

VEÍCULO ELÉTRICO HÍBRIDO e a GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

abril de 2002

*Jayme
Buarque de
Hollanda*



VEÍCULO ELÉTRICO HÍBRIDO

e A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Jayme Buarque de Hollanda¹

Introdução

O presente documento analisa a viabilidade de uma nova geração de veículos - os Veículos Elétricos Híbridos, VEH – integrarem o sistema elétrico brasileiro dentro de uma tendência à Geração Distribuída.

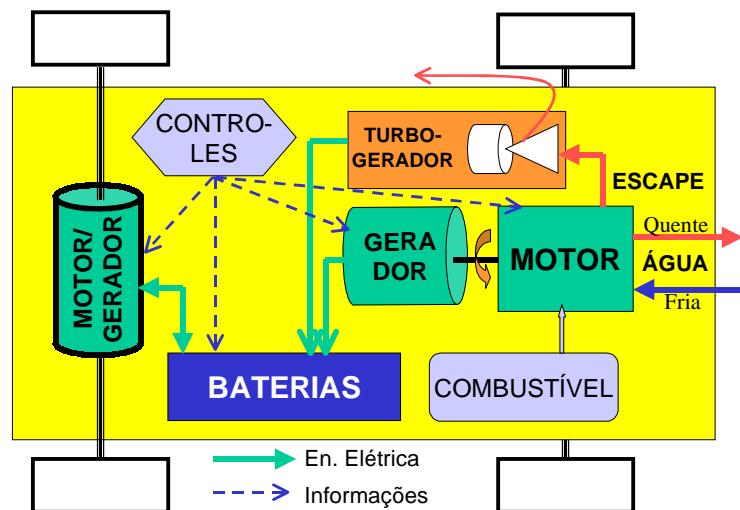
O trabalho foi realizado no âmbito do Fórum de Co-geração e Geração Distribuída do Instituto Nacional de Eficiência Energética .

Veículo Elétrico Híbrido

O Veículo Elétrico Híbrido - VEH se caracteriza por usar motor(es) elétrico(s) no seu acionamento tendo como fonte de energia elétrica um gerador convencional acionado por motor de combustão interna convencional, ou uma célula de combustível². A figura abaixo é uma representação esquemática do VEH com gerador convencional³.

O VEH combina os melhores aspectos dos veículos convencionais e dos elétricos, dispensando, de um lado, o complexo sistema de transmissão mecânica dos primeiros e, de outro, a demorada operação de recarga de baterias dos últimos.

Além da concepção mais simples e de ter menos peças móveis, o VEH tem como característica mais importante a elevada eficiência energética, fruto de: 1) dimensionamento adequado do motor a explosão⁴ e do seu regime de operação regular; 2) nas freadas, recuperação de parte da energia através do motor elétrico operando como gerador e; 3) um sistema de controle sofisticado a bordo que lhe dá a capacidade de gerenciar a economia de combustível de forma otimizada.



¹ Diretor do INEE e conselheiro da WADE – World Assotiation of Distributed Energy.

² Ou «pilha de combustível» é um equipamento que transforma a energia química do combustível diretamente em eletricidade. A tecnologia já existe comercialmente para unidades estacionárias, mas muita pesquisa está sendo desenvolvida para seu uso em VEH.

³ Para simplificar, o trabalho usa o VEH "em série", em que o gerador e o motor estão em série. Há ainda o modelo "misto" em que o carro opera em série na largada e é acionado diretamente pelo motor a combustão quando o torque e velocidade forem ótimos.

⁴ A potência do motor é dimensionada com base no torque médio necessário pois as baterias suprem a energia complementar em caso de arrancada e são recarregadas no resto do tempo .

A principal dificuldade do VEH, que talvez explique seu pequeno uso nos veículos em geral é a necessidade de sistemas de controle mais apurados que teriam custos muito elevados antes da revolução dos microcomputadores.

O mais importante a notar, para a nossa finalidade, é que o VEH é um co-gerador sobre rodas capaz de produzir e entregar energia elétrica e calor (água quente) quando estacionado o que, em carros particulares, cerca de 90% do tempo⁵.

Com a introdução da célula a combustível para veículos, o VEH certamente passará a ser o padrão pois esta tecnologia, sem partes móveis, tenderá a ter custos muito baixos com a massificação de produção. Há muita discussão sobre quando isto pode ocorrer.

