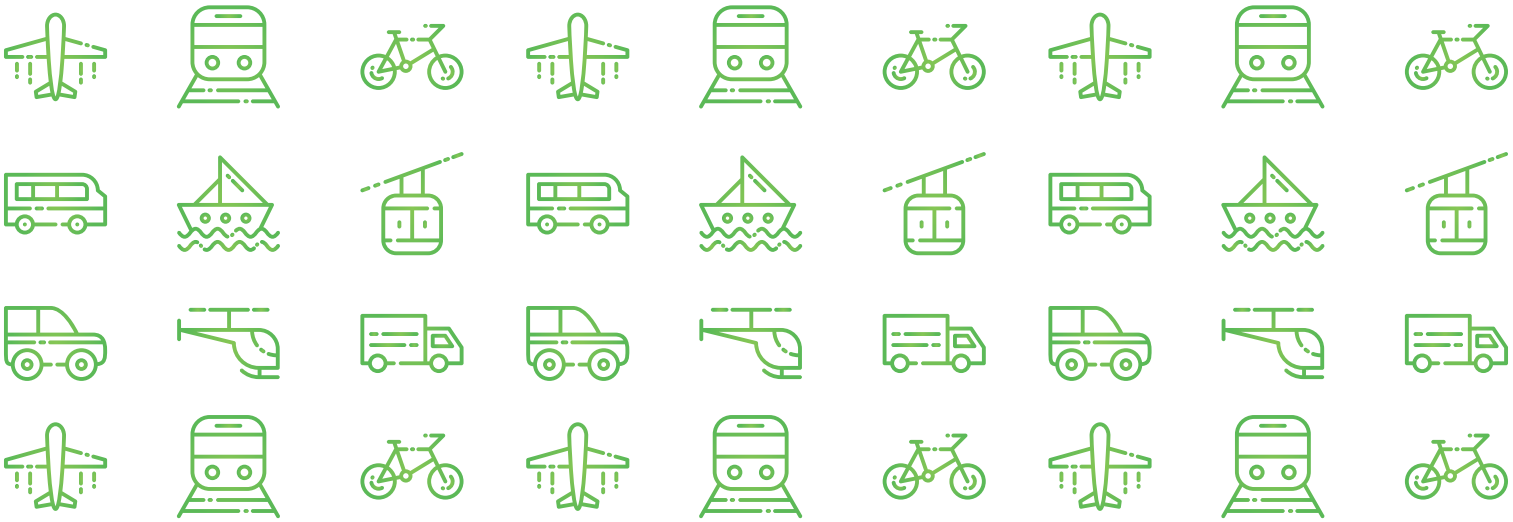
Guia de Aplicação

Um caminho para a logística sustentável



Guia de Aplicação

Um caminho para a logística sustentável

Organizadores

Márcio de Almeida D'Agosto, Cíntia Machado de Oliveira,
Isabela Rocha Pombo Lessi de Almeida e Mariane Gonzalez da Costa

Diagramação

CVDesign Projetos de Comunicação

Rio de Janeiro, 2018
1ª Edição

Editora

Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável (IBTS)

Muito zelo e técnica foram empregados na edição desta obra. No entanto, podem ocorrer erros de digitação, impressão ou dúvida conceitual. Em qualquer das hipóteses, solicitamos a comunicação para que possamos esclarecer ou encaminhar a questão.

Para todos os efeitos legais, a Editora, os autores, os organizadores ou colaboradores relacionados a esta obra não assumem responsabilidade por qualquer dano/ou prejuízo causado a pessoas ou propriedades envolvendo responsabilidade pelo produto, negligência ou outros, ou advindos de qualquer uso ou aplicação de quaisquer métodos, produtos, instruções ou ideias contidos no conteúdo aqui publicado.

A Editora

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-93743-05-4

9 788593 743054

Apresentação

Este Guia de Aplicação: Um Caminho para a Logística Sustentável busca preencher uma lacuna que faz algum tempo se percebeu que existia: apresentar casos efetivos de aplicação prática onde o desempenho de uma das atividades logísticas principais, o transporte de carga, não é avaliado apenas sob a ótica do custo e do nível de serviço, que representam a abordagem usual e limitada ao aspecto econômico-financeiro, mas também considerando o aspecto ambiental e, sempre que possível, o social.

Ampliar o escopo da avaliação de desempenho do transporte de carga, considerando a ótica da sustentabilidade, é uma prática que há muito tempo deixou de ser apenas desejável e passou a ser obrigatória. Ela representa o compromisso da sociedade com a minimização e/ou eliminação dos impactos socioambientais causados pelas atividades econômicas e a garantia da sua sobrevivência em harmonia com o meio ambiente.

Os casos aqui apresentados sintetizam uma parte dos últimos dez anos de atividade de pesquisadores do Laboratório de Transportes de Cargas (LTC), referência na formação de profissionais em diferentes níveis que vão desde a graduação, passando pelo mestrado e doutorado e culminando no pós-doutorado. O LTC é um laboratório vinculado ao Programa de Engenharia de Transportes (PET) do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pósgraduação e Pesquisa (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), renomada instituição de pesquisa e ensino no Brasil e no mundo.

Como poderá ser visto, os relatos aqui apresentados representam com sucesso a colaboração entre a academia e a iniciativa privada e demonstram que o desafio de considerar a sustentabilidade na avaliação de desempenho logístico pode ser vencido com bons resultados, servindo de exemplo para aqueles que ainda pretendem realizar esta empreitada. Aproveitem esta oportunidade de aprimorar o conhecimento neste tema!

Boa leitura!

Márcio de Almeida D'Agosto
Coordenação do LTC

Quem somos?

Márcio de Almeida D'Agosto

Graduado em Engenharia Mecânica e de Automóveis e mestre em Engenharia de Transportes pelo Instituto Militar de Engenharia (1989 e 1999). Doutor em Engenharia de Transportes pela COPPE/UFRJ (2004). Possui experiência profissional em empresas como Companhia Brasileira de Petróleo Ipiranga, SHV/Minasgás S.A. Distribuidora de Gás Combustível e Coca-Cola. Ocupou cargo de Diretor de Planejamento de Transportes na Superintendência Municipal de Transportes Urbanos (SMTU) da Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro. Foi professor do Instituto Militar de Engenharia (IME) e do Instituto Brasileiro de Mercado de Capitais (IBMEC). Desde 2006 é professor do Programa de Engenharia de Transportes da COPPE/UFRJ e Coordenador do Laboratório de Transporte de Carga (LTC). Acumulou experiência nas áreas de Planejamento de Transporte de Carga, Logística e Transportes, Energia e Meio Ambiente, com ênfase em Gestão de Sistemas de Transporte. Foi Presidente da Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes (ANPET), entre 2013 e 2016, ocupando atualmente o cargo de Diretor Executivo da ANPET. É consultor do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) do Ministério de Ciência e Tecnologia e avaliador da área de Engenharias I na Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) do Ministério da Educação e Cultura. Foi autor líder do capítulo 8 (Transportes) do Relatório 5 do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) das Nações Unidas. Coordenou o Capítulo de Transportes do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) do Ministério do Meio Ambiente. É Coordenador Técnico do Programa de Logística Verde Brasil (PLVB).

Cíntia Machado de Oliveira

Graduada em Administração de Empresas pelo Centro Universitário Plínio Leite (2006). Mestre e Doutora em Engenharia de Transporte pela COPPE/UFRJ (2009 e 2015). Possui experiência de oito anos em gestão na área de suprimentos em uma empresa privada do setor naval e nove anos na área de educação como docente e coordenadora do ensino superior. Atualmente é professora de ensino médio técnico e ensino superior nas áreas de portos, engenharia mecânica e engenharia de produção do CEFET-RJ. É também pesquisadora do Laboratório de Transporte de Cargas (LTC) do Programa de Engenharia de Transporte (PET) da COPPE/UFRJ e Coordenadora Técnica do Programa de Logística Verde Brasil (PLVB).

Isabela Rocha Pombo Lessi de Almeida

Graduada em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2016). Estudou um ano no Politecnico di Torino, na Itália, onde também fez estágio em uma empresa de consultoria em engenharia ambiental (Studio Fieschi) na área de Análise de Ciclo de Vida (2014/2015). Atualmente é mestranda em Engenharia de Transportes pela COPPE/UFRJ. É também pesquisadora do Laboratório de Transporte de Cargas (LTC) do Programa de Engenharia de Transporte (PET) da COPPE/UFRJ.

Mariane Gonzalez da Costa

Graduada em Engenharia Ambiental pela Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (2016). Estudou um ano na *Ecole de Mines d'Alès*, na França, e participou de um período de estágio na empresa Veolia Propreté, em *Marseille*, na área de meio ambiente (2013/2014). Atualmente é mestranda em Engenharia de Transportes pela Coppe/UFRJ e atua como pesquisadora no Laboratório de Transporte de Carga (PET) Coppe/UFRJ.

Realização: Apoio: Patrocínio:

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de financiamento 001 e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Introdução

No mundo, os custos logísticos, que envolvem os custos de transporte, manutenção de estoques e processamento de pedidos, representam de 7% a 9% do produto interno bruto (PIB). No Brasil este valor atinge 12% do PIB e cerca de 9% dos custos totais das empresas, com maior peso (em torno de 30%) relacionado ao custo de transporte.

Diferente de outros setores da economia, o transporte ainda é muito dependente de petróleo como fonte de energia, consumindo 93% deste recurso natural esgotável, cuja queima representa uma significativa contribuição nas emissões de dióxido de carbono (CO_2), principal gás de efeito estufa, associado às mudanças climáticas e um dos principais desafios da humanidade para o século XXI.

De 1970 a 2010, a emissão de CO_{2e}[1] dos transportes no mundo cresceu 2,3 vezes, atingindo 7,1 $GtCO_{2e}$ em 2013 e consumindo 29% do petróleo neste mesmo ano. Só o transporte de carga respondeu por 8% das emissões totais destes gases. No Brasil a situação é mais grave! As emissões de CO_2 dos transportes cresceram 5,6 vezes no mesmo período, consumindo 69% do petróleo e gás natural, uma vez que 80% da energia utilizada vem destas fontes, o que o fez responder por 13,8% das emissões de CO_2 em 2015, sendo de 7% o percentual do transporte de carga.

Segundo as Nações Unidas, atualmente 54% da população vive em áreas urbanas, uma tendência crescente no século XXI. Garantir a sustentabilidade para a mobilidade de pessoas e cargas nas cidades é outro desafio de igual envergadura para as próximas décadas, se for considerado que, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), os transportes são a maior fonte de poluentes atmosféricos nas cidades, responsáveis por prejuízos sociais significativos decorrentes de doenças respiratórias, cardiovasculares e neurológicas, stress, lesões e mortes devido a acidentes.

Num mundo onde as reservas de petróleo se tornam escassas e caras, o equilíbrio climático está em jogo e é crescente a necessidade de garantir a qualidade de vida das pessoas que habitam as cidades. Reverter o quadro anterior é um desafio a ser vencido, em particular quando a sociedade enfrenta significativas mudanças na forma de se relacionar, se comunicar, se movimentar, produzir e comercializar. O século XXI se inicia com um mundo em transformação que promoverá as desejadas mudanças rumo a sustentabilidade na logística e nos transportes. As empresas e as pessoas precisam estar preparadas para isso.

Para uma sociedade onde a consciência sobre os impactos socioambientais das suas atividades econômicas é crescente, estas mudanças remetem a ampliação do conceito de logística,

1 CO_{2e}: dióxido de carbono equivalente.

que além de buscar a redução de custos totais e a ampliação do nível de serviço, deve objetivar também a redução dos impactos ambientais promovidos por suas atividades principais, em particular o transporte de carga.

A ampliação deste horizonte conceitual leva a termos como logística de baixo carbono, logística verde e logística sustentável, que acrescentam ao termo "logística" caraterísticas relacionadas à necessária avaliação dos aspectos socioambientais. Destaca-se que a logística de baixo carbono busca especificamente a redução do uso de combustíveis fósseis e da emissão de CO_2. A logística verde amplia a abrangência para a consideração de outros atributos ambientais, como emissão de poluentes atmosféricos, produção de ruído e vibração, consumo de água e geração de resíduos sólidos e líquidos. Já a logística sustentável é a mais abrangente, pois introduz a consideração do aspecto social na avaliação do desempenho logístico.

