

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
JULIO DE MESQUITA FILHO
CAMPUS DE ARARAQUARA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E LETRAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA**

RELATÓRIO FINAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA:
**A célula de combustível no contexto das novas fontes de energia
alternativa: uma análise comparativa das iniciativas nacionais e
internacionais**

Bolsista: Carolina de Oliveira Resuto
Orientador: Prof. Dr. João Furtado

Araraquara, dezembro de 2002.

SUMÁRIO

1	Quadro de atividades	1
2	Apresentação	2
3	Fontes Alternativas e Cogeração	5
3.1	A Microgeração	5
3.2	A mudança na forma de atuação por parte das empresas de energia	6
3.3	Panorama Internacional das Fontes Alternativas	8
3.3.1	A Energia Eólica	10
3.3.2	A Energia Solar	11
3.4	Panorama Nacional das Fontes Alternativas	12
3.4.1	A Energia no Brasil	12
3.4.2	O Bagaço da Cana-de-açúcar	18
3.4.3	A Energia Eólica	19
3.4.4	A Energia Solar	21
4	A Energia do Hidrogênio e a Tecnologia das Células de Combustível	22
4.1	Histórico e características	22
4.2	Panorama das iniciativas internacionais em células de combustível	26
4.2.1	A tecnologia do hidrogênio aplicada à indústria automobilística internacional	26
4.2.2	Iniciativas e atores europeus	28
4.2.3	Iniciativas e atores da América do Norte	30
4.2.4	O Japão como representante dos países asiáticos	35
4.3	Panorama das iniciativas nacionais em células de combustível	35
4.3.1	Universidades	36
4.3.2	Empresas ou órgãos públicos	37
4.3.3	Empresas ou órgãos privados	39
4.3.3.1	UniTech	39
4.3.3.2	Electrocell	41
4.3.4	A célula de combustível a etanol como a principal “aposta” Brasileira	41
5	Entrevistas e Workshop	43
6	Conclusão	44
7	Anexo 1 Questionários e transcrição das entrevistas realizadas com as principais iniciativas nacionais em células de combustível	46
8	Anexo 2 Transcrição dos principais pontos levantados durante as apresentações do 1º Workshop Internacional sobre Células a Combustível	79
9	Referências	96

1 QUADRO-RESUMO DE ATIVIDADES

Atividade	Descrição
Levantamento bibliográfico sobre estratégias de energias alternativas	Dada avaliação positiva do item sobre fontes alternativas do relatório parcial, a bolsista somente complementou-o com algumas novas informações e/ou gráficos que lhe pareceram pertinentes e interessantes.
Levantamento bibliográfico sobre células de combustível	Houve problemas de acesso ao Banco de Notícias da Gazeta Mercantil por parte do próprio site. Por isso, foram recolhidas reportagens (principalmente) do Valor Econômico e da Revista Fapesp no intuito de atualizar as informações trazidas pelo Projeto e Relatório Parcial.
Entrevista com universidades	Foram entrevistados os professores doutores Newton Pimenta Neves Jr. (UNICAMP), Ernesto Rafael González (USP de São Carlos) e José Luz Silveira (UNESP de Guaratinguetá).
Entrevistas com empresas	Foram entrevistados o proprietário da UNITECH (Antônio César Ferreira) e um dos sócios da ELECTROCELL.
Entrevistas com empresas/órgãos públicos	Foram entrevistados o Dr. Marcelo Linardi (IPEN), Márcio Schettino (EMTU/SP) e Regina Gusmão (FAPESP).
Participação em seminários de pesquisa	Participação na reunião semanal realizada pelo GEEIN (Grupo de Estudos em Economia Industrial) durante todo o segundo semestre de 2002. A bolsista também apresentou seu Relatório Parcial de pesquisa durante o III Seminário de Economia Industrial promovido pelo GEEIN durante os dias 14, 15 e 16 de agosto.
7 Participação em Workshop	A bolsista participou do 1º Workshop Internacional sobre Células a Combustível, realizado na UNICAMP no dia 31 de outubro.
Consolidação dos resultados	A elaboração do relatório final concentrou-se nos meses de novembro de dezembro (os meses anteriores foram utilizados, principalmente, para realização e organização dos resultados das entrevistas).

2 APRESENTAÇÃO¹

A energia é, sem comparação, a indústria mais importante do planeta, não porque movimenta perto de 1/5 do Produto Interno Bruto mundial (cerca de US\$ 40 trilhões), mas também porque funciona sob controle rigoroso do Estado.

A demanda de energia e o uso dos combustíveis ocuparam posição de relevância, centrada na dependência do petróleo e na sua contribuição, via emissões poluentes da atmosfera, para a deterioração do meio ambiente. As especulações sobre a demanda de energia se somaram às preocupações dos anos 70 com a exaustão das reservas de combustíveis, especialmente do petróleo; e às dos anos 80 e 90 no controle de maiores agressões ao meio ambiente. Nem sempre há coincidência entre o objetivo de maior eficiência energética e de menor dano ao meio ambiente.

De acordo com um relatório do Worldwatch Institute, as grandes usinas modernas não estão conseguindo fornecer a eletricidade confiável, de alta qualidade, necessária para mover a nova economia digital. Interrupções no fornecimento de energia devido à vulnerabilidade das usinas centrais e das linhas de transmissão custam aos EUA até US\$ 80 milhões anualmente.

Muitos dos países em desenvolvimento perdem entre 20 e 50% da energia total gerada através de escapes em seus sistemas de transmissão e distribuição. Para os próximos 20 anos estão projetados cerca de US\$ 1,2 trilhões para investimentos em capacidade geradora nesses países, os quais podem aproveitar a oportunidade e organizar seus mercados no sentido de prover seus sistemas energéticos com a sustentabilidade adequada ao século XXI.

Tecnologias revolucionárias, como células solares, células de combustível e turbinas eólicas ocupam na economia hoje a mesma posição do motor de combustão interna e o gerador eletromagnético no fim do século XIX. Essas importantes tecnologias, apesar de já terem sido desenvolvidas, são usadas apenas em pequenos nichos do mercado, e sua importância potencial ainda não é amplamente apreciada. Porém, muito lentamente, elas estão conquistando novas e importantes posições, e poderão resultar numa terceira revolução energética (limpa e eficaz).

Atualmente, as energias solar e eólica geram menos de 1% da energia mundial. No entanto, como consequência da avançada tecnologia, dos incentivos governamentais e, em grande parte, das preocupações ambientais, os mercados energéticos estão mudando. Durante a década de 90, a energia eólica cresceu a uma taxa de 26% ao ano, a solar elevou-se em 17% ao ano, enquanto o petróleo aumentou apenas 1,4% ao ano (apesar de especialistas garantirem que as reservas mundiais de petróleo são mais do que suficientes para satisfazerem as necessidades do planeta por até 75 anos). Os moinhos (praticamente inexistentes na década de 70) representam hoje 1,5% do consumo mundial de energia, e sua demanda vem aumentando à taxa de 30% anual. A energia solar, com uma fração muito pequena no consumo energético (menos de 0,5%), poderá ser usada ao lado das hidrelétricas e termelétricas para gerar eletricidade.

Dispõe-se da tecnologia adequada para o uso do hidrogênio como combustível de veículos com um custo superior ao diesel, mas inferior ao da eletricidade que move os trolebus. Os técnicos brasileiros esperam que o hidrogênio tenha um custo competitivo por volta de 2007 e que dentro de 20 anos seja aplicado a 25% do parque automobilístico. Tanto a maioria das empresas do setor de energia (como a British Petroleum, Shell, Exxon) como as grandes empresas do setor automobilístico acreditam

¹ Item baseado em O MUNDO (?), FLAVIN (2000) e DUNN (?)

– publicamente ou “na surdina” – que o grande sucessor do petróleo seja o hidrogênio. (OSAVA, 2001)

No que diz respeito ao impacto ao meio ambiente, o uso das energias eólica, solar e das células de combustível alimentadas a hidrogênio podem reduzir as emissões de dióxido de carbono em até 42%. (A ERA, ?)

No entanto, a rapidez da transformação da economia energética mundial dependerá dos preços dos combustíveis fósseis e da capacidade da sociedade de superar a oposição das empresas de petróleo e de energia frente a um novo sistema. O ritmo da mudança será influenciado também pelas negociações internacionais para desenvolver planos que impeçam a aceleração das mudanças climáticas (como ocorreu na Califórnia na década de 80).

3 FONTES ALTERNATIVAS E COGERAÇÃO

3.1 A Microgeração²

Uma política energética centrada em uma única forma de produção, como é o caso do Brasil, tem se mostrado ineficiente e causadora de diversos problemas ambientais e sociais. Desta forma, os países deveriam adotar políticas energética de produção em micro-escala que pudesse atender aos anseios de um desenvolvimento mais homoganeamente distribuído pelo território geográfico, num contexto de desenvolvimento sustentável. (ÂNGELO, 2002)

Algumas empresas inovadoras (impulsionadas pelo potencial demonstrado pela “tecnologia da energia”) estão “miniaturizando” sistemas de produção de eletricidade. Pequenos módulos de células de combustível – com o objetivo de fornecer uma viável alternativa energética domiciliar – teriam uma dupla vantagem: reduziriam a dependência em relação ao fornecimento tradicional, e acalmariam as inquietações ambientais dos consumidores. No entanto, as despesas com instalação e geração são elevadas demais, e acabam viabilizando a utilização de pequenas unidades geradoras somente em grandes hospitais, fábricas ou hotéis. Mesmo assim, as novas tecnologias no campo da microenergia já estão provocando uma grande corrida dos investidores.

O grupo americano Plug Power trabalha no desenvolvimento de uma planta doméstica à base de célula de combustível, completamente independente da rede elétrica, mas a tecnologia continua mais cara que a geração de energia convencional. A companhia espera que as unidades custem inicialmente cerca de US\$ 10 mil, mas estima-se que esse custo seja reduzido através da produção em massa.

As microturbinas (movidas a gás natural) estão apenas começando a ser produzidas em massa e instaladas em lanchonetes, restaurantes e outras instalações comerciais nos EUA, e estão se tornando populares na Europa (por poderem funcionar também com restos de madeira e calor solar). As empresas de maior destaque no ramo da fabricação de microturbinas são a Capstone e a Caterpillar (maior fabricante de geradores a diesel do mundo).

No caso das células solares, já há produtos disponíveis no mercado japonês e alemão. Em relação à energia eólica (a mais barata das tecnologias de energia renovável), está tudo pronto para uma rápida expansão nas planícies rurais e off-shore. Outras tecnologias como pequenos sistemas geotérmicos, micro-hidráulicos (pequenas centrais hidrelétricas) e de biomassa também desempenham papel importante no contexto da descentralização da eletricidade.

Os geradores de pequena escala, por estarem perto dos pontos de consumo, podem representar um grande economia aos usuários, evitando novos e dispendiosos investimentos em usinas elétricas centrais de grande porte e sistemas de distribuição. Além disso, uma teia de pequenos geradores de eletricidade é intrinsecamente mais estável do que uma rede servida por apenas poucas usinas de grande porte. Um exemplo disso é o First National Bank of Omaha (no estado norte-americano de Nebraska), que decidiu conectar sua central de processamento a duas células de combustível que proporcionam 99,9% de confiabilidade.

Apesar de todas esses benefícios potenciais da micro-energia, as regras atuais de mercado da maioria dos países favorecem a manutenção do modelo centralizado. Além disso, as concessionárias elétricas vêem os sistemas micro-energéticos como uma

² Item baseado em A ERA (?) e FÓRMULAS (?)

ameaça econômica e estão dificultando sua implantação por meio de taxas onerosas de ligação e preços baixos para a energia alimentada à rede.

Aceitar o custo de produção atual da energia elétrica a partir do sistema proposto como entrave para a adoção de medidas sérias e urgentes no sentido de implementá-los é um erro semelhante ao que ocorreria, nos primórdios da história da revolução industrial, à não adoção da energia elétrica como sustentáculo para o desenvolvimento industrial. (ÂNGELO, 2002)

3.2 A mudança na forma de atuação por parte das empresas de energia³

Durante o 17º Congresso Mundial de Petróleo (realizado em novembro no Rio de Janeiro), estiveram na pauta assuntos como a responsabilidade social da indústria (uma das que mais afeta o meio ambiente), o uso de recursos renováveis (como a energia solar, células de combustível e motores a hidrogênio em substituição aos combustíveis fósseis), a correção dos preços do gás com base na variação do petróleo, o aumento da produção e uso do gás natural, além da exploração em águas ultraprofundas.

Uma das conclusões é que o petróleo deve continuar como principal fonte de energia pelo menos até que se esgotem as reservas e desde que os preços não se tornem impagáveis. Atualmente, 80% da demanda mundial são por combustíveis fósseis, enquanto 6% são de fonte nuclear e 9% de fontes renováveis, principalmente a energia elétrica de fonte hidráulica.

Os países membros da OPEP - Argélia, Indonésia, Irã, Iraque, Kuwait, Líbia, Nigéria, Qatar, Arábia Saudita, Emirados Árabes e Venezuela - detêm 75% das reservas conhecidas. O cartel controla 60% do petróleo vendido no mundo e responde por 40% da produção global. Esses dados ilustram os grandes interesses econômicos que envolvem as discussões sobre produção, preço e índices de poluição dessa indústria.

Segundo a Shell, já existem indícios suficientes de que a atividade humana contribui para o aumento do efeito estufa, e que o CO₂ é o principal vilão. Juntamente com outras multinacionais, a empresa patrocina propostas como a do experimento de capturar 1 milhão de toneladas de CO₂ da atmosfera, injetando-o numa formação geológica subterrânea no Mar do Norte.

"Atuar como empresa de energia é questão de sobrevivência", confirma Christian Dobereiner, Gerente Corporativo de Saúde Segurança e Meio Ambiente da Shell no Brasil. Na Europa, diz ele, a multinacional produz painéis solares, opera uma fazenda de energia eólica e desenvolve células de hidrogênio. No Brasil, na década de 90, chegou a investir em energia solar, mas desistiu pela inviabilidade econômica.

O presidente mundial da Chevron Texaco, David O'Reilly, prefere falar de oportunidades e não no risco de uma queda da demanda por petróleo em substituição a fontes renováveis de energia, pelo menos até que as reservas mundiais se esgotem. Apesar de prever um aumento da demanda por energia produzida a partir de recursos renováveis, ele aposta no crescimento do consumo de petróleo em 50% seguido pelo gás natural com aumento de 29%.

Na mesma direção, a Petrobras incluiu em seu plano estratégico a viabilização de fontes renováveis, como biocombustíveis, energia solar e eólica. A empresa estabeleceu parcerias com universidades e centros de pesquisa, visando o desenvolvimento tecnológico e implementação de projetos piloto.

³ Item baseado em EFEITO (2002), SCHÜFFNER (2002), GARRIDO (2002) e GREENPEACE (2002)

José Roberto Moreira (coordenador das discussões sobre redução de emissões no setor de suprimento de energia de um dos grupos de trabalho do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas da ONU) desmente a previsão de que o recurso petróleo possa acabar em 40 anos. Ele acredita que esteja extinta a atual forma de extração, mas que irá avançar, viabilizando a exploração em novas situações, com um pequeno incremento no preço final.

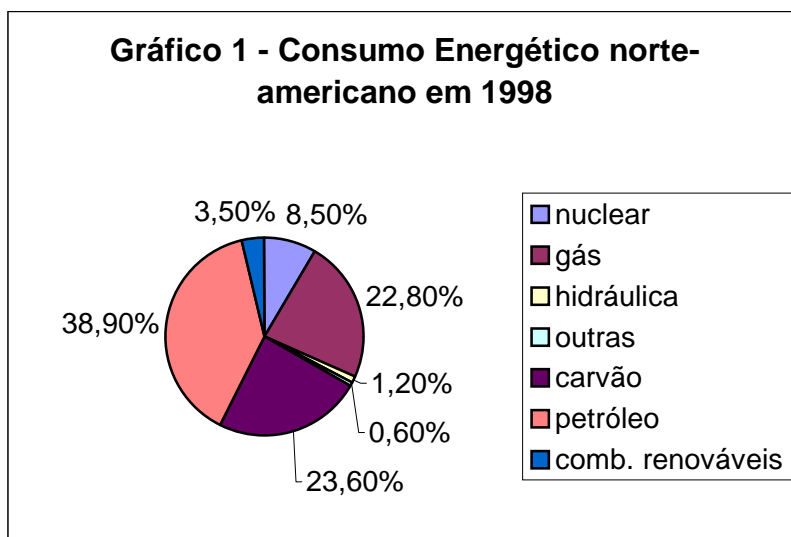
Pelos cálculos da Saudi Aramco, empresa que administra as reservas da Arábia Saudita (as maiores do mundo, com 260 bilhões de barris) aquele país tem óleo suficiente para suprir toda a demanda mundial nos próximos 101 anos. E segundo dados da Opep, no ano 2000 a demanda mundial foi de 76 milhões de barris por dia, devendo crescer para 89 milhões de barris em 2010, superando 106 milhões em 2020.

Para Ramón Blanco, vice-presidente corporativo da Repsol YPF, a única fonte de energia em condições de concorrer com o óleo cru, na atualidade, é o gás natural, tanto no transporte, como no uso pelas indústrias e na geração de eletricidade. No entanto, o gás não poderá ser a energia do futuro, porque se esgotará junto com o petróleo. A principal aposta é no hidrogênio como uma “ponte” entre combustíveis fósseis e renováveis. Essa energia sustentável poderia penetrar no mercado em uma ou duas décadas, quando haverá uma “rede varejista de hidrogênio” para carros nos países desenvolvidos.

O coordenador internacional da campanha de energia do Greenpeace, Benedict Southworth, insiste que o problema principal para a indústria petrolífera é decidir se quer passar a ser sustentável, preocupada com o clima, ou se segue a “política do avestruz” (com a cabeça enfiada na areia, contabilizando gordos lucros e aguardando alienadamente que as mudanças climáticas se tornem absolutamente insuportáveis).

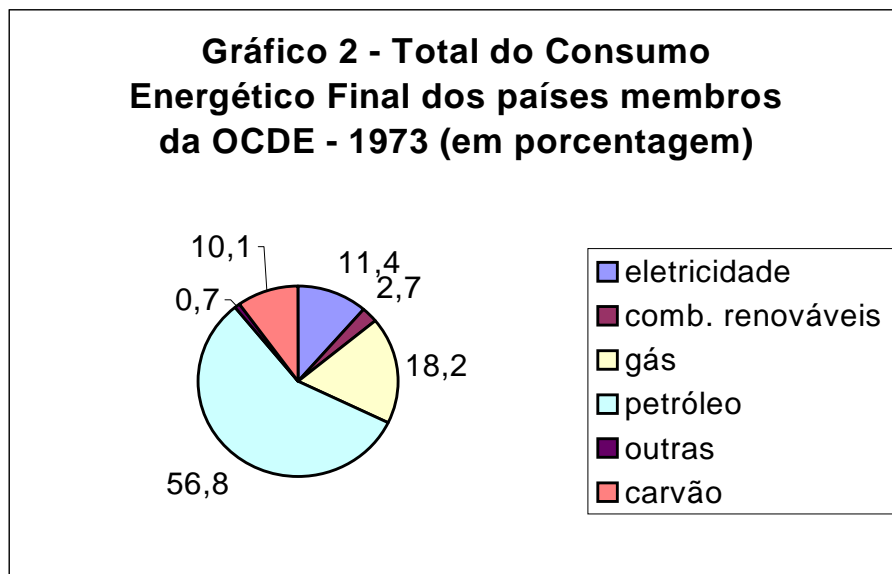
Segundo ele, a menos que a sociedade civil faça pressão crescente, muitas dessas empresas continuarão tentando ocultar a necessidade de ações para controlar as mudanças climáticas, que vão se processando com alarmante rapidez, assim como impedindo que países em desenvolvimento defendam o direito de utilizar energia limpa em maior escala.

3.3 Panorama Internacional das Fontes Alternativas



Fonte: International Energy Agency

Obs.: "outras" inclui as energias geotérmica, solar, eólica, térmica, etc.

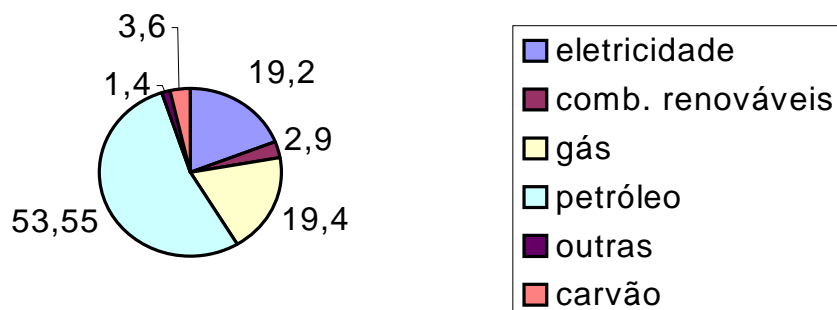


Fonte: International Energy Agency

Obs.: "outras" inclui as energias geotérmica, solar, eólica, térmica, etc.

Obs2.: são membros da OCDE a Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, República Tcheca, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Islândia, Irlanda, Itália, Japão, Coreia, Luxemburgo, México, Holanda, Nova Zelândia, Noruega, Polônia, Portugal, República Eslovaca, Espanha, Suécia, Suíça, Turquia, Reino Unido e Estados Unidos.

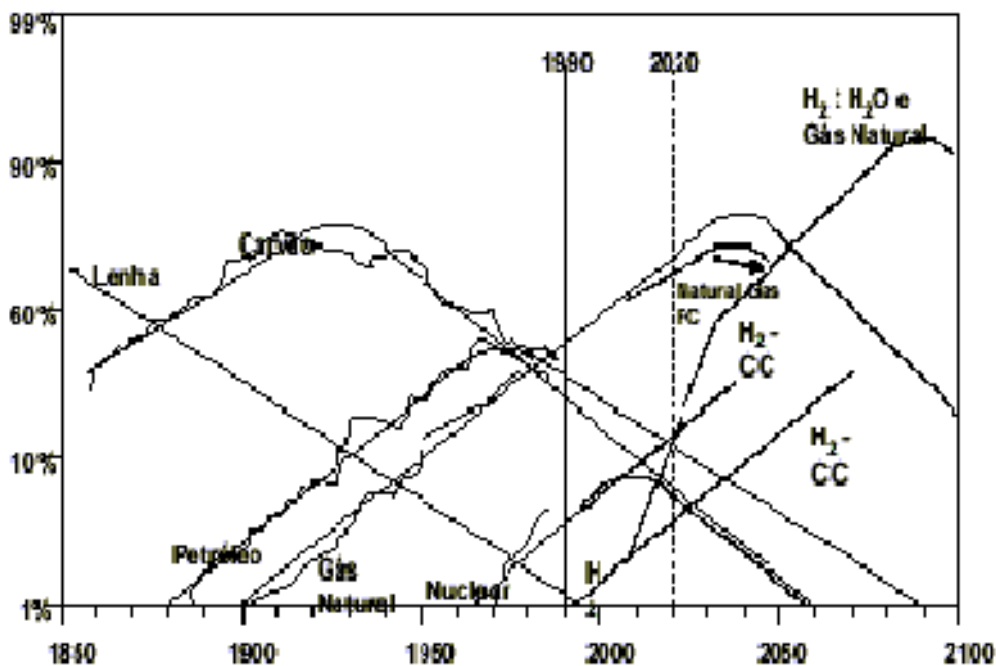
Gráfico 3 - Total do Consumo Energético Final dos países membros da OCDE - 1999 (em porcentagem)



Fonte: International Energy Agency

Obs.: "outras" inclui as energias geotérmica, solar, eólica, térmica, etc.

Gráfico 4 – Modelo de Substituição de Energia Primária



Fonte: LINARDI (2002)

3.3.1 Energia Eólica

O consumo mundial de energia eólica quase quadruplicou nos últimos 5 anos, um crescimento comparável somente à indústria da informática. Os avanços na tecnologia de turbinas eólicas (derivados da indústria aeroespacial) diminuíram o custo desse tipo de energia de US\$ 0,38 por quilowatt/hora no início da década de 80, para US\$ 0,06 hoje. Em alguns locais, a energia gerada pelo vento já é mais barata do que aquela gerada por combustíveis fósseis.

Os recursos aplicados na eletricidade eólica tendem a permanecer na comunidade, proporcionando renda, emprego e receita fiscal (ou seja, incrementando as economias locais). Por exemplo: uma grande turbina eólica, de tecnologia avançada, ocupando ¼ de acre de terra, poderá render ao fazendeiro/pecuarista US\$ 2 mil em *royalties* por ano e proporcionar à comunidade US\$ 100 mil de eletricidade.

Além disso, ao obter eletricidade barata do vento, pode-se utiliza-la para eletrolisar a água, produzindo hidrogênio. A energia excedente pode ser estocada em células de combustível e utilizada em turbinas para gerar eletricidade num momento em que o vento não esteja muito propício para geração eólica. Num futuro próximo (com o avanço da tecnologia de controle do vento e dos veículos movidos às células de combustível), os indivíduos poderão não apenas suprir a maior parte da eletricidade do país, como também a maior parte do hidrogênio para alimentar sua frota de automóveis. O potencial começa a ser descoberto e explorado, e o interesse dos países na geração eólica cresce. Seguem alguns exemplos:

- Nos Estados Unidos, três estados (Dakota do Norte, Kansas e Texas) têm vento suficiente para atender à demanda nacional de eletricidade;
- A China pode duplicar sua capacidade geradora atual apenas com a utilização de seu potencial eólico e pretende desenvolver cerca de 2,5 mil megawatts até 2005;
- A França espera desenvolver 5 mil megawatts de energia eólica até 2010;
- A Argentina anunciou projeto para o desenvolvimento de 3 mil megawatts na Patagônia até 2010;
- A Dinamarca (líder mundial em tecnologia e produção de turbinas eólicas) obtém 15% de sua eletricidade da energia eólica, a Alemanha obtém entre 19% e 75% (dependendo da região) e a Espanha (que iniciou suas atividades em geração eólica há seis anos atrás), 24%. (BROWN, ?)

Desde 1993, o mercado para turbinas de geração de energia eólica cresceu 40% ao ano na Europa (que é a região do mundo onde mais se expande a geração desse tipo de energia). Nos Estados Unidos, a geração eólica estava inicialmente restrita à Califórnia, mas ao longo dos três últimos anos várias fazendas eólicas foram implantadas e incrementaram a capacidade de geração do país de 1.680 para 2.550 megawatts. (BROWN, ?) Pesquisadores estimam que os Estados Unidos têm potencial eólico suficiente para substituir 45 *quads* (montante de energia consumida por 1 milhão de habitantes) de energia primária usada anualmente na geração de eletricidade⁴.

A Associação Européia de Energia Eólica quer que, até 2010, pelo menos 12% do fornecimento primário de energia nos 15 países da União Européia seja originado de fontes renováveis. Nos últimos anos, o fornecimento de energia eólica foi o que mais cresceu e projeções indicam que, em 2005, ela representará 70% do total de energia gerada no mundo, a partir de fontes alternativas.

⁴ Dados do National Renewable Energy Laboratory (EUA)

Atualmente, os diferentes projetos de geração eólica na Europa produzem eletricidade suficiente para atenderem a 5 milhões de pessoas, todavia a meta fixada pela indústria europeia desse tipo de energia para 2010 é de aumento da capacidade instalada para 60 mil megawatts (atendendo a 75 milhões de pessoas). A Alemanha é o país no qual mais se gera energia eólica (6.113 megawatts) e o Reino Unido (país com maior quantidade de vento na Europa) produz 406 megawatts. (FONTE, 2001)

A Vestas (empresa dinamarquesa que fabricava máquinas agrícolas), se reorientou para a energia eólica em 1987 e é, atualmente, a maior fabricante mundial de turbinas eólicas. Estima-se que o investimento global em sistemas de energia eólica vai totalizar US\$ 27 milhões entre 200 e 2005 e que, até 2020, a capacidade geradora de energia eólica no mundo todo possa alcançar 400 gigawatts (o equivalente a 200 usinas de eletricidade grandes). A Alemanha é um ótimo exemplo: está dedicando £ 2 bilhões anualmente para promoção desse tipo de energia e se destaca como líder mundial na tecnologia. (ENERGIA, ?)

A Windforce – empresa lançada por ex-executivos *sênior* de grandes empresas de energia como a Shell e Enron – já está desenvolvendo projetos empreendedores de geração eólica avaliados em US\$ 800 milhões na Grécia e Suécia e pretende expandir, inclusive para o Brasil. O plano da empresa é de financiar e desenvolver fazendas eólicas (de 100 megawatts ou mais) e não operá-las diretamente. Ela já assegurou o que chama de uma “primeira rodada” de financiamento de US\$ 6 milhões da Gerrard Energy Ventures, subsidiária offshore da Old Mutual (grupo de serviço financeiro com sede em Londres, criada justamente para aproveitar as oportunidades das mudanças do mercado energético europeu).

Segundo Shaun Kingsburry (diretor geral da Windforce), a capacidade de geração de energia eólica no mundo era de apenas 18.500 megawatts em 2000 (0,25% do total de fornecimento mundial de energia elétrica), e projeções apontam que, em 2005, a geração eólica possa chegar a 52.000 megawatts, crescimento este impulsionado pela necessidade de produzir mais energia limpa. (ABBOTT, 2001)

3.3.2 Energia Solar⁵

A Royal Dutch/Shell (companhia petrolífera anglo-holandesa) anunciou em 2001 a constituição de uma *joint venture* para o desenvolvimento de uma tecnologia barata de fabricação de células solares com a Akzo Nobel (empresa holandesa do setor de saúde e produtos químicos). O projeto piloto é de produção em massa de células solares flexíveis, que deverão custar uma fração do preço das células tradicionais (silício e vidro).

Também em 2001, a Shell associou-se às companhias Siemens e Eon (ambas alemãs) para constituição de uma empresa para o desenvolvimento de células solares, conquistando uma fatia de aproximadamente 15% do mercado (a British Petroleum, maior fabricante de células solares do mundo, domina 20% do mercado).

A Shell acredita que, por volta de 2060, as células solares serão a maior fonte de geração de eletricidade; no entanto, até que o custo caia, continuarão representando uma parcela muito pequena da produção mundial de energia elétrica.

⁵ As cinco maiores empresas no setor de energia solar são: Siemens (Alemanha), Kyocera e Sharp (Japão), BP (Reino Unido) e Astropower (EUA)

A eletricidade produzida por células solares/fotovoltaicas é a forma mais cara de energia renovável: custa US\$ 0,19 por quilowatt, enquanto a eletricidade gerada por conversão de energia eólica custa, em média, US\$ 0,06. (SHELL, 2001)

No entanto a tecnologia está se tornando economicamente viável e vem atraindo investimentos, como, por exemplo, para um novo fundo da Merrill Lynch para companhias de alta tecnologia que despertaram para o potencial do campo das energias inovadoras (como é o caso da solar e da eólica). Existem, em média, 300 companhias cujo principal objetivo é o de promover soluções energéticas alternativas. Muitas delas já têm sido auxiliadas por subsídios governamentais na tarefa de aumentar a capacidade de geração de eletricidade a partir de fontes renováveis e alternativas (que hoje gira em torno de 3.300 gigawatts). (ENERGIA, ?)

Mais de 350 megawatts em sistemas solares estão atualmente instalados nos Estados Unidos, os quais atendem às necessidades de mais de 350 mil pessoas, dispensando, anualmente, o equivalente a 2,3 milhões de barris de petróleo. O SunLab é a junção de outros dois laboratórios – o National Renewable Energy Laboratory e o Sandia National Laboratories, ambos norte-americanos – que visa desenvolver protótipos comerciais da tecnologia dos refletores e placas receptoras da energia solar. Ele auxiliará o país na tarefa de introduzir a tecnologia nos crescentes mercados doméstico e internacional de energia solar⁶.

3.4 Panorama Nacional das Fontes Alternativas

1.4.1 A energia no Brasil⁷

O Brasil, diferentemente dos países industrializados, apresenta uma matriz energética em que mais de 60% da oferta de energia é proveniente de fontes renováveis, graças à estrutura predominantemente hidráulica do setor elétrico e ao fato de que quase metade da frota de automóveis utiliza o álcool como combustível, que também está presente na gasolina utilizada pela outra metade, numa proporção de 22%.

“É sabido ser o Brasil um dos países que, relativamente, mais usa a biomassa como forma de energia renovável. Isso não ocorre somente em virtude do programa do álcool e do aproveitamento compulsório do bagaço da cana, resíduos das indústrias do açúcar e do álcool, mas também da queima de resíduos das indústrias da serraria, aglomerados e celulose, que utilizam a madeira como matéria-prima. Aproveita-se ainda a tradicional lenha de florestas naturais, regeneradas ou cultivadas (...).” (LEITE, 1997)

Historicamente, até 1975, os investimentos no setor energético brasileiro representaram cerca de 8 a 10% dos investimentos totais. A política de redução da dependência externa e o aumento da intensidade energética passaram a exigir maiores investimentos em energia. O ápice ocorreu em 1984, com os investimentos em energia representando 24% do total. Nos últimos anos os investimentos neste setor voltaram a representar cerca de 8% a 9% dos investimentos totais.

⁶ Dados do National Renewable Energy Laboratory (NREL/EUA)

⁷ Item amplamente baseado em dados do Balanço Energético Nacional (BEN) do ano de 2000.

Como resultado de uma política de redução da dependência externa de energia, principalmente a partir de 1979 – por conta de um grande aumento do preço internacional do petróleo - as importações líquidas deste produto e de seus derivados caíram. Ao final de 1999 os preços internacionais do petróleo voltaram a crescer, chegando a passar de 30 dólares por barril. Este fato, entretanto, foi atenuado pelo grande crescimento da produção interna de petróleo que redundou na redução da dependência externa para 34,6% (598 mil bep/dia). A participação dos derivados de petróleo no consumo final de energia foi de 33% em 1970, passou a 43% em 1979, retrocedeu a 31% em 1985 e, atualmente, encontra-se no patamar de 35%. A produção de gás natural mais que acompanhou a de petróleo - passou de 1,9 a 11,9 bilhões de m³ no período 1979-99.

