

PaCOS – PILHA A COMBUSTÍVEL DE ÓXIDO SÓLIDO: CATALISADOR DE  
COMPETÊNCIAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIAS INOVADORAS NO BRASIL

Alfredo Laufer

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS  
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS  
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA  
METALÚRGICA E DE MATERIAIS.

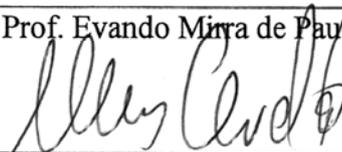
Aprovada por:



Prof. Paulo Emílio Valadao de Miranda, D.Sc.



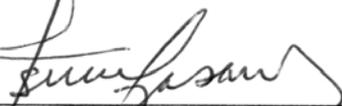
Prof. Evando Mira de Paula e Silva, D.Sc.



Prof. Marcos do Couto Bezerra Cavalcanti, D.Sc.



Prof. Jano Moreira de Souza, D.Sc.



Prof. Tsuneharu Ogasawara, D.Sc.



Dr. Luis Guilherme de Sá, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MAIO DE 2008

LAUFER, ALFREDO

PaCOS – Pilha a Combustível de Óxido  
Sólido: Catalisador de competências para geração  
de energias inovadoras no Brasil

[Rio de Janeiro] 2008

X, 215 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc.,  
Programa de Metalurgia e Materiais, 2008)

Tese – Universidade Federal do Rio de  
Janeiro, COPPE

1. Pilhas a combustível de Óxido Sólido
2. Modelos estruturantes de inovação tecnológica

I. COPPE/UFRJ      II. Título

Aos meus netos – Joaquim Pedro, Sofia, Catarina, Cecília, Felipe, João;

Às minhas filhas – Renée, Natalie e Bianca;

À minha esposa e parceira – Renata,

Que este trabalho possa contribuir para um diálogo de compartilhamento e solidariedade entre as gerações futuras para a preservação de um ambiente de amor sustentável entre o homem e sua natureza.

## **Agradecimentos**

Este trabalho nasceu do desejo de buscar o encontro. Encontro de saberes, emoções e solidariedades que, compartilhados, tornem possível um processo de construção, seja ele qual for. Encontro de dedicação e energias, concentrados na transformação da realidade e na renovação de sonhos cada vez mais ousados.

O sonho que deu origem a este trabalho só foi possível graças a uma série de encontros que tive o privilégio de vivenciar. À força que colocou cada um desses encontros no meu caminho e a cada uma destas pessoas eu agradeço.

Ao Maurício Guedes e às equipes do Parque Tecnológico do Rio e da Incubadora da COPPE. Maurício me possibilitou a realização deste trabalho não só estimulando sua concretização, mas dando todas as condições para que ele se materializasse. Meu eterno agradecimento a ele e a toda a equipe, que me ajudou na leitura e nas trocas de informações.

À comunidade acadêmica da UFRJ/COPPE, nas pessoas de meus orientadores, Paulo Emílio V. de Miranda e Marcos Cavalcanti, e do Prof. Jano Moreira de Souza, que me conduziram na construção deste processo. Por intermédio deles, agradeço às equipes dos laboratórios de Hidrogênio da COPPE, do CRIE e à incansável Jonice Oliveira.

À comunidade de especialistas, pesquisadores e empresários, que contribuíram com entrevistas e respostas para a elaboração da pesquisa sobre o estado da arte da pilha a combustível no Brasil.

Aos amigos Marcos Arzua, Fabiano Folly, Selma Aparecida Venâncio, José Geraldo de Melo Furtado, Guilherme Fleury, Jandê Saavedra Farias, Felippo Boaretto, Diogo Krejci e Fernando Rodrigues que compartilharam horas de angústia e indefinições, trazendo sempre um diálogo construtivo.

Ao meu pai (*in memoriam*), à minha mãe e ao meu irmão Ricardo, sempre presentes naquilo que sou.

Às minhas filhas, genros e netos, que dão ânimo às minhas perspectivas de futuro.

À minha esposa Renata, que me trouxe não só mais alegria de vida, como novos entendimentos sobre níveis de qualidade e a solidariedade em todos os momentos na confecção desta tese.

A todos que compartilharam com suas competências, habilidades e solidariedade, meus eternos agradecimentos.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

PACOS – PILHA A COMBUSTÍVEL DE ÓXIDO SÓLIDO: CATALISADOR DE  
COMPETÊNCIAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIAS INOVADORAS NO BRASIL

Alfredo Laufer

Maio/2008

Orientadores: Paulo Emílio Valadão de Miranda

Marcos do Couto Bezerra Cavalcanti

Programa: Engenharia Metalúrgica e de Materiais

A tese *PaCOS – Pilha a Combustível de Óxido Sólido: Catalisador de competências para geração de energias inovadoras no Brasil* tem como objetivo apresentar um modelo teórico para o desenvolvimento sistêmico de produtos tecnologicamente inovadores. Para tanto, é realizado um estudo de caso tendo por objeto a pilha a combustível de óxido sólido (PaCOS) de 2 kWe, para geração descentralizada de energia elétrica. Em torno da produção e implantação da PaCOS no Brasil se articula o modelo de criação e gestão do Centro de Referência da Rede PaCOS (CR-PaCOS), um ambiente para compartilhamento de competências e habilidades de parceiros nacionais e internacionais e sua transformação em um produto tecnologicamente inovador. Como resultados, a tese apresenta o projeto conceitual do CR-PaCOS e o estudo para desenvolvimento do protótipo laboratorial e funcional da PaCOS de 2 kWe no Brasil, com abordagem criteriosa dos materiais e componentes usados em sua produção e uma pesquisa com especialistas sobre as condições de sua materialização no país. São apresentados ainda os termos e metas de um acordo de cooperação técnica firmado com o Instituto Jülich (FZJ), da Alemanha. Diante dos resultados obtidos, depreende-se um prognóstico positivo para produção e implantação da PaCOS de 2kWe no Brasil, considerando-se o compartilhamento de competências e habilidades de parceiros nacionais e internacionais em um espaço agregador de informações.

Abstract of thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D. Sc.)

SOFC – SOLID OXIDE FUEL CELL: CATALYST OF COMPETENCES FOR  
GENERATING INNOVATIVE ENERGIES IN BRAZIL

Alfredo Laufer

May/2008

Advisors: Paulo Emílio V. de Miranda

Marcos do Couto Bezerra Cavalcanti

Department: Metallurgical and Material Engineering

The thesis *SOFC – Solid Oxide Fuel Cell: Catalyst of competences for generating innovative energies in Brazil* presents a theoretical model for technologically innovating products' systemic development. A case study focused on a 2 kWe SOFC for decentralized electric power generation. The SOFC's production and establishment in Brazil articulate the creation and managing model for the Reference Center of SOFC Network (RC-SOFC), as an environment where national and international partners can share competences and abilities, transforming them into technologically innovating products. As results, the thesis presents the RC-SOFC's conceptual project and the study for 2kWe SOFC laboratorial and functional prototype's development, with discerning approach to materials and components used in its production and a research with specialists about its materialization conditions in Brazil. Besides, are presented the terms and goals of a technical cooperation agreement with Jülich Institute (FZJ), in German. Taking the results into account, a positive prognostic for SOFC's production and establishment in Brazil is deduced, considering a place where national and international partners can share competences and abilities.

## Índice

### Parte I

- **Ficha Catalográfica** ..... p. ii
- **Dedicatória** ..... p. iii
- **Agradecimentos** ..... p. iv
- **Resumo** ..... p. v
- **Abstract** ..... p. vi
- **Índice** ..... p. vii
- **Acrônimos, abreviaturas e unidades de medida** ..... p. ix

### Parte II

- **Relato Pessoal** ..... p. 1
- **1. Introdução** ..... p. 10
- **2. Objetivos** ..... p. 13
- **3. Revisão Bibliográfica** ..... p. 14
  - **3.1. Contexto de PD&I para produtos tecnologicamente complexos** ..... p. 14
    - **3.1.1 Ambiente atual de inovação nas empresas brasileiras** ..... p. 30
    - **3.1.2 Ambientação da inovação no Brasil em comparação com competidores internacionais ....** ..... p. 35
    - **3.1.3 Cenários prospectivos de PD&I no Brasil** ..... p. 39
  - **3.2. Perspectivas da PaCOS na matriz energética brasileira** ..... p. 49
    - **3.2.1 O hidrogênio como futuro vetor energético** ..... p. 53
    - **3.2.2 Pilhas a Combustível (PaC)** ..... p. 59
    - **3.2.3 Pilha a Combustível de Óxido Sólido (PaCOS)** ..... p. 63
    - **3.2.4 Perspectivas para o desenvolvimento do hidrogênio no Brasil** ..... p. 79

### **Parte III**

- **4. Resultados - Pesquisa do cenário da PaCOS no Brasil ..... p. 83**
  - **4.1. Metodologia da pesquisa ..... p. 85**
  - **4.2. Resultados da pesquisa ..... p. 87**
- **5. Discussão ..... p. 116**
  - **5.1. Modelo hipotético para o CR-PaCOS ..... p. 127**
    - **5.1.1. Plano de Negócios Estendido do CR-PaCOS ..... p. 130**
  - **5.2. Modelo sistêmico para transformação do conhecimento em produtos inovadores de alto valor tecnológico ..... p. 161**
- **6. Conclusões ..... p. 169**
- **7. Considerações Finais ..... p. 172**
- **8. Referências bibliográficas ..... p. 177**
- **Anexos ..... p. 188**

## **Acrônimos, Abreviaturas e Unidades de Medida**

- **ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- **AC** - Aquisição de Conhecimento
- **ANP** - Agência Nacional do Petróleo
- **ANPEI** - Associação Nacional P, D&E das Empresas Inovadoras
- **APL** - Arranjo Produtivo Local
- **CE-H2** - Centro de Excelência do Hidrogênio
- **CO<sub>2</sub>** - Dióxido de Carbono
- **CR-GN** - Centro de Referência de Gás Natural
- **EJ** - Exa Joule
- **FJZ** - Forschungszentrum Jülich GmbH
- **GD** - Geração Distribuída
- **GEE** - Gás(es) de Efeito Estufa
- **GtC** - Gigatons de Carbono
- **IASP** - International Association of Science Parks
- **IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- **IEA** - International Energy Agency
- **IPCC** - Intergovernmental Panel on Climate Change
- **IPEN** - Instituto de Pesquisas de Energia Nuclear
- **IPHE** - International Partnership for a Hydrogen Economy
- **IWV** - Institut für Werkstoffe und Verfahren der Energietechnik
- **KA** - Knowledge Acquisition
- **KIBS** - Knowledge Intensive Business Services
- **MCT** - Ministério da Ciência e Tecnologia

