



SISTEMAS CÉLULA a COMBUSTÍVEL PROGRAMA BRASILEIRO PROCaC

CT BRASIL

Ministério da Ciência e Tecnologia

Ministro da Ciência e Tecnologia

Embaixador Ronaldo Mota Sardenberg

Secretário Executivo do Ministério da Ciência e Tecnologia

Carlos Américo Pacheco

Secretário de Política Tecnológica Empresarial

Maurício Otávio Mendonça Jorge

Coordenador Geral de Política Setorial

José Carlos Gomes Costa

Coordenador de Ações de Desenvolvimento Energético

Ivonice Aires Campos

Comitê de Elaboração do Programa

Fredy Sudbrack – MCT

Gilberto De Martino Jannuzzi - CGEE

Helena Li Chum – DOE/NREL

Maria Helena Troise Frank – PETROBRAS / CENPES

Newton Pimenta Neves Junior - CENEH

Paulo Emílio Valadão de Miranda - COPPE

Contribuíram para a proposta deste Programa:

Álvaro Ferraz (UnB), Carlos Gabriel Bianchin (LACTEC), Eduardo Pereira Carvalho (ÚNICA), Ernesto Rafael Gonzalez (USP-IQ), Fabio Bellot Noronha (INT), Feliz A. Farret (UFSM), Jaime S. Boaventura, João Guilherme Rocha Poço (IPT), Joelma Perez (UNESP), José Fernando Contadini, Leopoldo João Zimmermann (FURNAS), Luis Antônio Waack Bambace (ITA), Marcelo Linardi (IPEN), Marcelo Risso Errera.

Índice

APRESENTAÇÃO	4
2. CONTEXTO INTERNACIONAL	7
3. CONTEXTO NACIONAL	11
4. DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DE SISTEMAS CÉLULA A COMBUSTÍVEL	16
5. CONCEITO DO PROGRAMA BRASILEIRO DE SISTEMAS CELULA A COMBUSTÍVEL	19
6. OBJETIVOS, RESULTADOS E ESTRATÉGIAS	21
7. ESTRUTURA DE IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA	24
8. MECANISMOS DE GESTÃO	26
9. RECURSOS E PRAZOS	28
10. FONTES DE FINANCIAMENTO E INTEGRAÇÃO COM OUTRAS REDES DE PESQUISA	28
11. PROPRIEDADE INTELECTUAL	29
12. ENTIDADES	30
13. ABREVIACÕES	31
14. GLOSSÁRIO	31

Apresentação

A melhoria do padrão de vida da sociedade brasileira requer com prioridade o atendimento das demandas sociais com serviços de qualidade, entre os quais se destaca a disponibilidade de energia elétrica. Neste sentido, um dos maiores desafios futuros é promover o aumento da quantidade e da qualidade do sistema energético brasileiro, mantendo e ampliando sua sustentabilidade ambiental e econômica, enfatizando o uso eficiente dos recursos energéticos renováveis. Dentro deste enfoque, é fundamental o desenvolvimento de novas tecnologias para geração de energia, em especial aquelas provenientes de renováveis, visando manter o Brasil na liderança mundial no uso efetivo de fontes alternativas para a geração de energia.

Dentre as diferentes rotas tecnológicas para geração de energia elétrica, destaca-se a de sistemas célula a combustível (CaC), também denominada pilha a combustível. Estes sistemas são concebidos para converter com eficiência a energia química de determinados combustíveis em energia elétrica, visando a menor emissão de poluentes possível entre os sistemas energéticos atuais. Entre os combustíveis mais utilizados, o hidrogênio tem sido o preferido, uma vez que pode ser produzido a partir de diversas fontes, tais como: biomassa, eólica, fotovoltaica, hidráulica, geotérmica; além de recursos fósseis, tais como: carvão, petróleo, e gás natural; e, também, alternativas energéticas, tais como: nuclear e a eletrólise da água. As principais aplicações destes sistemas são na geração estacionária de energia elétrica, uso residencial, comercial e industrial, em sistemas de cogeração, com aproveitamento inclusive do calor gerado pelo próprio sistema, na geração de energia para os meios de transporte e sistemas auxiliares, na alimentação de equipamentos eletro-eletrônicos, em particular na substituição de baterias em telefones celulares, computadores, calculadoras, entre outros.

Dada sua relevância e a oportunidade que representa, algumas análises comparam as CaCs, em termos de representatividade, ao que o computador significou para o século XX. Estes sistemas, contudo, encontram-se ainda em fase de

"Hidrogênio, Células à Combustível e Energia Distribuída estão no foco do Plano de Energia dos EUA, de forma a garantir a redução das importações de combustível, a redução da poluição do ar e a redução dos gases de efeito estufa"

David Garman, Secretary of the Office of Energy Efficiency and Renewable Energy do DOE.

desenvolvimento nos diferentes países, sendo que os governos, como por exemplo, Japão, Estados Unidos, Canadá, Itália e Alemanha, vêm procurando incentivar pesquisas e inovações neste campo. Em paralelo, as grandes companhias de energia e os fabricantes de veículos automotores vêm investindo somas consideráveis no desenvolvimento de novos produtos e processos. No Brasil, registram-se também esforços públicos e privados na tentativa de ampliar o domínio tecnológico em CaCs. Cabe destacar, contudo, que estas iniciativas carecem de uma maior vitalidade e articulação, que viabilizem a concretização de avanços de forma mais efetiva.

São plenamente justificáveis nesse momento, que se intensifiquem os esforços para o desenvolvimento científico e tecnológico e da engenharia de produtos e processos associados a CaCs no Brasil, uma vez que esta forma de geração de energia está a cada dia mais próxima de atingir seu estágio comercial. Por essa razão, é recomendável que as empresas, grupos de pesquisa e o poder público desenvolvam e implementem projetos demonstrativos, que facilitem a compreensão e aceitação dos produtos e processos e de desenvolvimento, a fim de garantir ao País o domínio das tecnologias que poderão trazer novos paradigmas à questão da geração de energia. Os países que produzirem inovação tecnológica nesta área mais rapidamente terão vantagens competitivas e a chance de usufruir de retorno econômico, com a perspectiva de implantar indústria de vanguarda baseada nesta tecnologia de sistemas de célula a combustível, conseqüentemente gerando emprego e renda.

