

ESTRATÉGIA ENERGÉTICO-AMBIENTAL: ÔNIBUS COM CÉLULA A COMBUSTÍVEL HIDROGÊNIO PARA O BRASIL

1. Introdução

Dois aspectos vem ganhando importância e atenção da sociedade no âmbito mundial com grande repercussão nas ações sociais, governamentais e da iniciativa privada. O primeiro aspecto diz respeito as questões ambientais. São cada vez mais frequentes as ocorrências de catástrofes naturais decorrentes das mudanças climáticas que vem ocorrendo em nosso planeta devido a poluição, que o homem em favor do progresso, vem emitindo na atmosfera.

O segundo aspecto é referente as reservas de petróleo no mundo, cujos estudos apontam capacidade de produção por apenas mais algumas décadas. Esse fato, uma vez que o petróleo tem sido a principal fonte de produção de energia no mundo atualmente, tem acarretado o aumento de seu custo e gerado grande apreensão para o futuro.

Esses dois pontos vem pressionando fortemente o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes do ponto de vista energético e ambiental. Nesse cenário vem despontando a economia do hidrogênio, prevendo-se baixos impactos ambientais e eficiências energéticas mais elevadas.

Em uma região do porte e com a concentração de veículos presente na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), a emissão e concentração de poluentes no ar e o alto consumo de combustíveis é inevitável. Ações que visem a sofisticação da tecnologia de motores, a melhora na qualidade dos combustíveis e o controle dos veículos em uso podem reduzir significativamente tais problemas, mas existe sempre um limite nessa redução, o qual está intimamente ligado ao conceito dos motores utilizados.

Na Região Metropolitana de São Paulo avalia-se que a poluição atmosférica seja devida em 95% à circulação de veículos, nos casos de CO e HC, sendo 80% provenientes de automóveis e 15% dos ônibus e caminhões; no caso de NOx, as proporções se invertem. Nos corredores de ônibus, este índice pode atingir até 50% somente para os ônibus urbanos, apesar de que estes constituam menos de 2% da frota circulante.

Tal poluição pode ser medida pelos seguintes indicadores:

Emissões Provenientes de Veículos Automotores

(Dados estimados para o ano de 2002 em milhares de toneladas, para a RMSP)

| Combustível Poluente | A Gasolina | A Diesel | A Álcool | Motocicletas |
|-------------------------|------------|----------|----------|--------------|
| CO | 790,2 | 444,4 | 211,5 | 238,9 |
| HC | 231,2 | 72,4 | 40,7 | 48,5 |
| NOx | 51,8 | 324,5 | 12,6 | 1,2 |
| MP | 5,2 | 20,2 | - | 0,6 |
| SO2 | 9,1 | 11,2 | - | 0,5 |

Fonte: CETESB

É de se observar que os automóveis hoje consomem, na R.M.S.P., aproximadamente 3,6 bilhões de litros de gasolina (com adição de 20 a 26% de álcool anidro) e 540 milhões de litros de álcool hidratado, o que corresponde a uma redução significativa na poluição que eles propiciariam se fossem movidos só a gasolina. Mais ainda, se não existisse o PROCONVE – Programa de Controle da Poluição de Ar por Veículos Automotores, tal poluição seria ainda maior.

No total, com o PROCONVE e o PROÁLCOOL, atingiu-se uma redução de emissões em mais de 90% para os automóveis e mais de 70% para os caminhões e ônibus, nos modelos novos, em condições adequadas de conservação e de especificação dos combustíveis.

Infelizmente melhores resultados de redução das emissões não foram conseguidos nos veículos pesados, porquanto não se pode aplicar-lhes catalisadores, devido ao alto teor de enxofre do óleo diesel, como também não se implantou uma tecnologia de mistura de álcool no óleo ou gás natural veicular.

