

Avaliação de custos completos: combustíveis para o transporte coletivo urbano de Campinas/SP

RESUMO

A utilização de combustíveis fósseis pelos meios de transporte é uma importante causa da degradação do meio ambiente, destacando-se a poluição atmosférica gerada por veículos pesados, como por exemplo os ônibus urbanos. É, portanto, relevante discutir formas alternativas de combustível para o transporte coletivo urbano, usando como exemplo o município de Campinas. O objetivo deste artigo é avaliar os impactos da substituição do diesel por biodiesel ou pela energia elétrica a partir de indicadores de desempenho econômico, social e ambiental. A Avaliação de Custos Completos é a metodologia utilizada, apropriada ao estudo da sustentabilidade devido a flexibilidade de elementos que podem ser considerados ao combinar a indicadores econômicos, ambientais e sociais. Como resultado, destaca-se a energia elétrica como o combustível mais eficiente dentre os três analisados, sob a ótica dos elementos considerados, verificando sua sustentabilidade, principalmente na esfera ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Mobilidade Urbana Sustentável. Combustíveis. Energias Renováveis. Transporte Coletivo Urbano. Avaliação de Custos Completos.

Renata Covisi Pereira

renatacovisi@hotmail.com

Pontifícia Universidade Católica de
Campinas - Campinas, São Paulo, Brasil.

Bruna Angela Branchi

bruna.branchi@puc-campinas.edu.br

Pontifícia Universidade Católica de
Campinas - Campinas, São Paulo, Brasil.

Denise Helena Lombardo Ferreira

lombardo@puc-campinas.edu.br

Pontifícia Universidade Católica de
Campinas - Campinas, São Paulo, Brasil.

INTRODUÇÃO

Com a crescente evidência das consequências da poluição sobre as condições ambientais inicia-se discussão da substituição de combustíveis fósseis por outras fontes energéticas. Segundo Sachs (2005) é necessário e urgente o abandono dos mesmos para conter as mudanças climáticas já anunciadas. Para além desse motivo crucial, o autor argumenta que a volatilidade dos preços do petróleo, principal componente do diesel e da gasolina, tem no pico da produção, esgotamento das reservas e crises geopolíticas nos locais de maior produção, pontos a serem ponderados para pensar alternativas sustentáveis de geração de energia. Marques Filho (2016) exemplifica outras formas de poluição causadas pelos combustíveis fósseis: a) em processos de extração e transporte, com derramamento de petróleo por navios, na prospecção e em oleodutos, além da sabotagem de navios em zonas de guerra; b) destruição de ecossistemas tropicais, devido à extração de madeira para abertura de espaço para as operações de prospecção de petróleo e gás em florestas e rios; c) ampliação da extração em locais de difícil acesso, como no Ártico em águas profundas; d) extração de petróleo não convencional, por exemplo, em areias betuminosas, maximizando os efeitos negativos dos processos. Segundo Mota et al. (2009, p. 232) “melhorar as condições ambientais, sobretudo nos grandes centros metropolitanos significa também melhorar a qualidade de vida da população e evitar gastos dos governos e dos cidadãos no combate aos males da poluição”.

Os combustíveis para transporte são “onde se constata hoje o maior aumento das emissões de CO₂” (ABRAMOVAY, 2012, p. 74). São necessárias, portanto, alternativas energéticas para mitigar o uso dos derivados do petróleo. Estas alternativas podem ser o etanol derivado da cana-de-açúcar, o biodiesel derivado de cereais e oleaginosas e a energia elétrica, bem como demais tecnologias desenvolvidas recentemente. O etanol e o biodiesel são biocombustíveis utilizados extensivamente em muitos países. Têm custos de produção variados em razão das diferentes matérias-primas, além do tamanho da produção, no entanto têm grande possibilidade de aumento de escala, primando sempre pela sustentabilidade no uso da terra (WEC, 2013). Apesar da viabilidade técnica para utilização da energia elétrica como combustível para os meios de transporte, esta ainda não se estabeleceu para utilização no transporte coletivo urbano de forma completa nas frotas, principalmente nos países em desenvolvimento.

Seguindo a tendência mundial no setor de transporte, o Brasil vem substituindo os combustíveis fósseis por fontes renováveis, utilizando cada vez mais o biodiesel, por ter notável potencial em redução de emissões de gases (MOTA et al., 2009). No caso da energia elétrica, há testes em apenas algumas cidades, como São Paulo, Curitiba e Campinas, no transporte coletivo, com investimento de empresas brasileiras, mas principalmente de multinacionais (VASCONCELOS, 2015).

Mesmo com sua crescente utilização, de acordo com Coutinho e Bomtempo (2011), a indústria brasileira de biodiesel é recente, em processo de estruturação, diferentemente daquela do etanol, já em estágio avançado de desenvolvimento. O desenvolvimento desse setor da indústria se deu a partir do Programa Nacional de Produção de Biodiesel, regulamentado pela Lei nº 11.097, de 2005 (BRASIL, 2005), que de acordo com Sachs (2005), iniciou-se de forma modesta, porém com

intenso potencial de crescimento. Outro ponto importante do programa é o apoio à agricultura familiar, política que visa a inclusão social do pequeno produtor agrícola, dando a ele o apoio técnico de empresas que comprarão sua produção, bem como acordos comerciais beneficiando ambos agentes econômicos. O biodiesel é, portanto, substituto viável, podendo reduzir em até 78% as emissões de gases, como o dióxido de carbono (MOTA et al., 2009). Inclui-se na gama de benefícios do biodiesel a coprodução de outros derivados de suas possíveis matérias-primas, como: algodão, amendoim, babaçu, dendê, macaúba, girassol, mamona e pinhão manso.