- **MEA** - Membrane Electrolyte Assembly
- **MME** - Ministério de Minas e Energia
- **MTCE** - Milhões de Toneladas em Carvão Equivalente
- **NEBT** - Novas Empresas de Base Tecnológica
- **NREH** - Núcleo de Referência em Economia do Hidrogênio
- **OCDE** - Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
- **PaC** - Pilha a Combustível
- **PaCH<sub>2</sub>** - Pilha a Combustível de Hidrogênio
- **PaCOS** - Pilha a Combustível de Óxido Sólido
- **PBAC** - Programa Brasileiro de Avaliação de Conformidade
- **PBZ** - Projektleitung Brennstoffzelle
- **PPC** - Paridade do Poder de Compra
- **PROCaC** - Programa Brasileiro de Células a Combustível
- **RBC** - Rede Brasileira de Calibração
- **RBLE** - Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaio
- **RBML** - Rede Brasileira de Metrologia Legal e Qualidade
- **SPIL** - Sistema Produtivo de Inovação Local
- **SRES** - Special Report on Emission Scenarios
- **TEP** - Tonelada Equivalente de Petróleo
- **TEPCO** - Tokyo Electric Power Company
- **ZAT** - Zentralabteilung Technologie

## **Relato Pessoal**

*(...) esperar não é saber/quem sabe faz a hora/não espera acontecer. (Geraldo Vandré)*

As proposições apresentadas neste trabalho são fruto de 40 anos de experiência profissional, 30 deles como dirigente de uma empresa fabricante de tubos plásticos flexíveis com aplicação em diversos setores industriais. Os primeiros passos de minha carreira, iniciada como supervisor de manutenção de fornos e caldeiras na General Electric do Brasil, adicionados às três décadas à frente de minha própria empresa e aos anos mais recentes, dedicados à construção de parcerias entre os meios acadêmico e empresarial, me conduzem a uma constatação uníssona: no contexto atual, o surgimento, o desenvolvimento e a aplicação de processos de inovação tecnológica são cada vez mais determinados pela interação entre os diversos atores de uma comunidade. Ou nos empenhamos na criação e aprimoramento de um sistema contínuo de diálogo entre empresas, setores governamentais e centros de produção de conhecimento e pesquisa ou perderemos o bonde da história.

A formação de redes de parcerias setoriais e o processo de desenvolvimento de novos produtos são temas que sempre nortearam minha atuação profissional. Como empresário, estive envolvido na criação e condução de várias entidades empresariais, buscando o diálogo com o governo e apostando na sinergia e no compartilhamento de experiências como melhor caminho para o crescimento. Em outro momento, mas orientado pelo mesmo princípio, integrei equipes dos governos municipal e estadual, onde também busquei incentivar e promover a criação de redes unindo empresas, organizações não-governamentais, entidades de classe e órgãos da administração pública. E, por fim, ao me aproximar do meio acadêmico, foi justamente na ponte entre o conhecimento gerado nas universidades e centros de pesquisa e o mundo dinâmico e mutável da produção empresarial que passei a atuar.

Muitas das constatações que orientam este trabalho foram, portanto, pensadas e vivenciadas na prática, e quase sempre de uma perspectiva bem próxima do âmbito dos três principais atores que desejamos considerar: universidades/centros de pesquisa, governo e empresas. A escolha do vetor energético, por sua vez, liga-se também à vivência que tive na fábrica, onde investimos no desenvolvimento de novos produtos de

alta tecnologia para a produção de umbilicais (tubos específicos) voltados para a exploração de petróleo em grandes profundidades e passamos, por isso, a ter um relacionamento constante com a Petrobras. Desde este período, assuntos relacionados à composição do perfil energético do país passaram a integrar meus campos de interesse. E, ao aproximar-me dos laboratórios da COPPE/UFRJ, o hidrogênio se apresentou como uma temática natural, diante dos desafios tecnológicos, mercadológicos e financeiros que sua utilização representa e dos inúmeros atores que articula a nível mundial. Percebi e continuo acreditando firmemente que constituiria, por isso, um campo fértil para a continuidade de tudo o que venho vivenciando e estudando em todos esses anos, e também uma oportunidade única de buscar novos conhecimentos, sempre articulando minha própria experiência em iniciar processos tecnológicos com interação de indivíduos e redes e o desejo de aprender cada vez mais.

Minha formação em engenharia mecânica industrial foi concluída em 1966, quando fui contratado pela General Electric do Brasil, na posição de supervisor de manutenção de fornos e caldeiras para fabricação de lâmpadas elétricas. Um dos principais objetivos desse setor era maximizar a vida dos imensos fornos, que transformavam as misturas de matéria-prima em vidro líquido a temperaturas de mais de 1300 graus centígrados. O dia-a-dia consistia basicamente em estudar, analisar, controlar e dar manutenção a cada um dos componentes daquela grande piscina incandescente, funcionando 365 dias por ano. O grande desafio era conseguir sistematizar um processo de manutenção de modo que o forno fosse reparado uma única vez, ou seja, que todos os constituintes fossem trocados ao mesmo tempo, o que representaria a eliminação de interrupções na produção e de conseqüentes desperdícios de energia.

As análises necessárias para o alcance destes objetivos extrapolavam o próprio forno. Era preciso articular informações de muitos outros campos de conhecimento tecnológico, não necessariamente limitadas à minha área de atuação. Em boa parte do tempo, havia a necessidade de trabalhar na interseção de conhecimentos de física, química, resistência de materiais e termodinâmica – reações químicas provocadas pelo fluxo de material vítreo nas paredes dos blocos cerâmicos, variações de qualidade nas matérias-primas fornecidas por jazidas localizadas em pontos diferentes, direção e eficiência das chamas dos queimadores de óleo combustível e análises dos combustíveis utilizados. A produtividade e a eficiência dos fornos dependiam, portanto, da interseção

de informações e conhecimentos advindos de várias áreas da empresa e, por isso, a formação de uma rede de comunicação era imprescindível à melhoria do processo que estava sob minha responsabilidade.

Ao final do terceiro ano nessa função, dois pontos me chamavam a atenção como possíveis oportunidades de negócios a serem criados:

- Havia grande deficiência no atendimento a quesitos técnicos específicos para a melhoria do processo de manutenção dos fornos. Grandes intervalos de tempo transcorriam entre uma e outra comunicação com os fornecedores de matérias-primas e componentes, muito mais do que se poderia esperar. Os vendedores, por sua vez, não tinham conhecimento para prestar informações técnicas mais detalhadas. Como resposta a uma dúvida mais específica, era comum a simples entrega de uma coletânea de catálogos para pesquisa. Percebi que esse tipo de dificuldade de comunicação poderia representar uma enorme chance de entrada no mercado para engenheiros como eu, que poderiam levar às empresas soluções técnicas com nível de conhecimento complementar, num atendimento personalizado *on demand*.
- Dependíamos, naquela época, da importação de grande quantidade de itens de baixo valor agregado tecnológico, que, em sua maioria, poderiam ser fabricados no Brasil. Algumas correntes de técnicos acreditavam ser mais conveniente a importação de bens produzidos em outros países que o desenvolvimento local de conhecimentos e a promoção de capacitação, mas minha opinião era totalmente contrária.

Constatações como essas me levavam a acreditar que minha trajetória profissional poderia ser mais bem-sucedida se eu investisse em um negócio próprio. Já nessa época, comecei a pensar na importância fundamental da formação profissional, do conhecimento tecnológico e da educação no desenvolvimento econômico de um país. Acreditava que os técnicos e engenheiros dos países em desenvolvimento deveriam ter a oportunidade de empreender, experienciar, interagir e trocar idéias apreendidas em outras áreas, realizando uma verdadeira interseção de conhecimentos e abrindo caminhos a novos produtos e processos.

O dilema entre continuar como funcionário estável de uma multinacional que me garantia um salário razoável ou abrir meu próprio negócio, assumindo os riscos de chegar ao fim do mês sem dinheiro para pagar as contas, não demorou a se concretizar. O anúncio da chegada de filhas gêmeas precipitou minha decisão. Minha situação era: criar meu negócio imediatamente ou esperar e ver o que aconteceria? Faltando sete meses para o parto, achei que havia chegado o momento certo de assumir os riscos de uma aposta. Afinal, ainda teria um certo tempo para me aprumar na nova condição. Depois do nascimento, arriscar seria impensável.

Passei, então, a dedicar-me à criação de meu próprio empreendimento. Inicialmente, investi os poucos recursos na representação de vendas e depois, com o crescimento paulatino, apostei mais pesado no desenvolvimento de uma indústria de tubos flexíveis. Criar e desenvolver um organismo fabril com meus próprios recursos levou-me a perceber que a sobrevivência de uma empresa extrapola o esforço, a capacidade profissional ou a eficiência criativa individual de qualquer de seus membros. Nenhuma empresa pode ficar dependente dos conhecimentos intelectuais de um indivíduo, nem de possíveis estímulos inovadores esporádicos de uma pessoa ou grupo. Senti que a preservação vital desse organismo passava pela criação de um processo de interação de conhecimentos coletivos, o que chamaremos neste trabalho de “capital social”<sup>1</sup> da empresa.

Embora a empresa tenha alcançado certa maturidade de gestão administrativa, financeira e tecnológica no cenário brasileiro, com um *portfolio* destacado de produtos e clientes de peso nacional e internacional, podíamos perceber o quanto o ambiente tecnológico e mercadológico em que atuávamos era instável e mutante, requerendo constantes adaptações. Alguns dirigentes e gerentes internos sentiam na pele a falta de sinergia e comunicação nas estruturas gerenciais, quando comparadas às de empresas internacionais de igual porte ou maiores. Eu vivenciava então a repetição do problema que havia me aberto os olhos para outras oportunidades de negócios durante o trabalho na GE.

---

<sup>1</sup> Entenda-se por capital social o conhecimento institucional, fruto da interação dos diversos profissionais/indivíduos em determinado ambiente de trabalho, produção ou pesquisa, ou em uma comunidade. Por outro lado, o capital humano é o conhecimento individual (cf. DURSTON, 2000).