Nada impede, no entanto, que os VEH's comecem a entrar no mercado com motores a explosão convencionais existentes ou com outras tecnologias como as microturbinas e os motores rotativos Wankel. Hoje há cerca de 100.000 VEH's no Japão, América do Norte e Europa. No Brasil, já é fabricado um ônibus com esta tecnologia (anexo I).

GERAÇÃO DISTRIBUÍDA – GD

Em geral se considera como **geração distribuída** fontes geradoras (geradores de emergência/ponta, PCH's, eólicas, térmicas, fotovoltaicas etc.) de pequeno porte⁶ integradas ao sistema elétrico com produção destinada, em sua maior parte, a cargas locais ou próximas. O conceito (correspondendo à expressão "distributed energy resources") inclui sistemas de proteção, comunicação, controle, telecomando e medição que contribuem para uma maior integração e uso otimizado de geradores e cargas e para a prestação de "serviços ancilares"⁷.

A GD tende a aumentar sua importância impulsionada por dois fatores independentes mas que se completam e interagem de forma positiva: 1) abertura do mercado de energia elétrica, incentivando os consumidores e concessionárias a buscarem as soluções de menor custo para cada um; e 2) evolução tecnológica que reduz os custos de produção para baixas potências e torna a operação da GD descentralizada muito simples e automatizada.

A introdução desta forma de geração na maioria dos países desenvolvidos tem sido lenta, pois os mercados evoluem a taxas muito pequenas e a geração centralizada, com seus imobilizados já realizados, dificulta a competição. No Brasil, onde o mercado se encontra em expansão, a geração existente é altamente centralizada com a transmissão de ponta a longas distâncias, a GD poderá desempenhar papel da maior importância. Esta importância ficou mais clara com a experiência de 2001 quando os consumidores, com o racionamento de energia, tiveram um amadurecimento rápido sobre as vantagens de gerenciar este aspecto.

GD, VEH e Modelo Competitivo

⁵ Um veículo particular rodando em média 20.000 km/ano com velocidade média baixa (uso urbano).

⁶ Não existe um conceito único para o que seja «pequeno» mas a tendência na literatura internacional e já consagrada na legislação brasileira (como na definição de PCH) é considerar como GD unidades com potência elétrica abaixo de 30 MW.

⁷ Anglicismo introduzido pela ANEEL para definir serviços com valor econômico para o setor mas feitos por equipamentos que têm outras finalidades. Um exemplo típico, seria a redução de reativos do sistema.

O modelo competitivo no setor elétrico será tão mais perfeito quanto maior for o número de agentes participando do mercado de forma efetiva. Neste panorama, o VEH pode ter um papel fundamental por uma série de características :

- Unidades de 30 – 100 kW , fáceis de serem integradas ao sistema, com capacidade de modulação conforme a carga;
- Resposta quase imediata a comandos (a energia inicial é provida pelas baterias cuja resposta é muito rápida);
- Grande pulverização geográfica;
- Potência compatível com as necessidades de energia elétrica do país cuja potência atual poderia ser atendida com uma penetração de mercado dos VEH's de apenas pouco mais que 10%⁸
- Controlados por sofisticados sistemas, capazes de atender a comandos centralizados e interpretar automaticamente sinais de preço.

Economia do VEH

Geral

Um VEH terá sua economia inicial atestada unicamente pela capacidade de atrair consumidores para a nova tecnologia. A seleção pelos consumidores vai depender de uma série de fatores em que se destaca o desempenho econômico caracterizado por : 1) preço do VEH; 2) performance, ou eficiência energética; e 3) custo de manutenção. Os primeiros VEH's são mais caros que os modelos convencionais equivalentes mas os fabricantes garantem que a economia obtida na operação paga a diferença no investimento.

Como o VEH é também um gerador sobre rodas cabe perguntar até que ponto ele seria competitivo cumprindo este último papel. A resposta depende do ponto de vista de quem analisa. Além disso, é preciso ter presentes algumas dificuldades relacionadas com a irracionalidade das estruturas de preços dos energéticos na economia brasileira.

Economia de Escopo

Se um VEH for usado para produzir energia elétrica e/ou água quente (em substituição, por exemplo, aos boilers residenciais), deixa de ser um simples veículo para se tornar também um co-gerador sobre rodas.

