

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE VEÍCULOS DE COMBUSTÃO INTERNA E ELÉTRICOS PARA CONDIÇÕES BRASILEIRAS

Lidiane La Picirelli de Souza, lidiane_ehd@hotmail.com¹

Electo Eduardo Silva Lora

Jose Carlos Escobar Palacio

Maria Luiza Grillo Renó

Mateus Henrique Rocha

Universidade Federal de Itajubá, Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, Itajubá, MG.

Resumo: A matriz energética do Brasil possui uma situação peculiar em relação aos outros países, uma vez que sua matriz elétrica possui uma participação significativa de energia proveniente de fontes renováveis, além do uso de etanol a partir de cana-de-açúcar como combustível. Portanto, uma análise dos sistemas automotivos brasileiros é relevante para obter o conhecimento dos impactos ambientais do uso de energia com baixas emissões de carbono. O objetivo deste trabalho é realizar uma análise dos impactos ambientais dos automóveis no contexto brasileiro, utilizando a metodologia de avaliação do ciclo de vida. Este trabalho apresenta a análise “well-to-wheel” de cenários: (1) motor de combustão interna alimentado pela gasolina E25; (2) Veículo do motor de combustão interna alimentado por uma mistura de gasolina E25 e etanol hidratado; (3) Veículo do motor de combustão interna alimentado por etanol hidratado; (4) Veículo elétrico híbrido plug-in (5) Veículo elétrico. Os resultados mostram que o cenário 1 possui o maior impacto para o potencial de aquecimento global. O cenário 3 apresenta os maiores impactos ambientais para as categorias de eutrofização, acidificação e oxidação fotoquímica. O cenário 5 possui os maiores impactos para toxicidade humana e potencial de depleção abiótica. Conclui-se que não existe uma tecnologia com melhores resultados em todas as categorias de impacto, no entanto, de uma maneira geral, o cenário 5 apresentou os melhores resultados, e isso se deve principalmente à matriz elétrica brasileira, que possui grande parte da energia proveniente de fontes renováveis. **Palavras Chaves:** análise do ciclo de vida, combustíveis.

Palavras-chave: análise do ciclo de vida, combustíveis automotivos, mobilidade sustentável.

1. INTRODUÇÃO

A frota global de automóveis teve um aumento significativo ao longo dos últimos anos e em 2014 o número total de veículos ultrapassou 1,2 bilhões (Gao, Winfield, 2012). Estimativas recentes confirmam que essa tendência crescente persistirá por um longo período e até o ano de 2035, a frota mundial será de 1,7 milhões de veículos (IEA, 2012).

No Brasil, assim como em outros países emergentes, pode-se encontrar uma tendência de crescimento considerável da frota de veículos leves. A Figura 1 mostra o crescimento do veículo da frota no Brasil entre 2003 e 2016. De um total de aproximadamente 94 milhões de veículos, 55% são veículos leves.

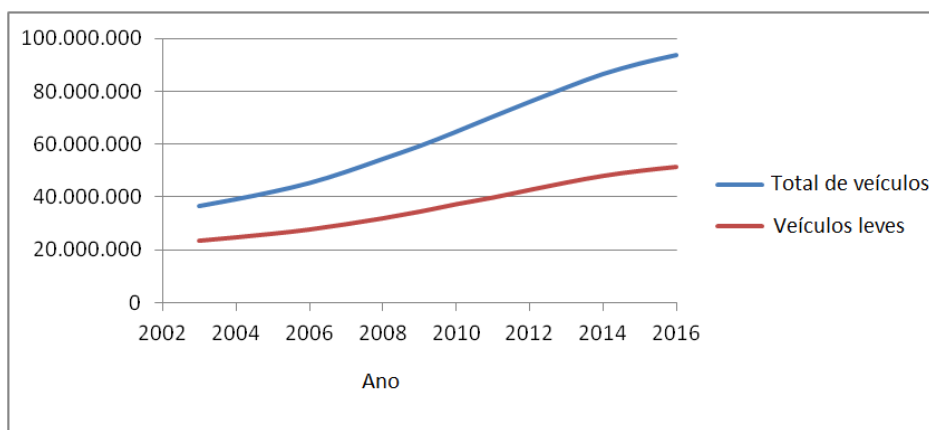


Figura 1. Evolução da frota de veículos no Brasil, Denatran, (2017).