Diante deste quadro, o Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT elaborou, em conjunto com diversos colaboradores e o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), uma proposta para o Programa Brasileiro de Sistemas de Célula a Combustível, que tem por objetivo organizar e promover ações de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, por intermédio de projetos associados entre entidades de pesquisa e a iniciativa privada. A efetivação deste Programa é relevante na medida em que proporciona o desenvolvimento integrado de múltiplas áreas de conhecimento envolvidas nessa tecnologia. No mercado prospectado para sistemas de célula a combustível destacam-se os seguintes setores: elétrico, transporte, e ainda novas indústrias emergentes e a sociedade civil. A ação coordenada dos vários órgãos do governo para implementação deste Programa, proporcionará uma sinergia para o desenvolvimento tecnológico e industrial e para a introdução no mercado nacional e

internacional dos novos produtos a serem desenvolvidos, contribuindo para a qualidade da matriz energética brasileira. A concepção do Programa favorece o uso racional dos recursos investidos para a efetivação dos objetivos delineados.

Para melhor compreensão deste Programa os termos técnicos estão conceituados no Glossário em anexo.

1. Contexto Internacional

Verifica-se no contexto internacional a adoção de políticas visando ampliar o aproveitamento de energias renováveis, com a progressiva redução no uso dos combustíveis fósseis. Neste contexto, a produção, distribuição e uso de energia, estão sendo reestruturados, com a incorporação de novos produtos e processos, no qual reserva-se ao hidrogênio importante papel, uma vez que este não se caracteriza pela emissão de gases poluentes.

Cresce no mundo, portanto, um movimento em favor de uma “economia do hidrogênio”, expressão que se refere a um sistema de energia baseado no hidrogênio,

“O Hidrogênio é a escolha dos EUA para energias limpas. Ele pode ser produzido a partir de muitos abundantes disponíveis no país, de manuseio seguro e poderá ser utilizado em todos os setores da economia e em todas as regiões do país.”

Jim Ohi, DOE/NREL

para armazenamento, distribuição e uso de energia, cunhada pela General Motors, em 1970. A origem deste movimento remonta à crise do petróleo no início dos anos 70, quando o preço do óleo cru subiu acentuadamente, aumentando a preocupação com a garantia das reservas de petróleo e a potencial falta de uma fonte de energia segura, fazendo com que, na América do Norte e em outros países da Europa,

governo e indústria em conjunto, desenvolvessem planos e estratégias de implementação para a introdução do hidrogênio em um sistema de energia mundial.

Nas décadas de 80 e 90 do século XX, o mundo se voltou para discussões acerca do crescente aquecimento global, o chamado “efeito estufa”, ocasionado principalmente por gases como o dióxido de carbono e metano, decorrentes da utilização de combustíveis fósseis para geração de energia. Esta tendência climática do planeta traz no seu bojo desafios econômicos e ambientais. Tais discussões culminaram no Fórum Mundial de Kyoto (Japão), em 1997, com a concordância dos países participantes, quanto à necessidade de desenvolvimento de mecanismos concretos para a redução das emissões de dióxido de carbono e metano.

Programa FreedomCAR - Cooperativa Automotive Research, proposto para acelerar a implantação de células a combustível automotiva, para reduzir a dependência das importações de óleo: 53% do petróleo consumido hoje nos EUA é importado David Garman".
No Brasil 2002 a cota de importação de diesel é de 15% em relação ao consumo total

Do ponto de vista do desenvolvimento tecnológico, os sistemas CaC têm sido pesquisados e desenvolvidos desde meados da década de 50, tendo sido implementados projetos significativos nos Estados Unidos e na União Soviética, especialmente durante a corrida aero-espacial.

Recentemente, este processo se intensificou, com a comunidade européia criando as Redes Temáticas de Hidrogênio e Células a Combustível do ERA (European

Na Europa não há uma estratégia única para políticas ligadas ao Hidrogênio, como nos Estados Unidos e Japão, porque se trata de uma comissão de vários países, que em ação comunitária criou as redes temáticas de Hidrogênio e Célula a Combustível do European Research Act - ERA.

Research Act), com investimentos em P&D, em 2001, da ordem de 200 milhões de Euros, dos quais 50% na Alemanha. No setor privado, a Daimler-Chrysler, por exemplo, prevê investir 1,6 bilhões de Euros para o período 2001-2004.

No Japão dois grandes programas de P&D para desenvolvimento do uso do hidrogênio e fabricação de células a combustível foram criados: o WE-NET (Sistema Internacional de Energia Limpa Utilizando Tecnologias de Hidrogênio) e um programa de P&D específico para células a combustível de membrana polimérica. O programa WE-NET divide-se em 3 fases: 1993 - 1998, com orçamento de US\$ 78 milhões; 1999 - 2003, de US\$ 90 milhões; e o orçamento da terceira fase será definido após a avaliação dos resultados das anteriores.

A Tabela 1 apresenta alguns exemplos de investimentos na tecnologia de sistemas célula a combustível e hidrogênio realizados por instituições públicas e privadas.

Tabela 1 – INVESTIMENTOS PÚBLICOS E PRIVADOS EM P&D

Investidor	Áreas beneficiadas	Total de investimentos US\$ milhões	Período
U.S. DOE ¹ - Análise do investimento do governo americano federal pelo Hydrogen Technical Advisory Panel	Programas de P&D e demonstração para sistemas de hidrogênio e células a combustível	150	1999
DOE – FreedomCAR	Novo programa do <i>Office of Energy Efficiency and Renewable Energy</i>	162	2002
DOE – SOFC e MCFC	Dentro do <i>Office of Fossil Energy</i>	49,5	2002
Estado de Ohio – EUA	P&D, demonstração, capacitação profissional, empréstimos (juros abaixo do mercado)	103	2002 -2005
Governo do Canada & empresas	Programas de P&D e demonstração	19,5	2001-2002
Governos de países europeus & União Européia (EU) – Associação Francesa de Hidrogênio	Alemanha, França, UE, Itália, Suécia, Islândia, Holanda, Noruega, Espanha, Reino Unido, Suíça, Finlândia, Áustria, Portugal, Grécia, Dinamarca	EU - 190 Alemanha - 90 França - 35	2000
Daimler Chrysler Empresarial	investimento privado	1.500	2001-2004

Fonte – DOE NREL

Quanto aos combustíveis utilizados nos sistemas de CaC, muitos deles ainda estão sendo avaliados, destacando-se: metano, metanol e hidrogênio direto. Nos Estados Unidos, a indústria automobilística está dando mais ênfase à opção de hidrogênio direto do que à gasolina reformada no próprio veículo (*on-board reforming*), devido ao fato de que os custos e parâmetros necessários a esta opção ainda não são competitivos. Na Europa, um projeto de diversas instituições (TES) chegou à conclusão que metano, metanol e hidrogênio (líquido ou comprimido) eram os combustíveis mais viáveis, havendo descartado a reforma de gasolina no veículo. Com relação ao metanol direto, as indicações são de que ele poderá vir a ser utilizado para aplicações portáteis.