Os dados antes apresentados, relativos à poluição veicular na RMSP, são bastante graves e decorrem em grande parte da circulação de veículos automotores que, no transporte coletivo, respondem por aproximadamente 56% dos deslocamentos de pessoas todos os dias, e por 86% do transporte motorizado na RMSP

Fatos como esse, onde os avanços tecnológicos não foram suficientes para assegurar uma redução significativa das concentrações de determinados poluentes, indicam a necessidade de revisão dos conceitos desses motores e busca novas tecnologias diferentes das tradicionais, com a implantação gradual de combustíveis e motores alternativos. Opções radicalmente diferentes, preferencialmente de emissão zero, que não causem quaisquer impactos negativos na qualidade do ar dos grandes centros urbanos já estão em desenvolvimento, tendo-se conseguido resultados animadores.

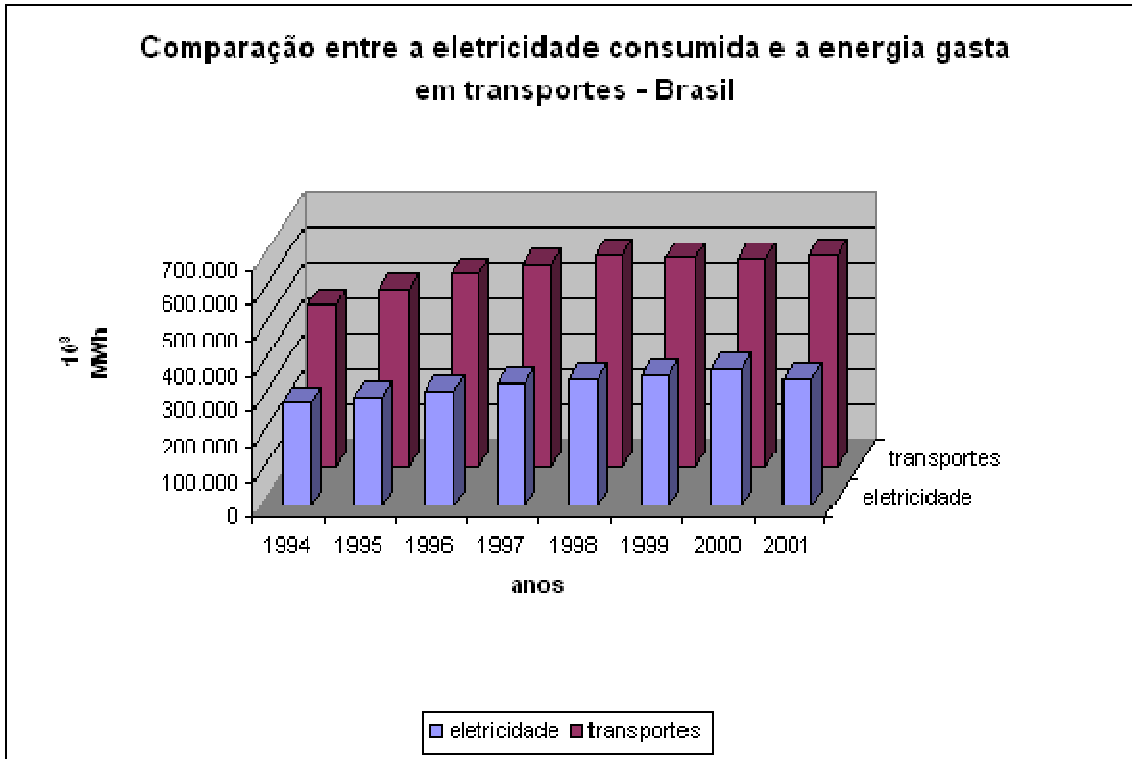
No caso dos ônibus urbanos em particular, a alternativa de emissão zero já existe há muito tempo: os tróleibus existentes em diversos corredores da RMSP, movidos a eletricidade não emitem qualquer tipo de poluente atmosférico, porém apresentam um raio de ação limitado pela exigência de redes elétricas, o que

inviabiliza a substituição das frotas de veículos movidos a Diesel que não possam trafegar por corredores de alta demanda de transporte.

Os veículos elétricos esbarram portanto em um problema relacionado à transmissão da energia elétrica (no caso de estarem ligados a uma rede de transmissão) ou do seu armazenamento no próprio veículo, se forem consideradas as baterias tradicionais de elevado peso e volume em relação à capacidade de armazenamento, o que confere uma baixa autonomia ao veículo. Dessa forma, a alternativa ideal seria a geração de eletricidade "on-board".