A solução do problema dependia da percepção, sensibilidade e competência de todos, em todos os momentos, sobre tudo o que estava acontecendo dentro e fora de nossa área fabril, para que pudéssemos tomar as decisões em tempo hábil, criando condições ideais de competitividade. A velocidade técnica em que ocorriam as transformações do conhecimento em bens e serviços requeria o que LÉVY (1993) chama de “ecologia cognitiva”, ou seja, “um coletivo pensante homens-coisas, coletivo dinâmico povoado por singularidades atuantes e subjetividades mutantes...” (p. 11).

Em outras palavras: nosso pessoal contábil tinha que estar na linha de produção; os torneiros da produção, em contato com o cliente; os vendedores, em contato com os técnicos do controle de qualidade; os dirigentes, em contato com o mundo das percepções e tendências dos novos negócios, novos materiais, novas energias, novas estruturas organizacionais. A empresa, para sobreviver, não podia estar sitiada pelos departamentos de produção, vendas, administração, finanças etc. Nenhum desses departamentos poderia determinar isoladamente as diretrizes estratégicas de ação da empresa. O meio mais direto para atingir nossos objetivos seria incluir todos os personagens e agentes internos e externos no planejamento e organização das etapas de cada processo de desenvolvimento dos produtos.

Por mais que nos esforçássemos, no entanto, a presença em feiras nacionais e internacionais dava a noção exata do grande abismo em que nos encontrávamos em relação ao universo dos conhecimentos dos países desenvolvidos. E isso não apenas em quesitos tecnológicos, mas também na abordagem e amplitude de gerenciamento das articulações entre as diversas competências externas colocadas à disposição dos fabricantes, através dos fornecedores de matéria-prima, dos fabricantes de equipamentos ou das entidades governamentais locais.

Mais uma vez, se colocava clara a mim a necessidade premente de sistematizar processos de articulação entre os diversos atores envolvidos na criação de um ambiente de inovação e desenvolvimento tecnológico. Mesmo que internamente lutássemos pela equiparação com as grandes empresas internacionais, não contávamos com a infraestrutura nacional que tantas vantagens competitivas assegurava a elas. Em meados de 1990, com o advento da internet, estávamos no centro do furacão. Percebíamos o tempo e o espaço correndo a favor da globalização generalizada, com barreiras alfandegárias

cada vez menores. Não tardaria a surgir outro dilema, bastante conhecido pelas empresas brasileiras: ter a empresa comprada por agentes externos por um preço irrisório, ou vê-la alijada do mercado, seja pelo lançamento de produtos mais avançados, seja pela competição de preços de venda cada vez menores, frutos das constantes inovações tecnológicas do setor.

Tinha a intuição de que, se continuássemos a trabalhar com produtos de tecnologias tradicionais e padronizadas, cada vez mais acessíveis a qualquer empreendedor, seríamos atropelados pela enxurrada de concorrentes, com lucratividade cada vez menor. Uma das soluções estratégicas que adotamos foi a penetração em mercados diferenciados de alta tecnologia, em nichos de petróleo e gás, com a fabricação de tubos umbilicais para exploração de petróleo em grandes profundidades oceânicas.

Esse projeto envolvia grandes riscos e grandes apostas. Além de vultosos investimentos financeiros, exigia a homologação de qualidade do produto na principal empresa brasileira de petróleo – a Petrobras –, a concorrência com grandes multinacionais instaladas no país e, principalmente, a formação de uma equipe com conhecimentos específicos de alta tecnologia, envolvendo cálculos matemáticos complexos, testes físicos e operacionalização de novos materiais, totalmente desconhecidos pelos gestores da época. Como um grupo empresarial pequeno, genuinamente brasileiro, com restrições de garantias reais aos capitais internacionais, poderia concretizar este projeto, até o momento só viabilizado por empresas grandes e/ou internacionais?

Ao sairmos em busca dos fornecedores de matérias-primas específicas, tecnologias, equipamentos e profissionais com experiência, inicialmente pesquisando países desenvolvidos, como Noruega, Alemanha e Inglaterra, constatamos surpresos que mais de 80% das capacitações exigidas pelo projeto poderiam ser encontradas no Rio de Janeiro. Um convite do professor Luiz Pinguelli Rosa, então diretor da COPPE, para uma visita aos laboratórios de engenharia submarina mudou radicalmente nossas estratégias. Os recursos tecnológicos e humanos podiam ser encontrados no campus universitário da UFRJ, mais especificamente no Laboratório de Tecnologia Submarina, comandado pelo engenheiro Segen Farid Estefen.

Tínhamos estado décadas afastados e sem o menor conhecimento do que se passava num dos maiores centros acadêmicos do país, localizado a menos de 10 km de distância de nossa sede. Viajamos o mundo inteiro percorrendo feiras e conferências em busca de informações e conhecimentos sobre novas tecnologias, mas jamais tínhamos feito qualquer contato com a UFRJ. Na verdade, não acreditávamos que uma solução viável pudesse surgir de tão perto e, como boa parte das empresas brasileiras, imaginávamos que a melhor tecnologia viria sempre de fora.

A convivência com os centros de pesquisas da UFRJ/COPPE foi nos dando a complementaridade necessária à execução do projeto. Os resultados foram auspiciosos. Ao final do período de testes, fomos homologados pela Petrobras como um dos únicos fabricantes totalmente brasileiros a fornecer esse tipo de produto de alta tecnologia, vencendo inúmeras concorrências internacionais.

E aqui voltamos à constatação que já tinha me motivado no início de minha carreira. A necessidade de troca de conhecimentos e experiências, de fomento a um campo de diálogo e de interação entre os diversos setores que compõem um ambiente de criação e desenvolvimento de tecnologias se manifestou mais uma vez, de forma absolutamente prática.

As inúmeras experiências vivenciadas no dia-a-dia da fábrica me mostraram alguns outros princípios que, desde então, passaram a orientar minha conduta e as decisões tomadas ao longo de toda a minha trajetória profissional e, naturalmente, se refletem neste trabalho. Entre eles, destaco:

- A necessidade de assumir riscos na prototipagem de novos produtos. Toda ação inovativa exige um longo processo de desenvolvimento, nem sempre amparado por demandas imediatas do mercado. Antecipar-se às exigências, investindo em tecnologias para o futuro, no entanto, é condição essencial para o aprimoramento das competências inovativas de uma empresa ou país.
- Construir um processo sistemático de inovação requer o investimento em modelos que possam ser replicados. Uma ação inovadora pode se encerrar nela mesma ou funcionar como mola propulsora de novos desenvolvimentos.

- As características do espaço físico são determinantes na criação de uma cultura inovadora. É preciso construir um entorno que estimule a interação, favorecendo o surgimento da inovação.
- A diversificação é importante – não depender de um cliente só, não investir todas as fichas em um único produto ou processo.
- Um bom caminho para a inovação é o desenvolvimento de parcerias e acordos de cooperação técnica com fábricas mais avançadas tecnologicamente.

Enfatizo, neste ponto, as recomendações da RedeSist, apontadas no livro de LASTRES *et al.* (2005), que consideram “urgente superar o imobilismo provocado tanto pelas teses sobre a inexistência de alternativas, quanto pela perplexidade resultante da frustração das expectativas de que sistemas econômicos mais abertos, desregulados e privatizados convergiriam para as economias mais avançadas” (p. 42). O estabelecimento e a sustentação de oportunidades para o aprendizado, a mobilização e a ampliação de capacitações devem estar no centro de novas estratégias e políticas públicas e privadas voltadas para a promoção da capacidade de adquirir e usar o conhecimento.

Esta pequena história pessoal se coaduna, portanto, a uma tentativa de resposta a algumas questões que pairam no contexto atual, em que atores empresariais, acadêmicos e governamentais se confrontam com diversas barreiras que pretendemos derrubar. Para isso, selecionamos algumas variáveis e tentamos conciliá-las em um estudo de caso que desembocasse em um modelo sistêmico de gestão da inovação de tecnologias portadoras de futuro em produtos e serviços de alto valor agregado.

A escolha da PaCOS (pilha a combustível de óxido sólido) como objeto deste estudo de caso também se liga à minha trajetória pessoal. Como o desafio de tornar realidade a idéia da produção de umbilicais para exploração de petróleo em grandes profundidades, o desenvolvimento e a aplicação da energia produzida a partir do hidrogênio nas pilhas a combustível ainda é hoje um campo de descobertas, em que se manifesta de modo indiscutível a necessidade de mobilizar competências, processos de aprendizado e a criação de condições que permitam e sustentem o desenvolvimento local. Além disso, a PaCOS se relaciona ao início de minhas atividades profissionais

como supervisor de fornos, já que um de seus desafios é o de desenvolver materiais resistentes às altas temperaturas.

LÉVY (1993) cita Michel Serres, que sugeriu que “a máquina a vapor era não apenas um objeto, e um objeto técnico, mas que podíamos analisá-la como o modelo termodinâmico através do qual Marx, Nietzsche ou Freud pensavam a história, o psiquismo, ou a situação do filósofo” (p. 15). Partindo desse princípio, em qualquer observação de um dispositivo técnico podemos apreender outros planos de entendimento além daquele a que se destina a aplicação do objeto. É o que Lévy classifica como “transcendental”, pois cada vez mais concebemos o social, os seres vivos ou os processos cognitivos em outras leituras que transcendem o puramente tecnológico.

Pretendemos que o projeto conceitual da PaCOS se transforme em nosso “dispositivo transcendental”. Foi nossa preocupação conciliar os conhecimentos teóricos advindos do estudo e das diversas disciplinas cursadas ao longo do doutorado e as experiências vivenciadas no mundo empresarial. Se atingido, este objetivo representará não apenas o resultado de um trabalho de doutorado, mas a interseção de tudo aquilo que vivenciamos em uma trajetória de 40 anos de vida profissional, alimentada por experiências práticas, erros, acertos, idas e vindas, pesquisas, descobertas e uma grande certeza: a de que é preciso criar um ambiente propício à inovação, fazendo interagir os atores e conhecimentos envolvidos na criação, desenvolvimento e aplicação das tecnologias, frutos do trabalho articulado de pesquisadores, estudiosos, empresários e setores governamentais.

## **1. Introdução**

A presente tese se propõe a trabalhar com duas formas de geração de energia que constituem assuntos marcantes e característicos de nossa época: a geração de energia elétrica, um dos vetores fundamentais de propagação de desenvolvimento econômico, social e ambiental; e a construção de um ambiente propício à geração de energias inovadoras em países em desenvolvimento como o Brasil.