Nesse contexto, verifica-se o potencial de aprimoramento da gestão do transporte de carga, enquanto atividade principal da logística, com consequente impacto no desempenho socioambiental das cadeias logísticas. Isso é possível por meio da introdução de boas práticas que busquem melhor sustentabilidade desta atividade, com a aplicação de um conjunto de ações orientadas para: (1) redução da atividade do transporte de carga; (2) substituição modal, por meio do uso de modos que sejam os menos energo-intensivos e demandantes de infraestrutura; (3) utilização de veículos mais energo-eficientes, capazes de promover a diminuição da intensidade energética e (4) o uso de fontes de energia que reduzam as emissões líquidas de CO_2, como a energia elétrica de fonte renovável ou os biocombustíveis.

Exemplos práticos de como isso pode ser feito são apresentados neste Guia de Aplicação que trás quatro casos de efetiva aplicação das seguintes boas práticas para o transporte de carga: (1) utilização de sistemas de propulsão alternativos; (2) treinamento dos motoristas (*eco-driving*); (3) utilização de diferentes tipos de veículos para a realização de entregas e coletas e (4) realização de transferência do transporte de carga para modos mais limpos (transferência modal). Para todos os casos são apresentados os resultados referentes a avaliação de medidas de custo e nível de serviço, representando o desempenho do aspecto econômico-finaceiro, acompanhadas de medidas de consumo de energia, emissão de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos de ação local, representativas dos impactos ambientais. Quando possível, foram introduzidas medidas representaivas do aspecto social.

Aprimorando a sustentabilidade da coleta de resíduos urbanos

Coleta de resíduos sólidos em área urbana

O município do Rio de Janeiro conta com uma população de aproximadamente 6,3 milhões de habitantes, sendo a segunda capital mais populosa do Brasil[2]. Encontra-se dividida em cinco áreas de planejamento, com 33 regiões administrativas e 162 bairros[3].

Dados do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos[4] dão conta de que em 2014 foram geradas aproximadamente 9.227 toneladas diárias de lixo, sendo que 53% caracteriza-se como lixo domiciliar (4.900 t/dia). Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais[5], em 2015, foram gerados 1,342 kg/hab.dia de lixo na cidade. No mesmo ano, a média nacional da geração diária de lixo foi de 1,071 kg/hab.dia. Desta forma, o município do Rio de Janeiro empreende esforços para tratar volumes de geração per capta de lixo 20% maiores que a média nacional.

Neste contexto, a coleta de lixo urbano no município do Rio de Janeiro é realizada por uma empresa municipal de limpeza urbana que conta com uma frota heterogênea de caminhões, em que a escolha do tipo de veículo está associada a uma aplicação específica, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Perfil da frota de caminhões da empresa municipal de limpeza urbana

Imagem	Tipo	Descrição	Aplicação
	P5	Caminhão simples com mini compactador 6m³	Coleta de lixo doméstico
	P5A	Caminhão simples com dois eixos e compactador 10m³	Coleta de lixo doméstico
	P6	Caminhão simples com dois eixos e compactador 15m³	Coleta de lixo doméstico
	P7	Caminhão simples com três eixos e compactador 19m³	Coleta de lixo doméstico
	P19	Conjunto caminhão trator e semirreboque caçamba 45m³	Transferência de lixo das estações de transferência para aterros sanitários
	P25	Caminhão simples com três eixos e compactador 19m³	Coleta de lixo doméstico, público e especial

2 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico de 2010. Rio de Janeiro. Disponível em: https://censo2010.ibge.gov.br/

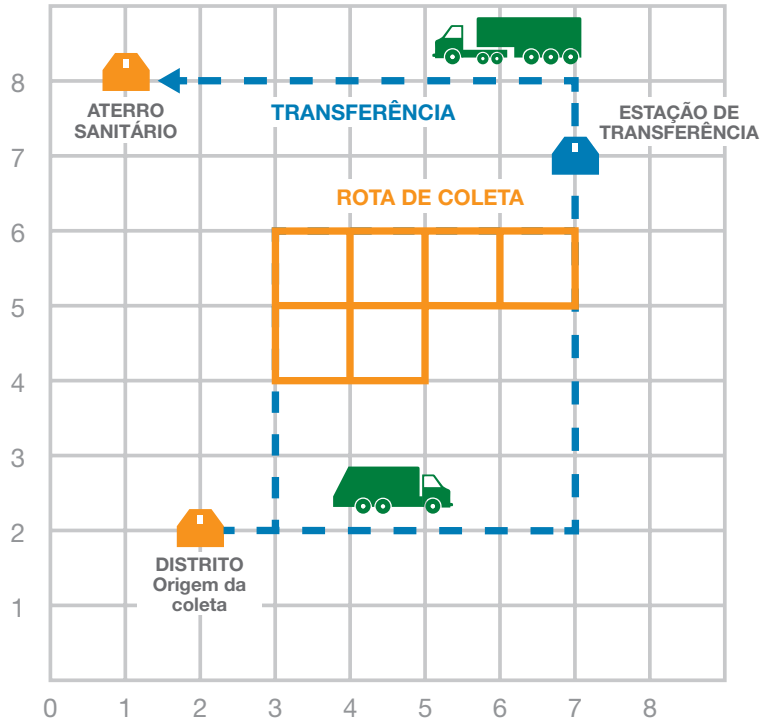
3 Prefeitura do Rio de Janeiro. Rio em Síntese, 2017.

4 Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Cidade do Rio de Janeiro. Dezembro de 2015.

5 Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. 2015

Metade das atividades da empresa municipal de limpeza urbana diz respeito a coleta domiciliar, em que são utilizados caminhões simples equipados com compactadores de lixo, veículos tipificados como P5, P5A, P6, P7 e P25. A coleta domiciliar é uma Categoria de Serviço de Transporte (CST) onde os caminhões realizam as rotas de coleta de lixo em inúmeros locais distribuídos em área urbana e descarregam o lixo em uma estação de transferência localizada na periferia da cidade. A partir deste ponto, o lixo é transportado para um aterro sanitário por meio de conjuntos caminhão trator e semirreboques, como os veículos P19. Esta aplicação constitui uma outra CST, onde a carga é transferida de um local (estação de transferência) para outro local (aterro sanitário) A Figura 1 apresenta um esquema desta operação onde se observa as duas CST.

Figura 1: Ilustração da operação de coleta de lixo urbano



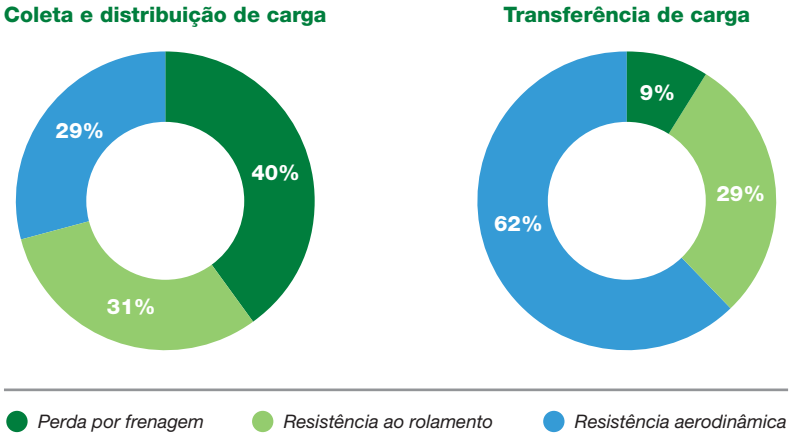
Caminhões para coleta de lixo urbano, equipados com compactadores de lixo (P5, P5A, P6, P7 e P25), além de usarem continuamente parte da energia oriunda da queima do combustível no motor para compactar o lixo, são submetidos a operação de “anda e para” em tráfego urbano uma vez que estão suscetíveis a engarrafamentos e significativa intervenção externa de outros fluxos de veículos e pedestres. Por isso são veículos que usualmente apresentam baixo rendimento energético (Tabela 2) se comparados a veículos de mesmo peso bruto total (PBT) que realizam outro tipo de serviço, como por exemplo entrega de alimentos e bebidas em área urbana. Por outro lado, esta situação não necessariamente ocorre com os veículos que realizam a transferência de lixo das estações de transferência para os aterros sanitários (P19).

Tabela 2: Frota de caminhões da CST candidata à aplicação da boa prática

Tipo	Capacidade [m³]	Quilometragem mensal [km/mês]	Rendimento [km/l]	Frota [unidades]
P5	6	4.700	2,00	18
P5A	10	4.900	2,00	10
P6	15	4.300	1,75	95
P7	19	4.500	1,50	80
P25	19	4.200	1,50	18

A Figura 2 ilustra bem a diferença entre o perfil operacional de veículos de coleta e distribuição de carga (transporte urbano) e transferência de carga (transporte interurbano). Observa-se que na operação de coleta e distribuição de carga, a maior parte da energia consumida (40%) está associada a perda por frenagem, uma vez que o veículo está sujeito a regime de "anda e para". O mesmo não ocorre para a operação de transferência de carga, onde o maior peso (62%) está associado a resistência aerodinâmica, uma vez que o veículo tem a possibilidade de trafegar em rodovias onde pode desenvolver velocidades superiores a 80 km/h.

Figura 2: Uso de energia na coleta, distribuição e transferência de carga



Adicionalmente, veículos que operam na empresa municipal de limpeza urbana apresentam quilometragens médias mensais entre 4.000 km e 5.000 km (Tabela 2) o que acarreta elevado consumo de combustível, que é o maior custo operacional variável desta atividade.

Aprimorar o rendimento energético dos veículos de coleta de lixo urbano representa oportunidade de reduzir custos ao mesmo tempo que se diminui: (1) o consumo de uma fonte de energia não renovável, o óleo diesel derivado do petróleo; (2) a emissão de gases de efeito estufa (GEE), onde o dióxido de carbono (CO_2) é o principal constituinte na atividade de transporte, sendo responsáveis pelas mudanças climáticas, e (3) a emissão de poluição atmosférica (PA) de ação local, que impacta a saúde da população urbana.

Em face do que foi apresentado, em uma primeira abordagem, a empresa municipal de limpeza urbana verificou a oportunidade de aprimorar o rendimento energético dos veículos de coleta de lixo urbano por meio da utilização de sistemas de propulsão alternativo nos veículos que pudesse aproveitar a energia perdida na frenagem.

Boa Prática: utilização de sistemas de propulsão alternativos

Esta boa prática consiste na utilização de veículo com sistema de propulsão diferente do convencional (motor de combustão interna e sistema de transmissão mecânico). No transporte rodoviário, usualmente, são veículos equipados com sistemas de propulsão híbridos (elétricos, mecânicos ou hidráulicos) ou elétricos.

O meio de intervenção para a aplicação desta boa prática foi o uso de um veículo equipado com sistema de propulsão híbrido diesel-hidráulico, conforme ilustrado na Figura 3. Este sistema de propulsão apresenta dispositivo de Frenagem Regenerativa Hidrostática (FRH), que permite a recuperação parcial da energia perdida durante a frenagem. Sua finalidade é melhorar a economia de combustível e consequentemente trazer benefícios econômicos, ambientais e sociais para a operação realizada.

Figura 3: Ilustração do sistema de propulsão híbrido diesel-hidráulico

Escolha de atributos, indicadores e medidas

Verificou-se que havia o potencial de utilizar esta boa prática em 223 caminhões da frota da empresa municipal de limpeza urbana (Tabela 2). Para subsidiar a tomada de decisão de substituir os veículos com sistema de propulsão convencionais pelos veículos equipados com sistema de propulsão alternativos foi estabelecido um conjunto de atributos, indicadores e medidas que deveriam avaliar os benefícios econômicos e ambientais da adoção da boa prática.

O atributo econômico escolhido foi o custo e os atributos ambientais foram energia, gases de efeito estufa e poluição atmosférica. É importante ressaltar que, considerando todos os atributos de nível de serviço[6], o caminhão equipado com sistema de propulsão diesel-hidráulico substitui de forma satisfatória o veículo equipado com sistema de propulsão convencional.