A hidreletricidade, a lenha e os produtos da cana-de-açúcar contribuem para uma alta participação das fontes renováveis (57,7% da OIE – Oferta Interna de Energia) na matriz energética brasileira. O Programa do Alcool, criado em 1975, representou o esforço de maior êxito no desenvolvimento de fontes renováveis para substituir derivados de petróleo, mediante o uso de álcool adicionado à gasolina e uso de álcool puro (cerca de 3,2 milhões de veículos utilizavam exclusivamente álcool como combustível ao final de 1999).

O carvão mineral, o urânio (usado em apenas uma central nucleoeletrica de 657 MW) e o gás natural são recursos energéticos pouco utilizados na matriz energética brasileira. A partir de 1975, o carvão mineral de uso térmico foi incentivado e, também, contribuiu para a substituição de óleo combustível na indústria, principalmente, na indústria cimenteira. Atualmente, o setor de carvão está privatizado e compete em condições de mercado com os demais energéticos no uso industrial.

Os maiores consumidores de energia final são os setores industrial, de transportes e residencial. As participações relativas dos setores residencial e agropecuário no consumo final de energia vêm decrescendo desde 1970, enquanto que as participações dos setores comercial e industrial tiveram um aumento expressivo, demonstrando o efeito do perfil da economia do país sobre a estrutura de consumo de energia. No caso do setor industrial, o aumento de seu consumo deve-se não apenas ao crescimento da sua produção econômica (efeito de atividade), mas também à introdução de indústrias energo-intensivas no país (efeito de estrutura), tais como as indústrias de alumínio, papel e celulose e siderurgia (MCT, 2001).

**Tabela 1 – Taxa Média Anual de Crescimento do Consumo de Energia no Brasil
(por períodos, em percentagem)**

<i>Fontes</i>	<i>1915/30</i>	<i>1930/46</i>	<i>1946/55</i>	<i>1955/63</i>	<i>1963/72</i>	<i>1973/85</i>	<i>1985/94</i>
Carvão	4,3	-0,2	0,8	-1,0	5,6	11,8	1,1
Hidráulica	7,6	7,8	8,8	8,7	10,5	9,8	3,5
Petróleo	8,8	7,5	17,5	7,5	7,2	3,5	2,2
Total (exclusive lenha e cana-de-açúcar)	5,7	4,3	11,7	7,0	9,0	6,2	2,7
Lenha e cana-de-açúcar	—	—	0,0	5,6	—	—	—
Biomassa ^(a)	—	—	—	—	0,8	4,5	-0,9
Total (inclusive biomassa)	—	—	4,6 ^(b)	6,3 ^(b)	5,2	5,7	1,7

Fonte: Leite, 1997

Observações: (-) referem-se a dados não disponíveis.

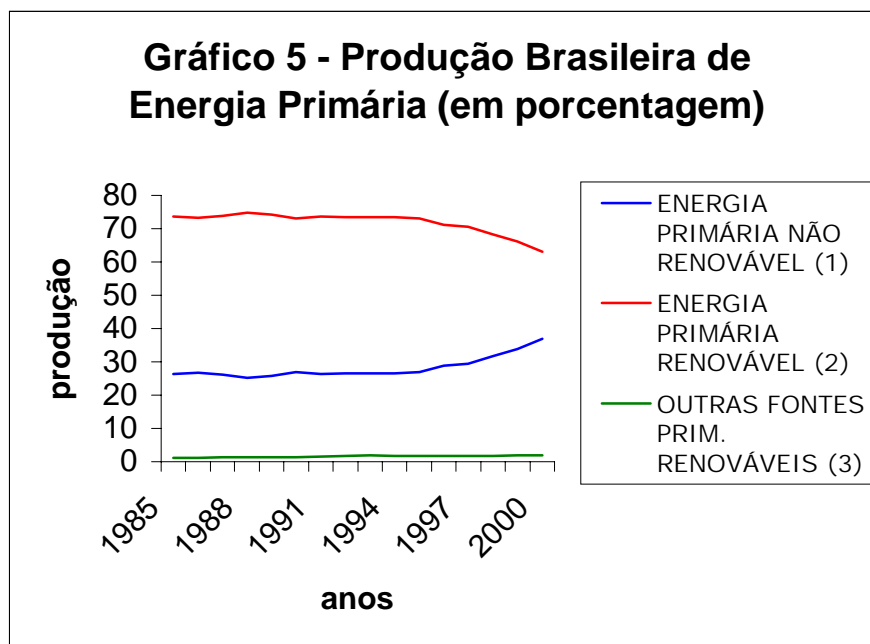
(a) fontes de energia renováveis, como a lenha, força hidráulica, cana-de-açúcar, etc..

(b) referem-se ao Total geral.

**Tabela 2 – Evolução Anual do Consumo Final Energético por Fonte
(em percentagem)**

<i>Fonte</i>	<i>1995</i>	<i>1996</i>	<i>1997</i>	<i>1998</i>	<i>1999</i>
Gás natural	1,93	2,12	2,17	2,18	2,37
Carvão mineral	0,63	0,83	0,94	0,90	1,05
Lenha	6,48	6,09	5,76	5,75	5,81
Bagaço de cana	7,08	7,02	7,39	7,18	7,09
Eletricidade	38,62	38,53	38,57	39,02	39,49
Carvão vegetal	2,41	2,13	1,93	1,70	1,70
Álcool	3,66	3,60	3,27	3,15	3,12
Derivados de petróleo	33,96	34,64	35,22	35,55	35,10

Fonte: BEN, 2000



Fonte: BEN (2000)

Obs.: (1) petróleo, gás natural, carvão vapor, carvão metalúrgico, urânio.

(2) hidráulica, lenha, produtos da cana de açúcar.

(3) solar, eólica, etc.

O Programa Estratégico de Aumento da Oferta de Energia Elétrica, elaborado pelo Ministério de Minas e Energia, compreende o período de 2001 a 2004 e prevê investimentos da ordem de R\$ 43 bilhões, sendo que a maior parte desses recursos – R\$ 34 bilhões – virá da iniciativa privada.

O conjunto de obras inclui a construção de usinas hidrelétricas e termelétricas, linhas de transmissão e subestações. Concluídos esses projetos, a matriz energética brasileira estará mais diversificada, com maior aproveitamento de energia eólica, biomassa, pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) e cogeração.

Até 2004 está prevista a entrada em operação de 24 hidrelétricas, com um total de aproximadamente 10 mil megawatts instalados, que se somarão aos 75 mil megawatts existentes no sistema. No caso das 38 termelétricas que constam do Programa Prioritário de Termelétricas (PPT), o acréscimo de potência será um pouco maior (11.424 megawatts). Outros 28.000 megawatts entrarão no sistema por meio de importação e geração eólica, biomassa e PCHs.

Todas essas mudanças vão provocar uma melhoria na matriz energética brasileira, tornando-a mais confiável sob o aspecto da segurança. Contudo, mesmo com a entrada em vigor de outras formas de energia, a matriz brasileira ainda permanecerá essencialmente hidrelétrica, em razão das características geográficas do país. O percentual de geração de energia hidrelétrica no sistema brasileiro cairá de 89% (incluindo Itaipu) para 73%, e o de termelétrica praticamente dobrará, pulando de 9% para 17%. As demais energias alternativas, como biomassa, PCHs e eólica, passarão de 3% para 5%⁸.

⁸ Dados do Ministério das Minas e Energia.

Tabela 3 – Evolução da Potência Instalada

Tipo de geração	Potência Instalada em 2001 (MW)		Previsão para 2004 (MW)	
Hidrelétrica	61.555	82%	69.448	67%
Termelétrica	6.944	9%	17.024	17%
Nuclear	1.966	3%	1.966	2%
Fontes alternativas ^(*)	2,345	3%	5.645	5%
Subtotal	72.810	92%	94.083	91%
Importação de Itaipu	5.500	7%	6.200	6%
Demais importações	1.150	1%	3.438	3%
Total	79.460	100%	103.721	100%

Fonte: MME

Obs.: (*) eólica, PCH e biomassa

Tabela 4 – Previsão de Ampliação da Oferta

Tipo do Empreendimento (unidades)	Ampliação da Oferta (2001-2004)				
	2001 Realizado	2002	2003	2004	Total
Hidrelétrica (24)	1.397	3.045	2.463	3.122	10.027
Termelétrica (40)	1.354	2.829	4.342	916	9.441
Termelétricas Emergenciais (53)	-	2.153	-	-	2.153
Importação (5)	98	1.188	400	800	2.486
PCHs (29)	66	170	145	-	381
Cogeração (17)	125	162	500	-	787
Eólica (42)	2	261	394	393	1.050
Total (MW)	3.042	9.808	8.244	5.231	26.325
Linhas de Transmissão (26) - km	505	1.037	4.383	3.348	9.273
Subestações (MVA)	-	3.347	4.450	1.050	8.847

Fonte: MME

O PRODEEM – Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios – é um programa do Governo Federal que foi instituído em 1994 e é coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME). Ele tem por objetivo atender às localidades isoladas, não supridas de energia elétrica pela rede convencional, obtendo esta energia de fontes renováveis locais, de modo a promover desenvolvimento social e econômico auto-sustentável. Para a implementação das atividades, foram desenvolvidas parcerias com diversos organismos nacionais e internacionais:

- parcerias de co-financiamento de projetos com o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), a Carl Duisberg Gesellschaft (CDG) e a União Européia (UE);
- parceria de assessoria técnica com a Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional (USAID);
- parceria para a execução do projeto de transição do PRODEEM com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), o mesmo que vem desenvolvendo

auxiliando no projeto de instalação de ônibus movidos a células de combustível na capital paulista;

- parceria de apoio técnico com o CEPEL;
- parcerias de cooperação técnica para a instalação de sistemas fotovoltaicos e de bombeamento com a CHESF e a Eletronorte.

A Comissão de Infra-estrutura do Senado aprovou a criação do Programa de Incentivo à Energias Renováveis (PIER), como forma de incentivar a produção de energias alternativas no país. O Programa estabelece incentivos financeiros para produção de energia termossolar, fotovoltaica e eólica, e para implantação de pequenas centrais hidrelétricas.

Um total de 20% dos recursos será destinado para trabalhos de P&D e demonstração da aplicação dessas energias alternativas; mais de 30% terão como destino os projetos de energia termossolar para aquecimento da água de habitações populares, e outros 30% serão para projetos de energia fotovoltaica, eólica e centrais hidrelétricas, destinados a sistemas isolados de pequeno porte; uma cota de 15% custeará projetos a serem desenvolvidos por cooperativas de produtores, usuários e produtores independentes de energia elétrica em área rural; a cota final de 5% caberá ao Prodeen. (MORAES, 2001)

A atuação do BNDES no setor de energia tem por objetivo propiciar o aumento da oferta, atrair novos investidores e consumidores. Para isso, ele possui programas de apoio financeiro a investimentos em energia, conservação energética e fontes alternativas⁹. Além disso, o Banco disponibilizou, de janeiro a abril deste ano, R\$ 583 milhões para projetos em energia elétrica, sendo a maior parte deles para as hidrelétricas (depois para as termelétricas e, em terceiro, para cogeração de gás natural e biomassa). (LOBO, 2002)

O novo modelo do setor elétrico brasileiro, segundo o ministro Rodolpho Tourinho, tem como grande novidade o tema da cogeração. Os conceitos e princípios adotados para construir esse novo modelo indicam que seria necessário desenvolver novas fontes de geração e construir estratégias eficientes para um consumo mais racional de energia.

As indústrias ou empresas deixariam de ser consumidores e se transformariam em geradores, podendo inclusive comercializar a energia que exceder seu consumo. Ao se tornarem independentes, as empresas se fortaleceriam e incentivariam a formação de um mercado competitivo de energia no país.

Na avaliação de Luiz Otávio Koblitz (presidente da Koblitz, empresa pernambucana líder nacional em projetos de cogeração de energia), a geração de energia via sistemas alternativos tem todas as condições para se expandir no Brasil nos próximos anos. O potencial de geração alternativa corresponde a 80% da potência instalada no país (74 mil megawatts) e a necessidade de novos investimentos em geração associada às dificuldades de instalação das térmicas a gás natural (devido ao custo do gás) vão contribuir para o crescimento de outros sistemas. (HERRISON, 2002)

A emissão de gases poluentes na atmosfera cresceu 15% no Brasil desde 1992, data de realização da Eco92 (conferência sobre o meio ambiente e desenvolvimento sustentável realizada no Rio de Janeiro). Segundo Luiz Pinguelli Rosa (professor da Universidade Federal do Rio de Janeiro), a tendência é de aumento da emissão, devido, principalmente, ao programa de geração de energia térmica a gás – criado em 2001 pelo governo federal, com caráter emergencial –, às queimadas nas florestas e ao aumento nos rebanhos bovinos (que liberam gás metano na atmosfera).

⁹ Informações adicionais no artigo “Programas para apoio financeiro a investimentos em energia”, disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/produtos/financiamento/energia.asp>>

O professor ainda aponta o fato do Brasil estar seguindo a tendência europeia de investir em geração a gás, o que seria um “atraso” por, pelo menos, duas razões. Primeiramente, porque na Europa o gás substitui uma fonte ainda mais poluente (o carvão), enquanto no Brasil ele viria a substituir uma matriz limpa (baseada nas hidrelétricas). Segundo, porque a Europa começa a dar sinais de que passará a adotar tecnologias limpas (como a geração solar e eólica) num futuro próximo. (BATISTA, 2002a)

Criado no Protocolo de Kyoto (documento assinado em uma conferência da ONU realizada no Japão em 1997), o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo prega que, a energia gerada sem a emissão de poluentes origina “créditos ambientais”, ou “créditos de carbono”, os quais podem ser negociados entre 187 países (a empresa que não polui pode comercializar seus créditos com aquelas que têm dificuldade em reduzir suas emissões). O Mecanismo determina a redução gradual das emissões de poluentes até 2012, quando as emissões deverão ter caído aos níveis de 1990. (BITTAR, 2002)

Os créditos de carbono podem parecer algo ainda distante de acontecer, mas o investimento em qualidade ambiental já se transformou em um meio de tornar uma empresa mais competitiva. Segundo Fernando Almeida (presidente executivo do Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável), o crescimento da preocupação com o meio ambiente nos últimos dez anos tem sido liderado pelo setor privado: hoje já existem quase 600 companhias com o certificado ISO 14001 (que comprova processos produtivos adequados). (FALEIROS, 2002)

3.4.2 O Bagaço de Cana-de-açúcar

O Programa Brasileiro do Álcool Combustível nasceu em 1975 como uma solução para enfrentar o primeiro choque do petróleo (1973). O combustível demonstrou três vantagens em relação ao uso de derivados de petróleo: (i) uma ligada ao desenvolvimento tecnológico e às estratégias de abastecimento; (ii) outra relacionada ao desempenho da economia e ao nível de emprego; (iii) outra de ordem ambiental.

O esforço tecnológico desenvolvido para o álcool beneficiou também a produção do açúcar brasileiro e, paralelamente a isso, disseminou-se a técnica de queima do bagaço para produção de energia (95% das usinas do estado de São Paulo são auto-suficientes em eletricidade, e parte dessa energia já é, inclusive, direcionada para a rede elétrica estadual).

Espera-se que, dentro de dez anos, com a incorporação de novas tecnologias, as usinas paulistas possam fornecer até 3.000 megawatts de energia. Para viabilizar o Programa, o governo instituiu parceria com o setor privado e, hoje, ele é a maior contribuição mundial em combustíveis líquidos a partir da biomassa energética (UNIÃO, 2001?).

Estima-se que cada megawatt-hora gerado com o uso da biomassa evita a emissão de 110 quilogramas de dióxido de carbono (CO₂) que seriam produzidos pela geração com gás natural. (BITTAR, 2002).

As garantias previstas no Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) – instituído pela lei 10.438 – devem estimular um aumento no número de projetos e emprego de tecnologias mais avançadas na cogeração com a queima do bagaço da cana. Pela lei, a Eletrobrás deve comprar, em até 24 meses, 1.100 megawatts de cada uma das três fontes alternativas: biomassa (representada pelo bagaço), eólica e pequenas centrais hidrelétricas. A companhia deverá manter suas compras por quinze anos, pagando valor mínimo equivalente a 80% da tarifa média de fornecimento ao

consumidor. Em três anos, as três fontes terão que responder por 10% do total consumido no país.

Se for levada em consideração a média de preços de 2001 (R\$ 122 por megawatt-hora), o valor a ser pago às usinas chegaria a R\$ 97,60, bem superior à média atualmente recebida (R\$ 67,00 por megawatt-hora). Para a maioria das usinas, o custo da energia gerada a partir do bagaço gira em torno de US\$ 40,00 por megawatt-hora, enquanto o custo para as hidrelétricas é de US\$ 20,00.

Segundo Onório Kitayama (assessor de energia da União da Agroindústria Canavieira de São Paulo), a lei garante as condições mínimas necessárias até que o setor se torne competitivo. Com preços maiores, todos são atraídos a investir em tecnologias avançadas, o retorno fica mais “interessante” e a produção é estimulada. (RIVERAS, 2002b)

O BNDES – também apostando no grande potencial da cogeração – tornou disponível R\$ 190 milhões para sete operações já aprovadas de cogeração de energia elétrica a partir do bagaço de cana-de-açúcar. Outros 23 projetos estão em análise, abarcando um total de R\$ 573 milhões em financiamento, os quais gerariam, juntamente com aqueles já aprovados, 1,14 mil megawatts. (RIVERAS, 2002a)

A Fiesp espera que, em menos de dois anos, a cogeração a partir do bagaço da cana possa chegar a agregar dois mil megawatts ao sistema energético do Brasil. Isso seria suficiente para abastecer 5,4 milhões de residências. A Fundação também pretende defender a criação, junto à Câmara de Gestão da Crise Energética (CGE), de um programa específico para a biomassa (nos moldes daquele criado para geração eólica), visando reduzir pela metade os 46% de importação de energia pelo Estado de São Paulo. (ROCKMAN, 2001)

No âmbito das universidades também existem iniciativas que apostam no sucesso da biomassa e, mais especificamente, do bagaço de cana. Os exemplos que seguem são de projetos financiados pela FAPESP:

- O professor Isaías Carvalho Macedo (assessor para a área de energia da Reitoria da Unicamp) estuda um novo processo de gaseificação de biomassa e uso de turbina a gás (*Biomass Integrated Gaseification/Gas Turbine*), que dobrará o rendimento energético atual do bagaço de cana (que hoje gira em torno de 20%) e renderá mais de 1.500 megawatts de energia elétrica para as usinas;
- O Laboratório de Projetos de Máquinas Agrícolas da Faculdade de Engenharia da Unicamp (coordenado pelo professor Oscar Antônio Braunbeck) desenvolve tecnologia para mecanizar a colheita de cana, de modo a aproveitar 25% da palha – hoje descartada pela colheita manual – de modo a gerar um potencial extra de 1.000 megawatts. (OLIVEIRA & VASCONCELOS, 2001)

O Brasil é uma das únicas nações do planeta com efetivas condições de substituir, pelo álcool da cana-de-açúcar e óleos vegetais, 100% da gasolina e diesel que consumimos e, para tanto, não seria necessária tecnologia externa, máquinas importadas, capitais ou recursos humanos de outros países. (BERTELLI, ?)

3.4.3 A Energia Eólica

Apesar de existirem trabalhos e pesquisas científicas desde a década de 70, somente em 1992 a geração eólica no Brasil foi iniciada de fato, com a instalação de uma turbina de 75 quilowatts em Fernando de Noronha. Hoje, o total instalado no país soma 20,3 megawatts.

O trabalho do governo para garantir o incentivo à energia eólica no país está se dando em duas frentes. A primeira, já terminada, consistiu na elaboração do primeiro Atlas Eólico do Brasil (desenvolvido pelo Cepel, empresa subsidiária do grupo Eletrobrás). De acordo com o atlas, todo o nordeste tem ventos com velocidade de 7,5 m/s. Na Alemanha (país onde a fonte é amplamente utilizada), a operação de geração começa quando os ventos atingem uma velocidade média de 4,5 m/s. (LOBO, 2001)

Outro passo foi a criação, pela Câmara de Gestão da Crise Energética, de facilidades para tentar aumentar a oferta de energia eólica até 2003. A Eletrobrás garantirá a compra por um período mínimo de 15 anos e pagará de 10% a 20% a mais pela energia para usinas que entrarem em operação de dezembro de 2001 a dezembro de 2002. Denominado Programa Emergencial de Geração Eólica (e coordenado pelo Ministério das Minas e Energia), essa ação pretende aumentar de 50 para 1.050 megawatts a produção desse tipo de energia alternativa. A implementação das usinas eólicas será viabilizada por acordos e convênios entre instituições públicas e privadas.

Um fator que aumenta o interesse das empresas por esse tipo de energia é a possibilidade de criação dos “certificados verdes”, idealizados pelo Protocolo de Kyoto para compensar as fontes poluidoras dos países ricos. (PRATES & OLIVEIRA, 2001a). Maurício Tolmasquim (professor da Universidade Federal do Rio de Janeiro) explica que o Brasil tem capacidade para gerar cerca de 143 mil megawatts em energia eólica, mas o programa do governo prevê a geração de apenas 1050 megawatts. A taxa de retorno esperada é de 12% ao ano, podendo chegar a 18% se o governo financiar. (BATISTA, 2002a)

O mercado estima já estarem instaladas no país mais de dez empresas de porte com interesse na área, as quais deverão dividir 29 mil megawatts de potência (capacidade preliminar estimada pelo Cepel, sendo a costa do nordeste a região de melhor potencial).

A Siif (braço da francesa EDF no Brasil) deverá garantir, praticamente sozinha, o cumprimento da meta do governo de instalação de 1.050 megawatts até 2003. A empresa mostra interesse em instalar unidades de geração no Ceará, Rio Grande do Norte e Rio de Janeiro. O investimento para esses projetos é de US\$ 1 bilhão. (LOBO, 2001) A companhia é a líder do consórcio que estuda o maior projeto de implantação de usina eólica no país: a ser montada no Rio Grande do Norte, a usina prevê gerar 200 megawatts. (HERRISSON, 2002)

Outra interessada nesse mercado é a *trading* japonesa Marubeni, que tem reservado cerca de US\$ 600 milhões para investimentos até 2005 em parques em Campos e Arraial do Cabo (RJ), Espírito Santo e Macau (RN). (LOBO, 2001)

Segundo Michael Rogowski (presidente da Confederação das Indústrias da Alemanha), grandes distribuidoras e geradoras de eletricidade alemãs começam a procurar oportunidade de negócios no Brasil, como a RWE (a maior da Alemanha), a EON e a ENBW.

As empresas alemãs poderiam ajudar o Brasil a diversificar sua matriz energética (hoje predominantemente hidráulica). Há interesse na área de termelétricas: a Steag tem a intenção de construir uma termelétrica a carvão siderúrgico no Rio Grande do Sul, no valor de US\$ 800 milhões. Surpreendentemente, também há grande interesse na retomada das obras da esquecida usina nuclear de Angra 3, principalmente por parte da Siemens, que forneceu os equipamentos para as duas primeiras usinas nucleares do Brasil. A empresa está participando de uma *joint venture* com a Voith (Voith Siemens) para produção de equipamentos para hidrelétricas.

No entanto, os alemães estão entrando no Brasil via energia eólica. A Wobben participa da construção de um parque gerador no nordeste. Os tubos que sustentarão as

hélices de captação do vento serão fabricados pela Voith Siemens. (COIMBRA; FALEIROS & MOREIRA, 2002)

A Petrobrás acredita no potencial das fontes de energia renováveis e, através do Cenpes (Centro de Pesquisa da Petrobrás), testa a viabilidade de várias tecnologias de geração. A estatal está investindo cerca de US\$ 25 milhões por ano apenas em estudos de viabilidade (sendo que um dos projetos mais ambiciosos é o do biodiesel) e, para 2002, ela tem planos de construir três plantas para produção de energia eólica nas regiões sudeste, nordeste e sul, sendo de US\$ 3 milhões o investimento estimado para cada uma das plantas de 3 megawatts. (BATISTA, 2002b)

A região do Vale do Rio São Francisco começou a atrair a atenção de investidores nacionais e internacionais. Um dos empreendimentos mais importantes será a inauguração de uma termelétrica da Cisa Trading em Petrolina, a qual faz parte do programa emergencial de térmicas do governo, que custou US\$ 96 milhões e vai gerar 128 megawatts. Outra iniciativa veio da empresa paulista Cordec do Brasil, que está realizando – a pedidos da suíça MEK e da alemã AN Wind Energie – medições de vento na região para implantação de geradores de energia eólica. Os estudos devem ser concluídos no segundo semestre de 2002. (VASCONCELLOS, 2002)

3.4.4 A Energia Solar¹⁰

O primeiro sistema fotovoltaico interligado à rede pública no Brasil foi projetado e montado pela Universidade Federal de Santa Catarina, com o objetivo de coleta e avaliação de dados. O sistema tem potência de 2 quilowatts – sua produção equivale ao consumo de uma família de quatro pessoas – e funciona sem problemas desde 1997.

Outra experiência inovadora acontece em Ipatinga (Minas Gerais), que utiliza a energia solar na iluminação pública. O projeto experimental foi instalado num trecho de 400 metros, a um custo de R\$ 51 mil.

Desde 1996, cerca de 200 famílias do pólo turístico da Ilha do Mel (Paraná) utilizam equipamentos residenciais de aquecimento de água, os quais foram distribuídos pela Companhia Paranaense de Energia Elétrica (Copel), no intuito de complementar o fornecimento de energia convencional durante as férias, feriados e fins de semana.

No âmbito nacional, a ampliação do emprego de células fotovoltaicas fabricadas com material mais barato para o aproveitamento da energia solar é tema do estudo do Laboratório de Fotoquímica Inorgânica e Conversão de Energia do Instituto de Química da USP. Sob a coordenação da professora Neyde Yukie Murakami Iha, a equipe do projeto desenvolveu uma célula solar fotoeletroquímica que poderá custar a metade das células existentes no mercado.

Denominada “célula solar sensibilizada por corantes” (ou *dye-cell*), é uma alternativa estudada por vários países, embora ainda não esteja no mercado. Uma das características atraentes dessa célula é a transparência, que permite sua instalação no lugar de janelas. Assim, grandes superfícies com *dye-cells* captam os raios solares e os transformam em energia elétrica para uso no próprio local onde estão instaladas. Existem estudos indicando a eficiência teórica máxima em 27% para as *dye-cells*, mas atualmente, elas alcançam um índice de 11% de eficiência na conversão de energia solar em elétrica (enquanto as células tradicionais rendem de 14% a 16%).

¹⁰ As experiências destacadas neste item e algumas outras sobre produção energética a partir de fontes alternativas estão disponíveis no sítio eletrônico do Ministério das Minas e Energia no endereço: <<http://www.energiabrasil.gov.br>>

Outra célula com características semelhantes está em desenvolvimento no Laboratório de Polímeros Condutores e Reciclagem, do Instituto de Química da Unicamp. Coordenado pelo professor Marco Aurélio de Paoli, esse estudo, que vem sendo desenvolvido desde 1996, resultou numa célula eletroquímica com eletrólito sólido e seco, com índice de eficiência de 6%. Agora, o professor prepara uma célula usando um substrato de plástico flexível, que apresenta rendimento de 2% de eficiência e custo muito inferior ao das células que estão no mercado. (OLIVEIRA & VASCONCELOS, 2001)

Ambos os projetos acima descritos estão sendo financiados pela FAPESP, no intuito de trazer novas perspectivas para os meios alternativos de produção de energia elétrica.

4 A ENERGIA DO HIDROGÊNIO E A TECNOLOGIA DAS CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL¹¹

4.1 Histórico e características¹²

Células de combustível são sistemas eletroquímicos que convertem a energia química de um combustível (H_2) e de um oxidante (O_2 do ar) diretamente em energia elétrica, tendo como produto da reação basicamente o vapor d'água.

O início das pesquisas ocorreu a mais de 150 anos, por Sir William Grove. Em 1839, ele observou que quando o hidrogênio e o oxigênio eram supridos separadamente a dois eletrodos de platina imersos em solução de ácido sulfúrico, uma corrente elétrica era produzida em um circuito elétrico externo conectado aos eletrodos.

Em consequência do grande sucesso dos geradores eletromecânicos, o interesse pelos eletroquímicos ficou em recesso até a Segunda Guerra Mundial, quando se procurou desenvolver fontes de energia para a tecnologia de satélites. Enquanto a maioria dos trabalhos consideravam a utilização do carvão como combustível, Bauer, em 1933, antecipou o que viria a ser o caminho mais eficiente: a utilização dos gases H_2 e O_2 em uma célula operando em meio alcalino.

Os anos 50 e 60 foram os que proporcionaram melhores condições ao desenvolvimento de novas tecnologias dentro dos programas espaciais dos países desenvolvidos (projeto Apollo, por exemplo), e os estudos das células de combustível foram especialmente beneficiados.

Na década de 70, um impulso maior foi dado com o agravamento do problema energético mundial, em particular a crise do petróleo, a qual mobilizou a comunidade internacional, e, posteriormente, a preocupação com os níveis alarmantes de poluição ambiental trouxe à tona a conversão eletroquímica de energia. Com isso, as células de combustível começaram a ser estudadas e vistas, por suas vantagens e características, como um sistema viável para aplicações em larga escala.

O hidrogênio utilizado para operação das células pode ser obtido a partir da eletrólise da água, da reforma a vapor de hidrocarbonetos leves (cadeias carbônicas situadas entre o metano e a nafta), gaseificação de resíduos agrícolas, dissociação do metanol, etanol e do gás natural.

Em regiões onde não existe rede elétrica, é possível produzir energia através de células fotovoltaicas, energia eólica, pequenas centrais elétricas (PCH's), ondas do mar e uma infinidade de outras fontes não constantes. A energia obtida por esses meios e aplicada em eletrolizadores produziria hidrogênio de alta pureza que, uma vez armazenado, poderia ser convertido em energia elétrica através das células de forma constante. Esses processos possibilitam a obtenção de alta eficiência, ou seja, um melhor aproveitamento do combustível, mesmo e especialmente em baixas temperaturas. Na prática, obtêm-se eficiência de 55% a 60% para o sistema de célula de combustível global. (ETT, 2000)

As vantagens desse sistema são:

- Elevada eficiência;
- Modularidade (podem ser construídas em várias dimensões e configurações);

¹¹ De acordo com ENERGIA (?), as 3 maiores fabricantes mundiais de usinas de energias tradicionais (General Electric, Siemens e Alstom) estão comprometidas com o desenvolvimento da tecnologia das células, mas o setor ainda se encontra dominado por companhias menores, que foram pioneiras. São elas: a canadense Ballard e as norte-americanas Plug Power e H-Power.

¹² Item baseado em CAIRES

- Funcionamento limpo e silencioso;
- Rapidez de resposta de carga;
- Flexibilidade quanto ao uso de combustíveis;
- Grande capacidade energética (gera energia durante a locomoção do veículo);
- Fácil manutenção (não exige a grande quantidade de baterias dos carros elétricos).
São variadas as aplicações dessa tecnologia:
 - Geração de eletricidade em pequena e média escala;
 - Geração de eletricidade em estações remotas e de difícil acesso;
 - Consumidores urbanos (como complemento de geração, *back-up* ou *no-break*);
 - Aplicações em transportes (veículos elétricos híbridos ou como fonte única de energia);
 - Aplicações espaciais;
 - Telecomunicações.

Tabela 5 – Tipos de células de combustível, temperaturas de operação e aplicações potenciais

Tipo de célula de combustível	Temperatura de operação	Aplicações potenciais
Alcalina (AFC)	50 – 200°C	Transporte, espacial
Eletrólito polimérico (PEMFC)	50 – 80°C	Transporte, espacial e estacionária
Metanol direto (DMFC)	60 – 130°C	Transporte, geração distribuída
Ácido fosfórico (PAFC)	190 – 210°C	Estacionária e cogeração
Carbonato fundido (MCFC)	630 – 650°C	Estacionária e cogeração
Óxido sólido (SOFC)	700 – 1000°C	Estacionária e cogeração

Fonte: JANNUZZI (2002)

Para expandir a oferta no mercado, é preciso considerar alguns obstáculos tecnológicos: a redução da quantidade de platina como elemento catalisador, o transporte e armazenamento do gás combustível (hidrogênio), alternativas para maior resistência à temperatura de operação da célula e o desenvolvimento de novos materiais para as placas separadoras (o grafite é o material mais utilizado). (A ASCENSÃO, ?)

O melhor combustível para as células é o hidrogênio, que pode ser produzido por uma variedade de combustíveis fósseis (carvão, petróleo, gás natural), renováveis (biomassa), e a partir de eletricidade (por eletrólise da água, usando energias renováveis como a eólica, fotovoltaica, hidráulica, ou outras).

Pode-se afirmar que os estágios de desenvolvimento tecnológico de cada tipo de célula são bastante distintos. As células de combustível alcalinas estão sendo abandonadas por apresentarem problemas de durabilidade ou sensibilidade a contaminantes. Diferentemente disso, as células de eletrólito polimérico, óxido sólido e carbonato fundido estão em desenvolvimento acelerado, mas ainda são protótipos comercialmente não-viáveis. As células de ácido fosfórico já estão disponíveis comercialmente, apesar de seu elevado custo. (JANNUZZI, 2002)

Gráfico 6 – Mercado potencial para penetração das células de combustível



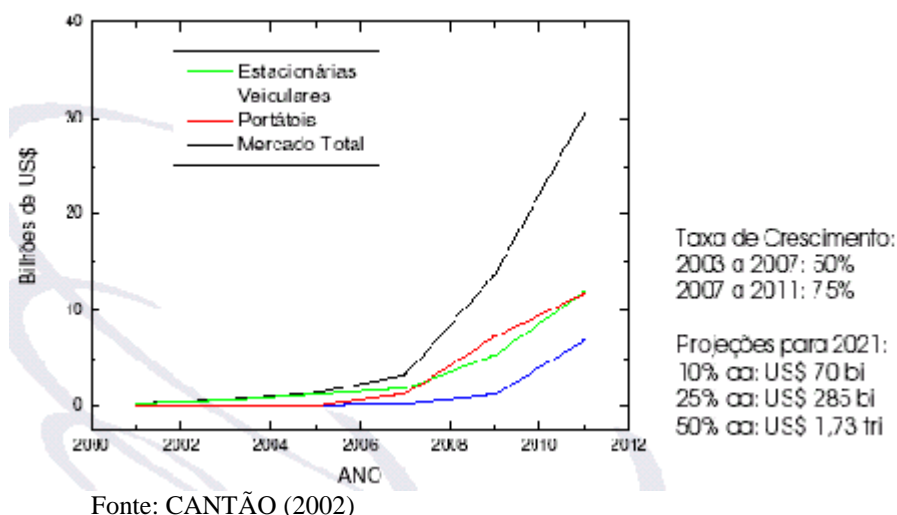
Fonte: CONTADINI (2002)

Gráfico 7 - Nichos potenciais de desenvolvimento da tecnologia das células de combustível



Fonte: CONTADINI (2002)

Gráfico 8 – Mercado global para as células de combustível



4.2 Panorama das iniciativas internacionais em células de combustível

4.2.1 A tecnologia do hidrogênio aplicada à indústria automobilística internacional

Uma grande cooperação foi formada para o desenvolvimento do importante projeto de colocar no mercado um automóvel movido a célula de combustível. A BMW é exceção, e trabalha sozinha no desenvolvimento do seu automóvel. Dessa cooperativa também fazem parte algumas das principais distribuidoras de petróleo.