A indústria automotiva enfrenta desafios relacionados ao desempenho de sua tecnologia tradicional, o motor de combustão interna, criticado por ser insustentável devido a emissão de gases poluentes no processo de combustão e por ser uma máquina de baixa eficiência. Além disso, essa indústria também sofre a forte pressão das agências reguladoras, que exigem ações para diminuir os impactos ambientais causados pelos veículos. Desta forma, aspectos relacionados à sustentabilidade, originalmente confiados aos círculos acadêmicos, estão chamando a atenção do público, levando os consumidores a mudar sua opinião e os padrões de compra (Arena, Azzone, Conte, 2013).

Atualmente, os veículos elétricos, híbridos e plug-in estão crescendo, e se tornando possíveis soluções para diferentes problemas relacionados à segurança energética e impactos ambientais, portanto, as empresas automotivas estão pesquisando e promovendo o desenvolvimento tecnológico desses tipos de automóveis (Dijk e Yarime, 2010); no Brasil, esses tipos de veículos estão concentrados em grandes centros, sendo empregados principalmente em frotas de táxi.

O objetivo deste trabalho é estudar os diferentes cenários da tecnologia combustível/ veículo no Brasil, afim de quantificar e comparar os impactos ambientais causados pelos sistemas estudados, utilizando a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Os impactos avaliados foram: potencial de depleção abiótica (ADP), potencial de aquecimento global (GWP), potencial de toxicidade humana (HTP), potencial de acidificação (ACP), potencial de eutrofização (ETP), potencial de oxidação fotoquímica (POP).

2. METODOLOGIA

A metodologia da ACV implica analisar os fluxos de materiais, energia e emissões do produto durante sua vida completa, desde a sua produção, uso, transporte, até o fim da vida, que inclui o processo de reciclagem (Baptista et al., 2012). Para identificar os impactos ambientais, os fluxos de massa e energia do respectivo produto precisam ser analisados e quantificados, através da metodologia ACV, de acordo com ISO 14040 (ISO, 2006). A Figura 2, apresenta as etapas da ACV:

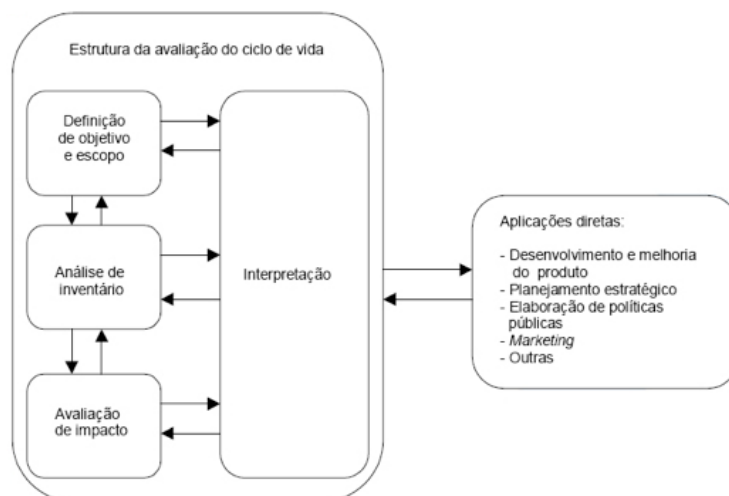


Figura 2: Estrutura da ACV, ISO (2006)

- Definição do objetivo e escopo: o objetivo deve declarar a aplicação pretendida do estudo proposto. Já escopo do estudo inclui: limites do sistema (onde o estudo começa e termina, ou seja, quais etapas serão incluídas), quantos e quais subsistemas incluir, e o nível de detalhe do estudo.
- • Análise de inventário: fase de avaliação do ciclo de vida que envolve a compilação e quantificação de entradas e saídas de um produto ao longo de seu ciclo de vida.
- • Avaliação de impacto: essa etapa tem o objetivo de compreender e avaliar a magnitude e a importância dos impactos ambientais do produto ao longo do seu ciclo de vida.
- • Interpretação dos resultados: identificação dos principais problemas, avaliação, análise de sensibilidade e conclusões.

