



## ENERGIA VEICULAR E ALTERNATIVAS PARA O SÉCULO 21

---

*Felix A. Farret  
Luiz A. Righi  
Tiago Guedes*

O futuro ainda está muito nebuloso quanto às fontes de energia a serem usadas nos automóveis do século XXI, pois os novos combustíveis esbarram muito mais em interesses econômicos, políticos, sociais, estratégicos e de segurança nacional do que tecnológicos. A utilização de carros elétricos, preferencialmente compactos, pequenos e leves, em ambientes urbanos, já se tornou uma realidade mesmo em países renitentes em optar por essas inovações, como é o caso dos Estados Unidos, acostumados a um conforto exagerado em relação ao que pode ser universalmente aceito pelo meio ambiente e pela matriz de produção energética atuais. O acionamento elétrico dos veículos parece ser mais eficiente para o ambiente urbano quando comparado a motores de combustão interna, por sua capacidade de frenagem regenerativa, não ser ruidoso, nem poluente do ar. Entretanto, tal solução adotada em larga escala causaria grande impacto aos sistemas públicos de energia elétrica. Isso evidencia que o carro elétrico, ou movido a hidrogênio ou outra fonte que sirva de energia, talvez não seja exatamente uma resposta para a independência com relação ao petróleo. De qualquer forma, com as recentes crises energética, ambiental e do sistema financeiro mundial, vive-se um momento propício para mudanças e novas pesquisas na área da energia veicular.

## Introdução

Pode-se pensar que os modernos projetos de carros deverão obedecer aos princípios gerais do ecodesign, como tudo o mais que se pretenda produzir industrialmente neste planeta. Tais princípios incluem cuidados com volume e peso, oportunidade para o descarte, tipo e uso de energia, eficiência elevada, uso racional de materiais e combustíveis, durabilidade, compartilhamento no uso, reaproveitamento ou retornabilidade dos materiais, transporte da produção, integração com o ambiente, uso de água, limitados agentes de poluição e produção auto-sustentável (ciclo fechado). Aspectos como complementos desnecessários (opcionais) e aparência talvez se tornem secundários se tais demandas forem levadas ao extremo. Resgatar a essência e a funcionalidade do que se quer vender passa a ser um objetivo. Neste artigo vislumbra-se o uso futuro de algumas das principais fontes de energia com base no seu estágio atual de desenvolvimento. O assunto contempla os diversos gases combustíveis (gás natural comprimido, gás natural liquefeito e gás de petróleo liquefeito), os carros movidos a hidrogênio, os carros a gasolina, os carros a biodiesel e o carro híbrido.

### Gás natural comprimido, gás natural liquefeito e gás liquefeito do petróleo

Soluções alternativas para a produção e uso de combustíveis estão sendo mundialmente repensadas. Uma delas consiste na eliminação das barreiras técnicas e de custo, associadas ao deslocamento de combustíveis de petróleo importados. Isso graças à pesquisa e ao desenvolvimento de formas para reduzir os custos de fabricação, melhorar o desempenho do veículo e fomentar a aceitação do consumidor com relação ao veículo movido a gás natural. Em termos mundiais, os projetos centralizam-se em quatro fundamentos: 1) produção de gás natural liquefeito a partir de fontes não convencionais como óleos de cozinha e dejetos de animais; 2) sistemas de armazenamento embarcado de gás natural (adsorvidos, comprimidos e liquefeitos); 3) sistemas de distribuição de gás natural embarcado tanto para veículo como para estações de abastecimento; e 4) estratégias regionais e de uso final. Para atingir tais objetivos, as estratégias se voltam para a integração das tecnologias individuais em desenvolvimento (ver tabela 1)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> <http://www.bnl.gov/est/erd/NGVSP.asp>, Energy Resources Division, Natural Gas Vehicle Systems Program.

Tabela 1: Áreas de estudos em andamento nos Estados Unidos.

Companhias	Área internacional	Área de estudos	Sites
Acion Technologies, Inc. (Cleveland, OH)	Landfill gas/CO <sub>2</sub> cleanup	Limpeza de aterro gás/CO <sub>2</sub>	<a href="http://www.bnl.gov/est/erd/NGVSP.asp#Storage#Storage">http://www.bnl.gov/est/erd/NGVSP.asp#Storage#Storage</a>
Atlanta Gas Light Adsorbent Research Group (AGLARG), (Atlanta, GA)	Low pressure storage with adsorbents	Armazenamento sob baixa pressão com adsorventes	<a href="http://www.bnl.gov/est/erd/NGVSP.asp#Storage#Storage">http://www.bnl.gov/est/erd/NGVSP.asp#Storage#Storage</a>
Advanced Technologies Management (Cleveland, OH)	Turbo intercooler	Turbo-Intercooler	<a href="http://www.bnl.gov/est/erd/NGVSP.asp#Delivery#Delivery">http://www.bnl.gov/est/erd/NGVSP.asp#Delivery#Delivery</a>
Beck Engineering (Gig Harbor, WA)	Onboard pump and fuel delivery	Bombas integradas e distribuição de combustível	<a href="http://www.bnl.gov/est/erd/NGVSP.asp#Delivery#Delivery">http://www.bnl.gov/est/erd/NGVSP.asp#Delivery#Delivery</a>
CALSTART (Alameda, CA)	Market strategy for California	Estratégia de mercado para a Califórnia	<a href="http://www.bnl.gov/est/erd/NGVSP.asp#EndUse#EndUse">http://www.bnl.gov/est/erd/NGVSP.asp#EndUse#EndUse</a>
CVI Corporation (Columbus, OH)	High pressure cryogenic pump	Bomba criogênica de alta pressão	<a href="http://www.bnl.gov/est/erd/NGVSP.asp#Delivery#Delivery">http://www.bnl.gov/est/erd/NGVSP.asp#Delivery#Delivery</a>
Gas Research Institute (GRI), ARCADIS (Mountain View, CA), Battelle Memorial Institute (Columbus, OH), New Mexico State Univ./Physical Science Lab (Las Cruces, NM)	Market, end-use strategy	Mercado, estratégia do uso final	<a href="http://www.bnl.gov/est/erd/NGVSP.asp#EndUse#EndUse">http://www.bnl.gov/est/erd/NGVSP.asp#EndUse#EndUse</a>
Institute of Gas Technology (Des Plaines, IL)	Small-scale liquefier	Liquidificador de pequena escala	<a href="http://www.bnl.gov/est/erd/NGVSP.asp#Production#Production">http://www.bnl.gov/est/erd/NGVSP.asp#Production#Production</a>
Lone Star Energy (Dallas, TX)	LCNG station & infrastructure	Estação e infraestrutura do LCNG	<a href="http://www.bnl.gov/est/erd/NGVSP.asp#EndUse#EndUse">http://www.bnl.gov/est/erd/NGVSP.asp#EndUse#EndUse</a>
Snyder Tank Corp. (Buffalo, NY)	Low-pressure LNG storage tank	Tanque de armazenamento de gás natural liquefeito (LNG) em baixa pressão	<a href="http://www.bnl.gov/est/erd/NGVSP.asp#Storage#Storage">http://www.bnl.gov/est/erd/NGVSP.asp#Storage#Storage</a>
Thiokol Corp. (Brigham City, UT)	High-pressure CNG conformable tank	Tanque formatável para armazenamento de gás natural (CNG) em alta pressão	<a href="http://www.bnl.gov/est/erd/NGVSP.asp#Storage#Storage">http://www.bnl.gov/est/erd/NGVSP.asp#Storage#Storage</a>