Um dos princípios que permite a geração de energia elétrica no próprio veículo é o sistema de célula a combustível hidrogênio, que utiliza-se de um processo eletroquímico para combinar hidrogênio com oxigênio do ar, gerando energia elétrica e como sub-produto vapor d'água.

Do ponto de vista energético é assustador para nós quando vemos que, no Brasil, a energia gasta atualmente nos transportes é quase duas vezes maior do que a energia elétrica consumida para todos os fins, como mostram os gráficos seguintes:



É em si quase inacreditável que sejam essas as proporções do consumo de energia em transportes e em eletricidade. Tal desequilíbrio provém da matriz de transporte brasileira, em que o deslocamento de cargas por caminhão representa 63,1% do total, e particularmente da paulista, em que aquele mesmo transporte é efetuado por caminhões em 93,2 % de suas ton.km. O transporte de passageiros, por seu turno, é praticamente todo feito através de veículos propelidos a combustíveis de origem fóssil, exceção feita a automóveis a álcool, bem como a metrô e trens eletrificados.

Entretanto, mais alarmante ainda é o fato de que quase 2/3 dos combustíveis consumidos pelos veículos não se convertem em trabalho útil, mas em perdas sob a forma de calor, contribuindo para uma das mais preocupantes consequências da poluição, que é o aquecimento global.

Os ônibus a hidrogênio apresentam rendimento energético de cerca de 45%, contra 36% dos melhores ônibus a óleo diesel. Entretanto, utilizando um processo eletroquímico, uma tecnologia nova, e que não sofre as limitações teóricas do "Ciclo de Carnot", certamente alcançarão resultados ainda bem melhores, como já indicam as experiências em escala de laboratório. Por outro lado, apresentam características muito favoráveis ao serviço urbano, por manterem seu alto rendimento em baixas velocidades, o que não ocorre com os motores térmicos.

É importante salientar que a utilização do hidrogênio como combustível permite que a tecnologia dos veículos independa da fonte ou do insumo energético, pois o hidrogênio é apenas um "portador" de energia, obtido a partir de energia elétrica ou através da transformação de biomassa, de etanol, de gás natural (a principal fonte atualmente), de carvão, de petróleo ou de seus derivados.

2. Célula a Combustível Hidrogênio (Hydrogen Fuel Cell)

O princípio de funcionamento da célula a combustível é muito simples: ar é alimentado de um lado de uma membrana permeável a íons H^+ , mas não à molécula H_2 , enquanto o combustível (hidrogênio gasoso, umidificado para manter a condutividade da membrana) é alimentado do outro, de forma que o combustível se oxida, ou seja, sofre uma “combustão a frio”. Neste processo, as cargas elétricas são liberadas e coletadas por placas condutoras para o seu aproveitamento num circuito elétrico. Como a conversão energética não passa por um estágio de alta entropia, como ocorre no caso dos processos térmicos, esta apresenta uma eficiência de conversão energética muito superior à das máquinas térmicas, cujo rendimento máximo apresenta as limitações do “Ciclo de Carnot”.

Portanto, a célula a combustível funciona como uma bateria, através de uma reação eletroquímica entre o combustível e um oxidante, produzindo eletricidade. Entretanto, ela não acumula energia internamente, e não é restrita pela quantidade de energia dentro da pilha, como no caso da bateria. O combustível e o oxidante são fornecidos externamente ao anodo e ao catodo, e os resíduos são retirados, de modo que a célula não precisa ser continuamente descarregada e recarregada. O catodo e o anodo são separados por um eletrólito, o qual consiste em uma das principais diferenças entre os tipos de células de combustível que podem ser usadas: AFC (Alkaline Fuel Cell), PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell), DMFC (Direct Methanol Fuel Cell), PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell), MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell) e SOFC (Solid Oxide Fuel Cell). No setor automotivo está sendo utilizado células do tipo PEM, devido as características específicas como: menor peso, menor dimensão, baixa temperatura de operação, boa eficiência e poder utilizar o oxigênio do ar.