Para avaliar o impacto ambiental de um sistema de transporte, é necessário considerar a via de energia correta (Gao et al, 2012). Na avaliação de um sistema de veículo, é necessário considerar a ACV de um veículo composta de dois ciclos: (a) ciclo de vida do veículo que inclui: montagem, manutenção, desmontagem e reciclagem de veículos. (b) ciclo de vida do combustível, também conhecido como well-to-wheels (WTW), que inclui as seguintes etapas: extração da matéria prima, processamento dos materiais, distribuição, armazenamento e uso de combustível (Campanari, et al, 2009).

2.1. Objetivo e escopo do estudo

O objetivo do estudo é realizar a avaliação dos impactos ambientais dos sistemas de veículos / combustíveis utilizados no Brasil por meio da aplicação da metodologia da Análise do Ciclo de Vida. Os cenários em estudo visam representar os automóveis e combustíveis convencionais utilizados pela população brasileira, a fim de compará-los com os sistemas em fase experimental no país. Os cenários analisados foram: (1) veículo de combustão interna que utiliza gasolina E25 (mistura de 25% de etanol anidro e 75% de gasolina); (2) veículo com motor de combustão interna alimentado por uma mistura de gasolina E25 e etanol hidratado, também conhecido como veículo flex;fuel (3) veículo com motor de combustão interna que utiliza apenas etanol hidratado; (4) veículo elétrico híbrido plug-in, que utiliza eletricidade da rede, gasolina (E25); (5) veículo elétrico de bateria, que utiliza eletricidade da rede.

A unidade funcional permite comparar produtos com base em uma unidade comum para todos os produtos em estudo. Uma base adequada para comparação de ACV automotiva é a distância percorrida. A UF estabelecida para o estudo foi de 1 km.

Fronteiras do sistema

O primeiro cenário em estudo é um veículo com motor de combustão interna, que usa gasolina como combustível. A configuração deste cenário assume que a gasolina é o combustível convencional usado no Brasil, também devido às especificações e proporções definidas pela legislação válida até 2015, definiu que a gasolina distribuída ao usuário final é uma mistura de gasolina pura, e adicionou 25% de etanol anidro.

O segundo cenário é um veículo de motor de combustão interna que utiliza o mix de gasolina E25 e etanol hidratado. Essa tecnologia é conhecida como flex fuel e a mistura de gasolina E25 e etanol hidratado pode ser utilizado em qualquer proporção. A seleção deste tipo de combustível é variável de acordo com fatores específicos da economia do país, por exemplo: preço, acessibilidade ou o inerente ao impacto ambiental do combustível. Para este trabalho foram consideradas as seguintes proporções: 75% do tipo gasolina E25 e 25% de etanol hidratado.

O terceiro cenário em estudo é representado por um veículo com motor de combustão interna, que utiliza apenas etanol como combustível.

O quarto cenário em estudo é representado por um automóvel elétrico plug in, que utiliza um motor elétrico e um motor de combustão interna. O objetivo desta configuração é reduzir o consumo de combustíveis fósseis e a emissão de poluentes atmosféricos. Esse tipo de automóvel percorre parte do trajeto exclusivo em modo elétrico, cujas emissões atmosféricas são zero, e partes específicas da trajetória ao sistema de motor de combustão interna. Neste estudo considerou-se que a autonomia do veículo são de 80km considerando apenas o modo elétrico, e 500km considerando o modo de combustão interna.

O cenário 5 é representado pelo veículo elétrico a bateria, ou seja, utiliza apenas eletricidade. Supõe-se que um mix de eletricidade seja representativo da rede elétrica brasileira. O sistema de armazenamento de energia é uma bateria de íons de lítio. A autonomia do veículo é de 160 km.

2.2. Análise do inventário

O etapa de Análise de Inventário da Análise do Ciclo de Vida, de acordo com (ISO, 2006), envolve a coleta de dados e os procedimentos usados para quantificar insumos (material e energia) e as emissões (que podem ser emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos) durante o ciclo de vida dos produtos. A coleta de dados realizada neste estudo foi feita de acordo com cada um dos cenários propostos.

Os principais etapas e fontes de dados utilizados para o ciclo de vida dos produtos em estudo são descritos a seguir:

Etapa de produção

São descritos as principais etapas e dados de produção de: gasolina, etanol, hidrogênio, automóvel, bateria e partes específicas do carro de célula de combustível.