Fonte: U. S. DOE Contracts, <http://www.bnl.gov/est/erd/NGVSP.asp#Storage#Storage>

Um programa do Departamento de Energia dos Estados Unidos (*The U. S. Department of Energy's – DOE – Office of Transportation Technologies/Heavy Vehicles – OHVT*) promove o uso de gás produzido domesticamente como uma alternativa para o setor de transportes. A parte principal desse Programa de Sistemas Veiculares com Gás Natural (*Natural Gas Vehicle Systems Program*) focaliza uma tecnologia baseada no gás natural liquefeito (GNL). Acredita-se que esta seja uma escolha factível para veículos cujo uso não exceda 40.000 litros (10.000 galões) por ano, com autonomia de 500 quilômetros (300 milhas). Motores a gás natural produzem pouca emissão e seus custos em combustível são baixos quando comparados a outros combustíveis alternativos. Chega-se então à conclusão de que os países detentores de reservas suficientes de gás natural podem reduzir sua dependência de fontes externas, uma vez que abram sua produção local de gás natural a investimentos no setor.

A chave para fazer o gás natural liquefeito mais competitivo no mercado dos combustíveis produzidos a partir do petróleo passa pela melhoria da eficiência energética e pela redução dos custos das atuais tecnologias GNL. Integração de sistemas é a palavra de ordem, como se pode ver nas iniciativas listadas na tabela 1 e que estão sob contrato com o Departamento de Energia dos Estados Unidos nas áreas de produção, distribuição, armazenamento e uso final de combustíveis.

A produção de combustível pode basear-se nos liquefadores criogênicos que já são comercialmente disponíveis para liquefação de gás natural, apesar de serem rentáveis ainda que para apenas grandes quantidades. O mercado de veículos a gás liquefeito veicular (GLV) ainda não é suficientemente forte para justificar o desenvolvimento de liquefadores de baixo custo. O mercado e a tecnologia de desenvolvimento para o gás natural veicular (GNV), porém, oferece uma nova oportunidade para os conceitos de abastecimento de GNL, necessitando de instalações de liquefação de baixo custo. Este tem sido aparente nos programas demonstrativos para GNL estabelecidos pela crescente demanda de mercado para pequenos liquefadores, com capacidades de cerca de 10.000 litros por dia.

Por sua vez, o *Institute of Gas Technology* (IGT) dos Estados Unidos está desenvolvendo um novo sistema de liquefação para gás natural, que usará a tecnologia de compressores para refrigeradores atualmente produzidos em larga escala. O uso dessa tecnologia madura e de baixo

custo é melhorado mais ainda pelo desenvolvimento das novas misturas refrigerantes. Os protótipos ora em desenvolvimento destinam-se a uma produção de 1.000 litros por dia que, conforme afirma o instituto, poderá ser facilmente aumentada em dez vezes.

Aterros servindo as principais áreas metropolitanas como fontes de gás natural podem ser efetivamente uma forma de deslocar um pouco a energia consumida pela frota de veículos atualmente movidos a diesel. O gás de aterros gerado pela decomposição de refugos contém tipicamente 50% de metano e 50% de CO<sub>2</sub> com traços contaminantes (além de nitrogênio e água e até 1% de cloro e enxofre). O metano não recuperado geralmente é coletado e queimado para evitar infiltração, converter metano em CO<sub>2</sub> (que é um gás com menor efeito estufa) e oxidar (destruir) os contaminantes. O metano bruto é vastamente desperdiçado no Brasil e em outras partes do mundo quando poderia ser aproveitado como uma energia complementar. A grande vantagem do uso do gás de aterro é a redução do volume do aterro, proporcionando um fim econômico e menos poluente para o refugo.

Estão sendo desenvolvidos em diversas partes do mundo (*Honda Motors, Institute of Gas Technology – IGT/ EUA*) motores para gás natural com alta eficiência e baixa emissão e que requerem alta pressão, alimentada por GLN até 52.200 bars. Todavia, para veículos, é desejável armazenar GNL em baixa pressão, restando ainda encontrar uma boa solução para o problema. Os benefícios do GNL incluem armazenamento em baixa pressão e alta densidade de energia. Portanto, o GNL tem grande potencial de aplicação para veículos de porte médio e de grande porte, quando os usuários requerem baixo custo, opções leves para o armazenamento e grande autonomia. O custo do armazenamento criogênico pode aumentar em 50% o custo do gás natural.<sup>2</sup>

As questões relacionadas ao gás natural podem ser resumidas em dez pontos, a saber: a) existe estrangulamento na infra-estrutura de seu abastecimento; b) contribui para a redução de gases de efeito estufa; c) seu transporte é o mais limpo de que se tem notícia; d) como combustível fóssil, ainda se apresenta com todas as suas características poluidoras; e) o veículo típico para 5 passageiros, movido a gás natural, custa algo em torno de US\$ 25.000,00 no mercado internacional; f) oferece menor autonomia; g) seus incentivos fiscais são ainda problemáticos, pela instabilidade política dos países fornecedores; h) o custo é baixo, mas enquanto a demanda é pouca e não há pressão sobre produção, transpor-

<sup>2</sup> <http://earth2tech.com/2008/07/09/10-things-you-should-know-about-natural-gas-vehicles/>

<sup>3</sup> [http://www.ucsusa.org/clean\\_vehicles/big\\_rig\\_cleanup/natural-gas-vehicles.html](http://www.ucsusa.org/clean_vehicles/big_rig_cleanup/natural-gas-vehicles.html)

<sup>4</sup> U. S. Department of Energy. Energy Information Agency. Annual Energy Outlook 2004 with Projections to 2025. DOE/EIA-0383[2003], January 2004.

