

► **MOTORISTAS** algum dia encherão o tanque com hidrogênio? Muitos desafios complexos precisam ser superados antes que o abastecimento com gás se torne realidade

Economia movida a Hidrogênio

A transição para o hidrogênio no transporte reduzirá o consumo de petróleo e as emissões de carbono, mas não será rápida
POR JOAN OGDEN

Desenvolver fontes de energia mais limpas para o transporte é um dos problemas mais complicados na questão energética. A dificuldade vem de dois fatos desencorajadores. Primeiro, o número de veículos no mundo, na casa dos 700 milhões, deve triplicar até 2050, graças ao aumento do poder aquisitivo na China, na Índia e em outros países em rápido desenvolvimento. Segundo, 97% do combustível usado no transporte atualmente vem do petróleo.

A curto prazo, aumentar a economia de combustível dos veículos é o melhor modo de frear o crescimento do uso do petróleo e as emissões de gases do efeito estufa. Mas mesmo que os fabricantes de automóveis tripliquem a eficiência de seus modelos e os governos melhorem a oferta de transporte de massa, o crescimento explosivo do número de veículos no mundo dificultará muito essa tarefa. Para conseguir cortes mais profundos, o sistema de transporte precisa migrar para combustíveis com pouco carbono, não petrolíferos. A longo prazo, as melhores soluções parecem ser a conexão dos automóveis à rede elétrica e a

utilização do hidrogênio como combustível.

Um grande obstáculo tem impedido a comercialização de carros elétricos: armazenar carga suficiente para mantê-los viajando por distâncias comparáveis às dos motores a gasolina requer baterias enormes. Por causa disso, a maioria dos fabricantes de automóveis abandonou a tecnologia. Já os veículos com células a combustível – que combinam hidrogênio com o oxigênio do ar para gerar energia e acionar motores elétricos – enfrentam menos dificuldades técnicas e recebem o apoio entusiástico de fabricantes, empresas de energia e governos. Muito mais eficientes que os carros a gasolina convencionais, sua única emissão é de vapor d'água.

Além disso, o hidrogênio pode ser produzido sem adicionar nenhum gás do efeito estufa à atmosfera. Por exemplo, a energia necessária para obtê-lo a partir da eletrólise – o uso da eletricidade para transformar água em hidrogênio e oxigênio – pode vir de fontes renováveis, como células solares, turbinas eólicas, usinas hidrelétricas ou instalações geotérmicas.

RESUMO

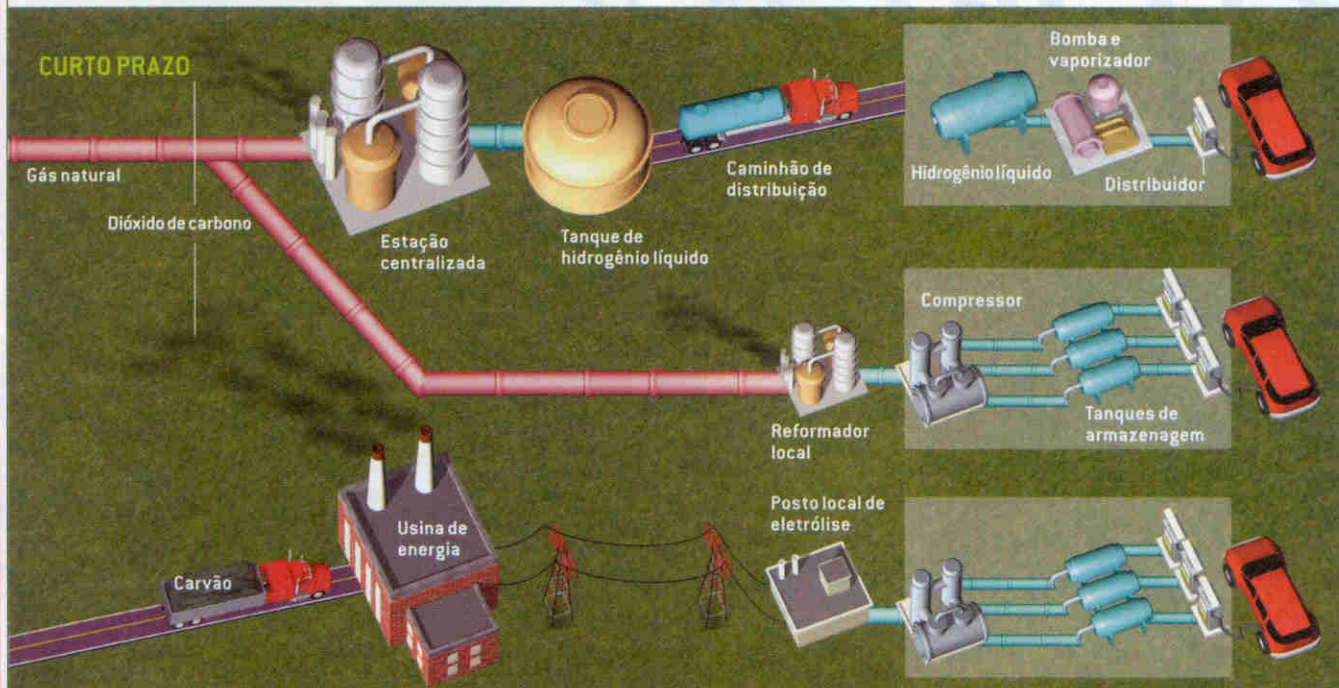
- ◆ Carros com células a combustível de hidrogênio podem se tornar comercialmente viáveis se os fabricantes conseguirem desenvolver modelos duráveis, baratos e seguros que possam atravessar grandes distâncias antes de reabastecer.