¹ DOE - Departamento de Energia dos Estados Unidos.

Segundo o estudo "*Fuel Cells: The Opportunity for Canada*", realizado pela Price Waterhouse Coopers e divulgado no *14th World Hydrogen Energy Conference*, Montreal, Jun/2002, o mercado para células a combustível estacionárias atingirá os valores apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – PREVISÃO DE MERCADO CÉLULAS COMBUSTÍVEIS ESTACIONÁRIAS

Ano	Mercado Mundial US\$ milhões	Mercado EUA US\$ milhões
2003	590	165
2007	1.800	1.600
2011	12.000	7.100

Fonte: Price Waterhouse Coopers, Jun/2002.

2. Contexto Nacional

O Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT desde 1995 vem estimulando ações visando o desenvolvimento tecnológico de sistemas CaC. Para tanto, atendendo recomendação da I Conferência Brasileira sobre Hidrogênio realizada no IV Encontro do Fórum Permanente de Energias Renováveis, em 1998, fomentou a implantação do Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio, em parceria com o governo do Estado de São Paulo, a Secretaria de Estado de Meio Ambiente, a Universidade de São Paulo (USP), a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) e a Fundação Vitae Civilis.

O CENEH realiza e coordena pesquisas em cooperação com outras instituições, com finalidade de promover a divulgação e a difusão de informações sobre programas, projetos, pesquisas, desenvolvimentos científicos e tecnológicos do aproveitamento energético do hidrogênio. Desenvolve, também, alianças estratégicas e promove a capacitação e treinamento.

A partir de 1999, o MCT passou a avaliar a reforma de etanol para produção de hidrogênio, como nicho de mercado a ser desenvolvido especialmente para o Brasil e América Latina. Esta estratégia propiciou uma maior ênfase na cooperação internacional brasileira, que estimulou programas de pesquisa conjunta, tais como a estabelecida entre o Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO) e a ddb Fuel Cell Engines GmbH.

Também em 1999, a CEMIG e a CLAMPER firmaram um acordo de confidencialidade para a implementação do projeto – *Desenvolvimento de Protótipo de Célula Combustível de Polímero Condutor Iônico com etanol como combustível*, considerando as perspectivas de mercado para as aplicações estacionárias. A partir deste acordo foi desenvolvido um protótipo de 1,5 kW para aplicação estacionária, que foi apresentado no Congresso Anual da ANEEL de P&D, em novembro de 2001.

Com a efetivação dos Fundos Setoriais, o MCT iniciou em 2001, em conjunto com o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior e com instituições privadas UNICA, BALLARD, OMG e BASF, negociações para a viabilização de um projeto com o objetivo de desenvolver a reforma do etanol, com vistas à produção de

hidrogênio para utilização em sistemas CaC, com a participação do Instituto Nacional de Tecnologia – INT e da FINEP.

Adicionalmente, o desenvolvimento tecnológico de sistemas CaC está sendo conduzido consoante com as outras iniciativas, entre as quais se destacam:

- As ações de fomento do governo federal, envolvendo os Ministérios da Ciência e Tecnologia e de Minas e Energia e o Global Environment Facility para promover a utilização da tecnologia em transportes urbanos;
- As ações de fomento das agências – MCT/FINEP, MCT/CNPq, ANEEL, ANP, FAPESP e outras – no apoio a projetos de sistemas CaC, por intermédio principalmente dos fundos setoriais e do programa PIPE da FAPESP;
- O apoio às empresas emergentes de base tecnológica;
- O apoio aos centros de excelência em catálise heterogênea, especialmente no setor de petróleo e gás natural, e em análise de materiais, apoiados pelo MCT e pelo Centro de Pesquisa da Petrobrás (CENPES);
- Os projetos de pesquisa e de demonstração da tecnologia de CaC, apoiados por empresas, tais como: COPEL, Petrobrás, CEMIG, AES do Brasil.

Em 2002, o MCT intensificou seus esforços na identificação de competências científicas e tecnológicas nesta área e realizou um trabalho de prospecção sobre o tema no País, visando a ordenação das ações de P&D dos sistemas CaC. O CGEE coordenou este trabalho de identificação de competências nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Paraná, junto às instituições de pesquisa dedicadas à tecnologia sistemas CaC. Os resultados desta prospecção foram apresentados ao Comitê Gestor do CT-ENERG e serviram de referência para a elaboração deste programa.

Entre as principais conclusões deste trabalho, ressalta-se que não há no País instituição que possa realizar isoladamente o desenvolvimento de um sistema completo de CaC. Por outro lado, identificou-se a complexidade do desenvolvimento da indústria de sistema CaC, que demanda um esforço intenso de P&D, e a oportunidade de ampliar-se a colaboração entre os diferentes grupos de pesquisa.

Concluiu-se, portanto, da necessidade de estruturar o programa de trabalho sob a forma de uma rede de pesquisa e desenvolvimento, adotando este ponto como um item essencial da proposta básica da concepção deste Programa. Para tanto, definiu-se como necessário promover a coordenação das ações e projetos de cada instituição, estruturar um plano para recompor e compartilhar a infra-estrutura de P&D já instalada, apropriando-a ao novo conceito de desenvolvimento; fomentar a capacitação de recursos humanos; implementar um sistema de informações e intercâmbio de conhecimentos entre os diversos grupos e especialistas envolvidos; e incentivar a participação de empresas brasileiras no processo de absorção desta tecnologia.

Identificou-se, também, que um dos nichos de mercado mais promissores para aplicações de sistemas de CaC no Brasil é o de geração distribuída de energia elétrica com potencial especialmente para 5 a 200 kW, visando atender a política de universalização de serviços de energia elétrica e de telecomunicações. Os consumidores potenciais são as empresas de energia e de telecomunicações, as cooperativas, os bancos, os centros de pesquisas, os hospitais, os aeroportos, entre outros.

Quanto ao tipo de produto desejado, no caso das aplicações voltadas para a geração distribuída, a tecnologia de sistema célula de eletrólito polimérico e de ácido fosfórico foram consideradas as opções mais pertinentes.

No caso das células de eletrólito polimérico existem apenas dois produtores de membranas comerciais atuando no mercado mundial, embora já existam cerca de dez fornecedores internacionais de MEA - *Membrane Electrode Assembly*. Existem, contudo, oportunidades significativas para aperfeiçoamento da arquitetura interna da célula; do controle dos fluxos de calor, gases e água; da montagem do conjunto de MEA; dos eletrodos e materiais; da produção em série a baixo custo, entre outros.

