

UM MODELO PARA ANÁLISE DE IMPACTOS AMBIENTAIS E DOS CUSTOS FINANCEIROS DO USO DE DIFERENTES COMBUSTÍVEIS EM UM VEÍCULO

A MODEL FOR ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL IMPACTS AND THE FINANCIAL COSTS OF THE USE OF DIFFERENT FUELS IN A VEHICLE

UN MODELO PARA ANÁLISIS DE IMPACTOS AMBIENTALES Y DE LOS COSTES FINANCIEROS DEL USO DE DIFERENTES COMBUSTIBLES EN UN VEHÍCULO

Glauco Oliveira Rodrigues, MSc

Universidade Federal de Santa Maria/Brazil

glaucop10@redes.ufsm.br

Adriano Pereira, Dr.

Universidade Federal de Santa Maria/Brazil

peradri@gmail.com

Flaviani Souto Bolzan Medeiros, Dra.

Universidade Federal do Pampa/Brazil

flavianiadm@gmail.com

Eugênio de Oliveira Simonetto, Dr.

Universidade Federal de Santa Maria/Brazil

eosimonetto@gmail.com

RESUMO

Os centros urbanos ainda são muito dependentes do setor de transportes e os motores à combustão, que acompanham a vida moderna, fazem uso de diferentes tipos de combustíveis. Cada um deles possui suas próprias características e peculiaridades, tais como: rendimento, danos ambientais causados e custos. Sendo assim, o objetivo deste artigo é analisar os impactos ambientais e os custos financeiros do uso de três diferentes tipos de combustíveis – gasolina, diesel e etanol – como fonte de energia para um automóvel. Para isso, utilizou-se a metodologia de modelagem e simulação computacional: a partir da elaboração de um modelo, construíram-se cenários de uso de gasolina, diesel e etanol que foram avaliados em um horizonte de dez anos, verificando, em cada situação, os impactos ambientais e os custos financeiros. Os resultados obtidos apontam que cada um dos três combustíveis analisados possui pontos favoráveis e desfavoráveis.

Palavras-chave: Combustíveis; Impactos ambientais; Custos financeiros; Modelagem computacional; Veículos.

ABSTRACT

The urban centers are still very dependent on the transport sector and the combustion engines, which accompany modern life, make use of different types of fuels. Each of them has its own characteristics and peculiarities, such as: yield, environmental damages caused and costs. Thus, the objective of this paper is to analyze the environmental impacts and financial costs of using three different types of fuels - gasoline, diesel and ethanol - as a source of energy for an automobile. For this, the methodology of modeling and computational simulation was used: from the elaboration of a model, scenarios of gasoline, diesel and ethanol use were constructed that were evaluated in a horizon of ten years, verifying, in each situation, environmental impacts and financial costs. The results show that each of the three fuels analyzed has favorable and unfavorable points.

Keywords: Fuels; Environmental impacts; Financial Costs; Computational modeling; Vehicles.



RESUMEN

Los centros urbanos todavía son muy dependientes del sector del transporte y los motores de combustión, que acompañan la vida moderna, hacen uso de diferentes tipos de combustibles. Cada uno de ellos posee sus propias características y peculiaridades, tales como: rendimiento, daños ambientales causados y costos. Por lo tanto, el objetivo de este artículo es analizar los impactos ambientales y los costos financieros del uso de tres diferentes tipos de combustibles - gasolina, diesel y etanol - como fuente de energía para un automóvil. Para ello, se utilizó la metodología de modelado y simulación computacional: a partir de la elaboración de un modelo, se construyeron escenarios de uso de gasolina, diesel y etanol que fueron evaluados en un horizonte de diez años, verificando, en cada situación, los impactos ambientales y los costes financieros. Los resultados obtenidos apuntan que cada uno de los tres combustibles analizados posee puntos favorables y desfavorables.

Palabras clave: Combustibles; Impactos ambientales; Costes financieros; Modelado computacional; Vehículos.

1 INTRODUÇÃO

O espaço urbano tem atividades diversas e é formado por uma estrutura complexa de sistemas que interagem entre si de forma que um acaba influenciando o outro (MIRANDA; SILVA, 2012). A produtividade urbana depende muito do seu setor de transportes, que movimenta pessoas e encomendas entre as mais variadas origens e destinos (DEMISSIE; CORREIA; BENTO, 2013). Carvalho (2016) lembra que, há pouco mais de sessenta anos, o deslocamento dos indivíduos nos grandes centros brasileiros era predominante via modalidades públicas e coletivas, em especial pelos bondes elétricos e pelo transporte não motorizado, pois as cidades tinham dimensões menores e eram mais compactas. Todavia, com a expansão das cidades e o aumento da população, progressivamente, houve um aumento da mobilidade e esse aumento do fluxo tanto de pessoas como de mercadorias produz impactos degradantes tanto a nível local quanto global (CASTRO, 2014).

Torres et al. (2013) afirmam que a maioria da população mundial vive em cidades e a expectativa é para o aumento da população: há um século atrás, apenas 2 em 10 indivíduos do mundo viviam nos centros urbanos; já em 2030, a previsão é de que 6 em 10 pessoas viverão em cidades; e ainda, no ano de 2050, se prevê 7 em 10 indivíduos. Complementarmente, Fajersztajn, Veras e Saldiva (2016) citam que na América Latina – que é o continente mais urbanizado – a taxa de ocupação urbana atinge 82% e no Brasil o percentual chega a 84%. Além disso, Rubim e Leitão (2013) destacam que mais de 50% dos domicílios brasileiros já possuem um automóvel ou moto na garagem e a frota do país está em pleno crescimento em função das políticas de incentivos dadas pelo governo desde a década de 1930; para fins comparativos, nos últimos dez anos a quantidade de automóveis expandiu 138,6% no Brasil enquanto que, no mesmo período, a população aumentou apenas 12,2%.

Nos grandes centros urbanos do Brasil, esta concentração de milhares de veículos produz toneladas de gases poluentes diariamente, tornando-se o principal fator de degradação da qualidade do ar (LOIOLA et al., 2011). Conforme Soares et al. (2014), a quantidade de CO₂ emitido pelo uso de automóvel é diretamente proporcional à quantidade de combustível consumido, além disso, os veículos a motor são estimados para gerar cerca de 20% das emissões de dióxido de carbono provocadas pelo homem, com veículos de passageiros representando cerca de 12%. No país, segundo Ribeiro e Schirmer (2017), os combustíveis fósseis mais consumidos são o óleo diesel e a gasolina.

Ademais, o álcool como combustível, mais especificamente o etanol, tem sido muito utilizado no Brasil (GUARIEIRO; VASCONCELLOS; SOLCI, 2011). Ferreira e Oliveira (2010) mencionam que o biodiesel, junto ao etanol, são considerados importantes para o segmento de combustíveis – ambos são chamados de

biocombustíveis por derivarem de biomassa (matéria orgânica de origem vegetal ou animal), sendo menos poluentes e renováveis. Os biocombustíveis surgem, por serem derivados de biomassa renovável, como uma alternativa potencial face aos combustíveis fósseis (CARVALHO; BORTOLINI; BARCELLOS, 2014; AZEVEDO; LIMA, 2016; GOMES; SAMPAIO, 2017). Contudo, Zanolli (2015) explica que tanto os veículos que usam diesel quanto aqueles que utilizam a gasolina ou o álcool geram gases, vapores e material particulado. Inclusive, Drumm et al. (2014) comentam que partículas minúsculas como as emitidas por veículos, em especial por aqueles movidos a diesel, podem ter uma espessura menor que a de um fio de cabelo.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo analisar os impactos ambientais e os custos financeiros do uso de três diferentes combustíveis – gasolina, diesel e etanol – como fonte de energia para um automóvel. Para isso, utilizou-se a metodologia da modelagem computacional: a partir da elaboração de um modelo, construíram-se cenários de uso de gasolina, diesel e etanol que foram avaliados para um horizonte de dez anos, verificando, em cada situação, os impactos ambientais e os custos financeiros.