- ◆ Empresas de energia podem produzir grandes quantidades de hidrogênio a preços competitivos com os da gasolina, mas construir a infraestrutura de distribuição será oneroso.

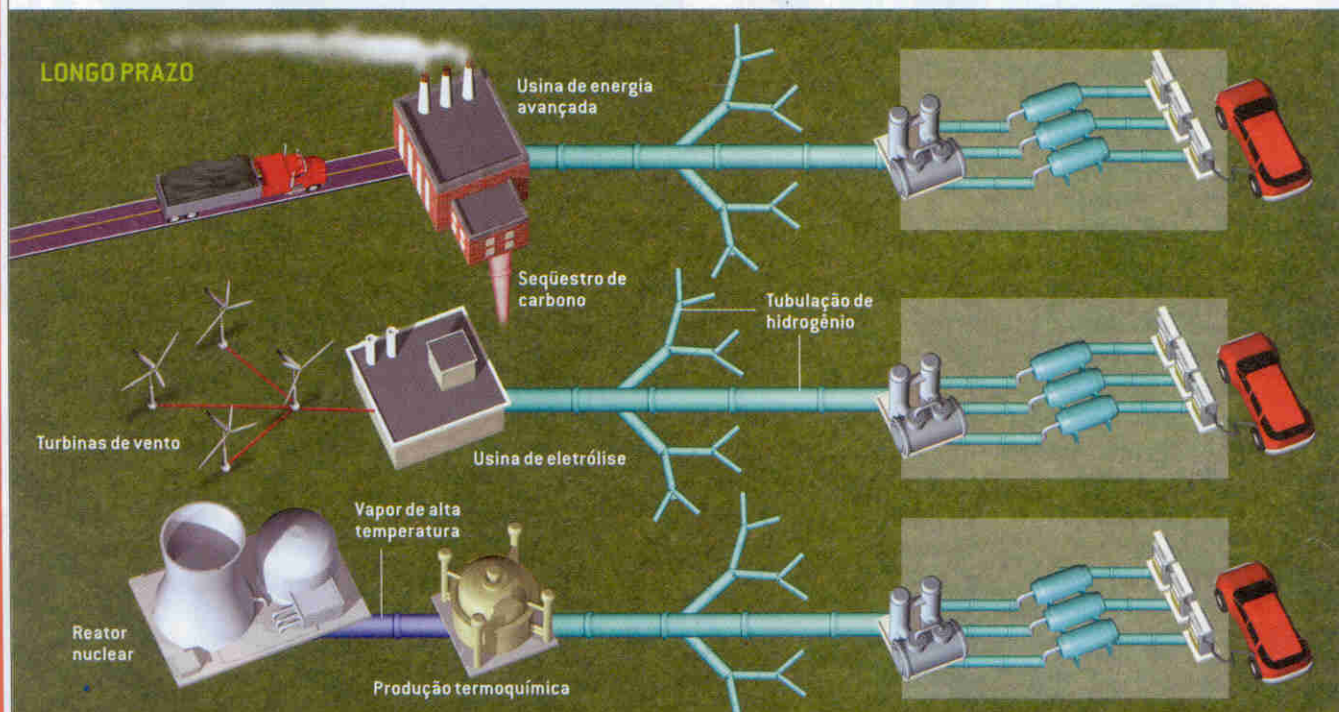
ILUSTRAÇÃO MATT VINCENT; JOE RAEDE/Gertty/Imagens (foto)

OPÇÕES PARA UMA INFRA-ESTRUTURA DE HIDROGÊNIO

Empresas de energia poderiam fabricar e distribuir hidrogênio combustível de muitos modos. A curto prazo, a opção mais provável é a extração de hidrogênio do gás natural, ou em estações centralizadas que forneceriam o combustível a postos de abastecimento por caminhões ou em pequenas estações locais nos próprios postos. Os postos também poderiam usar energia da rede elétrica para obter hidrogênio a partir da eletrólise da água. Todas essas opções, entretanto, emitiriam dióxido de carbono (considerando que combustíveis fósseis são usados para a produção de eletricidade).