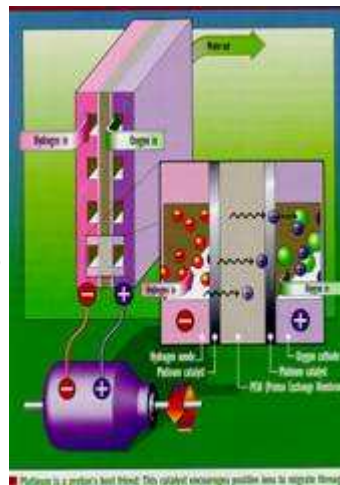
A energia elétrica gerada é determinada pelo número de células (voltagem) e pela área da superfície das células (amperagem). Essa forma de montagem permite que sejam feitas “stacks” de diversos tamanhos para a geração de eletricidade de acordo com a necessidade, utilizando-se as mesmas placas e membranas.

O sistema de tração dos veículos a hidrogênio se compõe de um sub-sistema armazenador de hidrogênio, um de células a combustível, um sub-sistema de tração composto de motor elétrico e comandos eletrônicos e um conjunto de equipamentos auxiliares (como compressores, para o gerenciamento da alimentação de ar e combustível, sistema de controle da variação de potência, etc). Para a construção de ônibus, esse sistema de tração é aplicado em um chassi apropriado, ao qual se agrega a carroceria (ou a um conjunto monobloco chassi/carroceria).

1- O combustível e o oxidante são fornecidos externamente

2- Os catalisadores à base de platina promovem as ionizações no anodo(-) e no catodo(+)

3 - A membrana de polímero é construída de modo que os elétrons que normalmente fluiriam do combustível ao oxidante possam ser desviados por um caminho externo, como um motor elétrico.



3. O Projeto: Ônibus com Célula a Combustível Hidrogênio

Levando em consideração a necessidade de remodelação dos sistemas de transportes, a conservação de energia e eficiência da conversão energética, a redução de emissão de poluentes, o conforto do público e a mobilidade, o Governo Brasileiro por meio do MME - Ministério de Minas e Energia e a EMTU/SP, com apoio do PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento) e do GEF (Global Environmental Facility), decidiram apoiar um Programa para estimular o desenvolvimento e a utilização de ônibus com célula a combustível hidrogênio. Como parte deste Programa, este Projeto realizará um teste operacional de até 5 ônibus com célula a combustível hidrogênio, mais uma estação de produção e abastecimento de hidrogênio, com intuito de avaliar e estabelecer as exigências técnicas mínimas para garantir a durabilidade do veículo e torná-los economicamente competitivos.

Objetivos de desenvolvimento

O objetivo de desenvolvimento do projeto é reduzir as emissões de GHG pela introdução de uma nova fonte de energia e tecnologia de propulsão para ônibus urbanos, combustível hidrogênio. Este projeto busca iniciar e acelerar o processo do desenvolvimento e comercialização de ônibus com célula a combustível hidrogênio no Brasil.

No longo prazo, assumindo que todas as etapas do programa sejam executadas, este projeto conduzirá a uma maior produção de células a combustível para ônibus, e eventualmente a uma redução nos custos, ao ponto onde eles ficarão comercialmente competitivos com os ônibus a diesel.

O programa completo de ônibus com célula a combustível hidrogênio

Este projeto é o segundo passo - Fase II - de um programa completo da Estratégia Energético Ambiental: Ônibus com Célula a Combustível Hidrogênio para o Brasil. As fases do programa estão demonstradas, abaixo:

- a) A Fase I consistiu no estudo de viabilidade e elaboração de Proposta para Fase II, e foi completada em Dezembro de 2000.
- b) A Fase II - o projeto propriamente dito - envolve operar uma frota de até 5 ônibus, mais a estação de produção e abastecimento de hidrogênio, a partir da garagem da EMTU/SP na RMSP durante 4 anos, para obter 1.000.000 km rodados de experiência.
- c) A Fase III consistirá na montagem de uma garagem de ônibus completa para operação com ônibus com célula a combustível hidrogênio, com uma frota de 100 a 200 ônibus.
- d) A Fase IV envolverá um maior desenvolvimento na RMSP e outras áreas metropolitanas brasileiras, da produção em série dos ônibus em base comercial. Para esta fase, é esperado que os ônibus com célula a combustível devam ser economicamente competitivos com ônibus a diesel com base no ciclo de vida.

