

Aplicações da Tecnologia Veicular Híbrida Visando o Maior Acesso ao Transporte e a Energia Elétrica no Meio Rural e Urbano em Prol do Desenvolvimento Sustentável

Luiz Artur Pecorelli Peres, D.Sc.¹ Lucia Mariana de Souza

Resumo

O transporte no Brasil é exercido de forma majoritária no modo rodoviário. Esta característica afeta significativamente os custos dos deslocamentos tanto no meio urbano como no meio rural tendo em vista os preços elevados dos combustíveis. O ingresso do país na tecnologia veicular elétrica híbrida e a sua comercialização permitem visualizar diversas oportunidades para a diminuição de gastos operacionais, maior eficiência energética e uma significativa melhoria da qualidade do ar. Em decorrência, há benefícios palpáveis para a população, em geral, inclusive a redução das emissões de gases de efeito estufa, com a qual se antevê a utilização dos créditos de carbono preconizado pelo Protocolo de Kyoto. Destacam-se, ainda, aplicações mais abrangentes que não se limitam exclusivamente ao funcionamento destes veículos apenas no modo de tração. Neste sentido, este trabalho apresenta uma análise em que se acrescenta a estes veículos a função de atuarem também como geradores quando estiverem estacionados, uma vez que, dispõem destes dispositivos a bordo para a recarga das suas baterias. Esta concepção é viável e permite um maior acesso ao transporte e à energia elétrica pelas populações em desenvolvimento com amplos benefícios energéticos e ambientais [1,2].

1. INTRODUÇÃO

O Veículo Elétrico (VE) foi introduzido comercialmente no final do século XIX, antes mesmo da grande penetração dos veículos a combustão interna que veio ocorrer posteriormente. No entanto, os VEs possuíam limitações, tais como: a pouca autonomia e o tempo elevado de recarga das baterias. O enorme crescimento da indústria petrolífera se adicionou a esses fatores para que a tecnologia limpa do VE fosse substituída naquela ocasião pelo Veículo a Combustão Interna (VCI).

Quando os primeiros VCIs foram fabricados e chegaram às ruas os impactos causados ao meio ambiente não eram conhecidos. De forma concomitante, a presença maciça da tração animal, nos grandes centros urbanos apresentavam incômodos bem mais perceptíveis que as emissões atmosféricas dos carros e caminhões. Todavia, a partir da metade do século XX, tornou-se premente a necessidade de reduzir a toxicidades da fumaça que os VCIs lançavam para o ar. Esta circunstância e as duas crises do petróleo, assim denominadas devido aos

¹ Luiz Artur Pecorelli Peres (lapp@uerj.br) e Lucia Mariana de Souza
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ
Centro de Pesquisas em Energias Renováveis – CEPER
Laboratório de Sistemas de Propulsão Veicular e Fontes Eletroquímicas - LSPV
Rua Fonseca Teles, 121, Sala L-15 - Bairro São Cristóvão
Rio de Janeiro – RJ Brasil CEP: 20940 - 903

saltos significativos do preço do barril, propiciaram um ressurgimento da tecnologia veicular elétrica.

O final do século XX foi marcado por várias discussões ambientais especialmente no tocante ao setor de transporte que na sua maioria utiliza combustíveis fósseis. Neste cenário, pesquisas e desenvolvimentos por novas tecnologias foram surgindo e o VE aparece como parte das soluções voltadas em prol do desenvolvimento sustentável pois, propicia a amenização das atividades antropogênicas relacionadas com as mudanças climáticas. Visando atender aos requisitos relacionados quanto à autonomia e ao tempo de recarga das baterias, o Veículo Elétrico Híbrido (VEH) vem se mostrando como uma opção viável.

A característica principal do VEH é a utilização combinada do motor elétrico para tração e de uma fonte de energia constituída por um motor a combustão interna, MCI, semelhante ao dos VCIs, porém, de menor porte. Uma das configurações mais simples possui um grupo motor-gerador e um banco de baterias acoplados que podem fornecer energia para o motor elétrico, ME, de tração das rodas. A presença de um dispositivo controlador eletrônico permite recarregar automaticamente o banco de baterias mesmo quando o veículo se encontra em movimento pelo acionamento e controle do grupo motor-gerador existente.