A longo prazo, métodos mais limpos devem ser incentivados. Usinas de energia avançadas poderiam extrair hidrogênio do carvão e enterrar o dióxido de carbono no subsolo. Turbinas de vento e outras fontes renováveis de energia poderiam fornecer a energia para a eletrólise. E vapor de alta temperatura de reatores nucleares poderia gerar hidrogênio pela separação termoquímica da água.



Pode-se até mesmo extrair hidrogênio de combustíveis fósseis como gás natural e carvão mineral, mas nesse caso os subprodutos de carbono devem ser capturados e armazenados no subsolo.

No entanto, antes que o novo combustível possa ser utilizado em larga escala, muitos desafios complexos devem ser vencidos. Os veículos a hidrogênio poderão ter um design bem diferente do atual, mas precisam ser atraentes para os consumidores. É também necessário desenvolver técnicas mais limpas para produzir essa substância. Por fim, precisa ser criada uma nova infra-estrutura de distribuição de combustível. O hidrogênio não solucionará todos os problemas atuais de uma hora para outra: na verdade, pode levar décadas para as emissões de gases do efeito estufa se reduzirem após a adoção dessa tecnologia. A transição provavelmente será lenta e gradual, e não abrupta.

O Futuro das Células a Combustível

DURANTE A ÚLTIMA DÉCADA, 17 países anunciaram programas nacionais para desenvolver a tecnologia necessária à utilização do hidrogênio, desembolsando altas somas de dinheiro público. A maioria das montadoras já construiu protótipos a hidrogênio, e centenas de milhões de dólares em pesquisa e desenvolvimento já foram investidos por elas. Honda, Toyota e General Motors anunciaram planos de comercializar veículos com células a combustível em algum momento entre 2010 e 2020. Fabricantes de automóveis e empresas como Shell, Chevron e British Petroleum trabalham em conjunto com governos para introduzir as primeiras frotas a hidrogênio, além de pequenas

combustível automotiva é a membrana de troca de prótons, que fica entre os reagentes hidrogênio e oxigênio. De um lado da membrana, um catalisador separa os átomos de hidrogênio em prótons e elétrons; os prótons então cruzam a membrana e se combinam com átomos de oxigênio do outro lado. Reduções recentes no peso e no volume das células a combustível com membrana permitem que elas sejam facilmente acomodadas num carro pequeno. As membranas se desgastam com o uso e duram apenas cerca de 2 mil horas, menos da metade da vida útil de 5 mil horas exigida para veículos comerciais, mas modelos mais duradouros estão sendo desenvolvidos. No fim de 2005, pesquisadores da 3M, a empresa mais conhecida por fabricar fitas e bloquinhos adesivos, descreveram novos projetos que poderiam resultar em células a combustível com duração de 4 mil horas ou mais nos próximos cinco anos.

Outro grande desafio é reduzir o custo das células. Atualmente, elas são feitas à mão, e os veículos que rodam com elas custam US\$ 1 milhão cada. A pequena escala de produção é parte da explicação para o alto custo; se esses veículos fossem produzidos em massa, o custo de seus sistemas de propulsão provavelmente cairia para algo em torno de US\$ 6 mil a US\$ 10 mil. Esse preço é equivalente a US\$ 125 por kilowatt de potência do motor, ou cerca de quatro vezes mais alto que o custo de US\$ 30 por kilowatt de um motor comparável de combustão interna. As células a combustível devem exigir novos materiais e métodos de fabricação para atingir um custo equivalente ao dos motores a gasolina. Outra parte importante do custo de um veículo a hidrogênio pode ser reduzida

É importante ter em mente que a transição para o hidrogênio será uma maratona, não uma corrida de velocidade

redes de reabastecimento nos Estados Unidos, Europa e China.

O aumento de interesse no hidrogênio é causado não apenas por seus benefícios ambientais de longo prazo, mas por seu potencial para estimular inovações. As montadoras apostam nos carros com células a combustível porque eles têm potencial para se tornar produtos de consumo realmente superiores. A tecnologia oferece operação silenciosa, aceleração rápida e baixo custo de manutenção. Substituir motores de combustão interna por células a combustível e motores elétricos elimina a necessidade de muitos subsistemas hidráulicos e mecânicos; essa mudança dá aos fabricantes maior flexibilidade em seus projetos e maior eficiência no processo produtivo. Além disso, os carros a hidrogênio forneceriam a seus proprietários uma fonte móvel de eletricidade que poderia ser usada para propósitos recreativos ou de negócios. Durante picos de consumo de eletricidade, quando ela é mais cara, esses carros também funcionariam como geradores, fornecendo energia suplementar relativamente barata a escritórios ou lares.

Entretanto, questões técnicas ainda precisam ser resolvidas, e custos, diminuídos para que os veículos a hidrogênio se tornem interessantes ao mercado. Um componente-chave da célula de

com projetos inovadores, que se adequem às características únicas do novo equipamento de propulsão. Segundo representantes da GM, os carros com célula a combustível poderiam até ficar mais baratos que os a gasolina porque teriam menos partes móveis e um design mais flexível.

