

PROJETO DE UM SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA PARA UM VEÍCULO PURAMENTE ELÉTRICO

¹ **Gustavo Soares dos Santos**

gustavosoarez@gmail.com

² **Francisco José Grandinetti**

francisco.grandinetti@gmail.com

² **Luis Fernando de Almeida**

luis.almeida@unitau.br

¹ UNITAU – Universidade de Taubaté – Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica

² UNITAU - Universidade de Taubate

RESUMO

Em meio as questões ambientais levantadas e discutidas nos últimos anos, o tema Veículos Híbridos e Veículos Elétricos tem sido amplamente discutido e estudado pela sociedade civil e pela comunidade acadêmica. Este artigo tem como proposta projetar uma arquitetura de armazenamento de energia para veículos puramente elétrico utilizando baterias. Este projeto foi modelado e simulado com base em um veículo convencional adaptado para arquitetura puramente elétrica. Utilizando os softwares MATLAB e ADVISOR os modelos foram simulados e ao final da simulação dos modelos propostos, são apresentados a performance e resultados das emissões de gases considerado o veículo no seu estado convencional e uma comparação entre os bancos de baterias propostos para o modelo do veículo elétrico autossustentável em desenvolvimento no Departamento de Engenharia Mecânica da UNITAU.

Palavras-chave: ADVISOR; Armazenamento de energia, Veículos elétricos; Matlab.

ABSTRACT

Among the environmental issues raised and discussed in recent years, the theme Hybrids and Electric Vehicles has been widely discussed and studied by the civil society and the academic community. This paper proposes to design an energy storage architecture for electric vehicles using batteries. This project was modeled and simulated based on a conventional vehicle adapted for purely electric architecture. Using the MATLAB and ADVISOR software, the models were simulated and at the end of the simulation of the proposed models, the performance and results of the gas emissions considered the vehicle in its conventional state and a comparison between the battery banks proposed for the vehicle model Development in the Department of Mechanical Engineering of UNITAU.

Keywords: Automation; ADVISOR; Energy storage; Electric Vehicles; Matlab.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos os veículos elétricos veem se tornando cada vez mais importante na sociedade em que vivemos, esta importância se dá principalmente por questões ambientais que tem sido abordada nos últimos anos. O aquecimento global vem sendo amplamente discutido em todo mundo durante vários encontros e fórum mundiais da ONU e outras organizações de defesa ambiental. Este aquecimento é basicamente causado com liberação de dióxido de carbono quando os combustíveis fosseis são queimados e a partir do aquecimento temos uma série de problemas climáticos desencadeados (BARAN, 2010).

Além das questões ambientais, temos que considerar que as reservas de petróleo deverão durar por mais 40 anos (PORTILHO, 2016). A escassez é inevitável e poderá resultar em utilização de outros combustíveis fosseis que podem não ser economicamente viáveis, desta forma poderemos ter um colapso no quesito abastecimento da frota brasileira. O veículo puramente elétrico surge como uma opção que deve ser considerada para a solução deste problema.

Os VE têm emissões de poluentes bem reduzidas ou até zero, no caso dos veículos puramente elétricos. Os VE têm um custo operacional mais barato quando comparado a um veículo movido a gasolina. Esses veículos utilizam

motores elétricos que por sua vez podem ser alimentados por baterias recarregáveis e ultracapacitores; esses armazenadores transformam essa energia química armazenada nas baterias e ultracapacitores em energia elétrica que proporcionam o funcionamento do motor, que por sua vez converte em energia mecânica entregando essa energia de forma direta nas rodas ou através de uma transmissão, possibilitando assim que o veículo se locomova.

Os armazenadores de energia têm demandado uma grande atenção dentro do desenvolvimento de veículos elétricos e veículos híbridos elétricos, as baterias são amplamente utilizadas em todas as configurações estudadas disponíveis no mercado. Segundo Michael Hereward, (2007) os tipos de baterias mais utilizadas nos veículos são: chumbo ácido, Níquel Zinco, Níquel MH, Íon Lítio e algumas de sódio que trabalham em alta temperatura. As baterias de alta temperatura têm uma boa performance desde que o veículo tenha um bom sistema de refrigeração para o banco de baterias, este sistema de refrigeração e arrefecimento, as vezes é um problema para arquitetura veicular; dentre as baterias de alta temperatura disponíveis, podemos destacar a sódio-cloreto de níquel como a bateria de melhor performance aplicada a VE ou VEH (HEREWARD, 2007). A literatura e estudos recentes apontam que a tecnologia em termos de baterias que vem sendo mais estudada e explorada são as baterias lítio-íon, pois possuem uma alta densidade de energia, é um metal leve e tem alto potencial eletroquímico. Essas baterias possuem um limitante na sua operação, pois tem limitação de operação nos quesitos: temperatura e tensão, mas essas limitações são facilmente gerenciadas em VE e VEH através de sistemas de gerenciamento (HUSAIN, 2005).

2. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

Para o desenvolvimento deste artigo foi realizada uma ampla pesquisa bibliográfica sobre as configurações de Veículos Elétricos (VE) e Veículos Elétricos Híbridos (VEH) que atualmente estão disponíveis e para validação do modelo de armazenamento de energia proposto para o veículo protótipo em desenvolvimento utilizamos os softwares *MATLAB* e *ADVISOR*.

2.1. Concepção do Protótipo

O veículo base utilizado no desenvolvimento do protótipo é um Volkswagen Saveiro ano/modelo: 92/92, este veículo é originalmente um veículo de carga compacto com Motor de Combustão Interna (MCI) que utiliza gasolina (E-22) como combustível, transmissão manual de 5 velocidades e tração no eixo dianteiro. A figura 1 é um exemplar do veículo na sua configuração original.

Figura 1. Veículo Volkswagen Saveiro



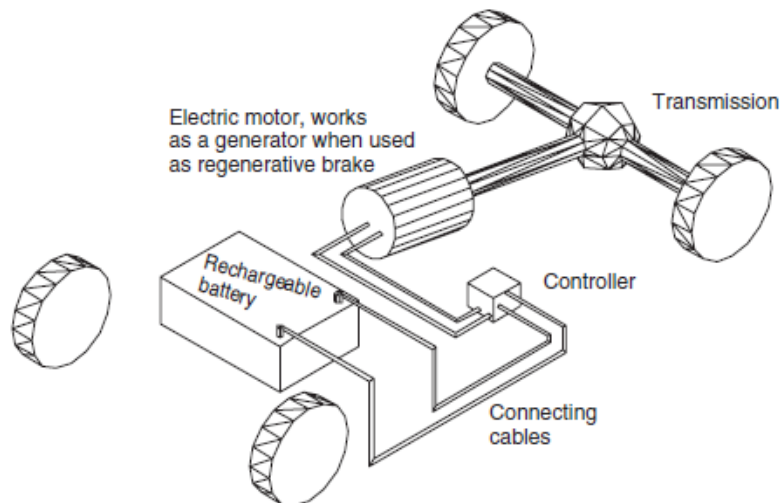
Fonte: Autor (2017)

Para a transformação do veículo convencional em um VE a configuração escolhida para ser utilizada no desenvolvimento do protótipo foi a seguinte:

- Máquina elétrica: Motor WEG W22
- Caixa de Transmissão: 5 velocidades manual (Volkswagen).
- Banco de baterias: 25 Baterias Chumbo Acido (Pb) ou 56 baterias Litio-íon (Li-ion)
- Inversor de frequência: WEG CFW-11

A figura 2 apresenta a configuração que adotamos para desenvolvimento deste artigo.