A dificuldade é que não há como separar de forma nítida os custos de cada uma das funções que são intrinsecamente ligadas. Trata-se de um caso em que os ganhos econômicos dependem de que a produção e uso das três formas de energia tenham uma sinergia que redunde em economia para cada uma delas, um conceito denominado de **economia de escopo**⁹ o que vai depender da utilização que se definir como "principal".

Seja o caso de um VEH que fica estacionado 90% em locais onde pode vender energia elétrica e água quente. Como alocar o investimento às diversas funções? Se o VEH for comprado para transporte, pode-se considerar que o investimento visa apenas esta finalidade. Ficar parado na garagem (assim como produzir água quente dispersada para o meio ambiente pelo radiador) é uma consequência. Neste caso o custo associado ao investimento inicial impactaria unicamente a função de transporte.

⁸ Com uma população de cerca de 20 milhões de veículos, e potência média de 30 kW, o potencial de geração com a frota toda de VEH seria de 600 GW !

⁹ Conceito introduzido por Baumol et al. em 1982.

Considere-se o caso hipotético (hoje, pelo menos) de um comercializador ou concessionária elétrica, que em função da característica do VEH ser por mais tempo um potencial "gerador", decide investir numa frota destes veículos e alugá-los para pessoas interessadas na sua função complementar como veículo. Neste caso, o custo relativo do VEH-transportador fica reduzido pela função mais nobre de gerar eletricidade e produzir calor.

Preços Relativos dos Energéticos

Como o VEH pode usar diversos combustíveis e, com sua ação, competir com energia elétrica e/ou térmica, sua economia é influenciada pelos preços relativos das diversas formas comerciais de energia.

O problema é que estes preços derivam de decisões independentes de variadas agências com lógicas e objetivos diferenciados dependendo da fonte de energia normalmente fixados com pequena atenção para a possibilidade dos consumidores poderem migrar de uma para outra forma de energia. Além disso, estão sujeitos a regimes tributários diferentes e, em muitos casos, ainda há subsídios cruzados convivendo com proibições e/ou incentivos de usos específicos.

Combustível	unidade	10³ kcal/[u]	R\$/[u]	R\$/kcal
Diesel	l	9,54	0,6	0,63
Gasolina	l	8,33	1,5 – 1,8	1,8 – 2,2
Álcool	l	5,34	0,8 – 1,1	1,5 – 2,1
GN	m ³	9,25	0,78	0,84

Tabela - Preços dos Combustíveis Para Consumidores Finais e Conteúdo Energético

O número de distorções é enorme mas vale a pena mencionar algumas que mais afetam o processo:

- Óleo diesel – sempre foi subsidiado por impactar os custos de transporte, muito importantes no Brasil. No passado havia uma restrição ao uso do Diesel em carros de passeio, mas esta foi abandonada.
- Eletricidade na Ponta X Fora de Ponta - a tarifa verde na hora de ponta (três horas por dia) é cerca de dez vezes maior que a tarifa nas demais. Na Light, por exemplo, 863 R\$/MWh, na ponta e 81,6 R\$/MWh fora da ponta. Esta estrutura é insustentável pois o custo da ponta é mais de três vezes superior ao custo para gerar com diesel que é da ordem de R\$ 250,00¹⁰. A estrutura se manteve com a virtual proibição do “paralelismo” com GD, que hoje, com a abertura do mercado, não tem sentido. Por outro lado, uma parte importante da receita das concessionárias tem origem nesta distorção, o que coloca sérias dificuldades.
- Gás Natural Veicular (GNV): O custo para os consumidores¹¹, em média, é de 0,78 R\$/m³. A este preço, eles gastam 60% menos do que gastariam com gasolina¹² para o mesmo uso. Como as tarifas da COMGAS (SP) para consumidores médios (até 5.000 m³/mês) é de 1,2 R\$/m³, há algum problema! No início a venda do gás era restrita aos ônibus urbanos mas hoje está

¹⁰ Valor estipulado pela Resolução ANEEL 170/01 de 5/5/01 para as compras do sistema por geradores a diesel como parte das medidas de emergência.

¹¹ Levantamento de Preços de Dezembro de 2001, publicada na página da INTERNET da ANP.