O Brasil dispõe de capacitação técnica decorrente das experiências nacionais na área de energia nuclear, que utilizou materiais semelhantes aos necessários para o desenvolvimento das células de óxido sólido, cujo regime de operação exige alta resistência à corrosão e à altas temperaturas. O desenvolvimento desta tecnologia de células de óxido sólido pode gerar divisas ao País, através da exportação de materiais e *know-how*, decorrentes dos ganhos de competitividade e especificidade de materiais.

As tecnologias para reforma de combustíveis fósseis e renováveis também podem levar ao desenvolvimento de novos produtos com tecnologia nacional. Existem registros de casos de sucesso na área de engenharia de sistemas, decorrente da capacitação de recursos humanos gerada com o desenvolvimento dessas tecnologias.

Sistemas energéticos de CaC também podem dar maior impulso ao uso de etanol, gás natural e metanol. Em particular no caso do etanol, a existência de *know-how* para a produção em escala comercial a preços competitivos no mercado internacional e de uma rede de distribuição em todo o País, torna este combustível bastante atraente e estratégico para ser desenvolvido para aplicações automotivas. Adicionalmente, o gás natural também apresenta um grande interesse devido aos investimentos já realizados que estimularam a expansão do consumo e da rede de distribuição.

No aspecto ambiental, sistemas CaC apresentam vantagens sobre sistemas de geração convencional, pois apresentam baixas taxas de emissão de poluentes e ruído. Destaca-se ainda que para as aplicações tipo cargas essenciais, UTI móvel, preservação de medicamentos, centros cirúrgicos, entre outros, esta tecnologia tem papel fundamental pela qualidade assegurada, do ponto de vista ambiental e/ou eficiência energética.

Os desafios para a instalação de sistemas CaC, identificados foram:

- produção, armazenamento e distribuição do hidrogênio;
- *células de eletrólito polimérico* – detalhes de engenharia do produto como manejo de calor/água no interior da célula, montagem e custo dos conjuntos membrana-eletrólito (MEA), produção em série; baixa temperatura de operação torna cogeração menos efetiva;
- *células de óxido sólido* – engenharia de materiais de alta temperatura, selagem dos elementos cerâmicos, dificuldades relacionadas à reforma interna dos combustíveis (hidrocarbonetos);
- novos materiais para eletrodos, catalisadores e eletrólitos sólidos;
- capacitação de recursos humanos;

- desenvolvimento e garantia de propriedade de patentes de produtos e serviços e de direito de comercialização;
- regulação quanto à segurança e padronização;
- competição com alternativas tecnológicas equivalentes em estágio de desenvolvimento mais competitivo.
- necessidade de parcerias efetivas entre instituições do governo, setor industrial, setor de serviços, academia, ONG, etc;
- necessidade de política para a indústria de alta tecnologia.

3. Desenvolvimento Tecnológico de Sistemas Célula a Combustível

Sistemas CaC são dispositivos que possibilitam a conversão eletroquímica de combustíveis em energia elétrica, com destaque para o hidrogênio. O interesse por esta alternativa tecnológica tem sido notadamente crescente, tendo em vista que sua eficiência energética é superior a das máquinas térmicas, com benefícios para a economia de combustível e para o uso mais racional da energia do ponto de vista ambiental.

As tecnologias de sistemas CaC disponíveis no mercado, suas temperaturas de operação e suas aplicações estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – TECNOLOGIAS DE SISTEMAS CÉLULA A COMBUSTÍVEL, TEMPERATURAS DE OPERAÇÃO E APLICAÇÕES POTENCIAIS

Tecnologias			Descrição e Aplicações		
Célula a Combustível	Denominação em inglês	Siglas em inglês	Eletrólito	Temp. (°C)	Aplicações Potenciais
Alcalina	<i>Alkaline</i>	<i>AFC</i>	Alcalino	50-200	Transporte, Espaço
Eletrólito Polimérico	<i>Polymer Electrolyte</i>	<i>PEFC</i>	Polímero	50-80	Transporte, Geração Distribuída
Metanol Direto	<i>Direct Methanol</i>	<i>DMFC</i>	Polímero (metanol direto)	60-130	Transporte, Geração Distribuída
Ácido Fosfórico	<i>Phosphoric Acid</i>	<i>PAFC</i>	Ácido Fosfórico	190-210	Cogeração, Geração Distribuída
Carbonato Fundido	<i>Molten Carbonate</i>	<i>MCFC</i>	Carbonato Fundido	630-650	Cogeração, Geração Distribuída ou Centralizada
Óxido Sólido	<i>Solid Oxide</i>	<i>SOFC</i>	Óxido Sólido	700-1000	Cogeração, Geração Distribuída ou Centralizada

NOTA: A nomenclatura utilizada para designar os diferentes tipos de células a combustível baseou-se nas siglas em inglês (ver Abreviações), pois essas abreviações são internacionalmente utilizadas. Essa nomenclatura também pode variar de acordo com o tipo de célula, por exemplo, as células de eletrólito polimérico (PEFC) também são conhecidas como PEMFC (do inglês *Proton Exchange Membrane Fuel Cell*).

Como mencionado, as diferentes tecnologias de sistemas CaC² encontram-se em estágios diversos de desenvolvimento, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DE CÉLULAS A COMBUSTÍVEL NO BRASIL E NO MUNDO

Empresa / Tipo de Célula ou Tecnologia	P&D	Demonstração			Inserção no mercado	Penetração no mercado
		Protótipos iniciais	Protótipos aprimorados	Protótipos comerciais		
	FuelCell Energy - MCFC		Electrocell - UniTech			UTC PAEC
	Clamper/CEMIG + UniTech PEFC – Etanol Direto			Ballard -PEFC		➔
	Lactec+UEM Reformador Etanol					
	Siemens, Sulzer, etc SOFC					

Algumas rotas tecnológicas foram ou estão sendo abandonadas por problemas de durabilidade ou sensibilidade a contaminantes como, por exemplo, CaC alcalinas (AFC), que requerem hidrogênio puro. Por outro lado, tecnologias como as das células de membranas poliméricas (PEMFC), as de óxido sólido (ou cerâmicas, SOFC) e as de carbonato fundido (MCFC) estão em desenvolvimento acelerado e já começam a ser comercializadas, por empresas como a Ballard Power Systems, a Siemens, a Fuel Cell Energy, entre outras. No entanto, estes sistemas não são produtos comerciais, mas sim protótipos avançados.