Figura 2. Modelo VE utilizado para desenvolvimento do protótipo



Fonte: LARMINIE (2012)

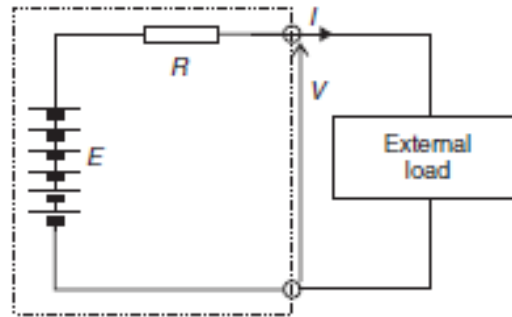
2.2. Dados da Máquina elétrica Adotada no Protótipo

Para aplicação no veículo protótipo foi definida a máquina elétrica do fabricante WEG modelo W22 Premium; este modelo é uma máquina de indução com rotor gaiola, 25CV/19KW de potência, tensão nominal de operação 220/380V com aproximadamente 130kg. Este modelo foi escolhido dado as suas características técnicas tais como: Alto rendimento conforme padrões estabelecidos na norma NBR 17094 e capacidade de fornecer um rendimento praticamente constante na faixa entre 75% a 100% da carga nominal. Este modelo de motor com 2 polos possui um rendimento específico em plena carga de aproximadamente 92,8% (MANUAL WEG W22, 2017).

2.3. Modelagem e Características dos Bancos de Baterias Propostos

Os modelos propostos neste trabalho são baseados em baterias com características de baterias Chumbo Ácido (Pb) e baterias de Lítio - íon (Li-ion), a criação dos modelos tem como objetivo prever o desempenho de cada uma das opções propostas para aplicação na arquitetura veicular, considerando as variáveis: máquina elétrica adotada no projeto do veículo, tipo de veículo, ciclo de rodagem adotado como referência e etc. Os modelos propostos neste trabalho são baseados no circuito equivalente apresentado na figura 3.

Figura 3. Circuito equivalente para modelagem de baterias



Fonte: LARMINIE (2003)

No circuito equivalente da figura 3 temos os seguintes componentes: E é a tensão de circuito aberto, R é a resistência interna, I é a corrente e V é a tensão de alimentação. Este circuito apresenta valores de E e R não constantes.

A tensão no circuito aberto é o primeiro parâmetro a ser estabelecido, pois esta tensão é diferente para cada um dos dois tipos de baterias propostos; esta variação de tensão se dá em função do número de células “n” e da profundidade de carga DoD. A tensão para baterias Chumbo Ácido está expressa na equação 1, nesta equação foi considerado que DoD é 0 para bateria carregada e 1 para bateria descarregada (KROEZE, 2008; LARMINIE, 2003).

$$E = n \times (2,15 - \text{DoD} \cdot (2,15 - 2,00)) \quad (1)$$

O estado de carga *SoC* é apresentado como a capacidade atual da bateria, e pode ser entendido como a diferença da máxima carga possível na bateria (100%) e a descarga considerada. Para efeito de cálculos na simulação neste trabalho, consideramos que uma bateria carregada apresenta *SoC* de 100% e totalmente descarregada um *SoC* de 0%. A equação 2 apresenta o estado de carga *SoC*.

$$\text{SoC} = 1 - \text{DoD} \quad (2)$$

Para as baterias de Lítio-ion a tensão E varia em função do estado de carga da bateria *SoC* a equação 3 apresenta a tensão no circuito para este tipo de bateria (KROEZE, 2008; LARMINIE, 2003).

$$E = n \times \left(\begin{array}{l} - 108,97 \times \text{SoC}^6 + 355,88 \times \text{SoC}^5 - 453,64 \times \text{SoC}^4 + 284,33 \times \text{SoC}^3 \\ -90,038 \times \text{SoC}^2 + 13,433 \times \text{SoC} + 3 \end{array} \right) \quad (3)$$

A resistência interna R para baterias chumbo ácido é considerada constante e para as baterias Lítio - íon tem variação em função do estado de carga *SoC* e é apresentada na equação 4 (KROEZE, 2008; LARMINIE, 2003).

$$R = n \times \left(\begin{array}{l} - 0,049 \times \text{SoC}^5 - 0,1297 \times \text{SoC}^4 + 0,4965 \times \text{SoC}^3 \\ - 0,4577 \times \text{SoC}^2 + 0,144 \times \text{SoC}^1 + 0,0482 \end{array} \right) \quad (4)$$

A capacidade da bateria é calculada pela capacidade de Peukert, onde o coeficiente K de Peukert tem um valor diferente para cada tipo de banco de baterias. A expressão 5 representa a capacidade de de Peukert (Larminie. 2003).

$$C_P = I_{BT}^K \times t \quad (5)$$

C_p é a capacidade de Peukert, K é o coeficiente de Peukert, I_{BT} é a corrente requerida pela bateria e t é o tempo.