3.3 Fundamentos do Projeto (Fase II)

- Desenvolver meios de transporte coletivo com emissão zero de poluentes, que venham a contribuir na redução dos níveis de CO₂, Nox, particulados, etc;
- Obter conhecimento desta tecnologia nova mundialmente, permitindo ao Brasil ocupar uma posição de destaque em virtude de seu mercado em potencial;
- Desenvolver esta tecnologia no Brasil, junto as operadoras de ônibus, fabricantes, universidades, escolas, visando criar um novo mercado;
- Desenvolver uma especificação brasileira para os ônibus com célula a combustível hidrogênio.
- Desenvolver normas de segurança no uso e manuseio do hidrogênio
- Formar um consórcio, com participação de empresas nacionais e estrangeiras utilizando o know-how brasileiro em integração de sistemas, produção de chassi e carrocerias e manuseio de hidrogênio.
- Fazer cada ônibus rodar um total de 80.000 a 120.000 km que é 2 ou 3 vezes o objetivo para MKBF e suficiente para descobrir as falhas mais prováveis.
- Identificar problemas de projeto dos ônibus e de origem da produção industrial.
- Produzir um protótipo e operá-lo por um ano definindo então projeto e custos finais para o próximo lote.

Suprimento de combustível

O hidrogênio gasoso comprimido é mais satisfatório do que o hidrogênio líquido ou reforma de combustível líquido embarcada nos ônibus urbanos, já que a operação deles é centralizada em garagens.

O hidrogênio produzido por reforma de etanol/biomassa pode ser uma boa opção no futuro, entretanto no momento esta tecnologia não está suficientemente desenvolvida. Assim, não é recomendável para esta Fase do Projeto.

O hidrogênio produzido por reforma do gás natural é mais competitivo com relação a custos e é o processo mais utilizado hoje no Brasil, porém necessita de purificação e por utilizar uma fonte fóssil e não renovável além de emitir GHG durante o processo de produção não é permitido pelo GEF.

Assim, a alternativa mais promissora é a produção de hidrogênio por eletrólise da água. A tecnologia de eletrólise já é bem conhecida e comercialmente disponível, como também este processo assegura hidrogênio livre de contaminantes. Além do que, a energia elétrica disponível no Brasil é 92% da geração hidroelétrica. Considerando uma planta de produção que opere por 20 horas por dia durante o período fora do horário de pico, este processo deverá acarretar em custos operacionais menores, equiparados ao dos troleibuses. Será instalado na garagem uma infra-estrutura completa para o hidrogênio composta de eletrolisador para



produção, tanques de alta pressão (400 bar) para armazenamento e dispenser para o abastecimento dos veículos.