Este esquema, se comparado ao VCI convencional, apresenta menor consumo de combustível e, portanto, há uma redução das emissões atmosféricas e dos chamados gases de efeito estufa onde se destacam o CO_2 e o CH_4 ⁽²⁾ Dentre os poluentes podem ser mencionados os NO_x , os SO_x , o CO, os HC e o material particulado, MP^3 , que provocam danos ao meio ambiente, em especial à saúde humana. Conseqüentemente, estes efeitos acarretam em um custo elevado para a sociedade e enormes riscos para o planeta no que tange aos riscos de catástrofes provocadas pelo aumento progressivo da sua temperatura média. É neste panorama que o VEH vem se tornando uma opção que alia o menor custo operacional com menores custos sociais. É importante frisar que ao contrário do VE somente a bateria, o VEH apresenta emissões atmosféricas, cujos níveis são bem inferiores aos dos VCIs para a realização dos mesmos trajetos.

Adicionalmente, o VEH apresenta modos de funcionamento ainda pouco explorados, como por exemplo, a produção de energia elétrica a partir do gerador a bordo, quando o veículo estiver estacionado e ainda atuar como co-gerador caso seja aproveitada, também, a energia térmica do motor a combustão interna. É possível, então, prover de transporte, energia elétrica e térmica, diversas localidades em que estes serviços são precários ou até mesmo não disponíveis tanto para populações do meio rural como urbano. Desta forma, percebe-se que inúmeros proveitos e aplicações podem ser obtidos a partir do VEH atuando como um co-gerador móvel.

De uma maneira geral, há duas variações de VEH a combustão interna: a *paralela* e a *série* que permitem diversas combinações de seus componentes. No VEH paralelo tanto o MCI quanto o ME atuam em conjunto na tração do veículo enquanto que no VEH série, apenas o ME possui esta função [1,2].

Este trabalho tem como objetivo o estudo e a análise de um caso hipotético de utilização da tecnologia veicular elétrica híbrida por uma cooperativa rural. Os resultados obtidos demonstram o potencial de viabilidade desta tecnologia quando comparada às formas tradicionais de transporte e geração. Para isto, foi considerado

² CO_2 e CH_4 se referem ao dióxido de carbono e metano respectivamente.

³ NO_x , SO_x , CO, HC e MP, correspondem, respectivamente aos óxidos de nitrogênio, aos óxidos de enxofre, ao monóxido de carbono, aos hidrocarbonetos não queimados e ao material particulado.

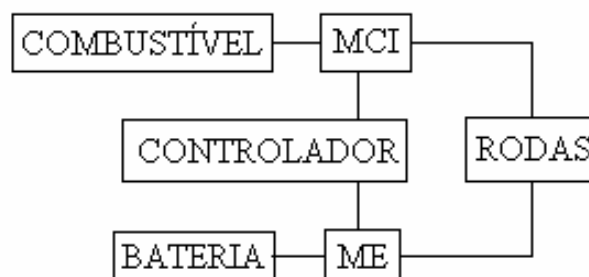
o funcionamento do VEH série, uma vez que ônibus e caminhões deste tipo são fabricados pela indústria brasileira.

2. DESCRIÇÃO DE FUNCIONAMENTO

2.1 VEH Paralelo

Na configuração paralela há maneiras diferentes de acoplar os motores. A configuração mostrada na Figura 1 permite que a energia mecânica do MCI e a do ME sejam transmitidas para as rodas através de engrenagens, não sendo, então, necessária nesta situação a montagem de ambos motores sobre o mesmo eixo e desta forma os motores podem ter disposições variadas. A energia mecânica do MCI é transmitida para a engrenagem, permitindo, com isso, que este opere próximo à faixa de maior eficiência, tendo como consequência a redução de emissões. A energia mecânica do motor elétrico também é transmitida para as engrenagens. O controlador é que determina a quantidade de energia que cada motor fornecerá às rodas e atuação da frenagem regenerativa que fornece energia à bateria. Neste processo, as embreagens recebem informações do controlador para o seu engate ou desengate. No caso da frenagem regenerativa somente o motor elétrico fica acoplado à engrenagem fazendo com que o motor atue como gerador transmitindo energia cinética do veículo para as baterias. Nesta configuração é possível desligar o MCI em situações em que a baixa quantidade de energia é requerida. Com isto, não haverá ruído do MCI que também deixará de consumir combustível reduzindo as emissões.