A tensão de alimentação V para ambos tipos de baterias é definida pela equação 6.

$$V_{BT} = E - R \times I \quad (6)$$

A potência requerida em ambas configurações de baterias pode ser definida pela equação (7), que é o produto da tensão V pela corrente I.

$$P = V \times I \quad (7)$$

E por último temos a definição da corrente requerida na bateria, essa corrente pode ser expressa pela equação 8.

$$I = \frac{-E + \sqrt{E^2 + 4 \times R \times P}}{2 \times R} \quad (8)$$

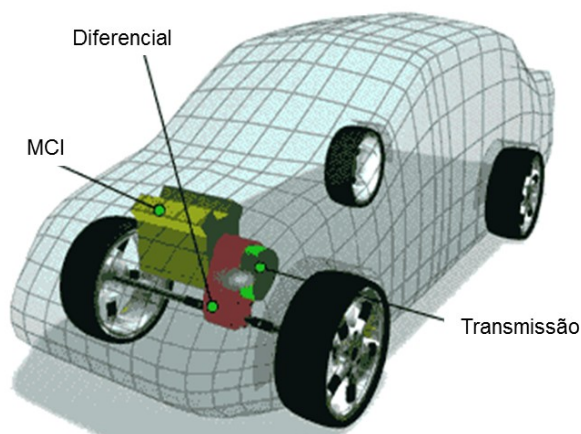
2.4. Características do Inversor de Frequência Proposto

O modelo de inversor utilizado na arquitetura do protótipo desenvolvido é um equipamento do fabricante WEG modelo CFW-11, este modelo tem uma excelente performance no controle de velocidade e torque de motores de indução trifásico. Este modelo foi escolhido devido a sua grande versatilidade e inúmeras possibilidades com as suas funções disponíveis, além disso é um modelo que utiliza o conceito “plug and play” este inversor quando conectado a um motor WEG é facilmente configurado através da HMI (*Human Interface Machine*) – Interface Homem Máquina (MANUAL CFW11, 2017).

2.5. Características do Veículo Convencional Utilizado como Base

Os veículos convencionais têm como principal característica a arquitetura veicular composta por um MCI, onde acontece a transformação de energia química em energia mecânica que é entregue nas rodas, essa energia é liberada quando ocorre a reação do ar com o combustível fóssil em condições específicas de pressão e temperatura. Os veículos convencionais podem ser divididos em dois tipos: Veículos ciclo Otto e ciclo Diesel. A configuração básica de um veículo convencional e demonstrada na figura 4.

Figura 4. Configuração de veículo convencional com MCI



Fonte: Autor (2017)

Segundo estudos do Departamento de Energia Norte Americano, em um motor consegue-se aproveitar atualmente aproximadamente 98% da energia liberada pelo combustível quando consideramos diesel e 95%-98% quando consideramos a gasolina. Porém, apenas 40% dessa energia é aproveitada, e grande parte energia é perdida sob a forma de calor através de perdas térmicas. A resistência aerodinâmica do veículo, perdas na transmissão outras perdas menores quando somadas, contabilizam uma eficiência final em torno de 15%.

2.6. Dados do MCI Utilizado

O motor utilizado no veículo base é um motor originalmente da montadora Volkswagen denominado AP, que significa Alta Performance. Ele é um MCI de 4 cilindros em linha com refrigeração a água, bloco em ferro fundido, cabeçote de alumínio e comando de válvulas no cabeçote e com 1600cc. Algumas características específicas do MCI que utilizamos são sigilosas e de propriedade das montadoras; e como para o nosso estudo não colocamos o nosso motor em um dinamômetro, para realizarmos a nossa simulação utilizamos as principais características do MCI.

3. RESULTADOS - IMPLEMENTAÇÃO E SIMULAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

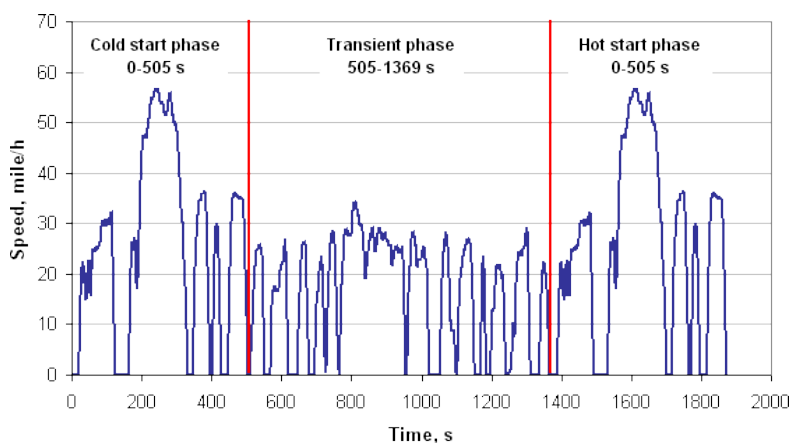
Para a implementação do modelo proposto utilizamos o software ADVISOR (*Advanced Vehicle Simulator*) para a realização das simulações. Através das simulações validamos o modelo de veículo convencional adotado e as propostas de bancos de armazenamento de energia propostos para utilização no VE.

3.1. Ciclos de Condução

Segundo Nesamani e Subramanian (2011) ciclo de condução é uma seqüência de condições de operação (marcha lenta, aceleração, desaceleração, distancia, tempo de condução, frequência da das partidas e paradas), desenvolvida para representar um padrão típico de condução em uma região se aproximando da realidade, sendo amplamente utilizado em estudos de emissões veiculares.

No Brasil o ciclo de condução adotado para determinação de várias emissões em veículos leves e comerciais leves, entre as quais o CO₂, é o ciclo americano conhecido como FTP-75 (Federal Test Procedure 75). Os procedimentos relativos a este ensaio são descritos na Norma Brasileira (NBR 6601). A figura 6 demonstra este ciclo.

Figura 6. Ciclo de condução FTP – 75



Fonte: Site NREL Emission (2017)

Para as simulações dos modelos adotados neste artigo utilizamos o FTP 75 que é o ciclo de condução adotado pela legislação brasileira.

3.2. Software Advisor (*Advanced Vehicle Simulator*)

O ADVISOR é um *software* de simulação de veículos que possibilita simulações de diversas arquiteturas veiculares, entre as possibilidades de simulação estão: VE, VEH e VEH com células de combustível (hidrogênio). O software foi desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Energias Renováveis dos Estados Unidos - NREL (National Renewable Energy Laboratory). Foi projetado para ser uma ferramenta de análise para auxiliar o Departamento de Energia dos Estados Unidos – DOE (Department of Energy) no desenvolvimento de tecnologias para VE e VEH em conjunto com as principais montadoras norte americanas Ford, General Motors e Daimler Chrysler.

O principal objetivo do ADVISOR é possibilitar a comparação entre os modelos simulados, proporcionando análises dos seus componentes e o seu impacto no desempenho e consumo de combustível. O ADVISOR foi criado no ambiente MATLAB/SIMULINK, por conta do MATLAB ter um ambiente de programação baseado em matrizes o que torna possível a realização de cálculos sem muita complexidade e o SIMULINK é utilizado para representar sistemas complexos utilizado a forma gráfica.

3.3. Modelo e Simulação de Veículo Convencional

A proposta é simular o funcionamento do veículo convencional utilizado como base para o desenvolvimento da pesquisa e após a simulação ter informações sobre comportamento do veículo durante um determinado ciclo de condução e ainda dados sobre emissão de poluentes na atmosfera. A tabela 1, mostra os dados de entrada utilizados para simulação do veículo convencional utilizado.