Os fabricantes vêm trabalhando em tecnologias eletrônicas para os sistemas de freios e direção, mas também desenvolveram sistemas de propulsão com células de combustível, que chegarão perto do ponto em que a produção em massa será economicamente viável, e levará os novos sistemas a concorrer com os motores a gasolina e diesel. Em estudo recente, o Boston Consulting Group previu que as células de combustível acionarão um em cada cinco carros produzidos em 2020.

O ponto importante a respeito dessas “revoluções técnicas” é que tornarão obsoletas fábricas antigas. Será uma mudança drástica para a indústria automobilística. Com sua atitude conservadora, o setor tem mostrado a tendência de manter abertas velhas fábricas (por temerem a hostilidade dos sindicatos e dos políticos, tanto nos Estados Unidos, como na Europa). Com esses altos custos fixos, faz sentido, no curto prazo, produzir os velhos carros na margem, pelo dinheiro extra que proporcionam. A revolução técnica iminente deverá facilitar o rompimento do modelo antigo e liberar o nascimento de uma nova indústria. (AS INCRÍVEIS, 2002)

Os esforços das montadoras receberam um grande impulso dos Estados Unidos, um dos países que mais consomem gasolina em todo o mundo. Em 9 de janeiro de 2002 o país anunciou a ajuda, através de subsídios (na ordem de US\$ 130 milhões ao ano), para o desenvolvimento de automóveis movidos a célula de combustível. Essa mudança de política é interpretada por alguns como uma forma de fugir dos padrões rigorosos de emissão, mas ela pode estimular o desenvolvimento dessa tecnologia e a remodelação dos postos de abastecimento de combustíveis.

Até agora, parece que a maioria das montadoras não tem pressa, mas a decisão norte-americana a respeito das células de combustível pode dar um novo impulso à tecnologia. Apesar de já existirem alguns automóveis híbridos no Japão (impulsionados por uma combinação de gasolina e motor elétrico), a verdadeira aposta dos europeus é nas células de combustível. (TIERNEY & ZAMMERT, 2002)

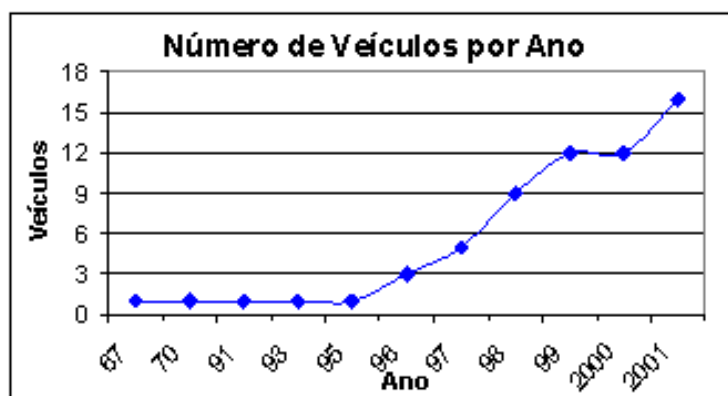
No encontro de Johannesburgo (Rio+10, realizado em novembro de 2002) o setor automobilístico divulgou sua reestruturação face ao clamor mundial pelo desenvolvimento sustentável. Um bom exemplo é o projeto "Sustainable Mobility Initiative", contratado a uma universidade por onze empresas do setor (Volkswagem, Shell, GM, Toyota e Ford, dentre outras), que inclui todos os ângulos do transporte de pessoas a cargas, em aglomerações urbanas, e o transporte interurbano. Outra iniciativa foi da BMW, que montou uma exposição para mostrar seu projeto de carro limpo (sem poluição), movido a hidrogênio. (ALMEIDA, 2002)

“Antigamente este carro (movido à célula de combustível) era vinte, trinta vezes mais caro, hoje é apenas o dobro do preço de um normal. Por esse e outros motivos é que acredito que essa será a principal tecnologia do futuro”, diz Patrício Rodolfo, do Lactec. (RESENDE, 2002)

O melhor modo de incentivar o desenvolvimento de novos combustíveis para meios de transporte seria através de uma taxa que refletisse o risco da "segurança energética" (bem como os perigos à saúde e ao meio ambiente) representado pela queima do petróleo. A Europa reconhece esses riscos e, ao longo da década passada, passou a transferir a carga tributária incidente sobre a renda para, por exemplo, as emissões de gás carbônico. (DEPENDÊNCIA, 2001)

À falta de maiores incentivos de mercado para aquisição ou fabricação de veículos de menor consumo, talvez seja necessária uma intervenção estatal. Uma lei aprovada nos EUA para o setor de energia concede créditos tributários para quem adquirir veículos híbridos (que combinam motores a gasolina com motores elétricos e podem reduzir o consumo de combustível em até 40%). São incentivos como este que poderiam proporcionar o tão necessário estímulo ao nascente mercado de carros híbridos e, futuramente, aqueles movidos por células de combustível. (O QUE, 2001)

Gráfico 9 – Crescimento anual do número de veículos com célula de combustível



Fonte: DUARTE (2002)

Obs.: através deste gráfico é possível notar que, a partir de 1996 (4 anos após a Conferência Rio 92), o interesse por esta tecnologia – considerada limpa – aumenta significativamente.

4.2.2 Iniciativas e atores europeus¹³

Em 2001, a União Européia criou o European Research Act (ERA) para viabilizar redes de pesquisa em hidrogênio e células de combustível, com investimentos em P&D na ordem de 200 milhões de euros. (JORGE, 2002)

Os países membros estão se dedicando à pesquisa e desenvolvimento das células de combustível devido ao importante papel que elas desempenharão no futuro em todos os setores relacionados com a produção e consumo de energia, e também devido ao futuro panorama energético com importante presença de fontes energéticas renováveis como vetores energéticos. A tecnologia das células de combustível é a chave para a manutenção de economias competitivas pela União Européia.

As principais metas a serem atingidas são a redução dos custos de produção e uso de sistemas de células de combustível e dos componentes relacionados, e a demonstração da disponibilidade, viabilidade e durabilidade das células.

As áreas priorizadas pelas iniciativas europeias são:

- células de alta temperatura para produção descentralizada de eletricidade e cogeração em edifícios;
- células de baixa temperatura para transporte, cogeração e produção descentralizada de eletricidade;
- confiabilidade;
- componentes e combustíveis;
- captura e uso do CO₂;

¹³ Subitem baseado na apresentação do Dr. Eduardo Manuel López González (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial / Espanha) durante o I Workshop Internacional sobre Células a Combustível (Campinas, 31 de outubro de 2002)

- aspectos sócio-econômicos.

As linhas de trabalho atualmente financiadas pela União Européia incluem:

- redução do custo de componentes e sistemas de células PEM e metanol direto;
- desenvolvimento de sistemas de produção, armazenamento e distribuição de hidrogênio;
- cogeração em aplicações estacionárias domésticas e comerciais (células de 10 a 100 kw);
- células de óxido sólido de alta temperatura de 100 kw a 1 mw para geração de eletricidade (configurações híbridas com turbinas de gás e cogeração em indústrias);
- simplificação do sistema;
- geração portátil de eletricidade na gama de 500 w a 3 kw;
- desenvolvimento de sistemas de células de combustível em veículos (ônibus, taxi, furgões), ferrovias, barcos, submarinos;
- seleção de combustíveis: hidrogênio a longo prazo, metanol, gás natural, gasolina, diesel, etc;
- desenvolvimento de sistemas multi-combustíveis.

As principais empresas européias relacionadas com as diferentes tecnologias das células de combustível estão relacionadas a seguir:

a) PEM para aplicação estacionária

- Gaz de France: acordos com H-Power para testes com micro células de hidrogênio;
- Hamburg Gás Consulting / European Fuel Cell GmbH: instalação de unidades de 1,5 e 8 kw;
- Alstom: licenciada da Ballard Power System; testes de campo com unidade de 250 kw em Berlim;
- Nuvera Fuel Cells Europe: desenvolvimento de uma unidade de 5 kw alimentada por gás natural; possui muitos projetos a nível mundial em aplicações móveis e estacionárias;
- NedStack b.v.: P&D da Azko-Nobel (desenvolvimento de stacks e sistemas);
- Plug Power Holland b.v.: divisão européia da Plug Power norte-americana; possui acordos com a Vaillant para o desenvolvimento e distribuição de unidades de 4,6 e 7 kw;
- Buderus: acordo com UTC para fabricação e distribuição de células;
- Viessman: desenvolvimento de unidades de 2 kw em colaboração com a SGL Carbon, ZSW Ulm, Fraunhofer ISE e outros.

b) PEM para aplicação móvel

- PSA Peugeot-Citröen: veículos de demonstração com células de combustível da H-Power e Nuvera;
- DaimlerChrysler: diversos veículos em colaboração com Ballard (NECAR, F-Cell, NEBUS, etc);
- GM/Opel: desenvolvimento de células de combustível para aplicações móveis e estacionárias (Hy-wire, HydroGen3, etc);
- VW: projeto em colaboração com a Volvo, Johnson Matthey e outros (a célula é fornecida pela Ballard);
- Nuvera Fuel Cells UEurope: fornecedor de células para diversos projetos e fabricantes (Renault, Neoplan, PSA, etc);

- Siemens: desenvolvimento de células para ônibus e submarinos (MAN, marinhas alemã e italiana, etc).

c) Carbonato Fundido para aplicação estacionária

- MTU / DaimlerChrysler, em colaboração com Fuel Cell Energy: desenvolvimento de sistemas de células de combustível de carbonato fundido de 250 kw (2 unidades em operação e cerca de 15 em carteira);
- Ansaldo Fuel Cells S.p.A, em colaboração com diversas empresas espanholas: unidades de 100 kw testadas na Espanha e Itália; desenvolvimento de unidades de 500 kw.

d) Óxido sólido para aplicação estacionária

- Siemens-Westinghouse: unidades de 100 e 220 kw com turbina de gás; futura instalação de demonstração de 1 mw; unidades comerciais de 250 kw a partir de 2003.
- Sulzer-Hexis: unidades de cogeração de 1 kw; 35 unidades são testadas atualmente em toda Europa.

e) Outras empresas européias relacionadas com as células a combustível

- BMW: uso de células de óxido sólido em veículos como unidades auxiliares de potência;
- Haldor Topsoe: reformadores e células de óxido sólido;
- Rolls Royce: células de óxido sólido;
- Johnson Matthey: reformadores, catalisadores e MEAs;
- Próton Motor GmbH: fabricante de células PEM refrigeradas por ar;
- Cellkraft: fabricante de células PEM;
- OMG: catalisadores e MEAs;
- Smart Fuel Cell: fabricante de células de metanol direto;
- Wellman CJB: reformadores;
- Numerosos institutos de P&D: Fraunhofer, ECN, CEA, ZSW, Imperial College, etc.

4.2.3 Iniciativas e atores da América do Norte¹⁴

Hoje, existem mais de mil empresas envolvidas com o desenvolvimento e produção de algum componente específico para a indústria de células de combustível. O número de organizações envolvidas com a tecnologia das células PEM chega a 80 nos EUA e 10 no Canadá. Estima-se investimentos em P&D da tecnologia PEM na casa dos US\$ 3 bilhões, sendo US\$ 2,8 bilhões advindos do setor privado. As regiões de maior concentração de desenvolvimento tecnológico são: Havaí, Califórnia, Texas, Flórida, Connecticut, Michigan, Vancouver e Toronto.

O Canadá apresentou um “programa” (Fuel Cells: the opportunity for Canada) que prevê que o mercado para células de combustível estacionárias esteja na ordem de US\$ 165 milhões em 2003, e alcançará US\$ 7 bilhões até 2011. (JORGE, 2002)

Os investimentos governamentais por parte dos Estados Unidos iniciaram-se na década de 60 com os programas da NASA. Nos últimos anos têm sido gastos (anualmente) cerca de US\$ 150 milhões em tecnologia PEM e US\$ 100 milhões na tecnologia da célula de óxido sólido e carbonato fundido (não estão incluídos os investimentos militares). Esses montantes têm o objetivo de avançar no entendimento do funcionamento e propriedade dos sistemas de células de combustível, pesquisar e

¹⁴ Subitem baseado em CONTADINI (2002)

demonstrar os primeiros protótipos de novas e emergentes tecnologias na área, e demonstrar a possibilidade do uso das células no setor de transporte.

Os esforços das montadoras receberam um grande impulso dos Estados Unidos, um dos países que mais consomem gasolina em todo o mundo. Em 9 de janeiro de 2002 o país anunciou a ajuda, através de subsídios (na ordem de US\$ 130 milhões ao ano), para o desenvolvimento de automóveis movidos a célula de combustível. Essa mudança de política é interpretada por alguns como uma forma de fugir dos padrões rigorosos de emissão, mas ela pode estimular o desenvolvimento dessa tecnologia e a remodelação dos postos de abastecimento de combustíveis. (TIERNEY & ZAMMERT, 2002)

Algumas necessidades foram apontadas: redução adicional dos custos; pesquisa fundamental (pré-competitiva) e testes para aumentar a confiabilidade e durabilidade dos sistemas; foco nas áreas de materiais avançados, utilização de catalisadores, *design* e integração de sistemas, manufatura, reciclabilidade e *design* sustentável; produção, armazenamento e entrega do hidrogênio.

O National Renewable Energy Laboratory (parte do Departamento de Energia dos Estados Unidos) estuda fontes alternativas para obtenção economicamente viável de hidrogênio, como a solar, biomassa e até organismos biológicos. O objetivo principal do NREL é o de substituição de 2 a 4 *quads* (montante de energia consumida por 1 milhão de habitantes) de energia convencional por hidrogênio até 2010, e de 10 *quads* por ano até 2030¹⁵.

A pedido de cerca de 30 indústrias americanas envolvidas na produção de células de combustível e hidrogênio, foi elaborado um documento que aponta a necessidade de investimentos na pauta de US\$ 5,5 bilhões em pesquisa, desenvolvimento, demonstração, frotas-piloto e suporte ao mercado nessa área. O relatório (elaborado pela empresa de consultoria Breakthrough Technologies Institute) sugere que sejam aplicados, inicialmente, US\$ 2,3 bilhões em P&D nos próximos dez anos, US\$ 1 bilhão em ações que estimulem o crescimento do mercado de células de combustível e cerca de US\$ 60 milhões em programas educacionais e divulgação da tecnologia para a população. (DOCUMENTO, 2002)

Segundo Shallom Zellingher (diretor de P&D da New York Power Authority), a melhor maneira de utilizar a tecnologia de células a combustível é oferecer ao cliente um pacote completo de serviços. Isto inclui a escolha do local da célula, o design do local, a instalação do equipamento, o financiamento, a compra, a operação e a manutenção. Na medida em que a tecnologia das células provocará mudanças importantes na maneira de pensar a distribuição de energia (sendo uma das principais a transformação de um consumidor em potencial gerador), a distribuidora poderia se tornar um agente de mercado para negociar os excedentes de energia da célula.

Em termos de tecnologia, as pesquisas avançam atualmente para o uso de células em ônibus e automóveis. O objetivo é conseguir reduzir o custo do kW para US\$ 50. Estima-se que isto aconteça em cerca de quatro anos. Os negócios gerados com a entrada da célula nestes setores deverão gerar um mercado da ordem de US\$ 1 bilhão em 2005, subindo para US\$ 20 bilhões em 2010. Atualmente, ele representa apenas US\$ 75 milhões.

A tendência é que haja um barateamento e uma crescente popularização dessa tecnologia num futuro bem próximo. Estima-se que, em 10 anos no máximo, o uso desses equipamentos deverá estar generalizado ao ponto de, em cada casa, haver uma célula a combustível. (VANTAGENS, ?)

¹⁵ Informações retiradas do artigo "Hydrogen Research", disponível em: <<http://www.nrel.gov/documents/hydrogen.html>>

Algumas empresas podem ser destacadas como representantes das iniciativas dos Estados Unidos e Canadá:

a) Ballard

A Ballard Power Systems vinha, desde 1989, desenvolvendo células PEM, e foi contratada pela Daimler em 1993. Vendo que o programa de P&D apontava para ótimas possibilidades, em 1997 a Daimler adquiriu 25% da Ballard por US\$ 450 milhões, gerando duas outras companhias (Ballard Automotive e ddb Fuel Cell Engines). Ainda em 1997, a Ford americana juntou-se à Daimler e Ballard (a um custo de US\$ 420 milhões), gerando uma terceira companhia (Xcellsis) para o desenvolvimento de transmissões específicas para motores e carros elétricos.

A ddb iniciou se dedicando ao desenvolvimento de células automotivas para ônibus e furgões e, conforme ia aperfeiçoando a tecnologia (isto é, tornando as células menores), passou a produzir o Nekar, que hoje está na geração IV, com tanque de hidrogênio com autonomia de 280 quilômetros. (VIEIRA, 2001)

A Ballard tem módulos no Nekar IV da Daimler, no P2000 da Ford, no Honda FCX VI e no Nissan FCV. Para fornecer células ainda mais avançadas, a companhia está construindo uma grande nova fábrica de quase 10 mil m². (VIEIRA, 2001)

Antes de firmar acordo com a Ford, a Daimler-Benz e a japonesa Toyota já trabalhavam em protótipos abastecidos por células de combustível, utilizando o metanol como combustível reformado. A empresa planeja iniciar a comercialização dos automóveis no Japão em 2003. (CRESCER, 1997?) Também para 2003, é anunciado o lançamento de um gerador residencial no Japão em 2003 de 1 kw alimentado por gás natural e acoplado a um sistema de cogeração de água quente.

Há a previsão de lançamento para 2004 de um gerador comercial de 250 kw alimentado por gás natural e também acoplado a um sistema de cogeração de água quente. O protótipo já fora demonstrado em 1999.

No que diz respeito ao sistema de transportes coletivo, está prevista para 2003 o lançamento da 2ª série pré-comercial de ônibus movidos a células de combustível de 250 kw; serão 30 unidades circulando em 10 cidades européias. A empresa também vem desenvolvendo geradores auxiliares desde 1999 (para automóveis e caminhões), sistemas de células alimentadas por hidrogênio para automóveis desde 1994, e por metanol desde 1997. Os sistemas Ballard-DaimlerChrysler são previstos para 2003 (primeira série pré-comercial com 60 unidades para Japão, Alemanha, Califórnia e Cingapura), chegando à produção comercial em 2010.

b) General Motors

A empresa trabalha no desenvolvimento de sistemas de células PEM para uso automotivo e estacionário: em 1966 lançou a Eletrovan, movida por uma célula alcalina de 5 kw; em 1985 criou o “Global Alternative Propulsion Center” em conjunto com a Opel para o desenvolvimento das células; em 1997 realizou demonstrações de um stack de 50 kw com 0,25 kw/l que foi utilizado em um Opel Zafira em 1998 (com reformador de metanol); em 1999 demonstrou um stack de 80 kw com 0,75 kw/l, utilizado no veículo Hydrogen 1); em 2000 demonstrou uma nova concepção de stacks de 94 kw com 1,6 kw/l (sem necessidade de umidificadores externos), e, também nesse ano, adquiriu 24% da Hydrogenics com o objetivo de acelerar a comercialização de células a combustível estacionárias; em 2001 realizou melhorias do stack anterior para 102 kw com 1,75 kw/l, e demonstrou um sistema residencial de 5 kw; em 2002 testou (com a Nextel Communications Inc.) uma unidade de backup de 25 kw acoplado a um eletrolisador e tanques de armazenamento.

Ela espera ser a primeira companhia automobilística a projetar uma plataforma de veículo especial para células de combustível. Em 2001 apresentou o veículo conceitual AUTOnomy, e prevê o lançamento do protótipo Hy-wire para 2002. Sua meta é ser a primeira empresa a vender 1 milhão de veículos a células a combustível.

Em 2000 firmou parceria com a ExxonMobil para desenvolver a tecnologia da reforma da gasolina. Em 2001 adquiriu 20% da Quantum Technologies Inc. para desenvolvimento de tanques de fibra para armazenar hidrogênio. Também em 2000, adquiriu 30% da Giner Electrochemical Systems para desenvolvimento de eletrolisadores e células PEM reversíveis.

c) UTC Fuel Cells

É a empresa líder no desenvolvimento de células de combustível. Desde 1996 fornece sistemas de células alcalinas para mais de 100 missões espaciais, e já forneceu mais de 240 sistemas de células de ácido fosfórico de 200 kw. Contabiliza mais de 3,5 milhões de horas de operação em seus sistemas, e um deles em particular já possui cerca de 50 mil horas de operação. A empresa tem trabalhado também em sistemas híbridos de cogeração e seqüestro de carbono.

Apesar da atual liderança no ramo, começou suas atividades atrasada no desenvolvimento de células PEM. Mesmo assim, possui um sistema único de 75 kw (com gerenciamento passiva da água e pressão ambiente) que foi demonstrado em 1996. Também neste ano, instalou no Energy Center um protótipo de gerador residencial de 5 kw.

Em 1998, entregou um sistema de 100 kw com reformador de metanol para o NovaBus (projeto de ônibus a células de combustível do Departamento de energia e Universidade de Georgetown).

Em 1999 entregou geradores auxiliares (5 kw) para a BMW e mais sistemas veiculares de 40 e 50 kw. Em 2000 demonstrou para o Departamento de Energia dos EUA o funcionamento de um sistema completo com reformador de gasolina. Também neste ano demonstrou um sistema veicular em um utilitário da Nissan. Em 2001 firmou parceria com a Shell Hydrogen, dando origem ao Hydrogen Source. Em 2002 firmou acordo de desenvolvimento da tecnologia PEM com a Nissan, Renault e Hyundai.

d) Siemens-Westinghouse

Trabalha com o desenvolvimento de células de óxidos sólido (em estruturas tubulares). As vantagens são: eliminação do perigo de vazamento e corrosão dos eletrólitos líquidos, possibilidade de cogeração e oxidação direta de vários combustíveis (devido à alta temperatura de operação), tem o CO como combustível e não contaminante. As desvantagens são: necessidade de pré-aquecimento do ar utilizado, desaconselhável para uso automotivo interminente, alto custo dos materiais cerâmicos. Uma alternativa a esse tipo de tecnologia são as células planares, as quais apresentam menores custos, melhores manufaturabilidade, vedação e durabilidade; no entanto proporcionam menor voltagem. e o material ideal para o stack ainda não foi identificado.

e) outras empresas ou órgãos

O Departamento de Energia dos EUA gasta cerca de US\$ 50 milhões em pesquisa em células de combustível de carbonato fundido e óxido sólido para aplicações estacionárias, e cerca de US\$ 20 milhões para aplicações em transporte. O mesmo afirma que se somente 10% dos automóveis do país fossem movidos por células de combustível, os gases poluentes seriam reduzidos em 1 milhão de toneladas ao ano, e

que 60 milhões de toneladas de CO₂ seriam completamente eliminadas. O mesmo número de carros reduziria cerca de 800 mil barris diários de petróleo importado (cerca de 13% do total das importações).

O Departamento de Defesa dos EUA gasta cerca de US\$ 24 milhões para comprar uma planta geradora para demonstração, a qual proverá calor e energia a algumas bases militares do país. A primeira planta foi instalada na Califórnia. Veículos dotados de células de combustível poderiam transportar tropas americanas nos campos de batalha no futuro, e poderiam servir como fonte vital de energia auxiliar em combate.

O Departamento de Transporte dos EUA mantém um pequeno programa de pesquisa em células de combustível para desenvolver ônibus. (QUÉ, ?)

A Epyx Corporation e a Plug Power já mostraram células de combustível com reformador para diversos combustíveis (gasolina, gás natural, metanol e etanol). A Global Fuel Cell Corporation deverá iniciar a manufatura de sua célula PEM Carbon X que, segundo a empresa, terá o dobro da capacidade energética de qualquer outra célula existente atualmente. As montadoras japonesas investiram, no ano de 2.000, mais de meio bilhão de dólares nessa pesquisa e no mundo todo, mais de 60 companhias (incluindo sete das dez maiores) trabalham no desenvolvimento de trens de força com células de combustível. (VIEIRA, 2001)

A International Fuel Cells (IFC) é o único fabricante mundial em escala comercial do equipamento. A empresa afirma que os preços do kW gerado por uma célula a combustível ainda são muito altos. O quilowatt de uma célula custa, nos Estados Unidos, US\$ 4,5 mil, pouco mais de três vezes os US\$ 1,3 mil por quilowatt colocados à disposição por um gerador diesel e um conjunto de baterias comuns. A empresa fabrica as células a combustível usadas nos ônibus espaciais da Nasa. (VANTAGENS, ?)

A montadora alemã BMW desenvolveu, em conjunto com a Delphi Automotive, um sistema de energia (baseado em células de combustível de óxido sólido) chamado *Auxiliary Power Unit* para substituir as baterias convencionais. Essa célula (que deverá ser utilizada em cinco anos) vai equipar os novos modelos da BMW, utiliza a gasolina para obter o hidrogênio, e é duas vezes mais eficiente que a combinação motor/alternador/bateria utilizada atualmente. (BONATO, ?)

Pesquisadores do Instituto Carnegie (Washington) descobriram que a uma pressão suficientemente alta as moléculas de hidrogênio podem ser presas dentro de treliças (gaiolas feitas de gelo) que, depois de formadas, pode ser armazenada sob baixa pressão ou usando nitrogênio líquido como resfriante.

Uma equipe da Universidade de Pittsburgh também pode estar perto de encontrar um suprimento inesgotável de hidrogênio: a utilização direta de luz solar para separar o hidrogênio da água. (CHANDLER, 2002)

A Motorola desenvolveu uma célula de combustível que utiliza gás metano numa reação química que gera eletricidade para alimentar um de seus telemóveis (aparelhos de telefonia celular), fornecendo energia necessária para um mês de conversação ou para recarregar uma bateria extra.

Outras empresas e instituições do ramo pretendem substituir as baterias de níquel-cádmio por células de combustível (do tamanho de uma carga de caneta “Bic”) que utilizem o metano, gás facilmente obtido através da decomposição do lixo e facilmente acondicionado sob pressão na forma líquida.

A Motorola não tem uma data prevista para a comercialização destas células, mas a NEC espera começar a produção para comercialização entre 2003 e 2005. (SILVA, ?)

Uma das aplicações mais interessantes para as células de combustível (até agora) é seu uso em usinas de tratamentos de esgotos. A empresa NYPA instalou uma célula

junto a Yonker's Wastewater Treatment Plant (uma usina de tratamento de esgoto), no condado de Westchester. O tratamento de esgoto gera 17,4 mil scf (pés cúbicos padrão) de gases, a maior parte deles hidrocarbonetos (metano e etano, por exemplo). Deste total, 70% são utilizados na própria usina, em processos internos, e 30% eram queimados na atmosfera. Hoje a NYPA usa 15% do total de gases para gerar energia, e eliminar a emissão de poluentes. A empresa vai instalar outras oito células em estações de tratamento de esgoto em Nova York. (VANTAGENS, ?)

4.2.4 O Japão como representante dos países asiáticos¹⁶

Existem dois grandes programas de P&D ligados a hidrogênio e células a combustível no Japão. Um deles é o WE-NET (Sistema Internacional de Energia Limpa Utilizando Tecnologias de Hidrogênio), o qual em 2 de suas 3 fases já gastou US\$ 168 milhões. O outro programa é específico para células de eletrólito polimérico.

4.3 Panorama das iniciativas nacionais em células de combustível

“Os esforços em ciência, tecnologia, desenvolvimento e engenharia de produtos e processos associados com células de combustível são altamente justificáveis nesse momento, uma vez que esta forma de geração de energia está no limiar de atingir o estágio comercial. (...) Os países que produzirem desenvolvimentos nesta área mais rapidamente assumirão posição de predominância e terão a chance de usufruir de retorno econômico importante além de criar novas indústrias baseadas em tecnologia e bons empregos.” (JANNUZZI, 2002, p.5)

“Uma das áreas mais promissoras para aplicações de células a combustível atualmente no Brasil é a de sistemas para produção de energia elétrica de 5 a 200 quilowatts para atender especialmente os casos de cargas essenciais, isto é, consumidores que necessitam de suprimento de energia elétrica com alto grau de confiabilidade. (...). Para essas finalidades células de eletrólito polimérico e de ácido fosfórico são atualmente as melhores opções.”

(JANNUZZI, 2002, p. 12)

“O desenvolvimento tecnológico nessa área (células de óxido sólido) pode gerar divisas ao país através da exportação de materiais e know-how, por exemplo, especialmente porque o estágio de desenvolvimento desse tipo de células no mundo é menos avançado que nas células de eletrólito polimérico. (...) As tecnologias para reforma de combustíveis fósseis e renováveis também podem levar ao desenvolvimento de novos produtos com tecnologia nacional. (...) Sistemas energéticos de células a combustível também podem dar maior impulso ao uso de gás natural, metanol etanol, sendo que o país já dispõe de know-how para a produção comercial de etanol a partir de biomassa (com preços extremamente competitivos no mercado internacional) e também tem concentrado investimentos na expansão do consumo e da rede de gás natural.” (JANNUZZI, 2002, p. 12)

¹⁶ Subitem baseado em CONTADINI (2002)

4.3.1 Universidades

A cogeração, que é uma técnica de conservação da energia primária, envolve a geração de eletricidade e calor a partir de um só combustível/fonte. A propriedade mais importante dessa técnica é a capacidade de gerar eletricidade e calor a baixos custos, e a cogeração usando células de combustível tem grande eficiência e baixa emissão de poluentes se comparado às outras tecnologias. A energia térmica produzida (e desperdiçada) pelas células pode ser utilizada para cogeração.

Em estudo publicado no *Journal of Power Sources*, o professor José Luz Silveira (do Departamento de Energia, da Faculdade de Engenharia da UNESP de Guaratinguetá) discorreu sobre sistemas de cogeração a partir de células de combustível de carbonato fundido (MCFC): elas utilizam o gás natural como combustível, e são freqüentemente referidas como uma célula de geração secundária. O sistema pode aproveitar a energia térmica para gerar mais calor (em aquecedores, por exemplo), ou para refrigeração (para produzir água gelada, por exemplo). A análise energética mostra uma eficiência elétrica de 45%, e uma eficiência de uso do combustível de 87%. O período estimado de retorno do investimento em células de combustível com custo entre US\$ 1.000 e US\$ 1.500/kW é de cerca de três a quatro anos (respectivamente). No entanto, a experiência internacional mostra que, altas tarifas de eletricidade estimulam os investimentos em sistemas de cogeração como esse do estudo. (LEAL & SILVEIRA, 2002)

Desde a década de 80, o Instituto de Química da USP de São Carlos abriga grupos de estudo sobre as células de combustível. O professor Ernesto Rafael Gonzalez está comprometido com o aperfeiçoamento de materiais e processos ligados à essa tecnologia desde o início. Foi ele, inclusive, quem orientou as teses de mestrado e doutorado de Antônio César Ferreira (proprietário da Unitech). Hoje, o professor coordena um projeto voltado para a eletrocatalise.

Ainda no Instituto de Química, o Grupo de Eletroquímica está expandindo os testes com células a combustível de eletrólito polímero sólido, visando a construção de protótipos de 2 quilowatts. O Laboratório de Eletroquímica Interfacial realiza pesquisas para o desenvolvimento de polímeros condutores para aplicação aeroespacial (de interesse do Centro Técnico Aeroespacial e da Embraer). (OLIVEIRA & VASCONCELLOS, 2001)

O Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio (CENEH), fundado em março de 2001 na Unicamp, conta com as seguintes entidades constituintes: o Ministério da Ciência e Tecnologia, a Secretaria de Estado e Meio Ambiente de São Paulo, a Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), a organização não governamental Vitae Civilis, além da própria Unicamp e da USP. O representante da USP no CENEH é o professor Ernesto Rafael Gonzalez do Instituto de Química de São Carlos.

O projeto "Produção adjacente de hidrogênio em usinas hidroelétricas e sua utilização", desenvolvido pela AES-Tietê em parceria com o Laboratório de Hidrogênio da UNICAMP, contou com duas etapas. A primeira consistiu em um estudo de viabilidade técnica e de oportunidade de negócio quanto ao uso do hidrogênio para geração elétrica e para aplicações veiculares.

Na segunda etapa do projeto foi montado um protótipo de produção de hidrogênio eletrolítico, armazenamento do gás e sua utilização posterior em duas células a combustível de 500 W para geração de energia elétrica. Dessa forma, o hidrogênio produzido a partir de energia hidroelétrica fora do horário de pico de consumo, é armazenado e posteriormente utilizado para a produção de energia elétrica nos horários

de pico, que são os períodos de maior interesse financeiro da empresa em fornecer energia. (A EMPRESA, 2002)

Em seus boletins¹⁷, o CENEH publica novidades nacionais e internacionais sobre as células de combustível e sobre a tecnologia do hidrogênio. Em outubro de 2002, o Centro sediou o “1º Workshop Internacional sobre Células a Combustível no Brasil”.

4.3.2 Empresas ou Órgãos Públicos¹⁸

O Ministério da Ciência e Tecnologia vem priorizando, desde 1995, ações visando o desenvolvimento tecnológico das células de combustível.