Figura 1 - Esquema de Veículo Elétrico Híbrido Paralelo



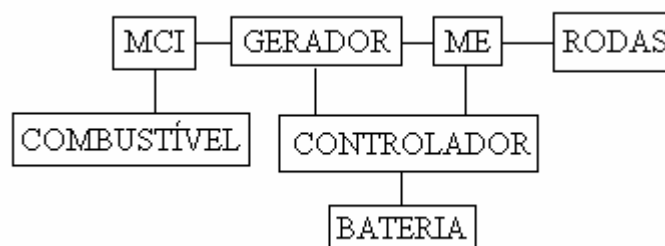
2.2. VEH Série

No VEH série apenas o motor elétrico é responsável pela tração do veículo. A energia mecânica do MCI é transmitida para um gerador elétrico, que transforma a energia mecânica em elétrica. Através de um retificador a tensão de saída passa a ser contínua para que haja a conexão com o banco de baterias. A energia que vem do retificador, ou seja, proveniente do MCI é condicionada pelo controlador que determina a quantidade que irá para o banco de baterias e para o motor elétrico. Em determinadas situações do trajeto dependendo do esforço de tração exigido poderá ser necessária a energia tanto do banco de baterias como do motor a combustão interna. O motor elétrico transforma a energia elétrica em energia mecânica que irá movimentar as rodas. Durante a frenagem regenerativa o motor elétrico de tração passa a funcionar como um gerador já que durante esse processo a energia mecânica das rodas se transforma em energia elétrica para recarregar as baterias.

Nesta configuração também é possível desligar o MCI em situações em que baixa quantidade de energia é requerida. Com isto, não haverá ruído do MCI que também deixará de consumir combustível reduzindo as emissões. Essa configuração está ilustrada na Figura 2.

Uma característica da configuração série é que o MCI opera praticamente com rotação constante, na região de maior eficiência da curva torque versus velocidade do motor. Conseqüentemente o consumo e as emissões são notavelmente reduzidos. É relevante comentar que a ausência de engrenagens reduz a complexidade desta configuração, entretanto, a dupla conversão de energia, de mecânica para elétrica e elétrica para mecânica reduz a eficiência do VEH tipo série. A existência do motor-gerador proporciona a obtenção de energia elétrica para outros fins quando o veículo encontra-se estacionado.

Figura 2 – Esquema de Veículo Elétrico Híbrido Série



3. CENÁRIO DE ESTUDO

O cenário hipotético do trabalho supôs uma cooperativa rural que durante um período de 8 horas diárias necessita para o seu modo de produção gerar energia elétrica e dispor de um meio de transporte para escoá-la. Esta situação foi comparada tendo em vista analisar a viabilidade do meio de transporte ser constituído por um caminhão elétrico híbrido que pudesse gerar energia elétrica quando estacionado para cooperativa ao invés de um caminhão convencional. Esta comparação restringiu-se aos aspectos operacionais de consumo de combustível por ser esta a parcela significativa dos custos, tendo em vista verificar o potencial da tecnologia elétrica veicular híbrida. Para isto foram consideradas as seguintes condições:

- Potência média necessária na cooperativa igual 71,87 kW por um período fixo e contínuo de 8 horas diárias.
- Percurso diário do caminhão igual a 150 km a uma velocidade média de 45 km/h em estradas rurais.
- Para maior simplicidade dos cálculos os dados adotados de natureza energética e econômica correspondem ao óleo diesel como combustível tanto para geração como para o transporte. Esta consideração não altera os resultados caso seja utilizados combustíveis renováveis, a exemplo do biodiesel.