Tabela 1. Principais dados do motor inseridos no ADVISOR

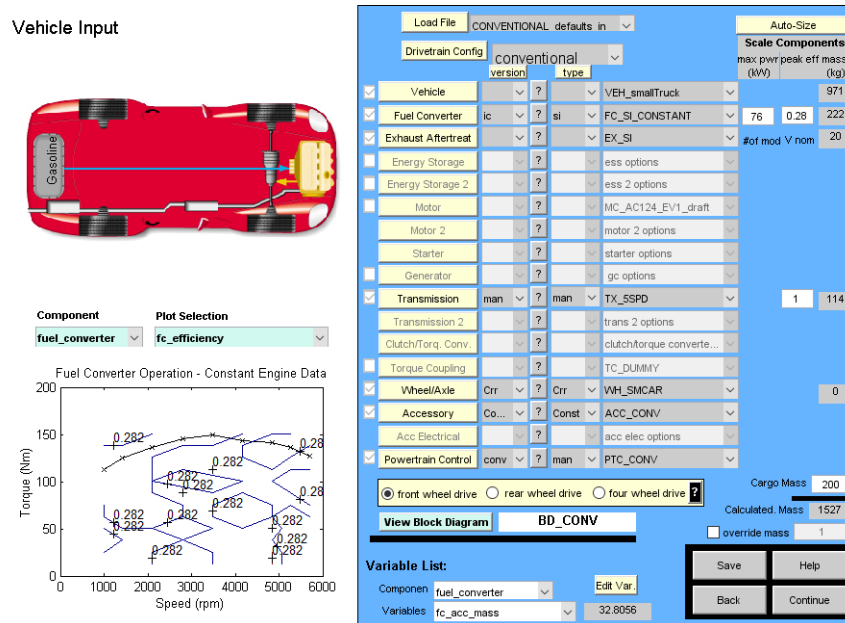
Dados Motor	
Combustível	Gasolina (E-22)
Potência	76cv a 5600 rpm
Torque	13,3kgfm a 3200 rpm

Fonte: Autor

Para realizar a simulação no *software* ADVISOR, foram adicionadas características necessárias para a simulação no diagrama de blocos ou diretamente na tela de entrada de dados.

Na tela de entrada do ADVISOR (Figura 7), temos um modelo de veículo convencional utilizado como base para a simulação do nosso veículo; mas para conseguir representar um modelo próximo ao nosso veículo alteramos alguns campos na tela de entrada em função das características específicas do nosso protótipo.

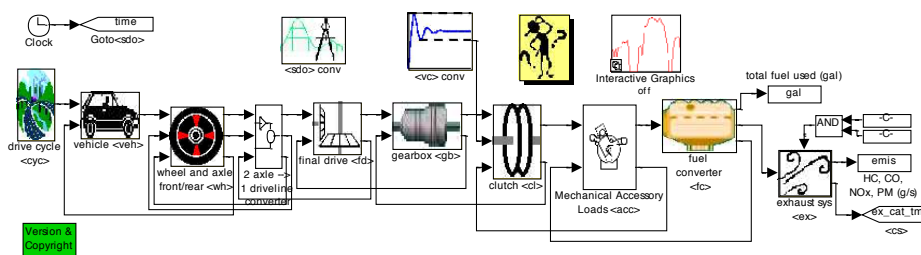
Figura 7. Tela de entrada dos dados para a simulação



Fonte: Autor (2017)

Utilizando o *software* Simulink acessamos o diagrama de blocos referente ao modelo do veículo convencional que modelamos para a simulação; a figura 8 mostra o diagrama de blocos no software ADVISOR.

Figura 8. Diagrama de blocos do veículo convencional adotado

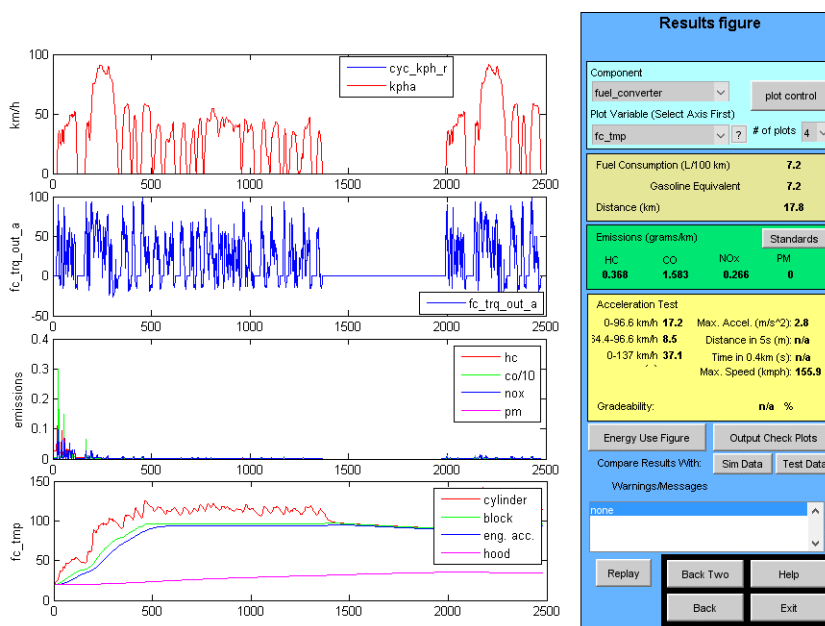


Fonte: Autor (2017)

O diagrama de blocos da figura 8 apresenta a sequência da simulação que executamos para o nosso modelo de veículo convencional, cada bloco possui uma função, sendo que algumas funções foram adaptadas para a condição da proposta na simulação do modelo.

Na sequência para realizar a simulação é necessária a escolha dos procedimentos de testes, e em seguida o ADVISOR realiza a simulação e disponibiliza os resultados. Na figura 9 são apresentados os resultados em forma de gráficos para alguns parâmetros previamente escolhidos.