O uso da energia elétrica no transporte encontra-se ainda em discussão, porém com significativo progresso, onde se ressalta vantagens de caráter ambiental e de flexibilidade, com opções, por exemplo, de ônibus híbridos, que podem também operar de forma integralmente elétrica, o que significa grande avanço na contenção de emissão de poluentes (VASCONCELOS, 2015).

Nesse momento, portanto, a preocupação com as consequências sociais, econômicas e ambientais do crescimento brutal da frota de veículos é um dos temas da agenda pública e da sociedade, associada a essa nova gama de tecnologias disponíveis. Uma das formas mais eficientes para redução da utilização de veículos é o crescimento dos sistemas de transporte público coletivo (GOMIDE, 2003).

Nesse sentido, analisa-se o exemplo do sistema de transporte público coletivo de Campinas que tinha em 2016 uma frota de 1.239 ônibus, com 206 linhas, e média de 625 mil viagens por dia, totalizando cerca de 15,3 milhões de viagens por mês, são cerca de 230 mil usuários (EMDEC, 2016). Há fluxo intenso principalmente nas principais vias de integração das regiões periféricas da cidade para o centro, onde se encontram as oportunidades de trabalho. No final de 2005, Campinas iniciou a utilização do biodiesel na frota do transporte público coletivo. Com a inserção de 2% de biodiesel à mistura do diesel houve redução no consumo de combustível em 2,8%, bem como redução de até 190 kg de material particulado (EMDEC, 2006). A Lei Federal nº 11.097 previa que entre 2007 e 2013 o percentual obrigatório de biodiesel nos ônibus fosse de 2% e a partir de 2013, passasse para 5% (BRASIL, 2005). Atualmente, o percentual obrigatório é de 7%, com uma previsão de chegar a 10% em 2019 (BRASIL, 2016a). Em relação à utilização de ônibus elétricos, a cidade incorporou 10 veículos em 2015 para testar a potencialidade da nova tecnologia (EMDEC, 2015). A partir deste contexto, indaga-se qual a melhor alternativa para o transporte coletivo de Campinas em relação ao combustível utilizado por sua frota de ônibus, considerando o diesel, o biodiesel e a energia elétrica. Pretende-se neste artigo, portanto, avaliar os impactos da substituição do diesel pelo biodiesel e energia elétrica a partir de indicadores de desempenho econômico, social e ambiental. A análise de uma cidade de porte médio, sede de uma região metropolitana, e que dispõe de banco de dados mais farto se comparado com as demais cidades da região, contribuiu para a escolha da mesma como recorte de análise. Para tal, adotou-se a metodologia de Avaliação de Custos Completos (ACC) que, por sua amplitude em relação aos elementos que podem ser analisados e pela possibilidade de combinar a análise econômica com análises ambientais e sociais, permite sua aplicação ao estudo da sustentabilidade em diversas esferas. Foram estudadas alternativas de combustíveis especificamente para o transporte coletivo, por ser um serviço público, direcionado ao atendimento de demanda

social, e por ser composto por veículos pesados que, tradicionalmente, usam o diesel como carburante.

O artigo divide-se em três seções, além desta introdução e das considerações finais. A primeira seção inclui referencial teórico referente aos combustíveis objetos do estudo. A segunda seção é dedicada ao detalhamento da metodologia do estudo comparativo com a ACC, para enfim, na última seção, comentar a análise dos resultados.

OS COMBUSTÍVEIS PARA O TRANSPORTE COLETIVO URBANO

DIESEL

Derivado do petróleo, o combustível líquido óleo diesel, também chamado de petrodiesel, tem sua composição formada por hidrocarbonetos com cadeias de 8 a 16 carbonos e nitrogênio, enxofre e oxigênio em quantidades menores proporcionalmente. Sua utilização é em maior parte realizada em motores com ciclo Diesel (de combustão interna e ignição por compressão) para várias finalidades, especialmente em veículos pesados como ônibus e caminhões (ANP, 2017).

A extensa utilização do diesel recebeu estímulos a partir da descoberta de campos de exploração de petróleo e dos avanços da indústria petroquímica, que possibilitaram a difusão, em grandes quantidades, de combustíveis de baixo custo. A matriz energética mundial foi se modificando a partir do século XIX, com o petróleo ganhando cada vez mais espaço e status de paradigma energético, símbolo de progresso e poder, elemento fundamental em várias áreas da economia (VIANNA, 2006).

Explorar e produzir o diesel incide em grande consumo de energia. No Brasil, o tipo de petróleo extraído, mesmo antes da descoberta do Pré-Sal, tem maior concentração de enxofre, necessitando assim de mais energia para produção de diesel de qualidade. A produção no país não é autossuficiente, devido a fases mais complexas que ainda não são realizadas em larga escala no Brasil (FALCO, 2017).

O petróleo brasileiro é em maior parte extraído de águas profundas. O petróleo cru é refinado em processos químicos para purificação e dividido entre os subprodutos. Depois de refinados, os derivados de petróleo são levados por oleodutos, navios, trens e caminhões tanque, para bases de distribuição espalhadas pelo país (FALCO, 2017).

Além das emissões liberadas pela combustão final do diesel, o processo de abastecimento emana gases que contribuem para a poluição urbana. Os gases podem ser expelidos a partir da evaporação que ocorre nos tanques de armazenamento devido ao aumento de calor gerado pela variação da temperatura do motor. Além disso, podem se desprender no próprio motor devido ao aquecimento e no abastecimento diretamente na abertura do tanque de combustível no momento de inserção da bomba (FALCO, 2017).

BIODIESEL

O biodiesel pode ser definido como a alternativa natural que substitui o diesel derivado de petróleo, entretanto, menos poluente devido à sua origem. Pode ser derivado de plantas oleaginosas, óleos vegetais reciclados após utilização em frituras ou gorduras animais. Essa é a definição mais comum e aceita por especialistas. Também é reconhecida a interpretação de que biodiesel é qualquer tipo de combustível que possa substituir o diesel na matriz energética mundial (RAMOS et al., 2003).

