



**GRUPO – II
GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS – GPT**

**APROVEITAMENTO DO HIDROGÊNIO GERADO COMO SUBPRODUTO NO SISTEMA DE CLORAÇÃO DAS
USINAS NUCLEARES DA ANGRA 1 E ANGRA 2 PARA UTILIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE CÉLULAS
A COMBUSTÍVEL**

**NELRI FERREIRA LEITE (*)
ELETRONUCLEAR**

**JOSE ITACY C. NUÑEZ
ELETRONUCLEAR**

**JOSÉ AUGUSTO PERROTA
IPEN/CNEN**

RESUMO

Este trabalho visa incentivar o desenvolvimento da tecnologia nacional de Célula a Combustível (CaC) através do aproveitamento do hidrogênio produzido em Angra 1 e Angra 2. Foi escolhida a CaC tipo PEM ("proton exchange membrane") que no Brasil se encontra em fase avançada de desenvolvimento, já existindo o fornecimento de protótipos (em pequena escala, fase pré-comercial) de 5 kW até 50 kW, mas ainda com alguns itens importados. Universidades e Institutos de Pesquisa, particularmente o IPEN, também desenvolvem CaC tipo PEM, o que garantiria o sucesso de um projeto com tecnologia nacional. Além disso, tecnologia de CaC tipo PEM é a que hoje mais avança no mundo e vários fornecedores de componentes e sistemas são disponíveis.

Mostraremos ainda os aspectos do hidrogênio relativos à segurança, manuseio, pureza e custos, bem como as possibilidades de desenvolvimento e aproveitamento da energia gerada em CaCs dando uma destinação final mais nobre ao hidrogênio produzido em Angra 1 e Angra 2, que conforme nossos cálculos, anualmente estariam sendo jogados para a atmosfera o equivalente a R\$ 1,4 milhões.

PALAVRAS-CHAVE

Célula a Combustível (CaC), Hidrogênio, Aproveitamento de Hidrogênio

1.0 INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é apresentar o estudo de viabilidade do aproveitamento do hidrogênio produzido como subproduto da eletrólise da água do mar do sistema de cloração das Centrais Nucleares ANGRA 1 e ANGRA 2, como fonte primária para produção de energia elétrica utilizando células a combustível. As Usinas Angra 1 e Angra 2 utilizam a água do mar como fluido refrigerante no circuito terciário de refrigeração (condensadores). Hipoclorito de sódio é adicionado a este fluido refrigerante de forma a atuar como biocida para evitar o crescimento e proliferação de organismos marinhos (cracas) nos equipamentos e tubulações desse circuito terciário.

O hipoclorito de sódio é produzido continuamente através de um sistema que realiza a eletrólise da água do mar (1). O subproduto da produção do hipoclorito de sódio pela eletrólise é o gás hidrogênio, o qual está sendo totalmente liberado para atmosfera. Dois sistemas de eletrólise operam hoje nas centrais nucleares: um em Angra 1, com capacidade de produção de até 45 Nm³/h de hidrogênio; e outro em Angra 2, com capacidade de produção de até 120 Nm³/h de hidrogênio. No caso de Angra 1, há dois circuitos em paralelo, sendo que apenas um fica em operação, o que já atende às necessidades da central nuclear. Somando os dois sistemas, Angra 1 e Angra 2, há um potencial de produção contínua de hidrogênio da ordem de 140 Nm³/h, podendo, com a construção de Angra 3, esse volume produzido passar para 260 Nm³/h.

Hidrogênio também é consumido pelas centrais nucleares (2), mas as quantidades utilizadas (0,6 Nm³/h em Angra 1, e 2,8 Nm³/h em Angra 2) não justificariam um investimento em projeto de reaproveitamento do hidrogênio produzido pelo sistema de eletrólise (hipoclorito de sódio). O hidrogênio é considerado por muitos como um vetor energético chave no século 21. Sua utilização através de células a combustível (CaC) leva a uma produção limpa e eficiente de eletricidade. CaC é um dispositivo eletroquímico que possibilita a conversão de energia química em eletricidade e calor. A utilização direta de hidrogênio e ar (oxigênio) gera como resíduo água. Sua eficiência energética é superior a das máquinas térmicas, com benefícios para a economia de energia e para o uso mais racional da energia sob o ponto de vista ambiental. As diferentes formas de obtenção de hidrogênio e a variedade de aplicações de CaC tem atraído a atenção e o investimento dos países mais desenvolvidos. União Européia, Estados Unidos, Canadá e Japão possuem programas de peso, que estabelecem metas firmes de utilização de hidrogênio e da tecnologia de CaC para transporte e energia distribuída. (União Européia-2003).