FuelMaker Corporation, [www.fuelmaker.com](http://www.fuelmaker.com)

Meets EPA's Tier II bin 2 emissions standard.

U. S. Environmental Protection Agency. Certified Vehicle Test Result Report Data, January 2004.

According to U. S. Department of Energy Clean Cities Vehicle Buyer's Guide for Consumers, <http://www.ccities.doe.gov/vbg/consumers/>

SRTD/Sacramento Regional Transit District and STA/SunLine Transit Agency 1999. *Three Year Comparison of Natural Gas and Diesel Transit Buses*. Thousand Palms, Calif.: SunLine Transit Agency, August 2006.

U. S. Department of Energy. National Renewable Energy Laboratory. Natural Gas Buses: Separating Myth from Fact. NREL/FS-540-28377, May 2000.

WANG, M. Q. and HUANG, H. S. *A Full Fuel-Cycle Analysis of Energy and Emissions Impacts of Transportation Fuels Produced from Natural Gas*. Center for Transportation Research, Energy Systems Division, Argonne National Laboratory, December, 1999.

GENERAL MOTORS CORPORATION *et al.* Well-to-Tank Energy Use and Green House Gas Emissions of Transportation Fuels. *North American Analysis*, v. 3, June 2001.

U. S. Department of Energy. National Renewable Energy Laboratory. The Next Generation Natural Gas Vehicle Activity. DOE/GO-102003-1779, September 2003.

te e distribuição; i) a frota movida a gás natural tem sido formada por táxis, veículos oficiais e de grandes companhias; j) o abastecimento caseiro não pode ser levado muito a sério.<sup>3</sup>

Portanto, ainda permanecem alguns questionamentos sobre o gás natural e seu uso como combustível devido a problemas com o seu transporte, pois se sabe que é importante em grande parte pelos países desenvolvidos e em vias de desenvolvimento, como o Brasil. Os países exportadores via de regra são politicamente instáveis ou economicamente dependentes, sobretudo dos combustíveis fósseis, o que torna o abastecimento de gás um assunto muito delicado e envolto por certa insegurança.

Os benefícios do gás natural em relação a caminhões e ônibus referem-se à redução da poluição por fuligem tóxica de 75% a 90%, enquanto que a formação de fumaça úmida é reduzida em até 25%, comparada com o diesel convencional. A fuligem gerada pelos motores a diesel é extremamente nociva, contendo cerca de 40 produtos químicos declarados formalmente nos Estados Unidos como tóxicos, elevando o risco de câncer em até 75%. Além disso, os óxidos nitrogenados (NO<sub>x</sub>) do diesel são mais difíceis de controlar e emitidos num grau mais elevado, comparando-se o motor diesel médio com o motor a gás natural. Uma das vantagens do gás natural é o de não gerar emissões evaporativas durante o abastecimento.<sup>4</sup>

## Veículos movidos a biocombustível

O biocombustível é definido como sendo sólido, líquido ou gasoso, obtido de material biológico morto recentemente. Essa definição o distingue do combustível fóssil, que é obtido de material biológico já morto há muito tempo. Via de regra, os biocombustíveis podem ser produzidos a partir de qualquer fonte biológica de carbono, sendo a mais comum a das plantas fotossintetizadas. Os biocombustíveis são geralmente usados para propulsão de veículos, aquecimento de casas e secagem de grãos. As indústrias desse combustível expandem-se rapidamente na Europa, Ásia e Américas e, especialmente, no Brasil, líder mundial no assunto. Os agrocombustíveis são produzidos a partir de plantações específicas para tal, diversamente das que aproveitam os resíduos orgânicos, tais como óleo vegetal reciclável e depósitos urbanos.

O biocombustível tem sido centro de muitas polêmicas internacionais, técnicas e políticas, incluindo: emissões de carbono, preços do petróleo, relação combustível versus

alimentação, devastação florestal, erosão do solo, impactos sobre as reservas de água, balanço energético, segurança energética e retorno do carbono que estava armazenado sob a superfície da terra. Novas plantas removem a mesma quantidade de  $\text{CO}_2$  da atmosfera da mesma forma que vão sair do combustível utilizado. Alguns estudos mostram que algumas plantações causam mais efeito estufa nocivo do que o  $\text{CO}_2$  simplesmente, o que nos leva a repensar sobre o uso dessas plantas.

Existem diversas formas de se produzir agrocombustível. Uma delas é com a plantação de vegetais contendo alto teor de açúcar (como a cana-de-açúcar, a beterraba, o sorgo e o milho) para fermentação visando produzir álcool etílico (etanol). A segunda estratégia é o uso de plantas que contêm altas quantidades de óleo vegetal, como palmeiras, soja, algas e jatobá. Uma vez aquecidos, esses óleos perdem a viscosidade e o produto pode ser queimado diretamente em motores diesel ou ser quimicamente processados para produzir biodiesel. A madeira e seus subprodutos (casca, serragem, pó) podem ser convertidos em biocombustíveis como o gás da madeira, o metanol e o etanol. O etanol celulósico também é assim obtido, apesar de o processo ser muitas vezes anti-econômico.

O Brasil já tem experiências de mais de 30 anos com veículos acionados exclusivamente por combustíveis renováveis, incluindo o etanol e as misturas de etano e gasolina. No início, o programa de álcool brasileiro recebeu forte incentivo do governo, porém atualmente o setor está bastante privatizado. Só no ano de 2005 o país produziu 20 bilhões de litros de álcool, tornando-se o maior produtor mundial de etanol. Mais recentemente, o desenvolvimento de veículos flex, que podem rodar com etanol, gasolina ou uma mistura qualquer de ambos, aumentou a confiança no etanol da biomassa. Hoje, aproximadamente três quartos dos carros produzidos no Brasil são flex.

Outros países despertaram para o biocombustível, como os Estados Unidos, Suécia, Canadá, Índia, Austrália, Coreia do Sul, Noruega, Tailândia e China.

De tudo isto parece restar apenas um fato: não será possível abastecer toda a frota de veículos da terra tirando apenas do solo a matéria-prima necessária para a sua produção. Veja-se que cada planta removida do solo leva consigo de forma implacável o material que a gerou, quando não é pobremente repostado. Por mais que se utilizem técnicas e métodos de regeneração do solo, o bom senso diz que a extração não pode acontecer indefinidamente, sob pena de

se ter como resultado final uma terra exaurida e morta. A energia deverá vir de fora do planeta, por exemplo, do sol, através de hidroelétricas, aquecimento solar, células fotovoltaicas, fotossíntese, gradiente marítimo e energia eólica.