É preciso descobrir uma maneira de acondicionar hidrogênio suficiente em um veículo para garantir um bom alcance – 500 km, digamos. O hidrogênio em estado gasoso exige longos cilindros de alta pressão. Em estado líquido, ele ocupa menos espaço, mas precisa ser super-resfriado a temperaturas inferiores a -253°C. Fabricantes de veículos investigam o uso dos sistemas de hidretos metálicos que absorvem hidrogênio sob pressão, mas esses dispositivos tendem a ser pesados (cerca de 300 kg). No mundo todo, existe um intenso esforço para desenvolver um método melhor de armazenagem. Na ausência de tecnologias revolucionárias, opta-se pela simplicidade do hidrogênio gasoso comprimido na maioria dos veículos. Com armazenagem inteligente e pressão aumentada, esses carros alcançam hoje autonomia razoável sem comprometer seu espaço útil ou peso. Em 2005, a GM, a Honda e a Toyota apresentaram carros com células a combustível com

alcance de 480 km com hidrogênio gasoso comprimido a 70 megapascals. (A pressão atmosférica ao nível do mar é de cerca de 0,1 megapascal.)

Finalmente, a segurança é condição necessária à introdução de qualquer novo combustível. Embora o hidrogênio seja inflamável, sua temperatura de ignição é mais elevada que a da gasolina, e ele se dispersa no ar muito mais rapidamente, reduzindo o risco de incêndio. Porém, ele incendeia sob uma gama muito mais ampla de concentrações e produz uma chama quase invisível. Refinarias de petróleo, usinas químicas e outras instalações industriais já manipulam grandes quantidades de hidrogênio, e com engenharia adequada ele pode se tornar seguro para o consumidor. O Departamento de Energia dos Estados Unidos e outros grupos estão atualmente desenvolvendo códigos e padrões de segurança para o hidrogênio combustível.

Após sua introdução, quanto tempo deverá decorrer até que os carros a hidrogênio passem a compor uma parcela significativa do mercado? Um carro dura cerca de 15 anos; assim, levaria pelo menos esse tanto para substituir toda a frota. Em geral, depois das fases de pesquisa pré-comercial, desenvolvimento e demonstração, novas tecnologias automotivas são introduzidas num único modelo e mais tarde se espalham para outros veículos. (Por exemplo, os motores híbridos gasolina/electricidade inicialmente foram de-

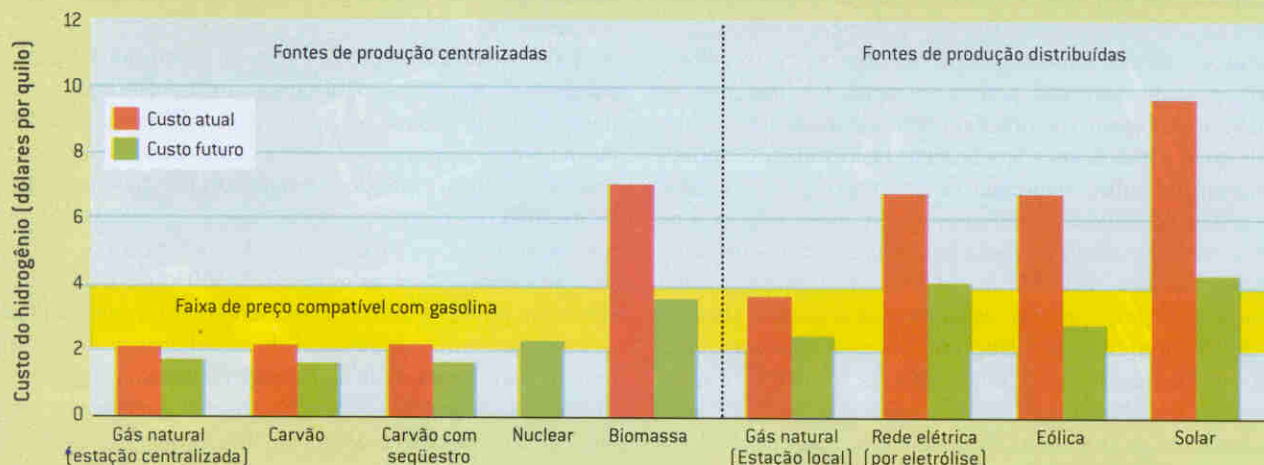
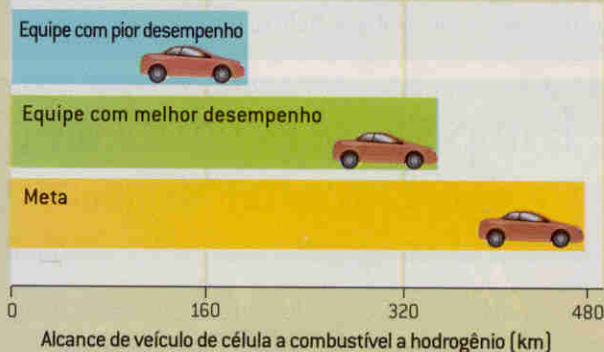
envolvidos para carros convencionais e depois incorporados em utilitários esportivos e outros.) O custo cai conforme o volume de produção aumenta, tornando a inovação mais atraente. No total, pode levar de 25 a 60 anos para uma nova tecnologia ser incorporada numa fração significativa da frota. Embora a pesquisa fundamental com veículos híbridos tenha começado nos anos 70, só em 1993 a Toyota começou a desenvolver o híbrido Prius. As vendas iniciais começaram no fim de 1997 e em 2005 os modelos híbridos de vários fabricantes respondiam por apenas 1,2% das vendas de veículos novos nos Estados Unidos.