Como indicador relativo ao atributo custo foi escolhido o custo adicional (CA), conforme especificado na Equação 1. Os indicadores ambientais escolhidos foram volume de combustível, em litros; a massa de dióxido de carbono, em kg de CO_2 e as massas de poluentes atmosféricos[7], em kg de CO, HCNM, NOx e PM.

Para formar as medidas de desempenho para avaliação desta boa prática, adotou-se como indicador de tempo um mês de operação. Dessa forma as medidas de custo, emissões de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos foram avaliadas em base mensal.

Método de comparação

Por dispor de uma tecnologia inovadora (FRH) e pelos benefícios do seu uso dependerem da capacidade desta tecnologia proporcionar efetiva redução do consumo de combustível, foi realizado um teste de campo para ratificar o intervalo de economia que o FRH traria na operação real da empresa de limpeza urbana. Os valores de economia de combustível obtidos por meio do teste de campo foram avaliados pelo método estatístico ANOVA[8] e comparados com os dados identificados na literatura, permitindo que fosse estabelecida uma faixa de valor da economia de combustível entre 15%, característica dos veículos que apresentam maior rendimento energético (2,0 km/l), pois apresentam menor PBT e andam e param menos e 25%, característica dos veículos com menor rendimento energético (1,5 km/l), pois apresentam maior PBT e andam e param mais.

Como o veículo equipado com o sistema de propulsão híbrido diesel-hidráulico é 25% mais caro que o veículo equipado com sistema de propulsão convencional, espera-se que a economia de combustível compense ao longo do tempo esta diferença inicial de custo de capital e os custos periódicos adicionais de manutenção (CME) do FRH. Para a avaliação econômica baseou-se no fluxo de caixa de custos mensais uniformes, em que o custo adicional (CA) é mensalmente distribuído como custo de capital (CC) e custos de manutenção do equipamento (CME), como

6 Segurança, confiabilidade, tempo, flexibilidade e capacidade

7 CO – monóxido de carbono, HCNM – hidrocarbonetos não metano, NOx – óxidos de nitrogênio e MP – material particulado.

8 ANOVA é uma técnica estatística de análise de variância que permite avaliar afirmações sobre as médias de populações. A análise visa, fundamentalmente, verificar se existe uma diferença significativa entre as médias e se os fatores exercem influência em alguma variável dependente.

apresentado na Equação 1. Os custos podem ser recuperados de acordo com a economia monetária (EM) alcançada por meio da economia de combustível, cujo montante é função da quilometragem média mensal.

$$CA = CC + CME \quad (1)$$

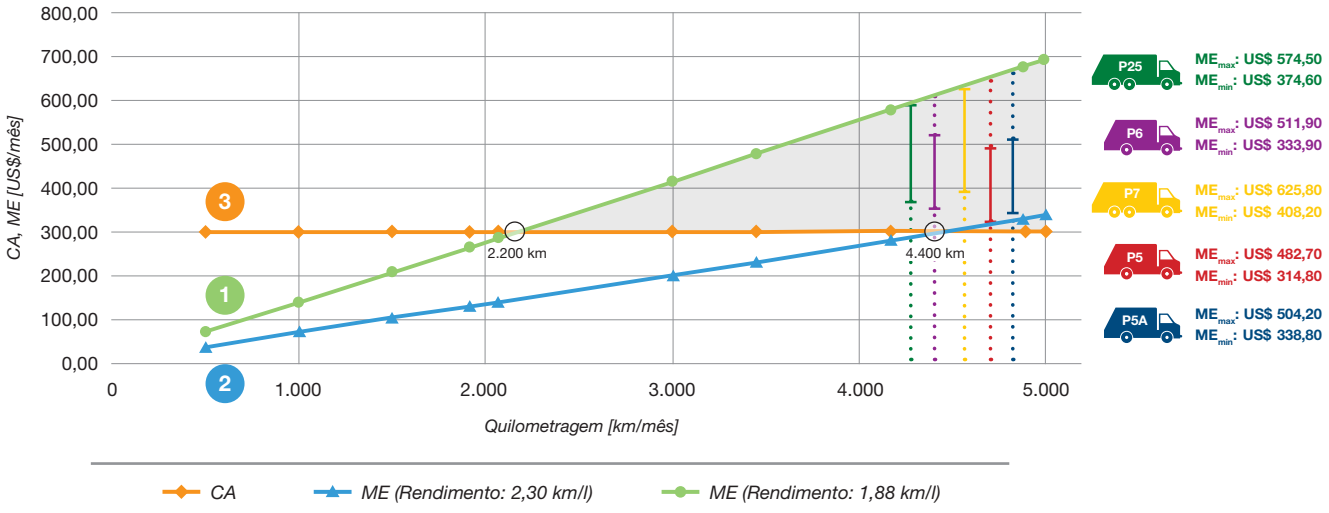
Em que, CA é o custo adicional;
CC é custo de capital;
CME é o custo de manutenção do equipamento;

No caso dos indicadores ambientais, seus resultados foram alcançados considerando que a redução de consumo de combustível reduz proporcionalmente a emissão de GEE e poluentes atmosféricos.

Comparação de resultados

O uso de veículos equipados com sistema de propulsão híbrido diesel-hidráulico tem potencial de reduzir o consumo de combustível em uma quantidade que compense os custos adicionais a partir de uma determinada quilometragem mensal percorrida, como pode ser visto na Figura 4.

Figura 4: Avaliação econômica do uso de veículos equipados com sistema de propulsão híbrido diesel-hidráulico



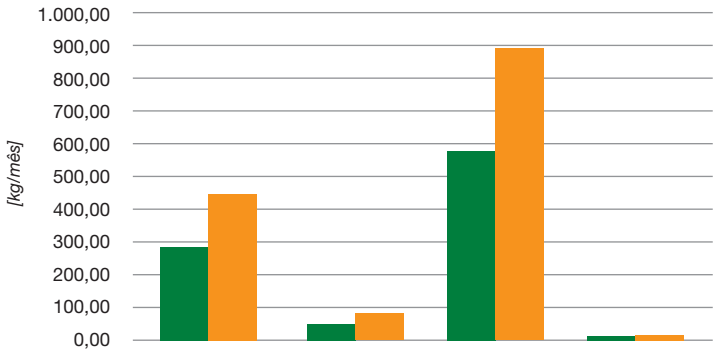
Observa-se da Figura 4 que para estimativa de vida útil econômica de 60 meses, os veículos que apresentam menor rendimento energético (1,5 km/l) e que poderiam obter melhor resultado (economia de 25%) pelo uso do sistema de propulsão híbrido diesel-hidráulico (Curva 1) apresentariam viabilidade econômica a partir de uma quilometragem média mensal de 2.200 km. Já para os veículos que apresentam maior rendimento energético (2,0 km/l) e que poderiam obter pior resultado (economia de 15%) pelo uso do sistema de propulsão híbrido diesel-hidráulico (Curva 2) esta quilometragem média mensal seria de 4.400 km. Observa-se ainda da Figura 4 que todos os veículos da empresa de limpeza urbana apresentam quilometragem médias mensais que proporcionam viabilidade econômica para o uso do sistema de propulsão híbrido diesel-hidráulico, sendo que em todos os casos o intervalo de economia monetária (EM) se encontra dentro da área de viabilidade (triângulo azul) e a EM mínima se encontra acima dos US$ 300,00, valor dos custos adicionais mensais (Curva 3).

O investimento adicional para aplicar a boa prática na frota de 223 veículos da empresa de limpeza urbana seria de US$ 3.000.000,00 que poderia ser recuperada em trinta e dois meses[9]. Estima-se uma redução de consumo mensal

9 Foi considerada a taxa SELIC de 2011, época da elaboração deste caso.

de 107.000 l de óleo diesel, o que levaria a evitar a emissão[10] de 265 t de CO_2 e uma economia de US$ 110.000,00[11] por mês. Os perfis de redução da emissão de poluição atmosférica[12] são apresentados na Figura 5.

Figura 5: Perfil de redução das emissões dos poluentes locais



	CO	HCNM	NOx	MP
15% de redução de consumo [kg/mês]	287,44	50,87	572,45	5,72
25% de redução de consumo [kg/mês]	440,74	78,00	877,75	8,77

Legenda: CO – monóxido de carbono, HCNM – hidrocarbonetos não metano, NOx – óxidos de nitrogênio e MP – material particulado

Cosiderações finais

Em função das características específicas da atividade, os caminhões de coleta de lixo urbano têm operação descontínua, com ciclos de frenagem e aceleração e enfrentam diferentes situações urbanas. Estas são condições favoráveis para a aplicação da boa prática escolhida, em particular dentro das faixas de quilometragem média mensal praticadas pelos veículos da empresa de limpeza urbana, conforme Figura 4. Verifica-se potencial de redução do consumo de combustível e das emissões de CO_2 e de poluentes atmosféricos além de benefícios econômicos que viabilizam o investimento inicial com retorno em trinta e dois meses, tempo menor que a via útil econômica esperada dos veículos (60 meses). Há ainda economia mensal de US$ 110.000,00 com combustível e US$ 45.900,00 de benefícios mensais depois de pagos o custo de capital e o custo de manutenção do equipamento.

A mesma sistemática utilizada para avaliar este meio de intervenção pode ser utilizada para outros meios de intervenção desta mesma boa prática, como o uso de veículos com sistema de propulsão híbrido diesel-mecânico ou sistema de propulsão elétrico. Esta sistemática também será útil na avaliação de meios de intervenção associados a outras boas práticas como por exemplo a utilização de fontes de energia mais limpas, renovação e modernização de frota, utilização de veículos com maior eficiência energética, utilização de pneus com baixa resistência ao rolamento, redução de peso do veículo, utilização de aditivos para melhorar a eficiência energética dos combustíveis e implantação de equipamento de controle das emissões dos veículos.

Agradecimentos

Aos autores Leonardo Alencar de Oliveira, Márcio de Almeida D'Agosto, Vicente Aprigliano Fernandes, Cíntia Machado de Oliveira pela elaboração do artigo intitulado *A financial and environmental evaluation for the introduction of diesel-hydraulic hybrid-drive system in urban waste collection*, publicado na revista *Transportation Research Part D*, em 2014, que deu origem ao exemplo da boa prática acima descrito.

10 Foi considerado o fator de emissão de 2,604 kgCO2/l e 95% de diesel fóssil na mistura (B5).
11 O preço do diesel era de US$ 1,03.
12 Os fatores de emissão, em g/l, utilizados foram: CO = 3,667; HCNM = 0,649, NOX = 7,303 e MP = 0,073

O Efeito da práticas de *eco-driving* na coleta de lixo urbano

Coleta de resíduos sólidos em área urbana

Como foi visto no item anterior, a coleta de lixo é uma operação diária comum a todas as cidades. No entanto, o potencial de economia de energia e, consequentemente, de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e poluentes atmosféricos (PA) deste processo ainda é pouco abordado. Boas práticas no transporte de carga aplicadas a gestão de resíduos sólidos urbanos têm potencial para contribuir para a melhoria da eficiência energética (EE) do transporte nas cidades. Neste contexto, avalia-se a técnica de *eco-driving* aplicada à frota de caminhões de lixo de uma empresa municipal de limpeza urbana na cidade do Rio de Janeiro, como apresentado na Figura 1 do item anterior (Utilização de veículo com sistema de propulsão diferente do convencional (motor de combustão interna e sistema de transmissão mecânico).

Para esta empresa, uma operação típica de coleta de lixo em área urbana envolve dois regimes operacionais: coleta e transferência. Os caminhões compactadores de lixo (P6) são utilizados durante a coleta domiciliar, que envolve uma operação com ciclos de partida e parada a cada 50 metros. O veículo é equipado com um compactador de lixo, o que gera consumo adicional de combustível. Toda vez que estão cheios, os caminhões compactadores de lixo se dirigem a uma Estação de Transferência de Resíduos (ETR), onde descarregam o lixo, que será carregado em conjuntos caminhão trator e semirreboque (P19) e transferido para o Centro de Tratamento de Resíduos (CTR)[13]. Embora também operem em áreas urbanas, os caminhões de transferência transportam o lixo para um único ponto de entrega sem paradas intermediárias.