No VII Congresso da ANPEI, realizado em 2007, foi feita a seguinte pergunta a um diretor de tecnologia de uma grande empresa aeronáutica instalada no Brasil: “Quais as diretrizes estratégicas que sua empresa emprega para o lançamento de produtos inovadores no mercado?”. Para surpresa de todos, ele respondeu que todas as diretrizes estratégicas estavam baseadas nos dados da Agência Aeroespacial dos Estados Unidos (NASA), já que os órgãos governamentais brasileiros não possuíam informações de diretrizes em longo prazo.

Aprofundando-se esta questão, percebe-se o grande problema relacionado ao planejamento futuro das entidades e empresas brasileiras. O lançamento de inovações no mercado depende de planejamento de longo prazo, investimento em pesquisas de base e trabalho sobre produtos e processos de largo período de maturação. Exige-se um elevado grau de maturidade econômica e financeira, além de elevado nível de capacitação e desenvolvimento humano.

Mas os países em desenvolvimento que produzem algum tipo de ciência têm condições de transformar os conhecimentos em produtos complexos tecnologicamente inovadores? O processo competitivo globalizado permitirá a países como o Brasil lançar estes produtos ou serviços no mercado externo, ou devem eles se restringir ao fornecimento de produtos básicos ou matéria-prima sem grande valor agregado?

O problema que se anuncia como central na presente tese é a definição de como o Brasil, um país em desenvolvimento com enormes carências em infra-estrutura básica, poderá participar do mercado globalizado, que requer a todo instante maior grau de intensidade tecnológica em seus produtos e serviços. Qual a forma de melhorar sua posição de competitividade e inovação neste contexto? Como as empresas brasileiras se

preparam para este enfrentamento? Como romper o círculo vicioso da contínua dependência da importação de tecnologias e produtos emergentes?

Como resposta a tais questionamentos, pretende-se aqui propor a criação de ambientes estruturantes para geração de um clima de compartilhamento entre órgãos governamentais, empresariais e acadêmicos, de modo a melhor estruturar as competências e atingir maior desenvolvimento econômico, tecnológico, ambiental e social.

Esta busca levou ao caminho da pilha a combustível de óxido sólido (PaCOS), um produto tecnologicamente complexo, com grande potencial de se transformar em uma inovação radical, com viabilidades econômicas e comerciais de longo prazo, mas ainda longe de possuir as condições tecnológicas e mercadológicas necessárias para sua introdução no mercado. O conceito de produto PaCOS encerra conteúdos que se alinham de forma perfeita à solução de um dos principais problemas da sociedade mundial, que é a manutenção do crescimento econômico sem reflexos negativos no meio ambiente. A PaCOS vem ao encontro da busca por novas fontes saudáveis e sustentáveis de geração descentralizada de energia elétrica, vetor motriz e fundamental para o desenvolvimento.

Assim, ao se eleger a PaCOS como catalisador de competências para geração de energias inovadoras no país, pergunta-se: como viabilizar a execução da PaCOS no Brasil, se as condições tecnológicas e financeiras ainda são vulneráveis? Como estimular investimentos em pesquisas se as possibilidades mercadológicas apontam longo período para sua entrada no mercado consumidor? Como promover o desenvolvimento de materiais avançados, que requerem tecnologias emergentes de longo período de maturação?

Partindo destes questionamentos, a presente tese faz um mapeamento dos cenários da cultura da inovação no Brasil, buscando entender a dinâmica de geração de pesquisa científica e sua organização. Como resultado, apresenta-se um modelo matricial de gestão de competências que possa ser replicado nos diversos campos científicos e tecnológicos, proporcionando a criação de ambientes de compartilhamento de conhecimentos com vistas à criação de produtos inovadores.

Para tanto, este trabalho está dividido em cinco capítulos, além de introdução e considerações finais. No primeiro deles, são apresentados os objetivos da tese. O capítulo 3, intitulado “Revisão bibliográfica”, situa os conteúdos teóricos e conceituais que serviram de base na dupla vertente do trabalho: a PaCOS de 2 kWe e a criação de redes de desenvolvimento de produtos de alto valor agregado, com base na estratégia de aprendizados coletivos e na localização de aglomerados econômicos para a gestão cooperativa da inovação tecnológica. Além disso, apresenta-se uma breve análise das linhas estratégicas que movimentam o processo de PD&I para o desenvolvimento de produtos tecnologicamente complexos no Brasil. Situando o foco no objeto de estudo, a análise privilegia as questões relacionadas à matriz energética. As avaliações detêm-se concomitantemente no cenário atual e na visão prospectiva, escolhendo-se como alvo o ano de 2030, que é a meta final estabelecida no Plano Nacional para 2030, elaborado pelo Ministério de Minas e Energia para definição de investimentos na matriz energética brasileira.

O capítulo 4, intitulado “Resultados - Pesquisa do cenário da PaCOS no Brasil”, traz uma prospecção do cenário da PaCOS no Brasil, com realização de uma pesquisa envolvendo 27 especialistas relacionados à Rede PaCOS e ao estudo da inovação no país. Já o capítulo 5, “Discussão”, apresenta o projeto-piloto para produção da PaCOS de 2kWe no Centro de Referência da Rede PaCOS – CR-PaCOS proposto como modelo de ambiente para geração de produtos inovadores. Ele traz a formatação e a elaboração de um Plano de Negócios Estendido e a descrição da ferramenta Gestão do Conhecimento Científico, utilizada para armazenar e relacionar os conhecimentos produzidos no âmbito do CR-PaCOS. Por fim, o capítulo 6 descreve os resultados alcançados com a confecção do trabalho.

## 2. Objetivos

Na tese *PaCOS – Pilha a Combustível de Óxido Sólido: Catalisador de competências para geração de energias inovadoras no Brasil*, apresenta-se um projeto conceitual<sup>2</sup> para o desenvolvimento de um novo produto tecnológico: a pilha a combustível de óxido sólido (PaCOS). O objetivo é propor um ambiente adequado para o desenvolvimento de um processo sistêmico de articulação, coordenação, integração de atividades e competências locais e internacionais para a criação das condições necessárias à prototipagem do produto e posterior aplicação da PaCOS em escala funcional industrial. Tem-se, portanto, como bases do projeto conceitual:

- A definição de um produto tecnológico inovador: a PaCOS com potência de 2kWe, para uso estacionário em residências ligadas ou não à grade elétrica;
- A conceituação do ambiente físico de sinergia e aglomeração econômica onde será desenvolvido o protótipo da PaCOS de 2kWe;
- A definição dos atores envolvidos no processo de desenvolvimento da PaCOS: os parceiros da Rede PaCOS<sup>3</sup>; universidades, institutos de pesquisas e empresas de âmbito nacional e internacional de base tecnológica especializadas em materiais, componentes, testes, regulação e patentes para pilhas a combustível; e entidades governamentais brasileiras responsáveis por políticas públicas do setor energético.

Tem-se ainda por objetivo a geração de um modelo de ambiente contínuo de inovações tecnológicas, com o conseqüente aumento da competitividade local, privilegiando a necessidade de agregar e articular o capital humano e social das empresas e entidades selecionadas e seu compartilhamento com os demais parceiros de áreas interdisciplinares, num mesmo espaço geográfico.

---

<sup>2</sup> BAXTER (2001) define projeto conceitual: “O projeto conceitual tem o objetivo de produzir princípios de projeto para o novo produto (...) Especificamente, o projeto conceitual deve mostrar como o novo produto será feito para atingir os benefícios básicos (...) O projeto conceitual é um processo altamente criativo e deve ir até a proposta dos princípios funcionais e de estilo para o produto como um todo” (p. 174-176).

<sup>3</sup> A Rede PaCOS é uma rede nacional para o desenvolvimento de sistemas de geração de energia baseados em pilhas a combustível de óxido sólido, criada em março de 2004. Segue as diretrizes do Programa Brasileiro de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio, do Ministério da Ciência e Tecnologia, e é constituída pelas seguintes instituições: Laboratório de Hidrogênio da COPPE/UFRJ, Nucat, IPEN, Oxiteno, UENF, Unesp, UFBA, UFMG, UFSCar, UFSC, UFPA, UFPI, UFMA, URGN.

### **3. Revisão bibliográfica**

Em função da já citada divisão desta tese em duas vertentes centrais, o presente capítulo também está dividido em duas partes. Na primeira delas, destacam-se e analisam-se as contribuições teóricas que serviram de base para a discussão dos ambientes necessários para o desenvolvimento de PD&I voltados para produtos tecnologicamente complexos. Na segunda, trata-se inicialmente, em linhas gerais, das perspectivas para a matriz energética brasileira, para, em seguida, focar-se o potencial do hidrogênio como vetor energético e, assim, as Pilhas a Combustível (PaC) e, mais especificamente, das Pilhas a Combustível de Óxido Sólido (PaCOS).

#### **3.1. Contexto de PD&I para produtos tecnologicamente complexos**

A apropriação pelo mercado de produtos inovadores de alta complexidade tecnológica e resultados mercadológicos em longo prazo – caso da PaCOS – exige dos países em desenvolvimento investimento especial em relação a: formatação de ambientes próprios à inovação empreendedora, articulação e integração de políticas de C&T, organização de pesquisas e experiências industriais e criação de redes de parceiros capazes de absorver, de modo sistêmico, novas tecnologias emergentes, gerando novas competências e habilidades. Essas novas capacitações se refletem nos resultados e padrões de patenteamento de novos produtos, materiais, processos e serviços.

Existem vários trabalhos publicados, que serão citados e abordados a seguir, com exemplos de estudos que corroboram a linha de pensamento que defende a necessidade da geração de ambientes específicos para o desenvolvimento de produtos e negócios a partir de pesquisas científicas e tecnológicas.

DAL POZ (2006) enfatiza a importância de as sociedades assumirem uma postura pró-ativa quando conclama que “a aprendizagem para absorver conhecimentos gerados pelo próprio sistema de inovação, ou fora dele, é um dos pontos centrais da capacidade de apropriação” (p. iv).

PORTER e STERN (1998) defendem a criação e gestão de aglomerados econômicos, englobando empresas interligadas, fornecedores especializados, prestadores de serviços, firmas de setores relacionados e instituições associadas (como

universidades e associações de comércio). Num aglomerado econômico dinâmico, os vínculos de articulações entre as entidades que o compõem são fortes e sinérgicos. O conceito de aglomerado econômico representa um novo caminho de se pensar o país, os estados federativos e as cidades, apontando novos papéis para as empresas, governos e outras instituições que se empenham em melhorar seus fatores de competitividade.