Produção da gasolina: As etapas incluídas na produção da gasolina foram: extração, transporte refino do petróleo, transporte do combustível até o consumidor e uso da gasolina. Não foi incluída a produção do maquinário.

Considerou-se que o petróleo usado para a produção de gasolina no Brasil tem duas origens, determinando que 50% do petróleo bruto virá de fontes internacionais e 50% das fontes nacionais. Os dados desse produto foram retirados do estudo (Borges, 2004).

Produção do etanol: A produção de etanol inicia-se na fase agrícola, com a produção de cana-de-açúcar. Esta etapa envolve o uso de fertilizantes, sementes, calcário, herbicidas, inseticidas, vinhaça e energia. Os dados utilizados para avaliar o processo de produção de etanol foram coletados de (Cavalet, et al. 2012). Os dados referentes à produção de fertilizantes nitrogenados foram retirados de (Faria, et al., 2013). Os dados referentes à produção de fertilizantes à base de fósforo (P_2O_5), cal (CaO), inseticidas e ácido sulfúrico (H_2SO_4) foram retirados (Viana, 2008) e os dados referentes à produção de lubrificantes foram retirados de (Borges, 2004). Utilizou-se caminhão para o transporte cana-de-açúcar do campo até a planta industrial, e maquinário agrícola para etapas de preparo do solo e plantio de cana-de-açúcar. O combustível utilizado nessas etapas foi o óleo diesel, retirado do trabalho (Lloyd, Cackette, 2001). Dados de emissões de máquinas agrícolas foram retirados do trabalho (Wang D et al., 2013) e emissões de veículos pesados do trabalho (Koroneos, et al., 2004).

O segundo estágio da produção de etanol é o estágio industrial, e os principais insumos são: ácido sulfúrico, cal, lubrificantes. A produção de ácido sulfúrico foi retirada do trabalho (Viana, 2008) e do óleo lubrificante do trabalho (Borges, 2004).

A produção de etanol anidro é semelhante à produção de etanol hidratado, no entanto com a adição de ciclohexano no estágio de desidratação do etanol.

Produção de eletricidade: O Brasil possui um mix de redes elétricas interconectadas, portanto, a produção e a transmissão de energia elétrica devem ser avaliadas de maneira a refletir a situação média em todo o território brasileiro. Para determinar o impacto da produção e uso de eletricidade no meio ambiente, diferentes processos de conversão de energia que integram a matriz energética brasileira devem ser avaliados.

Os dados utilizados para o inventário principal de produção de eletricidade são do banco de dados Ecoinvent. As principais fontes de eletricidade são: eletricidade da co-geração de bagaço de cana de açúcar (Gnansounou, 2007), eletricidade de uma instalação térmica com carvão mineral de (Dones, 2007), eletricidade hidráulica de (Bauer, 2007), eletricidade de uma instalação térmica com gás natural de (Heck, 2007), eletricidade de um motor diesel de (Jungbluth, 2007), eletricidade nuclear de (Dones, 2007).

Produção do automóvel: Os dados utilizados para o inventário da produção do automóvel foram adaptados do estudo de (Schweimer, et al., 2000), que oferece os dados do automóvel Golf, que é compatível com os cenários em estudo, pois é um veículo pertencente à frota veicular brasileira.

Os dados foram adaptados para modelar características específicas, particularmente as características do corpo e peso, que são semelhantes ao segmento de carros da família. Portanto, a base deste carro foi usada para todos os veículos em estudo, e os principais componentes específicos dos cenários 4, 5 foram adicionados a esses veículos.

Produção da bateria: A produção da bateria Li-ion começou com a extração de matéria-prima, seguido da etapa industrial, que iniciou-se com a produção de: eletrodos, separador, recipiente de célula, sistema de gerenciamento de bateria, até o empacotamento da bateria (Notter, et al., 2010).

Para simplificar os inventários, considerou-se a mesma bateria para os cenários 4 e 5. Na prática, essas baterias apresentam diferentes propriedades eletroquímicas e de material, enquanto (Cuenca, et al., 1998), (Gaines, et al., 2000), (Schexnayder, et al., 2001) e (Ying, et al., 2006) combinam inventários para obter dados gerais representando todas as tecnologias.