Pode ser chamado de combustível renovável e sustentável, devido as matérias-primas derivadas de agricultura ou coleta em mata nativa, utilizadas para sua produção (MORET et al., 2009). Seu emprego é viável, pois não necessita de grandes alterações nos motores a diesel já existentes. Economicamente, sua utilização no Brasil auxilia o saldo da balança comercial, pois diminui o consumo do diesel importado. Ambientalmente, sua utilização reduz consideravelmente a emissão de poluentes causadores do efeito estufa, e os custos com a saúde pública, pois influi no aumento da expectativa de vida da população (RAMOS et al., 2003). Além disso, sua sustentabilidade se dá, também, pela sua capacidade de resistência e regeneração diante do volume de consumo necessário à produção (MORET et al., 2009).

De acordo com Oliveira (2016) há nove tipos de fontes de óleo para o biodiesel. Dentre eles há maior ou menor rendimento dos insumos, que variam de 1 litro de óleo de cozinha para geração de 800 ml de biodiesel, até um hectare de algas para geração de 50 mil litros de biodiesel. Algumas fontes como a soja, a gordura animal, o algodão e o próprio óleo de cozinha já são utilizados na produção. A produção de biodiesel a partir da mamona e do dendê foi aprovada em pesquisas, mas ainda não é utilizada em larga escala. As outras fontes são promissoras, porém não se encontram em produção.

Devido à sua base produtiva primordialmente agrícola, a despeito de seu emprego viável, a fabricação do biodiesel pode ser comprometida devido a mercados não consolidados de seus insumos, como o de dendê que é utilizado como matéria-prima de outras indústrias, bem como implementação de um mercado de agroenergia. Esses pontos podem acarretar em perdas sociais e alterações na produção alimentícia, já que há tendência de produção em mercados mais rentáveis, podendo assim, reduzir a produção de alimentos destinados à população (MORET et al., 2009).

ENERGIA ELÉTRICA

A energia elétrica é utilizada, para além do fim habitual como luz elétrica para residências e comércios, como fonte de energia para os meios de transporte. Mundialmente, as energias renováveis tendem a substituir gradualmente as de fontes fósseis. No Brasil, a matriz energética é predominantemente hidrelétrica, com participação de 59,8% do total de energia elétrica gerada em 2014, no entanto, a expectativa é que as energias solar, eólica e de biomassa tenham maior participação na matriz de energia elétrica nacional (MME, 2015). A água, elemento principal da matriz energética brasileira vem sendo empregada para produção elétrica há quase cem anos. Apesar de ser uma fonte renovável não poluente, as usinas hidrelétricas com barragens e lagos

artificiais causam impactos ambientais e sociais, tais quais inundações de áreas habitáveis, deslocamentos de comunidades nativas e devastação de biodiversidade (MME, 2015; EREC, 2010).

A utilização da energia elétrica no setor de transportes não é recente. No início da indústria automobilística os carros elétricos eram fortes concorrentes dos carros a diesel e a gasolina, no entanto, não tiveram êxito em ganhar mercado, principalmente por seu custo inicialmente mais elevado, ficando assim mais de 80 anos esquecidos. No Brasil, os carros e ônibus elétricos podem ser alternativas importantes, caso sejam introduzidas políticas de incentivo à sua utilização. Mesmo que a eletricidade gerada seja proveniente de combustíveis fósseis, a partir das termelétricas, os carros e os ônibus elétricos são vantajosos por concentrar as emissões de poluentes na geração de energia, que podem ser reguladas, e não no consumo final, espalhados em pontos numerosos, dispersos e de difícil controle. Ao mesmo tempo em que se torna uma solução para emissões de poluentes, o carro e o ônibus elétrico carregam risco ambiental associado à bateria, que necessita ser reciclada após o término de sua vida útil (BARAN; LEGEY, 2011).

METODOLOGIA

AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE COMBUSTÍVEIS

A mobilidade urbana sustentável necessita de métodos de avaliação sistemáticos, que realizem comparações de múltiplas interações. Portanto, para realizar análise comparativa dos combustíveis para o transporte coletivo urbano a Avaliação de Custos Completos (ACC) é uma das metodologias indicadas.

A ACC é uma ferramenta que permite trabalhar com elementos das dimensões da sustentabilidade, permitindo incorporar os custos e impactos envolvidos em cada uma delas.

Essa ferramenta traz a perspectiva de integração dos custos econômicos, tradicionalmente já contabilizados, aos custos ambientais e sociais de determinado negócio, seja ele público ou privado. No caso desta pesquisa, a ACC será utilizada para verificar qual o combustível mais viável para o transporte coletivo urbano no município de Campinas (BAITELO; FEI, 2002).

A ACC foi desenvolvida para permitir a análise de viabilidade de projetos de negócios, de forma que seus impactos ambientais, sociais e políticos possam ser contabilizados. Aborda sistematicamente os custos e suas características, buscando ser uma ferramenta analítica que possibilita integrar o meio ambiente e a sociedade às decisões. Nesse sentido, a decisão do poder público e das empresas operadoras das redes de transporte coletivo urbano pode ser apoiada por este estudo comparativo (MORET et al., 2009).

APLICAÇÃO DA AVALIAÇÃO DE CUSTOS COMPLETOS

Este estudo é realizado de acordo com as etapas discutidas por Udaeta et al. (2003) para a utilização do diesel, do biodiesel e da energia elétrica na frota de ônibus do transporte coletivo urbano, que são descritas a seguir:

- estudo dos impactos de cada tipo de combustível, conforme determinado pela pesquisa bibliográfica das seções sobre o diesel, o biodiesel e a energia elétrica;
- seleção dos elementos a serem avaliados;
- elaboração de tabelas de parametrização dos elementos impactantes para as dimensões;
- definição de pesos e valorações dos elementos de análise com parâmetros, por exemplo, fatores de influência com pesos A=300, B=200 ou C=100 para cada elemento de análise e a classificação de alternativa insatisfatória à melhor alternativa;
- alocação dos dados na tabela para todos os combustíveis;
- análise dos resultados por dimensão e totais.

