	34	1,52	49	1,65	-	-
5	1,38	20	1,42	35	1,48	50	1,35	-	-
6	1,46	21	1,42	36	1,60	51	1,49	-	-
7	1,44	22	1,42	37	1,53	52	1,41	-	-
8	2,10	23	2,80	38	1,49	53	2,60	-	-
9	1,98	24	2,21	39	1,61	54	2,52	-	-
10	2,15	25	1,51	40	1,33	55	1,54	-	-
11	1,26	26	1,41	41	1,47	56	1,55	-	-
12	1,85	27	1,37	42	1,93	57	1,39	-	-
13	1,53	28	1,43	43	2,68	58	1,49	-	-
14	1,54	29	1,45	44	2,21	59	1,45	-	-
15	2,63	30	1,33	45	1,48	60	2,64	-	-

Fonte: COMLURB, 2013

Dados Pós-Treinamento																					
Amostras de dados dos veículos de Tipo P19																					
Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l	Ordem	km/l
1	1,50	16	1,59	31	1,54	46	1,50	61	2,89	76	1,70	91	1,52	106	1,63	121	1,80	136	1,48	151	1,37
2	1,67	17	1,73	32	1,58	47	1,58	62	1,43	77	1,63	92	1,46	107	1,50	122	1,44	137	2,43	152	1,56
3	1,80	18	1,61	33	1,55	48	3,25	63	1,50	78	3,35	93	1,59	108	1,53	123	1,62	138	2,01	153	1,65
4	1,81	19	1,61	34	1,53	49	2,86	64	1,35	79	2,35	94	1,55	109	3,00	124	1,58	139	2,43	154	2,04
5	1,51	20	1,55	35	1,56	50	2,56	65	1,43	80	1,64	95	1,55	110	1,50	125	1,58	140	1,45	155	1,53
6	1,49	21	1,55	36	1,53	51	1,96	66	1,49	81	2,07	96	3,02	111	1,46	126	2,81	141	2,11	156	1,50
7	1,62	22	1,57	37	1,48	52	1,63	67	3,12	82	1,75	97	1,59	112	1,54	127	2,32	142	1,75	157	3,22
8	1,75	23	1,44	38	2,97	53	1,83	68	1,47	83	1,65	98	1,98	113	2,96	128	1,61	143	1,75	158	2,61
9	1,56	24	3,02	39	1,17	54	2,46	69	3,10	84	1,72	99	2,64	114	1,48	129	1,66	144	1,94	-	-
10	1,63	25	2,88	40	1,51	55	1,88	70	1,45	85	1,73	100	1,50	115	1,71	130	1,52	145	3,08	-	-
11	2,46	26	2,54	41	1,68	56	1,91	71	1,60	86	1,74	101	1,64	116	1,53	131	1,71	146	1,82	-	-
12	1,52	27	1,54	42	1,57	57	1,83	72	1,57	87	1,58	102	3,33	117	1,63	132	1,56	147	1,58	-	-
13	1,46	28	1,60	43	1,31	58	1,46	73	1,69	88	1,59	103	1,48	118	1,61	133	1,68	148	1,70	-	-
14	1,62	29	1,52	44	1,64	59	3,22	74	1,50	89	1,59	104	2,31	119	1,58	134	1,64	149	1,80	-	-
15	1,53	30	1,54	45	1,55	60	1,72	75	2,45	90	1,62	105	1,50	120	1,55	135	1,94	150	1,91	-	-

Fonte: COMLURB, 2013

ANEXO II

Dados Pré e pós intervenção

Com tratamento estatístico		
Resultados - P19		
Períodos	Km/l	desvio Padrão
a	1,71	0,43
b	1,83	0,51

Fonte: Elaborado pelo autor, 2013

Sem tratamento estatístico		
Resultados - P19		
Períodos	Km/l	desvio Padrão
a	1,73	0,46
b	1,97	0,78

Fonte: Elaborado pelo autor, 2013

Com tratamento estatístico		
Resultados - P6		
Períodos	Km/l	desvio Padrão
a	1,21	0,30
b	1,22	0,21

Fonte: Elaborado pelo autor, 2013

Sem tratamento estatístico		
Resultados - P6		
Períodos	Km/l	desvio Padrão
a	1,42	0,85
b	1,32	0,73

Fonte: Elaborado pelo autor, 2013

ANEXO III

Programação do Treinamento de Eco-driving utilizado na pesquisa

Dias de Aula	Treinamento Teórico e Prático			
	Aulas	Temas e Técnicas	Metodologia	Total de Tempo
1 dia (sábado ou domingo)	1	Regras Básicas de Segurança e problemas específicos da Comlurb	Aula Teórica	5 horas
	2	Guiar com previsão; Usar Corretamento o Freio		
	3	Manter Velocidade Constante; Trafegar Apenas com o Veículo Engrenado		
	4	Operar na Faixa ideal de RPM; Trocar a marcha no RPM correto; não acelerar durante a troca de marcha		
	5	Calibragem do Pneu; evitar ponto morto		
	6	Revisão das Técnicas		
	7	Todas as Técnicas	Aula Prática	3 horas