¹² Uma política insustentável a longo prazo

liberada a qualquer veículo e a demanda cresce de forma explosiva pelos atrativos econômicos para substituir a gasolina¹³.

A política de “liberalização” de preços deve levar a algumas correções mas o grau de interferência do governo ainda é muito elevado.

Estas inconsistências ficam particularmente gritantes com o avanço de tecnologias como a co-geração e, sobretudo, o VEH, que, além de ser um co-gerador com mobilidade será basicamente um veículo para transporte. Assim, calcular o preço da energia elétrica vai depender fortemente do tipo de combustível usado no VEH e do tipo de combustível que teria sido utilizado para fins de produção de calor.

Custo da Energia Elétrica

Considerando o exposto, os cálculos adiante consideram a perspectiva mais realista e aderente ao que provavelmente irá ocorrer: a de que o VEH seja comprado com o objetivo imediato de meio de transporte. Assim, assume-se que o proprietário gere a própria energia elétrica como um co-produto tomando como referência o custo marginal do combustível usado para produzi-la.

A água quente seria um segundo subproduto que contribuiria para reduzir o preço da energia elétrica em função de evitar o uso de outros produtos. Supõe-se, no caso, que o calor seria produzido com GN.

Para os nossos cálculos, vamos supor que o combustível usado no VEH é o álcool, que hoje é o único com preço totalmente liberado, sendo mais barato que a gasolina mas mais caro (considerando o conteúdo energético) que o Diesel e/ou o GNV.

Os cálculos foram feitos considerando diversas hipóteses de eficiência e de aproveitamento do calor rejeitado pelo motor do VEH. As principais hipóteses constam do **box** ao lado e eram vigentes no final de 2001.

Como o objetivo é calcular o custo da energia elétrica, os cálculos foram efetuados, considerando a produção de 1 MWh de energia elétrica e calculando as outras formas de energia a partir das eficiências consideradas.

Para um caso específico (eficiência média de 30% para o moto-gerador e supondo um aproveitamento do calor), álcool a 1 R\$/litro, teríamos :

- Necessidade de $1/0,30 = 3,33$ MWh, que seria fornecido por 3,33MWh de energia do álcool, contida em 530 l ou $0,53\text{m}^3$ ($3,33$ [MWh] / $6,26\text{MWh}/\text{m}^3$), ao custo de R\$ 533.

HIPÓTESES

- Eficiência do moto-gerador : 25% - 35%
- Preço do álcool hidratado c/impostos (preço na bomba) : 0,8 – 1,1 R\$/l
- Conteúdo energético de 1m3 de álcool hidratado: 5,61 Gcal = 6,26 MWh;6,52MWh?
- Conteúdo de 1m3 de GN : 9.256 kcal ou 10,76 kWh [1kWh = 860 kcal];
- Aproveitamento do calor rejeitado: 80%
- Eficiência para produzir calor : boiler a GN : 85%
- Preço da energia elétrica (LIGHT, nov 01, c/ ICMS 18%): resid. : 314 R\$/MWh; Tarifa verde A4 ponta : 863 R\$/MWh, fora de ponta : 81,6 R\$/MWh)
- Preço do GNV (com ICMS) : 0,78 R\$/m³
- Preço do GN (com ICMS) distribuído: 1,2 R\$/m³

¹³ Um incentivo perfeitamente discutível, pois os motores a gasolina (baixa taxa de compressão) operam com baixa eficiência quando queimando GN.

- A energia do calor liberado seria o equivalente a 2,33 KWh. Como somente 80% deste calor poderia ser usado localmente a energia útil seria de 1,67 MWh. Para obter esta mesma energia, considerando a eficiência do boiler (85%), seriam necessários 181m^3 de GN ($1,67[\text{MWh}]/0,0108[\text{MWh}/\text{m}^3]/0,85$). Assim, o VEH proporcionaria um custo evitado de $1,2 [\text{R\$/ m}^3] \times 181\text{m}^3 = \text{R\$}219$.
- Assim, o custo da energia elétrica de 1 MWh seria equivalente a R\$ 533 menos R\$ 219 da redução do custo da energia térmica usada. Portanto, nesta hipótese, o valor equivalente da energia elétrica seria de 314 R\$/MWh .