Para a ACC realizada neste trabalho, são consideradas três dimensões avaliativas para a comparação entre os três combustíveis: ambiental, econômica, e social.

Cada elemento tem seu valor final obtido multiplicando-se os fatores de influência pela classificação indicada, e por fim os pontos são somados para identificar o total de cada dimensão e o total geral. Assim, quanto maior o valor da pontuação de cada combustível, esta opção é mais sustentável considerando os elementos escolhidos para o estudo.

SELEÇÃO DE ELEMENTOS DE ANÁLISE

Tendo realizado a primeira etapa da ACC nas seções iniciais do artigo, a segunda etapa prevê a seleção dos elementos de análise, levando em consideração a essência dos combustíveis e os impactos nas três dimensões por eles causados. O Quadro 1 apresenta, portanto, os elementos:

Quadro 1 - Elementos selecionados para análise da ACC.

Dimensão ambiental	Dimensão social	Dimensão econômica
Monóxido de carbono (CO)	Empregos	Custo por quilometragem
Óxidos de nitrogênio (NOx)	Remuneração média	Preço do ônibus
Material particulado (MP)	Acidentes de trabalho	Custo de manutenção
Dióxido de enxofre (SO ₂)		Vida útil ônibus
Compostos orgânicos voláteis (COV)		
Dióxido de carbono (CO ₂)		

Fonte: Elaboração própria.

ELABORAÇÃO DA AVALIAÇÃO DE CUSTOS COMPLETOS

Para que cada elemento de análise possa ser avaliado na ACC é realizada uma parametrização com a classificação: insatisfatória, pouco satisfatória, satisfatória e muito satisfatória. A metodologia da ACC prevê a atribuição da avaliação a partir de revisão bibliográfica ou detalhamento de cada elemento, como por exemplo, a área de uma usina é classificada a partir de seu tamanho

em metros quadrados. Neste artigo optou-se por padronizar os elementos por meio da parametrização em valores percentuais.

Os parâmetros em que foram distribuídas as pontuações relativas de cada elemento estão subdivididos em intervalos de 25 pontos percentuais, como descrito na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros de Avaliação (%)

Elemento de análise	Insatisfatória	Pouco satisfatória	Satisfatória	Muito satisfatória	
Ambiental	Emissão de CO				
	Emissão de NOx				
	Emissão de MP				
	Emissão de SO ₂	75,01 a 100	50,01 a 75	25,01 a 50	0 a 25
	Emissão de COV				
	Emissão de CO ₂				
Econômica	Custo do combustível				
	Preço do ônibus	75,01 a 100	50,01 a 75	25,01 a 50	0 a 25
	Custo de Manutenção				
	Vida útil ônibus	0 a 25	25,01 a 50	50,01 a 75	75,01 a 100
Social	Geração de Empregos	0 a 25	25,01 a 50	50,01 a 75	75,01 a 100
	Média Salarial				
	Acidentes de Trabalho	75,01 a 100	50,01 a 75	25,01 a 50	0 a 25

Fonte: Elaboração própria.

Para os elementos da dimensão ambiental foram calculados os valores de emissão da frota de ônibus do município de Campinas.

As emissões de poluentes emitidos com o uso de diesel no transporte urbano por ônibus foram estimadas a partir dos poluentes totais registrados na RMC dividido pelo número de ônibus em circulação em 2014.

O biodiesel tem, comparativamente ao diesel, menor emissão de poluentes: CO de 48%, NOx de 10%, MP de 47%, SO₂ de 78% e COV de 35% (OLIVEIRA, SUAREZ, SANTOS, 2008; EPA, 2009; CORRÊA, 2005). Foram, portanto, estimadas as quantidades de poluentes liberados a partir da combustão do biodiesel pela frota de ônibus urbanos de Campinas.

Para um ônibus movido a energia elétrica, não há emissão dos poluentes CO, NOx, MP, SO₂ e COV.

As emissões de CO₂ foram estimadas com a ferramenta The Greenhouse Gas Protocol (*GHG Protocol*) que calcula os valores de CO₂ equivalente emitidos com base na quantidade de combustível consumida por ônibus a cada ano. Para calcular a quantidade de energia elétrica consumida pela frota de veículos nas mesmas condições operacionais de Campinas (a partir da quilometragem mensal do veículo), tomou-se por base o teste realizado em Curitiba/SP, onde o resultado apontou consumo no total de 1,29 Kwh/km por ônibus (URBS, 2015).

A cada elemento de análise da dimensão ambiental é atribuída pontuação percentual, onde o mínimo de poluição possível é igual a zero e o máximo é igual aos valores das emissões máximas estimadas para os combustíveis examinados (no caso em estudo coincidem com as emissões do ônibus a diesel) (Tabela 2).

Tabela 2 - Emissões dos elementos para cada combustível em 2014 (ton. e %).

Elemento	CO	NOx	MP	SO ₂	COV	CO ₂
Diesel	90,05	19,27	448,02	12,54	0,45	124.053,21
%	100	100	100	100	100	100
Biodiesel	46,83	17,34	237,45	2,76	0,29	705,97
%	52	90	53	22	65	1
Eletricidade	0	0	0	0	0	19.283,66
%	0	0	0	0	0	16

Fonte: Elaboração própria com dados de Oliveira, Suarez e Santos (2008), EPA (2009), Corrêa (2005), GHG Protocol (2017), EMDEC (2014) e CETESB (2014).