Os autores advertem que as empresas, ao pensarem sobre competitividade, focam suas políticas na economia como um todo, com ênfase na política econômica nacional, e a localização está quase completamente ausente das discussões. A tendência tem sido diminuir a importância da localização. Como a globalização permite que as empresas se alimentem de capital, bens, e tecnologias de qualquer lugar, a localização acaba sendo escolhida apenas em função do melhor custo efetivo.

NETO (2000) opina que, embora a literatura existente apresente vasto leque de análises sobre a formação e desenvolvimento dos aglomerados econômicos, geralmente não explica por que aglomerados econômicos específicos surgem em determinados locais. Para Neto, o sucesso das firmas de determinada nação que atuam em um particular ramo da economia é determinado por uma série de fatores condicionantes. Esses fatores seriam as condições de demanda, as condições relacionadas às indústrias de apoio, a estratégia da firma, sua estrutura e o nível de rivalidade produtiva presente no ambiente local (p.55).

Nesse sentido, haveria diversos exemplos analíticos comprobatórios. Podem ser citados casos em que os aglomerados econômicos foram formados por fatores e condições locais, demanda local e indústrias relacionadas. Por exemplo: as condições naturais específicas exerceram importante papel no desenvolvimento da Solingen, uma indústria alemã de cutelaria. Ela se posicionou proximamente às fontes de água, de ferro e de madeira para fabricação de fornos.

Entende-se que isso pode ser considerado para ambientes com mão-de-obra altamente especializada e relativamente abundante, e empresas inovadoras articuladas em redes mais ou menos formalizadas por contratos, como o caso de uma aglomeração que envolva universidades, institutos e centros de pesquisa. Não obstante, Neto avalia que os fatores que viabilizam o crescimento dos aglomerados econômicos regionais não são, necessariamente, os mesmos que forneceram ao local sua vantagem inicial.

A criação de conhecimento específico da indústria, o desenvolvimento das redes de compradores e fornecedores e as pressões competitivas locais, que forçam os empreendimentos/firmas a inovar e melhorar, foram os fatores determinantes no crescimento subsequente de muitos aglomerados econômicos, mesmo após as vantagens iniciais dos mesmos se esgotarem. Ressalta Neto, ainda, que os aglomerados econômicos com frequência se tornam repositórios de habilidades específicas da indústria. Com o tempo, os conhecimentos acumulam-se e as habilidades são repassadas de ator a ator, de modo que os mesmos disseminam-se por toda a aglomeração produtiva.

A formação de aglomerações dinâmicas não implica em definição de sistemas de inovação, o que só ocorrerá a partir de um modelo institucional e organizacional amparado por uma devida estratégia financeira público-privada que favoreça a geração e a disseminação adequadas de tecnologias de alta complexidade. No caso de países em desenvolvimento, em que a base de competência que sustenta o desempenho econômico não encontra origem direta no conhecimento científico formal, esse processo fica ainda mais evidente.

A maior parte dos estudos empíricos de sistemas de inovação mostra que os sistemas nacionais se diferenciam tanto em termos de padrões de especialização como em termos de estrutura institucional. A literatura também revela que essas características têm raízes históricas profundas. Assim, uma estratégia baseada em uma abordagem de sistemas nacionais de inovação teria como ponto de partida uma análise de todas as partes da economia que contribuem para o desenvolvimento de competências e para a inovação. Deveria, então, focalizar as redes e as sinergias entre as partes que compõem o sistema como um todo, com ênfase no estímulo ao aprendizado. Porém, núcleos universitários excelentes em pesquisa, por exemplo, influirão pouco se o setor privado não formar, ali, relevantes conexões diretas ou indiretas.

PORTER (1998) enfatiza que a produtividade e prosperidade de uma localização não repousam nas indústrias que competem entre si, mas na forma como elas competem. Elas serão mais produtivas se empregarem métodos mais sofisticados, usos mais avançados de tecnologias e oferecerem produtos e serviços diferenciados. Mas o autor adverte que a simples presença de alta tecnologia em um setor não garante por si

só a prosperidade se as empresas são improdutivas. O objetivo é aumentar a produtividade de todas as empresas, tanto direta como indiretamente, já que o aumento de produtividade em um setor acarreta o aumento na produtividade de outros setores.

O nível de sofisticação do modo como as empresas competem numa localização é fortemente influenciado pela qualidade do ambiente de negócio. Empresas não podem empregar técnicas avançadas de logística se não tiverem, por exemplo, uma infraestrutura de transporte disponível. Também não podem competir usando estratégias de alto nível de serviços se não tiverem acesso a profissionais com excelentes níveis de educação. Não podem, por fim, operar eficientemente sob uma quantidade enorme de regulamentações, que requerem constantes diálogos com o governo para solucionar problemas e disputas.

PORTER e STERN (s.d.) assinalam que a infra-estrutura comum de inovação de uma nação consiste em uma série de fatores para a inovação no cenário da economia, incluindo um conjunto de recursos humanos e financeiros voltados para os avanços científicos e tecnológicos; as políticas públicas voltadas para a atividade inovativa e o nível herdado de sofisticação tecnológica da economia. A base da infra-estrutura comum de inovação de uma nação engloba os seguintes fatores, sintetizados nas Figuras 1 e 2:

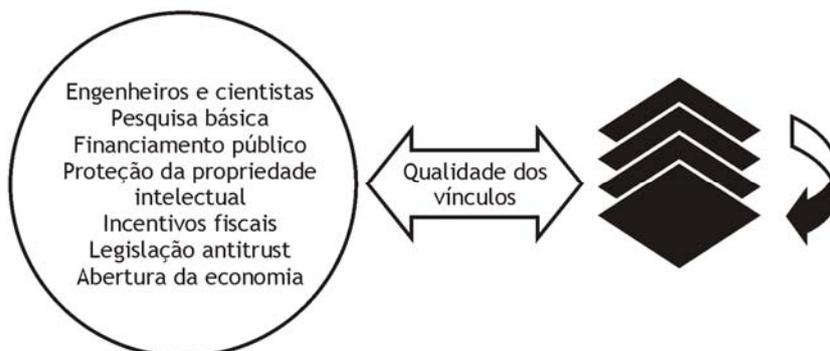
- quadro de engenheiros e cientistas envolvidos em inovação;
- investimentos em instituições engajadas na pesquisa básica. O capital governamental permanece como o principal suporte do investimento de qualquer nação na pesquisa;
- proteção da propriedade intelectual;
- incentivos fiscais para a inovação;
- esforço antitruste, que motiva e encoraja a inovação;
- estrutura de segurança;
- qualidade e regulações ambientais;
- abertura da economia ao comércio e investimentos;
- investimentos nacionais e escolhas políticas através de décadas.

**Figura 1** – Ambiente nacional para inovação



Adaptado de PORTER e STERN (s.d., p. 5).

**Figura 2** – Capacidade nacional de inovação



Adaptado de PORTER e STERN (s.d., p. 5).

A existência destes fatores de infra-estrutura não garante, por si só, sucesso a nenhum projeto inovativo. Como citado anteriormente, os projetos devem estar conectados às realidades estruturais do território e de sua cultura. As articulações (tangíveis e intangíveis) entre os parceiros e suas formas de comunicação são, muitas vezes, mais importantes que os elementos físicos existentes. Os conceitos básicos para que os objetivos de incrementar a capacidade nacional de inovação se concretizem são fundamentados no desenvolvimento e difusão das inovações, que requerem o envolvimento sustentável de diversas entidades, coordenação e conhecimento de uma grande variedade de atores heterogêneos, cooperação e regras para a competição tecnológica.

Estudos enfatizam que a visão da inovação é resultado de um processo de interação entre oportunidades de mercado, a base de conhecimentos teórica e tácita dos indivíduos e capacitações das organizações. A efetiva interação entre as variáveis da demanda (comercialização) e do desenvolvimento científico e tecnológico é o elo considerado determinante do sucesso no processo da inovação.

Como argumentam autores de diferentes interpretações, como PORTER e STERN (s.d.), BENKO (1996), LASTRES e CASSIOLATO (2005) e muitos outros especialistas em estratégias competitivas, multiplicam-se os modelos relacionados ao estabelecimento de parcerias como meio para vencer desafios, se proteger da concorrência, otimizar o uso de recursos e estruturar uma eficiente estratégia de marketing. Países, estados e municípios se unem; empresas ou seus departamentos se fundem ou formam consórcios; centros de pesquisa formam redes para conseguir alcançar destaque e melhores resultados; populações se congregam para serem mais bem ouvidas.

Embora a composição de redes, alianças e de novas formas organizacionais venha sendo vista como uma estratégia dos dirigentes das firmas (e dos demais atores de um ambiente competitivo) face à turbulência e complexidade do ambiente organizacional, não existe uniformidade de conceitos para defini-las. Aceita-se que sua operacionalização se dá por meio de colaboração, e esta possui variadas explicações teóricas para justificar sua existência.

De uma forma geral, as teorias organizacionais atuais já enfatizam que a complexidade ambiental e diversas esferas de incerteza representam um desafio constante para qualquer organização pública ou privada e uma de suas principais tarefas é reduzir tais problemas a proporções controláveis. Argumenta-se que – para algumas teorias – a dinâmica organizacional colabora para reduzir e controlar os problemas, mas que nenhuma oferece um denso, porém flexível, modelo de colaboração.

Cada liderança deve saber o que colocar em rede e o que preservar para seu trato exclusivo, como certas tecnologias e conhecimentos estratégicos para garantir o domínio nos assuntos que lidera. A centralização da produção, como afirma BENKO (1996), há muito deixou de ser a porta-voz da inovação. Em qualquer organização, aqueles que desejam centralizar as atenções em um determinado campo de atividade deixam de contar com a criatividade, inovação e motivação disseminadas. Por outro lado, quem não se destaca em seu campo de atuação perde progressivamente o acesso ao mercado e às fontes de financiamento de P&D, pelo surgimento de outros, tecnologicamente mais fortes.

Na agregação, os menores se ampliam pela força da rede e assim podem se apresentar em seus mercados domésticos e até internacionais, passando a compor um processo evolutivo para seus produtos e participando de um sistema que valoriza as partes e o conjunto como forma de crescer sustentadamente.