As curvas do primeiro gráfico adiante mostram o valor da energia elétrica nas várias hipóteses de eficiência do moto-gerador e de aproveitamento local da energia térmica, considerando o preço do álcool a 1 R\$/IO gráfico 2 mostra a sensibilidade ao preço do álcool quando a a eficiência do moto-gerador é fixada em 30% .

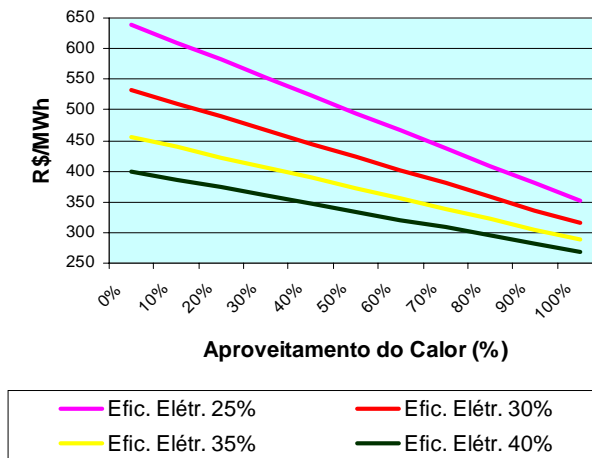


Gráfico 1 –Preço da ee para diversas eficiências do gerador e do uso da energia térmica

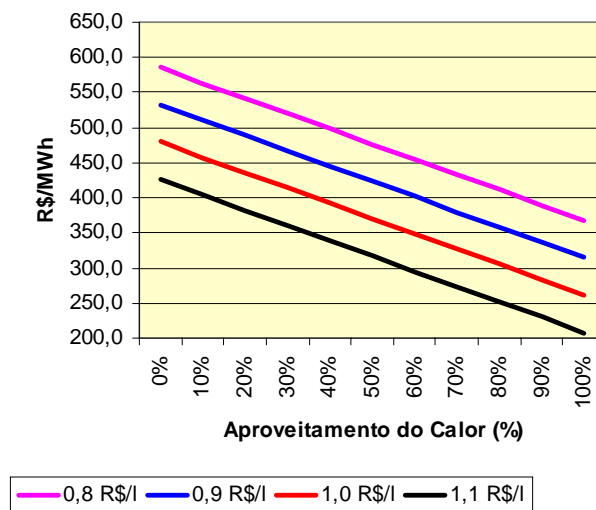


Gráfico 2 –Preço da ee para diversos preços de álcool, eficiência elétrica de 30% e diversos níveis de aproveitamento da energia térmica.

Conclusão

O objetivo do presente trabalho não é determinar o custo da energia produzida pelo VEH que, como se viu, depende de um grande número de parâmetros que, por sua vez, ainda são muito inconsistentes pois não se pode falar de uma “política de preços”.

Apesar destas limitações, no entanto, é possível tirar algumas conclusões :

- O custo da energia elétrica, é competitiva em muitas situações quando existe a possibilidade de aproveitar usar a energia térmica. O VEH poderia ser particularmente importante para certas atividades como hotéis, hospitais, restaurantes e condomínios onde há necessidade de grandes quantidades de calor em temperaturas relativamente baixas.
- Combinados com bombas de calor seria possível outras atividades de conforto térmico com resultados que poderiam ser facilmente calculados
- O custo reduz muito com o aumento da eficiência elétrica. Por esta razão, a introdução da geração dos VEHs com células combustíveis (com eficiências superando os 40%), vai representar um aumento significativo da economicidade.
- É evidente, dos cálculos, que o custo da energia elétrica – usando ou não a parcela térmica - seria compatível, em qualquer caso, com a produção na hora da ponta em locais onde se aplica a tarifa verde. Esta constatação importante deve ser vista com muita cautela pois é pouco provável que esta estrutura esdrúxula se mantenha por muito tempo.
- Uma faceta interessante do VEH é que ele coloca a nu uma porção de inconsistências das políticas energéticas. Por exemplo, aos preços praticados para o GNV, a energia elétrica seria competitiva mesmo que não houvesse venda de energia ao sistema elétrico.

A idéia de o VEH vir a se tornar um item importante da geração distribuída, portanto é uma idéia que merece ser aprofundada pois, como foi apresentado, a presença crescente do VEH é uma alternativa real e crescente, que independe de grandes saltos tecnológicos.