(*)AV. CANAL DE MARAPENDI, 1100, APTO 903-II – CEP 22631-050 Rio de Janeiro, RJ – Brasil

2.0 VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO HIDROGÊNIO GERADO NAS USINAS NUCLEARES

O hidrogênio possui um grande conteúdo de energia por unidade de peso (120,7 kJ/g) (chega a ser três vezes maior do que o da gasolina). Entretanto, sua energia por unidade de volume é relativamente baixa (357 J/cm³ à pressão atmosférica). Qualquer combustível que possui um alto teor de energia deve ser manuseado adequadamente para se ter segurança. Com o hidrogênio não é diferente. Em geral, não é nem mais nem menos perigoso que a gasolina, o propano ou o metano. Como qualquer combustível, o manuseio seguro depende do conhecimento de suas propriedades físicas, químicas e térmicas. O hidrogênio, hoje no mundo, é produzido, armazenado e transportado em larga escala na indústria, seguindo práticas padrões que tem sido estabelecidas nos últimos 50 anos.

Para avaliarmos a possibilidade de utilização do hidrogênio produzido pelo sistema de hipoclorito de sódio das centrais nucleares devem ser discutidos alguns aspectos:

- (a) serão mantidas a operacionalidade do sistema de hipoclorito de sódio?
- (b) são possíveis a coleta e transporte, do hidrogênio gerado pelo sistema, com segurança, para fora da cerca de proteção da usina?
- (c) a pureza do hidrogênio gerado é compatível para ser utilizado em CaC na produção de energia elétrica?
- (d) Serão mantidas a segurança da instalação nuclear e da instalação de CaC?

2.1. Segurança

A questão segurança é fundamental para qualquer projeto na usina nuclear. A operacionalidade do sistema de produção de hipoclorito de sódio deve ser sempre mantida, independente do estado operacional da CaC a ser utilizada para aproveitamento do hidrogênio. Isto é um critério que deverá ser imposto ao projeto para classificação de seus sistemas e componentes. Hoje, o gás produzido é liberado diretamente para a atmosfera. O projeto deve prever que em caso de parada da CaC, o gás deverá ser liberado para a atmosfera na mesma condição de segurança que hoje existe. Em termos de "nomenclatura" nuclear, qualquer condição operacional do sistema CaC (mesmo condição extrema-acidente) não deve impor condição de desligamento da planta de eletrólise ou criar condições ambientais de risco para a operação da usina. Como o sistema de eletrólise opera continuamente, caso seja previsto pelo detalhamento do projeto uma armazenagem do gás, o volume de armazenagem também deve ter sua segurança garantida e o excedente de gás deve ser liberado para a atmosfera.

Deve fazer parte do projeto a análise de segurança do sistema, e demonstração de que não há interferência nas análises de segurança e licenciamento da usina. Haverá, certamente, necessidade de elaborar documentação dessa análise, como uma modificação do projeto original da usina, para fins de licenciamento junto à CNEN.

2.2. Coleta e Transporte

O gás produzido pelo sistema de hipoclorito de sódio é liberado diretamente para a atmosfera, sendo a única preocupação evitar pontos de retenção do gás em que a concentração de hidrogênio seja insegura (mistura explosiva). A mesma preocupação deverá ser adotada para a coleta e transporte desse gás, via tubulação, para o exterior da cerca de proteção da usina. Não há necessidade de realizar a purificação do gás na estação de coleta, junto à planta de eletrólise. É preferível fazer a purificação junto à CaC. Isto permite que a mistura de gás a ser transportada seja de menor pureza, com concentrações seguras de hidrogênio.

Deve existir um sistema de coleta e transporte para cada um dos sistemas de produção de hipoclorito de sódio por eletrólise (Angra 1 e Angra 2) de forma que operem independentemente um do outro. O projeto deve prever falha segura nesta coleta e transporte, de forma que qualquer anormalidade (incidente/acidente) não altere o estado operacional da planta de eletrólise e nem crie condições ambientais de risco para a operação das usinas.