A respeito da estrutura, salienta-se que este artigo está dividido em cinco seções: esta primeira seção possui um caráter introdutório acerca da temática abordada; já na segunda seção consta o referencial teórico que embasou o estudo. A terceira seção, por sua vez, mostra o método de pesquisa adotado enquanto a quarta seção detalha o modelo de simulação desenvolvido. Na quinta seção apresentam-se os resultados obtidos e encerra-se com a conclusão na sexta seção acompanhada de sugestões para investigações futuras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção são abordados dois tópicos: o primeiro tratará da mobilidade urbana e os poluentes atmosféricos e o segundo discorrerá sobre os impactos ambientais e os custos financeiros do uso de combustíveis.

2.1 Mobilidade Urbana e os Poluentes Atmosféricos

Dentro de um espaço urbano indivíduos se deslocam todos os dias para, entre outras atividades, trabalhar, estudar, fazer compras etc., ou seja, várias são as formas de mobilidade urbana em uma cidade: esses deslocamentos podem ser feitos através de veículos próprios, transporte público, bem como a pé (BEHR et al., 2013). Para Leo, Morillón e Silva (2017), a mobilidade pode ser definida como a soma dos deslocamentos individuais. Entretanto, Silva (2016) relata que, nos últimos anos, a mobilidade é uma temática que vem sendo repensada e discutida de modo frequente nos debates urbanos e sendo abordada como algo que vai além da simples questão da locomoção das pessoas.

Barczak e Duarte (2012) comentam que os atuais padrões de mobilidade urbana vêm sendo marcados pelo aumento da motorização individual – e isso acarreta altos custos sociais, econômicos e ambientais – contudo, ações que deem prioridade a diminuição de gases do efeito estufa (GEE) não estão no rol de políticas efetivas em boa parte dos países, embora cada vez mais se façam presentes nos discursos políticos dos países desenvolvidos. Por um lado, o conjunto dos mais variados meios de locomoção de pessoas e de bens – o setor de transporte – tem efeitos positivos sobre a qualidade de vida da população, facilitando o intercâmbio entre as regiões, o que permite trocas, seja entre pessoas, de mercadorias ou até mesmo serviços; por outro lado, como

negativo, emergem as questões da poluição e do desequilíbrio do meio ambiente decorrentes, em especial, do uso indiscriminado de combustíveis oriundos do petróleo (REIS; FADIGAS; CARVALHO, 2012).

Do mesmo modo, D'Ágosto (2015) considera o transporte fundamental à vida moderna, pois, além dele fornecer suporte também torna possível a maioria das atividades em sociedade; porém, acaba influenciando no meio ambiente já que suas atividades dependem de uma infraestrutura que, em boa parte, fazem uso de energia oriunda de combustíveis fósseis. A queima de combustíveis fósseis faz com que o setor de transporte seja considerado uma das principais fontes de poluentes atmosféricos nos grandes centros urbanos (RÉQUIA JÚNIOR; ABREU, 2013; TESTA, 2015).

A poluição atmosférica urbana é um dos sérios problemas que afligem a sociedade e isso não é característico apenas dos países industrializados, mas também, dos países em desenvolvimento: o Brasil está entre os que tiveram acréscimo considerável na motorização individual o que, conseqüentemente, resulta no aumento do tráfego e congestionamentos em grandes centros (DRUMM et al., 2014). De acordo com Santos, Matai e Messias (2017), mais de 80% da matriz energética global é formada por fontes não renováveis de energia (petróleo, gás natural e carvão mineral) e as fontes renováveis representam apenas 13%, sendo que o uso excessivo dos recursos naturais – para as atividades da indústria, domésticas e veiculares – são a origem de boa parte dos poluentes atmosféricos.

Hinrichs, Kleinbach, e Reis (2014) esclarecem que, de modo geral, são considerados como poluentes aquelas substâncias acrescentadas ao ar decorrentes da atividade humana e que tem efeito prejudicial sobre o meio ambiente. Os poluentes emitidos em maior quantidade são: monóxido de carbono, o óxido de enxofre, o material particulado, os hidrocarbonetos, e ainda, os óxidos de nitrogênio. Santos (2017) explica que o ar possui 78% de nitrogênio (N₂) e 21% de oxigênio (O₂) – o argônio (Ar), o dióxido de carbono (CO₂) juntamente a outros gases completam o restante da sua composição. No Quadro 1 seguem os tempos de resistência típicos para alguns poluentes na atmosfera.

Quadro 1 – Tempo de resistência e concentração típica de poluentes na atmosfera

Poluente	Tempo de resistência	Concentração típica (PPM*)	
		Ar limpo	Ar poluído
SO ₂ (dióxido de enxofre)	4 dias	0,002	0,2
CO (monóxido de carbono)	< 3 anos	0,1	40-70
NO/NO ₂ (óxidos de nitrogênio)	5 dias	< 0,002	0,2
Hidrocarbonetos	?	< 0,001	-
CO ₂ (Dióxido de carbono)	120 anos	360	400
O ₃ (Ozônio)	Variável	0,03	0,5

* partes por milhão

Fonte: Adaptado Santos (2017).

Na atmosfera, como pode ser observado no Quadro 1, os poluentes têm um tempo de resistência já que a todo o instante ocorrem reações que alteram as substâncias químicas (SANTOS, 2017). Vieira (2009) acredita que a conscientização acerca da poluição do ar causada pelos veículos automotores ocorreu bem depois da conscientização da poluição gerada pelas indústrias e isso talvez se deva ao fato de que as emissões de um único veículo não sejam tão visíveis quanto à fumaça de uma chaminé industrial.

2.2 Impactos Ambientais e os Custos Financeiros do Uso de Combustíveis

O óleo diesel, conforme Pilger, Oliveira e Mörschbacher (2011), é o principal combustível usado no sistema de transporte rodoviário – por caminhões e ônibus – e além da emissão de CO, CO₂, NO_x e hidrocarbonetos a sua combustão também emite 40 espécies de particulados tóxicos que são absorvidos pelo sangue, causando efeitos negativos comprovados na saúde humana. No Quadro 2 está resumido um grupo de fatores de emissão de poluentes atmosféricos relacionados ao modal rodoviário – regulamentados pela legislação do Brasil, com base em D’Agosto (2015).

Quadro 2 – Fatores de emissão de poluentes atmosféricos e CO₂ e tipo de combustível

Combustível	CO ₂ (kg/l)	CO (g/km)	NO _x (g/km)	NMHC (g/km)	MP (g/km)
Diesel (caminhões ⁽³⁾)	2,671	0,004 – 0,275	0,511 – 1,645	0,004 – 0,032	0,003 – 0,016
Diesel (ônibus ⁽⁴⁾)		0,263 – 0,44	1,257 – 2,103	0,020 – 0,33	0,012 – 0,020
Gasolina C ⁽⁵⁾ (22% de etanol anidro)	2,260	0,25	0,03	0,014	0,011
Gasolina C ⁽⁶⁾ (22% de etanol anidro)		0,27	0,03	0,026	0,011
Gás natural veicular	1,999	0,56	0,29	0,026	-
Etanol anidro ⁽¹⁾	1,233	-	-	-	-
Etanol hidratado ^(1,7)	1,178	0,47	0,03	0,062	-
Biodiesel ^(2,8)	0,588	1,234	14,73	-	0,438

Notas: (1) álcool de cana-de-açúcar; (2) biodiesel de soja; (3) caminhões semileves a pesados – Proconve P7 (fabricado em 2012); (4) microônibus a ônibus rodoviários – Proconve P7 (fabricado em 2012); (5) automóvel a gasolina fabricado em 2012; (6) automóvel *flexible-fuel* usando gasolina C, fabricado em 2012; (7) automóvel a gasolina fabricado em 2012; (8) os fatores CO₂, NO_x, NMHC e MP estão em g/php.

Fonte: Adaptado D’Agosto (2015).