Assim, a possibilidade do VEH atender a uma de co-gerador deveria ser considerada o mais cedo possível com a discussão de alguns aspectos técnicos práticos como, por exemplo:

- definir o tipo de tomadas a serem usadas para conectar o VEH e a instalação predial no local de estacionamento. Vale notar que esta tomada deve ser projetada para trocar energia elétrica e água quente e deveria ser o mais padronizada possível. Note-se que esta discussão envolve aspectos mais amplos sobre as características da energia elétrica (CC ou CA, tensão, etc.), se eventuais inversores ficam a bordo ou fora etc.
- quando interligado ao sistema, o VEH vai ser um elemento ativo do sistema elétrico que deve ser capaz de ligar/desligar a partir de condições externas dinâmicas. Vale dizer, o VEH estacionado estará continuamente recebendo e ou enviando informações. No primeiro caso podem ser as tarifas vigente no local e horário, capacidade da rede de distribuição para escoar energia, necessidade de água quente do sistema etc. No segundo caso, precisa

sinalizar alguma mesa de controle sobre o local em que se encontra, se está pronto para gerar, enviar informações sobre despacho da energia para futura cobrança etc. Em síntese, é importante que a questão dos protocolos de comunicação que vão interligar o VEH aos sistemas fixos seja discutido o mais cedo possível.

Colaboradores

Colaboraram com observações, críticas e sugestões os consultores Valério Mortara e Nelson Malizia, com o material de pesquisa, Márcia França Buarque Franco Netto . A versão final foi revista e enriquecida com diversas sugestões do Professor Dr. Luiz Artur Pecorelli Peres da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Coordenador do GRUVE – Grupo de Estudos de Veículos Elétricos (www.gruve.eng.uerj.br) e Membro do Conselho Consultivo do Projeto do INEE relativo a Veículos Elétricos Híbridos.

Anexo I - VEH's Comerciais

ANEXO A

VEH Comerciais

Eletrabus

Ônibus desenvolvido no Brasil, fabricado em São Paulo com expressiva economia de combustível e baixíssimo nível de emissão de poluentes <http://www.eletrabus.com>



Prius (Toyota)

Lançado no final de 1998, com mais de 50.000 unidades vendidas. Motor de 1,5 litros com 16 válvulas, 70 hp (4500 rpm) e torque de 82 ft/lbs (4200 rpm).

O motor elétrico é trifásico com 33kW/44 hp (1040-5600 rpm), torque de 258 ft/lbs (0-500 rpm). As baterias são de hidreto de níquel metálico com 274 volts.

O rendimento do Prius é de 52 mpg na cidade e 45 mpg na estrada. O equivalente convencional (Corolla) tem rendimentos de 32 mpg na estrada.



<http://prius.toyota.com>

http://www.fueleconomy.gov/feg/tech/TechSnapPrius1_5_01b.pdf

Insight (Honda)

Modelo esportivo com dois lugares, lançado no final de 1999.

Equipado com o motor de 1.0-litro de , 3-cilindros, tem rendimento de 61-mpg na cidade e 70-mpg nas estradas

<http://www.honda2001.com/models/insight/index.html?honda=2000>



VEH em lançamento

Como consequência do "Partnership for a New Generation of Vehicles – PNGV", programa do governo norte-americano iniciado em 1993, a GM, Ford e Daimler-Chrysler desenvolveram VEH com base em motores de combustão interna convencionais que estarão sendo lançados em breve no mercado.

<http://www.ott.doe.gov/hev>

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – INEE
FÓRUM DE COGERAÇÃO E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Além desses, diversos fabricantes como a Renault, Volvo, BMW e outros estão lançando modelos. Para mais informações visitar o site :

<http://www.nesea.org/transportation/worldprotos.html>

Novos Modelos de VEH

Além dos veículos com motores de combustão interna, muitos fabricantes estão dedicados à produção dos carros da próxima geração que será acionada pela energia de células combustíveis.

Dentre eles, a Mercedes Benz pretende lançar no mercado até 2004 um carro baseado no sub-compacto "classe A" que deve usar como combustível o metanol.

<http://www.mercedes-benz.com/e/innovation/fmobil/necar.htm>