Figura 9. Resultado simulação veículo convencional



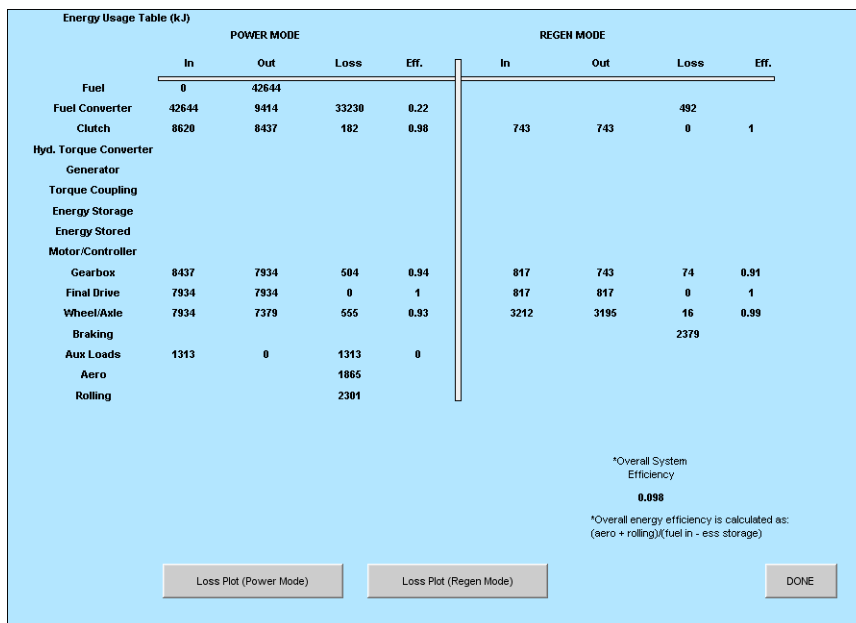
Fonte: Autor (2017)

Os parâmetros escolhidos na simulação do modelo foram:

- Km/h: Velocidade durante o ciclo de condução simulado.
- Fc_trq_out_a: Torque do MCI alcançado durante o ciclo de condução. No gráfico o toque está alinhado com a velocidade. (N*m)
- Emissions: Níveis de emissão de HC, CO, NOx e PM.
- Temperatura do MCI na linha do tempo, as temperaturas demonstradas são: Temperatura do cilindro, temperatura no bloco do MCI, temperatura exterior (agregados do motor – exemplo bomba de água) e a temperatura externa no capo do motor.

Na figura 10, apresentamos a eficiência de cada componente do modelo que simulamos.

Figura 10. Mapa de eficiência energética veículo convencional



Fonte: Autor (2017)

Com estas informações conseguimos identificar onde ocorrem as maiores perdas e desta forma é possível propor modificações com objetivo de melhorar a eficiência do veículo. Na simulação do veículo convencional utilizado em nosso estudo a eficiência do MCI foi de 22%. A figura 10 mostra que o componente que apresenta a menor eficiência é o MCI.

3.4. Simulação do Modelo de Banco com Baterias Chumbo Ácido (Pb) Proposto para o VE

O modelo de bateria chumbo ácido (Pb) apresentado anteriormente será simulado no *software* ADVISOR, considerando a arquitetura veicular demonstrada na tabela 2.

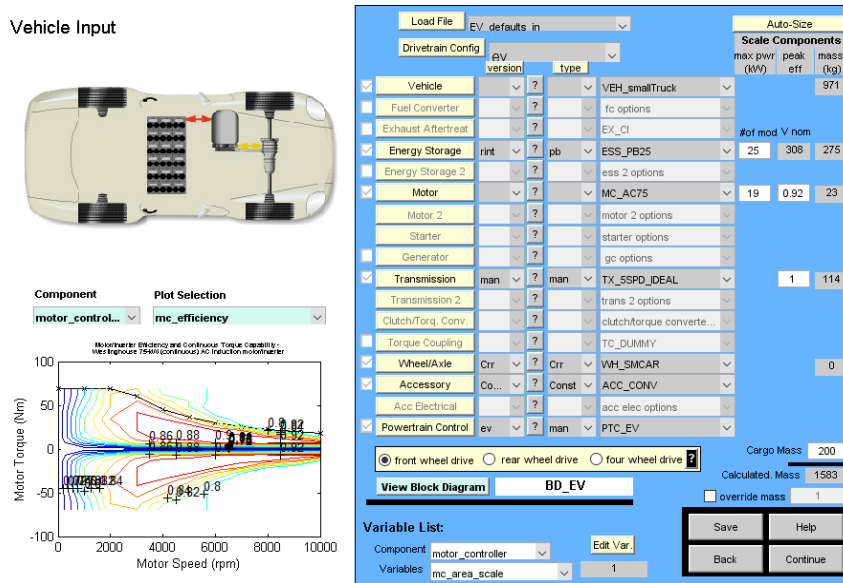
Tabela 2. Dados inseridos no *software* ADVISOR

Dados VE com baterias (Pb) simulado no ADVISOR	
Tipo de veículo	Veículo de carga - 2 passageiros (Similar a uma VW Saveiro)
Máquina Elétrica	Motor Indução Westinghouse - 19KW ~ 25cv
Banco de baterias (Pb)	25 módulos - Baterias Hawker Genesis 12v26Ah10EP / VRLA Battery
Transmissão	Manual de 5 velocidades
Acessórios	700W - Considerado para cargas elétricas necessárias para o veículo

Fonte: Autor

Nesta arquitetura com objetivo de aproximar o modelo de veículo simulado ao veículo protótipo em desenvolvimento, modificamos alguns parâmetros originalmente propostos no *software* ADVISOR. Essas alterações foram realizadas na tela de entrada demonstrada na figura 11.

Figura 11. Tela de entrada dos dados para a simulação do VE

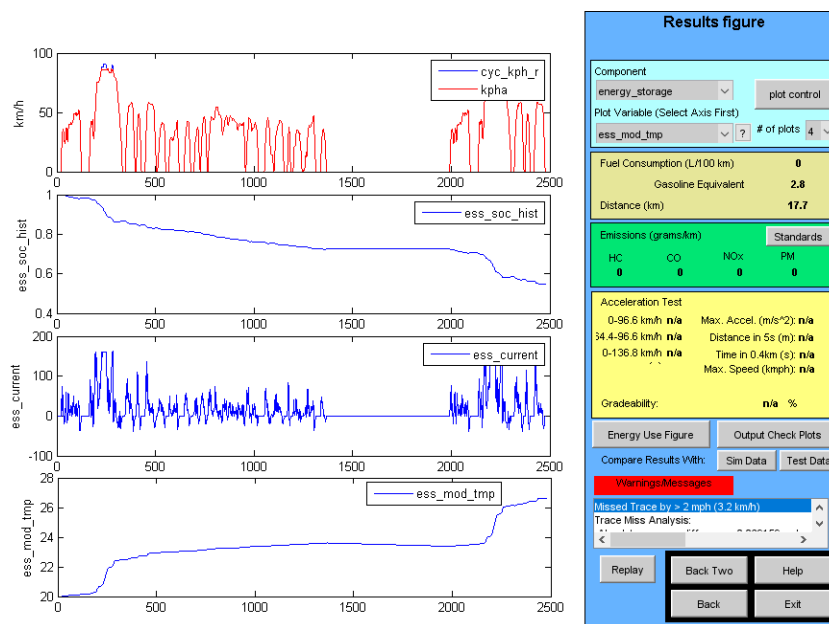


Fonte: Autor (2017)

O primeiro parâmetro modificado foi o modelo de máquina elétrica utilizada (Motor). Originalmente a máquina Westinghouse é modelada com 75KW, para a nossa simulação modificamos este para parâmetro para 19KW aproximando da potência utilizada na máquina WEG que adotamos fisicamente; o segundo parâmetro modificado foi o modelo de diâmetro de roda e pneu (Wheel/Axle), foi adicionada a medida 185/70R14 para este parâmetro.