Segundo Mendes (2004), a queima de combustíveis fósseis causa impactos em nível global – como o aumento do efeito estufa – bem como a nível regional como no caso das chuvas ácidas e o aumento da concentração de poluentes na atmosfera de efeito tóxico ou teratogênico, como o monóxido de carbono (CO), o ozônio (O₃), o dióxido de enxofre (SO₂) e material particulado (MP). No Quadro 3 apresenta-se uma breve descrição de alguns poluentes e seus efeitos sobre a saúde humana e/ou na atmosfera.

Quadro 3 – Descrição de poluentes e seus efeitos na saúde humana e/ou na atmosfera

Sigla	Nome	Descrição	Efeitos	Fonte
CO	Monóxido de carbono	É um gás incolor, inodoro e tóxico gerado pela queima incompleta de qualquer material que contenha carbono.	Os sinais de intoxicação no ser humano ocorrem de forma predominante nos órgãos com alto consumo de oxigênio, como no caso do cérebro e o coração.	Olson (2014).
CO ₂	Dióxido de carbono	É um gás essencial para a manutenção da vida. Os vegetais o utilizam para realizar a fotossíntese. Ele é produzido no processo de respiração celular e na decomposição e queima de combustíveis fósseis.	É um dos responsáveis do efeito estufa, isso porque absorve parte das radiações produzidas na superfície da terra, retendo o calor e aumentando a temperatura.	Albano (2016).
		É uma mistura de partículas muito pequenas e é produzido pelas emissões	Contribui para o aquecimento	

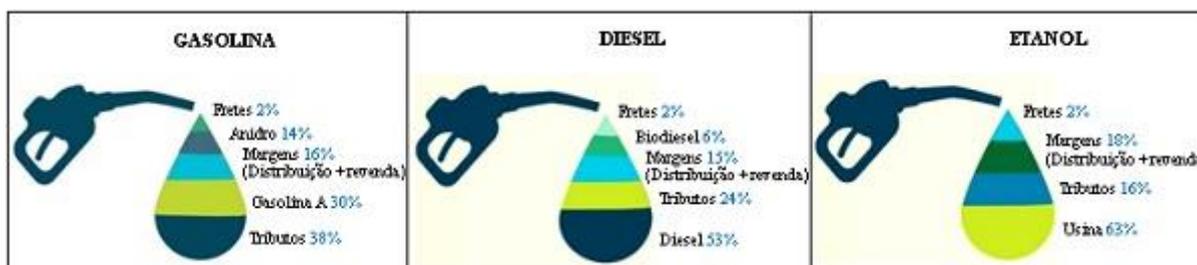
UM MODELO PARA ANÁLISE DE IMPACTOS AMBIENTAIS E DOS CUSTOS FINANCEIROS DO USO DE DIFERENTES COMBUSTÍVEIS EM UM VEÍCULO

MP	Material particulado	de veículos, aviões e barcos. As indústrias, os incêndios e as centrais elétricas que fazem uso do combustível para o funcionamento das turbinas também o emitem.	global e aumenta a densidade das nuvens, prejudicando a passagem da luz solar. Ele é responsável pela chuva ácida.	Albano (2016).
O ₃	Ozônio	É gerado pela incidência de luz solar que proporciona a quebra das moléculas dos hidrocarbonetos liberados na queima de gasolina, diesel entre outros combustíveis. Quanto maior for a luminosidade, maior também será a porcentagem da quebra de moléculas na atmosfera.	É um gás extremamente tóxico, por esta razão pode gerar sérios efeitos mesmo quando em baixa concentração se estiver na faixa de ar próximo do solo (entre outros malefícios provoca o envelhecimento precoce da pele).	Hornink, Henrique e Hornink (2016)
SO ₂	Dióxido de enxofre	Na forma natural é originário de erupções vulcânicas e da decomposição vegetal e animal, no solo, pântanos e oceanos. Já de fonte artificial é oriundo da queima de combustíveis fósseis, como o petróleo e seus derivados.	Na saúde humana, o principal efeito é causado no sistema respiratório. O SO ₂ , quando convertido em ácido sulfúrico, ocasiona a chuva ácida que pode destruir as plantas.	Rosa, Fraceto e Moschini-Carlos (2012)
NO _x	Óxidos de nitrogênio	Os óxidos mais comumente encontrados na atmosfera são: o óxido nítrico, óxido nítrico e o dióxido de nitrogênio. Em torno de 60% das emissões de óxido nítrico são originárias de fontes naturais. O monóxido de nitrogênio (NO) e o dióxido de nitrogênio (NO ₂) são poluentes oriundos, dentre outras fontes, do escape de veículos motorizados.	Os NO _x sofrem transformações fotoquímicas no meio ambiente o que leva a formação de O ₃ .	Rosa, Fraceto e Moschini-Carlos (2012)
NMHC	Hidrocarbonetos não-metano	A combustão incompleta do combustível no motor causa também emissões de NMHC. A classificação desses compostos engloba todo o conjunto de substâncias orgânicas presentes in natura nos combustíveis, bem como subprodutos orgânicos que derivam da combustão, exceto o metano.	São substâncias precursoras da formação de O ₃ no nível troposférico.	Ministério do Meio Ambiente (2011).

Fonte: Adaptado Rosa, Fraceto e Moschini-Carlos (2012); Olson (2014); Albano (2016); Hornink, Henrique e Hornink (2016); Ministério do Meio Ambiente (2011).

No que tange aos custos financeiros, Almeida, Oliveira e Losekann (2015) enfatizam que no Brasil, na área de derivados do petróleo, o governo tem influenciado os preços – que são livres desde o início dos anos 2000 – isso ocorre por meio do controle acionário da Petrobras – como a mesma possui praticamente a totalidade do refino e da importação de derivados, sua estratégia culmina determinando o preço de todo o mercado brasileiro. Na Figura 1 é possível verificar a composição do preço dos três combustíveis considerados neste estudo para fins de análise.

Figura 1 – Composição do preço dos combustíveis



Fonte: Adaptado de Fecombustíveis (2017).

Nota-se na Figura 1 que, em termos de tributos, de acordo com os dados divulgados no Relatório Anual da Revenda de Combustíveis pela Federação Nacional do Comércio de Combustíveis e de Lubrificantes (Fecombustíveis, 2017), a gasolina tem acréscimo de 38%, o diesel de 24% e o etanol de 16% na composição do preço praticado no Brasil. Entretanto, além dos tributos, outros fatores acabam interferindo no preço dos combustíveis para o consumidor. Sob esse viés, Melo e Sampaio (2014) afirmam que o mercado brasileiro de gasolina mostra-se relacionado com o do etanol onde, além dos veículos *flex*, o aumento do preço do petróleo e as discussões ambientais envolvendo as emissões de poluentes serviram de estímulo a produção de etanol tanto no Brasil como no mundo.

Mas, diferente da gasolina, a oferta de etanol sofre com a sazonalidade da safra de cana-de-açúcar, apresentando-se insuficiente para atender à demanda, o que, por sua vez, acarreta em preços elevados nos períodos de entressafra (GUIMARÃES, 2011). Ademais, Resende et al. (2014) frisam que a decisão da quantidade a ser produzida de etanol e de açúcar vai depender dos preços relativos destes produtos no mercado nacional e internacional, isso porque as indústrias sucroalcooleiras consideram tais preços antes de definir as quantidades a serem produzidas.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Para o desenvolvimento deste artigo foi utilizada como metodologia a modelagem computacional; a manipulação do modelo desenvolvido foi feita atrás da simulação computacional. A modelagem consiste na elaboração de representações de um sistema real, chamadas de modelos (ANDRADE et al., 2006). A simulação é a operação sobre um modelo de interesse (PRADO, 2010), enquanto que a simulação computacional, especificamente, é aquela simulação que utiliza um computador para ser realizada (CHWIF; MEDINA, 2015); trata-se de técnica que permite transcrever um sistema real para ambiente computacional (PRADO, 2010).