As células de ácido fosfórico da UTC Fuel Cells (United Technologies Corporation) já estão disponíveis comercialmente, embora sejam de custo elevado e não estejam mais sendo alvo de maiores desenvolvimentos, que não os relativos ao reformador e à integração de componentes, na busca de redução de custo. A integração de sistemas também apresenta uma grande variedade de estágios de desenvolvimento,

² São consideradas como tecnologias associadas os reformadores de combustíveis, catalisadores, membranas e materiais, tecnologias de integração de dispositivos e sistemas, eletrolisadores e sistemas de armazenamento de H₂.

especialmente na área de geração descentralizada de energia elétrica. Sistemas de potência e de integração com a rede encontram-se em desenvolvimento, havendo a necessidade de se elaborar padrões e códigos para os sistemas baseados em sistemas célula a combustível. Normas de segurança ainda estão sendo desenvolvidas e discutidas internacionalmente, sendo que não houve consenso sobre as mesmas ou que tipo de certificação poderá ser adotada no futuro, implicando na definição dos tipos de produtos que serão aceitos no mercado internacional.

4. Conceito do Programa Brasileiro de Sistemas Célula a Combustível

A tradição brasileira de pesquisa e desenvolvimento tem levado ao financiamento de projetos individuais, pontuais, ou de colaborações de grupos com interesses afins, mas em assuntos selecionados pelos pesquisadores a partir de chamadas em amplas áreas do conhecimento. Embora este mecanismo tenha gerado importantes resultados científicos, a abordagem de um problema de natureza tecnológica, que envolve alta competitividade internacional e o desejo de criar indústrias brasileiras de alta tecnologia, requer um outro tipo de orientação. Dessa forma, ao invés de projetos, deve-se promover o financiamento de um programa integrado, com metas estabelecidas e compromisso de colaboração a longo prazo entre as entidades governamentais, indústria, universidades e centros de pesquisa envolvidas.

A instituição de um programa neste caso é fortemente recomendada face à grande complexidade do problema e às múltiplas áreas de conhecimento que estão envolvidas no seu equacionamento. Isso requer a criação de um conjunto articulado de projetos de P&D e de engenharia com o objetivo de desenvolver a tecnologia de produtos, processos ou sistemas. Para o desenvolvimento dos projetos são necessárias a mobilização de recursos humanos e materiais de instituições públicas e privadas, tais como empresas, universidades, institutos de pesquisa tecnológica, empresas de engenharia e outras, por meio de vínculos contratuais.

Para melhor conduzir o programa e atingir os objetivos propostos, as entidades participantes deverão atuar na forma de redes cooperativas de pesquisa. O conceito do programa e sua abrangência confirmam a necessidade de se estabelecer um programa nacional para ser implementado em rede de cooperação.

Por um lado, a organização e a gestão das redes devem ser feitas de maneira a propiciar o diálogo e o entendimento, garantindo a participação de todos, por outro lado, as informações precisarão ser organizadas e qualificadas para permitir a avaliação e eventual correção de rumos e estratégias com agilidade.

A proposta deste programa foi elaborada para ser submetida inicialmente ao CT-Energ, mas deverá ser discutida no âmbito de outros fundos setoriais e agências de

pesquisa, cujas áreas de interesse são afins. Como as atividades abrangem várias entidades, o programa exigirá a articulação de todas elas em benefício do desenvolvimento acelerado da tecnologia, da qualificação de recursos humanos para ampliação e garantia da qualidade de produtos e serviços.

Tendo em vista a diversidade de instituições envolvidos no Programa, deverão ser estabelecidas ações visando a proteção da propriedade intelectual, em consonância com a orientação do Ministério da Ciência e Tecnologia, para o fortalecimento da ética profissional e assegurar os ganhos relativos aos direitos de proteção da propriedade intelectual.

5. Objetivos, Resultados e Estratégias

O principal objetivo deste Programa Brasileiro de Sistemas Célula a Combustível é o de promover ações integradas e cooperadas, que viabilizem o desenvolvimento nacional da tecnologia de sistemas CaC, para habilitar o país a se tornar um produtor internacionalmente competitivo nesta área.

O desenvolvimento nacional de sistemas CaC proposto visa a produção de energia elétrica com tecnologia limpa e eficiente, aplicada também para sistemas auxiliares e de propulsão: aplicações automotivas, embarcações, aeronaves, entre outras. Pretende-se ainda apoiar o estabelecimento de indústria nacional para produção e fornecimento de sistemas energéticos célula a combustível que inclua: produção de células, reformadores, integradores de sistema, e fornecedores de serviços.

Para assegurar a realização destes objetivos devem ser definidas diretrizes de proteção da propriedade intelectual associada aos desenvolvimentos a serem realizados no Programa, subsidiando inclusive estratégias licenciamento das tecnologias desenvolvidas, de produção industrial, comercial e de comércio exterior. Outro ponto que merece especialmente atenção é a repartição do direito de propriedade entre as pequenas e grandes empresas envolvidas.

Projeta-se, também, a participação do setor privado financiando sua contrapartida aos investimentos governamentais. Esta estratégia tem por objetivo assegurar o interesse privado nos projetos, dar maior agilidade e estabilidade ao fluxo de recursos do Programa e ampliar o volume de recursos total a ser alocado no mesmo. Os investimentos privados serão contabilizados de forma separada e poderão ser articulados com diversos instrumentos de fomento disponíveis no Sistema de C&T&I, tais como: financiamento a taxas reduzidas, subsídios, incentivos fiscais, entre outros.

Os resultados esperados a partir deste Programa decorrem das seguintes ações:

- estabelecimento de rede das instituições, empresas, incubadoras e infra-estrutura em sistemas CaC;
- articulação de uma rede de especialistas;
- capacitação e treinamento de recursos humanos qualificados;

- implementação de projetos que privilegiem o uso de combustíveis renováveis nacionais, com ênfase especial à reforma de etanol;
- revitalização da infra-estrutura de laboratórios e de centros de pesquisa existentes;
- implementação de projetos de demonstração de diferentes sistemas CaC;
- implementação de projetos de desenvolvimento tecnológico da reforma e do uso direto de etanol;
- desenvolvimento de tecnologias complementares, visando o aperfeiçoamento da arquitetura interna da CaC.

É importante destacar que os objetivos e resultados esperados a partir da implementação deste Programa estão de acordo com as diretrizes estabelecidas pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e as diretrizes dos Fundos Setoriais.