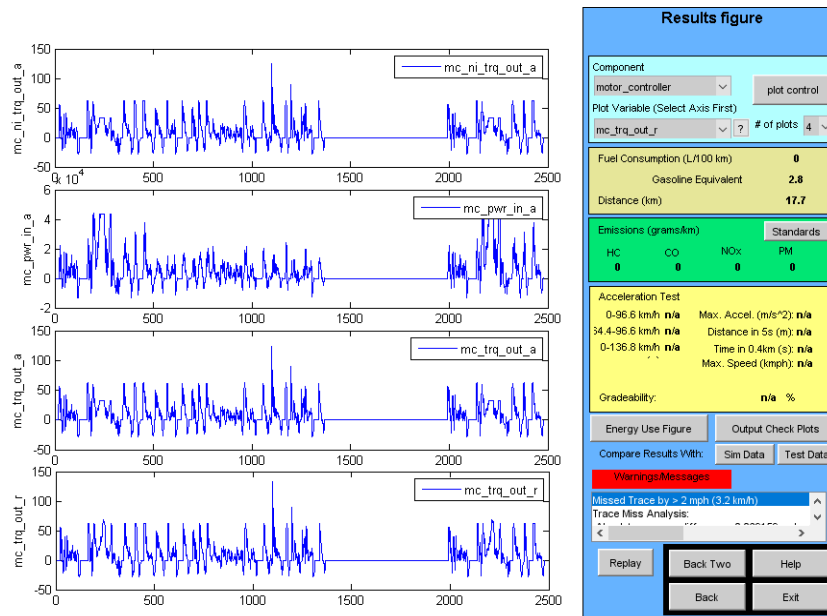
Na simulação deste modelo utilizamos o procedimento de teste FTP-75 e consideramos uma temperatura ambiente de 20°C; após a escolha realizamos a simulação e conseguimos obter os resultados apresentados nas figuras 12 e 13.

Figura 12. Resultados para banco de baterias chumbo ácido (Pb)



Fonte: Autor (2017)

Figura 13. Resultados para alguns parâmetros da máquina elétrica (motor)



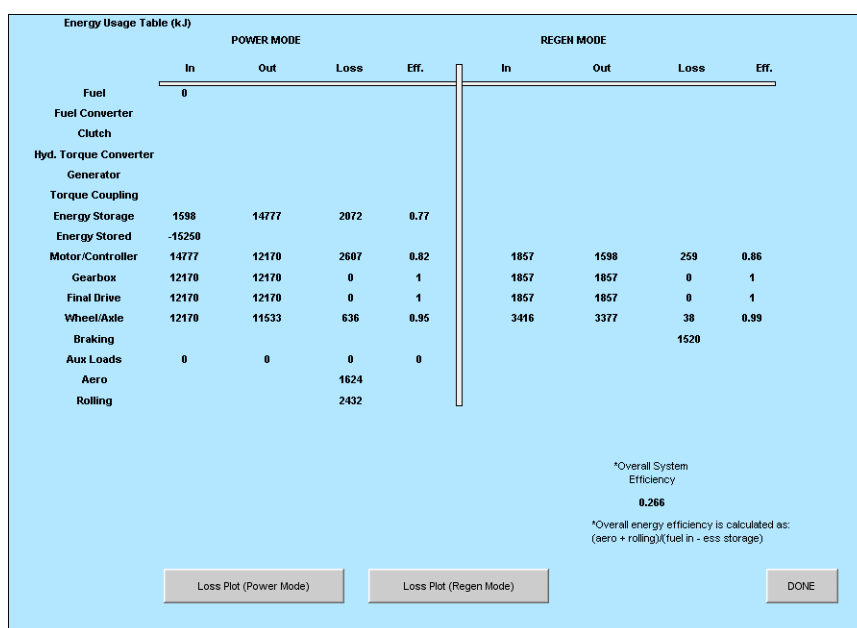
Fonte: Autor (2017)

Os resultados apresentados nas figuras 12 e 13 são referentes aos seguintes parâmetros:

- Km/h: Apresenta a velocidade do veículo solicitada durante o ciclo de condução simulado (cyc_kph_r) e velocidade alcançada com a configuração escolhida.
- Ess_soc_hist: Apresenta o histórico do estado de carga da bateria
- Ess_current: Corrente disponibilizada pelo banco de baterias em cada momento do ciclo de condução (A)
- Ess_mod_tmp: Temperatura do banco de baterias durante o ciclo de condução ($^{\circ}\text{C}$)
- Mc_ni_trq_out_a: Torque disponível no rotor do motor ((N*m)
- Mc_pwr_in_a: Potência disponível na máquina elétrica – Motor (W)
- Mc_trq_out_r: Torque solicitado na saída da máquina elétrica – Motor (N/m)
- Mc_trq_out_a: Torque disponibilizado na saída da máquina elétrica – Motor (N/m)

Na figura 14 é apresentado o mapa de distribuição de energia da arquitetura simulada. Com a análise dessas informações é possível verificar que a eficiência da máquina elétrica é de 82% e do banco de baterias chumbo ácido é de 77%.

Figura 14. Mapa de eficiência energética para configuração puramente elétrica com banco de baterias chumbo ácido (Pb)



Fonte: Autor (2017)

3.5. Modelo e Simulação do VE com Banco de Baterias Lítio – íon (Li-íon)

Para a simulação do banco de baterias Lítio - íon modelado, utilizamos o software ADVISOR para simular a aplicação deste modelo de banco no veículo puramente elétrico em desenvolvimento. A tabela 3 mostra os parâmetros utilizados na simulação.