Produzindo Hidrogênio

COMO A ELETRICIDADE, o hidrogênio precisa ser obtido a partir de alguma fonte de energia primária. Atualmente, isso é feito através do processamento de gás natural ou de petróleo em alta temperatura. Refinarias usam o gás para purificar combustíveis derivados do petróleo, e a indústria química o emprega para produzir amônia e outros compostos. A produção de hidrogênio consome hoje 2% da energia global, e essa parcela cresce rapidamente. Esse hidrogênio seria suficiente para abastecer cerca de 150 milhões de veículos com células, o que equivale a 20% da atual frota mundial de veículos convencionais. Embora a maior parte do hidrogênio seja produzida e imediatamente

OBSTÁCULOS A SUPERAR

Um dos maiores desafios enfrentados pelos carros de célula a combustível é aumentar seu alcance. O Laboratório Nacional de Energia Renovável do Departamento de Energia dos Estados Unidos recentemente mediu o alcance de 59 carros de célula a combustível de quatro equipes industriais [à dir.]. Mesmo a melhor equipe não atingiu os 480 km exigidos para um veículo comercial. Outro desafio é diminuir o preço do hidrogênio. Obtê-lo a partir de fontes de energia renovável, como eólica, solar e biomassa é atualmente caro demais, mas futuras tecnologias poderiam tornar a produção com emissão zero mais razoável [abaixo].



usada dentro de refinarias ou indústrias químicas, cerca de 5% a 10% é transportado em caminhões ou tubulações. Nos Estados Unidos, esse sistema de distribuição já instalado fornece energia suficiente para abastecer vários milhões de carros, e inicialmente estaria apto a abastecer o país quando os automóveis a hidrogênio fossem introduzidos.

Entretanto, derivar hidrogênio de combustíveis fósseis gera dióxido de carbono como subproduto. Sua produção a partir do gás natural – o método mais comum hoje – e utilização num veículo a hidrogênio eficiente resultariam numa emissão total de gases do efeito estufa da ordem de 110 gramas por quilômetro dirigido. Essa quantidade é um pouco menor do que a liberada pelos veículos híbridos a gasolina/electricidade (150 g/km) e significativamente inferior à dos carros convencionais a gasolina (195 g/km).

A meta ideal, no entanto, é produzir hidrogênio com pouca ou nenhuma liberação de gases do efeito estufa. É possível capturar o dióxido de carbono emitido na sua obtenção com base em combustíveis fósseis e injetá-lo nas profundezas do subsolo ou no oceano. Esse processo poderia permitir uma produção limpa, em larga escala e a um custo relativamente baixo. Antes disso, porém, é importante estimar a viabilidade técnica e a segurança ambiental do sequestro de carbono. Outra idéia interessante é a gaseificação da biomassa – aquecer materiais orgânicos como madeira ou sobras de colheita (em alta temperatura e sem a presença de oxigênio) para que eles se decomponham em hidrogênio, monóxido de carbono e outras substâncias. Essa técnica não adiciona gases-estufa à atmosfera, porque as emissões de carbono são compensadas pelo dióxido de carbono absorvido pelas plantas quando elas crescem. Uma terceira possibilidade é a eletrólise da água pela energia gerada de fontes renováveis como turbinas a vento ou células solares.

Embora a eletrólise e a gaseificação não encontrem grandes desafios técnicos, os custos atuais para a produção de hidrogênio por esses métodos são altos: US\$ 6 a US\$ 10 por quilograma. Um kg de hidrogênio tem aproximadamente o mesmo conteúdo de energia que 4 litros de gasolina, mas pode impulsionar um carro por uma distância muito maior porque as células a combustível são mais eficientes que os motores a gasolina convencionais. No entanto, segundo avaliação recente, novas tecnologias e a produção e distribuição em larga escala poderiam reduzir o preço do hidrogênio na bomba para US\$ 2 a US\$ 4 por quilograma (*ver gráfico na pág. ao lado*). Se isso se concretizasse, o hidrogênio num carro com célula a combustível custaria menos por quilômetro que a gasolina num carro convencional.