Assim, entende-se como parceria estratégica aquela que dá um sentido de continuidade, de sustentabilidade, de importância reconhecida na consecução dos objetivos da rede, de participação nos resultados de forma consensual. Em outras palavras, evolui-se do sistema de parcerias ocasionais para uniões sólidas e duradouras, de vanguarda. Os parceiros e/ou lideranças estratégicas possuem as seguintes vantagens:

- Passam do estágio de simples cliente ou fornecedor para o de parceiro estratégico;
- Demonstam mais motivação humana com otimização e multiplicação dos recursos disponíveis;
- Possuem sua imagem engrandecida por integrar uma rede de excelência, preservando e ampliando mercados, no país ou no exterior, e mantendo supremacia tecnológica;

- Possibilitam a oferta de produtos, processos e serviços no mercado com sucesso, proporcionado pelo uso da grife compartilhada;
- Dividem os ganhos entre as partes, compartilhando riscos;
- Têm acesso a informações estratégicas de forma negociada;
- Participação em maior número de eventos técnico-científicos, feiras e fóruns;
- Acesso facilitado aos recursos governamentais destinados para P&D;
- Redução do tempo para a conclusão de projetos e alcance de melhores resultados.

Os agregados econômicos fizeram surgir diversos tipos de estruturas resultantes da conjugação de esforços coletivos. Para LASTRES e CASSIOLATO (2005), eles são “conjuntos de agentes econômicos, políticos e sociais localizados em um mesmo território, que desenvolvem atividades econômicas correlatas e que apresentam vínculos expressivos de produção, interação, cooperação e aprendizagem” (p.12). Os autores definem como estes ambientes territoriais podem se formar para o desenvolvimento de inovações de redes setoriais, propondo a adoção de dois conceitos principais.

O primeiro deles é o de Arranjos Produtivos Locais (APL's), compreendidos como aglomerações territoriais de agentes econômicos, políticos e sociais, com foco em um conjunto específico de atividades de um mesmo setor e vínculos, ainda que incipientes. Geralmente, envolvem a participação e a interação de empresas, que podem ser desde produtoras de bens e serviços finais até fornecedoras de insumos e equipamentos, prestadoras de consultoria e serviços, distribuidoras comerciais e clientes, entre outros. Incluem ainda diversas instituições públicas e privadas voltadas para a formação e capacitação de recursos humanos, como escolas técnicas e universidades; pesquisa, desenvolvimento e engenharia; política, promoção e financiamento.

O segundo conceito qualifica o chamado Sistema de Produção e Inovação Local (SPIL), arranjo produtivo no qual interdependência, articulação e vínculos consistentes resultam em interação, cooperação e aprendizagem, com potencial incremento da capacidade inovativa endógena, da competitividade e do desenvolvimento local.

BRITTO (1999) destaca a consolidação da cooperação entre distintos agentes atuantes nas esferas científica, tecnológica e mercadológica, cujos relacionamentos se

materializam em redes de parcerias com o objetivo básico de permitir a integração de ativos e competências necessários à obtenção de produtos de alta tecnologia, diminuindo o ciclo de tempo de penetração no mercado. Do ponto de vista espacial, complementa Britto, é comum que estas redes se estruturam a partir de “pólos tecnológicos” que surgem em regiões onde pré-existe uma infra-estrutura científico-tecnológica consolidada, constituindo um parque especificamente direcionado para indústrias de alta tecnologia. Ele assinala alguns aspectos que estimulam estes relacionamentos (p. 277), conforme destacado no Quadro 1:

- Geração de economias externas associadas à provisão de serviços tecnológicos especializados (envolvendo a realização de testes, a disponibilidade de equipamentos etc.). A provisão destes serviços requer a pré-existência de uma demanda pelos mesmos, a qual é limitada ao nível das firmas isoladas, expandindo-se com o estabelecimento de ligações sistemáticas entre os agentes inseridos na rede;
- Ganhos de especialização associados à capacitação dos agentes em diferentes campos científicos e tecnológicos, reforçando a produtividade das atividades realizadas e favorecendo a acumulação de uma massa crítica associada a ativos “intangíveis”;
- A incorporação das inovações obtidas aos produtos gerados nos setores finais interligados à rede permite elevar o nível tecnológico daqueles produtos, reforçando a competitividade das empresas que os produzem.

Seguindo esta lógica, as características locais e as dimensões territoriais ganham relevância na metodologia adotada, que deverá priorizar o processo de aprendizado e a dimensão territorial onde este aprendizado se dá, de modo a consolidar a interação e cooperação entre os agentes no espaço econômico mais próprio.

**Quadro 1** – Sistematização da operacionalização de um aglomerado econômico específico para o desenvolvimento de produtos altamente tecnológicos

### **I - Características Técnico-Produtivas**

Características Básicas	Relacionamentos produtivos envolvendo a geração de produtos de alta tecnologia que requerem a integração de ativos e competências complementares ao longo do processo de P&D. Aproximação e integração entre as esferas científicas e tecnológicas. Possibilidade de organização espacial na forma de “pólos” ou “parques” tecnológicos.
Atributos do Produto	Alto valor; baixo volume; altamente intensivo em esforços de P&D; associado a mercados emergentes; incorporação de conhecimentos complexos e “tácitos”; longo ciclo de desenvolvimento; propriedades e funções definidas a partir de interações com os setores usuários finais das tecnologias desenvolvidas.
Objetivo do Arranjo	Integração de competências em diferentes estágios do ciclo P&D-produção, reduzindo o <i>lead-time</i> associado ao desenvolvimento de novas tecnologias. Aceleração da transferência de tecnologias entre firmas <i>high-tech</i> e setores finais usuários. “Construção” paulatina dos mercados com base nas interações entre firmas.
Ganhos Técnico-Produtivos	Redução do <i>lead-time</i> associado à transição P&D-produção. Presença de “economias externas” na provisão de serviços tecnológicos. Ganhos de especialização associados às competências técnico-científicas. Elevação do conteúdo tecnológico dos produtos fabricados nos setores finais usuários das tecnologias desenvolvidas.

## II – Características Interorganizacionais

Relações Típicas	Relacionadas à divisão de tarefas ao longo do ciclo P&D-produção. Presença de empresas de base tecnológica, seja como fornecedoras (quando interagem com agentes dos setores finais usuários das tecnologias desenvolvidas), seja como contratantes (quando interagem com outros agentes inseridos na infra-estrutura científico-tecnológica).
Estruturas de Governança	Papel central desempenhado por firmas de base tecnológica. Estrutura associada à integração de diferentes estágios do processo de P&D. “Volatilidade” das estruturas, que podem se modificar em razão de movimentos de aquisição de empresas. Adaptação em função do “ciclo de vida” da tecnologia, com progressiva centralização dos fluxos internos.
Formas de Coordenação	Projetos de P&D coordenados por firmas de base tecnológica. Possibilidade de coordenação mais ampla baseada em programas cooperativos de caráter público ou semi-público. Uso de “contratos incompletos”, com pré-definição das condições de apropriabilidade relacionadas às inovações geradas.

## III – Características Tecnológicas

Características dos Fluxos de Informação	Mecanismos de retro-alimentação ( <i>feed-back loops</i> ) entre os estágios do processo de P&D, através de relações interpessoais ou entre equipes de pesquisadores. Fluxos relacionados à transmissão de conhecimentos tácitos e informações entre esferas que operam segundo quadros cognitivos distintos. Importância de interações interdisciplinares. Relevância de instituições-ponte ciência-indústria.
--	---

Mecanismos de Aprendizizado Iterativo	Redução de custos e do <i>lead-time</i> associado ao processo de P&D. Integração de múltiplas competências científicas e tecnológicas. Definição negociada das “condições de apropriabilidade” relativas às inovações geradas. “Codificação” de conhecimentos “tácitos” gerados em quadros de referência distintos. Definição de códigos de linguagem entre diferentes ambientes cognitivos.
Esforços Inovativos Realizados	Caráter interdisciplinar dos esforços, envolvendo a especialização de agentes em estágios do ciclo de P&D, com presença de mecanismos de retro-alimentação retratados no modelo de “ligações em cadeia” ( <i>chain linked model</i> ). Relevância de pesquisa básica para gerar conhecimentos potencialmente úteis. Dificuldade para definir <i>ex-ante</i> os resultados dos projetos de P&D. Interconexões com a infraestrutura científico-tecnológica.

Extraído de BRITTO (1999, p. 272)

FANTINE (2006) define Centro de Referência como um conjunto de recursos interagindo de forma sustentada e buscando a vanguarda em uma determinada temática, sendo reconhecido pela sociedade como capaz de responder de forma mais adequada e eficiente do que outros empreendimentos, produtos, processos e serviços na sua especialidade. Seguindo normas e padrões, esse conjunto é constituído estrategicamente por uma rede de parceiras das áreas governamental, acadêmica, de pesquisas e por empresas, federações e entidades em geral, tanto públicas como privadas, do país e do exterior.

A governança é realizada por um Conselho Gestor e um Comitê Executivo, definidos pelo(s) fundador(es) que conduzem o Centro de Referência (CR), escolhem os parceiros e firmam acordos de participação com as entidades convidadas para compor a rede. Forma-se um organismo virtual (podendo se transformar em entidade jurídica) com missão, visão e objetivos unificadores, que se materializam e evoluem pela aprovação e execução de ações e projetos estruturantes de interesse do conjunto ou de fortalecimento de uma das partes.

Nesses empreendimentos, o que se implanta é um processo com condições para ser reconhecido pela sociedade como de excelência. Excelência que, no entanto, se desloca sempre para o futuro a cada patamar alcançado, pois a abertura de horizontes leva a novos desafios e à visualização de outras oportunidades, requerendo mais inovação, criatividade e ousadia. Também a sociedade muda suas demandas e os concorrentes, suas ofertas. Nesse sentido, o Centro de Referência estará eternamente em formação e evolução, jamais podendo ser visto como algo perfeito e acabado. Tecnologias e conhecimentos evoluem sempre, essa a eterna dinâmica da trajetória da nossa civilização. Se essa mentalidade não for dominante, o processo da obsolescência se instaura.