### **Veículos movidos a hidrogênio**

As células a combustível combinam hidrogênio e oxigênio vindo do ar com um catalisador químico, geralmente platina, para formar eletricidade e água. O uso de carros movidos a células de hidrogênio podem vastamente reduzir o consumo de combustíveis fósseis e a emissão de  $\text{CO}_2$ , mas muitas décadas ainda serão necessárias até que isto se torne realidade. Por ora, os carros movidos a combustíveis fósseis são os principais causadores da poluição no planeta, pelo fato de seu consumo estar diretamente relacionado ao transporte, ao aquecimento doméstico e à geração de energia elétrica.

É de grande aceitação pública a substituição dos postos de gasolina por postos de hidrogênio através de regulamentação e da exigência de que o principal insumo na geração de hidrogênio seja a energia elétrica, gerada pelo seqüestro das emissões de dióxido de carbono advindas da queima do carvão em camadas subterrâneas de pedra. Entretanto, queimar carvão (termoelétricas) para produzir eletricidade e, então hidrogênio, pode gerar mais dióxido de carbono do que queimar óleo diretamente. Como o seqüestro de carbono ainda não é uma tecnologia bem comprovada, ninguém pensa em qualquer investimento nesse sentido.

A maior parte do hidrogênio vem atualmente da soproagem do gás natural com vapor, um processo que também libera dióxido de carbono. Tem sido proposto o uso de nanotubos energizados pela energia solar para fracionar a água em hidrogênio e oxigênio através de eletrólise. Trata-se de algo ainda experimental, mas garantidamente um processo limpo. Alguma coisa é dita também sobre o uso de temperaturas altíssimas, algo em torno de  $3.200^\circ\text{C}$ , para realizar diretamente esse mesmo processo. A limitação, neste caso, seriam os materiais empregados para suportar tal temperatura.

Uma vez obtido o combustível, resta melhorar o desempenho das células no que se refere à eficiência e durabilidade, além do armazenamento do hidrogênio no veículo. Simplesmente, pressurizar o hidrogênio para transformá-lo em líquido, pode consumir algo como 30% da energia nele contida. A pressão necessária é de 140.000 bars. Isso não

o torna perigoso, apesar de sua má fama: a gasolina pode ser até mais nociva, por não se dissipar tão rapidamente como o hidrogênio, encharcar tudo por onde se espalha e incendiar-se. Uma mistura eficiente de energia incluindo biocombustíveis e, eventualmente, hidrogênio, poderia fazer com que os preços dos carros usando células a combustível despendesse dos US\$ 100.000,00 hoje em dia para um valor comercialmente razoável.

O carro movido a células a combustível é considerado um carro com emissão zero (*Zero-Emission Vehicle*)<sup>5</sup>. É tão limpo que, desde 1950, os veículos espaciais utilizam as células a combustível para gerar eletricidade, a partir do hidrogênio do próprio tanque de combustível do foguete. Tais veículos espaciais são movidos por hidrogênio e oxigênio líquidos. Para o vôo, o hidrogênio e o oxigênio são misturados e queimados para produzir um fogo muito quente. A expansão dos gases a partir desse fogo é que propulciona o veículo espacial. A exaustão dos motores do foguete é majoritariamente feita de vapor de água, por ser resultado da combinação e não da queima de hidrogênio e oxigênio.

O hidrogênio gasoso dentro do veículo é comprimido e armazenado em containeres de alta pressão, numa forma muito similar ao gás natural para veículos. Uma segunda forma é a liquidificação que se consegue através do resfriamento e compressão do gás a 217°C abaixo de zero, como nos foguetes espaciais. Além de suportarem a pressão do gás, os containeres devem ser isolados termicamente para manter o conteúdo resfriado. Aquecendo o líquido assim obtido, há o desprendimento de gás que irá para a célula de combustível.

Os processos mais comuns de se obter hidrogênio são através da reforma de combustível e da eletrólise. Um reformador é um dispositivo que remove hidrogênio dos combustíveis hidrocarbonados, como o metanol ou a gasolina. Quando um outro combustível é utilizado que não o hidrogênio, a célula de combustível não mais funciona sem emissão, mas mesmo assim produz baixíssimos níveis de emissão.

Algumas células a combustível podem funcionar diretamente com metano, chamadas *Direct Methanol Fuel Cell*, sem nenhum processo externo de reforma. O hidrogênio é extraído pela célula dentro dela própria.

Até o momento, os carros movidos a célula a combustível estão num estágio bastante experimental. Ou seja, poucos modelos são disponíveis e não há nenhuma produ-

<sup>5</sup> <http://www.energyquest.ca.gov/transportation/fuelcells.html>

ção em larga escala. Os modelos atualmente existentes podem chegar a 140 km/h e possuem uma autonomia de 450 quilômetros, muito próximo do que chegam os carros convencionais. A DaimlerChrysler, BMW, Mercedes-Benz, Honda e Ford têm sido competidoras muito fortes nessa corrida.

### Gasolina e carro híbrido

As fontes de energia para os carros modernos prevêem o acionamento por eletricidade, combustíveis líquidos (como a gasolina, o óleo diesel, o biodiesel e o álcool), combustíveis gasosos (como o gás de cozinha – GLP, gás natural e o hidrogênio) e outras formas de menor expressão comercial (como por exemplo, os fotovoltaicos, o motor Stirling e os locomóveis). Via de regra, os carros híbridos usam duas ou mais dessas fontes de energia necessárias para acionar um motor elétrico acoplado ao sistema motriz, representado por um motor de combustão interna convencional de carro. Os carros híbridos estão evoluindo rapidamente, à medida que a tecnologia das baterias permita ao proprietário do carro conectá-la na rede elétrica e recarregá-la à noite. Daí vem o conceito de *veículos plug-in*.

Para se ter uma idéia do consumo dos carros híbridos elétricos, acredita-se que necessitarão tipicamente de 30 kWh de eletricidade. Se as baterias desses carros forem conectadas todas juntas para recarga durante a madrugada, o consumo de água aumentará vertiginosamente. Isto se deve ao fato de que em países como o Brasil, movido prioritariamente por hidroelétricas (quase 80%), ou em países que usam enormes turbinas a vapor e reatores nucleares, as máquinas devem ser refrigeradas constantemente com água bombeada de rios e córregos. Em torno de 96% dessa água retornam para o local de onde vieram, mas o restante é perdido em evaporação. Assim sendo, além das considerações sobre custos e qualidade do ar, há que se levar em conta a demanda de água nos processos energéticos.