Na análise da ACC, para a dimensão ambiental, os valores da pontuação relativa foram distribuídos, conforme a parametrização da Tabela 1. O Fator de Importância Relativa (FIR) foi determinado por meio da avaliação de cada elemento, com pesos iguais a 100 (1/3 da máxima importância), 200 (2/3 da máxima importância) e 300 pontos (máxima importância). No caso dos elementos da dimensão ambiental, o critério utilizado foi: a) elemento relacionado a apenas um fator de efeito ambiental - 100 pontos; b) elemento relacionado a apenas um fator de efeito sobre a saúde humana - 200 pontos; e c) elemento relacionado a um fator ambiental e de efeito sobre a saúde humana - 300 pontos.

Para cada dimensão e para o total, a Constante do Fator Considerado (KFC) foi determinada de acordo com a Equação 1:

$$KFC = \frac{300 \cdot X + 200 \cdot Y + 100 \cdot Z}{100} \quad (1)$$

Onde X, Y e Z representam o número de elementos para o FIR considerado.

A pontuação de cada elemento foi calculada por meio da Equação 2:

$$\text{Pontuação} = \frac{FIR}{KFC} * \text{Nível de Valoração Relativa} \quad (2)$$

Aplicando a fórmula da Equação 1, foi estimado KFC da dimensão ambiental em 15. Isso permitiu atribuir a pontuação total para a dimensão ambiental de cada combustível: diesel - 25; biodiesel - 51,7; energia elétrica - 93,3.

Para os elementos da dimensão social, foram organizados os valores a partir de coleta de dados relativos ao país como um todo, pois não existem dados que representem a origem da produção dos combustíveis de acordo com o local de destino. Os dados para o elemento emprego, referem-se ao número de empregados no ano de 2014 nos setores relacionados à produção dos combustíveis em estudo.

O valor de cada elemento da dimensão social é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Percentual relativo dos elementos da dimensão social para cada combustível em 2014.

Elementos	Empregos	Salário Médio (R\$)	Acidentes de Trabalho
Diesel	2.523	4.329	905
%	15,56	100	29,62
Biodiesel	15.010	1.331	3.055
%	92,56	30,75	100
Eletricidade	16.217	1.790	41,35
%	100	2.821	92,34

Fonte: Elaboração própria com dados de MTE (2014) e MPS (2014).

Para a dimensão social, os valores da pontuação relativa foram distribuídos, conforme a parametrização da Tabela 1. No caso dos elementos da dimensão social, o critério utilizado foi: a) elemento relacionado a apenas um fator de efeito social - 100 pontos; b) elemento relacionado a dois fatores de efeito social - 200 pontos; e c) elemento relacionado a três fatores de efeito social - 300 pontos.

A KFC para o caso da dimensão social, foi estimado, a partir da Equação 1 em 8. Dessa forma, a pontuação total, relativa à dimensão social é: diesel - 56,3; biodiesel - 53,1; energia elétrica - 53,1.

Na dimensão econômica, os dados para o elemento custo por quilometragem ao ano em relação ao diesel foram colhidos e organizados nas seguintes etapas:

- Verificação da média de consumo de diesel por quilômetro pelos ônibus da frota do município de Campinas;
- Multiplicação da média de consumo de combustível diesel pelo Percurso Médio Mensal (PMM) da frota por doze meses para totalizar a quantidade de diesel consumida anualmente;
- Multiplicação da quantidade de diesel consumida anualmente pelo preço do litro do combustível no ano de 2014, obtendo-se como resultado o custo por quilometragem ao ano.

Os dados para o elemento custo por quilometragem ao ano em relação ao biodiesel foram colhidos e organizados nas seguintes etapas:

- Transformação do preço biodiesel dado em reais por metros cúbicos, no valor de R\$2.415,00, por reais por litros, no valor de R\$2,42 (ANP, 2014);
- Assumindo-se que o biodiesel tem desempenho próximo ao diesel, multiplica-se o preço por litro de combustível pela quantidade consumida de biodiesel.

Os dados para o elemento custo por quilometragem ao ano em relação à energia elétrica, foram colhidos e organizados nas seguintes etapas:

- A partir da informação da URBS (2015) sobre o consumo médio de energia elétrica para um veículo multiplicado pelo PMM ao ano, define-se a quantidade de quilowatts consumidos por um ônibus anualmente;
- Multiplica-se o preço da energia elétrica pela quantidade de quilowatts consumidos.

Para os preços dos ônibus, foram utilizadas duas fontes: EMDEC (2014) e Maluf Filho (2013). Para os ônibus a diesel, o preço do ônibus foi calculado com base na média ponderada de preços dos ônibus da frota de Campinas.

Os dados para os valores dos preços, custo de manutenção e vida útil dos ônibus a diesel foram obtidos de Maluf Filho (2013) a partir de uma Avaliação de Ciclo de Vida econômico de tecnologias energéticas para ônibus. Para os valores dos preços, custo de manutenção e vida útil dos ônibus a biodiesel, considera-se que para que os motores funcionem com o biodiesel, um motor a diesel sofre mínimas intervenções, portanto, seus valores não têm diferenças significativas (MOTA et al., 2009).

Para a dimensão econômica os valores estimados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Percentual relativo dos elementos da dimensão econômica para cada combustível em 2014.

Elemento	Custo Combustível (R\$)	Preço Ônibus (R\$)	Custo Manutenção (R\$)	Vida útil Ônibus (anos)
Diesel	115.783.791,01	362.473	35.713	10
%	94	29	100	50
Biodiesel	123.560.696,11	362.473	35.713	10
%	100	29	100	50
Eletricidade	52.874.529,35	1.250.000	26.785	20
%	43	100	75	100

Fonte: Elaboração própria com dados de URBS (2015), ANEEL (2017), ANEP (2014), EMDEC (2014) e Maluf Filho (2013).

Para a dimensão econômica, os valores da pontuação relativa foram distribuídos, conforme a parametrização da Tabela 1. O critério utilizado foi: a) elemento relacionado a baixa relevância na decisão pelo modelo - 100 pontos; b) elemento relacionado a média relevância na decisão pelo modelo - 200 pontos; c) elemento relacionado extrema relevância na decisão pelo modelo - 300 pontos.