Etapa de transporte e distribuição

O estudo do estágio de transporte e distribuição de etanol, automóvel, bateria, tanques de hidrogênio e células a combustível foi realizado através do módulo de rodovia, através de veículos pesados (caminhões); usando dados referentes à emissão devido à combustão de diesel em veículos de carga pesada de (Lloyd e Cackette, 2001).

A etapa de transporte de gasolina e hidrogênio foi feita através de oleodutos, nesta etapa foi considerado o consumo de energia elétrica, obtido a partir do trabalho (D' Agosto, 2004).

Etapa de uso final

Para obter os dados necessários para o consumo de combustível dos carros, é necessário conhecer a eficiência (km/l) dos veículos e as proporções dos combustíveis utilizados.

A Tabela 2 mostra o consumo de combustível para cada cenário, para a vida útil do veículo com base na distância de 160000km.

Tabela 2 Consumo dos combustíveis/energia elétrica.

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
Gasolina (l/160000)	9836	8108		7120	
Etanol (l/160000)	3278	6306	18823	2373	
Eleticidade (kWh/160000)				3808	27200

Etapa de fim de vida

O final da fase de vida deste estudo considera apenas a reciclagem de automóveis e baterias de íon de lítio.

Reciclagem do automóvel: O fim da vida foi modelado usando dados da reciclagem da Bélgica, porque, uma vez que dados do Brasil são de difícil acesso. Um consumo geral de energia de 66 kWh / ton foi adotado para todo o processo de reciclagem, e os dados foram obtidos de (Boureima, 2009).

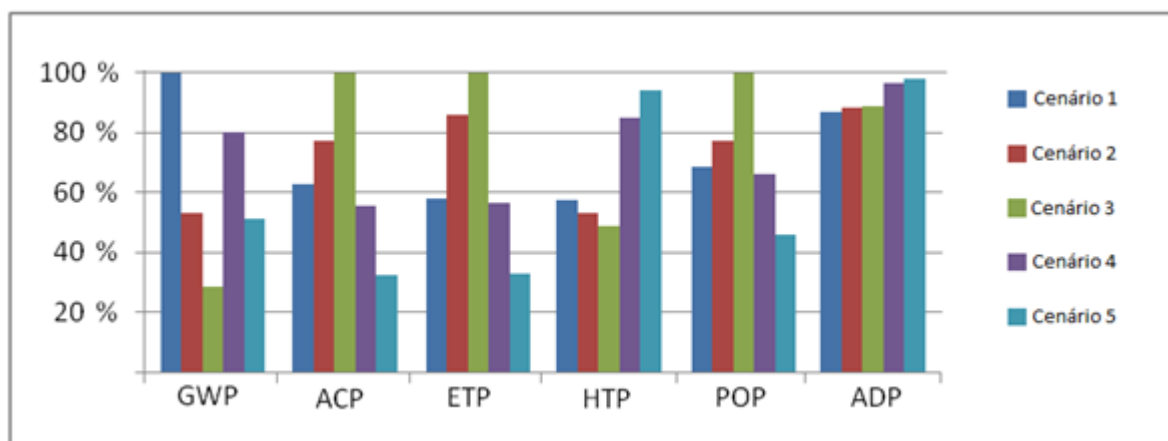
Reciclagem da bateria: As baterias são transportadas para a planta de reciclagem, onde ocorrem os processos de desmontagem e reciclagem. Uma empresa francesa, a Recupyl, especializada na reciclagem de baterias automotivas de íons de lítio, patenteou um dos métodos mais modernos de reciclagem de baterias, que consiste apenas no processo de hidrometalurgia (Fisher, et al., 2006).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A avaliação dos impactos ambientais foi realizada considerando a abordagem “well-to-wheel”. Esta etapa será realizada com o software SimaPro, desenvolvido pelos Pré-Consultores. O SimaPro é um software que quantifica o impacto ambiental de um produto ou processo. Os dados podem ser coletados de fornecedores e podem ser incorporados ao modelo, ou existe a possibilidade de usar dados dos bancos de dados fornecidos pelo SimaPro.

Este estudo utilizou o método CML 2 baseline 2000 v. 2.03 desenvolvido pela Environmental Science da University of Leiden. O método elabora a abordagem orientada a problemas (ponto médio). A justificativa para tal seleção é que essas categorias representam os principais impactos ambientais do setor automotivo.