Foi sugerido pela revista *Environmental Science & Technology*, na edição de junho/2008, que no ano de 2015 aproximadamente serão usadas 10 milhões de conexões na rede para recarga de bateria. Portanto, haverá necessidade de um aumento de algo em torno de 1,1% no consumo da água pelas usinas elétricas. Se forem 50 milhões de veículos – o que se acredita que será atingido pelo ano de 2020 – o adicional de água será de 3%. Em lugares como o nordeste brasileiro, onde a frota tem aumentado vertiginosamente, a

água pode ser um problema muito sério. E certamente virá à tona a discussão sobre a eficiência do uso da água para sistemas de energia.<sup>6</sup>

## Estado da arte de veículos elétricos e de veículos eficientes

A atual crise dos preços do petróleo e a crescente preocupação com os temas ecológicos e ambientais deram grande impulso ao desenvolvimento e produção de veículos que tragam alternativas ao consumo de petróleo, como eletricidade, células a combustível, combustão de etanol, biodiesel, gás natural ou hidrogênio e híbridos.

A partir de meados da década de 90 do século passado, começou a surgir uma nova geração de veículos elétricos, desenvolvidos tanto pelas grandes empresas automotivas quanto por pequenos fabricantes, impulsionados por incentivos e programas governamentais que procuram principalmente um veículo sem emissão de poluentes atmosféricos. Alguns exemplares são apresentados a seguir.

### XR-3

O Híbrido XR-3 é um veículo feito pensando no meio ambiente. Trata-se de um *híbrido plug-in* de alta eficiência energética, de dois lugares, capaz de atingir 50 km/l quando propelido apenas a diesel, e 95 km/l quando utiliza a combinação de diesel e motor elétrico. O desenho foi inspirado no livro de Robert Q. Riley, *Alternative Cars for 21st Century*, mostrado na figura 1.

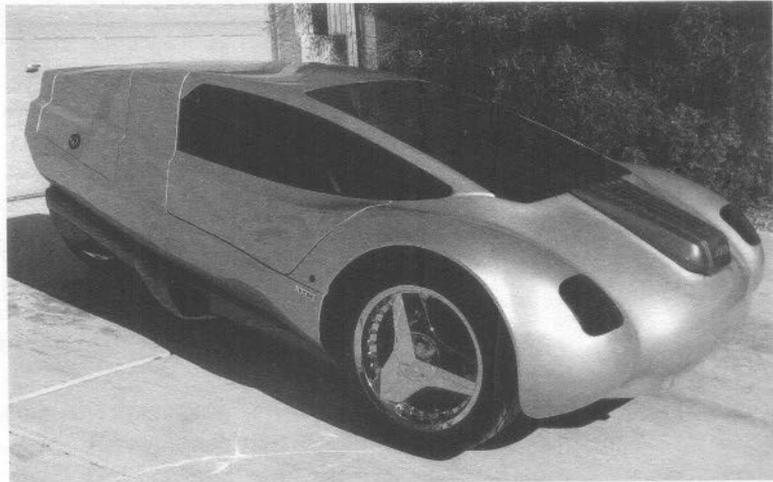


Figura 1: XR-3<sup>7</sup>

<sup>6</sup> <http://sciencenow.sciencemag.org/cgi/content/full/2008/310/2>, Future Cars May Save Gas But Waste Water, Phil Berardelli, *Daily News*, ScienceNOW, 10 Mar 2008.

<sup>7</sup> <http://www.rqriley.com/xr3>

Com 590 kg, o XR-3 destaca-se pela porta tipo avião, plataforma de 3 rodas, boa aceleração e velocidade máxima de 135 km/h. O sistema de propulsão híbrido, motor diesel e baixo peso contribui para gerar uma surpreendente eficiência energética.

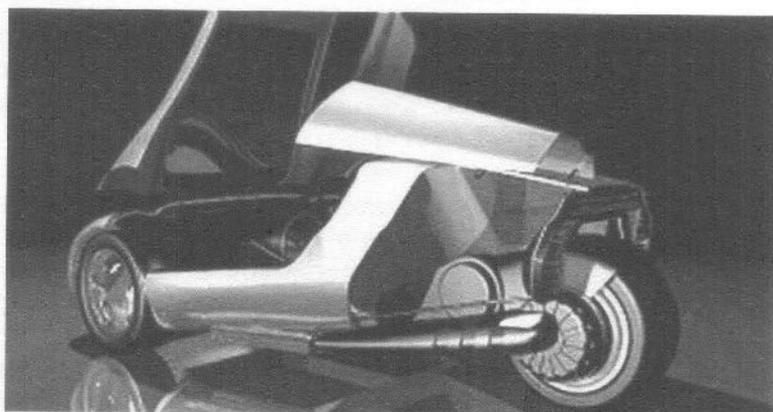


Figura 2: XR-3<sup>8</sup>

<sup>8</sup> <http://www.rqriley.com/xr3>

O XR-3 real mostrado na figura 2 é desenhado como um *híbrido plug-in*, o que lhe permite mover-se apenas com a energia armazenada nas baterias, com uma autonomia de até 65 km. Quando ambos os sistemas, diesel e elétrico, são usados juntos, e o carro é utilizado conservadoramente, a eficiência aumenta para até 95 km/l. As baterias são empregadas para aumentar a potência por breves períodos de aceleração, e recarregadas nos períodos em que não são exigidas.

O projeto do XR-3 permite que o usuário reconfigure o veículo, no caso de optar por um motor de combustão interna maior ou menor, ou ainda se quiser trocar o motor por um movido à gasolina, sem precisar reprogramar o sistema de controle. Também é possível configurar um veículo de combustão interna convencional, ou um veículo totalmente elétrico. No XR-3, as duas rodas dianteiras são tracionadas pelo motor de combustão interna e a roda traseira é movida pelo sistema elétrico. Os dois sistemas de potência não estão integrados diretamente, integração realizada pelo solo. Dessa forma, o controle entre os dois sistemas de força é realizado por simples mecanismos aceleradores.

Outra vantagem do projeto do XR-3 é a opção por um motor de maior potência com a possibilidade de andar apenas com baterias. A transmissão de 29,5 kg instalada no veículo é capaz de suportar a transmissão de até 300 HP.

## SAM

O veículo SAM, da empresa suíça CREE AG (*Creation Research Engineering + Ecology AG*), é um veículo de três rodas, duas dianteiras e uma roda única na traseira, mas tem 2 lugares para pessoas sentadas em fileira, como é mostrado na figura 3. Possui uma autonomia de até 70 km utilizando baterias de chumbo-ácido, pesa 545 kg (com as baterias) e atinge a velocidade máxima de 85 km/h, utilizando um motor elétrico de ímãs permanentes de 15 kW. O SAM foi ainda projetado para a fácil reciclagem, utilizando materiais como polietileno, alumínio e chumbo de fácil separação no processo de desmontagem, tendo uma taxa de mais de 90% de reciclagem.