2.3. Pureza

Hidrogênio não é uma fonte de energia, já que ele não se encontra naturalmente, mas é produzido através de outras fontes, como a água, hidrocarbonetos, biomassa, etc. Sua produção requer consumo de energia (elétrica ou térmica) de outras fontes tais como solar (hidroelétrica, vento, fotovoltaica), combustão de combustíveis fósseis, fissão ou combustão de materiais renováveis (lenha, bagaço, lixo, etc...). No mundo, são gerados aproximadamente 500 bilhões de metros cúbicos de hidrogênio por ano. Desse total 48% são obtidos pela reforma do gás natural, 30% do petróleo, 18% do carvão e 4% através da eletrólise.

O hidrogênio obtido de hidrocarbonetos pode conter impurezas de compostos de carbono (CO, CO₂), que para alguns tipos de CaC funcionam como venenos (principalmente em CaC tipo PEM). Para alguns tipos de CaC, como a SOFC, que opera a alta temperatura, os compostos de carbono não são problema.

Já a eletrólise da água é um dos métodos ideais para produção de hidrogênio praticamente isento de impurezas (compostos de carbono). Os sistemas geradores de hipoclorito de sódio de Angra 1 e Angra 2 utilizam a eletrólise da água do mar. Diferentemente dos sistemas usuais de produção de hidrogênio por eletrólise, os sistemas de Angra 1 e Angra 2 bombeiam continuamente a água do mar, passando pelos eletrolisadores, produzindo uma mistura de água salgada, hidrogênio, oxigênio e hipoclorito de sódio. Para separar o hidrogênio, deve ser usado um separador de gás. A pureza obtida para o gás extraído do sistema de Angra 2 é mostrada abaixo:

Tabela 1 - Dados da análise química do gás produzido pelo sistema de eletrólise de Angra 2

Composto	Teor
H ₂	96,30%
He	0,01%
N ₂	0,56%
O ₂	3,00%
H ₂ O	0,12%
Ar	0,01%
Total	100,00%

Nota-se que a amostra do gás coletado possui grande parte de hidrogênio e pequenas quantidades de oxigênio, água e ar atmosférico (N₂, O₂, Ar) que são arrastados na passagem do fluxo contínuo de água no separador de gases. Se houver necessidade de maior pureza do hidrogênio é possível passar o gás por purificadores, propiciando uma alta pureza do hidrogênio obtido. Filtros de carvão ativado geram um alto grau de pureza do hidrogênio na mistura gasosa. Se ainda assim houver necessidade de um hidrogênio ultra puro, podem-se utilizar membranas de paládio, que reteriam quase todas as impurezas da mistura gasosa.

Normalmente, um sistema de CaC tipo PEM utiliza hidrogênio de pureza comercial (99%), com restrição à contaminação de CO. Portanto, sob o ponto de vista de pureza, o gás produzido pelo sistema de Angra 1 e Angra 2 permite extração de hidrogênio na especificação requerida para produção de energia elétrica por CaC tipo PEM.

3.0 ALTERNATIVAS DE APROVEITAMENTO DO HIDROGÊNIO GERADO EM CaC

A tecnologia de CaC está sendo desenvolvida a passos largos no exterior. Vários tipos de CaC estão sendo comercializadas com potências que variam de 1 kW até 200 kW. CaC tipo PEM são as mais promissoras num futuro próximo, e CaC tipo SOFC e MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell) também são encontradas, mas em menor escala. CaC tipo PEM são as utilizadas em veículos, e possuem potência, nesta aplicação, da ordem de 70 kW a 200 kW.

Na potência de 200 kW, CaC tipo PAFC são comercializadas nos Estados Unidos, mas esta tecnologia se encontra em segundo plano frente aos avanços das CaC tipo PEM. No Brasil, quatro CaC tipo PAFC, de 200 kW cada, foram importadas e instaladas. Três estão no Paraná (COPEL/LACTEC) e uma no Rio de Janeiro (GENPES/Petrobras). Estas CaC são "caixas pretas" e tem como objetivo principal o teste de sistema CaC, de forma a ganhar experiência operacional sobre tais sistemas. Hoje, existe certa dificuldade de realizar manutenção dessas unidades devido à descontinuidade da sua produção nos Estados Unidos.