Um projeto de pesquisa (orçado em mais de US\$ 3 milhões) desenvolvido pelo Lactec em parceria com a Copel (Companhia Paranaense de Energia) está viabilizando na América Latina as primeiras unidades de geração de eletricidade a partir de células de combustível. O objetivo é de avaliar (características operacionais e índices de desempenho, durabilidade e manutenção) uma nova tecnologia para geração distribuída e compreende três unidades, com potência individual de 200 kWh cada (capaz de alimentar mais de 150 residências de bom padrão), produzidas pela empresa norte-americana UTC Fuel Cells (no Brasil, as células estão sendo comercializadas pela Fuel Cells Brasil¹⁹). Uma delas, instalada em agosto do ano passado, abastece o Centro de Processamento de Dados da Copel. A segunda célula já está em processo de instalação na sede do Lactec e será utilizada para gerar energia para os laboratórios do instituto. A terceira será instalada em um hospital público de grande porte, também em Curitiba.

Os resultados operacionais iniciais no Brasil indicam que o custo MWH da célula a combustível é de R\$ 342, quando utilizada apenas para geração de energia. Este custo cai para R\$ 171, se utilizada em cogeração plena, ou seja, com a geração de energia elétrica e utilização da energia térmica. (CÉLULAS, ?)

Em 1999, foi definida a tecnologia de reforma do etanol para produção de hidrogênio a ser desenvolvida pelo Brasil e América Latina. Ainda nesse ano, o MCT estimulou que a CEMIG e a CLAMPER firmassem parceria para o desenvolvimento de células PEM que utilizassem o etanol como combustível. Em 2001, o protótipo de 1,5 KW foi apresentado durante o Congresso Anual de P&D da Aneel. Também em 2001, foi iniciada a negociação de uma cooperação entre MCT-FINEP/INT, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio e algumas instituições privadas (ÚNICA, BALLARD, OMG e BASF) objetivando a produção de hidrogênio.

O Programa Brasileiro de Células a Combustível, lançado a consulta pública em julho de 2002, deverá ser inserido no âmbito de ações do Fundo Setorial de Energia Elétrica, mas outros fundos (CTPetro, CTInfra, Fundo Verde-Amarelo) e fomentadores de pesquisa (Finep, CNPq, FAPESP) também apoiarão projetos e programas específicos, com metas estabelecidas e compromissos de parceria das entidades governamentais, indústria, universidades e centros de pesquisa interessados e comprometidos com as diretrizes do Programa. O objetivo central é de “desenvolver um conjunto de ações que viabilizem a criação de uma tecnologia nacional em sistemas energéticos baseados em células a combustível que, a médio prazo, habilite o país a

¹⁷ Os boletins podem ser consultados no sítio eletrônico do Centro:

<<http://www.ifi.unicamp.br/ceneh/boletim>>

¹⁸ Subitem baseado em JORGE (2002)

¹⁹ O Lactec ficou encarregado de realizar os testes para tropicalizar (adaptar o maquinário às condições brasileiras) o equipamento para o hemisfério Sul, e vender o equipamento na América do Sul. O instituto e a International Fuel Cells criaram a Fuel Cell Brasil, da qual o Lactec possui 51%, para a comercialização da célula. (VANTAGENS, ?)

tornar-se internacionalmente competitivo nessa área tecnológica.” (JANNUZZI, 2002, p. 15)

Está prevista no Programa a criação de três redes de pesquisa e desenvolvimento: a Rede de Células a Combustível e Eletroquímica, a Rede de Combustíveis e Hidrogênio, e a Rede de Sistemas, Integração e Uso. As fontes de financiamento sugeridas para cada uma das partes das Redes do Programa seguem em anexo.

Os elaboradores do Programa chamam atenção para o fato de que, o funcionamento adequado e sustentável do programa depende da implementação de ações do governo e outros agentes que garantam a criação de um mercado inicial para os sistemas energéticos baseados nas células a combustível. (JANNUZZI, 2002)

A idéia é de que a empresa demande da indústria as condições que quer para sua célula, isto é, da formação de um grupo de usuários que forneçam informações mais exatas sobre tamanho e especificações da tecnologia e do mercado, mas estamos longe disso (daí a necessidade de discussão). O mercado brasileiro estaria primeiramente voltado para aplicações estacionárias (sistemas de *back-up* de hospitais, hotéis, centrais de processamento de dados, cartões de crédito, etc). O mercado automotivo seria voltado para produção de caminhões e ônibus, pois o problema da miniaturização acarreta custos maiores que a capacidade de alavancar recursos para P&D. Quando as condições estiverem acertadas para uso automotivo de pequeno porte, as empresas automotivas irão procurar a indústria nacional para o fornecimento de componente. De 5 a 7 anos há uma maior possibilidade de entrar na área de miniaturização (agora não é estratégico). (JORGE, 2002)

O projeto de instalação de ônibus movidos a célula de combustível na Grande São Paulo – realizado pela Empresa Metropolitana de Transporte Urbano de São Paulo – custará cerca de US\$ 20 milhões, sendo a maior parte dos recursos provenientes do Global Environment Facility – fundo gerenciado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – e o restante (R\$ 6 milhões) vindos da Finep (Financiadora de Estudos e Projetos). Será instalada uma estação de produção de hidrogênio na garagem dos ônibus, obtendo-o pela eletrólise da água fora do horário de pico, quando a energia é mais barata e a rede não está sobrecarregada.

Um protótipo de ônibus a hidrogênio custa hoje US\$ 2 milhões, enquanto o veículo a diesel custa US\$ 53 mil e a gás US\$ 75 mil. Apesar disso, espera-se que em 2007 o hidrogênio já tenha um preço competitivo e que em 20 anos ele tenha conquistado 25% do mercado. (EMTU, 2001)

O CTPetro (Fundo Setorial do Petróleo e Gás Natural) aprovou R\$ 1 milhão para um projeto de construção de um protótipo de célula de combustível. O coordenador do projeto será o professor Marcelo Linardi, do Ipen (Instituto de Pesquisas Nucleares e Energéticas), que trabalha desde 1998 com os componentes da célula, e pretende construir um protótipo de 1 quilowatt de potência. (CTPETRO, 2002) Também estão na pauta dos estudos do Ipen dois tipos de células que podem ser utilizadas em automóveis: a PEM (membrana de troca de prótons, o mesmo tipo de célula desenvolvido pela Unitech) e a de óxidos sólidos. (OLIVEIRA & VASCONCELOS, 2001)

Além do acordo de assessoria técnica entre o Ipen e o Cietec, as condições impostas pelo CTPetro incluíam a participação de uma empresa. Sendo assim, a tecnologia desenvolvida será repassada para a Electrocell, empresa incubada no Cietec que possui um projeto de construção de células no PIPE (Programa de Inovação Tecnológica em Pequenas Empresas) da FAPESP. Os recursos serão divididos da seguinte maneira: R\$ 200 mil para bolsistas do Ipen, R\$ 200 mil para a empresa (os quais serão gastos em pesquisa de mercado e bolsistas) e R\$ 600 mil para a aquisição de equipamentos para a pesquisa. (CTPETRO, 2002)

Iniciado em 1997, o PIPE é o primeiro programa da FAPESP²⁰ que apóia investimentos em pesquisa de novos produtos de alto conteúdo tecnológico ou processos produtivos inovadores, capazes de aumentar a competitividade da empresa, e sua contribuição sócio-econômica para o país. Ambas as empresas privadas nacionais destacadas nesse trabalho já tiveram projetos financiados pelo Programa.

4.3.3 Empresas ou Órgãos Privados

Preocupado com o rumo que a área de inovação tecnológica terá no futuro governo, interessado em elevar o valor agregado das exportações e em aumentar a competitividade da indústria nacional, o setor privado está se articulando para fazer sugestões à equipe de transição na área de Ciência e Tecnologia do novo presidente eleito (Luiz Inácio Lula da Silva).

As sugestões apresentadas reforçam o papel das empresas como mola fundamental para a inovação tecnológica e para o desenvolvimento da pesquisa. A idéia é que, com a implantação de algumas medidas, as empresas brasileiras passem a gerar mais inovações tecnológicas. Isso elevaria a competitividade da indústria nacional, o valor agregado dos bens manufaturados exportáveis e daria novo fôlego à pauta exportadora do país. O movimento também aumentaria o poder de fogo do Brasil em negociações comerciais

Teme-se que o modelo em que as universidades continuem tendo papel fundamental como indutoras do processo de pesquisa e desenvolvimento seja mantido. Entre as medidas sugeridas, estão a permissão para que o repasse dos recursos dos fundos setoriais seja feito às empresas, o que abriria caminho para que elas operassem as inovações. Outra sugestão é a regulação da Lei 10.332, que abre brecha para a equalização de juros, dando possibilidade para que as companhias que invistam na área tenham isonomia de competitividade. A equalização de juros também poderia atingir as indústrias inovadoras que quisessem investir no seu uso de capacidade instalada.

A criação de subsídios para empresas que instalassem laboratórios de pesquisa no Brasil seria outro estímulo, também ajudando a impedir a exportação de doutores para outros países. Programas específicos para pequenas e médias empresas também têm de ser executados. (ROCKMANN, 2002)

4.3.3.1 Unitech²¹

Segundo Antônio César Ferreira (criador da Unitech), o preço do quilowatt gerado pelas células é de US\$ 1,5 mil, enquanto o valor do quilowatt gerado por uma termelétrica (a gás natural, diesel ou carvão) é de US\$ 600. Mas a célula é três vezes mais eficiente em termos energéticos, e a confirmação do potencial por ela representado se reflete na grande corrida tecnológica em todo o mundo: existem mais de 200 protótipos de células de combustível para geração de energia elétrica.

²⁰ Maiores informações sobre os programas da FAPESP estão disponíveis em:
<<http://www.fapesp.br/fap007.htm>>.

²¹ Item amplamente baseado em COMPETÊNCIA (2001) e NUCCI & OLIVEIRA (2001)

Nos Estados Unidos, Canadá, Alemanha e Japão, há pelo menos três anos, já existem equipamentos a venda (entre 10 w e 11 megawatt, para uso em equipamentos portáteis), porém ainda sob encomenda e de produção restrita.

Centros de pesquisa de instituições acadêmicas e de empresas avançam no desenvolvimento de materiais para as células que as tornem mais eficazes e baratas. Atualmente, a tendência é de utilização das células de combustível de tecnologia PEM (membrana de troca de prótons). É desse mesmo tipo a célula desenvolvida por Ferreira.

Ferreira participou do desenvolvimento da primeira célula de combustível apresentada pela Cemig (Companhia Energética de Minas Gerais), juntamente com pesquisadores da própria Cemig, do Instituto de Química da USP de São Carlos, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e da empresa Clamper (de Belo Horizonte). A célula, do tamanho de um frigobar, era alimentada por hidrogênio e capaz de produzir 1,5 quilowatt de eletricidade.

Segundo José Henrique Diniz (gerente de Tecnologia e Alternativas Energéticas da Cemig), o objetivo é colocar o sistema no mercado em no máximo cinco anos. Pelas estimativas da Cemig, o preço inicial no varejo poderá alcançar US\$ 20 mil para um aparelho de 5 kW. Com a produção em série, o valor da célula pode cair para US\$ 7 mil em três anos e para a menos de US\$ 5 mil em cinco anos. (BRASIL, 2001)

O protótipo da Cemig foi o segundo trabalho de Ferreira no Brasil. O primeiro (de 1 quilowatt de potência, suficiente para ascender cinco lâmpadas de 100 watts) foi produzido durante o projeto financiado pela FAPESP, que proporcionou a volta dele ao país em 1998 (depois de uma temporada de nove anos nos Estados Unidos).

A criação da Unitech representou uma das experiências mais significativas que surgiram com o PIPE. A empresa, que trabalha em separadores bipolares de polímero condutor iônico, espera colocar no mercado, ainda em 2002, equipamentos de 100 quilowatt, próprios para pequenas indústrias, utilizando o gás natural como combustível. O principal desafio de Ferreira é ampliar sua empresa – já recebeu proposta do prefeito de Cajobi para instalar a Unitech num prédio de 400 m², com possibilidade de expansão para 10 mil m² – e colocar o produto no mercado, produzindo em escala industrial.

Em 2002, a empresa deve colocar no mercado as primeiras unidades de célula combustível a gás natural (e, possivelmente, o etanol), capazes de gerar eletricidade para residências e pequenas indústrias. A célula funcionará de modo semelhante ao de um fogão que capta o gás da tubulação ou do botijão. Todo o equipamento é do tamanho de um frigobar. (OLIVEIRA & VASCONCELOS, 2001)

Em palestra ministrada em São Carlos (SP), em maio deste ano, Ferreira expôs a necessidade de diminuição dos custos dos componentes, principalmente a redução da quantidade de platina utilizada na célula. O custo de uma célula – para um carro semelhante ao Gol, da Volkswagen – seria composto pelo custo da platina (US\$ 5/quilowatt), das placas (US\$ 37/quilowatt) e da membrana (US\$ 35/quilowatt), totalizando US\$ 100 para uma célula de 1 quilowatt.

A Unitech já teve três projetos financiados pelo PIPE²² da FAPESP:

- O primeiro, de 1997, intitulado “Materiais Avançados para Fabricação de Separadores Bipolares para Células a Combustível de Polímero Condutor Iônico”, visando substituir os separadores bipolares de grafite (utilizados atualmente) por separadores de fibra de carbono;
- O segundo, de 1998, intitulado “Desenvolvimento de Materiais Avançados para Eletrodos de Baterias Lítio-Iôn”, objetivando o desenvolvimento da tecnologia dessas baterias com matérias-primas nacionais, barateando seu custo;

²² Informações disponíveis em: <<http://www.fapesp.br/fap007.htm>>.

- O último, de 2001, intitulado “Sistema avançado de produzir eletricidade com alta eficiência, baixo custo e não poluente”, visa desenvolver um sistema de produção do hidrogênio que alimenta as células de combustível a partir da energia solar (via eletrólise da água) ou da reforma do etanol.

Esse último projeto se mostra muito interessante no contexto do barateamento da energia gerada pelas células. Segundo Ferreira, o preço do quilowatt-hora, utilizando o sistema de energia solar/eletrolisador/células a combustível, pode custar US\$ 0,11. Com esse preço, essa forma de produzir energia elétrica poderá ter um grande potencial tecnológico e econômico. Por outro lado 1 metro cúbico de etanol pode produzir até 5 metros cúbicos de hidrogênio através da reação de reforma, reduzindo ainda mais o custo do quilowatt/hora para US\$ 0,049.

4.3.3.2 *Electrocell*²³

Atualmente, além de desenvolver tecnologia para as células, a empresa busca investidores de capital de risco para implementar uma linha de produção. Ela está em negociações avançadas com o fundo de investimentos do grupo Votorantim (Votorantim Venture Capital). O mercado-alvo da empresa seriam os prédios comerciais e residenciais.

A empresa também estuda a transferência da tecnologia de células a partir de um projeto do professor Marcelo Linardi, do Ipen (Instituto de Pesquisas Nucleares e Energéticas). Esse projeto – financiado pela FAPESP – visa o desenvolvimento de eletrodos e outros processos ligados às células.

A Electrocell também teve um projeto aprovado pelo PIPE da FAPESP no ano de 2000. Intitulado “Desenvolvimento de células a combustível integrado com software e hardware de monitoração, diagnóstico, controle e periféricos”, ele visava a construção de células de 1,2 quilowatts alimentadas por hidrogênio, combustíveis extraídos de fontes fósseis e renováveis, assim como fornecer ao mercado os periféricos necessários para utilização das células na indústria automobilística e na geração de energia elétrica.

4.3.4 A célula de combustível a etanol como a principal “aposta” brasileira²⁴

Ficou evidente no decorrer da realização das entrevistas que o etanol é a aposta brasileira no que se refere ao combustível utilizado pelas células. Desta forma, fica simples delinear os benefícios que podem ser obtidos pela adoção de um programa de desenvolvimento de células a combustível de etanol (CCE), para serem utilizadas na geração de energia elétrica em nosso país:

- O etanol pode ser facilmente produzido através da biomassa (fonte renovável), apresenta alto conteúdo energético, é muito menos poluente do que combustíveis derivados do petróleo e pode ser estocado e transportado até a usina processadora de maneira segura;
- O Brasil possui hoje em dia uma incontestável infra-estrutura e tecnologia adquiridas nas últimas décadas para a produção e transporte de etanol no território nacional, tendo sido pioneiro na utilização deste combustível em veículos automotivos seja como único combustível ou como aditivo da gasolina;

²³ Item baseado em OLIVEIRA & VASCONCELOS (2001) e BALTHAZAR (2001)

²⁴ Item amplamente baseado em ÂNGELO (2002)

- O conhecimento científico-tecnológico necessário à viabilidade de uma CCE já foram adquiridos por centros de pesquisa e Universidades no Brasil e exterior; apontando, inclusive, para vantagens da utilização do etanol em relação ao similar metanol (as pesquisas na Europa e na América do Norte vem-se concentrando no metanol, que pode ser obtido de madeira, lixo orgânico, gás natural ou fabricado por síntese)²⁵.

As células a hidrogênio puro aproveitam 80% da energia química na transformação para eletricidade. As que usam metanol ou etanol, cerca de 60%. Os melhores motores automotivos movidos a gasolina chegam no máximo a 35%, e os a diesel de 40% a 45%. Comparando o consumo, seria como se a célula fizesse de 30 a 40 quilômetros com um litro de etanol, contra sete quilômetros de um motor a gasolina.

Além disso, a produção das células de etanol é mais barata: enquanto as de hidrogênio puro custam de US\$ 5 mil por kilowatt - uma célula com potência de 10 kW, que poderia suprir o consumo de uma casa, sairia por US\$ 50 mil -, as de etanol saem por US\$ 1 mil o kilowatt. Esses valores são suscitados pela não-produção em escala das células no país, sendo feitos apenas protótipos.

As células a etanol também são mais fáceis de produzir e menos perigosas de usar, pois retiram o hidrogênio diretamente do combustível, eliminando o risco de armazená-lo. (VANTAGENS, ?)

Estes sistemas poderiam ser instalados, num primeiro momento, em regiões do país onde haja dificuldade para a transmissão de energia elétrica obtida por geração hidroelétrica, propiciando infra-estrutura para a instalação de indústrias e, conseqüentemente, gerando empregos, desenvolvimento local e diminuindo a migração para centros mais desenvolvidos.

Em médio prazo, tais sistemas poderiam ser utilizados para o fornecimento de energia elétrica para hospitais, escolas e escritórios de departamentos governamentais.

Em longo prazo se poderia pensar na substituição de sistemas com funcionamento à base de combustíveis fósseis para uma maior emancipação em relação às intempéries político-sociais dos países produtores e mesmo em relação às fontes naturais esgotáveis.

Brasil e Estados Unidos acertaram em junho de 2002 um extenso programa de cooperação nas áreas científica e tecnológica, incluindo 18 pontos. O programa intensifica a cooperação entre os dois países, que teve início em 1984.

Um dos pontos de destaque na “agenda de cooperação” é um acordo para o desenvolvimento de células de combustível a partir do álcool, que serviriam para mover motores de hidrogênio, ainda em fase de pesquisa. Além dos EUA, o Brasil só tem parcerias com Alemanha e França nesse tipo de pesquisa. A expectativa do governo é fazer do álcool o combustível preferencial para esse novo motor, criando assim um grande mercado para a matéria-prima.

As outras frentes são a reativação do Proálcool internamente e o incentivo ao desenvolvimento de programas de álcool em países como Índia e China, em que o Brasil atuaria fornecendo know-how e equipamentos. (RITTNER, 2002)

²⁵ CALMON (?)

5 ENTREVISTAS E WORKSHOP

5.1 Entrevistas

Foram escolhidas três universidades (USP de São Carlos, UNESP de Guaratinguetá e UNICAMP), três órgãos ou institutos públicos (EMTU/SP, IPEN e FAPESP) e duas empresas privadas (UniTech e Electrocell) empenhadas na pesquisa e desenvolvimento nacionais das células a combustível.

Foi possível notar que as entrevistas têm pontos convergentes e comuns no que se refere a um conjunto de tópicos como redução dos custos, formação de parcerias, adequação das fontes de financiamento, comportamento dos órgãos de fomento e governo, nichos potenciais para o Brasil e expectativas quanto ao Programa Nacional de Células a Combustível.

Ambos os questionários e as transcrições das entrevistas encontram-se anexados ao final do presente relatório. Alguns dados e informações foram utilizados no corpo do trabalho e outras estão somente em anexo.

5.2 1º Workshop Internacional sobre Células a Combustível

O Workshop, realizado ao dia 31 de outubro de 2002 na UNICAMP, estava dividido em 4 blocos:

- Estado da arte e P&D em células a combustível na Europa;
- Células a combustível no Brasil: perspectivas, financiamento e oportunidades;
- O estado da arte e P&D em células a combustível na América do Norte;
- P&D, fabricação e integração de células a combustível.

Os slides (em power point) das apresentações estão disponíveis no sítio eletrônico do CENEH²⁶, com exceção das apresentações dos proprietários das empresas privadas presentes – UniTech (Dr. Antônio César Ferreira) e Electrocell (Dr. Gilberto Janólio).

Assim como fora feito com as entrevistas, os pontos principais das apresentações estão anexados ao final do relatório.

²⁶ Endereço: <<http://www.ifi.unicamp.br/ceneh/workshop.htm>>

6 CONCLUSÃO

A tendência de substituição de combustíveis fósseis e não-renováveis por fontes limpas e renováveis é um movimento que pode ser visualizado em todas as partes do mundo. Fazendas eólicas no sul dos EUA, placas receptoras da radiação solar nas residências européias, utilização do bagaço da cana-de-açúcar nas usinas sucro-alcooleiras brasileiras... os exemplos são variados. Ao lado de uma matriz energética ainda muito calcada em formas convencionais, cada país ou região está buscando alternativas energéticas que agridam menos o ambiente e também que aproveitem melhor os insumos naturais (vento, sol) ou aquilo que antes era resíduo industrial (bagaço).

O aumento da conscientização da população em geral quanto aos danos ambientais provocados pela utilização de combustíveis fósseis, associado ao aumento dos seus custos, cria condições e abre caminho para a disseminação do interesse em alternativas energéticas.

No tocante às iniciativas e cenário internacionais, pode-se afirmar que tanto o governo quanto o empresariado privado acreditam e investem – por enquanto ainda timidamente – na pesquisa e desenvolvimento de sistemas de células a combustível, apesar deles ainda apresentarem alguns problemas tecnológicos e custos superiores àqueles das fontes energéticas tradicionais.

Sem dúvida alguma, as células de eletrólito polimérico parecem ser as mais indicadas e promissoras para aplicações veiculares. As previsões para o lançamento das primeiras unidades comerciais podem ser encaradas como ufanistas e precipitadas, mas os recursos gastos com P&D e protótipos revelam que a tecnologia realmente é viável, embora ainda não se apresente dessa maneira no âmbito econômico. Dos demais tipos de células, as de óxido sólido são fortes candidatas para a geração estacionária (local/distribuída), pois permitem também a cogeração (devido à sua alta temperatura de operação).

Dado o estágio não-comercial da tecnologia, a mensuração exata de seus custos é dificultada. No entanto, boa parte das previsões aponta para um custo médio da energia elétrica produzida de US\$ 1.500/KWh até o final da década. Esse custo é muito superior ao da energia hidroelétrica utilizada atualmente no Brasil, mas as suas vantagens frente às fontes tradicionais devem ser ressaltadas: não há perda de energia no transporte do local de produção ao local de utilização (linhas de transmissão), não há qualquer dano ambiental proveniente de sua operação (seja na forma de emissões de gases poluentes, seja com a inundação de grandes áreas para construção de barragens), modularidade (podem ser construídas em várias dimensões e potências), flexibilidade quanto ao uso de combustíveis (ressaltando a possibilidade de uso de combustíveis renováveis como o etanol, a biomassa e o biogás proveniente do tratamento do esgoto doméstico ou industrial), produção ininterrupta e reciclabilidade dos componentes (diga-se do eletrodo e da membrana).

Mesmo com esse custo alto, os sistemas de células de combustível já têm hoje um nicho interessante e, pode-se afirmar, específico: a geração de energia elétrica com altíssimo grau de confiabilidade e de forma ininterrupta para estações militares, bancos, hospitais, hotéis, etc. Além desse nicho atualmente já explorado, há também as células que utilizam etanol diretamente (aproveitando a competência nacional de produção do combustível), células de óxido sólido que aproveitam o desenvolvimento de materiais cerâmicos já existentes (reatores nuclear), geração de energia elétrica em comunidades e

pontos geograficamente isolados. No decorrer do tempo, vão sendo encontrados os nichos nos quais a utilização das células seja a melhor opção frente às demais alternativas energéticas. Trata-se, nestes casos, de uma concorrência em que as considerações sobre o custo não são decisivas.

A negligência e/ou demora de reconhecimento da importância das células a combustível por parte do governo brasileiro é um fator que limita o avanço da tecnologia no país. Existe uma grande expectativa de progresso e coordenação das iniciativas nacionais a partir do Programa Nacional de Células a Combustível, que mobilizará recursos de diferentes Fundos Setoriais para a pesquisa e desenvolvimento do setor. Além disso, o Programa visa organizar e dar um rumo comum às iniciativas nacionais que, por serem isoladas, acabam por gerar os custos e incertezas característicos da multiplicidade.

O reconhecimento da importância das pequenas empresas de base tecnológica no Brasil é um passo significativo para o avanço da tecnologia da células de combustível, dado o fato de que as duas empresas nacionais envolvidas com componentes e sistemas estejam incluídas nessa categoria. Com incentivo e apoio financeiro, a tendência é de que outros profissionais capacitados e interessados sigam o mesmo caminho.

A FAPESP foi apontada como uma agência de fomento séria e confiável, e também como a principal fonte de recursos tanto para o desenvolvimento das células a combustível, quanto para as demais fontes de energia alternativa. Outro aspecto positivo de sua atuação é o fato de financiar a pesquisa e desenvolvimento em empresas privadas, atitude essa muito disseminada nos EUA e Europa, porém muito incipiente no Brasil.

As vantagens de uma entrada precoce num setor de imenso potencial são conhecidas na literatura econômica. No caso das células de combustível, deve acrescentar-se a essas vantagens o potencial brasileiro em pelo menos uma das matérias-primas utilizáveis. Razão suficiente para que as políticas tecnológica e industrial elejam as células como uma opção a ser viabilizada.

**ANEXO 1 – QUESTIONÁRIOS E TRANSCRIÇÃO DAS
ENTREVISTAS REALIZADAS COM AS PRINCIPAIS
INICIATIVAS NACIONAIS EM CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL**

QUESTIONÁRIO – ENTREVISTA
Newton Pimenta Neves Jr. – CENEH – 03/10/02

1. Faça um breve histórico das pesquisas (posteriores ao CENEH) que surgiram na UNICAMP sobre a energia do hidrogênio.
2. Como foi o processo de concepção e implantação do Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio?
3. No tocante aos objetivos do Centro, qual deles está, atualmente, recebendo maior enfoque?
4. Segundo informações contidas no Boletim 1 do CENEH, o desenvolvimento das tecnologias que compõem os sistemas energéticos do hidrogênio tem caráter estratégico e multidisciplinar. Comente sobre algumas ações do Centro (já realizadas ou em vias de realização) que exemplifiquem o caráter “estratégico”.
5. Comente sobre a contribuição do Centro (e pessoal) para a elaboração do Programa Brasileiro de Células a Combustível, lançado em julho/2002.
6. Durante os quase três meses posteriores ao lançamento do Programa, já surgiu alguma nova iniciativa no cenário nacional, a qual teve seu interesse despertado por ele?
7. “Enquanto em nosso país há, talvez, 9 mil cientistas e engenheiros atuando em P&D em empresas, países de industrialização recente como a Coréia do Sul apresentam 75 mil destes profissionais, enquanto nos EUA há quase 800 mil cientistas e engenheiros fazendo P&D nas empresas.” (Revista Pesquisa Fapesp, nº 69)
Qual é a importância da interação entre os ambientes universitário/acadêmico e empresarial para o desenvolvimento tecnológico em geral?
Em que medida isso vem ocorrendo em relação às células a combustível?
8. Em que medida as empresas privadas nacionais empenhadas no desenvolvimento tecnológico das células a combustível vêm colaborando na promoção de uma rede de informação, divulgação e difusão de referências sobre programas, projetos, pesquisas, desenvolvimentos científicos e tecnológicos?
9. Quais as competências de cada um dos grupos nacionais empenhados no desenvolvimento tecnológico das células a combustível?
10. As iniciativas nacionais (tanto na parte científica quanto na tecnológica) em células a combustível proverão viabilidade econômica/comercial à essa tecnologia com a mesma eficiência/rapidez das iniciativas internacionais?

Transcrição da entrevista realizada com o Prof. Dr. Newton Pimenta Neves Jr. (CENEH – UNICAMP)

Antes de ser criado o CENEH, já existia o Laboratório de Hidrogênio. Segundo Newton, foi muito conveniente alocar o Centro para a Unicamp porque o pessoal que já trabalhava no Laboratório do Hidrogênio poderia dedicar parte do seu tempo à essas novas tarefas. Algumas reformas já foram feitas e outras ainda estão em andamento para acomodar o Centro no laboratório.

O Laboratório de Hidrogênio trabalha desde 1975 com hidrogênio e energia do hidrogênio, desenvolvendo eletrolisadores, linhas de purificação e outros equipamentos. Essa é uma tecnologia disponível e nacional, já foi repassada para a indústria e já foram fabricados eletrolisadores de grande porte. Há no Laboratório uma planta semi-industrial de hidrogênio (eletrolisadores + linha de purificação + compressão). O hidrogênio produzido por ela é de altíssima qualidade e seria excelente para utilização em células a combustível. O Laboratório também tem experiência com uso do hidrogênio em veículos automotores, mas ainda com motores de combustão interna.

Os primeiros movimentos para estabelecer o Centro ocorreram no IV Encontro do Fórum Permanente de Energias Renováveis (Recife, 1998), o qual reunia os cinco centros nacionais de referência em energias renováveis do país:

- Centro brasileiro de Energia Eólica, localizado na Universidade Federal de Pernambuco;
- Centro Brasileiro para o desenvolvimento de Energia Solar Térmica (Green Solar), instalado na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais;
- Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidroenergéticas, localizado na Escola Federal de Engenharia de Itajubá (MG);
- Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (CEPEL);
- Centro de Referência em Biomassa, instalado na USP.

Durante esse encontro realizou-se o I Workshop de Energia do Hidrogênio, onde foi proposta a criação de um centro nacional de referência em hidrogênio. Houve um longo processo de contatos durante os dois anos seguintes com algumas universidades para ver quais delas gostariam/poderiam sediar o centro, sobre a infra-estrutura disponível a cada uma, também com empresas que gostariam de tomar parte. Finalmente, a reitoria permitiu e apoiou a instalação do Centro na UNICAMP. No dia 23 de março de 2001 foi realizada a primeira reunião do Comitê Diretor do CENEH. As entidades constituintes são: Ministério da Ciência e Tecnologia, Secretaria de Estado de Meio Ambiente de São Paulo, UNICAMP, USP, CEMIG e Vitae Civilis (organização não-governamental).

A verdade sobre o petróleo é que ele vai diminuir, mas não acabar. Ficarà mais difícil retirá-lo de alguns poços, ele ficará mais denso e caro, e com isso outras fontes energéticas (antes economicamente mais dispendiosas) vão sendo incentivadas. O petróleo vai sendo deixado para aplicações mais nobres (produção de plásticos e/ou outros tipos de produtos), porque a aplicação menos nobre do petróleo hoje é queimá-lo para obter energia (além, é claro, da questão ambiental que já força a diminuição de seu consumo).

A grande motivação para utilização do hidrogênio é a questão ambiental, mais ainda do que a questão energética, na medida em que o hidrogênio não é uma fonte de energia e sim uma forma de armazenamento e transporte de energia (isso se chama vetor energético). Com o hidrogênio é possível utilizar energia com menores taxas de emissão de gases poluentes, e por outro lado, consegue utilizar energia de uma forma mais

eficiente. Se forem utilizadas as fontes de energia limpa (eólica, solar, hidrelétrica, etc) para produção do hidrogênio, os níveis de emissão são realmente muito baixos. Num futuro próximo, o hidrogênio ocupará uma fatia significativa da matriz energética.

Há alguns nichos interessantes a serem explorados no Brasil. Um deles seria a reforma a vapor do etanol (há especialistas no país, é um processo conhecido, dominado, utilizado na indústria do petróleo para gerar hidrogênio). Fala-se no desenvolvimento de um equipamento para reforma para uso embarcado, ou ainda reformadores estacionários para serem colocados em postos de combustível para geração local de hidrogênio (e abastecimento do carro com hidrogênio gasoso, o que exige maior cuidado e tecnologia). O uso embarcado do transformador é um problema porque isso significa mais peso, mas o fato de abastecer o carro com um combustível líquido facilita o manejo, etc.. Temos especialistas competentes nessas áreas, mas ainda há a questão dos catalisadores, reformadores, etc (necessidade de investimento em engenharia do produto para alcançar viabilidade econômica).

O uso do etanol em reformadores para produção de hidrogênio a partir de uma biomassa renovável seria muito interessante por muitos outros motivos. Já foi demonstrada a viabilidade do etanol em veículos automotores (Pró-Álcool), o Brasil possui toda a infra-estrutura de produção e distribuição, já foram feitos investimentos significativos no setor (os EUA está indo nessa direção, e o etanol produzido lá é muito mais caro que o nosso, por ser feito do milho). Além disso, todo CO₂ emitido pela queima do etanol já foi consumido/retirado da atmosfera na fase de crescimento da planta, tornando o balanço de CO₂ altamente favorável; do mesmo modo, pode-se utilizar o etanol de forma muito mais eficiente através do processo de reforma acima citado (reforma essa que já é um processo conhecido).