<sup>9</sup> <http://www.cree.ch>

Figura 3: SAM<sup>9</sup>

A CREE AG foi criada em 1996 com o objetivo de desenvolver veículos de uso local. Inicialmente foram produzidos 80 veículos, que serviram para realizar um teste de uso real muito bem sucedido no ano de 2001. No entanto, a empresa não teve os recursos para implementar a produção do SAM e acabou por ter de despedir todos os seus empregados, quase fechando as portas em 2003. Os projetistas reestruturaram a empresa e estão agora à procura de investidores para que possam recomeçar a produção.

O preço sugerido pela empresa é de 6.600 euros.

## NMG

A pequena montadora norte-americana Myers Motors, que começou a operar em 2004, levou um ano e meio para desenvolver o NoMoreGas, um minicarro elétrico e econômico, que gasta apenas US\$ 0,55 (R\$ 1,30) a cada 48 km rodados (figura 4).

Anunciado pela empresa como o “carro do futuro”, o NMG possui três rodas, percorre pequenas distâncias, tem espaço apenas para o motorista e custa US\$ 24,9 mil.

O design não lembra em nada os imponentes carrões híbridos, que vêm com motor elétrico. A proposta da montadora é oferecer veículos “divertidos, práticos e eficientes”, que não emitam gases poluentes.

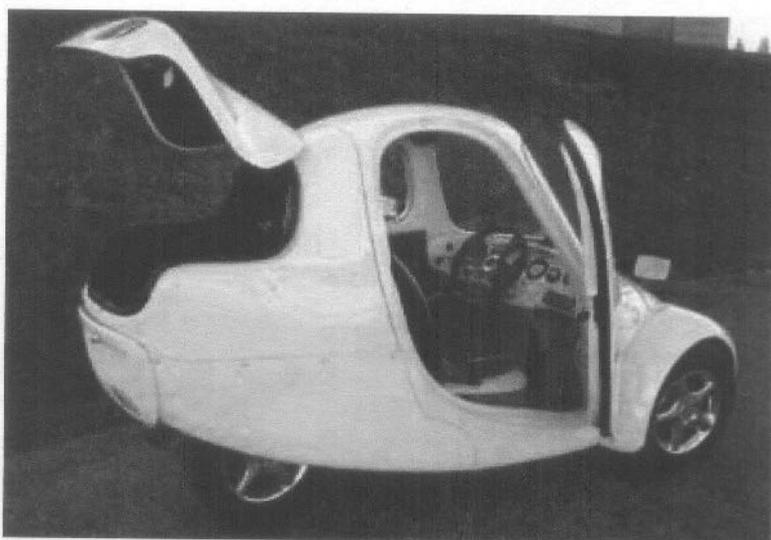


Figura 4: NMG<sup>10</sup>

<sup>10</sup> <http://www.myersmotors.com>

Para um carro de pequenas proporções e que utiliza energia alternativa, o NMG oferece eficiência. O veículo atinge até 112 km/h e é capaz de percorrer 50 km sem precisar reabastecer. Vai de 0 a 48 km/h em 3,5 segundos e de 0 a 96 km/h em 12,5. O modelo tem 1,32 m de largura, 2,84 de comprimento e altura de 1,44 m, já vem equipado com CD player e está disponível nas cores branco, azul, vermelho, amarelo, roxo e laranja.

### *Clever*

Criado para vencer os congestionamentos nas grandes cidades, o protótipo do miniautomóvel ecológico foi apresentado em novembro de 2008 na Grã-Bretanha, após três anos de pesquisas financiadas pela União Européia. Batizado como “Clever” (inteligente ou *Compact Low Emission Vehicle for Urban Transport*), este minicarro de três rodas, dois lugares em fileira e porta que abre para cima, faz lembrar a antiga Romiseta. Foi desenvolvido pela Universidade de Bath, na Inglaterra, com o apoio da alemã BMW. Tem um sistema hidráulico automático que faz o chassi se inclinar

lateralmente para permitir mais eficiência nas curvas, como uma motocicleta, e é capaz de chegar aos 100 km por hora. O desenho foi realizado por uma equipe de pesquisadores de nove países europeus, que uniram forças para criar um veículo que ajude a solucionar os graves problemas de trânsito nas grandes cidades. O minicarro é muito menos poluente que os modelos atuais. Consome apenas 2,5 litros de gás natural comprimido a cada 100 km, gastando cinco vezes menos que um carro comum e emitindo cerca de 30% do CO<sub>2</sub> jogado na atmosfera por um automóvel de passeio comum (ver figura 5). Combina as vantagens da moto com a segurança e a comodidade do carro: tem assentos em tandem para motorista e um passageiro, é seguro e pode ser dirigido facilmente, afirmam os pesquisadores.



<sup>11</sup> <http://www.clever-project.net>

Figura 5: Clever<sup>11</sup>

O “Clever” é ágil como uma moto, mas o motorista tem a sensação de dirigir um automóvel, disse Geraint Owen, professor de engenharia mecânica da Universidade de Bath. “Fizemos um veículo pequeno para duas pessoas que é seguro e ao mesmo tempo excitante”.

O minicarro custará entre 7.200 e 14.400 euros (9.000-18.000 dólares).

### *Volt-A*

O Volt-A é um veículo elétrico leve, desenvolvido principalmente para o trânsito urbano. Possui a performance de um automóvel, mas com custo operacional 6 vezes

inferior, sem ruído e sem poluição. Atinge 100 km/h de velocidade máxima e a autonomia na versão básica é de 80 km, podendo ser estendida para mais de 300 km com baterias avançadas ou conectando-se um pequeno gerador interno. As baterias ficam posicionadas nas laterais para possíveis trocas rápidas, mas também contribuem para um baixo centro de gravidade e proteção contra impactos. Volt-A é de fácil fabricação, pois exige poucas peças se comparado a um veículo a combustão e os materiais utilizados são comuns, como aço e plástico (figura 6).