Boa Prática: treinamento de motoristas (*eco-driving*)

Esta boa prática consiste no estabelecimento de um programa de treinamento contínuo e periódico de motoristas, equipe de apoio administrativo e equipe de manutenção de veículos. Este treinamento tem como objetivo instruir sobre as técnicas de direção econômica, segura e ambientalmente sustentável. Desta forma, espera-se reduzir o consumo de energia e, no caso do uso de combustíveis fósseis, que haja uma redução na emissão de GEE e PA.

O *eco-driving* é um processo de tomada de decisões que inclui: decisões estratégicas (por exemplo: compra de veículos), decisões táticas (por exemplo: manutenção do veículo, carregamento e seleção de rotas) e decisões operacionais (por exemplo: mudança de viagem, mudança de modo de direção e comportamento do motorista).

13 CTR: aterro sanitário.

Um treinamento piloto sobre eco-driving foi oferecido a 22 motoristas em uma frota de 11 caminhões do tipo P6 e P19 (Tabela 3). Este treinamento e inclui, no mínimo, dois dias de aulas. No primeiro dia, são realizadas aulas teóricas abordando as seguintes técnicas de *eco-driving*: (i) antecipar das condições de tráfego; (ii) usar adequadamente os freios; (iii) dirigir a uma velocidade constante; (iv) evitar a marcha lenta do motor e (v) mudar as marchas corretamente. Já no segundo dia realiza-se o treinamento prático, em que o instrutor demonstra como aplicar as técnicas de *eco-driving* e avalia se o motorista executa corretamente o mesmo comportamento de direção.

Tabela 3: Descrição dos veículos utilizados no treinamento de *eco-driving*

Tipo	Descrição do veículo	Capacidade [m³]	Frota	Veículos utilizados no treinamento	Rendimento [km/l]	Quilometragem média mensal [km]	Uso
P19	Conjunto Caminhão trator e semirreboque	45	43	4	1,70	10.000	Transferência
P6	Caminhão com 2 eixos com compactador	15	97	7	1,21	5.200	Coleta

Escolha de atributos, indicadores e medidas

Para subsidiar a tomada de decisão quanto à adoção do treinamento sobre *eco-driving* deve-se avaliar, com uma visão estratégica, a oportunidade da sua implantação e continuidade, considerando se os benefícios oriundos da redução do custo operacional decorrente da economia no consumo de combustível compensam as despesas com o treinamento periódico e se respaldam os benefícios ambientais esperados. Para isso, foram estabelecidos atributos, indicadores e medidas que podem avaliar os benefícios econômicos e ambientais da adoção desta boa prática.

O atributo econômico escolhido foi o custo e os atributos ambientais foram o consumo de energia e a emissão de GEE e de PA. Os indicadores relacionados ao custo total de operação [R$] são; o volume de combustível consumido [l]; a distância percorrida em quilômetros [km] e a emissão de GEE [kg] e de PA [g].

Para formar as medidas de desempenho para avaliação desta boa prática, adotou-se como indicador de tempo um mês, para a distância média percorrida, e um ano, para a avaliação econômica. Para o rendimento energético, a medida de desempenho utilizada foi de km/l.

Método de comparação

Os dados foram coletados antes e após o treinamento durante um período de três meses. Para estimar os ganhos de rendimento energético, coletou-se dados referentes ao consumo de combustível (l) e à distância percorrida (km). Após esse levantamento de dados, foi realizado um tratamento estatístico dos dados para eliminar os *outliers*, adotando um critério conservador de manter a dispersão dos dados dentro da faixa de três desvios-padrão. Neste período, as médias mensais das distâncias percorridas pelos caminhões P6 e P19 foram 5.200 km e 10.000 km, respectivamente.

A avaliação econômica é baseada no custo mensal uniforme. O custo de capital (CC) é representado pelo produto entre o custo adicional (CA) do treinamento sobre *eco-driving* e o fator de recuperação de capital (FRC). Já a economia monetária (EM) é obtida a partir da economia de combustível.

A avaliação ambiental baseia-se numa análise *bottom-up* para estimar as emissões de dióxido de carbono (CO_{2e}), considerado como GEE e óxidos de nitrogênio (NOx), hidrocarbonetos não metano (NMHC), monóxido de carbono (CO) e material particulado (PM); considerados como PA. As emissões são calculadas multiplicando-se o fator de emissão pelo consumo médio de combustível de cada veículo movido a combustível fóssil utilizado na operação (Tabela 4). Por força da legislação em vigor na época, os veículos eram abastecidos com uma mistura composta por 5% de biodiesel e 95% de diesel mineral com baixo teor de enxofre (10 ppm), chamado diesel S10 B5.

Tabela 4: Fatores de emissão para poluentes atmosféricos e gases de efeito estufa[14]

Modelo	Tipo de veículo	Combustível	CO_{2e} [kg/l]	CO [g/l]	NMHC [g/l]	NOx [g/l]	MP [g/l]
Euro 5	Caminhão (PBT>15t)	Diesel	2,71	3,66	0,64	7,30	0,073

Notas: 1 – este fator já considera a emissão de CO_2, CH_4 e N_2O.
Legenda: CO_{2e} – dióxido de carbono equivalente, CO – monóxido de carbono, HCNM – hidrocarbonetos não metano, NOx – óxidos de nitrogênio e MP – material particulado

Comparação de resultados

No treinamento piloto, o aumento do rendimento energético foi maior na operação de transferência de lixo. Assim, para os veículos P6, houve uma melhora média de 0,8%, enquanto para os veículos P19, a melhora média foi de 7,1%, como apresentado na Tabela 5.

Tabela 5: Rendimento energético (km/l) no treinamento piloto

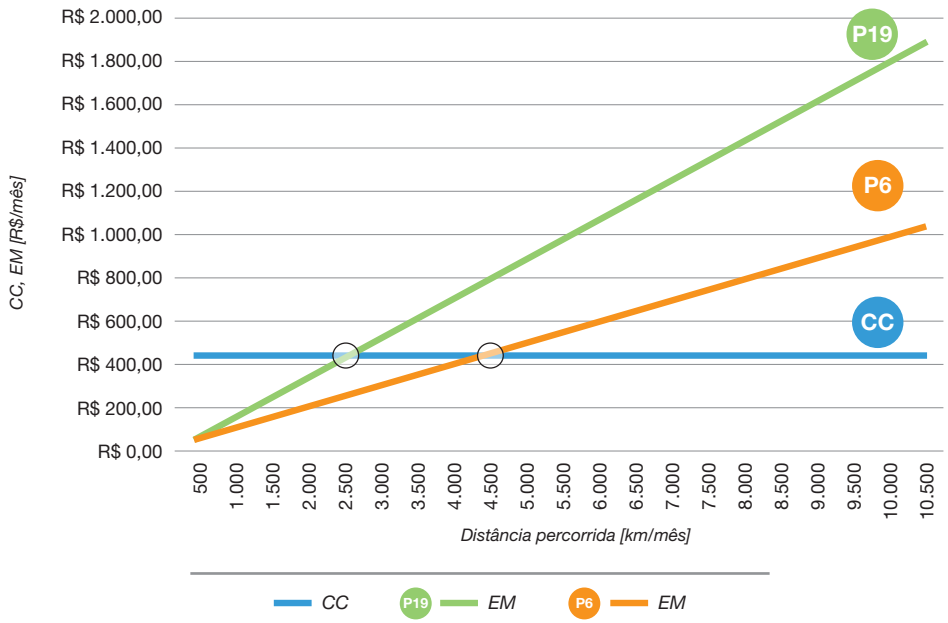
Veículos	Antes do treinamento (Cenário a)	Depois do treinamento (Cenário b)
P6	1,21	1,22
P19	1,70	1,83

A avaliação financeira do treinamento piloto envolve um valor de investimento para a realização de dois treinamentos de *eco-driving* por ano, durante cinco anos. Desta forma, o custo mensal uniforme do treinamento é de R$ 427,24 para uma turma.

Para os veículos P6, observa-se na Figura 6 que o retorno financeiro se inicia aos 4.500 km/mês, abaixo da distância média percorrida mensamente que é de 5.200 km/mês. Ao longo de todo o mês, deixou-se de gastar R$ 455,41 com consumo de combustível, superando o investimento mensal de R$ 427,24.

Para o caso dos veículos P19, a aplicação do treinamento piloto mostrou-se mais favorável, uma vez que a quilometragem média mensal do P19 é de 10.000 km/mês e a compensação de custos ocorrem a partir de 2.500 km/mês. Ao longo de todo o mês, deixou-se de gastar R$ 1.711,79 com consumo de combustível, superando o investimento mensal de R$ 427,24.

Figura 6: Avaliação financeira do *eco-driving*



14 Adaptado de "Greenhouse Gas Inventory and Emissions Scenario of Rio de Janeiro City - Brazil Technical Summary" (2011).

Com relação à avaliação ambiental, a Tabela 6 e a Tabela 7 mostram as emissões de GEE e de PA antes (Cenário a) e depois (Cenário b) do treinamento para a frota de 11 veículos (P6 e P19), bem como o benefício mensal obtido (redução).

Tabela 6: Emissão de GEE e de PA – P6

Referência	Consumo de combustível [l/mês]	CO_{2e} [kg]	CO [g]	NMHC [g]	NOx [g]	PM [g]
Cenário a	30.082,64	81.523,96	110.313,1	19.523,63	219.693,5	2.195,97
Cenário b	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

Tabela 7: Emissão de GEE e de PA – P19

Referência	Consumo de combustível [l/mês]	CO_{2e} [kg]	CO [g]	NMHC [g]	NOx [g]	PM [g]
Cenário a	23.529,40	63.764,68	86.282,32	15.270,56	171.835,30	1.717,60
Cenário b	21.857,92	59.234,96	80.153,00	14.185,76	159.628,40	1.595,60
Redução	1.671,48	4.529,72	6.129,32	1.084,80	12.206,88	122,00

A Tabela 8 apresenta um resumo da avaliação financeira da implantação do treinamento sobre *eco-driving* na frota total de caminhões com compactadores e de veículos do tipo P19, supondo que todos alcançariam uma melhora de desempenho similar ao do estudo de caso na economia de combustível.

Para os caminhões com compactadores, considera-se o treinamento sobre *eco-driving* aplicado hipoteticamente em uma frota de 223 veículos e 446 motoristas. Para atender a todos os motoristas, seria necessário formar 15 turmas com 30 alunos cada. Desta forma, o valor de investimento total para realização de dois treinamentos por ano, durante cinco anos, seria de R$ 311.273,00, o que acarretariam um custo mensal uniforme de R$ 6.408,00.

Para os veículos do tipo P19, o caso geral considera o treinamento sobre *eco-driving* aplicado hipoteticamente em uma frota de 43 veículos e 86 motoristas. Esta situação requisitaria a montagem de três turmas com 30 alunos cada, que receberiam dois treinamentos de *eco-driving* por ano, durante 5 anos. Isto implicaria no investimento total de cerca de R$ 62.250,00 com um custo mensal uniforme de R$ 1.280,00.

Assim, como apresentado na Tabela 8, o caso geral se mostra favorável economicamente tanto para os caminhões com compactadores quanto para os veículos do tipo P19, já que a economia monetária mensal cobriria os gastos mensais com o treinamento.

Tabela 8: Economia monetária mensal para o caso geral

Veículo (caso geral)	Distância média mensal percorrida [km]	Distância média mensal para obter a compensação [km]	Economia monetária mensal
Caminhões com compactadores	5.200	2.250	R$ 8.100,00
Veículos do tipo P19	10.000	500	R$ 34.161,00

Quando se extrapolam os resultados da avaliação ambiental do treinamento piloto para toda a frota, observa-se que, em função do comportamento linear com a distância percorrida e com a economia de combustível, o percentual de redução da emissão de GEE e PA tanto para os caminhões com compactadores, como para os veículos tipo P19 se manteria em 0,8% e 7,1%. A Tabela 9 apresenta a redução mensal de emissão de GEE e de PA dos caminhões com compactador e dos veículos tipo P19.