Os resultados deste Programa proporcionarão o desenvolvimento do mercado de sistemas CaC no que tange a:

- produção e comercialização de componentes, novos produtos e serviços, desenvolvimento de processos e tecnologias;
- produção e suprimento descentralizado de energia elétrica com aumento de qualidade e confiabilidade do sistema elétrico nacional;
- ampliação da produção e uso de hidrogênio como vetor energético, contribuindo para a diversificação da matriz energética, a conservação de energia e a eficiência no uso e geração de energia, e a redução das emissões de carbono;
- estabelecimento e consolidação de empresas de base tecnológica;
- possibilidades para comercialização e exportação de *know-how*, produtos, processos e serviços.

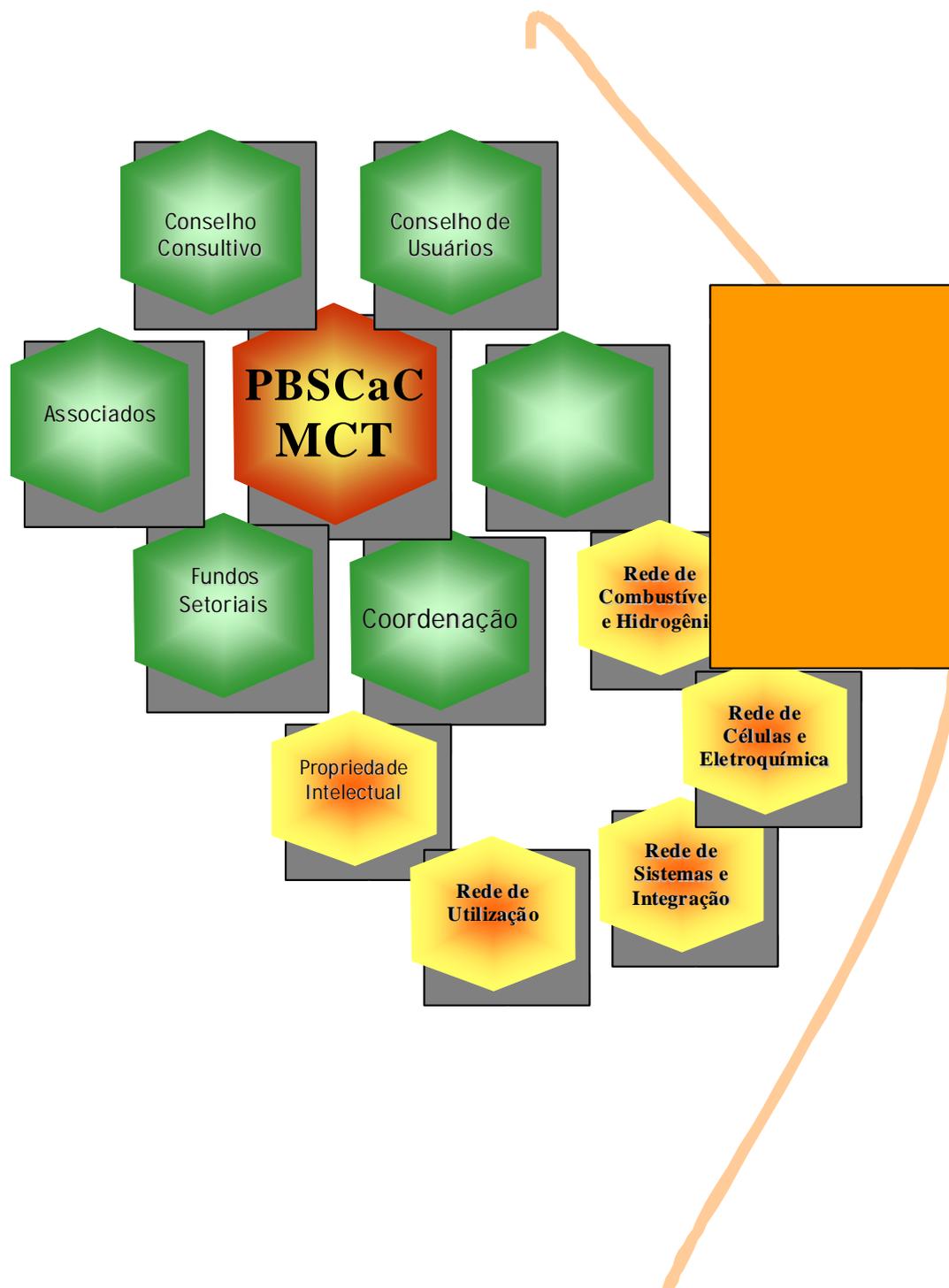
Os resultados esperados do Programa serão assegurados a partir da consecução das seguintes ações estratégicas:

- implementar as redes de informação, de formação e capacitação e de desenvolvimento tecnológico; para evitar redundâncias e otimizar os investimentos;

-
- promover a divulgação e o intercâmbio de informações pertinentes e de profissionais, inclusive com o estabelecimento de programas específicos de colaboração entre pesquisadores;
 - privilegiar o uso de combustíveis renováveis nacionais, apropriados às demandas regionais;
 - participar ativamente de projetos de pesquisa e fóruns de discussão internacionais, tais como a International Energy Agency Hydrogen Task Force;
 - promover a competitividade dos sistemas célula a combustível através de mecanismos de cooperação internacional;
 - promover a incubação de empresas de base tecnológica, por meio da transferência de tecnologia a partir dos projetos de pesquisa;
 - normatizar e padronizar para certificação os produtos, processos, e serviços resultados deste Programa;
 - incentivar a disseminação dos sistemas energéticos CaC de produção nacional por intermédio de projetos de demonstração com a participação da indústria e das concessionárias de energia;
 - desenvolver mecanismos de avaliação da viabilidade técnica e econômica (EVTE) e sócio ambiental (ciclo de vida de toda a cadeia produtiva) que agregue as externalidades inerentes a esta tecnologia;
 - promover projetos de sistemas CaC reversíveis e tanques de armazenamento com eletrólise e de protótipos comerciais destes dispositivos;
 - promover projetos capazes de contribuir para o aperfeiçoamento da arquitetura interna da célula e de reformadores de combustível;
 - estabelecer estratégias de proteção de propriedade intelectual e assessoramento na comercialização dos produtos e serviços resultantes do desenvolvimento deste programa, em âmbito internacional.

6. Estrutura de implementação do Programa

A Figura 1 apresenta a estrutura proposta para o Programa Brasileiro de Sistemas Célula a Combustível.