A eletrólise poderia ser conseguida também com energia nuclear, embora o processo não seja significativamente mais barato que o uso de fontes renováveis. As usinas nucleares podem gerar hidrogênio sem eletrólise: o calor intenso dos reatores é capaz de dividir a água em uma reação termoquímica. Esse processo geraria hidrogênio a um custo ainda menor, mas sua viabilidade precisa ser provada. Além disso, qualquer opção envolvendo energia nuclear apresenta os mesmos problemas que caracterizaram essa indústria por décadas: lixo radioativo, proliferação e opinião pública.



▲ A MAIOR VANTAGEM do protótipo de carro a célula a combustível da General Motors é que todo o sistema de propulsão e controle fica em um chassi com o formato de skate, o que maximiza o espaço interior

Nova Infra-estrutura Energética

COM TANTOS MÉTODOS alternativos para produzir hidrogênio, obter essa substância será relativamente fácil. O maior problema é logístico: como distribuí-lo de forma econômica para tantos lugares dispersos. A quantidade de postos de distribuição de hidrogênio teria de ser comparável à de postos de gasolina. Mas estes não podem ser facilmente convertidos; o hidrogênio é armazenado e manuseado de forma diferente da dos combustíveis líquidos como gasolina, exigindo tecnologias alternativas.

Essa necessidade de construir nova infra-estrutura criou um problema do “ovo e da galinha”. Os consumidores não comprarão veículos a hidrogênio a não ser que estes estejam amplamente disponíveis e a um preço razoável, e os fornecedores de combustível não construirão postos de hidrogênio se não houver carros suficientes para usá-los. Embora um estudo tenha mostrado que o hidrogênio se tornaria competitivo com a gasolina assim que houvesse um amplo sistema de distribuição, seu custo seria maior do que o desta durante os primeiros anos de transição.

Uma estratégia para deflagrar a mudança é concentrá-la inicialmente nos veículos de frota – ônibus, caminhões e utilitários de entrega – que não exijam uma rede extensa de reabasteci-