A simulação busca prever comportamentos do sistema de interesse a partir de reconfigurações e experimentos que, normalmente, não podem ser feitos no ambiente real (MARIA, 1997). Longaray (2014) define modelo de simulação como a representação matemática de um sistema físico ou abstrato com o objetivo de constatar o comportamento desse sistema quando os valores ou o ordenamento das variáveis que o compõem são alterados. Uma simulação não fornece apenas a melhor alternativa, mas um conjunto de possibilidades viáveis para resolução do problema, apresentando ao decisor diversos cenários para a tomada de decisão. A partir do uso de *softwares*, o modelador desenvolve quantas simulações forem necessárias até obter todas as alternativas

necessárias para suprir o desempenho aceitável para o sistema que está sendo modelado (ANDRADE et al., 2006). O desenvolvimento do modelo foi baseado nos procedimentos descritos por Longaray (2014):

a) **Determinação do Problema:** definição e delimitação dos aspectos de interesse das pessoas envolvidas nos cenários decisórios para as quais alguma ação será tomada. Neste caso, o problema consiste na escolha por um tipo de motor/combustível;

b) **do modelo:** consiste na determinação da técnica para resolução do problema, delimitação das variáveis que englobam o modelo e dos cenários que representarão cada proposta da pesquisa. A elaboração do modelo está descrita na seção 4 deste artigo;

c) **Resolução do modelo:** nesse passo é realizada a simulação, determinando as alternativas viáveis para o modelo em questão. Para este trabalho, foram definidos três cenários, um para cada combustível (gasolina, diesel e etanol);

d) **Legitimação do modelo:** a legitimação consiste no reconhecimento do tomador de decisão de que o modelo contempla as suas expectativas para a resolução do problema. Neste caso, a legitimação consiste em verificar se os resultados obtidos ilustram as informações de interesse, isto é, abordam aspectos financeiros e ambientais; e

e) **Implementação da solução:** a implementação do modelo consiste em sua aplicação no ambiente real. Para este artigo, esta etapa foi desconsiderada, por não fazer parte dos objetivos.

Acerca do valor utilizado para a quilometragem percorrida anualmente salienta-se que foi utilizado como base o relatório divulgado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2013), que indica que um veículo na cidade de São Paulo roda, em média, 15 mil km por ano. Destarte, para a simulação, definiu-se que 75% desse valor seria em cidade e 25% em rodovia, ou seja, 11250 km em cidade e 3750 km em estradas. Na próxima seção, apresenta-se uma descrição do modelo de simulação desenvolvido neste trabalho.

4 O MODELO DE SIMULAÇÃO

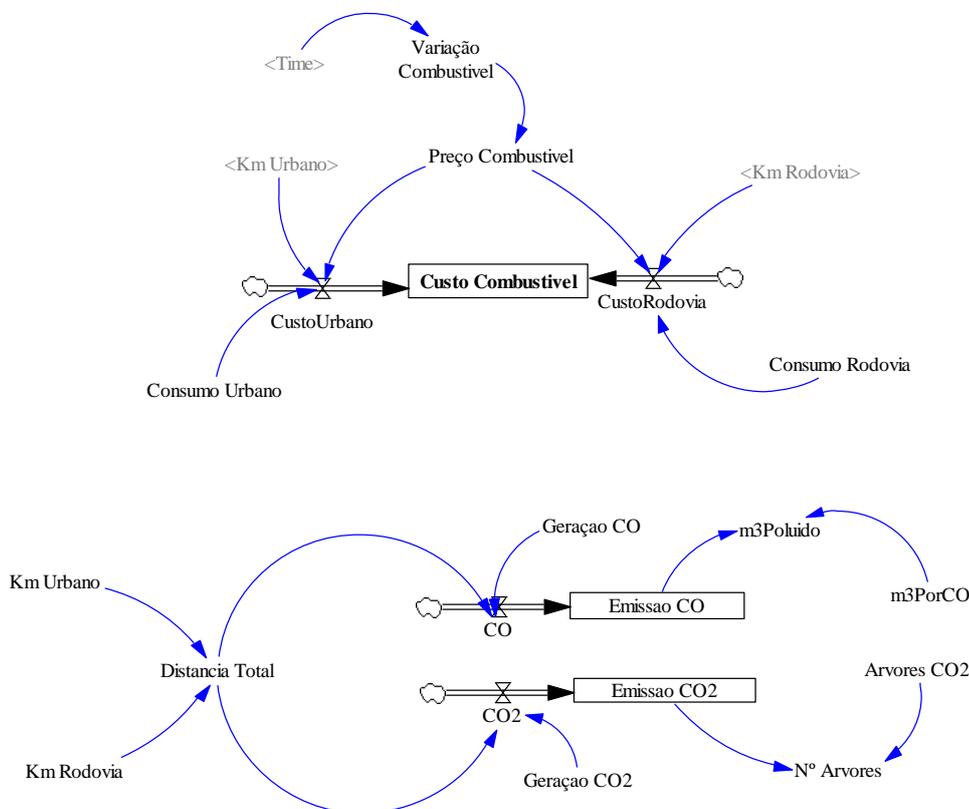
Para verificar os impactos ambientais com relação à emissão de gases com potencial poluidor e os custos financeiros do uso de cada um dos três combustíveis construiu-se um modelo computacional. Por ser uma representação simplificada da realidade, foi definido um conjunto de variáveis para estimar estes impactos e custos ao longo do tempo, sendo todas explicadas a seguir:

1. **KmUrbano e KmRodovia:** indicam a quantidade de quilômetros percorridas, anualmente, em ciclo urbano (cidade) e rodoviário (estradas), respectivamente. As quilometragens foram separadas em urbano e rodoviário devido à diferença de consumo nos dois ciclos;
2. **DistanciaTotal:** armazena a distância total percorrida, em quilômetros;
3. **ConsumoUrbano e ConsumoRodovia:** quantidade de quilômetros que o veículo trafega com 1 litro de combustível em ciclo urbano e rodoviário, respectivamente;
4. **PrecoCombustivel:** valor do combustível. Pode variar ao longo do tempo;
5. **VariacaoCombustivel:** define a variação do preço do combustível ao longo do tempo;

6. CustoCombustível: valor gasto em combustível ao longo do período simulado;
7. CO, CO₂: quantidades, em gramas (g), da emissão dos gases, respectivamente, do veículo por ano. Essas variáveis são calculadas com base na distância total percorrida e a emissão de cada gás por km percorrido;
8. Emissao CO, Emissao CO₂: quantidades totais geradas dos gases CO e CO₂, em gramas;
9. N° Arvores: número de árvores necessárias para “absorver” o CO₂ emitido pelo veículo;
10. m³Poluído: quantidade de metros cúbicos poluídos pela emissão de CO; e
11. ArvoresCO₂ e m³porCO: essas variáveis armazenam, respectivamente, o número de árvores necessárias para “absorver” o CO₂, e a quantidade de m³ de ar necessária para “diluir” o CO.

Com base em dados da World Health Organization (WHO, 2000), foi definido que a quantidade máxima de CO que pode estar presente em 1 m³ de ar é 100mg. Esse valor é válido para uma exposição de 15 minutos. Para 30 minutos de exposição, o valor máximo de CO no ar deve ser de 60 mg/m³; para 1 hora de exposição, seriam 30 mg/m³; e, para 8 horas de exposição, o valor máximo cai para 10 mg/m³. Lacerda (2009) indica que 1 árvore, no pior caso, absorve 140 kg de CO₂ em 20 anos. Estas duas informações foram utilizadas para as variáveis ArvoresCO₂ e m³PorCO. Após a definição, o modelo foi implementado utilizando o *software* Vensim-PLE (VENTANA SYSTEMS, 2016). A Figura 2 traz a ilustração do modelo construído no simulador.

Figura 2 – Modelo para analisar o impacto ambiental e financeiro de um veículo



Fonte: Elaborado pelos autores (2018) com o auxílio do *software* Vensim-PLE.