A proposta do projeto aqui apresentada visa incentivar o desenvolvimento da tecnologia nacional de CaC através do aproveitamento do hidrogênio produzido em Angra 1 e Angra 2. É escolhida a CaC tipo PEM pois no Brasil se encontra-se em fase avançada de desenvolvimento, já existindo o fornecimento de protótipos (em pequena escala, fase pré-comercial) de 5 kW até 50 kW, mas ainda com alguns itens importados. Universidades e Institutos de Pesquisa, particularmente o IPEN, também desenvolvem CaC tipo PEM, o que garantiria o sucesso de um projeto com tecnologia nacional.

Por ser o IPEN um instituto de pesquisas, é usual na maioria dos projetos elaborados de nacionalização, o aumento da escala de laboratório para projeto-piloto. Esta forma de atuação permite, após desenvolvimento e sucesso do projeto, a transferência da tecnologia para o setor industrial (atendimento ao mercado/sociedade).

Além da característica de nacionalização crescente, a encomenda de quatro unidades de 50 kW permitirá que o fabricante nacional de CaC possa melhorar seus processos e materiais utilizados nos itens que compõem a CaC, de forma que possa haver uma otimização da CaC e redução de custos. Um exemplo disto é a fabricação das placas separadoras dos MEA no módulo ("stack") da CaC, que hoje são placas de grafite usinadas e que podem

ser fabricadas (em maior escala) por materiais compostos e processos de injeção em moldes. Isto contribuiria para diminuir o volume da CaC e aumentar sua eficiência.

Os sistemas de produção de hipoclorito de sódio por eletrólise das centrais nucleares produzem da ordem de 140 Nm³/h de hidrogênio, sendo 20 Nm³/h (dois sistemas em paralelo, num total de 45 Nm³/h, sendo operado um de cada vez) em Angra 1, e 120 Nm³/h em Angra 2. Uma CaC tipo PEM utiliza cerca de 0,66 Nm³/h de hidrogênio por kW elétrico produzido. Logo a disponibilidade de hidrogênio produzido nas usinas permite obter uma potência de aproximadamente 210 kW.

Como a proposta é de desenvolvimento da tecnologia nacional, o projeto constará de 4 unidades de CaC tipo PEM de 50 kW cada uma. Esta modularização trará vantagens que podem ser listadas a seguir:

- flexibilização do uso do hidrogênio gerado pelas linhas independentes de cada sistema de eletrólise (Angra 1 e Angra 2);
- manutenção e teste em unidades de CaC individuais permitindo geração contínua nas outras unidades;
- compra das unidades de CaC de forma escalonada, ou mesmo de distintos fornecedores, caso existentes;
- execução de um índice crescente de nacionalização das CaC, tendo um processo comparativo de desempenho entre unidades;
- existência de uma rede de CaC local, servindo de modelo para redes a serem desenvolvidas em âmbito nacional;
- extração de parte do hidrogênio para engarrafamento ou utilização nas usinas nucleares, sem alterar o perfil operacional das unidades de CaC em operação.

A empresa ElectroCell tem encomendas de sistemas CaC tipo PEM para a Eletropaulo e para o CEPTEL. A tecnologia dos sistemas é da ElectroCell, mas o MEA (Membrane Electrode Assembly) é importado dos Estados Unidos. É proposta desse projeto que o MEA, parte central e a tecnologia sensível da CaC, seja nacionalizado. Para isso, poderá ser utilizada a experiência do IPEN na tecnologia desenvolvida para fabricação de MEA.

O IPEN produz, em escala laboratorial, MEA de 5x5 cm² com densidade de corrente de 800 mA/cm² a 600 mV. Esta densidade de corrente é comparável ao padrão internacional para as mesmas condições de operação das células. Estão sendo realizados testes no IPEN para fabricação de MEA de 12x12 cm². A próxima etapa será desenvolver processos para alcançar MEA de 20x20 cm² que seriam apropriados para CaC de potência acima de 10 kW. Ao mesmo tempo, o IPEN está acabando de montar uma infra-estrutura laboratorial que permite o teste de desempenho do MEA de maior dimensão por períodos mais longos de operação.