A Figura 3 apresenta os resultados das categorias ambientais, para os cenários em estudo:

**Figura 3: Resultados das categorias de impactos ambientais.**

A mudança climática está relacionada às emissões de gases de efeito estufa ao ar. O cenário 1 tem o maior impacto para o GWP, com emissão de $2,30 \times 10^{-1}$ kg de CO_2 eq / km; para esta categoria de impacto, os cenários que utilizam gasolina emitem as maiores quantidades de CO_2 eq. para a atmosfera através da combustão da gasolina. O menor GWP é para o cenário 3, com $6,62 \times 10^{-2}$ kg de CO_2 eq / km. Isso se deve aos benefícios da captura de CO_2 durante a produção de cana-de-açúcar. Outros fatores também influenciam esse resultado, como o aumento da produtividade da cana nos últimos anos, bem como a diminuição da pré-queima da cana-de-açúcar, reduzindo as emissões de CO_2 .

ACP ocorre devido a emissão de agentes poluentes acidificantes, como NH_3 , NO_2 , NO_x e SO_x , atingindo a atmosfera e reagindo com o vapor de água para formar ácidos. O maior impacto foi para o cenário 3 ($9,37 \times 10^{-4}$ kg SO_2 eq / km). O combustível que produz o maior potencial de impacto é o etanol. Esse comportamento é devido ao uso de fertilizantes e produtos químicos fosfatados no estágio agrícola da produção de cana-de-açúcar. A reciclagem do veículo contribui para a diminuição de aproximadamente 4-8% das emissões de SO_2 eq, sendo este resultado negativo devido ao fato de a

reciclagem de veículos contribuir com produtos evitados. O cenário 5 apresentou o melhor resultado ambiental para a categoria de impacto ACP ($3,02\text{E}04 \text{ kg SO}_2 \text{ eq / km}$).

A ETP consiste no enriquecimento de água ou solo com macronutrientes como nitrogênio (N) e fósforo (P). Tal enriquecimento pode causar um aumento no crescimento de plantas aquáticas e / ou uma mudança na composição de espécies em ecossistemas aquáticos e terrestres. O cenário 3 apresenta o maior impacto para esta categoria ($9,01\text{E}-5 \text{ kg PO}_4^{-3} \text{ eq / km}$). Os maiores impactos são para o uso do etanol, pois o estágio agrícola utiliza substâncias que contribuem para essa categoria, como os fertilizantes à base de vinhaça, nitrogênio e fosfato. O cenário 5 tem o menor impacto para ETP ($2,97\text{E}-05 \text{ kg PO}_4^{-3} \text{ eq / km}$), para este cenário, a etapa que mais contribui para a ETP é a produção dos catodos de bateria, pois os resíduos contêm macronutrientes, responsável pelo impacto da eutrofização.

A HTP ocorre devido a emissão de substâncias tóxicas no ambiente humano. O maior impacto é para o cenário 5 devido às emissões durante a produção de lítio, níquel, cobre, platina, ferro e alumínio, que também são as principais fontes de substâncias tóxicas durante a produção da bateria. O cenário 3 é o veículo com menor potencial de toxicidade humana.

A POP refere-se à reação fotoquímica que ocorre sob a influência dos raios ultravioletas, nos quais NO_x e COVs reagem produzindo oxidantes que causam a poluição. Os maiores impactos correspondem aos veículos que utilizam etanol como combustível, portanto o maior impacto foi o cenário 3 ($9,71\text{E}-04 \text{ kg C}_2\text{H}_2 \text{ eq / km}$); os principais motivos são as emissões de SO_x - NO_x da combustão do bagaço da cana para o processo de cogeração. O melhor resultado para esta categoria de impacto foi o cenário 5, com um valor de $4,45\text{E}-05 \text{ kg C}_2\text{H}_4 \text{ eq / km}$, o motivo é que a produção de eletricidade tem baixo impacto para o POP; O estágio com mais contribuição é a produção de baterias de íons de lítio, e os impactos são consequência da atividade de mineração de metais e da relação com a produção de eletroeletrônicos.

Para ADP, os cenários com maiores impactos são os que utilizam baterias de íons de lítio, como uma consequência da atividade de mineração para a produção de eletrônicos.