As fórmulas definidas no modelo estão descritas no Quadro 4 a seguir exposto.

Quadro 4 – Fórmulas do modelo

(1) Custo Combustível = CustoRodovia+CustoUrbano
(2) CustoUrbano = (Km Urbano/Consumo Urbano)*Preço Combustível
(3) CustoRodovia = (Km Rodovia/Consumo Rodovia)*Preço Combustível
(4) Distancia Total = Km Rodovia+Km Urbano
(5) Distancia Total*Geração CO
(6) Emissao CO = CO
(7) Distancia Total*Geração CO ₂
(8) Emissao CO ₂ = CO ₂
(9) m ³ Poluido = m ³ PorCO*Emissao CO
(10) Nº Arvores = Arvores CO ₂ *Emissao CO ₂

Fonte: Autores (2018).

Os cenários definidos e os resultados da simulação do modelo desenvolvido são apresentados e discutidos na próxima seção.

5 RESULTADOS

Para realizar a simulação e avaliar os impactos ambientais e os custos financeiros, foi escolhido o veículo mais emplacado no Brasil no acumulado de 2018 (até junho), sendo este capaz de se locomover com qualquer um dos três combustíveis (FENABRAVE, 2018) aqui objeto de análise. O referido carro oferece duas opções de motorização: uma que deve ser abastecida exclusivamente com diesel e outra que aceita tanto o etanol quanto a gasolina (*flex*).

O tempo definido para a simulação foi de 10 anos, considerando o ano de 2018 como o primeiro ano analisado. Os dados de consumo de combustível e energia, bem como de emissão de gases foram retirados das Tabelas PBE Veicular do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia para o ano de 2017 (INMETRO, 2017). Os dados de consumo e emissão para os dois veículos estão sumarizados no Quadro 5.

Quadro 5 – Características do veículo utilizado na simulação

	Gasolina	Diesel	Etanol
Consumo Urbano (Km/l)	8,8	9,8	6,1
Consumo Rodoviário (Km/l)	10,8	11,4	7,5
CO (g/l)	0,407	0,011	0,407
CO₂ (g/l)	141	191	0

Fonte: Autores (2018).

UM MODELO PARA ANÁLISE DE IMPACTOS AMBIENTAIS E DOS CUSTOS FINANCEIROS DO USO DE DIFERENTES COMBUSTÍVEIS EM UM VEÍCULO

Para estimar os valores dos combustíveis foram utilizados dados históricos de 2006 a 2017 disponibilizados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2018). Partindo dos preços médios mensais de revenda dos combustíveis para o consumidor foram calculadas as médias anuais a partir de 2006 e a relação dos novos valores com o valor de 2006. Dessa forma, com base nas variações dos preços ao longo dos anos, os preços futuros foram estimados, partindo do valor médio de 2018 (considerando janeiro a junho). O Quadro 6 traz o valor e a relação de cada combustível (gasolina comum, diesel e etanol) no período analisado.

Quadro 6 – Médias dos valores de combustíveis e suas variações de 2006 a 2018

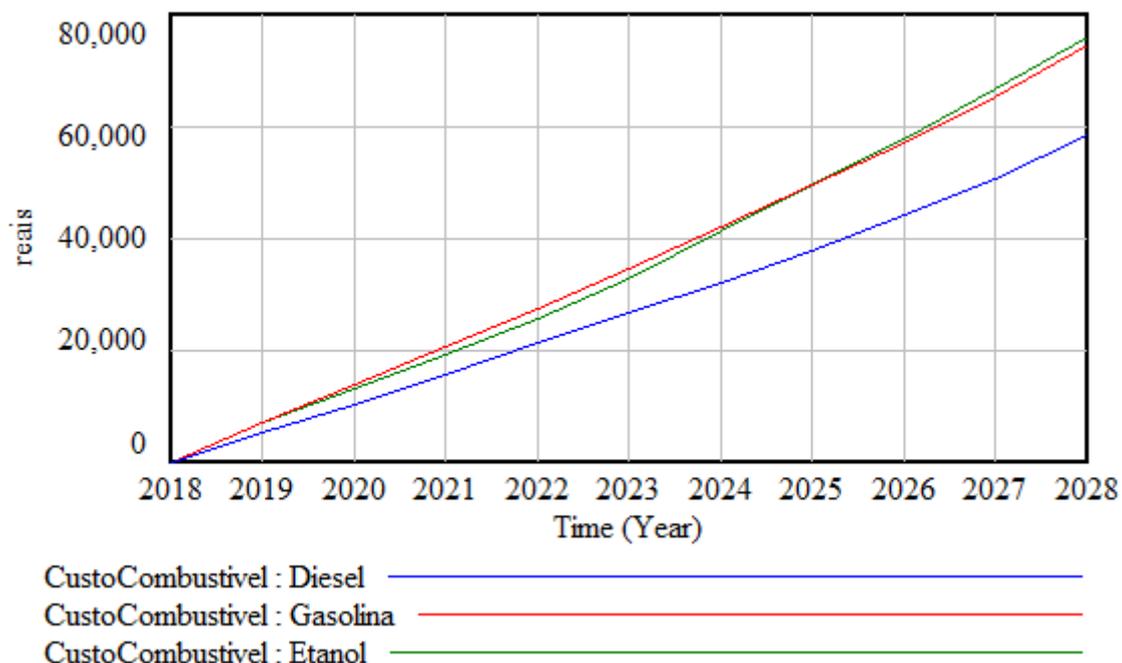
Ano	Gasolina (l)	Relação com 2006	Diesel (l)	Relação com 2006	Etanol (l)	Relação com 2006
2006	2,55	1	1,88	1	1,63	1
2007	2,51	0,98	1,88	1,00	1,45	0,89
2008	2,50	0,98	2,04	1,08	1,45	0,88
2009	2,51	0,98	2,06	1,09	1,49	0,91
2010	2,57	1,01	2,00	1,06	1,67	1,02
2011	2,73	1,07	2,03	1,08	2,00	1,22
2012	2,74	1,07	2,09	1,11	1,94	1,19
2013	2,85	1,12	2,32	1,23	1,97	1,21
2014	2,98	1,17	2,51	1,33	2,07	1,27
2015	3,34	1,31	2,83	1,50	2,23	1,36
2016	3,68	1,44	3,01	1,60	2,65	1,62
2017	3,77	1,48	3,11	1,65	2,69	1,65
2018 (até junho)	4,28	1,68	3,44	1,83	2,96	1,82

Fonte: ANP (2018).

Para a simulação, três cenários foram construídos, sendo um para cada tipo de combustível. As variáveis do modelo foram configuradas com base nos valores para o respectivo combustível. A simulação foi realizada para um horizonte de 10 anos. Verificou-se, com base na simulação, que o combustível com menor custo financeiro foi o diesel, que totalizou um gasto de R\$58.333,40 ao longo dos 10 anos. A gasolina e o etanol tiveram gastos próximos, sendo que a gasolina foi mais barata, totalizando R\$74.357,60 no período analisado.

Para o etanol, o gasto foi estimado em R\$75.965,30, verificando uma diferença de R\$1.607,70. Esse comportamento é justificado pelo maior rendimento do veículo no diesel (9,8km/l na cidade e 11,4km/l na estrada), aliado ao menor valor deste combustível. Por outro lado, embora o rendimento do etanol seja menor que o da gasolina, seu valor é mais baixo. Isso faz com que os valores gastos para os dois combustíveis fiquem próximos. Vale ressaltar que até 2025, os custos com gasolina eram mais altos que com etanol. A Figura 3 refere-se ao gráfico dos custos para o veículo com os três combustíveis.