Fonte: Elaborado pelo autor, 2013

ANEXO IV

Relatório: Treinamento de Eco-driving realizado no dia 05/05/2013

Objetivo

O treinamento do dia 05/05/2013, diferentemente do primeiro treinamento, buscou-se reforçar o aprendizado do primeiro treinamento e compreender as dificuldades dos motoristas para colocar o aprendizado do *Eco-driving* em prática, na operação diária.

Aplicação do treinamento

O treinamento ocorreu no dia já citado, iniciando as 8:00 e terminando por volta de 11:30. A tabela 1 apresenta as etapas do treinamento.

Tabela 1 : Atividades Realizadas no Treinamento de *Eco-driving* no dia 05/05/2013

Etapas	Horário	Atividade
1	8:00 – 8:30	Apresentação da C40 e apresentação individual de cada participante do treinamento (todos os presentes)
2	8:30 – 8:40	Leitura de uma história motivacional (Leão e o Rato)
3	8:40 – 9:30	Os motoristas apresentaram as suas dificuldades com relação à operação diária (depoimentos).
4	9:30 – 10:00	Coffee Brake
5	10:00 – 10:30	O motoristas apresentam suas sugestões e outros depoimentos relativos as condições de aplicações do <i>Eco-driving</i> .
6	10:30 – 11:30	Revisão das técnicas do <i>Eco-driving</i> e aplicação de exercício interativo.

Fonte: Elaborado pelo autor

A primeira e segunda etapa teve o objetivo de motivar os motoristas a participarem mais ativamente do treinamento.

Dificuldades dos Motoristas (Etapa 3)

Nesta parte serão apresentados de forma resumida os depoimentos dos motoristas (de forma anônima). Depoimentos presentes na tabela 2.

Tabela 2: Depoimentos dos motoristas com relação à operação diária

Motoristas	Depoimentos
1	<p>Quando foi realizar uma operação de coleta de lixo em uma das comunidades do Rio de Janeiro, o motorista percebeu que estava ocorrendo uma “Festa Junina”. Mesmo com a dificuldade de manobrar e coletar o lixo, por conta da “multidão”, realizou a operação de qualquer jeito. Entretanto, uma fiação elétrica estava abaixo da altura do caminhão, então por acidente esbarrou no fio e causou um curto circuito e conseqüentemente acabou a eletricidade na área, e na festa.</p> <p>Com o ocorrido, o motorista sofreu agressões físicas dos moradores. E logo após pediu ajuda para a equipe da empresa que trabalha, e assim socorreram o motorista e chamaram uma empresa para concertar a fiação elétrica da área. (o motorista disse que hoje acha essa história engraçada, mas que quando enfrentou a dificuldade disse que achou que ia morrer)</p>
2	<p>Este motorista relatou as dificuldades de trabalhar, por conta do preconceito de cidadãos. Este preconceito sendo expresso através de agressões verbais e sinais ofensivos para o motorista. Há também desrespeito praticado por parte de motoristas de carros de passeio, por acharem que o caminhão de lixo está atrapalhando. (um tom de revolta)</p> <p>Mas disse também que há cidadãos que respeitam e inclusive oferecem água e comida para o motorista e os garis.</p>
3	<p>Em uma das paradas para coletar lixo domiciliar, o motorista percebeu que havia crianças se aproximando do caminhão, e viu que as crianças começaram a brincar no caminhão. Ele percebeu o perigo e pediu para as crianças saírem do caminhão. (tom de alegria)</p>
4	<p>Em uma das operações de coleta de lixo domiciliar, o motorista se deparou com uma situação de difícil continuidade do trabalho, estava chovendo e a rua parecia instável. O motorista falou para os garis que era melhor esperar a chuva passar para continuar, mas os garis insistiram e disseram que dava para passar. Dessa forma o motorista com dificuldade de convencer os garis, continuou o roteiro, e logo em diante a caminhão afundou na rua e ficou preso. O motorista ficou indignado com a falta de consideração. Ele disse que os garis tinham que ter ouvido ele, pois é ele que está operando o veículo e conhece as condições de operação.</p>

Fonte: Com base no depoimento dos motoristas, no treinamento realizado no dia 05/05/2013

Sugestão e depoimentos dos Motoristas com relação a Eficiência da Operação

Nesta parte serão apresentadas algumas sugestões e depoimentos de diversos motoristas participantes do treinamento:

- Deveria se estender o treinamento para todos os motoristas da empresa e o treinamento deveria ocorrer com mais frequência;
- Manutenção deixa a desejar;
- Ensinar aos motoristas a noção de eficiência;
- Reforçar a necessidade de desligar o caminhão quando for possível;
- Apresentar a importância da direção para o meio ambiente;

- Todos os veículos deveriam ter aceleração automática, pois consome menos durante a compactação;
- Alguns motoristas usam madeira para segurar a aceleração, no momento da compactação;
- Há carros novos consumindo muito combustível;
- Ter manutenção preventiva com mais frequência;
- Pistão sem forçar em alguns veículos;
- 2ª e 3ª a operação dura até 10 horas, em apenas 1 roteiro, pois o volume de lixo é muito maior nestes dias;
- Às vezes o veículo fica 2 horas seguidas compactando lixo;
- Algumas vezes o pessoal da manutenção retira combustível de um veículo para usar em outro, prejudicando o controle da eficiência do motorista;
- Algumas vezes não tem diesel o suficiente para todos os veículo, desta forma, não completando o tanque, e prejudicando também o controle da eficiência;
- Pode acontecer de um motorista treinado folgar, e outro não treinado entrar no lugar, prejudicando o controle da eficiência do motorista, pois o controle é feito por veículo;
- De manhã o trânsito e o roteiro são piores, dessa forma dificultando o controle da eficiência dos motoristas, pois o controle é feito por duplas (por veículo);
- Alguns motoristas tem a impressão que o pessoal da manutenção não dá prioridade para eles;
- Ação imediata da manutenção faria muita diferença;
- O veículo G13 está com a luz de falha grave acendendo, o painel está solto e a caixa de marcha está presa por 2 parafusos;
- G10 também com falha grave, e afeta a eficiência;
- A falha leve e grave trava a marcha, causa estresse e consome muito diesel;
- Excesso de peso afeta os pneus;
- As vezes os motoristas
- Os motoristas sugeriram prêmio diferenciado, com eficiências diferenciadas para alcançar, com base no tipo de roteiro;
- Para o treinamento é importante envolver o pessoal da manutenção, motoristas e operador do tráfego;
- Eles buscam repassar o que eles aprenderam para os colegas de trabalho que não fizeram o treinamento;
- É necessário conscientizar a população da importância da coleta de lixo na cidade;

Conclusão

Na etapa 6, houve uma revisão das técnicas do *Eco-driving*. Com base no exercício interativo que foi aplicado, é possível afirmar que os motoristas absorveram o conhecimento. Entretanto foram apresentadas diversas dificuldades de aplicação do *Eco-driving* envolvendo diferentes agentes. Foram identificados as 3 principais dificuldades na tabela 3.

Tabela 3: Problemas Identificados

Dificuldades	Descrição
Manutenção	Percebe-se que a manutenção preventiva não é realizada com frequência. E a manutenção necessária (emergencial) em muitos casos também não é realizada, dessa forma prejudicando a eficiência.
Relação de Trabalho com os garis	Às vezes é difícil para o motorista tomar a decisão correta, sobre a pressão dos garis.
Preconceito da população	Em alguns casos o motorista sofre agressões verbais durante o trabalho, dessa forma gerando estresse e baixa eficiência.