4. CONCLUSÃO

Os impactos ambientais, quantificados pela aplicação da metodologia LCA, foram: aquecimento global, eutrofização, toxicidade humana, acidificação, oxidação fotoquímica, e podem ser utilizados como ferramenta auxiliar na tomada de decisão em busca de sustentabilidade. No entanto, para uma conclusão precisa sobre qual é o melhor sistema automotivo, é inevitável fazer uma pesquisa holística sobre a produção e os usos do automóvel, incluindo na análise outros parâmetros, por exemplo, eficiência energética, uso do solo, custos, disponibilidade dos materiais na natureza, teias de distribuição, logística das fontes de energia, estratégias governamentais, entre outros.

O cenário 1 apresenta o maior potencial de aquecimento global, devido às maiores emissões de gases do efeito estufa durante o processo de combustão da gasolina.

O cenário 3 possui o melhor resultado para o aquecimento global, devido principalmente à absorção de CO_2 na produção de cana-de-açúcar. Ao mesmo tempo, a etapa agrícola causa impactos significativos na eutrofização, acidificação e oxidação fotoquímica devido ao uso de fertilizantes, torta de filtro e vinhaça durante esta etapa.

O cenário 5 tem os menores resultados para: acidificação, eutrofização, oxidação fotoquímica, pelo fato da matriz elétrica do Brasil ser composta em sua maior parte por fontes renováveis de energia, principalmente hidráulica, o que induz baixas emissões de poluentes para as categorias de impacto mencionadas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores estão muito gratos ao apoio financeiro fornecido pelo Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq). A Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e o Órgão de Coordenação para a Melhoria de Pós-Graduação em Educação Superior (CAPES) para o financiamento de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P & D). O apoio dos estudantes de pós-graduação e os subsídios de produção que permitiram a realização dos projetos de pesquisa cujos resultados estão incluídos neste artigo.

6. REFERÊNCIAS

- Arena, M., Azzone, G., Conte, A., 2013, "A streamlined LCA framework to support early decision making in vehicle development", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 41, pp 105-113.
- Baptista, P.C., Silva, C.M., Farias, T.L., Heywood, J.B., 2012, "Energy and environmental impacts of alternative pathways for the Portuguese road transportation sector", *Energy Policy* Vol. 51, pp 802-815.
- Bauer, C., 2007, "Life Cycle Inventories of Hydropower, Data quality guideline for the ecoinvent database". Acesses: www.ecoinvent.org
- Borges, F. J., 2004, "Inventário do Ciclo de Vida do PVC produzido no Brasil, M.Sc. Thesis, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- Campanari, S., Manzolini, G., dellaIglesia, F. G., 2009, "Energy analysis of electric vehicles using batteries or fuel cells through well-to-wheel driving cycle simulations", *Journal of Power Sources*, Vol. 186, No.2, pp. 464-77.
- Cavalett, O., Chagas, M.F., Seabra, J.E.A., Bonomi, A., 2012, "Environmental and economic assessment of sugarcane first generation biorefineries in Brazil", *Clean Techn Environ Policy*, Vol. 14, pp 399-410.