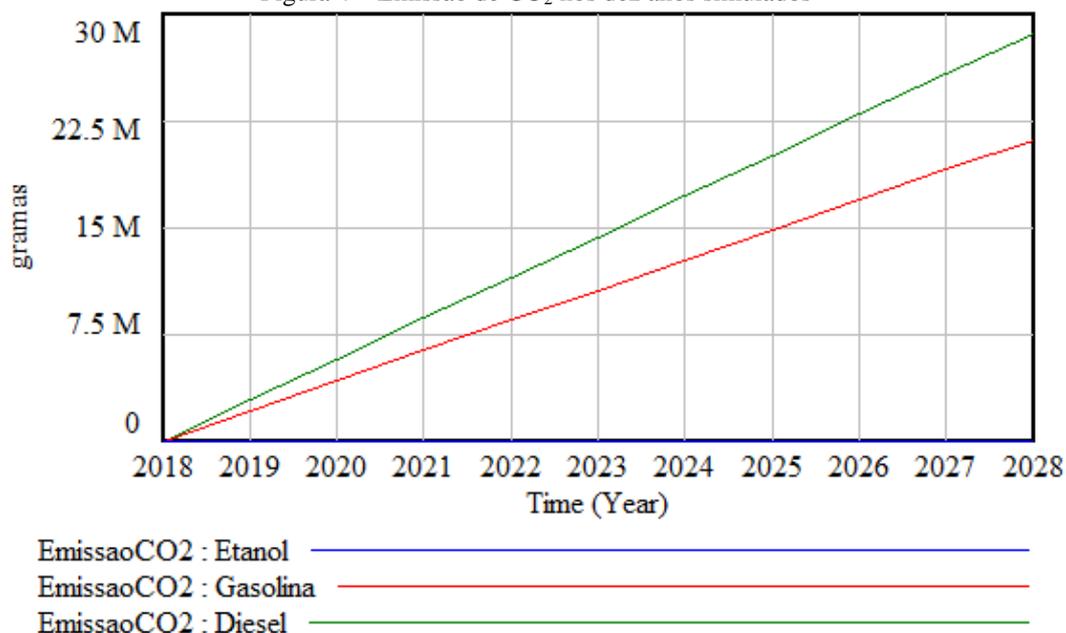
Figura 3 – Custo de combustível nos dez anos simulados



Fonte: Elaborado pelos autores (2018) com o auxílio do *software* Vensim-PLE.

Para os cenários simulados, o uso do diesel levaria ao menor impacto com relação à emissão de CO. No acumulado de 10 anos, o uso de diesel levaria a uma emissão de 1650g do gás, enquanto que o uso de etanol ou gasolina emitiria 61050g no período. Quanto à emissão de CO₂, a queima do etanol não gera esse poluente, enquanto que o diesel apresenta o cenário com maior índice de emissão de CO₂, emitindo cerca de 28650 kg de CO₂ ao longo dos 10 anos. O uso de gasolina, por sua vez, levaria a uma emissão acumulada de 21150 kg de CO₂ nos dez anos de simulação. A Figura 4 remete ao gráfico da emissão de CO₂.

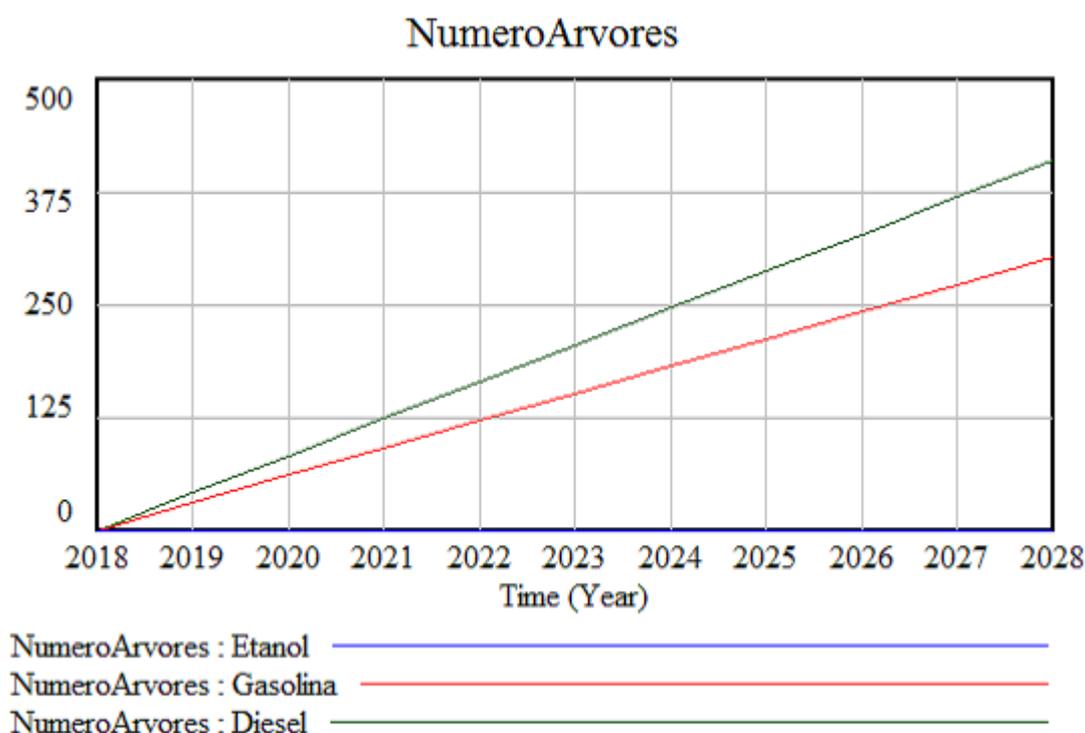
Figura 4 – Emissão de CO₂ nos dez anos simulados



Fonte: Elaborado pelos autores (2018) com o auxílio do *software* Vensim-PLE.

A partir da informação da quantidade de CO₂ emitido, pode-se calcular a quantidade de árvores necessárias para “sequestrar” esse gás, atenuando o impacto ambiental. A Figura 5 sumariza os resultados obtidos. O uso de etanol não emite CO₂, por isso, não seria necessário o plantio de nenhuma árvore neste cenário. O uso de diesel resultaria na necessidade do plantio de 410 árvores para sequestrar todo o CO₂ emitido ao longo dos 10 anos. Já para o uso de gasolina seriam necessárias 303 árvores.

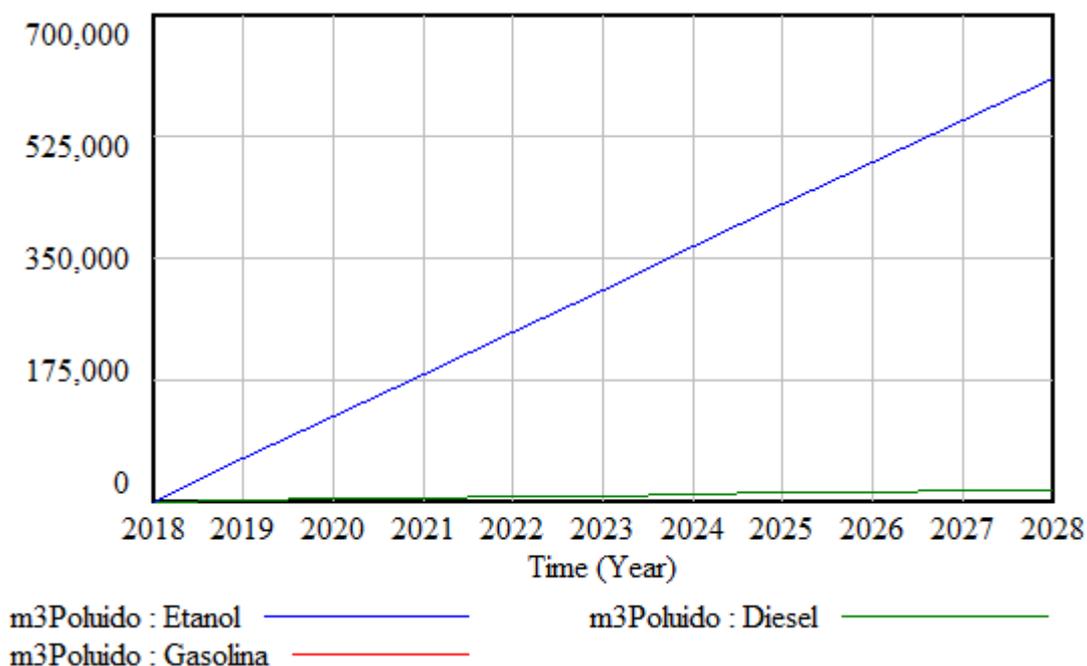
Figura 5 – N°. de árvores necessárias para sequestrar o CO₂ emitido ao longo dos anos



Fonte: Elaborado pelos autores (2018) com o auxílio do *software* Vensim-PLE.