ANEXO V

Base de dados de avaliação financeira

Avaliação do Caso Específico (Estudo de Caso) do P6 e P19

km	CC	CC-CrC(EE_ECO =1,83 km/l)	CC-CrC(EE_ECO =1,22 km/l)	EM(EE_ECO=1,83 km/l)	EM(EE_ECO=1,22 km/l)
500	R\$ 427,24	R\$ 415,72	R\$ 424,06	R\$ 85,59	R\$ 45,54
1000	R\$ 427,24	R\$ 404,20	R\$ 420,88	R\$ 171,18	R\$ 91,08
1500	R\$ 427,24	R\$ 392,68	R\$ 417,69	R\$ 256,77	R\$ 136,62
2000	R\$ 427,24	R\$ 381,16	R\$ 414,51	R\$ 342,36	R\$ 182,17
2500	R\$ 427,24	R\$ 369,64	R\$ 411,33	R\$ 427,95	R\$ 227,71
3000	R\$ 427,24	R\$ 358,12	R\$ 408,15	R\$ 513,54	R\$ 273,25
3500	R\$ 427,24	R\$ 346,61	R\$ 404,96	R\$ 599,13	R\$ 318,79
4000	R\$ 427,24	R\$ 335,09	R\$ 401,78	R\$ 684,71	R\$ 364,33
4500	R\$ 427,24	R\$ 323,57	R\$ 398,60	R\$ 770,30	R\$ 409,87
5000	R\$ 427,24	R\$ 312,05	R\$ 395,42	R\$ 855,89	R\$ 455,41
5500	R\$ 427,24	R\$ 300,53	R\$ 392,23	R\$ 941,48	R\$ 500,95
6000	R\$ 427,24	R\$ 289,01	R\$ 389,05	R\$ 1.027,07	R\$ 546,50
6500	R\$ 427,24	R\$ 277,49	-	R\$ 1.112,66	-
7000	R\$ 427,24	R\$ 265,97	-	R\$ 1.198,25	-
7500	R\$ 427,24	R\$ 254,45	-	R\$ 1.283,84	-
8000	R\$ 427,24	R\$ 242,93	-	R\$ 1.369,43	-
8500	R\$ 427,24	R\$ 231,41	-	R\$ 1.455,02	-
9000	R\$ 427,24	R\$ 219,89	-	R\$ 1.540,61	-
9500	R\$ 427,24	R\$ 208,37	-	R\$ 1.626,20	-
10000	R\$ 427,24	R\$ 196,86	-	R\$ 1.711,79	-
10500	R\$ 427,24	R\$ 185,34	-	R\$ 1.797,38	-

Fonte: Elaborado pelo autor, 2013

Avaliação do Caso Geral dos Compactadores

km	CC	CC-CrC(EE_ECO =1,22 km/l)	EM(EE_ECO=1,22 km/l)
500	R\$ 6.408,60	R\$ 6.307,22	R\$ 1.450,82
1000	R\$ 6.408,60	R\$ 6.205,84	R\$ 2.901,63
1500	R\$ 6.408,60	R\$ 6.104,46	R\$ 4.352,45
2000	R\$ 6.408,60	R\$ 6.003,08	R\$ 5.803,27
2500	R\$ 6.408,60	R\$ 5.901,69	R\$ 7.254,08
3000	R\$ 6.408,60	R\$ 5.800,31	R\$ 8.704,90
3500	R\$ 6.408,60	R\$ 5.698,93	R\$ 10.155,71
4000	R\$ 6.408,60	R\$ 5.597,55	R\$ 11.606,53
4500	R\$ 6.408,60	R\$ 5.496,17	R\$ 13.057,35
5000	R\$ 6.408,60	R\$ 5.394,79	R\$ 14.508,16
5500	R\$ 6.408,60	R\$ 5.293,40	R\$ 15.958,98
6000	R\$ 6.408,60	R\$ 5.192,02	R\$ 17.409,80

Fonte: Elaborado pelo autor, 2013

Avaliação do Caso Geral dos Veículos do tipo P19

km	CC	CC-CrC(EE_ECO=1,83 km/l)	EM(EE_ECO=1,83 km/l)
500	R\$ 1.281,72	R\$ 1.157,89	R\$ 1.772,08
1000	R\$ 1.281,72	R\$ 1.034,06	R\$ 3.544,17
1500	R\$ 1.281,72	R\$ 910,23	R\$ 5.316,25
2000	R\$ 1.281,72	R\$ 786,39	R\$ 7.088,34
2500	R\$ 1.281,72	R\$ 662,56	R\$ 8.860,42
3000	R\$ 1.281,72	R\$ 538,73	R\$ 10.632,51
3500	R\$ 1.281,72	R\$ 414,90	R\$ 12.404,59
4000	R\$ 1.281,72	R\$ 291,07	R\$ 14.176,67
4500	R\$ 1.281,72	R\$ 167,23	R\$ 15.948,76
5000	R\$ 1.281,72	R\$ 43,40	R\$ 17.720,84
5500	R\$ 1.281,72	-R\$ 80,43	R\$ 19.492,93
6000	R\$ 1.281,72	-R\$ 204,26	R\$ 21.265,01
6500	R\$ 1.281,72	-R\$ 328,09	R\$ 23.037,10
7000	R\$ 1.281,72	-R\$ 451,92	R\$ 24.809,18
7500	R\$ 1.281,72	-R\$ 575,76	R\$ 26.581,26
8000	R\$ 1.281,72	-R\$ 699,59	R\$ 28.353,35
8500	R\$ 1.281,72	-R\$ 823,42	R\$ 30.125,43
9000	R\$ 1.281,72	-R\$ 947,25	R\$ 31.897,52
9500	R\$ 1.281,72	-R\$ 1.071,08	R\$ 33.669,60
10000	R\$ 1.281,72	-R\$ 1.194,91	R\$ 35.441,69
10500	R\$ 1.281,72	-R\$ 1.318,75	R\$ 37.213,77

Fonte: Elaborado pelo autor, 2013