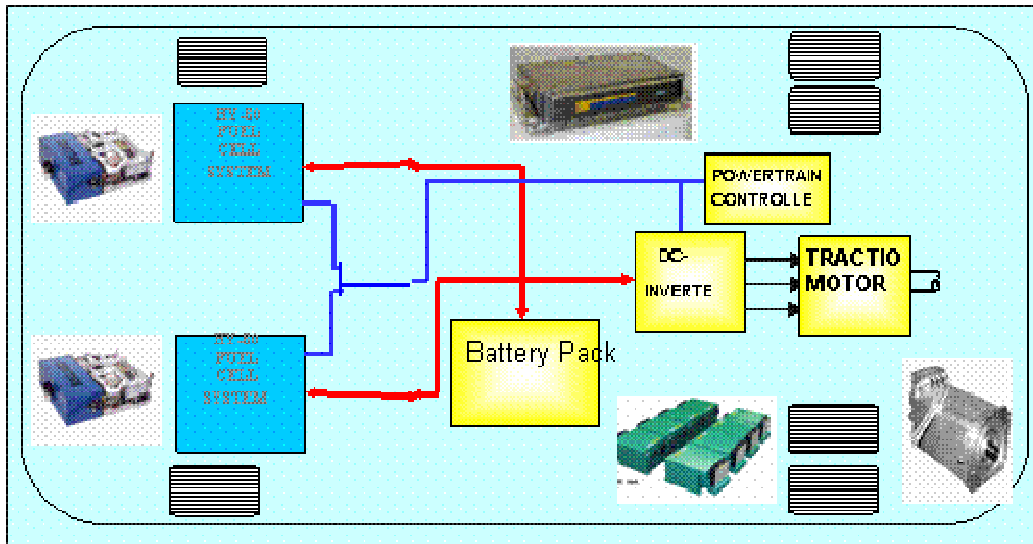
Características técnicas dos ônibus

Os ônibus serão padronizados em 12 metros, com ar condicionado e piso baixo (low-entry ou low-floor) e capacidade para 90 passageiros. Sua autonomia deverá estar em torno de 300 km, equivalente a média das distâncias percorridas pelos ônibus no corredor. A média de consumo de hidrogênio esperada, um dos pontos a ser otimizado é de 14 kg/ 100 km. A questão do consumo em função da questão com a eficiência energética e dos resultados verificados em outros projetos em andamento no mundo, levou a decisão de se desenvolver um projeto com conceitos mais modernos do que os adotados atualmente. Nesse sentido será utilizado um sistema híbrido (célula combustível + banco de baterias). Esse sistema irá permitir uma redução de consumo por meio do aproveitamento da energia de frenagem. Além disso por se tratar de um sistema híbrido a potência das células a combustível poderá ser menor o que reduzirá os custos de produção do ônibus no futuro.

Benefícios dos ônibus com célula a combustível hidrogênio

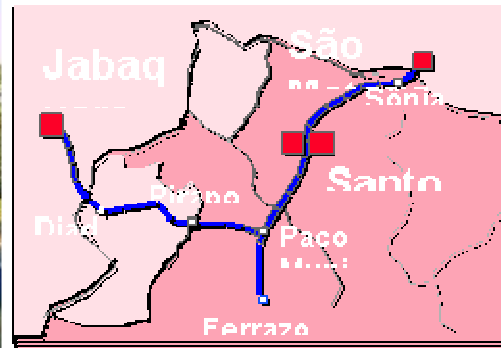
O projeto demonstrará benefícios locais adicionais significantes em termos de emissão reduzida de poluentes prejudicial à saúde e ao meio ambiente. Em particular, possibilitará no futuro a redução de emissão de NOx, SOx, CO, HC e particulados. Há também benefícios significantes à comunidade global, à indústria de automóveis e aos fornecedores desta nova tecnologia.

Este projeto fornecerá informações importantes para agências de transporte público nacionais e de outros países em desenvolvimento. Um dos princípios do UNDP/GEF é assegurar que as informações e as experiências adquiridas possam ser compartilhadas, difundidas mundialmente. Neste contexto, este projeto é internacionalmente importante pela experiência a ser adquirida e compartilhada.



Corredor Metropolitano S. Mateus – Jabaquara

Os ônibus serão testados pela EMTU em seu corredor metropolitano S. Mateus – Jabaquara operado pela Metra. É um corredor totalmente segregado com 33 km de extensão, nove terminais e percorre cinco municípios. Devido as suas características possui alta demanda (210 mil pax/dia) e alta velocidade média (25 km/h). Suas condições são ideais para os testes dos ônibus em condições reais de operação.



Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo S.A. – EMTU/SP

Eng. Marcio Rodrigues Alves Schettino

Eng. Octacilio de Oliveira Ribeiro

Rua Joaquim Casemiro, 290 – Planalto – São Bernardo do Campo – SP

09890-050

Fone: (11) 4341-1057 – Fax: (11) 4341-6727

E-mail: marcioh2@emtusp.com.br

Octacilior@emtusp.com.br

Fonte: www.emtu.sp.gov.br