- Cuenca, R., Formento, J., Gaines, L., Marr, B., Santini, D., Wang, M., 1998, "Total energy cycle assessment of electric and conventional vehicles: An energy and environmental analysis", Argonne National Laboratory, Argonne, Ill: Argonne, IL.
- D'Agosto, M. A., 2004, "Análise da Eficiência da Cadeia Energética para as Principais Fontes de Energia Utilizadas em Veículos Rodoviários no Brasil", Tese de doutorado COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.
- Dijk, M., Yarime, M., 2010, "The emergence of hybrid-electric cars: Innovation path creation through co-evolution of supply and demand", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 77, No. 8, pp 1371-1390.
- Dones, R., 2007, "Life Cycle Inventories of coal, Data quality guideline for the ecoinvent database". Acesses: www.ecoinvent.org.
- Faria, R., Marques, P., Moura, P., Freire, F., Delgado, J., Almeida, A., 2013 "Impact of the electricity mix and use profile in the life-cycle assessment of electric vehicles", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 24, pp 271-287.
- Fisher, K. Wallén, E., Laenen, P.P., Collins, M., 2006, "Battery Waste Management Life Cycle Assessment". Final Report for Publication. Environmental resources management.
- Gaines, L., Cuenca, R., 2000, "Costs of Lithium Ion Batteries", Center for Transportation Research. Argonne National Laboratory.
- Gao, L., Winfield, Z.C., 2012, "Life Cycle Assessment of Environmental and Economic Impacts of Advanced Vehicles", *Energies* Vol.5, pp 605-620.
- Gnansounou, E., 2007, "Life Cycle Inventories of Bioenergy, Data quality guideline for the ecoinvent database". Acesses: www.ecoinvent.org.
- Heck, T., 2007, "Life Cycle Inventories natural gas, Data quality guideline for the ecoinvent database". Acesses: www.ecoinvent.org.
- IEA, 2012, International Energy Agency, World energy outlook.
- ISO. 2006, "Environmental management: life cycle assessment; principles and framework - Management environmental", Geneva, Switzerland.
- Jungbluth, N., 2007, "Life Cycle Inventories of oil, Data quality guideline for the ecoinvent database". Acesses: www.ecoinvent.org.
- Koroneos, C., Dompros, A., Roumbas, G., Moussiopoulos, N., 2004, "Life cycle assessment of hydrogen fuel production processes", *International Journal of Hydrogen Energy* 29 pp. 1443 – 1450.
- Lloyd, A. C., Cackette, T. A., 2001, "Diesel Engines: Environmental Impact and Control", *Air & Waste Manage. Assoc.*, Vol. 51, pp 809 – 847.
- Notter, D.A., Gauch, M., Widmer, R., Wäger, P., Stamp, A., Zah, R., Althaus, H.J., 2010, "Contribution of Li-ion batteries to the environmental impact of electric vehicles", *Environmental Science & Technology*, Vol. 44, No.17 pp 6550-6556.
- Schexnayder, S.M., Das S., Dhingra, R., Overly, J.G., Tonn, B.E., Peretz, J.H., Waidley, G., Davis, G.A., 2001, "Environmental Evaluation of New Generation Vehicle and Vehicle Components", OAK Ridge National Laboratory USA Department of Energy.
- Schweimer, G. W., Levin, M., 2000, "Life cycle inventory for the Golf A4", *Research, Environment and Transport*.
- Viana, M.M., 2008, "Inventário do ciclo de vida do biodiesel etílico do óleo de girasol", Escola Politécnica de São Paulo. Mestrado em Engenharia Química, São Paulo.
- Wang D et al., 2013, "Life cycle analysis of internal combustion engine, electric and fuel cell vehicles for China", *Energy*, Vol.59, pp 402-412.
- Ying, T., Gao, X., Hu, W., Wu, F., Noreus, D., 2006, "Studies on rechargeable NiMH batteries", *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol. 31, pp 525-530.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

"O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste trabalho".

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF INTERNAL AND ELECTRICAL COMBUSTION VEHICLES FOR BRAZILIAN CONDITIONS

Lidiane La Picirelli de Souza, lidiane_ehd@hotmail.com¹
Electo Eduardo Silva Lora
Jose Carlos Escobar Palacio
Maria Luiza Grillo Renó
Mateus Henrique Rocha

Federal University of Itajubá, Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, Itajubá, MG.

Abstract. *Brazil's energy matrix has a peculiar situation in relation to other countries, since its electricity matrix has a significant share of energy from renewable sources, as well as the use of ethanol from sugarcane as fuel. Therefore, an analysis of the Brazilian automotive systems is relevant to obtain the knowledge of the environmental impacts of the use of energy with low carbon emissions. The objective of this work is to perform an analysis of the environmental impacts of automobiles in the Brazilian context, using the life cycle assessment methodology. This work presents the well-to-wheel analysis of scenarios: (1) internal combustion engine fueled by E25 gasoline; (2) Internal combustion engine vehicle fueled by a mixture of E25 gasoline and hydrated ethanol; (3) Internal combustion engine vehicle powered by hydrated ethanol; (4) Hybrid electric vehicle plug-in (5) Electric vehicle. The results show that scenario 1 has the greatest impact on global warming potential. Scenario 3 presents the greatest environmental impacts for the categories of eutrophication, acidification and photochemical oxidation. Scenario 5 has the greatest impacts on human toxicity and abiotic depletion potential. It is concluded that there is no technology with better results in all impact categories, however, in general, scenario 5 presented the best results, and this is mainly due to the Brazilian electrical matrix, which has a large part of the energy from renewable sources.*

Keywords: *life cycle analysis, automotive fuels, sustainable mobility.*