Tabela 9: Redução mensal de emissão de GEE e PA para toda a frota

Veículo	CO_{2e} [kg]	CO [g]	NMHC [g]	NOX [g]	MP [g]
Caminhões com compactador	9.260	12.506	2.187	24.943	249
Veículos do tipo P19	48.695	65.765	11.500	131.170	1.312

Considerações finais

O *eco-driving* é uma prática que pode aprimorar a sustentabilidade na coleta e transferência de lixo em área urbana, proporcionando um retorno econômico de acordo com a quilometragem percorrida. Considerando toda a frota de caminhões com compactadores e dos veículos tipo P19, os benefícios econômicos mensais na operação avaliada somaram R$ 8.100,00 e R$ 34.161,00.

A prática não só afeta a economia de combustível, mas também a redução das emissões de CO_{2e} e PA, na ordem de 0,8% para os veículos com compactador e 7,1% para os conjuntos caminhão trator e semirreboque. Para um período de 5 anos, seriam evitadas emissões de aproximadamente 3,9 mil toneladas de CO_{2e}.

Adicionalmente, ressalta-se que o *eco-driving* é uma boa prática que pode ser adota de forma combinada com muitas outras, dentre elas: utilização de diferentes tipos de veículos para realização de entregas e coletas, renovação e modernização da frota, realização de coleta e distribuição noturna e otimização das rotas.

Agradecimentos

Aos autores Vicente Aprigliano Fernandes, Márcio de Almeida D'Agosto, Cíntia Machado de Oliveira, Fabiana do Couto Assumpção, Ana Carolina Peixoto Deveza pela elaboração do artigo intitulado *Eco-driving: uma ferramenta para aprimorar a sustentabilidade do transporte de resíduos urbanos*, publicado na revista Transportes, em 2015, que deu origem ao exemplo da boa prática acima descrito.

Uma análise de sustentabilidade do caso do serviço postal na cidade do Rio de Janeiro

Distribuição postal em área urbana

A população urbana no mundo pode chegar a 70% até 2050[15], com potencial crescimento da demanda dos serviços de transporte urbano nas cidades. A atividade de transporte para distribuição de bens e serviços em áreas urbanas é responsável por promover impactos sociais, ambientais e econômicos, sobretudo em relação à intensificação dos congestionamentos de tráfego, à emissão de poluentes atmosféricos, poluição sonora e gases do efeito estufa (GEE), principalmente o dióxido de carbono (CO_2), além de promover o aumento dos custos e diminuir a segurança da população, em função do aumento do número de acidentes[16, 17].

As operações que ocorrem na última milha (*last mile*) são responsáveis por agravar esses impactos. Além disso, é a fase em que se evidencia a maior participação dos custos de transporte em uma cadeia logística[18]. Sendo assim, as cidades precisam avançar em suas transformações e permitir a exploração inovadora de formas de operação do Transporte Urbano de Carga (TUC), sobretudo no que diz respeito ao desenvolvimento de novas tecnologias[19].

Neste cenário, a tecnologia de triciclos elétricos tem sido considerada uma solução alternativa e sustentável de mobilidade urbana, tendo em vista que atende aos anseios de sustentabilidade do mundo contemporâneo, frente à piora da qualidade do ar das cidades, oriunda do uso intenso dos veículos com motor a combustão interna e dos combustíveis fósseis[20].

No Brasil, a empresa de correios pratica a distribuição de correspondências em área urbana por meio da chamada distribuição tradicional intermodal (DTI), que ocorre por meio da combinação sequencial de caminhada a pé, utilização do ônibus convencional e o apoio operacional de um veículo comercial leve com motor à combustão.

15 United Nations. (2014) World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights (ST/ESA/SER.A/352). New York, United. doi:10.4054/DemRes.2005.12.9

16 Fernandes, V. A., D'Agosto, M. D. A., Oliveira, C. M. de, Assumpção, F. D. C., e Deveza, A. C. P. (2015) Eco-driving: uma ferramenta para aprimorar a sustentabilidade do transporte de resíduos urbanos. TRANSPORTES, 23(2), 5. doi:10.14295/transportes.v23i2.773

17 McKinnon, A. C., Browne, M., e Whiteing, A. E. (2012) Green logistics: improving the environmental sustainability of logistics. Kogan Page

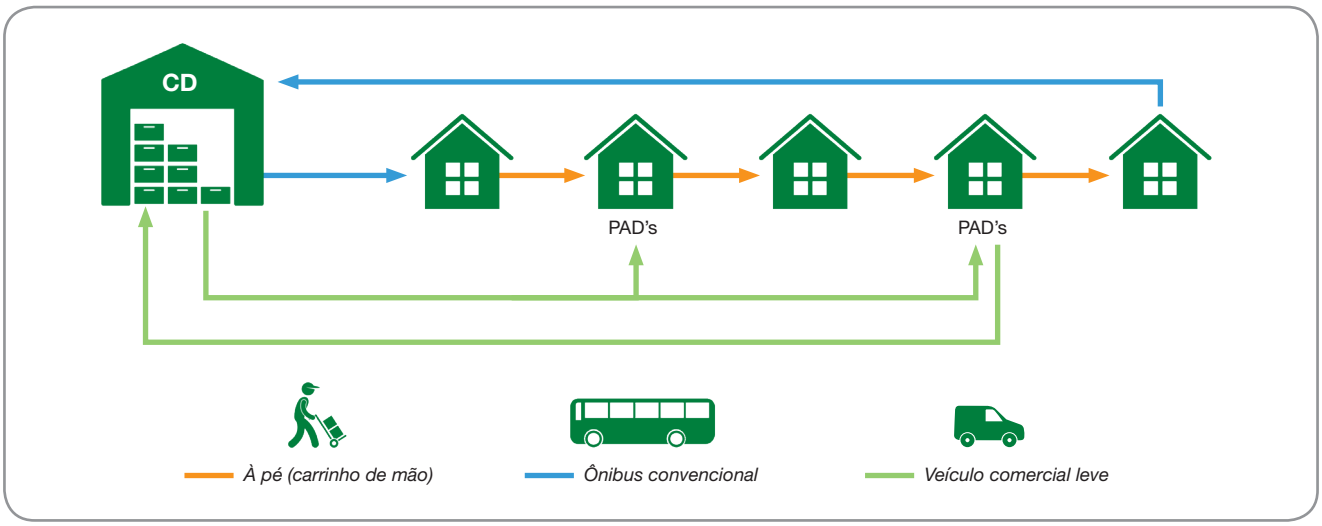
18 Roumboutsos, A., Kapros, S., e Vanelslander, T. (2014) Green city logistics: Systems of Innovation to assess the potential of E-vehicles. Research in Transportation Business & Management, 11, 43–52. doi:10.1016/j.rtbm.2014.06.005

19 Björklund, M., e Gustafsson, S. (2015) Toward sustainability with the coordinated freight distribution of municipal goods. Journal of Cleaner Production, 98, 194–204. doi:10.1016/j.jclepro.2014.10.043

20 Cherry, C. R. et al. Comparative Environmental Impacts of Electric Bikes in China. Transportation Research D, V. 14, pg. 281- 290, 2009. https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.11.003

Devido ao limite legal, o peso da bolsa, estabelecido pelo acordo coletivo da categoria de carteiros, é de 10 kg para homens e 8 kg para mulheres. Deste modo, o carteiro tem o apoio de um veículo comercial leve com motor à combustão para realização do transporte do excedente de peso a pontos pré-definidos de sua rota, que são os pontos de apoio para distribuição (PAD's). Ao terminar a entrega de um carregamento, o carteiro se dirige ao PAD para receber mais um carregamento e, a partir daí, tem início uma nova distribuição, que é realizada a pé. Ao término da sua rota, o carteiro retorna ao CD por meio do ônibus urbano convencional de linha, tal como ilustrado na Figura 7.

Figura 7: Distribuição Tradicional Intermodal (TDI)



Boas Práticas: utilização de diferentes tipos de veículos para a realização de entregas e coletas e utilização de sistemas de propulsão alternativos

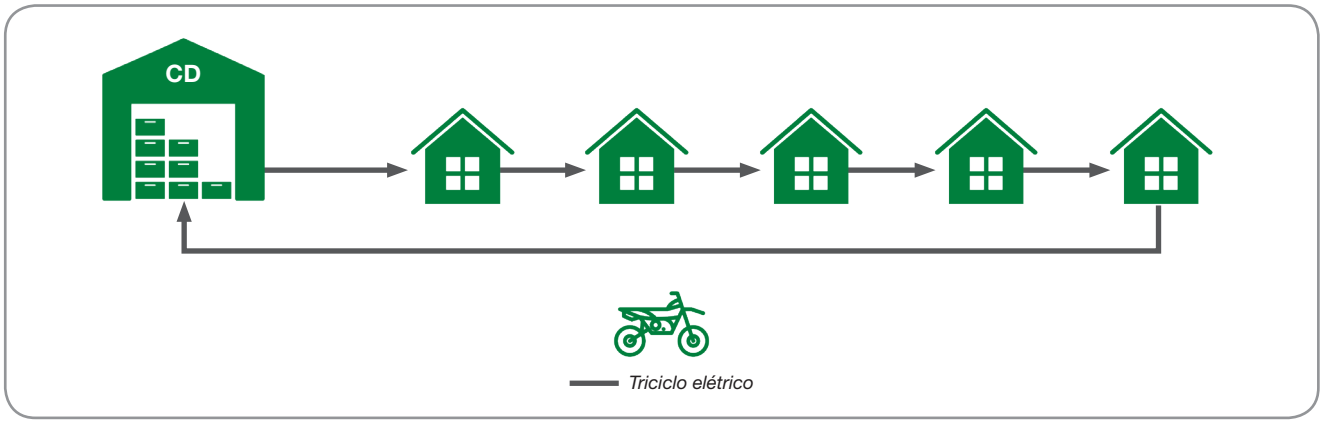
A empresa de correios verificou que existia a possibilidade de implantação de duas boas práticas para aprimorar a sustentabilidade da distribuição tradicional intermodal.

- **Utilização de diferentes tipos de veículos para a realização de entregas e coletas**
  Esta boa prática consiste na utilização de uma maior variedade veículos para a realização de entregas e coletas a fim de diminuir o tempo de entrega e atender à necessidade dos clientes estabelecidos em áreas de restrição ao tráfego para veículos de médio e grande porte. Desta forma, pode considerar o uso de veículos de pequeno porte, como vans e furgões, e/ou veículos não motorizados, como triciclos e bicicletas. Trata-se de uma boa prática usualmente empregada no transporte urbano de carga.

- **Utilização de sistemas de propulsão alternativos**
  Esta prática consiste na utilização de veículo com sistema de propulsão diferente do convencional (motor de combustão interna e sistema de transmissão mecânico). Usualmente, são veículos equipados com sistema de propulsão híbrido (elétricos ou hidráulicos) ou elétricos. Esta boa prática visa reduzir o consumo de energia na operação de transporte com impacto na redução da emissão de GEE e poluentes atmosféricos.