O **Conselho Consultivo** terá a responsabilidade de avaliar os resultados obtidos durante o Programa e recomendar as diretrizes estratégicas para a Coordenação. O Conselho Consultivo também participará da implementação e acompanhamento do **Grupo de Associados**, do **Conselho de Usuários**.

A **Coordenação** terá a responsabilidade de gerenciar as atividades do Programa e dos projetos, assegurar o cumprimento das metas e a obtenção dos resultados propostos pelo Programa, atuar junto com as agências no sentido de orientar a administração físico-financeira da liberação e aplicação dos recursos, sendo que, a função legal nos contratos será de responsabilidade direta entre o coordenador do projeto específico e a agência de financiamento. As funções específicas de responsabilidade do Conselho Consultivo e da Coordenação serão definidas em Regimento Interno próprio deste Programa.

O **Regimento Interno** deve estabelecer as funções de coordenação para assegurar o gerenciamento executivo do Programa na representação formal junto ao Ministério da Ciência e Tecnologia, suas agências, centros de pesquisas, indústria e o mercado em geral.

Ressalta-se a responsabilidade da **Coordenação**, em interação com os grupos das redes de pesquisa e a indústria, quanto ao ajuste dos objetivos, metas, recursos, prazos, equipamentos, e infra-estrutura de todos os projetos sistemas CaC submetidos às agências, no intuito de assegurar a harmoniosa integração aos objetivos do Programa e sua aderência ao desenvolvimento do mercado nacional.

Os membros da Coordenação serão escolhidos pelo mérito e notório saber em suas áreas de atuação, pelos resultados e experiências bem sucedidas em gerenciamento e implantação de novos negócios, os quais exercerão suas funções pelo prazo de três anos, podendo ser reconduzidos.

A Coordenação será responsável pela gestão do Programa no contexto de desenvolvimento de mercado, com a perspectiva de desenvolvimento de produtos e serviços competitivos em âmbito nacional e internacional.

7. Mecanismos de Gestão

Unidades Executoras

Os coordenadores das Unidades Executoras, signatários dos contratos de projeto junto às agências, deverão prover a Coordenação/Agências das informações necessárias para o gerenciamento adequado dos projetos, no mínimo através de dois relatórios de acompanhamento anual. O gerenciamento da Coordenação se dará inclusive por meio de visitas técnicas, reuniões, notas técnicas e relatórios de andamento.

A Coordenação e o Conselho Consultivo do Programa se reunirão, no mínimo, uma vez a cada seis meses a fim de atualizar as informações sobre o andamento dos projetos, atuação das redes e definição das novas diretrizes estratégicas. Essas reuniões serão planejadas pela Coordenação e Agências.

Após a reunião de avaliação semestral, o Conselho Consultivo deverá preparar uma exposição atualizada sobre o andamento do programa para os Comitês Gestores dos Fundos Setoriais interessados e, se necessário, aos demais órgãos financiadores. Os resultados das avaliações realizadas serão divulgadas entre os executores do Programa.

Redes de Pesquisa e Desenvolvimento

Este Programa contempla a implementação de redes de pesquisa e desenvolvimento.

As Redes de Pesquisa identificadas decorrem de levantamento realizado sobre as instituições e infra-estrutura laboratoriais já existentes no País, nos setores público e privado, atuantes no desenvolvimento de sistemas energéticos célula a combustível e que apresentam potencialidade para contribuir para os objetivos do Programa.

a) Rede de Células a Combustível e Eletroquímica

Nessa rede estão previstos investimentos nos seguintes temas:

- Sistemas célula a combustível de óxido sólido (com uso de hidrogênio ou etanol direto);
- Sistemas célula a combustível de eletrólito polimérico (com uso de hidrogênio ou etanol direto);

- Outras tecnologias de sistemas célula a combustível reversíveis, de uso naval e espacial;
- Eletrodos e membranas;
- Eletroquímica Aplicada – P&D;
- Sistemas de análise numérica do desempenho de sistemas célula a combustível.

b) Rede de Combustíveis e Hidrogênio

Nessa rede estão previstos investimentos nos seguintes temas:

- Reforma de etanol para produção do hidrogênio;
- Reforma de gás natural para produção de hidrogênio;
- Reforma de gás liquefeito de Petróleo para produção de hidrogênio;
- Produção de hidrogênio a partir de fontes renováveis de energia;
- Outros métodos para produção de hidrogênio;
- Engenharia de sistemas de reforma;
- Sistemas termicamente regenerativos.

c) Rede de Sistemas, Integração e Uso

Nessa rede estão previstos investimentos nos seguintes temas:

- Análise e engenharia de sistemas e automação;
- Sensores e atuadores;
- Integração de componentes nos sistemas energéticos célula a combustível (células, eletrônica de potência e de controle, reformador, etc.) e dos sistemas à rede elétrica e /ou usuário final;

d) Rede de Utilização

Nessa rede estão previstos investimentos nos seguintes temas:

- Otimização de sistemas e processos e adequação aos fornecimentos nacionais, para conferir critérios de eficiência energética, garantia de qualidade dos produtos, serviços e da energia produzida;
- Produção de Hidrogênio (eletrólise) a partir do aproveitamento de recursos energéticos renováveis;
- Armazenamento, transporte e distribuição de hidrogênio;
- Segurança, Certificação, Códigos e Padrões;
- Formação de recursos humanos especializados;

- Inserção social e incentivo ao uso das novas tecnologias;
- Incentivo ao desenvolvimento empresarial relativo às novas tecnologias.

8. Recursos e Prazos

Este Programa como proposto em seus objetivos, resultados e estratégias está previsto para ser implementado em prazo de dez anos, no intuito de assegurar o desenvolvimento do mercado nacional de sistemas célula a combustível. O Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT com o lançamento deste Programa pretende assegurar a continuidade do desenvolvimento tecnológico, privilegiar a manutenção das equipes executoras com objetivo de aprimorar a especialização e promover a capacitação e o treinamento de novas equipes em todos os níveis, básico, técnico e tecnológico.

Os recursos financeiros provenientes do setor governamental não podem sofrer solução de continuidade, inclusive para manter o fluxo de investimentos do setor privado, principalmente no que diz respeito a indústrias de porte pequeno envolvidas com o desenvolvimento de alta tecnologia. Para estas empresas o risco econômico-financeiro é maior e o papel do governo na introdução da nova tecnologia no mercado é essencial.

Do total de recursos a serem disponibilizados para o Programa Brasileiro de Sistemas Célula a Combustível prevê-se que uma parte seja aplicada imediatamente para possibilitar a formação das redes, retomar as prospeções sobre os grupos e projetos em célula a combustível, iniciar a prospecção dos bancos de dados de interesse e da pesquisa de processos de patentes, financiar passagens e estadias e prover a infra-estrutura administrativa mínima necessária para dar andamento ao Programa.