Outro nicho seriam as células de óxido sólido, que não necessitam de reformador interno ou externo dada a temperatura muito alta de operação (quando o combustível entra já tem suas moléculas separadas). Os materiais que compõem esse tipo de célula são muito similares à cerâmica utilizada na indústria nuclear, e o Brasil tem todo esse desenvolvimento (já foram feitos os investimentos), e essa indústria pode voltar sua atenção para estudar as células de maneira mais dedicada e específica. Os problemas das células de óxido sólido incluem materiais, selamento adequado para evitar vazamentos; apesar de algumas empresas afirmarem ter protótipos comerciais em operação, esse fato não é muito provável. É possível dizer que esse tipo de célula está aquém do desenvolvimento da PEM e da célula de ácido fosfórico, e essa diferença/degrau a ser vencido é menor (por isso é uma boa oportunidade)

Às vezes, substituir todas as importações não é prático nem viável (o desenvolvimento interno tem um custo mais alto que a importação), além da perda da competitividade. A questão específica da célula de óxido sólido é que o Brasil poderia fabricar com muita competência componentes para essas células e adquirir os demais, montando aqui ou fora, e as vantagens disso são claras: você atua num campo onde fica confortável porque tem domínio da tecnologia (usa bem sua competência), e fecha parcerias mais proveitosas.

A maior importância, hoje, do Centro é justamente reunir e difundir informações acerca do uso energético do hidrogênio; reunir a comunidade científica em torno de uma instituição que pode dar informações em todas as esferas do governo e nos diversos grupos de pesquisa. O fato de não haver informações corretas muitas vezes torna os projetos muito isolados; as pessoas se deparam com problemas muito parecidos mas não se auxiliam mutuamente. Essa seria uma forma eficiente de utilizar os recursos de P&D.

Há várias questões relacionadas à pesquisa básica, mas essas são publicadas em periódicos, revistas científicas, etc. Mas quando a pesquisa é de base tecnológica (e hoje

o desenvolvimento das células a combustível está muito mais baseado nesse tipo de pesquisa), há a proteção por patentes, propriedade intelectual, e aí começa a ocorrer um “cercamento” do fluxo de informações. Parafraseando Newton, “ciência se encontra em livros; tecnologia, não”.

Quando se fala em células a combustível há uma grande confusão entre processos conhecidos e equipamentos comerciais. Muitos dispositivos (como os reformadores) não são comerciais, mas as empresas que estão trabalhando e investindo nisso têm interesse em divulgar somente as vantagens, e isso atrai um público muito grande. Newton prefere um crescimento do interesse que seja sustentável: as vantagens e as dificuldades são postas no mesmo momento. Com isso, as vantagens serviriam de motor de arranque para que as dificuldades sejam vencidas.

Os grupos que estão sendo suportados atualmente pelas instituições clássicas de fomento à pesquisa, muitas vezes não estão utilizando os conhecimentos em benefício do país, pois estão fazendo desenvolvimentos quase sempre separados, ou reunindo um pequeno número de participantes.

O Centro pode e deve atuar justamente na melhoria desse fluxo de informação (é claro, resguardando propriedade intelectual) mas colocando pessoas e grupos em contato, auxiliando no direcionamento das fomentadoras de pesquisa. O que acontece hoje é que um especialista consegue fazer com que um determinado projeto seja aprovado (mesmo que não seja muito interessante) porque muitas vezes o assessor não é daquela área específica. É necessário, então, alguma mudança na forma de aprovação dos projetos, de maneira que fosse feito um esforço mais coordenado, e talvez esse seja a principal função hoje do Centro (melhoria do tráfego de informações), seguida do envolvimento/desenvolvimento em pesquisa junto a outras entidades.

O desenvolvimento dos sistemas de energia do hidrogênio é estratégico porque é uma questão tecnológica. Se o Brasil ficar de fora do desenvolvimento das células a combustível, terá que comprar a tecnologia no futuro. Se for realizado algum desenvolvimento em um determinado tipo de tecnologia, o país terá condições de fazer melhores acordos internacionais (mesmo produzindo somente uma parte do equipamento, ou um componente, ou parte desses componentes); e o Brasil tem competência para isso. A qualificação “estratégico” significa dizer que o desenvolvimento tecnológico das células está numa fase tal que é possível que sejam feitas algumas opções e também se tome parte nesse que deve se estabelecer em alguns anos.

Para conseguir isso, é necessário vontade política e investimentos corretos, a adoção de determinadas estratégias para que as coisas sejam feitas da maneira certa. Se o país ficar fora disso, ou ainda se adotar uma política tão fechada como foi feito com a informática, o destino será o isolamento. Já foi provado que os investimentos autônomos não são o caminho mais interessante.

Quem vê o problema econômico das células a combustível mais de perto percebe que as células para uso automobilístico são ainda muito caras e suscetíveis a desgaste. Os fabricantes falam de células que duram dois anos ou duas mil horas, o que por US\$ 10 mil/KW é um custo proibitivo. Essa dualidade grande preço / baixa durabilidade remete ao fato de termos ainda protótipos, e não dispositivos comerciais.

Ao acompanhar a Dra. Helena Li Chun nas visitas prospectivas para formulação do Programa Brasileiro de Células a Combustível, ele notou que no Brasil temos toda uma trajetória a ser cumprida, e a impressão foi de que nossa política industrial muitas vezes não dá a devida atenção para esse fato (a estratégia seria um esforço coordenado de uma política de investimentos que façam a área avançar). É difícil convencer as pessoas de que o fato de terem uma boa idéia/patente não significa que terão um

produto comercial, porque a obtenção desse depende de muitas coisas (nem sempre o melhor, mais bonito e eficiente será um sucesso comercial). Também é difícil convencer pesquisadores que estão absolutamente crédulos acerca das vantagens daquela tecnologia de que aquilo que ele está fazendo tem poucas chances de chegar à fase de comercialização. A questão é: qual o caminho a ser trilhado até que aquele protótipo consiga ganhar forças e características para se transformar num produto comercial?

O Centro pode auxiliar nesse tipo de informação, porque os pesquisadores dentro da universidade muitas vezes não tem isso muito claro (e é natural que ele não tenha facilidade em enxergar a questão do ponto de vista comercial). Um dado interessante é que de cerca de 3 mil idéias boas / bem elaboradas, apenas 3 chegarão ao estágio de protótipo comercial, e apenas 1 será um produto comercial. Essa loucura acerca de patentes é interessante, o país precisa disso, mas é necessário parar com a idéia de que uma vez que se tem a patente, aquilo será um sucesso comercial (na verdade, as chances são contrárias).

Hoje há uma mudança em curso na forma de operar do MCT, que criou uma entidade chamada CGEE (Centro de Gestão em Energia Elétrica), a qual cumprirá em parte as funções que eram atribuídas anteriormente ao CNPq e FINEP. O CGEE deveria auxiliar o MCT na definição dos caminhos a serem adotados em C&T, principalmente no que se refere à tecnologia. Ele deveria complementar os trabalhos de FINEP/CNPq.

Newton acredita que esse entendimento não está sendo feito da melhor maneira possível atualmente. Esse centro funciona nos mesmos moldes de alguns centros dos EUA, com sua administração “terceirizada” (contrata-se uma equipe, é uma prestação de serviços). Há uma vantagem, uma vez que é possível impor um certo dinamismo a essa entidade, ela estará sempre querendo dar boas informações, porque no momento que ela não for mais capaz de fazê-lo, será substituída.

No tocante ao Programa Brasileiro de Células a Combustível, foi percebida uma grande hesitação por parte do MCT em tomar posições, definir os coordenadores, a direção, a estrutura do programa.

Um programa desse tipo não é barato, e os R\$ 25 milhões que serão investidos anualmente (ao longo de 10 anos) não é pouco, mas se comparado ao desenvolvimento em células a combustível que já ocorreu no mundo (só a Mercedes fala de US\$ 1,5 bilhões anuais) é quase nada.

Isso reforça a defesa do desenvolvimento de nichos específicos, porque não adianta todo mundo querer fazer tudo. É por isso que o programa inclui o caráter multidisciplinar do desenvolvimento das células: um desenvolvimento maduro não será feito por iniciantes ou pessoas não especializadas.

Já foram investidos bilhões no mundo todo, e não se conseguiu chegar a um equipamento comercial. A única célula comercial é a de ácido fosfórico, que custa ainda US\$ 4 mil/KW, e não se consegue baixar esse custo desde 1995.

As iniciativas nacionais perdem muito por serem isoladas, por tentarem fazer um desenvolvimento a partir do zero. Essa conduta torna as coisas mais complicadas, e certamente há centros que estão mais à frente (tanto em infra-estrutura quanto em equipamentos, pesquisadores, etc).

Há a necessidade de separar o que é pesquisa prospectiva de pesquisa tecnológica. As primeiras envolvem recursos menores, podem ser realizadas por diversos centros, e é daí que surgem as idéias. Porém quando se faz desenvolvimento tecnológico, os recursos devem ser utilizados de forma mais criteriosa, contando com a experiência dos centros especializados que trabalham a mais tempo nisso. O mapeamento feito pela Dra. Helena Li Chun mostra isso: centros de pesquisa que desenvolvem tudo para células a combustível não são produtivos, gastam muito dinheiro, e no final estão num estágio

alguém do desejado. Se fosse feito de forma adequada, haveria centros de pesquisa dando apoio em questões específicas (problemas de materiais, de eletroquímica, por exemplo). É necessário evitar que os grupos trabalhem de forma descoordenada.

As agências de fomento têm culpa nessa descentralização. O Programa visa o estabelecimento de um Comitê Técnico Científico, que será capaz de definir a distribuição dos recursos e/ou auxiliar a FINEP/CNPq nessa tarefa.

O Programa só será eficiente se for feito de forma coordenada. O que ocorre atualmente é a aprovação de projetos, os quais só prestam contas à agência. O objetivo é de uma ação mais ampla, de um desenvolvimento tecnológico realmente conseqüente, daí a necessidade de uma nova forma de coordenação do programa (e não foi percebida uma vontade política de fazer as coisas acontecerem dessa forma).

O financiamento do Programa seria feito a princípio pelos Fundos Setoriais, que foi uma forma “engenhosa” encontrada pelo governo federal de conseguir modificar um pouco a forma de suportar a pesquisa no país. Dentro dos comitês gestores a atuação política é mais dificultada, porque são pessoas de origem diferentes (conseguir manipular a todas seria muito difícil). O dinheiro para o financiamento da pesquisa e desenvolvimento viria desses comitês.

A idéia do Programa seria aprovar um determinado grupo de projetos que tivessem uma estrutura de corpo: projetos conexos e complementares para o desenvolvimento de componentes ou para montagem de um equipamento ou para pesquisa de operação do equipamento. Seria uma nova forma de enxergar as coisas, e a verba viria a princípio do CTEnrg, mas outros fundos também têm interesse em financiar essa área (é o caso do CTPetro que já financia projetos de reforma para produção de hidrogênio, e do CTInfr). Existe também a questão do suporte para o desenvolvimento de recursos humanos (Fundo Verde-Amarelo), o que mostra que podem ser diversas as fontes dos recursos para compor os R\$ 25 milhões do programa.

No opinião de Newton, há um grave problema no Brasil: a desvinculação entre a pesquisa/universidade e a indústria. Os países que têm tido mais sucesso no desenvolvimento de produtos com alto nível de agregação de tecnologia têm muitos pesquisadores contratados pela indústria.

Para ele, uma das saídas seria a questão das incubadoras de empresas de base tecnológica. É necessário pegar pessoas com boas idéias e auxiliá-las no desenvolvimento de equipamentos e tecnologias. Para isso, elas necessitam de financiamento e adquirir conhecimento em negócios, transferência de tecnologia, etc. No entanto, há empresas grandes que muitas vezes trazem toda a tecnologia de fora. Nesse ponto, o governo pode formular algumas ações no sentido de reverter esse processo de importação de tecnologia. É também necessário resistir à tentação de fechar demais as importações e o intercâmbio, porque essa saída também não funciona, além de causar um ciclo de protecionismo com custos altíssimos do ponto de vista econômico e social.

Há muita coisa a ser feita para conseguir incentivar as empresas a contratar cada vez mais pesquisadores. Parte disso pode ser solucionado com a melhor adequação dos currículos (para que eles sejam mais voltados às necessidades da indústria). Mas é preciso ser cuidadoso para não formar somente técnicos, mas sim profissionais que possam ter um bom discernimento.

No tocante às empresas privadas, a impressão é de que não está sendo feito nenhum esforço muito grande para realmente colaborar. O que aparece são informações ufanistas acerca da tecnologia. Do ponto de vista científico-tecnológico, o nível das informações é muito pobre, e essa postura é característica de todas as pessoas envolvidas nessa área (ninguém quer dar a mínima pista acerca de seu processo, sistema

ou equipamento). Quando se fala em informação tecnológica, não se pode contar com a empresa privada.

Um veículo movido a célula a combustível mudaria totalmente o parque industrial voltado para veículos de motor de combustão interna (mudaria o perfil das auto-peças, etc). Todos os países investiram no desenvolvimento de auto-peças para motores a combustão interna e seria necessário outros investimentos para os carros elétricos. Todo esse processo de adaptação deve ocorrer mais lentamente do que as empresas que trabalham com células a combustível afirmam (devido à limitação dos investimentos também). Com a geração estacionária isso também deve ocorrer (porque afeta, por exemplo, a indústria de geradores a diesel e gás natural).

QUESTIONÁRIO – ENTREVISTA
Ernesto Rafael González – USP/SC – 08/10/02

1. Comente brevemente sobre sua vida acadêmica, e também, sobre o modo como se deu seu envolvimento/interesse com o ramo das células a combustível.
2. Faça um breve comentário acerca da origem ou da tradição da USP em estudos sobre a energia do hidrogênio (o que engloba tanto as diferentes fontes das quais se pode extrair o hidrogênio, quanto às células de combustível especificamente).
3. Tendo o desenvolvimento das células a combustível um caráter multidisciplinar, quais outros departamentos/laboratórios/institutos estão trabalhando em conjunto com o Instituto de Química da USP de São Carlos? Em que medida cada um deles colabora para o desenvolvimento dessa tecnologia?
4. Em associação com quais outras instituições (públicas e/ou privadas) a USP mantém pesquisas na área de células a combustível? Qual é a importância dessas “parcerias”?
5. Qual é a melhor opção/tipo de célula para cada aplicação? Por quê?
6. Atualmente, a célula a combustível é mais um “problema” científico ou tecnológico? Por quê?
7. Qual(is) componente(s) a indústria nacional consegue produzir com a qualidade requerida para o bom funcionamento das células, e qual(is) apresentam custos competitivos em relação aos componentes importados?
8. A colaboração entre universidades e empresas pode “acelerar” o processo de desenvolvimento das células a combustível, ou cada uma das entidades possui competências diferenciadas (ainda que complementares)?
9. Do ponto de vista do desenvolvimento científico e tecnológico das células, o Brasil tem condições de alcançar a viabilidade econômica/comercial ao mesmo tempo das iniciativas internacionais?

Transcrição da entrevista realizada com Prof. Dr. Ernesto Rafael González (USP – São Carlos)

Em 1980, González conheceu um pesquisador dos EUA que trabalhava com células a combustível, se interessou pela área e foi fazer mestrado em ele no Laboratório de Los Alamos (Novo México). Após esse estágio, fez dois estágios na Universidade do Texas, e trabalhou com as células durante seis meses. Depois de um ano, voltou para o Brasil e começou a desenvolver, no Instituto de Química da USP de São Carlos, um projeto com células a combustível (e outras pessoas se interessaram).

González se interessou pelo tema pelo fato de as células a combustível terem um futuro bastante promissor. Se passaram 20 anos desde o início de seu interesse, mas valeu a pena a dedicação.

A origem dos trabalhos da USP nessa área remete ao final dos anos 70, quando a FINEP implantou um programa para o desenvolvimento da tecnologia do hidrogênio no Brasil. Inicialmente, esse programa não envolvia o desenvolvimento das células. A eletrólise da água é um procedimento interessante porque não é poluente, não envolve o uso de combustíveis fósseis nem renováveis, mas produz hidrogênio com custo superior àquele produzido por outras tecnologias; no entanto, esse hidrogênio é super puro, que pode ser utilizado na indústria alimentícia, metalurgia fina, etc. Quando o programa estava chegando ao fim, o interesse pelas células estava despertando, e foi feita a tentativa de “entrar” nessa área, a partir do estágio que o Prof. González havia feito no exterior.

Nesse momento, a USP colabora mais com o IPEN (o qual também tem projetos em células a combustível), UNESP de Bauru (pois duas pessoas que fizeram doutorado no Instituto de Química de São Carlos estão trabalhando lá). Na USP se trabalha com células de baixa temperatura, enquanto a UNESP e o IPEN têm projetos com células de alta temperatura, inclusive em colaboração com o Japão.

Nesse momento, as células mais interessantes são as de ácido fosfórico, pois a tecnologia já está desenvolvida, e são confiáveis para aplicações estacionárias. Para aplicação veicular, a mais indicada e pesquisada é a PEM, pois (futuramente) ela aceitará etanol/metanol direto, em substituição ao hidrogênio. Essa característica a torna interessante para aplicações portáteis (minicélulas para telefones celulares, laptops, com autonomia entre recargas muito maior que as baterias atuais, e com menor peso).

Também há aplicações para geração de energia elétrica em grande escala a partir das células a combustível. Existe no Japão um conjunto de células de ácido fosfórico com potência de 11 MW (suficiente para um cidade pequena). Para esse tipo de aplicação, também se pensa na utilização de células de alta temperatura (óxido sólido). Elas seriam mais convenientes em termos energéticos pois o calor produzido poderia ser aproveitado em uma turbina extra ou utilizado para aquecimento de ambientes, por exemplo.

A célula PEM também está sendo considerada para uma aplicação interessante. Hoje, o futuro da geração de energia não é mais em grande escala, e sim geração local e distribuída. Um gerador de hidrogênio acoplado a uma célula com potência de 1 a 5 KW seria suficiente para uma residência.

Existem também muitas aplicações variadas que poderiam preencher alguns nichos onde a energia é necessária. No entanto, não é aconselhável ser rígido demais pensando que as células substituem todas as formas de energia que existem hoje. O que tem que ser encontrado são os nichos apropriados em que a célula não é substituível por nenhuma outra fonte, porque essa substituição seria prejudicial. A utilização espacial é um exemplo de nicho (a célula não é mais barata mas é confiável e limpa).

Quanto à associação entre as energias solar e eólica com as células a combustível, o Prof. afirma que depende da situação e da viabilidade/disponibilidade desses recursos.

Há a necessidade de considerar os aspectos econômicos globais da energia. É possível produzir eletricidade em Itaipu, gerar hidrogênio, transportá-lo até São Paulo, e convertê-lo em eletricidade com células a combustível. Parece descabido, mas o transporte da eletricidade por cabos ocasiona uma perda de cerca de 40%. Uma vez que as células sejam produzidas industrialmente e alcancem a viabilidade comercial, será mais conveniente transportar hidrogênio do que eletricidade.

A pesquisa e a tecnologia têm uma certa defasagem; a ciência vem um pouco à frente porque ela tem que procurar aquilo que é novo e que se justifica pesquisar. O papel da pesquisa é progredir cada vez mais para tornar o produto interessante tecnologicamente. Pesquisa-se aquilo que futuramente será tecnologia, aquilo que a indústria ainda não conseguiu produzir.

É interessante que a pesquisa seja dirigida e justificada. Existem pesquisas sobre a bateria de chumbo ácido utilizada nos carros, e isso é injustificável, na medida em que ela custa R\$ 100 e dura 3 anos (em um automóvel que custa no mínimo R\$ 15 mil). O que vai conseguir com isso? Aumentar a vida útil? A pesquisa não pode ser feita aleatoriamente (muito menos a alocação de recursos).

Houve uma época em que a célula de ácido fosfórico era somente objeto de pesquisa; hoje são estudados somente seus aspectos tecnológicos (melhoria do transporte de calor, gás, engenharia da célula).

No tocante ao financiamento dos Fundos Setoriais, González afirma que o problema é que existem muitos projetos que estão nas mãos de pessoas que não são muito capacitadas para o trabalho ao qual se propõem. São capazes de formular e enviar o projeto, receber os recursos, mas depois não apresentam resultados consideráveis. Isso acontece muito com o CTPetro: são enviados alguns projetos que não são em nada relacionados ao petróleo, são “disfarces” para se pesquisar outras coisas.

Uma parte do governo está agindo certo, porque nessa área de células a combustível foi resolvido concentrar (com o Programa Nacional de Células a Combustível) ao invés de pulverizar (financiando pequenos programas específicos). Mas como muitas idéias boas, a implementação mostra dificuldades; infelizmente, falhou a coordenação, houve desentendimentos, alta rotatividade das pessoas dedicadas. Espera-se que de alguma forma (agora principalmente com a intervenção do CENEH) se concretize algo nessa área.

No que diz respeito aos componentes, a indústria nacional quer produzir aquilo que vai vender bastante (e não aquilo que vai se vendido em quantidades mínimas para pesquisa). No momento em que a tecnologia esteja mais desenvolvida, a compra de materiais importados será de certa forma dificultada, dado caráter estratégico do desenvolvimento.

Nas células PEM são necessários diferentes tipos de grafite, e nesse ponto o Brasil é privilegiado por ter grafite natural. A tecnologia não é muito complicada (a USP trabalha com grafite importado que é usado na fabricação de pneu), no entanto o tamanho do grão é maior do que o adequado, e a indústria nacional não manifestou disposição em fornecer o grafite no tamanho necessário. Outro componente que se importa é a membrana (que hoje é patente da DuPont); há grupos de pesquisa que poderiam estar desenvolvendo essa tecnologia como fazem o Japão e a Alemanha (não vão comercializar devido à patente, mas se for estrategicamente necessário, já têm condições de produzi-la).

Alguns atrasos tecnológicos mostram que o país está numa posição desfavorável no que diz respeito a alguns produtos, e que não se sabe como “recuperar” esse atraso.

Na década de 80 o Brasil tinha todas as condições de ser líder íbero-americano (e até internacional) na área de hidrogênio, mas os esforços não foram contínuos e os recursos, desperdiçados. A primeira célula montada na Coréia do Sul utilizou eletrodos desenvolvidos pela USP de São Carlos. Hoje, a tecnologia deles está muito mais avançada que a nossa porque eles não pararam de trabalhar nem de investir. É necessário definir o que vai ser desenvolvido, e apoiar aquilo.

As pessoas que trabalham com células a combustível não encontram no Brasil nichos onde possam se estabelecer para desenvolver pesquisa. Na área de células a combustível a pesquisa é muito importante, e a indústria não faz isso (quer lucro rápido), não há lugar na universidade para alunos formados, e quando aparece uma vaga, os concursos são infelizmente muito dirigidos para pontos/departamentos/grupos defasados (isso freia o avanço das áreas que deveriam ser priorizadas). No exterior, o fluxo de profissionais da universidade para a empresa (e vice-versa) é contínuo. No Brasil, o profissional que encontra um local para “acomodar-se” fica por lá mesmo.

A colaboração entre universidade e empresa é muito importante e necessária, porque se cada instituição trabalhar individualmente, a mesma coisa será repetida em diferentes lugares (o que não faz sentido). Cada grupo/empresa do país poderia e deveria fabricar/desenvolver uma parte da célula. As agências de fomento poderiam induzir essa colaboração.

O Brasil tem um grande potencial para o desenvolvimento científico e tecnológico das células, mas esse processo não se dá de forma rápida. Muitas vezes se pensa que um produto pode ser copiado, mas só se copia uma coisa que se sabe como se faz. A célula não tem todos seus componentes conhecidos (como por exemplo, os eletrodos). Isso é um entrave para o desenvolvimento a nível empresarial, porque eles precisariam de pesquisadores e assessores, o que encarece o produto que eles fabricam.

É necessário que o país integre na área de células a combustível muitos profissionais de diferentes áreas. Não há suficiente disseminação do assunto ao ponto de interessar as pessoas. Sempre que possível, González realiza palestras em universidades que não têm curso de química para despertar o interesse dos jovens para possíveis campos de trabalho. Quando se tiver uma massa crítica de profissionais na área de células a combustível, o país terá condições de impulsionar seu desenvolvimento. O Programa Nacional de Células a Combustível reconhece a necessidade de formar recursos humanos nessa área, mas há também o problema do campo de trabalho (o Brasil não aproveitar bem os recursos humanos que forma).

QUESTIONÁRIO – ENTREVISTA
José Luz Silveira – UNESP/Guaratinguetá – 14/11/02

1. Comente brevemente sobre sua formação acadêmica, e também sobre como surgiu o interesse pelas células a combustível e energia do hidrogênio.
2. Comente sobre a tradição/origem das pesquisas em energia alternativa (mais especificamente, em célula a combustível) na UNESP de Guaratinguetá.
3. Quais tipos e/ou componentes das células a instituição desenvolve? Qual foi o motivo dessa escolha?
4. Qual(is) é(são) a(s) fonte(s) fontes de financiamento mais adequada para suportar a P&D de energia alternativa (como as células a combustível)? Em que medida o modelo de financiamento praticado atualmente “alcança” essa adequação?
5. Tendo o desenvolvimento das células a combustível um caráter multidisciplinar, quais outros departamentos/laboratórios/institutos estão trabalhando em conjunto com o Departamento de Energia? Em que medida cada um deles colabora para o desenvolvimento dessa tecnologia?
6. Qual é o papel das redes de pesquisa internacionais e dos congressos/fóruns/workshops para o desenvolvimento e troca de informações sobre as células a combustível?
7. Em associação com quais outras instituições (públicas e/ou privadas) a UNESP mantém pesquisa na área das células a combustível? Qual é a importância dessas “parcerias”?
8. Dentre os diversos tipos e aplicações das células, o Brasil deveria escolher uma modalidade que privilegiasse os recursos nacionais (seja na construção da células, seja na fonte energética utilizada)?
9. Atualmente, a célula é mais um “problema” científico ou tecnológico? E a dimensão econômica?
10. Qual(is) componente(s) a indústria nacional consegue produzir com a qualidade requerida para o bom funcionamento das células, e qual(is) apresentam custos competitivos em relação aos componentes importados?
11. É viável pensar numa rede de pesquisadores/instituições/empresas para o desenvolvimento de uma solução que evite os custos e incertezas da multiplicidade e da sobre-capacidade?

Transcrição da entrevista realizada com o Prof. Dr. José Luz Silveira (UNESP – Guaratinguetá)

O Prof. Dr. José Luz Silveira é graduado em matemática e engenharia mecânica. Fez mestrado e doutorado também em engenharia mecânica (ligada à energia) e livre docência e termodinâmica.

Ele trabalha com energia desde 1987 na área de conservação, cogeração e fontes alternativas; tem trabalhado como consultor da Aneel e do CNPq, avaliando projetos de P&D (os recursos são oriundos do 1% do faturamento das concessionárias elétricas). Em 1995 realizou seu primeiro trabalho com células de combustível com ajuda da Fapesp, CNPq e Capes.

A UNESP de Guaratinguetá tem tradição em pesquisa em energia alternativa. Em 1989 a instituição procurou aprofundar essa área com cursos de extensão de graduação e pós-graduação com o nome FAE (fontes alternativas de energia), enfatizando as energias solar fotovoltaica e biogás (biodigestores).

O biogás é obtido através da putrefação de matéria orgânica (dejeito humano e animal, resíduos da indústria alimentícia, etc); bactérias “digerem” esse material orgânico e produzem metano. O Prof. montou uma estação de tratamento de afluentes numa fábrica de laticínios para produção de biogás o qual contém 69% de metano (enquanto o gás natural brasileiro contém 89%). Esse biogás seria utilizado para substituir o gás natural e/ou o óleo combustível no acionamento de caldeiras, mas segundo estudo de Silveira, o uso energético poderia produzir até 25% da água gelada do laticínio através de um equipamento de refrigeração por absorção (que hoje usa energia elétrica para sua câmara frigorífica).

Outro projeto de Silveira se localiza numa região desprovida de eletrificação na Selva Amazônica; foi colocado um painel fotovoltaico e biodigestores (alimentados pelo biogás produzido através de dejetos humanos e animais) para iluminação e acionamento de um motor que traz água potável de poços profundos.

A instituição tem estudos em painéis fotovoltaicos, biogás, células de combustível, aquecedores solares, mini estações de tratamento de afluentes, produção de hidrogênio através da reforma do etanol (processo mais barato que a eletrólise da água). Silveira também trabalha com a análise energética da reciclagem do isopor.

O Prof. também coordenou um projeto que concebeu um software chamado Solar 1.1: a partir da inserção dos dados de consumo de energia de qualquer comunidade (isolada ou não), o programa seleciona painéis fotovoltaicos comercialmente disponíveis mundialmente os quais atenderiam às especificações e necessidades da planta em questão (configurações, número de painéis, componentes, voltagem).

Silveira desenvolveu um sistema de cogeração e otimização energética para o Hospital das Clínicas da UNICAMP baseado em um motor comercial. Esse motor utiliza gás natural para produzir eletricidade para um gerador, aproveita-se o calor de operação (vapor) para produzir água quente (para uso sanitário e da cozinha do hospital) e alimentar uma máquina de produção de água gelada (refrigeração por absorção) para climatização do hospital. A eficiência de 27% do gás natural se transforma em 83% com a cogeração. Além disso, esse cogerador é compacto, nacional, e conserva energia primária, na medida em que aumenta a eficiência de aproveitamento do combustível (deixa de consumir eletricidade para o condicionamento de ar, e deixa também de gastar mais gás natural).

Elogios para FHC na Conferência Rio+10 por propor a promoção das energias renováveis, e por abrir espaço para o desenvolvimento de tecnologias energéticas sem dependência externa.

Elogios também para a FAPESP pelo rigor e segurança no fornecimento dos recursos para pesquisa.

A FEG já desenvolveu estudos teóricos sobre todos os tipos de células de combustível. As pesquisas em células PEM e alcalina estão em ritmo mais lento, enquanto a ênfase é para com as células que operam a altas temperaturas e permite cogeração (ácido fosfórico, óxido sólido e carbonato fundido). A instituição tem um projeto Fapesp premiado sobre o uso de células de combustível para uma micro empresa do setor de eletroeletrônicos (prêmio de conservação de energia nacional em 1998).

A célula de óxido sólido é particularmente interessante por produzir eletricidade e calor e permitir operação em um ciclo combinado com uma turbina (também chamado de sistema híbrido). Ela tem eficiência de 52% sozinha (um motor de combustão interna tem 27% e uma termelétrica de 25% a 23%); com o ciclo combinado, a eficiência de transformação do combustível (hidrogênio) em eletricidade chega a 90%. A instituição também possui uma célula de ácido fosfórico de 5 watts e um reformador de etanol.

O motivo da escolha das células é o de formar um grupo forte com a UNICAMP, PUC do Rio de Janeiro e COPPE para o desenvolvimento de células nacionais.

A FEG mantém intercâmbio de estudantes com a San Diego State University através de “convênios informais”. A instituição norte-americana possui uma unidade de cogeração no seu campus.

No tocante às fontes de financiamento, Silveira aponta para o fato de que as mias importantes hoje serem o P&D ANEEL, FAPESP (a qual deveria exigir mais sobre a formação de grupos), FINEP, BNDES, CNPq (é quem administra o P&D ANEEL, e também tem o projeto PROSUL de intercâmbio de pesquisadores da América Latina) e CAPES.

A atuação da ANEEL mostra que existe uma forma de as concessionárias pegarem o dinheiro e reinvestir nelas mesmas (mas deveriam aprofundar mais em energias alternativas pelo caráter estratégico das mesmas).

Silveira chama atenção para o fato de que as iniciativas são limitadas pelos custos, mas também pela falta de associação das concessionárias de energia e falta de vontade política do governo em incentivar esse tipo de atitude (através da redução dos impostos, por exemplo).

A FEG trabalha com o Instituto de Física da UNICAMP (com o Dr. Ennio Peres), com o Instituto de Química de São Carlos (com a Dra. Maria Isabel Caires) e com a Universidad Nacional de La Plata (Argentina).

O Prof. destaca o fato de os órgãos de fomento exigirem muitas publicações em periódicos anexados. No entanto, na sua opinião, a interação com outros pesquisadores através de workshops e congressos é fundamental para a formação dos recursos humanos e obtenção de conhecimento sobre novas iniciativas.

Parcerias: San Diego State University, Universidad Nacional de La Plata, Instituto de Física da UNICAMP, USP (com José Goldemberg em São Paulo e Maria Isabel Caires em São Carlos), CEMIG, BNDES, entre outros.

Silveira faz duas observações: (i) necessidade de um Centro de Referência em Células de Combustível; (ii) necessidade de ampliar horizontes e pensar na cogeração também como parte indissociável do processo de nacionalização da tecnologia das células.

Os órgãos de fomento (especialmente FAPESP e CNPq) poderiam utilizar as informações que lhes são disponíveis para interligar os projetos nacionais. O Programa Brasileiro de Células a Combustível tem futuro porque existem pessoas interessadas na formação de um “time” de currículo bom e sólido para dar continuidade e avançar no assunto.

Na sua opinião, não há problema científico, desde que se constitua um grupo de profissionais que já conheça todo o processo das células de combustível. O problema tecnológico é mais evidente, porque existem segredos e patentes. Já o problema econômico diz respeito aos catalisadores, ligas metálicas especiais (na medida em que são tecnologias de ponta).

Uma boa sugestão seria a associação entre FAPESP/CNPq/BNDES para o lançamento de um projeto conjunto; assim, cada instituição colaboraria com uma parcela dos recursos para pesquisa e desenvolvimento de projetos, o que não “pesaria” para nenhuma e traria um montante de recursos maior).

A célula é cara porque está lá fora. O Brasil tem potencial para nacionalizar quase todos os componentes das células (existe competência nacional para isso), exceto os catalisadores. Um trabalho bem coordenado levaria à competitividade da indústria nacional no setor. Uma metodologia seria a formação de grupos com diferentes competências e fornecedores para o desenvolvimento de cada tipo de célula e de seus componentes (sem que a essência da célula fosse importada, o que não representaria de forma alguma a nacionalização da tecnologia).