O IPEN também produz os catalisadores que são utilizados nos MEAs. No entanto, a escala de produção ainda é pequena, devendo ser desenvolvido um processo para atender quantidades maiores como de um fornecimento de quatro unidades de 50 kW de CaC tipo PEM.

Nafion® é a membrana condutora de prótons usada internacionalmente no MEA. Seu custo ainda é um pouco elevado. Existe proposta no IPEN de desenvolvimento de polímeros que seriam alternativos à importação dessa membrana.

É proposta para esse projeto o seguinte grau de nacionalização dos componentes centrais (MEA) da CaC:

- Primeira unidade: MEA importado de firma qualificada no exterior;
- Segunda unidade: MEA produzido no país, utilizando membrana nafion importada, e catalisador importado;
- Terceira unidade: MEA produzido no país, utilizando membrana nafion importada e catalisador produzido no país;
- Quarta unidade: MEA produzido no país, utilizando membrana nacional (caso se tenha alcançado o nível de desenvolvimento desejado) e catalisador produzido no país.

Portanto, o projeto proposto gerará não só eletricidade a partir da CaC, mas também conhecimento e desenvolvimento nacional do setor.

É importante também destacar que o valor agregado ao hidrogênio utilizado nessas unidades de CaC é bastante alto. Nas usinas, o hidrogênio está sendo lançado na atmosfera. Qualquer desenvolvimento nacional necessitará de quantidades grandes de hidrogênio para alcançar um alto grau de amadurecimento dos projetos e de desempenho dos sistemas (longo tempo em operação). O custo da compra de hidrogênio seria um item significativo. Este projeto oferece, portanto, uma excelente oportunidade para aproveitar a disponibilidade do hidrogênio das usinas e alavancar o desenvolvimento nacional na aplicação do hidrogênio como vetor energético, e uso de CaC para geração de eletricidade.

Sobre a utilização da energia elétrica gerada pelas unidades de CaC, a Eletronuclear deverá escolher sua melhor aplicação. A Eletronuclear deverá especificar as características desejadas para as CaC (corrente –

alternada ou contínua, voltagem, número de fases, frequência, etc). Como as distâncias entre o local de geração e a central nuclear são reduzidas, não deverão ocorrer perdas significativas por transmissão.

Uma outra possibilidade é a utilização do calor gerado pelas CaC para aquecimento de água ou ar. Ao produzir 50 kW de energia elétrica, são produzidos da ordem de 70 kW de energia térmica, por unidade, e parte dessa energia térmica pode ser utilizada para aquecimento.

Uma outra alternativa a ser verificada pela Eletronuclear é a utilização das CaC na vila residencial de Praia Brava. Neste caso, a energia elétrica gerada pela CaC poderia complementar a rede local e poderia ser gerada água quente, por exemplo, para a hospedagem. No entanto, a alternativa de colocar a CaC em Praia Brava irá requerer um duto bem maior de transporte do gás hidrogênio produzido pelo sistema de eletrólise.

Como o enfoque do projeto é de desenvolvimento e capacitação nacional, o acompanhamento da operação das CaC deverá ser feito não só pela Eletronuclear, mas também pelos autores do projeto. O CEPEL tem como objetivo desenvolver a capacitação de análise e avaliação de desempenho dos sistemas CaC para energia distribuída. Este conjunto de CaC em operação contínua será um excelente teste a ser monitorado pelo CEPEL.

4.0 ESTUDO SOBRE CUSTOS

O custo da energia (elétrica e térmica) produzida por uma CaC é fortemente influenciado pelo investimentos requeridos na produção de hidrogênio e na fabricação do sistema de geração. O combustível primário das CaC de membrana polimérica (PEM) é o hidrogênio com elevado grau de pureza, o qual, no estágio atual da tecnologia, é proveniente da reforma de combustíveis fósseis seguida de um processo de purificação ou a partir da eletrólise da água. Qualquer que seja o processo, faz do hidrogênio um combustível caro por unidade energética, que afeta os desenvolvimentos para otimização dos custos de fabricação das CaC, tendo em vista que o mesmo se torna parte substancial do custo, no decorrer dos diversos estágios da pesquisa. Portanto, a possibilidade de se dispor de hidrogênio como subproduto de um processo como o existente nas usinas Angra 1 e 2 constitui uma oportunidade única para a redução do custo do domínio da tecnologia de todo o ciclo de produção das CaC tipo PEM, pelas comunidades científica, tecnológica e empresarial brasileiras.