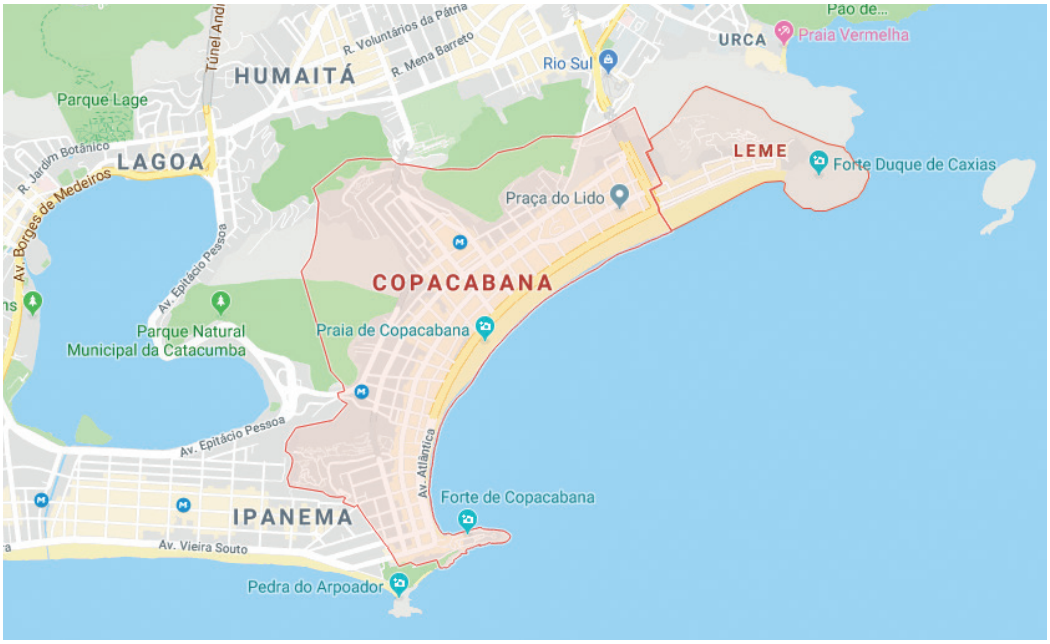
Deste modo, propõe-se a alternativa de distribuição postal com o apoio de triciclo elétrico (DTE). Esta operação é realizada com o apoio do triciclo elétrico ao longo de todo o percurso, logo, o limite de peso passa a ser a capacidade do triciclo (no caso em questão, a capacidade do triciclo utilizado é de 50 kg) e não mais a restrição legal, imposta pelo acordo coletivo da categoria. O carteiro realiza o deslocamento principal de ida, do CD até o primeiro ponto de atendimento, sobre o triciclo elétrico. Ao chegar ao bolsão de entrega, estaciona o veículo e realiza as entregas nas proximidades a pé, tal como apresentado na Figura 8.

Figura 8: Distribuição com apoio de Triciclo Elétrico (DTE)



Para avaliar a DTE, realizaram-se os testes nos bairros do Leme e Copacabana na cidade do Rio de Janeiro (Figura 9), Brasil. Estes bairros apresentam uma área pequena (4,1 km²), com 100 quadras, 78 ruas e cinco avenidas e alta densidade populacional (36.000 hab./km²)[21] e estão localizados em uma área plana, localizado entre uma montanha e o mar. Tais fatores proporcionam um cenário de alta complexidade para a distribuição urbana, justificando a escolha do local para a realização do teste experimental.

Figura 9: Local da aplicação da boa prática



Escolha de atributos, indicadores e medidas

Para subsidiar a tomada de decisão na adoção dessas duas práticas foi estabelecido um conjunto de atributos, indicadores e medidas que deveriam avaliar os benefícios econômicos, ambientais e sociais da adoção da boa prática.

Os atributos econômicos escolhido foram custo e número de clientes atendidos pelo tempo de ciclo de operação (nível de serviço). Os atributos ambientais considerados foram consumo de energia, emissão de gases de efeito estufa e de poluentes atmosféricos. O atributo social considerado foi o esforço realizado pelo carteiro por meio dos batimentos cardíacos.

21 Demográfico, IBGE Censo. Disponível em: http://www. ibge. gov. br. Acesso em, v. 3, 2010.

Os indicadores relativos aos atributos econômicos foram o custo total da operação [R$], a distância percorrida [km], o tempo total de entrega [dia[22]]. Os indicadores ambientais escolhidos foram volume de combustível consumido [l]; emissão de gases de efeito estufa (GEE) [kg] e a emissão de poluentes atmosféricos (PA) [kg]. O indicador de esforço realizado pelo carteiro que foi escolhido foi a frequência cardíaca máxima (FC) [bpm].

Para formar as medidas de desempenho para avaliação desta boa prática, adotou-se como indicador de tempo um dia de operação. Dessa forma as medidas de custo tem base diária, enquanto que as emissões de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos foram avaliadas no período total da operação.

Método de comparação

Os dados foram levantados, de terça a quinta, durante dez dias, sendo cinco dias para cada tipo de operação, DTI e DTE. Os dados levantados podem ser agrupados nos seguintes itens:

(i) tempo – ida, volta e entrega;
(ii) distância – ida, volta e entrega;
(iii) velocidade média – ida, volta e entrega;
(iv) número de clientes atendidos;
(v) frequência cardíaca do carteiro;
(vi) consumo médio de combustível e
(vii) custo do combustível.

A avaliação econômica para comparação de cada estratégia de distribuição (DTI e DTE) baseou-se na análise do nível de serviço e levantamento dos custos de transporte. O nível de serviço foi medido com base no número de clientes atendidos por tempo de ciclo de operação.

Quanto à avaliação ambiental, na operação DTI foi adotado o método *bottom-up*, de modo que se multiplicou os fatores de emissão de GEE e PA pela quilometragem média percorrida, com exceção do CO_2, que se multiplicou o fator de emissão pelo consumo médio de combustível para cada veículo de combustão interna. Os GEE analisados foram N_2O (óxido nitroso), CH_4 (metano) e CO_2 (dióxido de carbono). Enquanto os PA analisados foram CO (monóxido de carbono), NOx (óxido de nitrogênio), RCHO (aldeídos), NMHC (hidrocarbonetos com a exceção de metano) e MP (material particulado).

Os fatores de emissão considerados no estudo são do 2º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários[21] como apresentado na Tabela 10. Ainda, para estimar o impacto direto dos GEE, foi utilizada a conversão das emissões de CO_2, CH_4 e N_2O para CO_{2e}, considerando os fatores GWP de 1, 21 e 310, respectivamente.

Tabela 10: Fatores de emissão considerados no estudo[23]

Ano/Modelo	Combustível	CO(1)	NOx(1)	RCHO(1)	$NMHC_{escap}$ (1)	CH_4 (1)	MP(1)	N_2O(1)	CO_2 (2)
2013	Flex - Gasolina C	0,25	0,0030	0,0017	0,014	0,026	0,0011	0,026	2,0267
P6 e P7 PROCONVE 2012	Diesel	0,44	2,103	-	0,033	0,06	0,0200	0,03	2,5909

Nota: (1) g/km; (2) kg/l, destaca-se que os valores apresentados foram obtidos por meio da média ponderada da proporção de combustíveis na mistura.

Na ocasião deste estudo de caso, os ônibus eram abastecidos com diesel S10 B7, mistura que contém 7% em volume de biodiesel e 93% em volume de óleo diesel de petróleo. Já o veículo comercial leve era abastecido com gasolina C, mistura que continha 73% de gasolina automotiva e 27% de etanol anidro. Ainda, foram levantados junto ao Sindicato das Empresas de Ônibus da Cidade do Rio de Janeiro dados referentes ao IPK[24] (1,67) e o rendimento

20 Horário comercial.
21 MMA, 2013. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013: Ano-base 2012, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF.
24 IPK: Índice de Passageiro por Quilômetro.

energético (2,59 km/l) dos ônibus municipais. O rendimento médio do veículo comercial leve foi estimado a partir de dados levantados na operação com a empresa de correios (4,56 km/l). Estes dados são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Dados referentes aos veículos utilizados na operação DTI

Tipo de veículo	Combustível	Rendimento energético [km/l]	IPK
Ônibus	Diesel S10 B7	2,59	1,67
Veículo comercial leve	Gasolina C	4,56	-

Ressalta-se que, como a operação DTE é realizada apenas por triciclos elétricos e, portanto não é emissora de GEE e PA, a avaliação ambiental se baseia na comparação de quanto se deixa de emitir de cada GEE e PA analisado.

Quanto à avaliação do impacto social, o esforço realizado pelo carteiro em cada uma das operações de distribuição pode ser avaliado pelo acompanhamento do batimento cardíaco e medido pela Frequência Cardíaca (FC) máxima, estimada com base na idade do indivíduo. Conforme o *Americam College of Sports Medicine*[25], dividiu-se a frequência dos batimentos por minuto em seis faixas percentuais em relação a FC máxima, conforme Tabela 12. A medida de comparação é dada pelo tempo percentual que a frequência medida permanece em cada faixa de esforço durante a realização da atividade.

Tabela 12: Faixas percentuais em relação a FC máxima

Faixas de FC	
< 50 %	0 – 91 bpm
50 – 60 %	92 – 109 bpm
60 – 70 %	110 – 128 bpm
70 – 80 %	129 – 146 bpm
80 – 90 %	147 – 165 bpm
90 – 100 %	166 – 184 bpm

Comparação de Resultados

A Tabela 13 apresenta o detalhamento dos itens considerados para composição dos custos totais da rota analisada para cada tipo de distribuição (DTI e DTE). A partir da Tabela 14, verifica-se que o custo total diário das rotas analisadas para as operações de distribuição DTI e DTE foi de R$ 35,13 e R$ 26,96, respectivamente, sendo possível identificar uma economia dos custos de 23,25%.

Tabela 13: Detalhamento dos itens considerados para composição dos custos totais por tipo de operação (DTI e DTE)

Especificações da operação	Und	DTI	DTE
Quantidade de dias mês considerados	und	26	26
Quilometragem média percorrida na rota	km	5,01	10,74
nº de viagens por dia	und	2	1
nº médio de passagens de ônibus	und	2,40	-
Valor da passagem de ônibus em R$	R$	3,00	-
nº de carteiros atendidos na rota	und	10	1

25 ACSM, 1998. Position Stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. Med. Sci. Sports Exerc. 30:975–991, 1998

Tabela 14: Especificação dos custos fixos e variáveis, considerados nas operações DTI e DTE

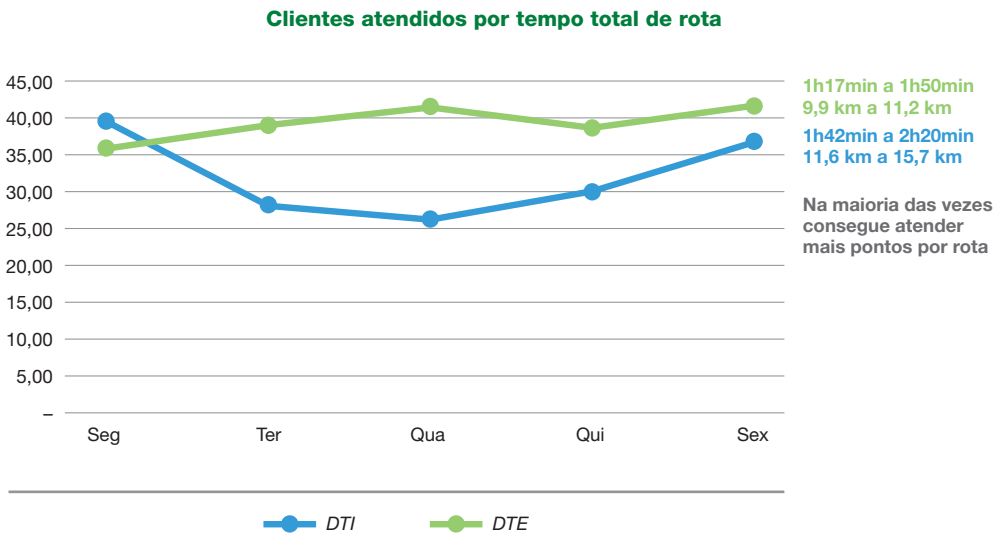
Custos Fixos Mensais	Und	VCL	Triciclo
Remuneração de capital	R$	309,80	33,12
Salário do motorista + encargos	R$	2.636,10	-
Salário do carteiro + encargos em rota	R$	590,11	459,51
Salário de oficina	R$	425,65	44,34
Reposição do veículo	R$	161,63	47,20
Licenciamento	R$	120,55	-
Seguro do casco do veículo	R$	162,81	-
Seguro de responsabilidade civil facultativa	R$	94,92	-
Total:	**R$**	**4.501,56**	**584,17**
Custos Variáveis por quilometro	**Und**	**VCL**	**Triciclo**
Peças, acessórios e materiais de manutenção	R$/km	0,7100	0,1973
Combustíveis	R$/km	0,7348	0,0100
Lubrificantes	R$/km	0,0153	-
Reposição de Baterias	R$/km	-	0,0377
Lavagem e lubrificação	R$/km	0,2857	0,1432
Pneus	R$/km	0,0327	0,0309
Total:	**R$/km**	**1,7786**	**0,4192**

Legenda: VCL – veículo comerial leve

Ainda, é importante destacar que, para o caso da inserção dos triciclos elétricos na operação de distribuição postal do Rio de Janeiro, não seria necessária a adoção de incentivos tributários por parte do poder público. Mesmo considerando a aquisição dos veículos elétricos pela empresa, a análise econômica ainda apresentou uma redução no custo total de transportes da operação DTE em relação à DTI.