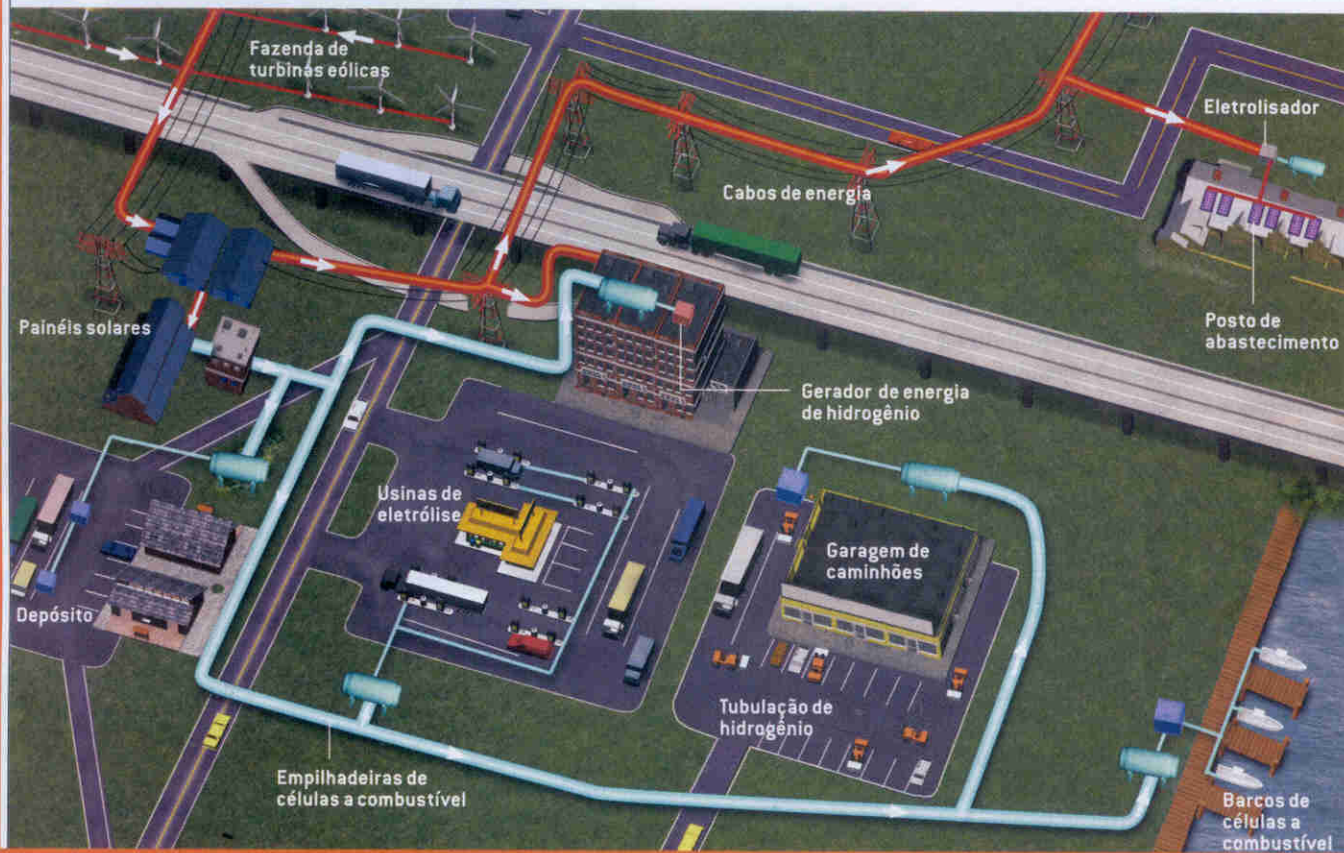
A AUTORA

JOAN OGDEN é professora de ciência e política ambiental da Universidade da Califórnia em Davis e co-diretora do Programa de Caminhos do Hidrogênio do Instituto de Estudos de Transporte do campus. Seus principais interesses de pesquisa são avaliações técnicas e econômicas de novas tecnologias de energia, especialmente nas áreas de combustíveis alternativos, células a combustível, energia renovável e conservação de energia. Ogden concluiu seu doutorado em física teórica na Universidade de Maryland em 1977.

OS MUITOS USOS DO HIDROGÊNIO

Como transportar hidrogênio por grandes distâncias será oneroso, cada usina de geração serviria à região no entorno. Os primeiros usuários provavelmente serão veículos de frota como caminhões e pequenos veículos que hoje usam baterias elétricas (por exemplo, empilhadeiras num depósito). Células a combustível de hidrogênio

também poderiam alimentar motores marinhos e fornecer energia suplementar para prédios de escritórios. Os proprietários de carros com células a combustível parariam em postos de hidrogênio ou mesmo gerariam seu próprio combustível em casa com energia de painéis solares.



mento. Motores de barcos e locomotivas poderiam operar com hidrogênio, o que eliminaria significativas emissões de poluentes. Células a combustível alimentariam pequenos veículos, como empilhadeiras, que hoje usam baterias elétricas, ou ser usadas na produção de energia estacionária. Por exemplo, elas poderiam gerar eletricidade para postos policiais e hospitais, que não podem depender somente da rede elétrica. Esses nichos de mercado ajudariam a reduzir o custo das células a combustível e incentivariam a construção dos primeiros postos de abastecimento de hidrogênio.

Para fazer uma diferença significativa no consumo global de petróleo e nas emissões de gases-estufa, entretanto, o hidrogênio terá de se difundir no mercado de veículos de passageiros. Pesquisadores da Universidade da Califórnia em Davis concluíram que 5% a 10% dos postos de abastecimento urbanos precisam oferecer hidrogênio para proporcionar aos proprietários de carros com célula a combustível uma conveniência próxima à oferecida aos consumidores de gasolina. O custo dessa infra-estrutura inicial ficaria em torno dos US\$ 12 bilhões. Um sistema completo de abastecimento de hidrogênio para servir 100 milhões de carros nos Estados

Unidos custaria várias centenas de bilhões de dólares, gastos ao longo de décadas. Essa estimativa abrange não só o custo de construir os postos de abastecimento, mas os novos sistemas de produção e distribuição que seriam necessários se o hidrogênio se popularizasse.

Esses números podem assustar, mas o Conselho Mundial de Energia, organização internacional que promove a energia sustentável, projeta que os custos de infra-estrutura para manter e expandir um sistema baseado na gasolina na América do Norte nos próximos 30 anos chegarão a US\$ 1,3 trilhão, mais da metade dos quais pagos a países produtores de petróleo no mundo em desenvolvimento. A maioria desses custos iria para a prospecção e extração de petróleo. Cerca de US\$ 300 bilhões se destinariam a refinarias, oleodutos e tanques – instalações que um dia precisarão ser substituídas por um sistema de distribuição e produção de hidrogênio. A mudança para o hidrogênio seria cara, mas manter tudo como está também é.

Há várias maneiras de fazer o hidrogênio chegar até os veículos. Ele pode ser produzido regionalmente em grandes usinas, armazenado como líquido ou gás comprimido e distribuído para postos de abastecimento por caminhão ou

tubulações. Também é possível produzir hidrogênio localmente em postos – ou mesmo em casa – com gás natural ou eletricidade (ver quadro na pág. 74). Nos primeiros estágios da transição para o hidrogênio, quando o número de veículos com célula de combustível for relativamente pequeno, a distribuição por caminhões ou a produção nos próprios postos de abastecimento podem ser as opções mais econômicas. Entretanto, quando houver uma grande porcentagem de carros a hidrogênio – digamos, 25% – usinas regionais centralizadas com distribuição por tubulações oferecerão o menor custo. A produção centralizada de hidrogênio permite o seqüestro de carbono, que só faz sentido em larga escala.