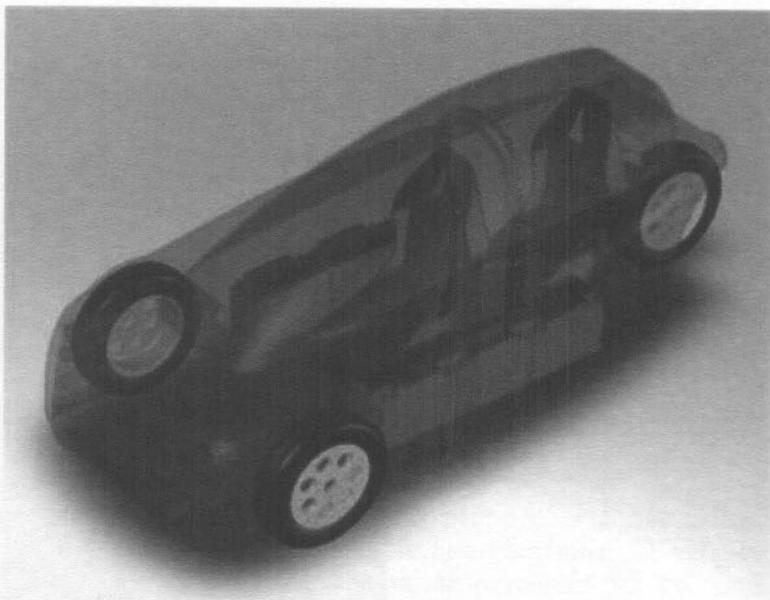


Figura 6: Volt A<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Projeto Clayton Pozzer, Caxias do Sul, Rio Grande do Sul.

O Volt-A preenche um nicho de mercado que é o de veículos pequenos, para o trânsito urbano, com custo operacional extremamente baixo. Além dos incentivos, como isenção do Imposto sobre Propriedade de Veículo Automotor (IPVA) em alguns estados, a economia em combustível permite que se financie o veículo amortizando o investimento.

O Volt-A é um produto que se encaixa muito bem no mercado brasileiro, atendendo as necessidades da maioria das pessoas que precisam de um veículo prático e ao mesmo tempo confortável e barato. O modelo básico do Volt-A será equipado com 6 baterias tracionárias de 12V/100Ah, permitindo autonomia de até 90 km, porém o banco de baterias pode ser configurado de várias maneiras, conforme a necessidade do usuário. Com modernas baterias de lítio,

a autonomia pode superar 400 km. Além disso, existe a possibilidade de se acoplar um pequeno gerador (movido a gasolina, álcool ou diesel), no caso de viagens ou quando for necessária mais autonomia.

As baterias ficam nas laterais do veículo, para possíveis trocas rápidas. A recarga pode ser feita em qualquer tomada de 110 ou 220 volts, em cerca de 8 horas (versão básica). Isso leva a crer que, em futuro próximo, postos de recarga poderão fazer a troca rápida das baterias, e tal serviço provavelmente estará disponível inclusive em postos de combustíveis.

### *Tesla Roadster*

Até agora, automóveis elétricos têm sido lentos, de aspecto estranho e com a vida da bateria muito limitada. Mas o Tesla não tem nada disso. O Tesla é um veículo como nenhum outro, mas é um veículo elétrico, e que vai além das expectativas. Construído pela Lotus, na Inglaterra, utiliza componentes de todo o mundo – a bateria é da Tailândia, o painel de instrumentos, da África do Sul – e é concebido por uma equipe de engenheiros do Vale do Silício (ver figura 7).



Figura 7: Tesla Roadster<sup>13</sup>

O Tesla Roadster acelera mais rapidamente do que uma Ferrari Spider, ou uma Mercedes SL550. Tem o dobro da eficiência de combustível dos automóveis híbridos, como o Toyota Prius. Ao contrário de outros carros elétricos, possui duas velocidades: uma opção de alto torque para tomar o carro à velocidade máxima de 0-60mph, e a segunda oferecendo uma taxa de aceleração suave até a sua velocidade máxima de 130 mph (210 km/h).

<sup>13</sup> <http://www.teslamotors.com>

Tal como o Lotus, o Tesla apresenta um corpo de fibra de carbono, mas é mais pesado – 900lbs (408 kg) do seu peso total de 2.500lbs (1.134 kg) vem de sua bateria, composta por 6.831 células de líquido-arrefecido, Lithium-Ion do tipo utilizado para laptops poderosos. Tesla tem autonomia de 250 milhas e uma vida útil de pelo menos 100.000 quilômetros, após o que pode ser reciclado. O seu preço: US\$ 100.000,00.

### General Motor EV1

O EV1 é um protótipo criado pela Aero Vironment, chamado pela GM de *Impact* (ver figura 8). O Impact foi baseado no desenho e idéias desenvolvidos no *Sunracer*, um automóvel destinado a competir com veículos solares, concebido em 1987 para vencer a *World Solar Challenge*, na Austrália. A GM nunca ofereceu o EV1 para compra. Foi ofertado aos consumidores na forma de leasing, acompanhado de um contrato com uma cláusula final: “não compra”.

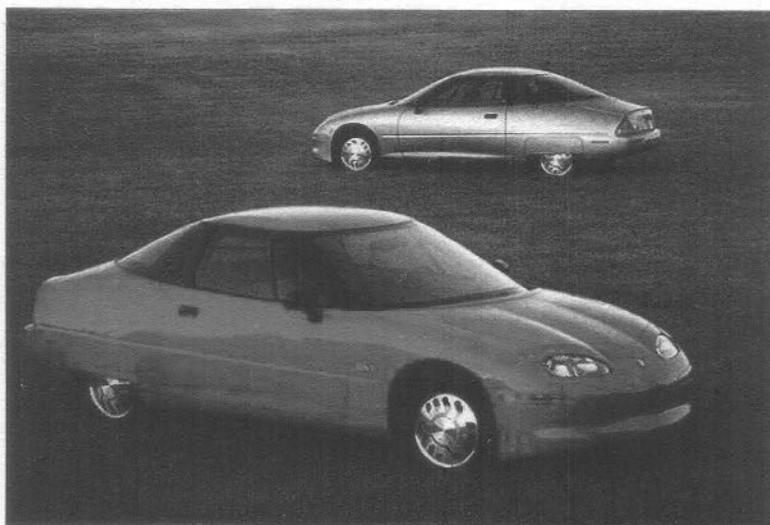


Figura 8: GM EV1<sup>14</sup>

O EV1 foi construído com motor de indução trifásico, velocidade máxima de 130 km/h limitada eletronicamente e autonomia de 260 km, com baterias de NiMH (77Ah). Tornou-se muito conhecido pelo documentário “quem matou o veículo elétrico?”, que explicava o cancelamento do programa em razão de pressões realizadas pela indústria do petróleo, e não por razões econômicas, como justificou a GM.