Com relação ao nível de serviço, observou-se um aumento de 26% da produtividade, se comparada à operação DTE em relação à operação DTI. Verificou-se que a operação DTE, além de consumir menos tempo, foi capaz de realizar um maior número de entregas, atendendo mais clientes na rota analisada, conforme pode ser observado na Figura 10.

Figura 10: Número médio de clientes atendidos por rota



Quanto à avaliação ambiental, foram estimadas apenas as emissões da operação DTI, conforme apresentado na Tabela 15, uma vez que na operação DTI utiliza-se veículos com motores do ciclo Otto e ciclo Diesel, enquanto na operação DTE utiliza-se veículo elétrico, portanto pode ser considerada uma emissão final nula de GEE e PA.

Tabela 15: Reduções de emissão de PA e GEE

	Poluentes Atmosféricos					Gases de Efeito Estufa			
	CO [g]	NOx [g]	RCHO [g]	NMHC [g]	MP [g]	CH_4 [g]	N_2O [g]	CO_2 [kg]	CO_{2e} [kg]
DTI	10,11	32,78	0,02	0,7	0,33	1,27	0,81	20,73	21,01

Quanto ao aspecto social, a Tabela 16 evidencia a comparação entre a FC coletada nas operações DTI e DTE. Realizou-se a medição em um funcionário de 34 anos, com 82 kg e FC máxima de 184 bpm. Os dados inferem que, na operação de DTI, há uma maior variação da FC durante toda a operação de entrega (com maior pico do esforço), enquanto na operação DTE apresentou uma tendência a um platô, com FC constante durante toda a operação.

Tabela 16: Faixas de FC medidas nas operações DTI e DTE

Faixas de FC		DTI média [%]	Desvio Padrão	DTE média [%]	Desvio Padrão	Variação % DTI x DTE
< 50 %	0 – 91 bpm	23,93	21,93	9,29	6,12	-61,17
50 – 60 %	92 – 109 bpm	52,42	15,84	84,83	2,59	61,81
60 – 70 %	110 – 128 bpm	22,01	22,09	5,88	4,85	-73,27
70 – 80 %	129 – 146 bpm	1,64	3,28	0	0	-
80 – 90 %	147 – 165 bpm	0	0	0	0	-
90 – 100 %	166 – 184 bpm	0	0	0	0	-

Considerações finais

A adoção triciclo elétrico para a distribuição postal na cidade do Rio de Janeiro está alinhado com a necessidade de eliminar os impactos negativos produzidos pela atividade do transporte, sobretudo por causa do grande consumo de energia de origem fóssil. Assim, os resultados apontaram redução de custos e melhoria do nível de serviço, tendo em vista a possibilidade de um maior número de entregas por rota diária realizada e o aumento do número de clientes atendidos. Além disso, a inserção dos triciclos elétricos apresentada resultados positivos tanto do ponto de vista ambiental, devido às emissões evitadas, quanto do ponto de vista social, por meio da análise da FC do trabalhador. Isto demonstra a eficiência da alternativa de adotar veículos elétricos para o transporte de carga em áreas urbanas.

Adicionalmente, ressalta-se que a utilização de diferentes tipos de veículos para realização de entregas e coletas e utilização de sistemas de propulsão alternativos são boas práticas que podem ser adotadas de forma combinada com: utilização de fontes de energia mais limpas e realização de transferência do transporte de carga para modos mais limpos (transferência modal).

Agradecimentos

Aos autores Cíntia Machado de Oliveira, Renata Albergaria de Mello Bandeira, George Vasconcellos Goes, Daniel Neves Schmitz Gonçalves, Márcio de Almeida D'Agosto pela elaboração do artigo intitulado *Sustentabilidade na Última Milha da Distribuição Postal em Áreas Urbanas Mediante Adoção de Triciclos Elétricos*, aceito na revista Transportes, em 2018, que deu origem ao exemplo da boa prática acima descrito.

Avaliação da ecoeficiência na intermodalidade para o transporte regional de carga

Intermodalidade na distribuição de calcário para indústria siderúrgica

Apesar da maior eficiência no uso da energia pelo modo ferroviário em comparação com o modo rodoviário, a matriz de transporte brasileira é concentrada nesse último, impactando negativamente o desempenho do transporte de carga. Convencionalmente, os serviços ferroviários e aquáticos (por embarcações) são oferecidos no Brasil apenas na existência de um volume de carga suficiente e um negócio potencialmente lucrativo para o operador de transporte[26].

Na última década, o conhecimento sobre a redução das emissões de GEE do transporte rodoviário tem crescido substancialmente, sob o conceito de transporte rodoviário verde (*green road freight transportation*)[27]. Desta forma, tem-se repensado a forma de se transportar carga pelo modo rodoviário por meio do conceito de ecoeficiência.[28, 29] No setor primário, que lida com o transporte de grandes volumes de cargas que podem ter baixo valor agregado, como as *commodities*, a decisão sobre qual modo utilizar nem sempre pode estar associada a um modo de maior capacidade, caso não existam plataformas intermodais eficientes ou implique em rotas substancialmente mais longas.

Neste contexto, o embarcador necessita de um procedimento para a avaliação das alternativas de transporte da carga, de forma a garantir custos e níveis de serviço semelhantes aos que se obteria por meio do transporte convencional para *commodities* (que poderiam usar as ferrovias), sem comprometer o desempenho de aspectos ambientais associados à: (i) intensidade energética; e (ii) emissão de poluentes atmosféricos e de gases de efeito estufa (GEE).

Um método para avaliação de desempenho dos modos de transporte especializados e alternativas de transporte não usuais para o transporte de produtos de baixo valor agregado foi aplicado numa siderúrgica localizada na região sudeste do Brasil.

26 ANTT (2016). Corredores Logísticos Multimodais Desenvolvimento de Redes Transeuropeias de Transporte e Implantação do Conceito do Corredor no Brasil. São Paulo, 2016.

27 Demir, E., Bektaş, T., & Laporte, G. (2014). A review of recent research on green road freight transportation. European Jo esearch, 237(3), 775-793.

28 Bektaş, T., Ehmke, J. F., Psaraftis, H. N., & Puchinger, J. (2018). The Role of Operational Research in Green Freight Transportation. European Journal of Operational Research.

29 Guajardo, M. (2018). Environmental benefits of collaboration and allocation of emissions in road freight transportation. In Sustainable Freight Transport (pp. 79-98). Springer, Cham.

Em relação à sua cadeia produtiva, a empresa necessita de aproximadamente 2,7 toneladas de insumos para a produção de uma tonelada de aço, destacando-se o minério de ferro, o carvão e o calcário. O calcário, embora imprescindível para a fabricação do aço, representa uma fração de 0,04% na sua composição[30], situação que o coloca em posição desfavorável perante o minério de ferro e o carvão siderúrgico, na competição pela oferta de transporte especializado. Por outro lado, o calcário caracteriza-se por possuir baixo custo de aquisição, o que faz do transporte um dos itens mais onerosos e importantes como componente do custo final deste produto.

Para o transporte do calcário, o modo rodoviário, que apresenta os maiores custos e impactos ambientais, é o mais utilizado, seguido pelo ferroviário e o aquático, que é utilizado de forma combinada, juntamente com outros modos de transportes terrestres (rodoviário e ferroviário)[31, 32, 33, 34].

Boa Prática: realização de transferência do transporte de carga para modos mais limpos (transferência modal)

Consiste na priorização, quando possível, do uso de modos de transporte que consumam menos energia e emitam menos poluentes atmosféricos e menos gases de efeito estufa (GEE), se comparados com o modo de transporte em uso corrente. Normalmente, esta boa prática considera a transferência de carga do modo rodoviário para os modos ferroviário, marítimo de cabotagem e/ou navegação interior e implica na substituição de uma operação unimodal, quando só se usa o modo rodoviário, para uma operação multimodal.

Escolha de atributos, indicadores e medidas

Em síntese, para o aspecto econômico, considera-se os seguintes atributos: (1) custo, (2) tempo, (3) confiabilidade e (4) segurança. No caso do aspecto ambiental, os atributos usualmente considerados são: (1) consumo de energia, (2) emissão poluentes atmosféricos e (3) dióxido de carbono (CO_2). A quantificação destes atributos se faz por meio da identificação de indicadores de desempenho.

Para o aspecto econômico, a medida selecionada foi o custo da alternativa [R$/t], determinada em função do custo de transporte pelo modo de transporte [R$/km]; da distância percorrida pelo modo de transporte [km]; da quantidade de produto transportado pela alternativa [t]; do custo de movimentação no terminal [R$/t] e do custo de operação do equipamento em cada alternativa [R$/t]

No tocante ao nível de serviço, os indicadores são o tempo médio de transporte para cada alternativa [h] e a confiabilidade média (em percentual da variação do tempo de viagem). Estes indicadores serão complementados pela medida de custo com perdas de produtos durante o transporte (R$/t).

O aspecto ambiental é composto pelas medidas: consumo médio de combustível fóssil por cada alternativa [l/t]; consumo energético médio de cada alternativa [MJ/t]; emissão do poluente atmosférico por cada alternativa [g/t] e emissão média de CO_2 por cada alternativa [kg/t]. A Tabela 17 mostra as medidas de desempenho utilizadas.

30 IAB, 2011. Anuário Estatístico 2011. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2011.

31 CNT, 2011. Confederação Nacional do Transporte. Informe econômico do setor de transportes, 2011.
Disponíve em:<http://www.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Informe%20Econ%C3%B4mico/InformeEconomico07-2011.pdf> Acesso em 03 de dezembro de 2011.

32 Poso, A. T. O processo de reestruturação da siderurgia mundial e brasileira: o caso da Companhia Siderúrgica Nacional. Dissertação de M. Sc., USP, São Paulo, SP, Brasil, 2007.

33 Castro. N. Estrutura, desempenho e perspectiva do transporte ferroviário de carga. Pesquisa e planejamento econômico, v.32, n.2, ago.2002.

34 Coelho Neto, G.; Ribeiro, P.C.C.. "Transporte em uma empresa da indústria siderúrgica brasileira". In: XXVI ENEGEP, Fortaleza, CE, Brasil, 9-11 outubro, 2006.

Tabela 17: Medidas de desempenho utilizadas

Aspectos	Atributos	Medidas		
		Denominação	Sigla	Unidade
Econômico	Custo	Custo da alternativa i (i')	CAi (i')	R$/t
	NS - Tempo	Tempo médio de transporte da alternativa i (i')	TAi (i')	h
	NS - Confiabilidade	Confiabilidade média da alternativa i (i')	VTAi (i')	%
	NS - Segurança	Custo com perdas de carga na operação da alternativa i (i')	CPAi (i')	R$/t
Ambiental	Consumo de energia	Consumo médio de energia da alternativa i (i')	CEi (i')	MJ/t
	Emissão de poluentes atmosféricos e GEE	Emissão média do poluente atmosférico p pela alternativa i (i')	EPi, (i')p	g/t
		Emissão média de CO_2 pela alternativa i (i')	ECO_2i (i')	kg/t

Método de comparação

O método de comparação é baseado em uma abordagem integrada de ecoeficiência, composto por duas etapas.

A Etapa 1 considera a identificação das alternativas de transporte (Figura 11). Entende-se que seja possível identificar um conjunto de alternativas relacionadas ao transporte especializado (A_{TE}) e outro conjunto de alternativas não usuais para o transporte de carga de baixo valor agregado (A_{NUT}). O transporte especializado, neste caso, está associado a modos de transporte de grande capacidade. Já as alternativas não usuais para o transporte de carga de baixo valor agregado consideram o uso de outros modos de transporte que permitam a oferta de serviço nos preceitos da eco-eficiência.