QUESTIONÁRIO – ENTREVISTA
Antônio César Ferreira – UniTech – 27/09/02

1. Seu interesse nas células de combustível surgiu durante sua formação acadêmica no Brasil (IQ-USP/SC), ou somente durante seu pós-doutorado e experiência profissional no exterior?
2. Segundo informações encontradas no Revista Fapesp (11/2001), sua experiência com as células de combustível no exterior foi vasta e, inclusive, lhe foi feita uma proposta para montagem de uma empresa para produção das células nos EUA.
Comente sua experiência fora do Brasil, e sua motivação para voltar ao país (especificamente, para sua cidade natal).
3. Explique, brevemente, o funcionamento das células de combustível, e identifique seus principais componentes. Com qual desses componentes a UniTech trabalha, e qual a razão da escolha de desenvolvê-lo?
4. Segundo informações obtidas no *site* da Fapesp, a UniTech já teve três projetos financiados pela agência. A empresa já teve outra(s) fonte(s) de financiamento para o desenvolvimento de seus projetos? Qual (is)?
5. Já há alguma ação/iniciativa por parte dos Fundos Setoriais para o desenvolvimento de fontes energéticas alternativas (especificamente, para a viabilização da tecnologia das células de combustível)? Elas são adequadas?
6. Atualmente, qual é o combustível mais pesquisado para as células? Qual é a opção mais viável para o Brasil? Por que?
7. As aplicações das células na indústria automobilística têm maior destaque na imprensa do que as aplicações estacionárias. Qual é o patamar de desenvolvimento tecnológico das células para essa segunda aplicação? O mercado está igualmente receptivo?
8. A célula de combustível deve seguir uma trajetória de utilização e preço semelhante a que outra fonte energética já considerada tradicional?
9. Qual é o patamar atual de preço das células e da energia produzida por elas, no âmbito nacional e internacional? Quais são as perspectivas/previsões para comercialização viável das células?
10. Qual é a vantagem ou desvantagem (no tocante ao desempenho econômico e científico da empresa) de receber o financiamento do PIPE da Fapesp, ao invés de ser uma empresa encubada?
11. Comente a afirmação de que a membrana é commodity.

Transcrição da entrevista realizada com o Dr. Antônio César Ferreira (UniTech)

Ferreira foi bolsista de iniciação científica, e estudou a eletrólise da água. As células começaram a fazer sucesso no início da década de 80, e como o assunto era ligado à eletrólise, ele se interessou e fez mestrado também nessa área. Seu doutorado foi com a parte científica da célula, e nos EUA trabalhou com a parte de tecnologia aplicada. Durante seu doutoramento, seu chefe foi trabalhar em um novo centro de hidrogênio no Texas, e o convidou para trabalhar no desenvolvimento de eletrodos para a Nasa para substituir a célula alcalina pela de polímero condutor.

Depois de aprender a trabalhar com o eletrodo, Ferreira preocupou-se em trabalhar com o protótipo todo (10 KW da Mazda, 5 KW para a Korean Gas Corporation). Depois do protótipo, o próximo passo seria a placa, e o sistema estaria completo. Ele foi para uma empresa que trabalhava com ciência de materiais no Arizona para pesquisar novos materiais mais resistentes, leves, baratos e compactos para a Nasa (principalmente o titânio). A idéia da placa que fabrica hoje surgiu nos EUA mas só foi colocada para a FAPESP porque ele acreditava na oportunidade. O desenvolvimento da tecnologia das placas foi feito aqui no Brasil, mas a tecnologia do restante dos componentes Ferreira trouxe de sua experiência no exterior.

Atualmente, o eletrodo com que trabalha pode ser utilizado e fabricado sem que se tenha que pagar patente, porque foi publicado um trabalho em 1992, um ano antes da Ford querer patentear a tecnologia (o conhecimento já era de domínio público).

Antes de vir ao Brasil, Ferreira conheceu um homem que trabalhava com negócios Japão/EUA há 15 anos, e foi convidado a montar uma empresa em Connecticut: Ferreira trabalharia com a ciência e tecnologia, e ele se encarregaria de trazer investidores. No entanto o projeto FAPESP havia sido aprovado, e Ferreira decidiu voltar ao Brasil. Foi para Cajobi por comodidade (tinha uma casa disponível, o custo de vida é menor que o de uma capital, não tem problemas com fornecedores nacionais ou internacionais), mas agora já é estratégico.

Curiosidades: trabalhou no desenvolvimento de células a combustível de 150 watts que eram acopladas ao cinto dos soldados da Guerra do Golfo para refrigeração de suas roupas; participou do desenvolvimento de baterias para rádios de estações repetidoras da CIA (EUA).

Ferreira considera sua empresa como a mais bem preparada da América Latina na área de células a combustível. A UniTech foi a primeira empresa da América Latina a entregar um protótipo a outra empresa (Cemig), o que significa que seu produto já tem um “certificado de qualidade”.

A UniTech foi fundada em 1996, mas a empresa era inativa. Nessa época, Ferreira estava nos EUA e montou a empresa esperando alguma oportunidade, e a primeira que apareceu foi a FAPESP com o PIPE, que era um programa similar ao que ele já trabalhava nos EUA (Small Business Innovation Research).

Através desse programa, os órgãos governamentais financiam empresas que tenham até 100 funcionários, porque quando se fala em tecnologia, “as empresas grandes devoram as pequenas”. A idéia é de criar uma cultura de tecnologia nas empresas pequenas: na década de 90 havia cerca de 700 empresas nos EUA trabalhando só em tecnologia. Esse nicho de atendimento é importante, e o Programa Brasileiro de Células a Combustível tem que delimitar o destino dos investimentos, caso contrário eles irão todos para as grandes empresas.

Existe uma cultura no Brasil de que tecnologia se faz em prédios grandes, que impressionem. Nos EUA as coisas começam na garagem (como fizeram a Microsoft e a

HP), e se alguém tem uma idéia “brilhante”, manda para o governo (como Ferreira fez com a FAPESP), e ele aprova, os recursos para o desenvolvimento do projetos são liberados.

Ferreira enfatiza o fato de confiar e acreditar muito na FAPESP, a qual ele julga ser um órgão muito sério, “uma ilha no Brasil”. Assim que a fundação aprovou seu projeto, ele deixou seu emprego no Arizona e voltou para o Brasil.

Nos EUA, existem fontes de financiamento específicas para universidades, outras só para empresas (SBIR/FAPESP), outra para a cooperação universidade-empresa, porque cada tipo de financiamento tem um propósito. No Brasil há um problema de distribuição de verbas; o governo não dá dinheiro só para a empresa porque é “dinheiro público” (conceitos antigos, ultrapassados). Desenvolver tecnologia em instituições sem fins lucrativos não faz sentido. O que deve ser feito é o financiamento sério, eliminando corrupção ou desvios de recursos (nesse ponto, dá-se crédito para a FAPESP e critica-se o governo federal). O desenvolvimento tecnológico exige muito trabalho, e nesse ponto a empresa leva vantagem frente à universidade pois tem que apresentar resultados rápidos, os recursos não são infinitos, os pessoal envolvido não é tão sazonal, etc.

A UniTech desenvolve projetos com participação da UFSCar (com financiamento do CTPetro), da UNICEP-SC (financiado pela FINEP) e com a USP-SC (em energia solar). Ferreira afirma que os projetos surgem naturalmente, e não através de uma parceria “imposta”; os grupos vão se identificando de acordo com o que tem a precisam e com o que têm a oferecer. A parceria é importante porque a universidade tem alguns equipamentos dos quais a empresa necessita e não possui, e vice-versa. No entanto, a idéia do professor/acadêmico ser o coordenador do projeto é errada (cada profissional no seu âmbito de atuação).

O projeto de utilização da energia solar para produção de hidrogênio é a “nacionalização” de um projeto em que Ferreira participou em um laboratório da Marinha na Califórnia. O sistema funcionava 24 horas por dia, durante 4 anos, sem apresentar problema algum. Ele pensou nesse projeto pelo fato de haver muito sol “desperdiçado” no Brasil, inclusive nas regiões Norte e Centro-Oeste, onde o governo subsidia a geração de eletricidade a partir de geradores a diesel.

Para o Brasil, uma opção extremamente interessante do ponto de vista de estratégia econômica (de independência) seria o etanol, pois além de renovável, é um produto nacional e já existe uma rede de fabricação e distribuição. No entanto, o gás natural (importado da Bolívia) se apresenta como a opção mais rápida no momento, e deve ser utilizado até 2040/50.

O Brasil está caminhando para a desregulamentação do sistema elétrico, e não há limites para o que pode acontecer no ramo de distribuição de energia. Hipoteticamente, se os carros dos funcionários de uma indústria são movidos a células a combustível, e se essa indústria tem um grande estacionamento, esses carros poderiam estar produzindo energia elétrica para o prédio (ou até mesmo, vendendo essa energia). Isso mudaria completamente o conceito de energia elétrica, acaba com o monopólio, e é por isso que as grandes empresas de energia estão tão preocupadas.

No tocante à durabilidade do eletrodo, ele tem que ser trocado depois de 5 a 6 anos de uso, devido a um fenômeno físico que provoca a aglomeração das partículas de platina e diminui a área exposta ao hidrogênio e, com isso, o desempenho da célula. Para carros elétricos são 3 mil horas de funcionamento, e para aplicação estacionária, 40 mil. No entanto, tanto o plástico da membrana quanto a platina do eletrodo podem ser reutilizados (reciclados), sem nenhuma agressão ao meio-ambiente.

Em tecnologia, tudo é segredo: com que tem o projeto, para quem entrega o protótipo. O produto é uma “troca de informações” entre as empresas, e deve existir

uma ética de não transmiti-las a uma terceira empresa. Ma há também a possibilidade de manter muito segredo porque a empresa não sabe/tem nada. Hoje no Brasil há uma febre em células a combustível, todo mundo se diz “expert”, publica artigos, mas a tecnologia mesmo, são pouquíssimos os que possuem (porque isso leva tempo e investimento).

A Europa “parou no tempo” em células a combustível desde os anos 70/80, e só os EUA continuaram investindo. Quando a Mercedes se interessou pelas células a combustível, foi buscar competências e as encontrou na Ballard (Canadá). O primeiro investimento da Mercedes foi de US\$ 315 milhões, e hoje ele gira em torno dos US\$ 1,5 bilhões. Ela tinha capital, mas precisou ir atrás da tecnologia (e a Ballard era a melhor empresa de células a combustível da época).

A Toyota afirma que até 2004/5 lançará 100 mil carros por ano nos EUA. Isso prova que o negócio é viável economicamente, e que o que resta é uma questão de engenharia (barateamento do custo das placas, melhoria dos materiais em termos de resistência e peso, design, etc).

As células para uso automobilístico ganham maior destaque na mídia porque tudo que essa indústria faz, repercute mundialmente. Los Angeles deu o impulso, mas a poluição causada pelos veículos realmente é o problema principal. Cerca de 80% a 90% da poluição da grande São Paulo é causada pelos carros/caminhões/ônibus. No entanto, a energia elétrica para uso estacionário também é importante (vide o apagão de 2001), além de a tecnologia para esse uso ser mais simples (não exige tanta compactação, resistência a choques mecânicos, etc).

Quando são lançados estudos acerca dos custos da energia produzida pelas fontes tradicionais não se contabiliza o custo das linhas de transmissão. Nos casos da termelétrica (US\$ 800/KW) e da hidrelétrica (US\$ 1.500/KW) o custo de R\$300 mil/KW é ignorado. Segundo especialista, se o custo da energia produzida pelas células a combustível chegar no patamar de US\$ 1.500/KW ela se torna competitiva, com a vantagem de não haver custos e perdas com linhas de transmissão ou impactos ambientais.

Hoje, a célula não é um produto comercial, por não ser fabricada em escala (é um método artesanal tanto a fabricação dos MEAs quanto das placas), mas Ferreira acredita que o custo chegue a US\$ 1.000/KW até o final da década. Com o projeto que vem desenvolvendo com a FINEP-UNICEP sua produção de placas passará a ser semi-industrial (moldes que viabilizarão a produção de 10 a 30 placas por hora).

Ferreira acredita que as incubadoras fornecem facilidades para montagem e gestão da empresa que está iniciando, mas tem algumas críticas pessoais quanto à sua forma de atuação.

QUESTIONÁRIO – ENTREVISTA

Volkmar Ett – Electrocell – 11/10/02

1. Comente sobre o processo de concepimento da Electrocell.
2. A empresa conta com a colaboração de profissionais de que ramos científicos? Qual foi o critério de “associação” desses profissionais?
3. Explique, brevemente, o funcionamento das células de combustível, e identifique seus principais componentes. Com qual desses componentes a Electrocell trabalha, e qual a razão da escolha de desenvolvê-lo?
4. Qual é a vantagem de ser uma empresa incubada? Existe alguma desvantagem?
5. Estando fisicamente localizada dentro de uma universidade, é mais fácil para a Electrocell conseguir uma maior “comunicação” com os profissionais do meio acadêmico? Em que medida essa interação do ambiente acadêmico e empresarial auxilia para o desenvolvimento tecnológico das células a combustível?
6. Segundo informações obtidas no *site* da Fapesp, a Electrocell já teve um projeto financiado pela agência. A empresa já teve outra(s) fonte(s) de financiamento para o desenvolvimento de seus projetos? Qual (is)?
7. Quais são as fontes de financiamento mais adequadas para uma pequena empresa de base tecnológica, como a Electrocell? Por que?
8. Já há alguma ação/iniciativa por parte dos Fundos Setoriais para o desenvolvimento de fontes energéticas alternativas (especificamente, para a viabilização da tecnologia das células de combustível)? Elas são adequadas?
9. Segundo informações encontradas na Revista Fapesp, a Electrocell agora busca investidores de capital de risco para implementar a linha de produção. Em que medida esse tipo de financiamento complementa ou supera as fontes internas de recursos?

Transcrição da entrevista realizada com Volkmar Ett (Electrocell)

Havia duas firmas independentes que trabalhavam com eletroquímica e sistemas de baterias que já estavam incubadas no CIETEC, e ambas tinham experiência em células a combustível. Dessa convivência surgiu a Electrocell.

A empresa se interessou pelas células pelo fato delas serem equipamentos que exigem conhecimento em diversas áreas, áreas essas que precisam estar perfeitamente entrosadas. O convívio multidisciplinar entre os técnicos que lá trabalham é a explicação do sucesso que a empresa vem obtendo.

No tocante à formação dos profissionais da empresa, Volkmar afirma que são poucos os ramos “que escapam”. Ela tem hoje 23 acadêmicos trabalhando em conjunto, formando um lastro científico que, segundo Volkmar, dificilmente será encontrado em outra empresa.

A Electrocell tem capacidade de fabricar a célula toda, mas compra de terceiros o que não considera indispensável por qualquer questão de qualidade e/ou propriedade intelectual. Na sua visão, o ideal é chegar o mais próximo possível de uma montadora, mas com o domínio tecnológico de todas as etapas. Um ponto lógico é não desenvolver e fabricar os componentes que já estão no mercado a preços competitivos com a qualidade requerida para uso.

A empresa incubada é uma situação ideal para a empresa muito pequena como a Electrocell, pois ela pode fazer uso das instalações já existentes (recepção, salas, banheiros, energia elétrica, etc), ao invés de arcar com esses custos (os quais seriam “pesados” para uma firma muito pequena). Numa incubadora, a firma também tem a possibilidade de desenvolver-se mais rapidamente. Conforme a empresa vai crescendo, ela escolhe se vai para um parque tecnológico ou se sai totalmente da universidade (monta sua unidade própria). Para a Electrocell, a opção do pólo tecnológico é mais interessante, porque há no CIETEC oito fornecedores de componentes e serviços muito importantes para ela.

A proximidade física com a universidade facilita a troca de idéias e a interação entre laboratórios e cientistas. No caso de haver algum problema a ser resolvido, sempre existe um profissional/professor especializado para prestar assistência. Na maioria das vezes, ocorrem “probleminhas” que são facilmente resolvidos com uma “breve conversa”. Sem a proximidade, a comunicação levaria mais tempo.

A Electrocell interage com outros fabricantes de células a combustível de todo o mundo. Os problemas em comum são ocasionalmente discutidos em fóruns e congressos.

O segredo na tecnologia existe, mas as empresas sondam-se mutuamente e cuidadosamente; às vezes, algumas chegam à conclusão de que vale a pena conversar. É essa a função dos congressos, férias, workshops. Com o tempo, os concorrentes deixam de ser “bicho-papão” e chegam a ser “parceiros” com todo respeito e distância necessários.

A Electrocell teve financiamento da FAPESP, mas a fundação não o renovou para o segundo estágio do projeto. Ela também tem acordos de P&D com algumas firmas, apoio da Finep, apoio indireto do MCT, colaboração com outras universidades, e contatos com ministérios (de forma mais secundária).

A fonte de financiamento mais adequada é aquela que fornece os recursos confiando na viabilidade do projeto. É também de grande importância uma continuidade dos investimentos. A FINEP dá prioridade para projetos maiores, e os Fundos Setoriais

são uma boa forma de incentivo por colocar prioridades à alocação de recursos. A Petrobrás gasta seu dinheiro de racional, mas também enfatiza grandes projetos.

A Electrocell já tem solidez, e o risco de investir nela é pequeno. Ela se considera num estágio intermediário entre empresas muito pequenas (totalmente dependentes de financiamento de agências, do governo) e firmas grandes (as quais captam recursos através do lançamento de ações).

Para que a células entrem no mercado, é necessário resolver alguns problemas (como a produção do hidrogênio a preço viável e competitivo). Como ainda restam cerca de 38 anos de fornecimento de petróleo (com o consumo atual), esse “meio tempo” poderia se utilizado para construção de uma infra-estrutura de abastecimento de hidrogênio. Poderia fazer uso das biotecnologias (como a energia solar para produção de hidrogênio através de algas), mas o armazenamento está longe de ser considerado satisfatório. Se a célula a combustível não for competitiva, ela não será vendida; não há uma solução nacional nem internacional satisfatória, mas há muitas iniciativas.

Não há razões para que Programa Nacional de Células a Combustível dê errado. Os problemas fora da área de células a combustível a serem resolvidos são os relacionados ao suprimento da energia elétrica necessária. Na opinião de Volkmar, será necessário de 10 a 15 anos para a maturação do programa e viabilidade econômica das células.

QUESTIONÁRIO – ENTREVISTA
Márcio Schettino – EMTU/SP – 11/09/02

1. Antes do Ministério das Minas e Energia convidar o EMTU/SP para gerenciar a implantação do projeto dos ônibus movidos à células de combustível, a empresa já trabalhava com novas tecnologias e/ou havia preocupação com a obtenção de novas fontes energéticas limpas?
2. Comente brevemente a etapa I do projeto, concluída em abril de 2000.
3. Comente a escolha do local de circulação dos ônibus, e o número escolhido de veículos.
4. Segundo informações obtidas no site da EMTU/SP, um dos objetivos do projeto é o de “desenvolver tal tecnologia no Brasil, junto às operadoras de ônibus, fabricantes, universidades, escolas, visando criar um novo mercado”. Com quais fabricantes e universidades a empresa espera estabelecer parceria?
5. A EMTU/SP afirma que utilizará em seu projeto a opção de fornecimento do hidrogênio através da eletrólise da água. Comente algumas das formas/fontes de produção do hidrogênio e o porque da escolha da eletrólise.
6. No que diz respeito à produção do hidrogênio que alimenta as células, haverá alguma outra entidade trabalhando na sua produção, ou somente a EMTU/SP desempenhará essa tarefa?
7. Segundo informações obtidas no site da FAPESP, três grupos de pesquisa devem participar da licitação internacional para o fornecimento dos ônibus para a EMTU. Comente como foi o contato com esses grupos, quais são eles, e quais vantagens e desvantagens de cada um. Qual foi ou será a variável determinante da escolha do fornecedor dos ônibus?
8. Qual será, em média, o custo de cada ônibus utilizado no projeto? Qual é a tecnologia (tipo) de células de combustível que será utilizada nesses ônibus?
9. Já existe alguma análise (cálculo financeiro e ambiental) do custo benefício da implantação dos ônibus?
10. A previsão de entrega do primeiro ônibus será cumprida? Quantos veículos por ano a empresa espera colocar em circulação?
11. Existe alguma outra entidade – além do Global Environmental Facility e da Finep – interessada em financiar o projeto, ou até mesmo de participar do desenvolvimento da tecnologia a partir da experiência da EMTU/SP?
12. Como foi distribuído (áreas) o montante de recursos previstos para o financiamento do projeto? Quanto já foi utilizado de cada uma das entidades financiadoras (GEF e Finep), e qual foi o destino dos recursos?

Transcrição da entrevista realizada com Márcio Schettino (EMTU/SP)

A empresa sempre teve a preocupação de prover o cidadão com o melhor sistema de transporte que possa ser implantado, e isso inclui segurança, conforto, rapidez e meio-ambiente.

Exemplos dessa preocupação são os testes de ônibus movidos a gás natural no corredor São Mateus-Jabaquara em 1992, os ônibus movidos a etanol em 1997, sendo ambas as fontes energéticas mais limpas que o diesel. Há também o trolebus no mesmo corredor, e esse é o único veículo de emissão zero atualmente; o substituto seria o hidrogênio, o qual proporcionaria maior mobilidade ao veículo, representando uma vantagem em comparação ao trolebus.

A política ambiental da empresa para futuras contratações leva em conta um cálculo do potencial de poluição da frota e fixa metas a serem atingidas para que esse potencial seja reduzido. Daí surge a necessidade de se buscar novas tecnologias que emitam menos gases poluentes, e a principal delas é o hidrogênio. Outra tecnologia que também vem sendo estudada é a dos ônibus híbridos.

No início, o projeto era de uso de energia secundária (fora do horário de pico) e armazenamento sob a forma de hidrogênio. A idéia de usá-lo no transporte começou a sete anos atrás com o MME, que procurou a EMTU, e agora estão no ponto de amadurecimento do projeto.

A etapa I constituiu-se do início dos contatos entre MME e PNDU para discutir a possibilidade de financiamento de um estudo de viabilidade (um esboço do projeto que foi aprovado pelo GEF). Esse estudo de viabilidade durou de 1997 a 2000, e consistiu na contratação de consultores para integrar o conhecimento sobre as condições do sistema de transporte brasileiro com o estado da arte da tecnologia das células a combustível, sobre a possibilidade de empregá-la no transporte público, como fazê-lo e a elaboração da fase II. O estudo revelou existir viabilidade econômica, caso a tecnologia fosse desenvolvida e utilizada de acordo com as condições do sistema de transporte brasileiro.

O custo de operação do diesel é mais barato do que o do hidrogênio, que por sua vez é 20% mais barato que o custo de operação do trolebus (que é 60% mais caro que o do diesel). Isso ocorre porque, ao contrário das células a combustível, o trolebus utiliza energia em horário de pico, além de acarretar custos de manutenção da rede elétrica por onde circula. O hidrogênio seria então um “intermediário” entre o diesel e o trolebus.

Ainda não é possível estipular o custo exato dos ônibus, na medida em que são protótipos, mas a estimativa de preço é o preço dos ônibus utilizados no projeto europeu (1,25 milhão de euros cada).

Devido à necessidade de “rodar” um milhão de quilômetros em quatro anos (quilometragem esta que dá condições para que sejam levantadas estatísticas sobre a vida útil dos veículos, problemas de operação, etc), foi fixado um número de oito ônibus os quais passariam por três revisões cada (uma a cada 50 mil quilômetros). Essa quilometragem daria uma boa idéia da tecnologia em comparação com as demais existentes. Para a EMTU, os corredores são a melhor forma de introduzir as melhores e mais caras tecnologias, pois há maior velocidade, demanda e remuneração do que nos demais ônibus, o perigo de batidas e/ou acidentes é menor, há melhores condições de tráfego, o que diminuem o custo de operação e o número de ônibus necessários.

A análise do custo-benefício dos ônibus é parte integrante do projeto, e será feita durante a fase II. No entanto, já existem algumas análises das emissões de CO₂ que

serão reduzidas, e possível e futuramente comercializadas no mercado de carbono proposto pelo Protocolo de Kyoto.

O estudo de viabilidade mostrou que a produção do hidrogênio através da eletrólise é mais viável, por ser o processo que está mais desenvolvido tecnologicamente, e também por ser o processo que produz o hidrogênio mais puro (dentro das características que a célula a combustível necessita). Os processos de reforma são válidos, mas requerem o uso de catalisadores que são caros e não estão tão bem desenvolvidos ao ponto de não haver nenhum resíduo no hidrogênio produzido. Houve também a exigência por parte do financiador (GEF) para que o hidrogênio fosse produzido a partir de uma fonte renovável, e a energia hidrelétrica é a mais limpa delas.

No que diz respeito às parcerias, a EMTU já trabalhou com a USP de São Carlos e com a UNICAMP na fase de estudo de viabilidade. Quando o projeto estiver em andamento (fase II), o processo de divulgação dos resultados vai ser feito com conjunto com as universidades para disseminar a tecnologia. De acordo com Márcio Schettino, “os passos são dados de acordo com as necessidades”. Agora está sendo feita uma análise da melhor forma de abrir o processo de licitação para aquisição dos ônibus, de maneira que as empresas brasileiras tenham participação relevante.

A licitação para a aquisição dos ônibus ainda não foi lançada. Em janeiro de 2002 foi emitida uma manifestação de interesse internacional, “perguntando ao mercado” quais empresas estariam dispostas e interessadas a participar do projeto, e com as respostas recebidas está sendo montado o processo de licitação, que deve estar aberto até o final de 2002. Como a licitação ainda não foi feita, o cronograma do projeto (a entrada em circulação dos ônibus) foi adiado para o final de 2003/início de 2004.

Como o projeto é “algo como um todo”, haverá a contratação de um consórcio de empresas que será responsável por tudo (eletrólise, fabricação das células, fornecimento dos ônibus, etc). Outros financiadores que estiverem interessados no projeto poderão atuar injetando recursos nas empresas que participarão do consórcio (financiando o desenvolvimento do ônibus, por exemplo).

Do montante de recursos disponibilizados por cada uma das entidades financiadoras, não foi utilizada a parcela do GEF, pois essa é voltada, basicamente, para a aquisição de equipamentos. Foi utilizada uma parcela (não muito expressiva) dos recursos disponibilizados pela FINEP no início do projeto (com a contratação de consultores, formulação da manifestação de interesse, etc).

QUESTIONÁRIO – ENTREVISTA

Marcelo Linardi – IPEN – 11/10/02

1. Comente brevemente como se deu o envolvimento do IPEN (e seu pessoal) com o ramo das células a combustível.
2. Qual é o tipo de célula com a qual o IPEN trabalha? Qual foi o motivo dessa escolha?
3. Com quais instituições públicas e/ou privadas o IPEN mantém (ou já manteve) “parcerias” para o desenvolvimento das células a combustível? Em que medida essas parcerias foram importantes?
4. Quais são as fontes de financiamento mais adequadas para o desenvolvimento tecnológico de fontes alternativas de energia (como as células a combustível)? Quais são as o IPEN utiliza?
5. Em que medida a “comunicação” entre o ambiente universitário e empresarial é importante para o desenvolvimento tecnológico das células a combustível? Essa “comunicação” vem ocorrendo?
6. Qual é a vantagem que o IPEN encontra em estar fisicamente localizado dentro de uma universidade?
7. Nos últimos tempos, tem se falado muito sobre o caráter estratégico do desenvolvimento nacional das células a combustível. Em que medida as iniciativas nacionais estão trabalhando nesse objetivo?

Transcrição da entrevista realizada com Prof. Dr. Marcelo Linardi (IPEN)

Há cerca de 7 anos o instituto aumentou a ênfase dada ao “E” (energéticas), acompanhando uma tendência mundial, e diversificando as pesquisas do instituto (materiais, ciências ambientais). Dentro desse contexto, o IPEN decidiu pesquisar áreas de interesse em energia alternativa que iam de encontro com o perfil dos pesquisadores e seus campos de ação (a célula a combustível foi uma delas).

Já existia um grupo de material cerâmico bem competente e estabelecido, um grupo de eletroquímica e outro de engenharia de sistemas, os quais foram o gérmen para o crescimento do projeto em células a combustível. Em 1998, o instituto resolveu criar/nuclear um grupo de células a combustível.

Marcelo Linardi é engenheiro químico graduado pela UNICAMP, fez mestrado em ciências nucleares no IPEN e doutorado na Alemanha em processos químicos aplicados à ciências nucleares. Dentro desses “processos químicos” havia etapas eletroquímicas que foram a ponte para o interesse pelas células. Quando voltou ao Brasil, Linardi começou a se envolver em processos eletroquímicos aplicados à nucleares, e mais tarde (quando começou o interesse do instituto pelas células), os diretores buscaram as competências que ali existiam.

Devido aos interesses do instituto, Linardi procurou fazer um pós-doutoramento na Alemanha já na área de células a combustível para poder trazer essa competência para o IPEN. Quando voltou, convidou o professor que o recebeu na Alemanha para vir ao Brasil; conseguiu financiamento da FAPESP para que ele ficasse no país durante dois meses ministrando cursos, e começaram a formar recursos humanos para esse projeto.

O ano de 1998 é considerado como o de início do projeto, pois foi quando já havia uma massa crítica de pessoas envolvidas na área. A vinda do professor Wein determinou conversas com a diretoria para definição dos objetivos/metasp dentro do programa (porque o campo das células é muito amplo), e é isso que o instituto tem feito desde então.

Dos seis tipos de células a combustível, um deles (ácido fosfórico) já está no mercado, outro tem problemas tecnológicos muito graves (conforme já demonstrado nos EUA em diferentes experimentos). O IPEN optou por dois tipos: a PEM e a de óxido sólido. A primeira é a mais promissora tanto para aplicação móvel quanto estacionária (funciona a baixa temperatura, é versátil, alta densidade de energia). A segunda foi escolhida devido a existência de toda uma competência na área de cerâmica por parte do IPEN; é interessante também para produção estacionária e cogeração. Ambas são de interesse do IPEN para aplicações estacionárias, visando geração distribuída de energia elétrica.

De 1998 a 2002 o IPEN já desenvolveu muita coisa nos dois tipos de células, muitos ganhos técnicos significativos foram feitos. Há a esperança de que as atividades e progressos do instituto cresçam juntamente com Programa Nacional de Células a Combustível. Os grupos de estudo se dividem em P&D de células PEM, P&D de células de óxido sólido, Reforma e Sistemas (aproveitará a infra-estrutura e competência do grupo de engenheiros que projetou o reator nuclear).

As parcerias são importantes porque a tecnologia das células a combustível é multidisciplinar, envolvendo materiais (polímeros, cerâmicas, metais), eletroquímica, sistema de troca de calor, eletrotécnica, microscopia. Com as parcerias, é possível integrar todas essas áreas de estudo.

O IPEN já estabeleceu parceria com a USP de São Carlos (Instituto de Química), com uma Universidade da Alemanha (utiliza seu laboratório para caracterização física

dos eletrodos). No futuro, quando o processo crescer mais, serão necessárias mais parcerias, outras competências. Há também bastante interação com a Electrocell (convênio para o desenvolvimento de eletrodos para a empresa). A empresa já produz células com eletrodos importados, e a idéia é de nacionalizar essas células, com método inovador, patenteado futuramente pelo IPEN.

O IPEN utiliza basicamente três fontes de financiamento: a FAPESP (que foi a principal no início do projeto, através de aprovação de projetos individuais de pesquisa), do próprio IPEN que vem do MCT (o qual alocou recursos no início para construção/reforma de laboratórios, e tem mantido os laboratórios operando), e o CTPetro (é mais recente, aprovou em 2001 um projeto de R\$ 1 milhão, e é o que tem sustentado o projeto atualmente).

Uma fonte provável e promissora de recursos para células a combustível é o Programa Nacional de Células a Combustível; a fonte dos recursos não deixa de ser os Fundos Setoriais, mas inclui outros fundos além do CTPetro (CTEnerg, verde-amarelo, CTInfra).

A palavra alternativa já demonstra que a tecnologia ainda não tem potencial de mercado, e então precisa de recursos a fundo perdido, recursos de fomento (CNPq, FINEP, FAPESP). A interação com a empresa também é importante/favorecida por essas fontes para justamente criar uma indústria nacional nessa área nascente.

A comunicação entre a universidade e a empresa vem ocorrendo, mas de maneira mais lenta que o esperado/desejado. Ela é muito importante porque há muitos problemas com contratação de novos pessoais, o quadro de pesquisadores é limitado. A mão-de-obra escassa causa busca de mão-de-obra estudantil (mestrados, doutorado, iniciação científica, pós-doutorado), que através de bolsas dos órgãos de fomento passam a fazer parte da mão-de-obra principal do IPEN (há pesquisadores do instituto e cada um tem um corpo de orientandos/alunos) para produção tecnológica.

Essa comunicação não é efetiva devido também à limitações das próprias bolsas (concessão, verba controlada, recursos escassos), o que dificulta conseguir alunos com bolsa com dedicação exclusiva. O interesse por parte da comunidade universitária é grande; às vezes não se pode dar respaldo à esse interesse por falta de apoio financeiro.

Na área de células a combustível não se pode falar de empresariado, porque as empresas que existem estão em fase nascente, não geram muito lucro, fazem convênios com instituições que contratam seus serviços para construção de protótipos. Já que não têm respaldo financeiro, fica difícil delas contratarem profissionais, abrigando um nível mínimo de funcionários (vide empresa incubada no CIETEC).

Se houver um boom de células a combustível e a indústria nacional se desenvolver (e esse é o momento pois a tecnologia está num ponto crítico, pré-comercial), é claro que haveria uma procura pois o mercado de trabalho está saturado de profissionais competentes (eles vão procurar as empresas).

O receio é que os órgãos de fomento negligenciem mais uma vez esse momento importante de ganho tecnológico, que isso se desenvolva mais rapidamente lá fora do que aqui, que a empresa nacional seja engolida por multinacionais no futuro. O governo e os órgãos de fomento deveriam perceber esse momento importante e realmente atuarem para que a empresa nacional e os institutos de pesquisa se desenvolvam e cresçam junto com o que está acontecendo no exterior. Caso contrário, o país será “engolido” mais uma vez.

Com o pouco investimento que tem sido alocado para as células a combustível, tem sido feito muito, porque existe a competência nacional (o que falta são os recursos). O Brasil está em “pé de igualdade” com o que tem sido feito lá fora.

Há vantagens de estar dentro da USP, e de estar localizado num pólo tecnológico: facilidade de contato com indústria de apoio, alocação de recursos (FAPESP só atende o Estado de São Paulo, e é muito eficiente), alocação de estudantes, estagiários. Segundo Linardi, se o instituto estivesse no interior seria mais difícil, e fora do Estado ainda mais. A localização facilita muito, e devido ao próprio histórico do instituto (interação com a USP e outras universidades paulistas).