Em relação à emissão de CO verificou-se que, para uso de diesel, seriam necessários, no acumulado dos 10 anos, 16500m³ de ar para diluir o poluente, de forma que a quantidade máxima seria de 100mg por m³, valor aceitável para uma exposição por 15 minutos, segundo Who (2000). Na Figura 6 observa-se a questão da quantidade de ar em m³ necessária para diluir o CO emitido.

Figura 6 – Quantidade de ar em m³ para diluir o CO emitido do combustível simulado



Fonte: Elaborado pelos autores (2018) com o auxílio do *software* Vensim-PLE.

Constata-se que, para os outros dois cenários – com o uso de gasolina ou etanol – o valor total seria de 610500m³ (como ilustrado na Figura 6). Cancelli e Dias (2014) entendem que, à medida que aumenta o número de veículos automotores em circulação, aumenta também a preocupação por parte da sociedade com a emissão de poluentes atmosféricos e os consequentes prejuízos à saúde humana, a piora da qualidade do ar e a contribuição para o efeito estufa.

Mas Richter (2012) alerta que se fosse possível remover rapidamente os GEE seria muito mais simples resolver o problema do aquecimento global, no entanto, o tempo de remoção de alguns dos principais GEE é medido em séculos. Com isso, se ficarmos aguardando que o pior aconteça, será preciso conviver com as consequências por um longo período de tempo, sem importar muito o que vier a ser feito na tentativa de consertar os erros cometidos. Kohlhepp (2010) lembra que governos de vários países não apenas definiram valores-limite para a redução de emissões de gases das energias fósseis, como também, levaram à substituição por energias renováveis a um tema principal.

6 CONCLUSÃO

O deslocamento é uma tarefa primordial para a sociedade, tanto em grandes como em pequenos centros. Os motores a combustão ainda são os mais utilizados e podem fazer uso de diferentes tipos de combustíveis. Cada um desses combustíveis possui suas características próprias como em relação ao custo e ao rendimento, além disso, a sua queima gera a emissão de uma série de gases e muitos deles são nocivos a nossa saúde.

Em geral, o processo decisório abrange uma série de fatores e o uso de técnicas de modelagem e simulação computacional pode auxiliar o decisor nas suas escolhas ao apresentar cenários com projeções futuras. Destarte, a partir da simulação realizada nesse trabalho, apurou-se que o uso do diesel levaria a maior economia

financeira, enquanto que etanol e gasolina tiveram custos semelhantes, ainda que a gasolina tenha sido mais barata. O custo do diesel foi 76,79% do custo do etanol, enquanto que o custo da gasolina foi 97,88% do etanol.

O diesel também foi o combustível que levou à menor emissão de CO e, conseqüente, menor necessidade de m³ de ar para ser diluído, sendo 2,7% do valor emitido por gasolina ou etanol (a emissão de CO é a mesma para estes dois combustíveis). Por outro lado, o diesel foi o combustível com maior emissão de CO₂ e, conseqüente, maior necessidade de árvores para sua absorção. A emissão de gasolina seria 73,82% da emissão do diesel, enquanto que o etanol não emite CO₂. Para o diesel, seriam necessárias 410 árvores para o total sequestro do CO₂ emitido no período de 10 anos, enquanto que para a gasolina seriam necessárias 303 árvores.

Pode-se verificar que cada um dos três combustíveis possui pontos favoráveis e desfavoráveis: enquanto que o diesel é o menor poluidor de CO e tem o menor custo financeiro, ele é o maior emissor de CO₂. O etanol, por sua vez, tem o menor índice de CO₂ emitido (zero), porém, tem o maior custo. A gasolina, por sua vez, é mais barata que o etanol e emite menos CO₂ que o diesel.

Como limitações do trabalho têm-se a utilização de estimativas para valores futuros, inerentes de trabalhos de modelagem e simulação computacional. Além disso, não foi considerado o custo dos veículos – neste caso, por exemplo, o preço do veículo a diesel é cerca de 24% maior que o veículo flex na mesma versão. Como trabalho futuro, recomenda-se expandir o modelo, acrescentando variáveis que possibilitem a gestores e/ou usuários analisarem outros malefícios ao meio ambiente, bem como outras questões financeiras, por exemplo, relacionadas à manutenção dos veículos ao longo do tempo.

Artigo submetido para avaliação em 07/10/2018 e aceito para publicação em 11/05/2021

REFERÊNCIAS

- ALBANO, J. F. **Vias de transporte**. Porto Alegre: Bookman, 2016.
- ALMEIDA, E. L. F. de; OLIVEIRA, P. V. de; LOSEKANN, L. Impactos da contenção dos preços de combustíveis no Brasil e opções de mecanismos de precificação. **Revista de Economia Política**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 531-556, jul./set. 2015.
- ANDRADE, A. L.; SELEME, A.; RODRIGUES, L. H.; SOUTO, R. **Pensamento sistêmico: caderno de campo: o desafio da mudança sustentada nas organizações e na sociedade**. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Boletim Anual de Preços 2018: preços do petróleo, gás natural e combustíveis nos mercados nacional e internacional**. Rio de Janeiro: ANP, 2018.
- AZEVEDO, A. N. G. de; LIMA, B. G. de A. Biocombustíveis: desenvolvimento e inserção internacional. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, Caxias do Sul, v. 6, n. 1, p. 77-100, 2016.
- BARCZAK, R.; DUARTE, F. Impactos ambientais da mobilidade urbana: cinco categorias de medidas mitigadoras. **Brazilian Journal of Urban Management**, v. 4, n. 1, p. 13-32, jan./jun. 2012.
- BEHR, A.; CORSO, K. B.; NASCIMENTO, L. F.; FREITAS, H. Mobilidade urbana sustentável e o uso de tecnologias de informação móveis e sem fio: em busca de alternativas para a cidade de Porto Alegre/RS. **Gestão Contemporânea**, Porto Alegre, ano 10, n. 14, p. 61-90, jul./dez. 2013.
- CANCELLI, D. M.; DIAS, N. L. BRevê: uma metodologia objetiva de cálculo de emissões para a frota brasileira de veículos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 19, p. 13-20, 2014.

CARVALHO, C. H. R. de. **Mobilidade urbana sustentável**: conceitos, tendências e reflexões. Brasília: IPEA, 2016.

CARVALHO, N. L.; BORTOLINI, J. G.; BARCELLOS, A. L. Biocombustíveis: uma opção para o desenvolvimento sustentável. **Revista Gestão e Desenvolvimento em Contexto**, Cruz Alta, v. 2, n. 2, p. 32-50, 2014.

CASTRO, A. L. A. de. Mobilidade urbana – sustentabilidade no transporte. 2014. 65 f. **Monografia** (Bacharelado em Ciências Econômicas) – Curso de Ciências Econômicas – Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2005**. Série Relatórios/Secretaria do Estado do Meio Ambiente: São Paulo, 2013.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos**: teoria e aplicação. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

D'AGOSTO, M. de A. **Transporte, uso de energia e impactos ambientais**: uma abordagem introdutória. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

DEMISSIE, M. G.; CORREIA, G. H. de A.; BENTO, C. Exploring cellular network handover information for urban mobility analysis. **Journal of Transport Geography**, v. 31, p. 164-170, July 2013.