Figura 11: Diagramas ilustrativos (sem escala) das alternativas de transporte de calcário

Após a identificação das alternativas, passa-se a Etapa 2, que permite a identificação de um conjunto de medidas de desempenho que relacionam recursos e resultados para cada alternativa. Importante ressaltar que cada alternativa é composta por uma combinação de modos de transporte, que atuam em segmentos de tráfego conectados por terminais de transbordo.

Após o cálculo das medidas de desempenho de cada alternativa, estas são normalizadas (MNA_{TE} ou MNA_{NUT}) de modo a permitir a comparação isolada entre elas. A comparação é obtida pela Equação 2.

$$\sum_{i'=1}^{m} MN_{i'} A_{i'NUT} \;/\; \sum_{i=1}^{m} MN_i A_{iTE} > 1, \text{ então } A_{i'NUT} \text{ melhor que } A_{iTE} \qquad (2)$$

Os resultados obtidos por meio da Equação 2 também permitem que se estabeleça uma hierarquia entre as alternativas. Caso se deseje realizar um teste de sensibilidade, é possível introduzir pesos, variando de 0 a 1, para as medidas de desempenho, de forma a valorizar um dos aspectos (econômico ou ambiental).

Para calcular as medidas de desempenho, foi necessário realizar um levantamento de dados por meio do acompanhamento da operação em campo ao longo do ano de 2014. Assim, foram obtidos os valores de tempo de operação e de consumo de energia para as locomotivas, caminhões, pás carregadeiras e *reach staker* (óleo diesel) e para as correias transportadoras (energia elétrica). Além disso, neste acompanhamento, foram estimadas as perdas, pela diferença entre a massa de produto embarcado na origem e recebido no destino final. Já os valores de custo foram obtidos por meio de consulta ao mercado. Os dados são apresentados na Tabela 18 e na Tabela 19.

Tabela 18: Valores dos indicadores de desempenho coletados em campo

Alternativas	Caminhão			Locomotiva		
	Custo [R$/t]	Tempo [h]	Energia [l/t]	Custo [R$/t]	Tempo [h]	Energia [l/t]
A_{1TE}	8,42	1,5	0,57	47,66	109,48	2,78
A_{1NUT}	13,43	1,5	0,68	46,6	99,58	2,74
A_{2NUT}	6,01	1,77	0,16	39,33	66,81	2,51
A_{3NUT}	65,83	19,81	6,39	0	0	0

Nota: A1TE, A1NUT, A2NUT e A3NUT conforme apresentado na Figura 11.

Tabela 19: Valores dos indicadores de desempenho coletados em campo

Alternativas	Correia Transportadora			Pá Carregadeira		Empilhadeira de contêiner	
	Custo [R$/t]	Tempo [h]	Energia [l/t]	Tempo [h]	Energia [l/t]	Tempo [h]	Energia [l/t]
A_{1TE}	14,89	0,04	0,32	1,44	0,12	0	0
A_{1NUT}	16,28	0,02	0,6	2,09	0,12	0	0
A_{2NUT}	20,25	0	0	0	0	1,08	0,47
A_{3NUT}	2,24	0,02	0,6	0,69	0,28	0	0

Nota: A1TE, A1NUT, A2NUT e A3NUT conforme apresentado na Figura 11.

A Tabela 20 mostra os fatores de emissão para cada equipamento utilizado nas alternativas de transporte. Os fatores de conteúdo energético e de emissão de CO_2 considerados para o óleo diesel foram de 40,87 MJ/l e 2,671 kg/l, respectivamente[35].

Tabela 20: Fatores de emissão de poluentes atmosféricos e emissão de CO_2[35, 36]

Equipamento	CO_2 [kg/l]	CO [g/km]	HCNM [g/km]	NOx [g/km]	MP [g/km]
Caminhão pesado	2,671	4,05	1,38	29,33	0,57
Pá carregadeira	2,671	4,05	1,38	29,33	0,57
Empilhadeira contêiner	2,671	4,05	1,38	29,33	0,57
Locomotiva manobra	2,671	26,00	6,80	74,00	3,40
Locomotiva tração	2,671	28,00	7,00	104,00	8,40

Comparação de resultados

A Tabela 21 apresenta os valores obtidos para as medidas de desempenho e seus valores normalizados são apresentados na Tabela 22.

Tabela 21: Valores das medidas e desempenho para cada uma das alternativas

Aspectos	Econômico				Ambiental					
Medidas	CA [R$/t]	TA [h]	VTA	CPA [R$/t]	CE [MJ/t]	EP_{CO} [g/t]	EP_{HCNM} [g/t]	EP_{NOx} [g/t]	EP_{MP} [g/t]	E_{CO2} [kg/t]
A_{1TE}	70,97	112,46	0,09	33,22	126,82	22,30	5,88	92,58	5,70	9,38
A_{1NUT}	76,31	103,19	0,09	26,20	139,43	23,62	6,32	101,29	5,83	10,32
A_{2NUT}	65,59	69,66	0,03	5,91	113,06	20,98	5,43	84,50	5,60	8,39
A_{3NUT}	68,07	20,52	0,04	9,08	240,24	22,99	7,83	166,51	3,24	17,80

Nota: A1TE, A1NUT, A2NUT e A3NUT conforme apresentado na Figura 11.

Legenda: CA - custo médio de transporte da alternativa; TA - tempo médio de transporte da alternativa; VTA - confiabilidade da alternativa; CPA - custo médio com perdas de carga na operação da alternativa; CE - consumo médio de energia da alternativa; EP - emissão média do poluente atmosférico pela alternativa; ECO_2 - emissão média de CO_2 pela alternativa.

Tabela 22: Valores normalizados das medidas e desempenho para cada uma das alternativas

Aspectos	Econômico				Ambiental					
Medidas	CA	TA	VTA	CPA	CE	EP_{CO}	EP_{HCNM}	EP_{NOx}	EP_{MP}	EP_{CO2}
A_{1TE}	0,924	0,111	0,333	0,178	0,891	0,941	0,923	0,913	0,568	0,894
A_{1NUT}	0,860	0,121	0,312	0,226	0,811	0,888	0,859	0,834	0,556	0,813
A_{2NUT}	1,000	0,180	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,579	1,000
A_{3NUT}	0,964	1,000	0,744	0,651	0,471	0,913	0,693	0,507	1,000	0,471

Nota: A1TE, A1NUT, A2NUT e A3NUT conforme apresentado na Figura 11.

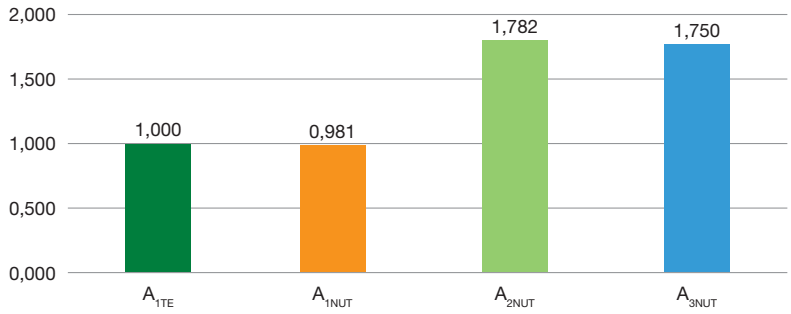
Legenda: CA - custo médio de transporte da alternativa; TA - tempo médio de transporte da alternativa; VTA - confiabilidade da alternativa; CPA - custo médio com perdas de carga na operação da alternativa; CE - consumo médio de energia da alternativa; EP - emissão média do poluente atmosférico pela alternativa; ECO_2 - emissão média de CO_2 pela alternativa.

35 MMA, 2011. 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF.

36 Lewis, P.E.; Rasdorf, W.; Frey, H.; Pang, S.; Kim, K. *Requirements and incentives for reducing construction vehicle emissions and comparison of nonroad diesel engine emissions data sources*. Journal of construction engineering and management. Vol. 5; pp. 341-351, 2009.

A Figura 12 apresenta os resultados da comparação das medidas de desempenho para cada uma das alternativas de forma agregada. A alternativa de transporte especializado A_{TE} é considerada como referência adotando o valor de 1,000. Quanto maior o valor obtido para cada uma das medidas de desempenho avaliadas para as demais alternativas, melhor seu desempenho, sendo candidata a ser considerada em substituição ao transporte especializado.

Figura 12: Resultado da comparação das alternativas de forma agregada



Nota: A_{1TE}, A_{1NUT}, A_{2NUT} e A_{3NUT} conforme apresentado na Figura 11.

Quanto à análise de sensibilidade, a Figura 13 apresenta o resultado obtido quando se aplica uma escala de pesos que vai de A100 a E100. A situação hipotética A100 considera na avaliação de desempenho apenas as medidas associadas ao aspecto ambiental na escolha das alternativas. A situação E100 é uma situação usual, quando se considera somente o aspecto econômico (custo e nível de serviço) para a escolha das alternativas.

Figura 13: Resultado da aplicação dos pesos para os aspetos ambiental e econômico

Nota: A_{1TE}, A_{1NUT}, A_{2NUT} e A_{3NUT} conforme apresentado na Figura 11.

Considerações finais

Os resultados apresentados a partir da aplicação do procedimento proposto mostram que é possível escolher uma alternativa não usual para o transporte de produto de baixo valor agregado e com desempenho superior à alternativa de transporte especializado sob a ótica do aspecto econômico, considerando os indicadores de custo e nível de serviço, sem comprometer o desempenho do aspecto ambiental, situação imprescindível à garantia dos padrões atuais de responsabilidade ambiental das empresas.

A introdução do aspecto ambiental na avaliação de desempenho de alternativas de transporte, por meio do procedimento proposto, evidencia que a melhor escolha seria A_{2NUT}, sendo a única que mantem desempenho superior à alternativa de transporte especializado - A_{1TE} (+8%) para A100, sendo a melhor alternativa aquela em que se considera o aspecto ambiental em equidade com o aspecto econômico (A100 até A50 na Figura 13).

Adicionalmente, ressalta-se que a realização de transferência do transporte de carga para modos mais limpos (transferência modal) é uma boa prática que pode ser adotada de forma combinada com: Utilização de sistemas de informação para rastreamento e acompanhamento da frota; Otimização da operação de carga e descarga com utilização de equipamentos motorizados; Utilização de veículos com maior eficiência energética.

Agradecimentos

Aos autores Cíntia Machado de Oliveira, Márcio de Almeida D'Agosto, George Vasconcelos Goes, Lino Guimarães Marujo, Daniel Neves Schmitz Gonçalves, Mariane Gonzalez da Costa e Guilherme Anselmo Guimarães dos Santos pela elaboração do artigo intitulado *Avaliação da Ecoeficiência na Intermodalidade para o Transporte Regional de Carga – O Caso do Calcário Siderúrgico*, aceito no XXXII Congresso ANPET (2018), que deu origem ao exemplo da boa prática acima descrito.

Considerações finais

Os casos aqui apresentados demosntram que é possível a aplicação de boas práticas que aprimoram a sustentabilidade do transporte de carga como função logística, em que são alcançados resultados que garantem o bom desempenho econômico, ambientral e, direta ou indiretamente, social.

A prática sustentável no transporte de carga e na logística não é mais uma utopia e sim uma forma efetiva de aprimorar a eficiência das suas atividades primárias. Aqui, praticar a sustentabilidade pode ser um negócio bastante rentável que garanta benefícios sociais de longo prazo. Porém, é preciso saber escolher onde e como isso levará aos melhores resultados.

Este Guia da Aplicação comprova que fazer estas escolhas é possível, uma vez que existem abordagens, métodos, procedimentos e ferramentas de avaliação da sustentabilidade no transporte de carga que são acessíveis aos profissionais que atuam nas empresas e que o seu uso pode apoiar a escolha adequada de onde e como obter os melhores resultados na aplicação das boas práticas aqui apresentadas. Demonstra também que a sinergia entre a academia e as empresas deve ser explorada e aproveitada ao máximo, pois trás benefícios para ambos os lados. Esta é uma receita de sucesso!

Divulgar e aplicar conhecimento é a melhor forma de vencer o desafio de alcançar a sustentabilidade das atividades econômicas em um mundo em constante e rápida transformação. Vamos juntos vencer este desafio!