Para efeito de comparação, foi admitida a existência de duas instalações distintas denominadas de A e B. Ambas as instalações dispõem de um caminhão como meio de transporte e de geração estacionária para a produção de energia. A

instalação A é convencional e consta de um caminhão cuja potência do MCI é de 210 HP (156.66 kW) para transporte e de um motor-gerador estacionário com 75 kVA para produção de energia. A instalação B é composta por um caminhão elétrico híbrido cuja potência do MCI é igual a 80 HP (59.68 kW) com um gerador elétrico síncrono a bordo de 75 kVA. O caminhão elétrico híbrido considerado possui a mesma capacidade de carga do caminhão convencional da instalação A, conforme consultado das informações técnicas providas por fabricantes nacionais. A instalação B dispõe também de um motor-gerador estacionário como o da instalação A.

A condição de potência média requerida pela cooperativa conduz a um consumo anual de energia elétrica da cooperativa de 115,23 MWh (0,43 MWh/dia) descontando os fins de semana supondo-se que e. ambos os caminhões trafegam 3,33 horas/dia, conforme as condições de percurso.

O desempenho de cada instalação é definido pelos os tipos de caminhão empregados para as atividades de produção e transporte da cooperativa. A instalação B admite que parte da geração diária seja realizada pelo caminhão elétrico híbrido nos períodos em que estivesse estacionado. Os seguintes dados básicos foram admitidos, conforme indicados nas Tabelas 3 e 4 [2, 3]

Tabela 3 – Dados Básicos

Dados	Valor
Poder Calorífico do Diesel (kcal/kg) [2]	10280
Massa Específica do Diesel (kg/m ³) [2]	839
Consumo Específico do VCI a Diesel (l/km) [3]	0.65
Consumo Específico do VEH a Diesel (l/km) [3]	0.50
Rendimento do MCI do VCI (%) [2]	0.20
Rendimento do MCI do gerador diesel (%)	0.20
Rendimento do MCI do VEH (%)	0.26
Rendimento do Gerador do VEH (%)	0.96

Tabela 4 – Fatores de Emissão para Motores Diesel

Poluente	CO	HC	NOx	MP
FE (g/kWh)	4.00	1.10	7.00	0.15

Obs.: FE – Fator de Emissão

Na confecção do trabalho foi necessário converter os valores da Tabela 4 referentes aos Fatores de Emissão em g/kWh para g/km para determinar as emissões dos caminhão convencional. Para essa conversão foi calculada a potência média do motor a diesel do VCI a partir de uma situação de percurso considerando-se os seguintes dados: consumo específico, velocidade média, percurso diário, poder calorífico do óleo diesel e rendimento do MCI. O percentual de uso da potência do VCI foi de 0,37. De acordo com a equação (1) foi preparada a Tabela 5 com os valores de fator de emissão convertidos para a situação de percurso.

$$FE1 = (FE \times P_m) / V_m \quad (1)$$

Onde:

FE1 - Fator de Emissão em g/km

FE – Fator de Emissão em g/kWh

P_m – Potência média empregada no percurso em kW

V_m – Velocidade média empregada no percurso em km/h

Tabela 5 - Fatores de Emissão convertidos de acordo com a situação de percurso

Poluente	CO	HC	NOx	MP
FE (g/km)	5.22	1.43	9.13	0.20

4. ANÁLISE DAS INSTALAÇÕES A E B DO CENÁRIO CONSIDERADO

Instalação A

O consumo anual de combustível foi de 86.068,00 litros e as emissões podem ser observadas na Tabela 6

Tabela 6 – Níveis de poluentes emitidos anualmente para a Instalação A

Poluentes	CO	HC	NOx	MP
Anual (t)	0,691	0,190	1,208	0,026

Instalação B

Neste caso, parte da geração elétrica para a cooperativa é realizada pelo caminhão elétrico híbrido, isto é, durante 4,67 horas/dia. O restante do período de 8 horas, isto é, 3,33 horas/dia é despendido na função de transporte. O consumo anual de combustível foi de 51.785,05 litros e as emissões constam da Tabela 7.