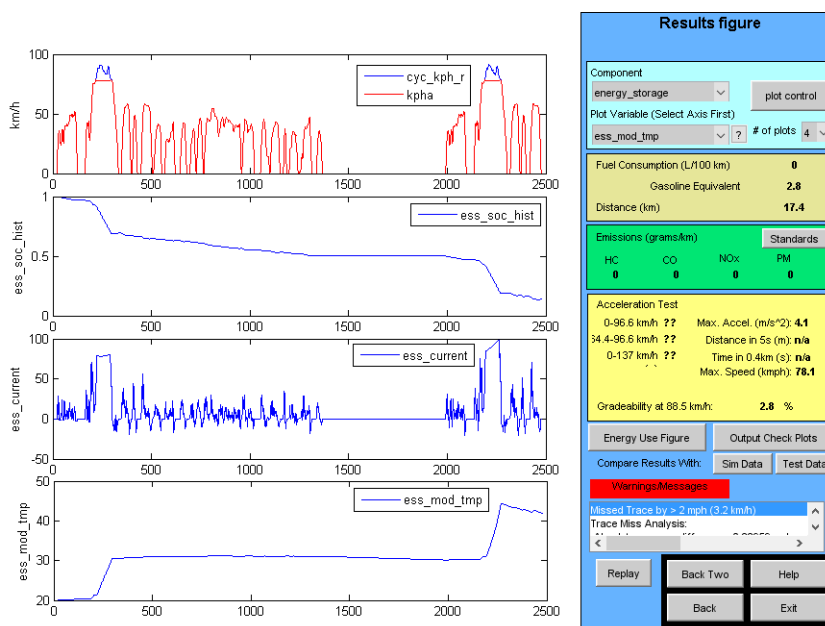
Tabela 3. Dados inseridos no *software* ADVISOR

Dados VE com baterias (Li-ion) simulado no ADVISOR	
Tipo de veículo	Veículo de carga - 2 passageiros (Similar a uma VW Saveiro)
Máquina Elétrica	Motor Indução Westinghouse - 19KW ~ 25cv
Banco de baterias (Li-íon)	56 módulos - Baterias 6Ah / Saft Battery
Transmissão	Manual de 5 velocidades
Acessórios	700W - Considerado para cargas elétricas necessárias para o veículo

Fonte: Autor

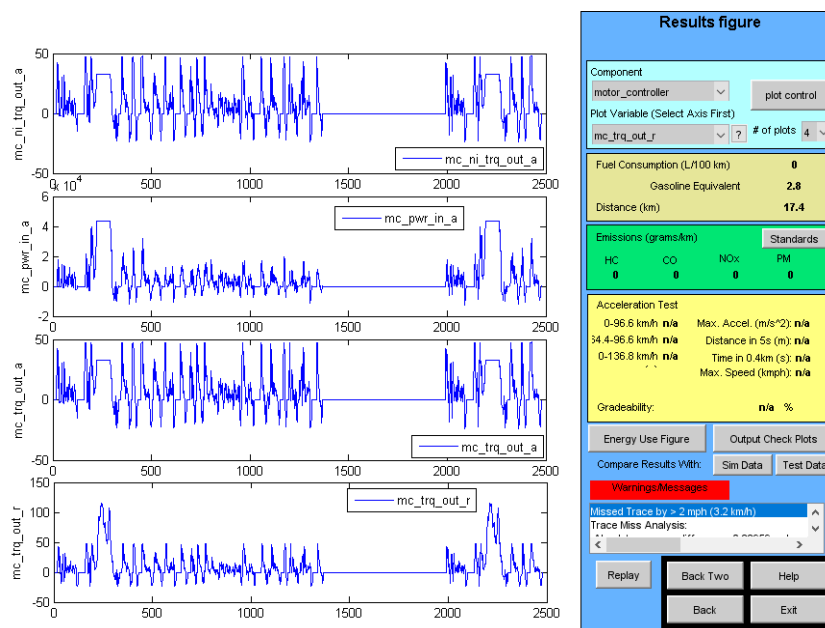
Na simulação do modelo Lítio – íon (Li-íon), utilizamos o procedimento de teste FTP-75 e consideramos uma temperatura ambiente de 20°C; após a escolha realizamos a simulação e conseguimos obter os resultados apresentados nas figuras 15 e 16.

Figura 15. Resultados para banco de baterias Lítio – Íon



Fonte: Autor (2017)

Figura 16. Resultados para banco de baterias Lítio – Íon



Fonte: Autor (2017)

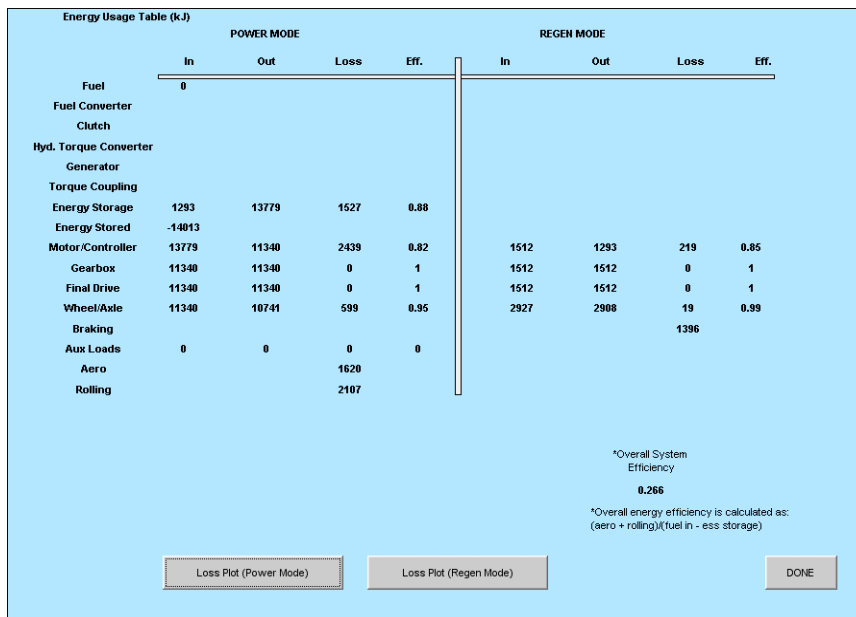
Os resultados apresentados nas figuras 15 e 16 são referentes aos seguintes parâmetros:

- Km/h: Apresenta a velocidade do veículo solicitada durante o ciclo de condução simulado (cyc_kph_r) e velocidade alcançada com a configuração escolhida (kpha).
- Ess_soc_hist: Apresenta o histórico do estado de carga da bateria.
- Ess_current: Corrente disponibilizada pelo banco de baterias em cada momento do ciclo de condução (A).
- Ess_mod_tmp: Temperatura do banco de baterias durante o ciclo de condução (°C).
- Mc_ni_trq_out_a: Torque disponível no rotor do motor ((N*m).