De várias formas, o hidrogênio se parece mais com a eletricidade que com a gasolina. Como ele é mais caro de armazenar e transportar, as empresas produtoras provavelmente o fabricarão em várias regiões de seu país, e cada usina de geração serviria um mercado regional. No Rio de Janeiro, onde existem

luirão a partir dessa progressão técnica, aproveitando as melhorias de eficiência e a crescente eletrificação dos veículos.

O desenvolvimento da infra-estrutura do hidrogênio levará décadas e andarão lado a lado com o crescimento do mercado de veículos com células a combustível. Com projetos nos Estados Unidos e Europa, empresas produtoras já fornecem hidrogênio para frotas de teste e reprisam tecnologias de reabastecimento. Para permitir que veículos limpos entrem em massa no mercado em 10 ou 15 anos, o hidrogênio precisa estar amplamente disponível a um preço competitivo.

A curto prazo, provavelmente o grosso do hidrogênio combustível será extraído do gás natural. Abastecer veículos desse modo cortará emissões de gases-estufa apenas modestamente, em comparação com o uso dos híbridos de gasolina; para colher todos os benefícios do hidrogênio, é preciso produzir o gás a partir de fontes de energia sem carbono ou seqüestrar os subprodutos de carbono. Quando o hidrogênio se tornar

Construir uma economia do hidrogênio pode ser caro, mas manter tudo como está, também

usinas nucleares, a produção pode ser completamente diferente da do Paraná, que tem usinas hidrelétricas, de Pernambuco, com sua luz solar e ventos abundantes, ou de São Paulo, estado com farta plantação de cana-de-açúcar, que pode ser usada para obter hidrogênio. Além disso, os métodos de suprimento irão variar com o local. Uma pequena cidade ou área rural pode contar com distribuição por caminhões ou produção no local, enquanto uma cidade grande e muito povoada usará uma rede de tubulações para transportar o hidrogênio.

Desenvolver uma economia baseada no hidrogênio certamente implicará riscos financeiros. Por exemplo, se uma empresa fornecedora construir instalações gigantes de produção ou distribuição e o mercado de células a combustível crescer mais lentamente que o esperado, ela não recuperará seu investimento. Esse risco seria minimizado se o aumento da oferta viesse na forma de pequenos incrementos que acompanhassem de perto a demanda. Usinas de energia gerariam, digamos, tanto eletricidade quanto uma pequena quantidade de hidrogênio para os primeiros carros com célula a combustível. Para distribuir o hidrogênio, as empresas poderiam inicialmente utilizar caminhões e adiar grandes investimentos em tubulações até que uma demanda grande se formasse.

Os Primeiros Passos

A ROTA PARA UM SISTEMA de transporte baseado no hidrogênio na verdade consiste em várias vias paralelas. Aumentar a economia de combustível é o primeiro passo essencial. Desenvolver carros leves e motores mais eficientes com sistemas híbridos pode reduzir bastante as emissões de carbono e o uso de petróleo nas próximas décadas. O hidrogênio e as células a combustível evo-

um combustível importante – talvez em torno de 2025 –, os governos poderão estabelecer regras de emissão zero ou quase-zero para sua produção. Nesse meio tempo, planejadores governamentais poderiam estimular os esforços em andamento para desenvolver tecnologias de energia limpa como eólica, solar, por gaseificação de biomassa e seqüestro de carbono. A transição para o hidrogênio pode ser vista como parte de um esforço maior em direção a uma economia com menos emissões de gases do efeito estufa.

Embora a transição possa demorar várias décadas, os veículos movidos a hidrogênio deverão ajudar a proteger o clima global e reduzir a dependência do petróleo do Oriente Médio no mundo. O vasto potencial dessa nova indústria ressalta a importância de pesquisar, desenvolver e validar tecnologias, para que elas estejam prontas quando forem necessárias. ■

PARA CONHECER MAIS

The hydrogen economy: opportunities, costs, barriers, and R&D needs. National Research Council e National Academy of Engineering. National Academies Press, 2004. Disponível no site www.nap.edu/catalog.php?record-id=10922#toc

The hydrogen energy transition: cutting carbon from transportation. Editado por Daniel Sperling e James S. Cannon. Elsevier, 2004.

The hype about hydrogen: fact and fiction in the race to save the climate. Joseph J. Romm. Island Press, 2005.

Mais informações sobre tecnologias de célula a combustível de hidrogênio e programas de demonstração podem ser encontrados nos sites: <http://hydrogen.its.ucdavis.edu/>; www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/; www.h2mobility.org/index.html e www.iphe.net/NewAtlas/atlas.htm