Tabela 7 – Níveis de poluentes emitidos anualmente para o Caso B

Poluentes	CO	HC	NOx	MP
Anual (t)	0,480	0,132	0,840	0,018

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste trabalho permitem observar que mesmo a utilização do VEH somente como meio de transporte é atrativa tendo em vista a redução do consumo de combustível e dos níveis de emissão dos poluentes avaliados. A instalação B amplia os benefícios uma vez que o VEH atua em substituição ao tradicional motor-gerador para a produção de energia na cooperativa nos períodos disponíveis em que estivesse estacionado. Os valores evitados das emissões atmosféricas e do consumo de combustível constam da Tabela 8 com base na diferença entre os valores das Tabelas 6 e 7

Tabela 8 – Emissões e Consumos Anuais Evitados pelo Emprego de VEH na Instalação B

CO(t)	HC(t)	NOx(t)	MP(t)	Consumo (l)
0,210	0,058	0,368	0,008	34282,95

A Tabela 8 mostra que a inserção de um VEH no cenário contemplado apresenta um potencial significativo de benefícios ambientais e econômicos. É relevante fazer a observação de que para a situação hipotética analisada não foi cogitado o uso da co-geração, o que aumentaria os benefícios auferidos pela presença do VEH, uma vez que se disporia de uma fonte energética adicional, térmica.

Apesar da simplicidade deste estudo pode-se verificar o grande potencial de aplicações da tecnologia veicular elétrica híbrida pode oferecer a países em desenvolvimento. No caso do Brasil devido à sua considerável área geográfica os fatores que determinam a aceleração do desenvolvimento das populações rurais e urbanas estão invariavelmente associados às necessidades de energia elétrica e transporte. O emprego da tecnologia veicular elétrica híbrida pode proporcionar a diversas comunidades produtoras de combustíveis renováveis, como o biodiesel, uma grande redução de custos operacionais na produção de energia local e utilização de transporte dispondo de VEHs apropriados. As soluções tradicionais, com base na utilização de combustíveis fósseis, em geral, esbarram em impactos ambientais que ocasionam prejuízos para a sociedade. Em adição, os riscos de catástrofes relacionados com os desequilíbrios climáticos decorrentes das emissões dos gases de efeito estufa gerados por estas mesmas soluções demonstram a necessidade urgente da adoção de tecnologias mais limpas.

A utilização da tecnologia veicular elétrica híbrida no Brasil constitui uma alternativa viável. Entretanto, há obstáculos institucionais no tocante a regulamentação destes veículos a serem examinados. Além disto, há necessidade de políticas públicas nas esferas federal, estadual e municipal integradas para o seu estabelecimento mais rápido. No plano tecnológico é essencial o domínio e a produção de baterias tracionárias avançadas de forma a propiciar a diminuição de custos e a melhoria da eficiência destes veículos. É desejável o emprego dos recursos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, MDL, oriundo dos créditos de carbono, preconizados pelo Protocolo de Kyoto como um dos suportes ao financiamento da penetração da tecnologia veicular elétrica no país.

Referências Bibliográficas

- [1] PECORELLI PERES, L.A.; HOLLANDA, J. B. – *Possible Uses for the Hybrid Electric Vehicle in Mobile Distributed Generation*, Committee 37 - Power Systems Planning and Development, X ERLAC, CIGRÉ, Puerto Yguazú, Argentina, Maio de 2003.
- [2] PECORELLI PERES, L. A.; GUIMARÃES, Edison Tito; PEÇANHA, Marcelo; SOUZA, Lucia Mariana de. *Geração Distribuída Através de Veículos Elétricos Híbridos*. In: IX SYMPOSIUM OF SPECIALISTS IN ELECTRIC OPERATIONAL AND EXPANSION PLANNING, 2004, Rio de Janeiro. IX Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning. Rio De Janeiro: Cigré Brasil, 2004.
- [3] GUIMARÃES, EDSON T. *Uso da Energia Térmica dos VEH*, 1º Workshop sobre Veículo Elétrico Híbrido no Brasil promovido pelo INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética, São Paulo, SP, Brasil, Abril de 2003.

Agradecimentos

Os autores nesta oportunidade agradecem o apoio à FAPERJ, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro pelo apoio à realização deste trabalho.