Este Programa possibilitará articular as demais iniciativas realizadas na área de sistemas energéticos célula a combustível pelas principais agências de fomento, órgãos do governo e lideranças técnico-científicas e industriais.

9. Fontes de Financiamento e Integração com outras Redes de Pesquisa

Este Programa está previsto no Plano de Investimentos do Fundo Setorial de Energia Elétrica (CT-ENERG / MCT) e, portanto, no momento, este será o principal agente financiador. Devido a outros investimentos já concluídos do Fundo Setorial do

Petróleo na área de reforma de gás natural e catálise, é a sua missão, o CT-PETRO é uma fonte de financiamento importante. Outras fontes de financiamento, no entanto, já apoiam projetos relacionados ao programa e deverão ser consideradas como, por exemplo: ANEEL e companhias de energia, MME, CNPq, FINEP, fundações estaduais de amparo à pesquisa, organismos internacionais, entre outros.

Pretende-se realizar a prospecção permanente dos projetos financiados, inclusive aqueles do Norte e Nordeste, especialmente por terem sido financiados pelo CT-PETRO após a conclusão das visitas técnicas preliminares às organizações envolvidas.

A princípio, a seguinte distribuição de fontes de financiamento poderia ser considerada:

- combustíveis, sistemas célula a combustível, reformadores e catálise - CT-PETRO;
- infra-estrutura das universidades e centros de pesquisa - CT-INFRA;
- eletroquímica, integração de sistemas, células para aplicações estacionárias, processos de catálise;

Prevê-se que o Programa deva permanecer aberto à adesões de empresas e apoio dos organismos de fomento, privilegiando a interação de redes de pesquisa já existentes com as novas redes a serem desenvolvidas no âmbito do Programa.

10. Propriedade Intelectual

No âmbito do MCT o grupo de especialistas responsáveis pelas estratégias de proteção de propriedade intelectual e assessoramento na comercialização dos produtos e serviços resultantes do desenvolvimento deste Programa, em âmbito internacional, vai contribuir para a ampliação da competência das entidades envolvidas quer sejam de direito público ou privado.

Outro ponto importante será estabelecer apoio do serviço diplomático e dos escritórios de exportação do MDIC para internacionalização da propriedade intelectual brasileira relacionada com os produtos e serviços resultantes deste Programa. Este serviço ampliará a diferenciação dos produtos brasileiros tornando-os ainda mais rentáveis independente da área de origem da patente a ser protegida, e ainda, deverá ser prestado de forma ampla a órgãos públicos de pesquisa e às pequenas e médias empresas. Destaca-se a importância da negociação de parte dos recursos auferidos a partir dos "royalties" retornarem para o fundo financiador deste programa.

11. Entidades

SIGLA	ENTIDADE
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo
CDTN	Centro de Desenvolvimento de Energia Nuclear
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CENBIO	Centro Nacional de Referência em Biomassa
CENEH	Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio
CENPES	Centro de Pesquisa Leopoldo A. Miguez de Mello (PETROBRÁS)
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (ELETROBRAS)
CETEC	Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
COPERSUCAR	Cooperativa dos Produtores de Cana, Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo Ltda.
COPPE	Inst. Alberto Luiz Coimbra de PG e Pesq. de Eng. (UFRJ)
CT-PETRO	Fundo Setorial do Petróleo
CT-ENERG	Fundo Setorial de Energia
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
INEP-UFSC	Instituto de Eletrônica de Potência – Universidade Federal de Santa Catarina
INT	Instituto Nacional de Tecnologia
IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – MCT
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
ITA	Instituto Tecnológico da Aeronáutica
LACTEC	Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MDIC	Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
NREL	National Renewable Energy Laboratory – Golden, CO – EUA
UEM	Universidade Estadual de Maringá
UFF	Universidade Federal Fluminense
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UNESP	Universidade Estadual Paulista
USP/ São Carlos	Universidade do Estado de São Paulo – IQ/São Carlos
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas

12. Abreviações

SIGLA	SIGNIFICADO
AFC	célula a combustível alcalina – <i>Alkaline Fuel Cell</i>
CaC	Sistemas célula a combustível – <i>Fuel Cell</i>
DMFC	célula a metanol direta – <i>Direct Methanol Fuel Cell</i>
MCFC	célula a combustível de carbonato fundido – <i>Molten Carbonate Fuel Cell</i>
MEA	conjunto membrana-eletrodo – <i>Membrane Electrode Assembly</i>
PAFC	célula a combustível de ácido fosfórico – <i>Phosphoric Acid Fuel Cell</i>
PEFC	célula a combustível de eletrólito polimérico – <i>Polymer Electrolyte Fuel Cell</i>
SOFC	célula a combustível de óxido sólido – <i>Solid Oxide Fuel Cell</i>

13. Glossário

Conselho Nacional de Política Energética (CNPE): órgão criado pela Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, com a finalidade de assessorar o Presidente da República para a formulação de políticas e diretrizes de energia, de forma a promover o aproveitamento racional dos recursos energéticos do país. Integram o CNPE: o Ministro de Estado de Minas e Energia, o Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia, o Ministro de Estado do Planejamento, Orçamento e Gestão, o Ministro de Estado da Fazenda, o Ministro de Estado do Meio Ambiente, o Ministro de Estado do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, o Ministro Chefe da Casa Civil da Presidência da República, um representante dos Estados e do Distrito Federal, um cidadão brasileiro especialista em matéria de energia e um representante de universidade brasileira, especialista em matéria de energia.

Conservação de Energia: ações sistemáticas que resultem na redução do consumo de energia sem que exista, necessariamente, uma relação direta com a produtividade do processo.

Eficiência Energética: ações de utilização sistemática e racional da energia, cujo objetivo é otimizar seu uso de modo a obter-se a maior razão possível entre produtividade e consumo energético.

Divulgação Tecnológica: atividade sistemática, cujo objetivo é dar conhecimento público para produtos, técnicas, processos e teorias de modo a despertar interesse na sua utilização ou investigação.

Cooperação Internacional: atividade de caráter inter-institucional a ser executada em parceria por diferentes instituições de ensino superior, instituições de pesquisa e desenvolvimento científico, ou empresas do setor privado, quando um destes agentes está sediado no exterior.

Certificação Técnica: emissão de certificado ou selo atestando que determinado equipamento, sistema ou processo está em conformidade com a norma técnica competente.