- $Mc_{pwr_in_a}$: Potência disponível na máquina elétrica – Motor (W).
- $Mc_{trq_out_r}$: Potência solicitada para maquina elétrica – Motor (W).

Na figura 17 são apresentados os componentes que apresentam as maiores perdas de energia durante o ciclo de rodagem simulado. Com a análise dessas informações é possível verificar que a eficiência da máquina elétrica é de 82% e do banco de baterias lítio – íon é de 88%.

Figura 17. Mapa de eficiência energética para configuração puramente elétrica com banco de baterias



Fonte: Autor (2017)

3.6. Análise Comparativa entre Modelos de Bancos de Baterias

As duas configurações de banco de baterias simuladas neste trabalho, apresentam a mesma configuração veicular: motor elétrico, cargas elétricas auxiliares de 700 W e carga considerada de 200kg. Com este parâmetro inicial foram realizadas as simulações considerando os dois cenários de banco de baterias propostos neste estudo: Banco de Baterias Chumbo Ácido e banco de baterias Lítio – Íon. Cada tipo de bateria tem uma característica construção e de funcionamento. Esta diferença entre os modelos de baterias propostos neste estudo, ficam evidenciadas nos resultados encontrados durante as simulações. Na tabela 4 temos o comparativo de alguns parâmetros dos bancos aplicados.

Tabela 4. Com resultado comparativo entre os bancos de baterias propostos

Tipo de arquitetura Simulada	Eficiência do Motor (%)	Eficiência do Banco de baterias (%)	Peso do Veículo (kg)	Peso banco de baterias (Kg)
Chumbo Ácido (Pb)	82	77	1583	275
Lítio - íon (Li-íon)	82	88	1372	64
Veículo Convencional	22	-	1467	-

Fonte: Autor

Analisando a tabela 4, observa-se que a eficiência de ambos os bancos é muito próxima, porém o banco com baterias de Lítio – Íon é mais eficiente, tem o menor peso e maior eficiência do sistema de armazenamento.

É possível evidenciar que nas duas aplicações de banco de baterias, nos momentos em que houve necessidade de picos de velocidade acima de 78,5km/h o veículo com arquitetura proposta, não conseguiu atender à solicitação. Outro fator que podemos verificar nos gráficos das figuras 12 e 14, é que os bancos dimensionados têm carga suficiente para atendimento do ciclo de condução especificado e que conforme a literatura mostra podemos verificar que no banco com baterias de Lítio – íon, temos uma temperatura de trabalho muito superior ao do banco com baterias de Chumbo ácido.

Na análise da configuração convencional, foi possível verificar que a performance do veículo na simulação foi muito próxima dos dados fornecidos pela montadora do veículo. O veículo nesta configuração apresentou velocidade máxima de 155km/h, que é muito superior aos 78,5 km/h entregues pelo motor elétrico WEG durante a simulação. Os níveis de emissões (NOx, HC e CO) apresentados na simulação estão dentro dos padrões estabelecidos a legislação brasileira para este tipo de veículo, quando consideramos a legislação vigente no ano de fabricação do motor utilizado como referência para a simulação. A eficiência do MCI durante o ciclo de condução simulado foi de 22%.

4. CONCLUSÕES

O tema VE tem sido amplamente estudado e discutido na comunidade acadêmica nos últimos 20 anos, empresas do setor automotivo em parceria com universidade e seus centros de pesquisa, tem estudado diversas tecnologias que buscam antecipar a viabilidade da produção do VE em grande escala. Dentre os diversos itens que compõem a arquitetura do VE, o sistema de armazenamento de energia tem uma função primordial na arquitetura do VE ou VEH, pois este sistema é fundamental para o funcionamento do veículo.

Com a modelagem apresentada neste artigo, foram realizadas as simulações utilizando os softwares *MATLAB* e *ADVISOR*, onde foi possível obter resultados que proporcionaram uma análise ampla da performance do VE. Com análise dos dados da simulação podemos concluir que o sistema de armazenamento com baterias Lítio – íon é mais eficiente e proporciona uma autonomia semelhante a opção com baterias de chumbo ácido, porém ocupando um espaço menor e com apenas 23% do peso do banco com baterias de chumbo ácido.

Considerando que o projeto em desenvolvimento trata - se de um veículo autossustentável e que irá receber uma turbina eólica e painéis solares, a preocupação com o peso do sistema de armazenamento de energia é evidente e quando é considerado na simulação a configuração com baterias de lítio-íon temos uma redução de 13% no peso total do veículo.

Com tudo, podemos concluir que a utilização de um sistema de armazenamento de energia utilizando baterias de chumbo ácido é viável, mas quando consideramos que o projeto irá receber um sistema de micro geração de energia, a utilização de um banco com baterias de Lítio - íon é recomendada.

REFERÊNCIAS

- BARAN, Renato; LEGEY, Luiz Fernando Loureiro. Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.33, p. 207-224, mar. 2011.
- EHSANI, Merhrdad. Modern electric, hybrid electric and fuel cells vehicles: Fundamentals, theory and design. Boca Raton: CRC Press, 2010.
- HUSAIN, Iqbal. Electric and hybrid vehicles: design fundamentals. Boca Raton: CRC Press, 2005.
- LARMINIE, James. Electric vehicle technology explained / James Larminie, John Lowry. – Second Edition: WILEY, 2012.
- MANUAL WEG W22, 2017 – Manual do motor de indução WEG modelo W22. Disponível em: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-w22-motor-trifasico-tecnico-mercado-brasil-50023622-catalogo-portugues-br.pdf> . Acesso em: 06.06.2016
- MANUAL CFW11, 2017 – Manual do inversor de frequência WEG CFW 11. Disponível em: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-cfw-11-completo-10510201-catalogo-portugues-br.pdf> . Acesso em: 06.06.2016

- NESAMANI, K.S., SUBRAMANIAN, K.P. Development of a driving cycle for intra-city buses in Chennai, India. *Atmospheric Environment*, 45, p.5469-5476, 2011.
- WESTBROOK, M.H. (Michael Hereward), *The electric car development and future of battery, hybrid and fuel-cell cars – (IEE power series; no. 38): UK by TJ International Ltd, Padstow, 2007*
- PORTILHO, G., 2016, Quanto tempo vai durar o petróleo no mundo? *Revista Mundo Estranho*. Disponível em: <http://mundoestranho.abril.com.br/ambiente/quanto-tempo-vai-durar-o-petroleo-no-mundo/>. Acesso em: 20.06.2016
- KROEZE, R. C. & Krein, P. T., 2008. Electrical battery model for use in dynamic electric vehicle simulations. *IEEE Power Electronics Specialists Conference*. Rhodes, Grécia, s.n., pp. 1336 - 1342.