Para uma dada tecnologia de produção, o preço de venda do hidrogênio depende basicamente de dois fatores: pureza do gás e volume fornecido. Desta forma, os fornecedores nacionais de hidrogênio comercializam este gás em valores que variam de R\$ 3,00 a R\$ 50,00/m³ (R\$ 300,00 a R\$ 5.000,00/GJ).

A condução de um projeto de P&D em CaC por um instituto ou centro de pesquisa certamente requer volumes reduzidos de hidrogênio de alta pureza, entretanto, teria que adquirir o mesmo insumo a um preço da ordem de R\$ 40,00/m³. Grosso modo, o orçamento do projeto de desenvolvimento de componentes de uma CaC deveria provisionar cerca de R\$ 100 mil a R\$200 mil por ano, apenas para aquisição de hidrogênio.

A figura 1 a seguir apresenta a variação do custo de produção do hidrogênio por eletrólise, em função do custo da eletricidade para produzi-lo.

Tomando-se o valor do custo da eletricidade fornecida a consumidores Classe A2 (138 kV) obtém-se, para um volume de 100 m³/h, um custo de produção de aproximadamente US\$ 0,40/m³ (R\$ 1,20/m³). A este custo de produção, à situação existente em Angra 1 e 2, estariam sendo jogados para a atmosfera o equivalente a R\$ 1,4 milhões, anualmente. Um projeto de desenvolvimento visando o aproveitamento do hidrogênio produzido nas usinas de Angra através de CaCs, utilizando hidrogênio adquirido no mercado requereria aportes anuais crescentes de recursos que atingiriam na fase de potência máxima, cerca do triplo do valor acima mencionado.

A disponibilidade em Angra, de hidrogênio a um custo equivalente à sua purificação constitui uma oportunidade única de se implementar um projeto de desenvolvimento de CaC do tipo PEM, cujos objetivos seriam o domínio tecnológico de todas as etapas de fabricação do módulo ("stack") da CaC, a possibilidade de dar condições de escala de produção às empresas nacionais com as consequentes reduções de custo de produção e o aprimoramento e a fixação das equipes de P&D existentes nos centros e institutos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico do país.

Custo de Produção do Hidrogênio (Eletrolise)

(Adaptado de Simader, Günter R., palestra em abril de 2002, Lisboa, Portugal)