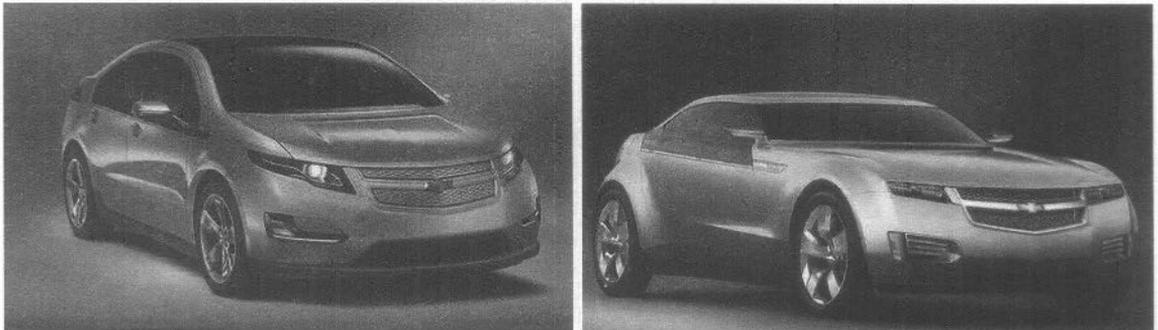
<sup>14</sup> <http://www.electrincarprogress.com>

### *Chevrolet Volt*

O Chevrolet Volt (figura 9) é um modelo conceitual apresentado pela Chevrolet que funciona primordialmente por propulsão elétrica e subsidiariamente por propulsão de motor a combustão interna 1.0L 3 cilindros turbo flex. Trata-se, portanto, de um veículo cujo motor é capaz de utilizar E85. Segundo a GM, esse motor, cuja função é unicamente alimentar o motor elétrico, pode ser adaptado para utilizar gasolina, etanol ou diesel (preferencialmente biodiesel). Tendo em vista que apenas o motor elétrico está ligado às rodas, a empresa considera o Volt um autêntico modelo elétrico, que tem sua autonomia aumentada por meio do auxílio do motor a combustão interna.

O Volt, que será vendido no mercado americano a partir de 2010, é mostrado na figura 9, juntamente com a foto do carro-conceito abaixo. Nota-se que suas linhas são bem menos arrojadas e mais populares. Segundo o desenhista, tais detalhes são necessários para a produção em massa, entretanto os sistemas são os mesmos que estavam em desenvolvimento. Assim, fica demonstrada a necessidade de tornar mais atrativos ao consumidor os veículos elétricos ou com fontes alternativas, sem onerar o meio ambiente, os aspectos visuais e nem os custos, para que se possa deixar para trás aquele caráter esquisito ou excêntrico, como muitas vezes esses veículos se apresentam. Além disso, pelo lado comercial, deve-se pensar em agregar status ao veículo elétrico.

O Volt pode ser recarregado em uma tomada comum de 110V, possuindo uma autonomia de 40 milhas (64 km) por carga completa das baterias de Íons de Lítio. Com o sistema auxiliar de combustão interna, o veículo possui uma autonomia de 640 milhas.



<sup>15</sup> <http://www.gm-volt.com>

Figura 9: Chevrolet Volt (GM)<sup>15</sup>

### *Toyota Prius*

O Toyota Prius foi o automóvel eficiente mais vendido nos Estados Unidos no ano de 2008, segundo a *United States Environmental Protection Agency* (ver figura 10). O modelo começou a ser vendido no final de 1997 no Japão, sendo o primeiro veículo híbrido de produção em massa. Subseqüentemente, suas vendas foram expandidas para outros mercados em 2001, atingindo em maio de 2008 a marca de 1 milhão de unidades vendidas. A versão atual do modelo utiliza a combinação de um motor de combustão interna de 76 HP e um propulsor elétrico 67 HP, que trabalham combinadamente para transmitir potência para as rodas através de uma transmissão do tipo CVT, com controle eletrônico. As baterias são Níquel-Metal Hidreto.



<sup>16</sup> <http://www.toyota.com>

Figura 10: Toyota Prius<sup>16</sup>

O Prius foi criado a partir de um carro híbrido, e é vendido apenas desta forma. E essa é uma das principais razões para o seu estrondoso sucesso: além das qualidades técnicas, tornou-se um símbolo da responsabilidade ambiental de seus proprietários.

### **Conclusão**

Diante das tecnologias apresentadas, percebe-se que o futuro ainda está muito nebuloso com relação às fontes de energia para os automóveis. Veja-se o uso dos novos combustíveis, uso que esbarra em interesses econômicos, políticos, sociais, estratégicos e de segurança nacional. As grandes companhias petrolíferas, maiores detentoras das tecnologias voltadas para a energia, exercem rígido controle sobre suas fontes e recursos. Porém, a utilização de carros

Felix A. Farret é graduado e doutor em Engenharia Elétrica e professor titular do Departamento de Processamento de Energia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Rio Grande do Sul. É pós-doutor em Fontes Alternativas de Energia.

faf@ct.ufsm.br

Luiz A. Righi é graduado em Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica, doutor em Engenharia Elétrica e professor adjunto do Departamento de Eletromecânica e Sistemas de Potência da UFSM.

righi.luiz@gmail.com

Tiago Guedes é graduado em Engenharia Elétrica pela UFSM.

tiagoguedes.eletrico@gmail.com

elétricos, preferencialmente compactos, pequenos e leves, em ambientes urbanos, é uma realidade, visto que hoje a grande limitação desses carros é a autonomia e não o desempenho. O sistema elétrico é ainda mais eficiente no ambiente urbano, quando comparado a motores de combustão interna, por terem capacidade de frenagem regenerativa e não desperditem energia quando o automóvel está parado. Por outro lado, a utilização de carros elétricos em larga escala causaria grande impacto nos sistemas públicos de energia elétrica, aumentando a demanda de energia em centrais hidrelétricas, nucleares, a gás natural e nas demais geradoras dos sistemas elétricos. Tal problema evidencia que os carros elétricos, ou movidos a hidrogênio ou outra fonte que sirva de transporte de energia, não são exatamente uma resposta para a independência do petróleo. O carro com zero emissão de gases estaria queimando petróleo à distância.

Com as atuais crises energética, ambiental e do sistema financeiro mundial, vive-se um momento propício para mudanças nessa área, já que o grande público percebe as questões ligadas à responsabilidade socioambiental e à sustentabilidade como de grande relevância. Abrem-se então possibilidades para agregar status e valor aos veículos com sistemas de propulsão não-convencionais. Também o aspecto estético revela-se importante, principalmente em relação aos veículos mais compactos – franco desafio para a área do design. Os carros do futuro deverão ser simples, robustos, com tecnologia de manutenção acessível a todos, recicláveis, híbridos e elétricos, e adaptados às necessidades específicas das pessoas.