As principais características e diferenciais de um Centro de Referência, conforme destacado na Figura 3, são:

- A busca contínua da vanguarda no tema, e não exclusivamente da solução de um problema delimitado no tempo ou espaço;
- A busca pela sustentabilidade. Pretender apresentar continuamente aos parceiros-líderes resultados de vanguarda renovada, ou valorização econômica do saber conquistado, contrastando com a idéia de dependência financeira exclusiva de um líder ou de fundos de fomento;
- A busca pela permanência e aumento de abrangência do empreendimento por seus diferenciais inovadores, contrastando com a temporariedade de redes que atendem a um objetivo específico ou de menor alcance em termos de efeitos;
- A busca por esforço contínuo para multiplicar núcleos de vanguarda, embriões de novos Centros de Referência em outras regiões, contrastando com a delimitação dos projetos convencionais;
- A busca por resultados de visão empresarial como forma de sustentabilidade, e não somente para atender uma demanda específica;
- A busca por parcerias estratégicas que participem efetivamente da jornada, com preocupação da valorização dos elos da rede, contrastando com as associações do tipo fornecedor ou cliente;
- A busca por modelo de gestão compartilhada, com competências para conduzir o empreendimento com mais desenvoltura;

- A busca por metodologias definidas e não ocasionais, sustentadas por normas e padrões, com forte ligação na experiência adquirida e incorporada ao processo por orientação de especialistas do assunto.

**Figura 3** – Características e diferenciais de um Centro de Referência



Extraído de FANTINE (2006)

BALAGUER *et al.* (2007) definem a inovação para produtos de alta complexidade tecnológica, exemplificando com aviões, sistemas de defesa e automóveis, que exigem a incorporação de um conjunto de sistemas e subsistemas. No caso de uma aeronave, por exemplo, são requeridos conjuntos de componentes de diversos sistemas – propulsão, navegação etc – que, por si só, já são complexos. A integração destes componentes é essencial para o desempenho da aeronave, mas é muito difícil antecipar esta atuação com base apenas nos dados do projeto. É necessário, portanto, entender o futuro produto como um conceito que carrega um conjunto complexo de tecnologias para o mercado.

O artigo reforça a necessidade de se levantarem as condições estratégicas coletivas e individuais de PD&I do país, ressaltando que a característica central do processo de inovação para produtos de complexidade tecnológica é a complexidade sistêmica do produto final.

O desenvolvimento desse processo sistêmico num país exige o conhecimento e a integração de inúmeras variáveis e atores. O somatório desses ingredientes inclui: o estado-da-arte (capacitações) das empresas instaladas; os estágios e dimensões dos desenvolvimentos dos centros científicos, tecnológicos e acadêmicos; as políticas públicas para atendimento aos requisitos de atratividade e competitividade no que diz respeito à localização e empresas transnacionais no país; a visão do ambiente de interação e inovação que a rede de valores e órgãos governamentais apresenta em relação ao dimensionamento de projetos futuros; os comportamentos culturais que influenciam as articulações dos atores e sua integração de forma individualizada e coletiva em redes de comunicações; as reações dos atores à competitividade interna e externa; e as formas como os atores se preparam para o desenvolvimento da inovação.

Trata-se, portanto, de uma ampla visão sistêmica, que abrange não apenas os aspectos ligados diretamente à inovação que se pretende promover, mas também aspectos tangíveis e intangíveis relacionados à infra-estrutura de um país, estado ou região, com destaque para educação, qualidade de vida e condições sociais e políticas.

Da mesma forma, a análise do contexto de inovação deve ser feita de modo amplo, considerando-se as especificidades de cada país. Um dos pontos desta abordagem poderia ser, por exemplo, como os diferentes conceitos de inovação tecnológica são introduzidos na economia globalizada, independentemente dos índices de desenvolvimento humano (IDH) das sociedades onde os bens são lançados. A padronização imposta pelo consumo de massa impõe que o processo de inovação seja desenvolvido, muito freqüentemente, para o atingimento de mercados com poder de compra, o que, em outras palavras, significa o desenvolvimento de produtos e serviços inovadores para sociedades desenvolvidas, com IDH elevado e renda suficiente para o consumo. As sociedades periféricas devem absorver ou se adaptar a estas inovações tecnológicas.

MYERS e MARQUIS (1969) levam em conta os diversos estágios do processo de desenvolvimento de um produto inovador, quando afirmam que “inovação é uma atividade complexa, que se inicia com a concepção de uma nova idéia, passa pela solução de um problema e vai até a real utilização de um novo item de valor econômico

ou social”. Tratam da inovação como um processo dinâmico, que requer novos e contínuos conhecimentos e prospecção tecnológica para solução de problemas locais.

As ações estratégicas de PD&I que servem como ponte entre as inovações tecnológicas e o mercado são temas de direta repercussão para a grande maioria dos produtos. No caso de produtos de alta complexidade tecnológica, no entanto, essa relação não é tão proporcional, já que eles carregam em seu conceito um conjunto de diversas tecnologias, com todos os tipos de integração entre elas.

Nesses casos, os processos de PD&I devem incorporar algumas competências em sistemas de engenharia para projetar o conceito de produto, de modo a trazer as tecnologias como aplicações para o mercado. O produto conceitual é um pacote de aplicações que tenta aglomerar tecnologias como soluções para um conjunto de vetores de mercado. Existem três possíveis caminhos para inovação de um produto de alta complexidade, levando-se em conta a existência do conjunto de componentes de um sistema:

- Desenvolver um novo componente para uso no sistema existente;
- Desenvolver um novo sistema que usa componentes existentes;
- Desenvolver um novo sistema com novos componentes.

Dessa maneira, é função estratégica dos setores específicos de PD&I não só articular áreas funcionais que fazem a interface às dimensões de mercados, conceitos de novos produtos e tecnologias, mas estimular o desenvolvimento do planejamento tecnológico, isto é, diagnosticar tecnologias emergentes que possam colaborar com uma visão prospectiva de futuro, através de estímulos financeiros ou mercadológicos.

Em resumo, a estratégia de PD&I deve articular quatro dimensões básicas (PETRICK e ECHOLS, 2004):

- Mercados – englobam os nichos mais representativos para a estratégia corporativa;
- Conceitos de novos produtos – são os deslocamentos dos requisitos de mercado para as características do novo produto.
- Tecnologias – são os meios de conjugar as características técnicas do produto.

- Planejamento tecnológico – é a interface que retroalimenta a visão estratégica com análises tecnológicas. Sua importância reside no fato de que uma nova capacitação tecnológica pode influenciar uma revisão no plano estratégico da empresa, com o objetivo de limitar os investimentos de recursos em novas tecnologias que podem se tornar obsoletas em curto período de tempo. Para que as quatro dimensões interajam em um processo de desenvolvimento contínuo, é importante que uma visão de futuro esteja sempre projetada à frente do empreendimento, de modo que o processo seja o grande responsável por sua própria obsolescência e determinante de suas próprias tarefas futuras. Este é o papel da prospectiva tecnológica.

Para BALAGUER *et al.* (2006):

*Prospectiva tecnológica reflete tanto um olhar para o futuro como os resultados deste processo, o qual antecipa, extrapola ou prevê capacidades, aplicações e funcionalidades de máquinas, processos e técnicas. Os processos de prospecção tecnológica devem observar o entendimento das forças que formarão a convergência do futuro possível, plausível, provável e desejável, integrando considerações técnicas e não técnicas. Desta forma, deve ser explorado por afirmações estatísticas que rejeitam a incerteza e aumentam o nível de informação sobre o futuro. Os resultados dos processos expressos em palavras e números são mostrados numa forma prática, para a tomada de decisões e de políticas, aumentando conseqüentemente seu estado de prevenção sobre as oportunidades e ameaças do futuro (p. 1).*

### **3.1.1. Ambiente atual de inovação nas empresas brasileiras**

Segundo o Boletim Estatístico de Micro e Pequenas Empresas<sup>4</sup>, no primeiro semestre de 2005 o quadro empresarial brasileiro era constituído por cerca de cinco milhões de empresas, das quais 99,2% eram micro e pequenas empresas. As micro-empresas (93,6%) são definidas como as que possuem até 19 pessoas no setor industrial e até nove pessoas no setor de comércio e serviços. As pequenas empresas (5,6%) são as que possuem de 20 a 99 pessoas no setor industrial e de dez a 49 no setor de comércio e de serviços. As médias empresas participavam com 0,5% e as grandes empresas com 0,3% do total de empresas.

Uma das características fundamentais dessa massa de empresas é a sua luta diuturna pela sobrevivência no mercado. Inúmeras pessoas iniciam seus próprios

---

<sup>4</sup> Emitido pelo Observatório Sebrae em 2005. Disponível em [www.sebrae.com.br/customizado/estudos-e-pesquisas/estudos-e-pesquisas/boletim-estatistico-das-mpe/](http://www.sebrae.com.br/customizado/estudos-e-pesquisas/estudos-e-pesquisas/boletim-estatistico-das-mpe/).

empreendimentos impelidos pela carência de oportunidades de empregos fixos no mercado de trabalho. As estatísticas mostram que, entre as novas, 50% terão suas atividades encerradas nos dois primeiros anos; das restantes, 56,4% encerram as atividades com três anos; e, finalmente, entre as sobreviventes, 59,9% não passam do quarto ano.

Entre as principais razões para a alta taxa de mortalidade das micro e pequenas empresas, o Boletim lista as seguintes: falta de capital de giro (24,1%); impostos altos (16%); falta de clientes (8%); e concorrência (7,1%). Cabe ressaltar ainda que a faixa salarial paga pelas micro e pequenas empresas é quatro a cinco vezes menor que a das médias e grandes empresas.

Essas estatísticas demonstram a dimensão da necessidade de encurtamento de tempo para o lançamento de novos produtos e serviços no mercado pelas empresas. Retornando-se ao conceito de inovação de MYERS e MARQUIS (1969), observa-se que, na prática, os dois primeiros estágios necessários ao processo de desenvolvimento de um produto inovador (idéia e resolução de um problema) são costumeiramente suprimidos nas micro e pequenas empresas nascentes, para que a real utilização do novo “produto” possa entrar o mais rapidamente possível na receita financeira de seus balanços contábeis. O conceito do processo de inovação é assim, alterado de forma profunda. O tratamento da inovação, nesse caso, fica restrito na maioria das empresas à oportunidade de lançamento de novos produtos e serviços, com base em tecnologia importada. Com isso, as pesquisas de base e aplicada são suprimidas do processo dinâmico da inovação, que requer novos e contínuos conhecimentos e prospecção tecnológica para a solução de problemas locais.

Se esse tipo de processo de inovação se torna rotineiro dentro de uma sociedade, gera-se um distanciamento cada vez maior entre os centros de pesquisas científicas e tecnológicos e as empresas. O tempo necessário para o domínio do conhecimento no verdadeiro processo da inovação é muito mais longo do que o utilizado pelas empresas na compra das máquinas e equipamentos com tecnologias externas, prontas para a multiplicação de produto.