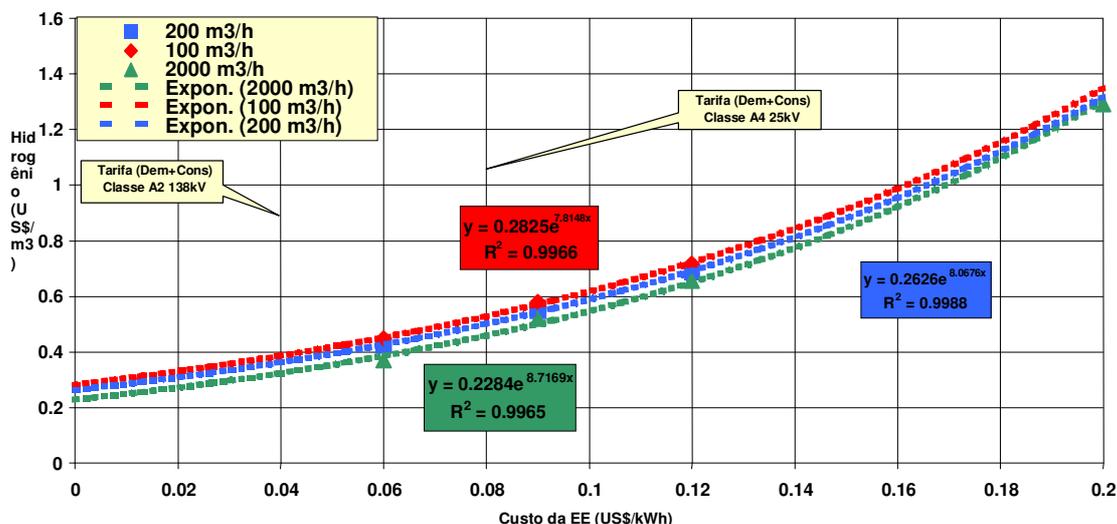


Figura 1 – Custo de hidrogênio

O custo da condução de um projeto conforme estimado na tabela 2 e utilizando o hidrogênio subproduto do processo de obtenção de hipoclorito de sódio está estimado em R\$ 9 milhões e um prazo de execução de 5 anos. Deste custo, a fabricação da CaC em uma concepção modular corresponderia a cerca de R\$ 4,2 milhões e o restante (R\$ 4,8 milhões) às etapas de projeto e implantação das instalações, sistema de purificação do hidrogênio e ao desenvolvimento da tecnologia de preparação de MEA's (20×20 cm), a produção de catalisadores e ao acompanhamento do desempenho do sistema.

Tabela – 2 Estimativa de custo do projeto

Item	Valor(R\$)
4 CaC	4.200.000,00
Projeto	600.000,00
Instalações de coleta e transporte de hidrogênio	2.000.000,00
Desenvolvimento de MEA e catalisador	1.800.000,00
Acompanhamento operacional	400.000,00
Total	9.000.000,00

5.0 DETALHAMENTO DA EXECUÇÃO

É proposto um prazo total de implantação deste projeto de 5 anos. A monitoração das CaC se estenderá por seu tempo de uso, com maior enfoque nos dois primeiros anos.

A tabela 3 apresenta as principais fases do projeto e os responsáveis técnicos por sua realização. As responsabilidades anotadas são, em alguns itens, de acompanhamento e auditoria.

Para aprovação do projeto, propõe-se seguir o seguinte caminho:

- Aprovação pela Eletronuclear, IPEN e CEPEL da viabilidade do projeto;
- Aprovação da Eletronuclear para implementação do projeto;
- Identificar eventuais impecilhos de licenciamento junto ao órgão licenciador;
- Motivação da Eletrobrás, MME e MCT (Programa Brasileiro de Células a Combustível) para patrocinar o projeto;
- Elaborar proposta detalhada do projeto para submissão ao agente financiador;
- Contratação do projeto.

Tabela 3 - Planejamento

Atividade	Responsável			1° ANO				2° ANO				3° ANO				4° ANO				5° ANO			
	ETN	IPEN	CEPEL	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Estudo de concepção do sistema de coleta e transporte do gás	X			■																			
Detalhamento e especificação do sistema de coleta e transporte do gás	X				■	■																	
Contratação da montagem do sistema de coleta e transporte do gás	X					■	■																
Fabricação e montagem do sistema de coleta e transporte do gás	X							■	■	■	■												
Análise do gás obtido do sistema de eletrólise		X		■																			
Projeto e especificação do sistema de purificação do gás		X			■	■																	
Fabricação e montagem do sistema de purificação do gás		X						■	■	■	■												
Análise de segurança e confiabilidade do sistema de coleta, transporte do gás		X			■	■																	
Elaboração de relatório de análise de segurança para licenciamento	X	X								■													
Licenciamento										■													
Especificação das características elétricas necessárias para os sistemas CaC	X	X	X	■																			
Contratação dos sistemas de CaC		X	X		■																		
Fabricação dos sistemas de CaC		X	X			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
Montagem dos sistemas de CaC		X	X							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
Comissionamento dos sistemas de CaC	X	X	X																				
Acompanhamento operacional e qualificação dos sistemas CaC			X																				
Desenvolvimento de catalisador para MEA nacional		X		■	■	■																	
Montar infra-estrutura para fabricação piloto de catalisador nacional		X								■													
Desenvolvimento de MEA nacional		X			■	■																	
Montar infra-estrutura para fabricação piloto de MEA nacional		X								■													
Fornecimento de MEA nacional para os sistemas CaC		X										■	■	■	■	■	■	■	■				

6.0 CONCLUSÃO

A implementação deste trabalho que permitirá a concretização não somente do desenvolvimento de células a combustível(CaC) pelo Brasil, mas também do fortalecimento da parceria de institutos como IPEN e CEPEL com empresas como a ELETRONUCLEAR.