A KFC para esta dimensão foi estimada em 9. Aplicando a Equação 2, foi possível atribuir as seguintes pontuações: diesel - 52,8; biodiesel - 52,8; energia elétrica - 61,1.

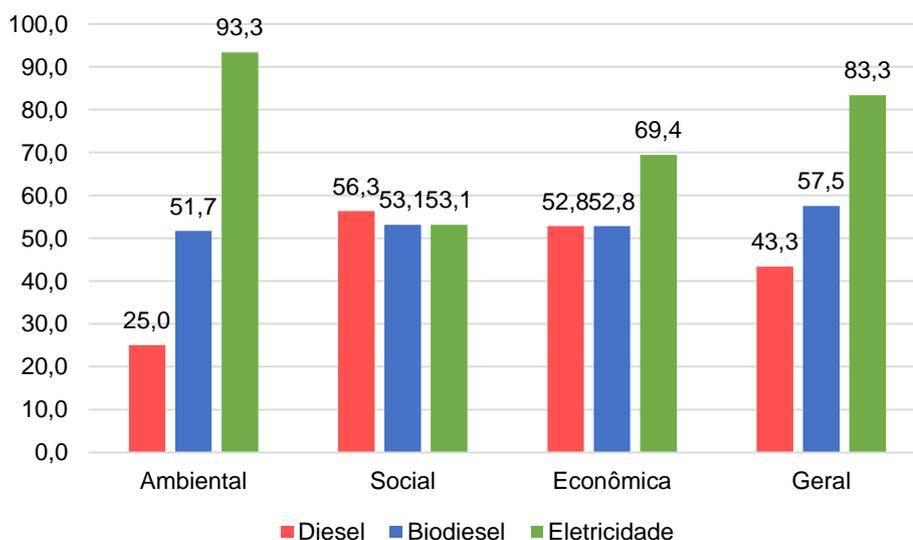
Por fim, para completar a ACC a KFC geral, considerando as três dimensões, foi estimada em 30. A partir deste resultado foi atribuída a pontuação total: diesel - 43,3; biodiesel - 57,5; energia elétrica - 80,8.

A ACC organiza os elementos selecionados de forma a apresentar um ranking de pontuações que mostram em que posição se encontra o tipo de combustível na comparação entre o diesel, o biodiesel e a energia elétrica.

De forma geral, o ranking apresenta a energia elétrica, o biodiesel e o diesel respectivamente, do melhor ao pior combustível dentre os três estudados para utilização no transporte coletivo urbano. Essa classificação é atribuída, principalmente, pelo potencial ambiental dos ônibus elétricos, minimamente poluentes¹, seguido pela questão econômica. A curto prazo a renovação de uma frota inteira com ônibus elétricos têm investimento alto, porém compensado pelo baixo custo ambiental, pelo quilômetro rodado e pela vida útil dos veículos. É possível que a área social tenha ganhos a partir da utilização massiva dos elétricos para o transporte de pessoas, aumentando a média salarial do setor e o número de empregos.

O Gráfico 1 destaca todos os resultados da ACC por dimensão e de forma conjunta. A dimensão social tem comportamento diferente das demais dimensões, ficando bastante equilibrada entre os três combustíveis. A dimensão ambiental é a que tem maior disparidade entre as pontuações. Na dimensão econômica a energia elétrica aparece com maior pontuação, enquanto que o diesel e o biodiesel permanecem no mesmo patamar.

Gráfico 1- Resultados da ACC – pontuação de cada combustível de acordo com as três dimensões e pontuação total.



Fonte: Elaboração própria.

Na dimensão ambiental, o diesel registra o pior resultado comparado aos demais combustíveis, sendo o biodiesel o intermediário, e a energia elétrica a melhor alternativa, tendo o diesel obtido cerca de quatro vezes menos pontos em relação a energia elétrica. Esse resultado deve-se ao fato do ônibus elétrico não realizar emissão de poluentes diretamente pelo veículo.

Para a dimensão social, o resultado é inverso, porém com margem menor, tendo o diesel a maior pontuação e biodiesel e energia elétrica a mesma pontuação. Considerando que os elementos estudados na comparação incluem média salarial, quantidade de empregos e acidentes de trabalho em cada setor da cadeia produtiva dos combustíveis, observa-se que o diesel tem cadeia

produtiva especializada, com média salarial alta, a despeito do menor número de empregados. A proximidade dos valores do biodiesel e energia elétrica deve-se ao fato que os dois setores são intensivos em mão de obra, com empregos menos especializados e com limitada fiscalização em relação aos equipamentos de proteção individual e prevenção de acidentes.

Considerando a dimensão econômica, são diesel e biodiesel os combustíveis que apresentam a mesma pontuação para o custo de manutenção, preço e vida útil do ônibus, pois a utilização destes dois combustíveis não altera significativamente estes elementos, já que o mesmo veículo pode ser utilizado para os dois tipos de combustíveis. O que difere entre os dois é o custo do combustível, sendo o biodiesel 6,72% mais caro em média, o que não interferiu na pontuação do ranking. A energia elétrica tem novamente a pontuação mais alta em relação aos demais combustíveis. O elemento que mais influi essa diferença é o custo por quilômetro rodado, pois a eficiência energética de um ônibus elétrico é superior às das demais opções, além disso, o veículo elétrico tem o dobro de vida útil em relação ao diesel e biodiesel.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para garantir a sustentabilidade do planeta, a mobilidade urbana sustentável e a utilização de combustíveis fósseis devem ser analisadas com afinco, para que sejam trazidas à luz novas possibilidades de produtos menos agressivos ao meio ambiente. Analisar as diversas opções já existentes de forma comparativa elucidando decisões em âmbito público e privado.