DRUMM, F. C.; GERHARDT, A. E.; FERNANDES, G. D'; CHAGAS, P.; SUCOLOTTI, M. S.; KEMERICH, P. D. da. Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores. **REGET**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 66-78, abr. 2014.

FAJERSZTAJN, L.; VERAS, M.; SALDIVA, P. H. N. Como as cidades podem favorecer ou dificultar a promoção da saúde de seus moradores? **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 30, n. 86, p. 7-27, jan./abr. 2016.

FECOMBUSTÍVEIS – Federação Nacional do Comércio de Combustíveis e de Lubrificantes. **Relatório Anual da Revenda de Combustíveis 2017**. Disponível em: <http://www.fecombustiveis.org.br/wp-content/uploads/2017/06/Relat%C3%B3rio2017_Final_-Site.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2018.

FENABRAVE – Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores. **Resumo Mensal Maio de 2018**. 2018. Disponível em: <<http://www3.fenabrave.org.br:8082/plus/>>. Acesso em: 28 jun. 2018.

FERREIRA, M. H. G.; OLIVEIRA, D. L. Um panorama do biodiesel: novo combustível para o Brasil. **Gestão & Tecnologia**, Goiânia, n. 3, p. 46-59, jan./fev. 2010.

GOMES, C. A.; SAMPAIO, J. S. Biocombustíveis: a caminho de uma 'sociedade de reciclagem'. **e-Pública**: Revista Eletrônica de Direito Público, Lisboa, v. 4, n. 2, p. 389-418, nov. 2017.

GUARIEIRO, L. L. N.; VASCONCELLOS, P. C.; SOLCI, M. C. Poluentes atmosféricos provenientes da queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis: uma breve revisão. **Revista Virtual Química**, Niterói, v. 3, n. 5, p. 434-445, 2011.

GUIMARÃES, F. L. **Preços de etanol no Brasil**: uma análise espacial. 2011. 126 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Escola de Economia de São Paulo – Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2011.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; REIS, L. B. dos. **Energia e meio ambiente**. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

HORNINK, G. G.; HENRIQUE, A.; HORNINK, E. N. **H₂O**: o ciclo da vida. Campinas: Alfenas, 2016.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Tabelas PBE Veicular**. 2017. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas_pbe_veicular.asp>. Acesso em: 28 jun. 2018.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 223-253, 2010.

LACERDA, J. C. **Afinal, quanto carbono uma árvore sequestra?** 2009. Disponível em: <<http://www.oeco.org.br/columas/colunistas-convidados/23034-afinal-quanto-carbono-uma-arvore-sequestra/>>. Acesso em: 28 jun. 2018.

LEO, A.; MORILLÓN, D.; SILVA, R. Review and analysis of urban mobility strategies in Mexico. **Case Studies on Transport Policy**, v. 5, n. 2, p. 299-305, jun. 2017.

LOIOLA, B. R.; SILVA, E. C. M. da; BROLLO, G. L.; TOMAZINI, R. B. Análise das emissões de poluentes de motores flex na saída do escapamento de automóveis. **Revista Ciências do Ambiente On-Line**, Campinas, v. 7, n. 1, p. 1-6, jul. 2011.

LONGARAY, A. A. **Introdução à pesquisa operacional**. São Paulo: Saraiva, 2014.

MARIA, A. Introduction to modeling and simulation. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 29., Atlanta, 1997. **Proceedings...** Atlanta: WSC, 1997.

MELO, A. de S.; SAMPAIO, Y. de S. B. Impactos dos preços da gasolina e do etanol sobre a demanda de etanol no Brasil. **Revista de Economia Contemporânea**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 1, p. 57-83, jan./abr. 2014.

MENDES, F. E. **Avaliação de programas de controle de poluição atmosférica por veículos leves no Brasil**. 2004. 189 f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **1º inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviário**: relatório final. 2011. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/images/Emissoes-Atmosfericas-1Inventariodeemissoes.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2018.

MIRANDA, H. de F.; SILVA, A. N. R. da. Benchmarking sustainable urban mobility: The case of Curitiba, Brazil. **Transport Policy**, v. 21, p. 141-151, May 2012.

OLSON, K. R. (Org.). **Manual e toxicologia clínica**. 6. ed. Porto Alegre: McGraw-Hill Education, 2014.

PILGER, L. S.; OLIVEIRA, E. C.; MÖRSCHBÄCHER, A. P. Avaliação do custo operacional e ambiental de transporte rodoviário de combustíveis: estudo de caso. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 12, n. 18, p. 107-206, jul./dez. 2011.

PRADO, D. **Usando o Arena em simulação**. 4. ed. Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 2010.

REIS, L. B. dos; FADIGAS, E. A. F. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. Barueri: Manole, 2012.

RÉQUIA JÚNIOR, W. J.; ABREU, L. M. de. Relação entre transporte, poluição atmosférica e mortalidade de crianças e idosos no Distrito Federal. **Revista Saúde e Desenvolvimento**, v. 4, n. 2, p. 18-32, jul./dez. 2013.

RESENDE, L. M. S.; FARIA, A. M. M.; DASSOW, C.; AZEVEDO JUNIOR, W. C. Substituição de combustíveis exauríveis por renováveis: análise da sazonalidade de preços do etanol e da gasolina no Estado de Mato Grosso. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, Cuiabá, v. 1, n. 1, p. 104-122, 2014.

RIBEIRO, C. B.; SCHIRMER, W. N. Panorama dos combustíveis e biocombustíveis no Brasil e as emissões gasosas decorrentes do uso da gasolina/etanol. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 2, n. 2, p. 16-22, 2017.

RICHTER, B. **Além da fumaça e dos espelhos**: mudança climática e energia do século XXI. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

ROSA, A. H.; FRACETO, L. F.; MOSCHINI-CARLOS, V. (Org.). **Meio ambiente e sustentabilidade**. Porto Alegre: Bookman, 2012.

RUBIM, B.; LEITÃO, S. O plano de mobilidade urbana e o futuro das cidades. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 27, n. 79, p. 55- 66, 2013.

SANTOS, M. A. dos. (Org.). **Poluição do meio ambiente**. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

SANTOS, M. M. dos; MATAI, P. H. L. dos S.; MESSIAS, L. S. Combustão e combustíveis. In: MOREIRA, J. R. S. (Org.). **Energia renováveis, geração distribuída e eficiência energética**. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

SILVA, A. da. Mobilidade urbana e equidade social: possibilidades a partir das recentes políticas de transporte público na Metrópole do Rio de Janeiro. **Geography and Spatial Planning Journal**, Porto, n. 10, p. 293-317, dez. 2016.

SOARES, B. V.; BARROSO, E. A. A.; BOMFIM, I. B.; CAJUEIRO, G. M. M.; LEITE, M. S. Emissão do gás carbônico a partir de combustíveis de automóveis. **Cadernos de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas**, Aracaju, v. 2, n. 1, p. 27-32, mar. 2014.

TESTA, J. F. A poluição atmosférica por veículos automotores na Região Metropolitana de São Paulo: causas e impactos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 1209-1221, maio/ago. 2015.

TORRES, M.; SILVA, L. T.; SANTOS, L.; MENDES, J. F. G. Saúde e bem-estar em meio urbano: das políticas à prática. **Revista Portuguesa de Saúde Pública**, Lisboa, v. 31, n. 1, p. 95-107, jan. 2013.

VENTANA SYSTEMS. **Vensim Simulation Software**. 2016. Disponível em: <<http://www.vensim.com>>. Acesso em: 28 jun. 2018.

VIEIRA, N. R. **Poluição do ar**: indicadores ambientais. Rio de Janeiro: E-papers, 2009.

WHO – World Health Organization. **Air quality guidelines for Europe**. 2. ed. WHO Regional Publications: European Series, 2000.

ZANOLLI, P. R. **Avaliação dos impactos ambientais gerados pelos automóveis na cidade de Ilha Solteira – SP**. 2015. 56 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista – Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2015.