Tendo como base as linhas de créditos disponíveis para desenvolvimento de ciência e tecnologia, buscamos agente financiadores para este projeto apresentado resumidamente, conforme formatação abaixo:

Título do Projeto: Aproveitamento do hidrogênio gerado nas usinas nucleares para produção de eletricidade através de sistemas Célula a Combustível

Proponentes do Projeto: ELETRONUCLEAR; IPEN; CEPEL

Escopo do Projeto: Aproveitamento do hidrogênio gerado como subproduto dos sistemas de produção de hipoclorito de sódio por eletrólise da água do mar nas centrais nucleares Angra 1 e Angra 2, para produção de eletricidade através de sistemas Célula a Combustível. Este projeto visa ao desenvolvimento tecnológico nacional na área de utilização do hidrogênio como vetor energético e da tecnologia das Células a Combustível.

Descrição do Projeto: Coleta e transporte do gás gerado na eletrólise para fora da cerca de proteção das usinas. Purificação do gás e utilização em sistemas Célula a Combustível para produção de eletricidade. Serão instaladas 4 unidades de Célula a Combustível tipo PEM ("proton exchange membrane") de 50 kW cada, perfazendo um total de 200 kW de capacidade de geração de energia elétrica. Os sistemas deverão ser produzidos aqui no Brasil, incentivando o desenvolvimento nacional. A parte central da célula (MEA – "membrane electrode assembly") terá um índice crescente de nacionalização para cada uma das quatro unidades, de forma que se possa realizar uma comparação de desempenho operacional, bem como contribuir para a completa nacionalização de células a combustível no país. O acompanhamento operacional das células será realizado após a implantação do projeto, de forma a realimentar os projetos a serem implantados no Brasil no âmbito do Programa Brasileiro de Células a Combustível.

Impactos Previstos pelo Projeto: (a) Aproveitamento do hidrogênio gerado pelas usinas e que hoje são lançados na atmosfera, diminuindo possível impacto ambiental; (b) contribuição para o desenvolvimento da tecnologia nacional na utilização de hidrogênio como vetor energético e células a combustível; (c) economia de custo de hidrogênio para qualificação de sistemas células a combustível no país; (d) reposição de parte da eletricidade gasta no sistema de produção de hipoclorito de sódio por eletrólise da água do mar para a Eletronuclear; (f) qualificação de um sistema de geração de energia elétrica distribuída com base em CaC para aplicação em escala nacional.

Prazo de Implantação: Estão previstos 5 anos para implantação do projeto. O primeiro ano para projetos, especificação e desenvolvimentos necessários; do segundo ao quarto ano para fabricação, montagem e comissionamento. Do quarto ao quinto ano deverá ser feito o acompanhamento operacional e avaliação de desempenho. Por ser um projeto em usina nuclear, estão previstas análises de segurança e licenciamento da nova instalação.

Orçamento previsto para o Projeto: Estão previstos recursos da ordem de R\$ 9.000.000,00. Assim distribuídos: R\$ 600.000,00 para projeto; R\$ 2.000.000,00 para execução da do sistema de coleta e transporte do gás; R\$ 1.800.000,00 para o desenvolvimento dos MEA; R\$ 4.200.000,00 para os sistemas CaC; e R\$ 400.000,00 para acompanhamento do desempenho operacional do sistema.

Equipe Executora do Projeto: ELETRONUCLEAR; IPEN; CEPEL; empresas nacionais fornecedoras de sistemas CaC.

7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Nelri Ferreira Leite, Carlos Cabral Gonçalves – Sistema de Cloração de Angra 1 : Hipoclorito de Sódio Gerado a Partir da Água do Mar, uma Nova Realidade – XV SNTPEE Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – Foz do Iguaçu, Brasil, 17-22 Outubro 1999.

(2) Nelri Ferreira Leite, André Luiz P. da Silva Vieira – Proposta para Otimização de Recursos com Recuperação de Hidrogênio em Centrais Nucleares a Beira Mar – VII CGEN, Belo Horizonte, Brasil, 27-30 Outubro 1998

8.0 DADOS BIOGRÁFICOS

European Commission – Hydrogen Energy and Fuel Cells – A Vision of our Future – Summary Report; High Level Group for hydrogen and Fuel Cells; June 2003

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – Ministério da Ciência e Tecnologia – CGEE-MCT- Proposta para o Programa brasileiro de Células a Combustível- 9 Julho de 2002

Programa Célula a Combustível – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN-SP – Plano de Negócios – Junho de 2003