Dessa forma, os impactos da substituição do diesel pelo biodiesel e pela energia elétrica foram avaliados a partir dos indicadores de desempenho econômico, social e ambiental do município de Campinas, por meio da Análise de Custos Completos, onde o resultado obtido na comparação retrata a energia elétrica como o melhor combustível a ser utilizado no transporte coletivo, sobretudo devido ao aspecto ambiental do estudo. A partir desta constatação, verifica-se que, para a dimensão ambiental, com o enfoque do estudo sendo a poluição do ar, haveria redução de 84,45% da emissão de gás carbônico e 100% da emissão dos demais poluentes estudados. Isso significaria grande benefício ao microclima da cidade, principalmente nas áreas centrais. Considerando os aspectos sociais é importante lembrar a posição do município campineiro no cenário nacional do desenvolvimento de tecnologias avançadas nas mais diversas áreas. Elevando-se a demanda por tecnologias voltadas aos veículos elétricos, haveria a possibilidade de aumentar a geração de empregos no setor, bem como a atração de novas plantas de produção deste tipo de equipamento, devido à mão-de-obra qualificada já existente na região. O planejamento estratégico assume um papel ainda mais relevante quando for considerada a dimensão econômica devido ao elevado investimento inicial. No caso de Campinas, ao renovar a frota de 1239 veículos que a cidade mantinha nas ruas em 2016 por completo, o custo seria de aproximadamente R\$1.548.750.000,00, podendo ser diluído em um investimento de longo prazo e parcialmente compensado pela redução dos custos com combustível e manutenção, além da ampliação da vida útil de cada veículo.

A despeito das políticas utilizadas no âmbito do governo federal, a melhora da qualidade do transporte coletivo urbano e o uso de combustíveis renováveis são políticas públicas mais adequadas ao propósito de melhorar a qualidade de vida urbana. Estimular políticas desta natureza contribuiria para redução do impacto ambiental do modal de transporte coletivo por ônibus tanto diretamente ao substituir o combustível, quanto indiretamente, podendo influenciar os usuários do transporte privado na adoção de práticas sustentáveis.

A ACC aqui comentada mostra seu potencial como instrumento de auxílio em escolhas complexas, podendo ser ampliada para incluir outros tipos de combustíveis não considerados nesta pesquisa, como por exemplo o hidrogênio, que dentre as soluções ambientalmente menos agressivas, pode ser comparado a energia elétrica, além da possível comparação entre modelos de ônibus, como os híbridos, trólebus, movidos a energia solar, etc.

Outra sugestão refere-se a importância de análises que contemplem a cadeia produtiva dos combustíveis como um todo, pois na geração de energia elétrica, o principal poluente emitido é o CO₂, produzido na queima de carvão em termelétricas. No Brasil, a produção de energia é quase exclusivamente hidrelétrica, diferentemente de países como os Estados Unidos da América, que têm altos níveis de poluição na produção devido às usinas termelétricas utilizadas.

Full Cost Accounting Evaluation: Fuels for Collective Urban Transportation of Campinas/SP

ABSTRACT

The use of fossil fuels for transportation is an important cause of environmental degradation, especially in the case of air pollution generated by heavy vehicles such as city buses. It is therefore relevant to discuss alternative forms of fuel for collective urban transportation, using as example the city of Campinas. The objective of this article is to assess the impacts of diesel substitution by biodiesel or by electrical energy applying economic, social and environmental performance indicators. The Full Cost Accounting Evaluation is the proposed methodology. It is an appropriate tool when studying sustainability because of the flexibility of economic, environmental and social indicators that can be used to evaluate different kind of fuels. As a result, electricity appears to be the most efficient fuel among those analyzed, mainly due to the environmental component.

KEYWORDS: Sustainable Urban Mobility. Fuels. Renewable energy. Collective Urban Transportation. Full Cost Accounting Evaluation.

NOTAS

¹ Não foram incluídos custos de transação na análise.

REFERÊNCIAS

ABRAMOVAY, R. **Muito além da economia verde**. São Paulo: abril, 2012.

ANP-Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Edital de Leilão Público Nº 001/14**. 35º Leilão De Biodiesel (L35) de 2014. Disponível em: <www.anp.gov.br/wwwanp/?dw=69472>. Acesso em: 05 ago. 2017.

ANP-Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Óleo Diesel**. 2017. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/petroleo-derivados/155-combustiveis/1857-oleo-diesel>>. Acesso em: 07 ago. 2017.

BAITELO, R. L.; FEI, S. P. Avaliação de custos completos na produção de energia elétrica com diesel. In: OFICINA DE PLANEJAMENTO DE RECURSOS INTEGRADOS-PIR, 2002. **Anais...** São Paulo, Escola Politécnica da USP, 2002.

BARAN, R.; LEGEY, L. F. L. Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 33, p. 207-224, 2011.

BRASIL. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 jan. 2005. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/l11097.htm>. Acesso em: 05 nov. 2016.

BRASIL. Lei nº 13.263, de 23 de março de 2016. Altera a Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014, para dispor sobre os percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 24 mar. 2016. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2016/Lei/L13263.htm#art1>. Acesso em: 26 abr. 2016a.

CETESB-Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Emissões Veiculares no Estado de São Paulo – 2014**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em: 08 abr. 2016.

CORRÊA, S. M. Efeito do Biodiesel na Qualidade do Ar nas Grandes Cidades. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL. **Anais...** Varginha: Universidade Federal de Lavras. 2005.

COUTINHO, P.; BOMTEMPO, J. V. Roadmap tecnológico em matérias-primas renováveis: uma base para a construção de políticas e estratégias no Brasil. **Química Nova**, São Paulo, v. 34, n. 5, S1-S6, 2011.

EMDEC-Empresa Municipal de Desenvolvimento de Campinas. **Notícias. 2006**. Disponível em: <<http://www.emdec.com.br/eficiente/sites/portalemdec/pt-br/site.php?secao=noticias&pub=2253>>. Acesso em: 28 jan. 2016.