Para Linardi, o governo mais uma vez demorou um pouco para tomar iniciativas, mas está começando (Programa Nacional de Células a Combustível, o qual deve ser implementado neste ano). É difícil, por outro lado, sensibilizar rapidamente as autoridades sobre aquilo que elas não conhecem (a importância da tecnologia). Os países industrializados têm esse contato muito mais facilitado. Espera-se o sucesso do Programa, sucesso esse que irá ajudar a academia e a indústria nacional nascente nessa área. O Fundo Setorial de Energia também já está se movimentando junto com o Programa, e alguns editais/projetos isolados já foram aprovados.

O caráter estratégico de longo prazo das células é em nichos específicos de mercado, sendo o principal deles a geração distribuída (unidades de baixa e média potência in loco para hospitais, hotéis, bancos, etc) e não geração em larga escala como em Itaipu. É também interessante para geração móvel (carro elétrico no futuro), e é esse ramo que tem impulsionado bastante a tecnologia internacionalmente.

A energia solar é muito cara a muito tempo (não tem preço decrescente como esperado). A célula também é cara, mas a expectativa é de queda dos custos ao longo dos anos. Pode ser que a célula atinja nichos inicialmente potenciais para outras fontes e que não aconteceu. Ela é bastante versátil (utiliza combustíveis primários regionais como o álcool, biomassa, hidreletricidade), e mesmo com outras fontes de energia alternativa, ela tem nichos garantidos.

Quando se vê empresas multinacionais (como a indústria automobilística internacional) investindo milhões de dólares numa tecnologia, sabe-se que é algo que tem retorno. O desenvolvimento de materiais dos últimos anos significa que o caminho não tem volta (a tecnologia das células vai se estabelecer). A pergunta é quando e a que preço, porque aos poucos vai-se descobrindo seus nichos ideais de utilização. No entanto, isso não exclui outras fontes energéticas (pode ser que elas compitam dentro de modelos regionais).

A indústria automobilística é a força motriz hoje; o desenvolvimento é maior, e foi a alavanca para o desenvolvimento das aplicações estacionárias, um tema muito mais simples em termos de engenharia, controle, operação. É até possível que as células para uso estacionário estejam no mercado a preços competitivos antes das móveis, embora seja essa última a impulsionadora da tecnologia. Já existe uma célula no mercado, é muito cara, mas tem o seu nicho e vantagem, que é a confiabilidade: quem compra essa célula hoje não está preocupado com o fato dela custar o dobro dos sistemas convencionais de energia, pois são grandes bancos, instalações militares que precisam de energia confiável, ininterrupta. Embora caras, já têm hoje um nicho de aplicação.

Linardi não confirma a previsão da Toyota de lançamento dos automóveis para 2004. Ele afirma que isso vai acontecer, mas não se sabe quando. Existem alguns problemas tecnológicos a serem resolvidos ainda.

QUESTIONÁRIO – ENTREVISTA
Regina Gusmão – FAPESP – 11/09/02

1. Segundo dados encontrados em um artigo da Revista FAPESP (08/2001), o Brasil tem apenas 11% de seus cientistas trabalhando em empresas, enquanto na Coréia esse percentual chega a 54%. No que tange os investimentos em P&D realizados pela iniciativa privada, no Brasil eles representam 35,7% do total, enquanto nos países da OCDE e nos EUA chegam a 70% e 90%, respectivamente.

A necessidade de implementação de políticas de incentivos fiscais e apoio do governo aos investimentos em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação no Brasil é de consenso geral. Qual é o papel da FAPESP nesse contexto?

2. Qual é a fonte dos recursos que a FAPESP utiliza para financiar os projetos? Qual é a representatividade das bolsas de iniciação científica no contexto do financiamento da pesquisa no país?

3. Quais são os objetivos principais dos programas especiais da FAPESP? Em que medida eles têm alcançado esses objetivos?

4. Qual é o critério adotado pela agência para formação de parcerias (como a firmada com o Sebrae), com o intuito de estimular a inovação tecnológica?

5. Qual dos programas desempenharia melhor a função de “transmitir” o conhecimento gerado nas universidades e institutos de pesquisa para as empresas?

6. Por que as micro e pequenas empresas são o foco principal dos estímulos à pesquisa?

7. Qual a importância das incubadoras de empresas de alta tecnologia? Qual é o diferencial (ou até a vantagem) representado por elas, em comparação à outras modalidades de apoio (como o PIPE da FAPESP)?

8. As empresas incubadas fazem a ligação entre a universidade e a empresa privada? Cite exemplos.

9. No que tange a eficiência de alocação dos recursos empregados na geração de conhecimento e inovação, há condições de traçar um paralelo entre os Fundos Setoriais (governo federal/Finep) e os programas especiais ou até o ConSITec (Consórcios Setoriais para Inovação Tecnológica) da FAPESP?

Transcrição da entrevista realizada com Regina Gusmão (FAPESP)

A FAPESP, sendo uma agência estadual de fomento à pesquisa, desenvolvimento e inovação, tradicionalmente é uma fundação voltada mais para ciência (bolsas, ligação com universidades) do que para tecnologia. Da metade dos anos 90 em diante, ela começou a atuar junto ao setor privado, dada a insipiência da pesquisa no meio industrial no Brasil, e a necessidade de P&D no meio empresarial como fator fundamental para inovação e competitividade nacional.

No início foi lançado o PITE, porque a estrutura estadual de ciência e tecnologia não dispunha de mecanismos de financiamento e incentivo à indústria e inovação. Também não havia nenhuma iniciativa/ação voltada à relação entre ciência e indústria, meio acadêmico e setor produtivo. A FAPESP não financia a empresa, e sim a cooperação, o projeto; ela arca somente com a parte do custo referente à universidade. Desde o primeiro ano o programa foi um sucesso, com vários produtos chegando à etapa final de comercialização; ele realmente atendeu à demanda e necessidade de cooperação que foi identificada (e para a qual foi criado).

O financiamento da FAPESP é muito preciso. Seu objetivo é desenvolver internamente uma tecnologia, aproveitar o conhecimento já armazenado no meio acadêmico (as pesquisas que “ficam na gaveta” e que esperam esse impulso para que o produto chegue no mercado). Com o incentivo da FAPESP, é criada na empresa uma prática, uma cultura da importância do desenvolvimento de produtos com novas tecnologias, e estimula os universitários e acadêmicos a trabalharem o mais próximo possível da empresa.

O PIPE propõe um financiamento a fundo perdido para pequenas e médias empresas de base tecnológica que necessitam de recursos para desenvolver seus produtos e projetos.

As micro e pequenas empresas não são o foco principal do estímulo à pesquisa da FAPESP, mas sim o objeto de um programa específico que, no total do financiamento da fundação, ganhou importância, mas não é prioritário. O PIPE representa 1,5% do total de financiamentos e 10% dentro dos programas especiais. É uma linha de atuação nova para a fundação, que tem mostrado muito sucesso, mas é uma das várias funções (a maior e principal é a bolsa/auxílio). De uma maneira geral, as micro e pequenas empresas de base tecnológicas têm papel importante para o desenvolvimento da inovação e competitividade da indústria nacional.

O ConSITec, Tidia, SIESP representam uma nova geração de programas da FAPESP, isto é, representam a mudança do paradigma de atuação da fundação. O que no início era pesquisa básica e aplicada, agora é uma tentativa de suprir uma lacuna: desenvolver novos produtos.

O papel da fundação é de encabeçar ações concretas por parte do poder público para o financiamento da inovação no setor privado (como ocorre nos países desenvolvidos). A tentativa é de reduzir o impacto negativo da falta de pesquisa no mundo industrial, que no novo contexto da economia é condição primordial para ser competitivo.

A fonte dos recursos da FAPESP é uma porcentagem fixa (1%) do orçamento do Tesouro.

A importância das bolsas de iniciação científica é a criação, desde a graduação, de uma prática de pesquisa, de ensino não voltado apenas para teoria, ou seja, a formação de uma nova geração de pesquisadores. Do total financeiro das bolsas, a iniciação científica representa 5%.

Os programas especiais são 20 casos distintos, com objetivos, missões, demandas e fatores conjunturais também distintos. O objetivo comum é o de financiar a pesquisa para o desenvolvimento do sistema de ciência e tecnologia do estado de São Paulo, sempre visando estimular a pesquisa no meio acadêmico, a parceria deste com o setor privado, de construir redes de cooperação. Esses programas têm alcançado sucesso, e a prova disso é o fato de que um grande percentual dos beneficiados por algum financiamento da FAPESP volta a pedir financiamento para outros projetos. Surge uma “clientela” cativa, que começa a incorporar a pesquisa em sua própria atividade e que passa a ser mais um ator no desenvolvimento científico e tecnológico nacional.

Outro fator que influencia para o alcance dos objetivos é o fato da FAPESP ser a única fundação do estado de São Paulo que realmente tem um orçamento equilibrado e permanente (é menos vulnerável às variações de governo por possuir um percentual fixo do orçamento do Tesouro). Isso oferece uma garantia de que os projetos continuem com sua dinâmica e que seus objetivos sejam cumpridos.

Outra prova de que a FAPESP está no caminho correto, e que seu tipo de intervenção tem se adaptado bem à demanda do meio, é a criação de novos programas a cada ano.

A idéia de incubadoras é inovadora, na medida em que proporciona à micro, pequena e média empresa uma infra-estrutura da qual elas não dispõem (na fase inicial de constituição da empresa não há condições financeiras, físicas ou de recursos humanos para arcar com os custos de gestão e desenvolvimento). Essa especificidade torna a incubadora uma modalidade de apoio incomparável a qualquer programa da FAPESP (os objetivos são diferentes).

A incubadora dá infra-estrutura para criação e desenvolvimento de novas empresas, para que elas se estabeleçam no mercado, e que daí possam ter vida própria (é um processo de amadurecimento). Com o PIPE, a empresa já existe, já está no mercado, já vende o produto, e está recebendo financiamento e apoio para o lançamento de um novo produto ou tecnologia. Além disso, a ligação entre a empresa incubada e a universidade é intrínseca ao objetivo da incubadora.

No que diz respeito aos Fundos Setoriais, Regina Gusmão afirma não ser possível traçar um paralelo entre eles e os programas especiais da FAPESP, na medida em que os fundos, apesar de ativos, são mais recentes, e não houve ainda um período suficientemente grande para avaliação dos propósitos e resultados. Já os programas especiais são mais longos, e seus retornos e resultados significativos. O tempo de maturação é o diferencial, além do caráter de confiabilidade da fundação, o qual os Fundos Setoriais não tiveram tempo de conquistar.

**ANEXO 2 – TRANSCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS PONTOS
LEVANTADOS DURANTE AS APRESENTAÇÕES DO 1º
WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE CÉLULAS A
COMBUSTÍVEL**

O estado da arte das células a combustível na Europa

Dr. Eduardo López González – Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) – Espanha – Ministerio da Defesa (Secretaria do Estado da Defesa) – subdireção Geral de Pesquisa e Programas

A política da União Europeia para pesquisa de energia não nuclear tem como objetivo a concepção de sistemas e serviços energéticos mais sustentáveis. São exemplos de alguns projetos de P&D sobre energia não nuclear desenvolvidos pela UE:

- Produção de energia a partir de fontes renováveis
- Células de combustível e hidrogênio
- Melhoria da eficiência e redução do impacto ambiental dos combustíveis fósseis
- Armazenamento e distribuição de energia
- Redução do consumo de energia
- Outros aspectos relacionados.

A UE está se dedicando à P&D das células a combustível devido ao importante papel que elas desempenharão no futuro em todos os setores relacionados com produção e consumo de energia, e ao futuro panorama energético com importante presença de fontes energéticas renováveis como vetores energéticos. A tecnologia das células a combustível é a chave para a manutenção de economias competitivas pela UE.

As células a combustível no contexto da política energética da UE:

- Segurança de diversificação das fontes de energia primária
- Promoção do desenvolvimento sustentável
- Redução das emissões de gases poluentes
- Obtenção de energia limpa a preços competitivos para melhorar a competitividade industrial e facilitar a total liberalização do mercado energético
- Reforçam a tendência de sistemas descentralizados de geração de energia

Marco político da UE para fomento da pesquisa em células a combustível:

- Protocolo de Kyoto para redução da emissão de gases do efeito estufa em 8% na UE até 2008
- Comunicado da Comissão Europeia para aumentar o uso da cogeração de energia em 18% até 2010
- Livro Branco da Comissão Europeia para o aumento da contribuição das energias renováveis de 6% em 1998 para 12% em 2010
- Livro Verde da Comissão Europeia para o aumento da segurança de geração de energia na UE
- Comunicado da Comissão Europeia para substituição de 20% da gasolina e diesel por biocombustíveis, gás natural e células de combustível/hidrogênio até 2010

VI Programa Marco (2002-2006 com 17500 milhões de euros)

- Objetivos: fortalecer a capacidade científica e tecnológica da Europa para conseguir um desenvolvimento sustentável integrando os objetivos ambientais, econômicos e sociais com particular referência às energias renováveis e ao transporte, assim como a gestão sustentável dos recursos terrestres e marinhos europeus
- Ações previstas: sistemas energéticos sustentáveis a médio e longo prazo (células a combustível), novas tecnologias de vetores, transporte e armazenamento de energia (em particular a energia do hidrogênio)

Foco da pesquisa: redução de custos de produção das células, e aplicações em edifícios, transporte e geração distribuída/descentralizada; materiais avançados relacionados a células de baixa e alta temperatura para as aplicações acima destacadas; outras

Tópicos maduros e promissores de estratégias altamente relevantes:

- Tópicos maduros em P&D e tecnologia de projetos integrados: células de alta temperatura para geração distribuída e aplicações móveis (exemplo, auxiliary power units); desenvolvimento de sistemas de células PEM e componentes para aplicações estacionárias e veiculares
- Tópicos promissores para projetos integrados: sistemas de células a combustível para transporte marítimo, férreo e rodoviário pesado; atestados de qualidade, segurança e teste para células
- Tópicos maduros em P&D e tecnologia para rede de excelência: fundamentos chave para diminuição sustentável de custos em materiais, processos, componentes e sistemas de células PEM e metanol direto
- Tópicos promissores para redes de excelência: aumentar confiabilidade, durabilidade, eficiência e custos de sistemas de células de óxido sólido

As empresas de células a combustível na UE:

- Grande mercado potencial e importantes para a competitividade da indústria europeia
- As empresas do Japão e EUA superam as empresas europeias em número, tamanho e experiência
- O investimento público da UE em células a combustível chega a 60 milhões de euros por ano (3 vezes inferior ao montante gasto pelos EUA e 4 vezes menos do que o do Japão)
- Necessidade de um incremento substancial do financiamento da UE e melhor integração dos diferentes grupos europeus de pesquisa

Por que é necessário o suporte da UE?

- Problemática da transição para economias baseadas em novos sistemas energéticos
- A UE deve facilitar a cooperação, coerência e consistência entre os programas de apoio à pesquisa existentes nos estados membros
- Aspectos como seleção de combustíveis, segurança e infra-estrutura requerem uma solução comum em toda a UE
- O suporte da UE em tarefas de padronização, regulação, educação e aprendizagem do uso das células a combustível permitirão a implementação mais rápida da tecnologia
- Seleção dos combustíveis a serem utilizados
- Análise das consequências sócio-econômicas da introdução de novas tecnologias (como as células a combustível)
- Identificação das barreiras à comercialização
- Busca de investimentos de infra-estrutura de abastecimento e produção de novos combustíveis
- Harmonização dos objetivos da pesquisa com as políticas da UE e dos estados membros

Principais metas:

- Redução dos custos de produção e uso de sistemas de células a combustível e dos componentes relacionados
- Demonstração da disponibilidade, viabilidade e durabilidade das células

Áreas prioritárias de pesquisa:

- Células de alta temperatura para produção descentralizada de eletricidade e cogeração em edifícios
- Células de baixa temperatura para transporte, cogeração e produção descentralizada de eletricidade
- Confiabilidade

- Componentes
- Combustíveis
- Captura e uso do CO₂
- Aspectos sócio-econômicos
 - Linhas de trabalho atualmente financiadas pela UE:
- Redução do custo de componentes e sistemas de células PEM e metanol direto
- Desenvolvimento de sistemas de produção, armazenamento e distribuição de hidrogênio
- Cogeração em aplicações estacionárias domésticas e comerciais (células de 10 a 100 kw)
- Células de óxido sólido de alta temperatura de 100 kw a 1 mw para geração de eletricidade (configurações híbridas com turbinas de gás e cogeração em indústrias)
- Simplificação do sistema
- Geração portátil de eletricidade na gama de 500 w a 3 kw
- Desenvolvimento de sistemas de células a combustível em veículos (ônibus, taxi, furgões), ferrovias, barcos, submarinos
- Seleção de combustíveis: hidrogênio a longo prazo, metanol, gás natural, gasolina, diesel, etc
- Desenvolvimento de sistemas multi-combustíveis

Principais empresas europeias relacionadas com as células a combustível

PEM – estacionária

- Gaz de France: acordos com H-Power para testes com micro células de hidrogênio
- Hamburg Gás Consulting / UEuropean Fuel Cell GmbH: instalação de unidades de 1,5 e 8 kw
- Alstom: licenciada da Ballard Power System; testes de campo com unidade de 250 kw em Berlim
- Nuvera Fuel Cells UEurope: desenvolvimento de uma unidade de 5 kw alimentada por gás natural; possui muitos projetos a nível mundial em aplicações móveis e estacionárias
- NedStack b.v.: P&D da Azko-Nobel (desenvolvimento de stacks e sistemas)
- Plug Power Holland b.v.: divisão europeia da Plug Power norte-americana; possui acordos com a Vaillant para o desenvolvimento e distribuição de unidades de 4,6 e 7 kw
- Buderus: acordo com UTC para fabricação e distribuição de células
- Viessman: desenvolvimento de unidades de 2 kw em colaboração com a SGL Carbon, ZSW Ulm, Fraunhofer ISE e outros

PEM – móveis

- PSA Peugeot-Citröen: veículos de demonstração com células a combustível da H-Power e Nuvera
- DaimlerChrysler: diversos veículos em colaboração com Ballard (NECAR, F-Cell, NEBUS, etc)
- GM/Opel: desenvolvimento de células a combustível para aplicações móveis e estacionárias (Hy-wire, HydroGen3, etc)
- VW: projeto em colaboração com a Volvo, Johnson Matthey e outros (a célula é fornecida pela Ballard)
- Nuvera Fuel Cells UEurope: fornecedor de células para diversos projetos e fabricantes (Renault, Neoplan, PSA, etc)

- Siemens: desenvolvimento de células para ônibus e submarinos (MAN, marinhas alemã e italiana, etc)

Carbonato Fundido – estacionária

- MTU / DaimlerChrysler, em colaboração com Fuel Cell Energy: desenvolvimento de sistemas de células a combustível de carbonato fundido de 250 kw (2 unidades em operação e cerca de 15 em carteira)
- Ansaldo Fuel Cells S.p.A, em colaboração com diversas empresas espanholas: unidades de 100 kw testadas na Espanha e Itália; desenvolvimento de unidades de 500 kw

Óxido sólido – estacionária

- Siemens-Westinghouse: unidades de 100 e 220 kw com turbina de gás; futura instalação de demonstração de 1 mw; unidades comerciais de 250 kw a partir de 2003.
- Sulzer-Hexis: unidades de cogeração de 1 kw; 35 unidades são testadas atualmente em toda Europa

Outras empresas européias relacionadas com as células a combustível

- BMW: uso de células de óxido sólido em veículos como unidades auxiliares de potência
- Haldor Topsoe: reformadores e células de óxido sólido
- Rolls Royce: células de óxido sólido
- Johnson Matthey: reformadores, catalisadores e MEAs
- Próton Motor GmbH: fabricante de células PEM refrigeradas por ar
- Cellkraft: fabricante de células PEM
- OMG: catalisadores e MEAs
- Smart Fuel Cell: fabricante de células de metanol direto
- Wellman CJB: reformadores
- Numerosos institutos de P&D: Fraunhofer, ECN, CEA, ZSW, Imperial College, etc.

Financiamento e Coordenação do Programa Brasileiro em Células a Combustível

Dr. Maurício O. Mendonça Jorge (Ministério da Ciência e Tecnologia)

No contexto internacional há muitas iniciativas no sentido de ampliar o uso de fontes energéticas renováveis, e os sistemas de células a combustível representam uma importante alternativa para geração de energia. Assim como cresceu o debate sobre o “aquecimento global”, cresceu também o movimento em favor da “economia do hidrogênio”.

Em 2001, a Comunidade Européia criou o European Research Act (ERA) para viabilizar redes de pesquisa em hidrogênio e células a combustível, com investimentos em P&D na ordem de 200 milhões de euros.

O Japão também deu início a dois programas de P&D: o WENET (sistema internacional de energia limpa) para a tecnologia do hidrogênio, e um específico para células a combustível de polímero condutor (PEM).

O Canadá apresentou um “programa” (Fuel Cells: the opportunity for Canada) que prevê que o mercado para células a combustível estacionárias esteja na ordem de US\$ 165 milhões em 2003, e alcançará US\$ 7 bilhões até 2011.

No que diz respeito ao contexto nacional, o MCT vem priorizando, desde 1995, ações visando o desenvolvimento tecnológico das células a combustível. Em 1999, foi definida a tecnologia de reforma do etanol para produção de hidrogênio a ser desenvolvida pelo Brasil e América Latina. Ainda nesse ano, o MCT estimulou que a CEMIG e a CLAMPER fizesse parceria para o desenvolvimento de células PEM que utilizassem o etanol como combustível. Em 2001, o protótipo de 1,5 KW foi apresentado durante o Congresso Anual de P&D da Aneel.

Em 2001 foi iniciada a negociação de uma cooperação entre MCT-FINEP/INT, MDIC e algumas instituições privadas (ÚNICA, BALLARD, OMG e BASF) objetivando a produção de hidrogênio. Algumas ações do governo podem ser destacadas:

- Associação MCT/MME/GEF para promover a utilização da tecnologia de sistemas de células a combustível aplicada em ônibus com hidrogênio embarcado para transporte urbano
- Apoio de instituições como MCT/FINEP-CNPq, MME/ANEEL-ANP e FAPESP a projetos de sistemas a células a combustível através dos Fundos Setoriais e do programa PIPE
- Apoio do MCT a empresas incubadas em universidades
- Apoio do MCT/FINEP-Fundos Setoriais aos centros de excelência em catálise heterogênea, petróleo e gás natural e em análise de materiais criados para a Petrobrás/CENPES

Ações da iniciativa privada:

- Implementação de projetos de demonstração da tecnologia de sistemas de células a combustível na COPEL/LACTEC, Petrobrás, CEMIG e AES do Brasil
- Em setembro de 2000 foi firmado o acordo de cooperação para implementação do CENEH (Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio)

No primeiro semestre de 2002, o MCT convidou o CGEE, COPPE, LACTEC, CENEH, CENPES e NREL para realizar uma prospecção das ações nacionais de P&D em células a combustível. Após a redação, a proposta do Programa Nacional de Células a combustível foi submetido a consulta pública, e agora está em fase de montagem do texto final (e deve ser lançado até o final de novembro). O Programa foi estabelecido de acordo com as diretrizes do Conselho Nacional de Política Energética e das diretrizes temáticas dos Fundos Setoriais. → objetivos (10-11), resultados esperados (12-14),

desenvolvimento competitivo do mercado (15-16), ações estratégicas (17-19), estrutura de implementação (20), mecanismos de gestão (21) e prazos e recursos (22)

A idéia é de que a empresa demande da indústria as condições que quer para sua célula, isto é, da formação de um grupo de usuários que forneçam informações mais exatas sobre tamanho e especificações da tecnologia e do mercado, mas estamos longe disso (daí a necessidade de discussão). O mercado brasileiro estaria primeiramente voltado para aplicações estacionárias (sistemas de back-up de hospitais, hotéis, centrais de processamento de dados, cartões de crédito, etc). O mercado automotivo seria voltado para produção de caminhões e ônibus, pois o problema da miniaturização acarreta custos maiores que a capacidade de alavancar recursos para P&D. Quando as condições estiverem acertadas para uso automotivo de pequeno porte, as empresas automotivas irão procurar a indústria nacional para o fornecimento de componente. De 5 a 7 anos há uma maior possibilidade de entrar na área de miniaturização (agora não é estratégico).

Petrobrás como empresa de energia e as células a combustível

Dr. Fernando Baratelli (CENPES)

A missão da Petrobrás é de atuar de forma rentável nas atividades da indústria de óleo, gás e energia, tanto no mercado nacional como no internacional, fornecendo produtos e serviços de qualidade, respeitando o meio ambiente, considerando o interesse dos seus acionistas, e contribuindo para o desenvolvimento do país.

A visão da empresa é de que ela será uma empresa de energia com forte presença internacional e foco na rentabilidade e responsabilidade social.

A estratégia é tornar-se referência em petróleo e gás até 2005, e em energia em 2010.

As diretrizes estratégicas:

- Agregar valor na cadeia de negócios: atuar em fontes alternativas como decorrência de sinergia com a linha de atuação tradicional da companhia (combustíveis, gas-to-liquids, gaseificação de resíduos de petróleo); contemplar, na escolha das fontes energéticas, produtos concorrentes que se constituem ameaças ao mercado da Companhia;
- Posicionar-se quanto ao desenvolvimento sustentável, incorporando as dimensões de responsabilidade social e preservação ambiental: identificar ações da companhia vinculadas a desenvolvimento sustentável e incrementar essa atuação; envidar esforços para possibilitar a mensuração de ganhos resultantes dessa postura.

Grandes linhas de atuação:

- Avaliar a possibilidade de fixar, para a atividade específica de energia renovável, taxas mínimas de atratividade inferiores às praticadas para outras áreas de atuação
- Estabelecer uma metodologia clara que possibilite a quantificação de retornos provenientes da atuação ambiental e social
- Quantificar os retornos de mensuração mais imediata, tais como os provenientes de mecanismos como Clena Development Mechanism e outros

Estratégias:

- Biocombustível: aproveitar a oportunidade de melhoria dos produtos da Petrobrás (por exemplo, a mistura do biodiesel ao diesel)
- Biomassa: participar de projetos de geração termelétrica em que sejam usados biomassa e gás natural de forma complementar
- Eficiência energética: aplicar em sistemas distribuídos de cogeração de energia elétrica, via gás natural; investir em conservação de energia nas atividades da companhia
- Célula a combustível: avaliar sua utilização em aplicações automotivas e estacionárias e desenvolver capacitação na logística do fornecimento de seu combustível
- Gás-to-liquids: monetizar reservas e buscar rota para melhoria da qualidade do produto
- Gaseificação de resíduos de petróleo: atuar de forma compatível com a disponibilidade de excedentes nas unidades de refino

Estratégias vinculadas a desenvolvimento sustentável:

- Energia eólica: selecionar, numa primeira etapa, sítios próximos às unidades da Petrobrás, que apresentem potencial de geração, boa infra-estrutura e demanda própria de energia
- Energia fotovoltaica: aplicar em postos de serviços, como forma de contribuir para a imagem da companhia, bem como em suas atividades produtivas (plataformas desabitadas e poços de petróleo remotos)

- Energia termossolar: aplicar em postos Siga Bem, para aquecimento de água, contribuindo para a imagem da companhia.

→ O Projeto Sistêmico – Células a Combustível é realizado pelo CENPES em conjunto com o empresas e universidades e UNGN. Seu objetivo é de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de células visando a geração distribuída, cogeração e aplicações automotivas. Ele é composto por 6 sub-projetos: 2 projetos de avaliação de operação e desempenho de células de ácido fosfórico de 200 kw no CENPES e LACTEC; 2 protótipos de células PEM de 5 kw da Unitech e Electrocell; desenvolvimento de catalisadores para células de óxido sólido; mapeamento do mercado para células alimentadas por gás natural

→ Projeto: Desenvolvimento de Células a Combustível

Desenvolvido em parceria com a Universidade Federal da Bahia, tem foco no desenvolvimento de catalisadores mais estáveis e eficientes para células de óxido sólido alimentadas por gás natural

→ Projeto: Demonstração de Operação de Células a Combustível a Gás Natural

Objetivo de conhecer a operação e desempenho técnico e econômico de uma célula a combustível de ácido fosfórico de 200 kw e de das células PEM comerciais de 100 e 500 w.

→ Projeto: Células a Combustível: Avaliação de novas tecnologias

Desenvolvido em parceria com a LACTEC, tem o objetivo de avaliar o desempenho das células a combustível e desenvolver metodologia para avaliação técnico-econômica e emprego em escala comercial do equipamento; fomentar a utilização de gás natural para geração de energia elétrica através da instalação de células a combustível e da introdução desta tecnologia no cenário energético brasileiro; desenvolver procedimentos de instalação, operação e manutenção das células que sejam adequados ao sistema elétrico brasileiro e que possibilitem a disseminação destes sistemas para geração distribuída.

→ Projeto: Pilha a Combustível de Óxido Sólido Monocâmara

Em parceria com a Coppe (UFRJ), tem foco no projeto, fabricação e estudo do funcionamento de células de óxido sólido monocâmara (sem a separação combustível/comburente) alimentada diretamente por gás natural

→ Projeto: Membranas poliméricas para células a combustível

Em parceria com o IMA (UFRJ), visa o desenvolvimento de membranas para células PEM para operação em temperaturas entre 80 e 130°C, e de condutividade de prótons próxima à do Nafion (DuPont)

→ Projeto Multicliente – Universidade de Davis (Califórnia): Modelagem de veículos com células a combustível

Participam a CaimlerChrysler, Fiat, Ford, GM, Honda, Isuzu, Toyota, Nissan, Subaru, Volkswagem, BP Amoco, Califórnia Air Resources Board, Chevron Texaco, ExxonMobil, Petrobrás, SchlumbergerPicardo Inc., Xcellis

Modelos e análises de veículos a células a combustível reportados: hidrogênio direto, metanol direto (reforma a vapor), hidrocarboneto indireto (reforma autotérmica), híbrido hidrogênio direto (com baterias e recuperação da energia de frenagem)

O consumo elétrico anual do CENPES chega a 2.350 mwh, gerando um custo anual de R\$ 4,2 milhões, o que representa 1,5% do seu orçamento total. O CENPES tem consumo elétrico similar ao de uma cidade pequena como Águas de Lindóia (5,5 mw).

As células a combustível na visão da CEMIG

Dr. José Henrique Diniz

Durante sua apresentação no 1º Workshop Internacional sobre Células a Combustível, José Henrique Diniz (gerente de tecnologias e alternativas energéticas) da Cemig fez um breve histórico do envolvimento da empresa com a tecnologia das células.

Em 1994 foi formado o Comitê de Pesquisa, Desenvolvimento e Tecnologia. Foi apontado que as células a combustível surgiam como uma tendência para o futuro da geração distribuída, e que estariam disponíveis comercialmente em 2000. Nesse sentido, a CEMIG deveria se antecipar ao mercado para acompanhar o estado da arte dessa tecnologia, na medida em que ela representava, simultaneamente, uma ameaça e oportunidade para a empresa.

Em 1996, a Ontario Hydro Technologies atentou para o fato de que as células a combustível tomariam o lugar das concessionárias de energia, e que essa perda poderia ser compensada através da participação delas nesse novo mercado (fornecendo tecnologia e serviços).

Dois anos depois, a CEMIG lança algumas diretrizes tecnológicas, as quais exigiam o estabelecimento de um programa de atividades de pesquisa para reduzir as ameaças e maximizar as possibilidades:

- acompanhar o estado da arte da evolução da geração distribuída e de suas principais tecnologias, como oportunidade de negócios;
- desenvolver projetos na área de células a combustível e outras tecnologias de geração distribuída.

As primeiras tentativas da empresa nesse sentido foram o entendimento com a AES-BALLARD para o desenvolvimento de projetos no Brasil, e também de prospecção de competências e parceiros nacionais para o desenvolvimento de células PEM (eletrólito polimérico).

Entre 1999/2000, a CEMIG elaborou seu primeiro projeto (Cemig/Aneel-008): “Célula a combustível de polímero condutor iônico a etanol direto”. Ele foi desenvolvido em parceria com a Clamper, e contou com a colaboração da UniTech (a qual alavancou o projeto com a transferência de tecnologia e *know-how*), Instituto de Química e da Escola de Engenharia da USP de São Carlos, e da FIPAI. Suas premissas eram o desenvolvimento de células de pequeno porte e que fizessem uso de combustíveis renováveis.

Durante os dois anos seguintes, foram desenvolvidos testes com catalisadores e placas separadoras difusoras de gás, construção e aquisição de células unitárias e MEAs, estudos para caracterização dos intermediários da oxidação do etanol, além do Laboratório de Eletroquímica e do desenvolvimento da primeira célula a combustível de tecnologia PEM da América Latina que utiliza hidrogênio direto.,

No ano de 2002, a empresa deu continuidade ao seu projeto com a Aneel, e iniciou um outro projeto complementar com apoio da Finep e CTEneg (também para células a etanol direto).

Para o horizonte de 2004, a CEMIG espera dar continuidade ao desenvolvimento de eletrodos para etanol, dos protótipos de células a hidrogênio e etanol direto, e ao sistema de integração, automação e controle das células. Espera ainda iniciar o desenvolvimento de materiais para membranas e placas difusoras, e otimização e comercialização das células a combustível.

Dentre os outros projetos da CEMIG se destacam o desenvolvimento de células de óxido sólido, laboratório de produção de hidrogênio eletrolítico e por reforma do

etanol, estudos sobre o comportamento de tecnologias de geração distribuída interligadas ao sistema elétrico, e os sistemas híbridos utilizando células a combustível a alta temperatura, microturbinas a gás e motores Stirling.

As diretrizes da empresa são:

- desenvolver competência na oferta de soluções energéticas utilizando células a combustível;
- desenvolver planos de negócios visando a industrialização e comercialização de células de pequeno porte.

Na visão da CEMIG, a “tecnologia é um insumo básico e estratégico e um dos principais pilares de sustentação estratégia empresarial. Deve ser ambientalmente correta e gerenciada como instrumento de competitividade e otimização de resultados empresariais”.