EMDEC-Empresa Municipal de Desenvolvimento de Campinas. **Estudo Tarifário 2014**. Disponível em: <<http://www.emdec.com.br/transparencia/>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

EMDEC-Empresa Municipal de Desenvolvimento de Campinas. **Notícias. 2015**. Disponível em: <<http://www.emdec.com.br/eficiente/sites/portalemdec/pt-br/site.php?secao=noticias&pub=8882>>. Acesso em 20 out. 2016.

EMDEC-Empresa Municipal de Desenvolvimento de Campinas. **Sistema Intercamp**. Disponível em: <<http://www.emdec.com.br/eficiente/sites/portalemdec/pt-br/site.php?secao=sistemaintercamp>>. Acesso em: 27 jan. 2016.

EPA-United States Environmental Protection Agency. **Office of Transportation and Air Quality**. EPA-420-F-09-064. 2009.

EREC-Conselho Europeu de Energia Renovável. **[r]evolução energética**. A Caminho do Desenvolvimento Limpo, 2010. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/report/2010/11/revolucaoenergeticadeslimpr.PDF>>. Acesso em: 05 jan. 2017.

FALCO, D. G. **Avaliação do desempenho ambiental do transporte coletivo urbano no estado de São Paulo**: uma abordagem de ciclo de vida do ônibus a diesel e elétrico à bateria. 2017. 174 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento de Sistemas Energéticos, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

GHG Protocol. **Ferramenta de cálculo**. 2017. Disponível em: <<http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/ferramenta-de-calculo>>. Acesso em 18 abr. 2017.

GOMIDE, A. A. Transporte urbano e inclusão social: elementos para políticas públicas. Texto para Discussão 0960, **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)**, 2003.

MARQUES FILHO, L. C. **Capitalismo e Colapso Ambiental**. 2. ed. Campinas: Editora Unicamp, 2016.

MALUF FILHO, A. F. Avaliação do ciclo de vida de diferentes tecnologias de ônibus: Eficiência energética e emissões de poluentes em operação real. In: **19º CONGRESSO BRASILEIRO DE TRANSPORTE TRÂNSITO**, São Paulo: Associação Nacional do Transporte Público-ANTP, 2013.

MPS-Ministério da Previdência Social. **Base de Dados Históricos de Acidentes de Trabalho**. Quantidade de acidentes do trabalho, por motivo, segundo a UF e Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE). 2014. Disponível em: <<http://www3.dataprev.gov.br/scripts10/dardoweb.cgi>>. Acesso em: 18 set. 2017.

MTE-Ministério do Trabalho e Emprego. **Cadastro Geral de Empregados e Desempregados 2014**. Disponível em: <http://bi.mte.gov.br/bgcaged/caged_estatistico_id/caged_estatistico_basico_tabela.php>. Acesso em: 19 set. 2017.

MME-Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energética Brasileira - Exercício de 2014**, p. 1-32, 2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/1732840/Resenha%2BEnerg%25C3%25A9tict%2B-%2BBrasil%2B2015.pdf/4e6b9a34-6b2e-48fa-9ef8-dc7008470bf2>>. Acesso em: 03 mar. 2017.

MORET, A. S., SGANDERLA, G. C., GUERRA, S. M., & MARTA, J. M. Análise da Sustentabilidade do biodiesel com uso da Análise de Custos Completos. **Espaço Energia**, Paraná, n. 11, 2009.

MOTA, J. C.; ALMEIDA, M. M.; ALENCAR, V. C.; CURTI, W. F. Impactos e Benefícios Ambientais, Econômicos e Sociais dos Biocombustíveis: Uma Visão Global. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v. 6, n. 3, p. 220-242, 2009.

OLIVEIRA, F. C. C.; SUAREZ, P. A. Z.; SANTOS, W. L. P. Biodiesel: possibilidades e desafios. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 28, p. 3-8, 2008.

OLIVEIRA, M. Óleo para o Biodiesel. **Revista Pesquisa FAPESP**, n. 245, p. 68- 72, 2016.

RAMOS, L. P. *et al.* Biodiesel. Um projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. **Revista Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento**, Natal, v. 31, p. 29, 2003.

SACHS, I. Os biocombustíveis estão chegando à maturidade. **Democracia Viva**, Rio de Janeiro, n. 29, 2005.

UDAETA, M. E. M. et al. Avaliação da geração de energia elétrica com óleo diesel através dos custos completos. In: LATIN-AMERICAN CONGRESS: ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION, V, São Pedro-SP. **Anais...** Argentina: Universidad Nacional De Mar Del Plata. 2003.

URBS-Urbanização de Curitiba S/A. **Avaliação comparativa de novas tecnologias para operação do transporte coletivo**. 2015. Disponível em: <https://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/pdf/transporte/sustentabilidade/Relatorio_Comparativo_Eletrico-Hibrido_ATT.UEN_out.2015.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2017.

VASCONCELOS, Y. **Ônibus mais sustentáveis**. Pesquisa FAPESP, São Paulo, n. 237, 2015.

VIANNA, F. C. **Análise de Ecoeficiência**: Avaliação do Desempenho Econômico-Ambiental do Biodiesel e Petrodiesel. 2006. 183 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

WORLD Energy Council. **World Energy Resources**: Bioenergy. 2013.

Recebido: 19 fev. 2018.

Aprovado: 08 jul. 2018.

DOI: 10.3895/rts.v15n36.7830

Como citar: PEREIRA, R. C., BRANCHI, B. A., FERREIRA, D. H. L. Avaliação de custos completos: combustíveis para transporte coletivo urbano de Campinas/SP.. **R. Technol. Soc.**, Curitiba, v. 15, n. 36, p. 39-57, abr./jun. 2019. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/7830>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Renata Covisi Pereira.

-

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