P&D e o estado da arte das células a combustível na América do Norte

Dr. José Fernando Contadini

Histórico:

- Início das pesquisas com William Grove em 1839 e continuidade com Francis Bacon (célula alcalina de 5 kw com eletrodos de níquel) em 1959.
- Em 1959 ocorreu a demonstração de um trator movido por 1008 células a combustível alcalinas de 15 kw. Também neste ano são iniciados experimentos com óxido de zirconia para células SOFC pela Westinghouse.
- Em 1960 surge o projeto espacial Gemini; são utilizadas 3 células a combustível PEM produzidas pela GE, as quais tinham a potência de 1 kw.
- Em 1964 Allis-Chalmers demonstra um pequeno submarino para uma pessoa movido a células alcalinas de 750 w. Também naquele ano, esse tipo de célula também é usada no projeto espacial Apolo (3 unidades de 1,42 kw produzidas pela atual UTC, as quais pesavam 110 kg cada uma).
- Em 1966 a General Motors apresenta uma “Electrovan” com células alcalinas que utilizavam eletrodos de carvão da Union Carbide (32 unidades de 5 kw).
- Projeto Space Shuttle (1970) fez uso de 3 células alcalinas de 12 kw, as quais já pesavam 30 kg cada.
- Entre 1967 e 1972 houve o desenvolvimento de células de carbonato fundido e ácido fosfórico, e a UTC participa de ambos.
- Entre 1973/74, com a crise do petróleo, o governo americano começa a apoiar o desenvolvimento de sistemas de células a combustível para produção de energia em larga escala.
- Em 1980 a Westinghouse demonstra o conceito de tubular SOFC e consegue novo suporte do Departamento de Energia dos EUA.
- Em 1984 a Ballard Power Systems inicia o melhoramento de células PEM e a GE deixa a patente prescrever. O Departamento de Energia dos EUA começa a incentivar o uso das células nos transportes.
- Em 1990 ocorreu a fusão da Siemens com a Westinghouse; a nova empresa concentrou foco nas células de óxido sólido.
- Em 1991 foi instalada comercialmente a primeira célula de ácido fosfórico pela UTC.
- Em 1993 a Ballard apresenta o primeiro ônibus movido á célula PEM.

- Entre 1997/98 a Ballard, Ford e Daimler-Benz somam forças para o desenvolvimento de células PEM.
- Em 1999 inicia-se o Califórnia Fuel Cell Partnership, uma das mais importantes iniciativas que impulsionaram o desenvolvimento das células a combustível.
- Em 2000 a Siemens-Westinghouse entrega o primeiro sistema híbrido célula de óxido sólido/turbina a gás, com potência de 220 kw.

Hoje, existem mais de mil empresas envolvidas com o desenvolvimento e produção de algum componente específico para a indústria de células a combustível. O número de organizações envolvidas com a tecnologia das células PEM chega a 80 nos EUA e 10 no Canadá. Estima-se investimentos em P&D da tecnologia PEM na casa dos US\$ 3 bilhões, sendo US\$ 2,8 bilhões advindos do setor privado. As regiões de maior concentração de desenvolvimento tecnológico são Havaí, Califórnia, Texas, Flórida, Connecticut, Michigan, Vancouver e Toronto.

Os investimentos governamentais por parte dos EUA iniciaram-se na década de 60 com os programas da NASA. Nos últimos anos têm sido gastos (anualmente) cerca de US\$ 150 milhões em tecnologia PEM e US\$ 100 milhões na tecnologia da célula de óxido sólido e carbonato fundido (não estão incluídos os investimentos militares). Esses montantes têm o objetivo de avançar no entendimento do funcionamento e propriedade dos sistemas de células a combustível, pesquisar e demonstrar os primeiros protótipos de novas e emergentes tecnologias na área, e demonstrar a possibilidade do uso das células no setor de transporte.

Algumas necessidades foram apontadas: redução adicional dos custos; pesquisa fundamental (pré-competitiva) e testes para aumentar a confiabilidade e durabilidade dos sistemas; foco nas áreas de materiais avançados, utilização de catalisadores, design e integração de sistemas, manufatura, reciclabilidade e design sustentável; produção, armazenamento e entrega do hidrogênio.

→ Benchmark = empresas, sistemas de CC e componentes

COMPONENTES

• Membranas

(características ideais): não necessidade de umidificação, boa durabilidade, resistência mecânica, baixo custo (meta de US\$ 10/m²), impermeável ao metanol (no caso de sistemas de reforma direta)

(estado da arte): a Nafion da DuPont é, desde 1960, a membrana preferida para células a combustível, no entanto seu custo é de US\$ 600/ m² para compras em pequenas quantidades, necessita de umidificação e apresenta baixa impermeabilidade ao metanol; as alternativas seriam uma Nafion modificada (mais barata, fina e resistente), da Dow Plastics e Dais-Analytic, da Ballard e Victrex, e da Celanese Ventures

• MEAs (membrane electrode assembly)

(características ideais): baixo custo, fácil manufaturabilidade, resistência contra contaminantes, promover o contato ideal entre o gás (combustível), catalisador e condutores

(estado da arte): necessidade de melhoria na durabilidade (devido a degradação da voltagem), mas tem bom desempenho e carga atual de catalisadores em torno de 0,4 mg/cm²)

(alternativas): várias, dependendo do desempenho e custo desejado

• Placas Bipolares

(características ideais): boa condução eletrônica e térmica, impermeabilidade a hidrogênio, oxigênio e água, resistência mecânica para suportar compactação, pouca

espessura, neutralidade química e resistência à temperatura de operação, facilidade da circulação de gases e escoamento de água (se existente), fácil manufacturabilidade a baixo custo

(estado da arte): placas de grafite de 5 mm, relativamente caras e frágeis, porém com bom desempenho

(alternativas): placas metálicas prensadas, resinas rígidas curadas e moldadas (Quantum e BMCI, Cytex e Fuel Cell Concept), e resinas termoplásticas (DuPont, Ticona)

SISTEMAS

• Ballard

Lançamento de um módulo gerador (2001) de 1,2 kw alimentado por hidrogênio para uso intermitente (sistemas de backup), que será comercializado pela Coleman com o nome de Powermate

Lançamento de um gerador residencial no Japão em 2003 de 1 kw alimentado por gás natural e acoplado a um sistema de cogeração de água quente

Previsão de lançamento para 2004 de um gerador comercial de 250 kw alimentado por gás natural e também acoplado a um sistema de cogeração de água quente. O protótipo já fora demonstrado em 1999.

No que diz respeito ao sistema de transportes, está prevista para 2003 o lançamento da 2ª série pré-comercial de ônibus movidos a células a combustível de 250 kw; serão 30 unidades circulando em 10 cidades europeias. A empresa também vem desenvolvendo geradores auxiliares desde 1999 (para automóveis e caminhões), sistemas de células alimentadas por hidrogênio para automóveis desde 1994 e por metanol desde 1997. Os sistemas Ballard-DaimlerChrysler são previstos para 2003 (1ª série pré-comercial com 60 unidades para Japão, Alemanha, Califórnia e Cingapura), chegando à produção comercial em 2010.

• General Motors

A empresa trabalha no desenvolvimento de sistemas de células PEM para uso automotivo e estacionário.

Em 1966 lançou a Eletrovan, movida por uma célula alcalina de 5 kw

Em 1985 criou o “Global Alternative Propulsion Center” em conjunto com a Opel para o desenvolvimento das células

Em 1997 realizou demonstrações de um stack de 50 kw com 0,25 kw/l que foi utilizado em um Opel Zafira em 1998 (com reformador de metanol)

Em 1999 demonstrou um stack de 80 kw com 0,75 kw/l, utilizado no veículo Hydrogen 1)

Em 2000 demonstrou uma nova concepção de stacks de 94 kw com 1,6 kw/l (sem necessidade de umidificadores externos)

Em 2001 realizou melhorias do stack anterior para 102 kw com 1,75 kw/l

Em 2000 adquiriu 24% da Hydrogenics com o objetivo de acelerar a comercialização de células a combustível estacionárias. Em 2001 demonstrou um sistema residencial de 5 kw, e em 2002 testou (com a Nextel Communications Inc.) uma unidade de backup de 25 kw acoplado a um eletrolisador e tanques de armazenamento.

Ela espera ser a primeira companhia automobilística a projetar uma plataforma de veículo especial para células a combustível. Em 2001 apresentou o veículo conceitual AUTOnomy, e prevê o lançamento do protótipo Hy-wire para 2002. Sua meta é ser a primeira empresa a vender 1 milhão de veículos a células a combustível.

Em 2000 firmou parceria com a ExxonMobil para desenvolver a tecnologia da reforma da gasolina. Em 2001 adquiriu 20% da Quantum Technologies Inc. para

desenvolvimento de tanques de fibra para armazenar hidrogênio. Também em 2000, adquiriu 30% da Giner Electrochemical Systems para desenvolvimento de eletrolisadores e células PEM reversíveis.

- **UTC Fuel Cells**

É a empresa líder no desenvolvimento de células a combustível. Desde 1996 fornece sistemas de células alcalinas para mais de 100 missões espaciais, e já forneceu mais de 240 sistemas de células de ácido fosfórico de 200 kw. Contabiliza mais de 3,5 milhões de horas de operação em seus sistemas, e um deles em particular já possui cerca de 50 mil horas de operação. A empresa tem trabalhado também em sistemas híbridos de cogeração e seqüestro de carbono.

Apesar da atual liderança no ramo, começou suas atividades atrasada no desenvolvimento de células PEM. Mesmo assim, possui um sistema único de 75 kw (com gerenciamento passiva da água e pressão ambiente) que foi demonstrado em 1996. Também neste ano, instalou no Energy Center um protótipo de gerador residencial de 5 kw.

Em 1998, entregou um sistema de 100 kw com reformador de metanol para o NovaBus (projeto de ônibus a células a combustível do Departamento de energia e Universidade de Georgetown).

Em 1999 entregou geradores auxiliares (5 kw) para a BMW e mais sistemas veiculares de 40 e 50 kw. Em 2000 demonstrou para o Departamento de Energia dos EUA o funcionamento de um sistema completo com reformador de gasolina. Também neste ano demonstrou um sistema veicular em um utilitário da Nissan. Em 2001 firmou parceria com a Shell Hydrogen, dando origem ao Hydrogen Source. Em 2002 firmou acordo de desenvolvimento da tecnologia PEM com a Nissan, Renault e Hyundai.

- **Siemens-Westinghouse**

Trabalha com o desenvolvimento de células de óxidos sólido (em estruturas tubulares). As vantagens são: eliminação do perigo de vazamento e corrosão dos eletrólitos líquidos, possibilidade de cogeração e oxidação direta de vários combustíveis (devido à alta temperatura de operação), tem o CO como combustível e não contaminante. As desvantagens são: necessidade de pré-aquecimento do ar utilizado, desaconselhável para uso automotivo interminente, alto custo dos materiais cerâmicos. Uma alternativa a esse tipo de tecnologia são as células planares, as quais apresentam menores custos, melhores manufaturabilidade, vedação e durabilidade; no entanto proporcionam menor voltagem e o material ideal para o stack ainda não foi identificado.

Células a Combustível SOFC e PEMFC de baixa potência para geração de energia elétrica distribuída

Dr. Marcelo Linardi (IPEN)

O ProCel visa o desenvolvimento científico e tecnológico de células a combustível dos tipos PEM e óxido sólido para geração distribuída de energia elétrica e de processos de geração e hidrogênio. O Ipen se envolveu com a área, principalmente, por já abrigar competências no desenvolvimento de materiais cerâmicos, em sistemas de engenharia aplicada à área nuclear. A motivação pela geração distribuída deriva do aumento da demanda, da necessidade crescente de confiabilidade de fornecimento de energia elétrica, envelhecimento da infra-estrutura existente e inovação tecnológica no setor;

além disso, há também o caráter ambiental (green power), aos custos e desperdícios das linhas de produção, e à flexibilidade em relação ao combustível utilizado.

Há equipes trabalhando em 4 áreas: P&D de células PEM, P&D de células de óxido sólido, reforma (estudos com amônia e etanol) e sistemas (engenharia, controle, confiabilidade e segurança), sendo que a maioria dos esforços estão concentrados nelas.

A equipe é formada por 22 profissionais, sendo 9 bolsistas de vários níveis.

As perspectivas para a área são: o enorme mercado para aplicações estacionárias (geração distribuída), a necessidade de mais P&E, redução de custos, e a questão do uso estratégico do etanol (devido à sua infra-estrutura já estabelecida).

O Ipen tem parceria de desenvolvimento com a Electrocell, e já desenvolveram dois módulos PEM (um de 300 w e outro de 3 kw).

Célula de Eletrólito Polimérico

Dr. Ernesto Rafael González (Instituto de Química da USP de São Carlos)

A USP de São Carlos tem pesquisa em células a combustível nas áreas de:

- Preparação, caracterização e avaliação de catalisadores
- Modelagem dos eletrodos de difusão de gás
- Eletrodo de camada fina porosa e ultra-fina
- Estudo dos eletrodos e da célula a través de espectroscopia de impedância eletroquímica
- Identificação dos intermediários e produtos de reação através de FTIR e espectrometria de massas on line
- Eletrodos mono-cristalinos de disco rotatório
- Efeitos não-lineares em células a combustível

Célula de ácido fosfórico: experiência com as primeiras plantas de células a combustível no Brasil

Dr. Maurício Cantão (LACTEC)

O objetivo do projeto de células a combustível do LACTEC é de demonstrar a viabilidade de células a combustível para o sistema elétrico brasileiro, através da instalação e operação de plantas; estudar a geração distribuída utilizando as células; estabelecer procedimentos de avaliação; possibilitar e incentivar o uso de plantas para o aprendizado e treinamento de recursos humanos; divulgar as células para a sociedade.

Os recursos utilizados provém de fontes diversas. Um montante são recursos próprios; outro montante provém do CTPetro (financiamento de pesquisa de gás natural para uso em células de ácido fosfórico, e da RedeGasEnergia formada pela Petrobras, TBG, Compagas e FNDCT) e do CTEng (para pesquisa de reforma do etanol e um projeto liderado pela UEM).

O LACTEC participou da instalação de três plantas no prazo de um ano. A instalação da planta da COPEL (em agosto de 2001) levou 30 dias, a do LACTEC (abril de 2002) 10 e do CENPES somente 4 dias. De agosto de 2001 a junho de 2002 a planta da COPEL apresentou poucos problemas de operação (alguns deles ocasionados por inapropriação dos materiais e/ou componentes do fabricante), e produziu energia a um custo (R\$ 205/MWh) menor que o da tarifa residencial (R\$ 300/MWh).

Maurício Cantão afirmou durante sua apresentação no 1º Workshop Internacional sobre Células a Combustível que é possível fazer alguns comentários sobre as células:

- Elas são tecnicamente viáveis para geração distribuída;
- As peças, componentes e materiais para manutenção são um desafio ao alcance da indústria brasileira;
- Sua viabilidade econômica não depende somente do preço das células, mas também dos insumos, custos de manutenção e combustível;
- A comunidade local demonstrou interesse pelas plantas a células a combustível e também por outras fontes alternativas de energia;
- As plantas localizadas no LACTEC ainda não foram utilizadas no treinamento de pessoal de outras instituições e empresas, além da equipe do projeto (mas está a disposição).

Reforma do metano para células a combustível

Prof. Dr. Martin Schmal (COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro)

Schmal deu destaque ao fato de que as redes onde “todo mundo faz tudo” não avança em nada. É necessário focar os problemas que dificultam a evolução da tecnologia das células a combustível.

A COPPE pesquisa o desenvolvimento de novos catalisadores, e também a modificação dos catalisadores já existentes. Além disso, estuda a produção de combustíveis líquidos, produção de hidrogênio a partir de fontes renováveis e do gás natural, o papel dos materiais (catalisadores e membranas) e novos tipos de materiais. Seu objetivo: catalisadores para transformação de gás natural em combustíveis (gasolina, hidrogênio, diesel).

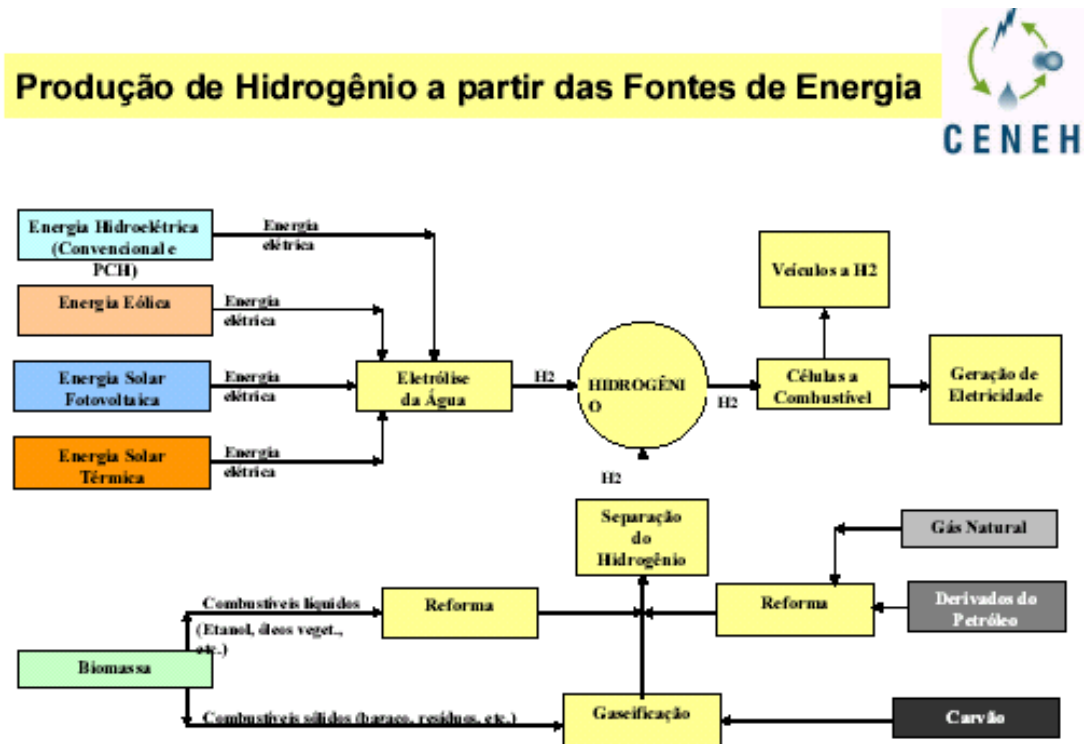
Atualmente, a célula é um processo em andamento, é já há fundamentos para se trabalhar com catalisadores. As iniciativas internacionais estão trabalhando com microscopia, mas na questão dos catalisadores não há nada muito avançado. Daí surge a necessidade de cooperação para compartilhar as competências existentes e não ter que comprar a tecnologia no futuro.

Nesse contexto, há maiores perspectivas para a produção de células a combustível com um processo eficiente de geração de hidrogênio utilizando catalisadores próprios, além do desenvolvimento de novos materiais em catálise visando processos mais eficientes de geração de energia. O catalisador continua sendo o segredo principal do processo de reforma. São gastos anualmente no Brasil US\$ 50 milhões com a compra de catalisadores.

Integração e Sistemas com Células a Combustível

Prof. Dr. Ennio Perez da Silva

Esquema de produção do hidrogênio a partir de fontes renováveis e não renováveis



9 REFERÊNCIAS

ABBOTT, Maria Luiza. Bons ventos da Europa para o Brasil. **Valor Econômico**, 05 jun. 2001. Disponível em:

<<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=659944>>. Acesso em: 03 fev. 2002.

ALMEIDA, Emerson de. Um futuro cada vez mais presente. **Valor Econômico**, 27 set. 2002. Disponível em:

<<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=1441359>>. Acesso em: 10 nov. 2002.

ÂNGELO, Antonio Carlos Dias. A célula combustível de etanol no Brasil. **Jornal da Ciência**, 25 out. 2002. Disponível em: <<http://www.jornaldaciencia.org.br>>. Acesso em: 30 out. 2002.

A ASCENSÃO das fontes alternativas de energia. Disponível em:

<http://www.ibralog.org.br/pags/noticias/detalhes_noticias.asp?Cod_Noticia=264>. Acesso em: 15 nov. 2002.

BALTHAZAR, Ricardo. USP procura recursos para ampliar atuação. **Valor Econômico**, 31 out. 2001. Disponível em:

<<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=908548>>. Acesso em: 13 jul. 2002.

BATISTA, Renata. Metas da Eco92 não foram cumpridas. **Valor Econômico**, 08 jan. 2002a. Disponível em:

<<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=1012500>>. Acesso em: 14 jul. 2002.

_____. Petrobrás investe em geração alternativa. **Valor Econômico**, 09 jan. 2002b. Disponível em:

<<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=1014314>>. Acesso em: 14 jul. 2002.

BERTELLI, Luiz Gonzaga. Petróleo: cada vez mais caro e escasso. Disponível em:

<<http://www.webcana.com.br/Conteudo/Opiniao/Opiniao44.htm>>. Acesso em 16 mar. 2002.

BITTAR, Rodrigo. Brasil quer debater energia na Rio+10. **Valor Econômico**, 06 maio 2002. Disponível em:

<<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=1200292>>. Acesso em: 13 jul. 2002.

BONATO, Cléber. BMW planeja aposentar bateria convencional. Disponível em:

<<http://www.estadao.com.br/autos/mm/noticias/23b.htm>>. Acesso em: 11 dez. 2001.

BRASIL começa a desenvolver célula que transforma álcool em energia elétrica. **Valor Econômico**, 06 maio 2002. Disponível em:

<<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=983381>>. Acesso em: 10 nov. 2002.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Convenção sobre a mudança do clima, Brasília, 2001. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/clima>>. Acesso em: 20 out.2001.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Balanço Energético Nacional, Brasília, 2000. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 15 nov.2001.

BROWN, Lester. Energia eólica: o elo perdido no programa energético de Bush. Disponível em: <http://www.wwiuima.org.br/lbepi_energia_eolica.htm>. Acesso em: 09 fev. 2002.

CAIRES, Maria Isabel. Células a Combustível: Fundamentos Científicos e Tecnológicos. Disponível em: <<http://www.fiesp.org.br/boletim.nsf>>. Acesso em: 07 set.2001.

CALMON, Fernando. Tecnologia da célula a combustível se desenvolve e ganha viabilidade para os veículos do amanhã. Disponível em: <<http://www.uol.com.br/bestcars/artigos/celula-2.htm>>. Acesso em: 15 nov. 2002.

CANTÃO, Maurício. **Célula de ácido fosfórico: experiência com as primeiras plantas de células a combustível no Brasil**. Trabalho apresentado no 1º Workshop Internacional sobre Células a Combustível, Campinas, 2002. Disponível em: <<http://www.ifi.unicamp.br/ceneh/workshop.htm>>. Acesso em: 09 nov. 2002.

CÉLULAS a combustível atendem à demanda por energia contínua. Disponível em: <http://www.lactec.org.br/lactec/sala_de_imprensa/releases/release_jan1.html>. Acesso em: 15 nov. 2002.

CHANDLER, David. L. A utopia do hidrogênio está dois passos mais próxima. Disponível em: <<http://www.uol.com.br/inovacao/ultimas/ult762u757.shl>>. Acesso em: 03 out. 2002.

COIMBRA, Leila; FALEIROS, Gustavo; MOREIRA, Talita. Área de infra-estrutura atrai atenção de companhias alemãs. **Valor Econômico**, 14 fev. 2002. Disponível em: <<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=1070444>>. Acesso em: 13 jul. 2002.

COMPETÊNCIA da UniTech. **Revista Fapesp**, 11/2001. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/show.php?lang=pt&id=revistas1.fapesp1..20011203.20011170..SEC7_7&page=2>. Acesso em: 22 jun. 2002.

CONTADINI, José Fernando. **O estado da arte e P&D em células a combustível na América do Norte**. Trabalho apresentado no 1º Workshop Internacional sobre Células a Combustível, Campinas, 2002. Disponível em: <<http://www.ifi.unicamp.br/ceneh/workshop.htm>>. Acesso em: 09 nov. 2002.

CRESCE investimento na célula de combustível. Disponível em:
<<http://www.estado.estadao.com.br/jornal/suplem/auto/97/12/21/auto005.html>>. Acesso em: 11 dez. 2001.

CTPETRO Financia célula a combustível do Ipen. **Revista Fapesp**, 03/2002.
Disponível em:
<http://revistapesquisa.fapesp.br/show.php?id=revistas1.fapesp1..20020301.20020373..SUB71_6>. Acesso em: 22 jun. 2002.

DEPENDÊNCIA e bom senso. **Valor Econômico**, 18 dez. 2001. Disponível em:
<<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=983369>>. Acesso em: 10 nov. 2002.

DOCUMENTO preparado por empresas de células a combustível pede que governo americano invista US\$ 5,5 bilhões nos próximos dez anos. Disponível em:
<<http://www.ifi.unicamp.br/ceneh/boletim/boletim4/boletim4.htm>>. Acesso em: 03 out. 2002.

DUARTE, Paula. Evolução histórica dos veículos com células a combustível.
Disponível em: <<http://www.ifi.unicamp.br/ceneh/boletim/boletim3/boletim3.htm>>.
Acesso em: 03 out. 2002.

DUNN, Seth. Sistema energético do século XX é incompatível com a economia digital.
Disponível em: <http://www.cenergia.org.br/fontes/artigo_seth.asp>. Acesso em: 05 nov. 2002.

EFEITO estufa estimula patrocínio a pesquisa sobre fontes renováveis. **Valor Econômico**, 11 set. 2002. Disponível em:
<<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=1411825>>. Acesso em: 10 nov. 2002.

A EMPRESA AES-Tietê e o Laboratório de Hidrogênio-UNICAMP realizam pareceria de sucesso. Disponível em:
<<http://www.ifi.unicamp.br/ceneh/boletim/boletim3/boletim3.htm>>. Acesso em: 03 out. 2002.

EMTU testa ônibus movido a hidrogênio na capital paulista. **Valor Econômico**, 18 dez. 2001. Disponível em:
<<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=983379>>. Acesso em: 03 fev. 2002.

ENERGIA alternativa vai de vento em popa. Disponível em:
<<http://www.mme.gov.br/buscasite/todobusca.htm>>. Acesso em: 22 abr. 2002.

A ERA da micro geração. Disponível em: <<http://www.wwiuma.org.br/energia-novaera.htm>>. Acesso em: 11 dez. 2001.

ETT, Gerhart. O hidrogênio como opção energética. Disponível em:
<http://www.crq4.org.br/informativo/outubro_2000/pagina10.html>. Acesso em: 15 nov. 2002.

FALEIROS, Gustavo. Crédito de carbono traz novos negócios ao país. **Valor Econômico**, 05 jun. 2002. Disponível em: <<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=1247655>>. Acesso em: 14 jul. 2002.

FLAVIN, Christopher. Museu do petróleo. Disponível em: <<http://redeglobo5.globo.com/joelmirbeting/noticias.asp?IdgNews=6&Idnews=546>>. Acesso em: 11 dez. 2001.

FONTE renovável vai ganhar incentivo. **Valor Econômico**, 05 jun. 2001. Disponível em: <<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=659900>>. Acesso em: 03 fev. 2002.

FÓRMULAS de fazer energia em casa. Disponível em: <<http://www.ilumia.org.br/diversas5.html>>. Acesso em: 22 jun. 2002.

GARRIDO, Juan. Convivência difícil. **Valor Econômico**, 11 set. 2002. Disponível em: <<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=1411831>>. Acesso em: 10 nov. 2002.

GREENPEACE defende uso exclusivo de energia limpa. **Valor Econômico**, 11 set. 2002. Disponível em: <<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=1411824&edicao=428>>. Acesso em: 10 nov. 2002.

HERRISSON, Luiz. Parcerias rendem R\$ 30 milhões à Koblitz. . **Valor Econômico**, 08 maio 2002. Disponível em: <<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=1204397>>. Acesso em: 14 jul. 2002.

AS INCRÍVEIS fábricas que estão encolhendo. **Valor Econômico**, 26 fev. 2002. Disponível em: <<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=1087825>>. Acesso em: 13 jul. 2002.

JANNUZZI, Gilberto de Martino (coord.). **Programa Brasileiro de Células a Combustível**. Rio de Janeiro: CGEE, 2002. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/Temas/Desenv/cel_comb2.htm>. Acesso em: 23 jul. 2002.

JORGE, Maurício Mendonça. **Financiamento e coordenação do programa brasileiro em células a combustível**. Trabalho apresentado no 1º Workshop Internacional sobre Células a Combustível, Campinas, 2002. Disponível em: <<http://www.ifi.unicamp.br/ceneh/workshop.htm>>. Acesso em: 09 nov. 2002.

LEAL, Elisângela, M.; SILVEIRA, José Luz. Study of fuel cell co-generation systems applied to a dairy industry. *Journal of Power Sources*, v.106, p. 102-108, 2002.

LEITE, Antonio Dias. **A Energia do Brasil**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.

LINARDI, Marcelo. **Célula de óxido sólido**. Trabalho apresentado no 1º Workshop Internacional sobre Células a Combustível, Campinas, 2002. Disponível em: <<http://www.ifi.unicamp.br/ceneh/workshop.htm>>. Acesso em: 09 nov. 2002.

LOBO, Cláudia. Brasil publica o seu primeiro mapa dos ventos. **Valor Econômico**, 17 jul. 2001. Disponível em: <<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=730948>>. Acesso em: 03 fev. 2002.

_____. BNDES destina linha para projetos elétricos. **Valor Econômico**, 10 maio 2002. Disponível em: <<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=1208978>>. Acesso em: 14 jul. 2002.

MORAES, Marcelo. Senado aprova incentivo para fontes alternativas. **Valor Econômico**, 27 jun. 2001. Disponível em: <<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=696088>>. Acesso em: 03 fev. 2002.

O MUNDO sem petróleo. Disponível em: <<http://www.dep.fem.unicamp.br/boletim/BE13/artigo4.htm>>. Acesso em: 11 dez. 2001.

NUCCI, João Paulo; OLIVEIRA, Marcos. Energia elétrica para o futuro. **Revista Fapesp**, 05/2001. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/show.php?id=revistas1.fapesp1..20010626.20010564..SEC7_6>. Acesso em: 22 jun. 2002.

OLIVEIRA, Marcos; VASCONCELOS, Yuri. Soluções para geração de eletricidade. **Revista Fapesp**, 06/2001. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/show.php?lang=pt&id=revistas1.fapesp1..20010711.20010665..SEC7_2&page=7&last_page=7>. Acesso em: 22 jun. 2002.

O QUE fazer em relação ao petróleo. **Valor Econômico**, 24 out. 2001. Disponível em: <<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=895694>>. Acesso em: 10 nov. 2002.

OSAVA, Mário. O sonho do automóvel limpo. Disponível em : <<http://www.tierramerica.net/2001/0304/paticulo.shtml>>. Acesso em: 16 mar. 2002.

PRATES, Fábria; OLIVEIRA, Ribamar. Força dos ventos é a nova aposta. **Valor Econômico**, 06 jul. 2001(a). Disponível em: <<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=713620>>. Acesso em: 03 fev. 2002.

QUÉ está haciendo el gobierno de los Estados Unidos com respecto a esta tecnologia?. Disponível em: <http://www.geocities.com/pato_donald_2000/fuel_cell>. Acesso em: 03 set. 2002.

RESENDE, Patrícia. Paraná é o primeiro estado a importar a célula a combustível. Disponível em:
<http://www.mecanicaonline.com.br/2002/maio/engenharia/celula_combustivel.html>. Acesso em: 15 nov. 2002.

RITTNER, Daniel. Acertado acordo tecnológico com EUA. **Valor Econômico**, 20 jun. 2002. Disponível em:
<<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=1274228>>. Acesso em: 10 nov. 2002.

RIVERAS, Inaê. Usinas retomam investimentos na produção de açúcar e álcool. **Valor Econômico**, 28 mar. 2002a. Disponível em:
<<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=1140518>>. Acesso em: 06 abr. 2002.

_____. Mais incentivo à co-geração de energia. **Valor Econômico**, 23 maio 2002b. Disponível em:
<<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=1229855>>. Acesso em: 14 jul. 2002.

ROCKMANN, Roberto. Fiesp pede incentivo à co-geração de energia. **Valor Econômico**, 27 ago. 2001. Disponível em:
<<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=800238>>. Acesso em: 03 fev. 2002.

ROCKMANN, Roberto. Indústria prepara proposta para a área de tecnologia do novo governo. **Valor Econômico**, 14 nov. 2002. Disponível em:
<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=1525652&ed_ref=47&edicao=474>. Acesso em: 10 nov. 2002.

SHELL e Akzo apostam em células solares. **Valor Econômico**, 17 out. 2001. Disponível em:
<<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=884458>>. Acesso em: 03 fev. 2002.

SCHÜFFNER, Cláudia. Mudanças só devem atingir a indústria a longo prazo. **Valor Econômico** 11 set. 2002. Disponível em:
<<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=1411827>>. Acesso em: 10 nov. 2002.

SILVA, Armindo. Motorola: telemóveis e gás metano. Disponível em:
<<http://www.digito.pt/tecnologia/3184.html>>. Acesso em: 11 dez. 2001.

TIERNEY, Christine; ZAMMERT, Andréa. Os avançados motores verdes europeus. **Valor Econômico**, 06 fev. 2002. Disponível em:
<<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=1060190>>. Acesso em: 13 jul. 2002.

UNIÃO da Agroindústria Canavieira. **Álcool: História de um combustível sustentável.** Disponível em: <<http://www.única.com.br/publicações/pub01.htm>>. Acesso em: 16 mar. 2002.

VANTAGENS da célula a combustível. Disponível em: <<http://www.milenio.com.br/aeec/noticias/C%C3%A9lula%20a%20combust%C3%ADvel.doc>>. Acesso em: 15 nov. 2002.

VASCONCELLOS, Carlos. Vale terá nova onda de investimentos. **Valor Econômico**, 22 mar. 2002. Disponível em: <<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/materia.asp?id=1130389>>. Acesso em: 14 jul. 2002.

VIEIRA, José Luiz. Carro elétrico mobiliza indústria. Disponível em: <<http://www.mecanicaonline.com.br/2001/janeiro/engenharia/carroeletrico.htm>>. Acesso em: 22 jun. 2002.