Alguns estudos oferecem argumentos para subsidiar esta discussão. VERMULM (2006) apresenta, na tabela 1 e na figura 4, as taxas de inovação das empresas

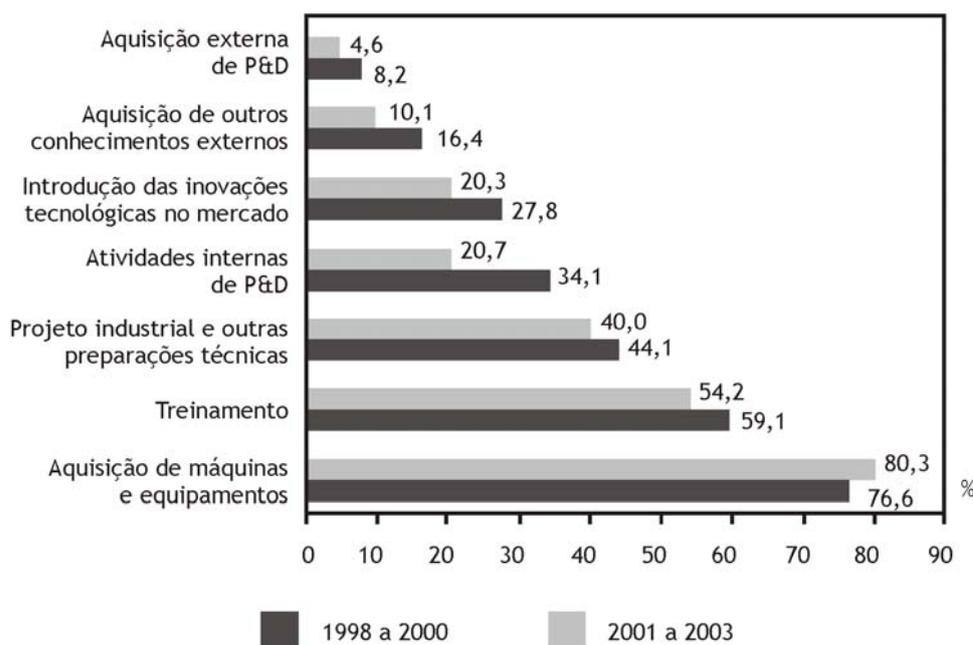
brasileiras, divididas por seu porte, e a forma como foram implementadas tais inovações, nos períodos 1998-2000 e 2001-2003.

**Tabela 1** – Taxa de inovação por porte das empresas 1998-2000 e 2001-2003

Pessoas ocupadas	Taxa de Inovação 1998 - 2000	Taxa de inovação 2001 - 2003
<b>Total</b>	<b>31,5</b>	<b>33,3</b>
De 10 a 29	25,3	30,4
De 20 a 49	33,3	34,2
De 50 a 99	43,0	34,9
De 100 a 249	49,3	43,8
De 250 a 499	56,8	48,0
Com 500 e mais	75,7	72,5

Extraído de IBGE/PINTEC, 2003 In: VERMULM (2006)

**Figura 4** – Importância das atividades inovativas 1998-2000 e 2001-2003



Extraído de IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Indústria, Pesquisa Industrial de Inovação Tecnológica. In: VERMULM (2006).

Como se pode verificar, o aumento da taxa de inovação em 2003 se concentrou nas pequenas e médias empresas, com até 50 funcionários. Nas demais empresas, a taxa diminuiu. A tabela 1, analisada individualmente, poderia nos induzir à conclusão de que o percentual de 33,3% de empresas que implementaram inovações no período 2001-

2003 seja bastante expressivo. Esse número pode refletir que um terço das empresas brasileiras realizou inovações nesse período, com crescimento de aproximadamente 7% sobre o período anterior (1998-2000). No entanto, ao se aprofundar a análise, comparando-a com os índices de importância das atividades inovativas da figura 1, verifica-se que grande parte das inovações se concentrou na compra de máquinas, equipamentos e conhecimentos externos, o que demonstra que a cultura da inovação está vinculada à exploração e produção de bens de consumo para resultados em curto prazo, em detrimento das pesquisas básicas e aplicadas.

Verifica-se, por outro lado, na tabela 1, que o percentual das taxas de inovação em empresas com mais de 500 pessoas é bastante significativo, girando em torno de 75% nos dois períodos analisados, o que sugere que as empresas têm atuado nos três anos, com cerca de ¾ de produtos ou processos inovadores a mais em relação aos períodos anteriores.

A tabela 2 indica que o percentual geral da taxa de inovação das empresas estrangeiras localizadas no país é superior em mais de 50% à média das empresas nacionais, o que denota a diferença cultural ainda existente no meio empresarial sobre a importância de instalação de processos inovadores em suas unidades.

**Tabela 2** – Taxa de inovação por origem do capital e porte das empresas industriais

Pessoas ocupadas	Nacionais			Estrangeiras		
	Geral	Prod.	Proc.	Geral	Prod.	Proc.
<b>Total</b>	<b>32,7</b>	<b>19,9</b>	<b>26,4</b>	<b>55,6</b>	<b>37,9</b>	<b>45,2</b>
De 10 a 29	30,4	18,9	24,0	31,4	7,1	24,9
De 30 a 49	34,0	21,1	28,6	44,9	37,1	27,2
De 50 a 99	34,2	18,6	28,0	56,7	34,1	47,4
De 100 a 249	42,9	23,9	37,1	53,8	39,6	43,2
De 250 a 499	44,9	24,8	36,8	64,1	47,1	48,9
Com 500 e mais	68,9	50,2	60,6	82,0	65,3	74,3

Extraído de VERMULM (2006)

Outro ponto interessante para análise é o que se refere ao número total de pessoas dedicadas aos processos PD&I no Brasil nas empresas. A tabela 3 mostra que, em 2003, o número de pessoas em P&D diminuiu, mas o número de pessoas com nível superior e pós-graduação e a média de pessoas com nível superior em P&D aumentaram

consideravelmente, o que pode significar uma maior seletividade das empresas em suas contratações profissionais.

**Tabela 3** – Comparações PINTEC 2000-2003

	Pintec 2000	Pintec 2003
Nº total de pessoas em P&D	41.467	38.523
Nº de pessoas, com nível superior, em P&D interna	20.114	21.795
Nº de pessoas, com pós-graduação, em P&D interna	2.953	3.121
Média de pessoas em P&D por empresa	5,6	7,8
Média de pessoas, com nível superior, em P&D por empresa	2,7	4,4
Média de pessoas, com pós graduação, em P&D por empresa	0,4	0,6

Extraído de VERMULM (2006)

Em resumo, pode-se acrescentar que o Brasil apresenta estruturas inovativas com distintos graus de desenvolvimento, dado o caráter imaturo dos sistemas de inovação nacionais. Tal caracterização do ambiente tecnológico se dá, como se sabe, por diversas razões, como: reduzido envolvimento das empresas nacionais com os sistemas de inovação disponíveis; limitado esforço inovador interno das empresas; insuficiente participação dos gastos de PD&I no total de gastos com inovação da indústria em contraste com o total de gastos com máquinas e equipamentos; natureza descontínua das atividades inovadoras, medida pelo peso de investimento em PD&I realizado de forma ocasional; natureza incremental do processo inovador, típico de países nessa condição (industrialização tardia); absorção constante de técnicas desenvolvidas em países que possuem liderança tecnológica via compra de máquinas e equipamentos ou conhecimentos, por meio de patentes, licenças, *know-how*, ou ainda, pela presença e peso das filiais de empresas multinacionais nos sistemas de inovação do país anfitrião; e baixo grau de inter-relações entre os agentes constituintes dos sistemas de inovação.

A problemática nacional acima resumida sofre ainda o agravante da heterogeneidade regional em termos de universidades atuantes, capacidade empresarial de pesquisa etc. As macro-regiões do Sudeste e Sul, como se sabe, alcançam níveis muito superiores de produção industrial e realização de pesquisas intensivas em conhecimento – não obstante o processo gradual de desconcentração industrial macro-regional dos últimos dez anos –, além de possuírem uma rede urbana mais integrada aos centros industriais mais dinâmicos.

### **3.1.2. Ambientação da inovação no Brasil em comparação com competidores internacionais**

A discussão sobre competitividade sistêmica é proposta nas análises de FERRAZ *et al.* (1996), que definem competitividade como “(..) a capacidade de a empresa formular e implementar estratégias concorrenciais que lhe permitam ampliar ou conservar, de forma duradoura, uma posição estável no mercado” (p. 15).

Essa visão, segundo os autores, se diferencia de modo significativo das abordagens convencionais, na medida em que busca na dinâmica do processo de concorrência o referencial para avaliação da competitividade. Segundo eles, a competitividade sistêmica envolve, além dos fatores internos e estruturais, de certa forma ainda sobre certo controle da empresa ou setor (articulado), os fatores sistêmicos externos, que variam de forma decisiva, às vezes radical, segundo as alterações nas políticas públicas e/ou nos mercados internacionais.

A lógica da localização se alicerça em algumas variáveis, das quais se destacam as seguintes: custos internos de mão-de-obra; qualificação e quantificação de mão-de-obra especializada; nível tecnológico e científico das entidades; capacitação industrial; e número de patentes depositadas.

Como a ampliação de mercado está relacionada à introdução de inovações, e como as inovações dependem dos investimentos realizados em PD&I, uma das formas de se compararem as forças e fraquezas dos competidores internacionais é a avaliação de dados como:

- dispêndio interno bruto em P&D financiado pelos governos como percentagem do PIB;
- análise das exportações por intensidade tecnológica;
- número de patentes depositadas pelos países.

Tais itens são significativamente importantes nesta tese, porque remetem à sua questão básica, que é a análise das possibilidades de o Brasil competir com outros países para colocação de produtos inovadores tecnologicamente complexos no mercado.

A tabela 4 possibilita comparações e o estabelecimento de diretrizes estratégicas que possam ser aplicadas para possíveis correções de políticas públicas. Verifica-se que a situação do Brasil em relação aos países da América Latina (Argentina e Chile) é relativamente cômoda, representando uma liderança significativa na região, e que o fortalecimento de relacionamento para complementaridades com estes países poderia trazer enormes benefícios em alguns setores específicos.

**Tabela 4** – Composição das exportações por intensidade tecnológica em 2005

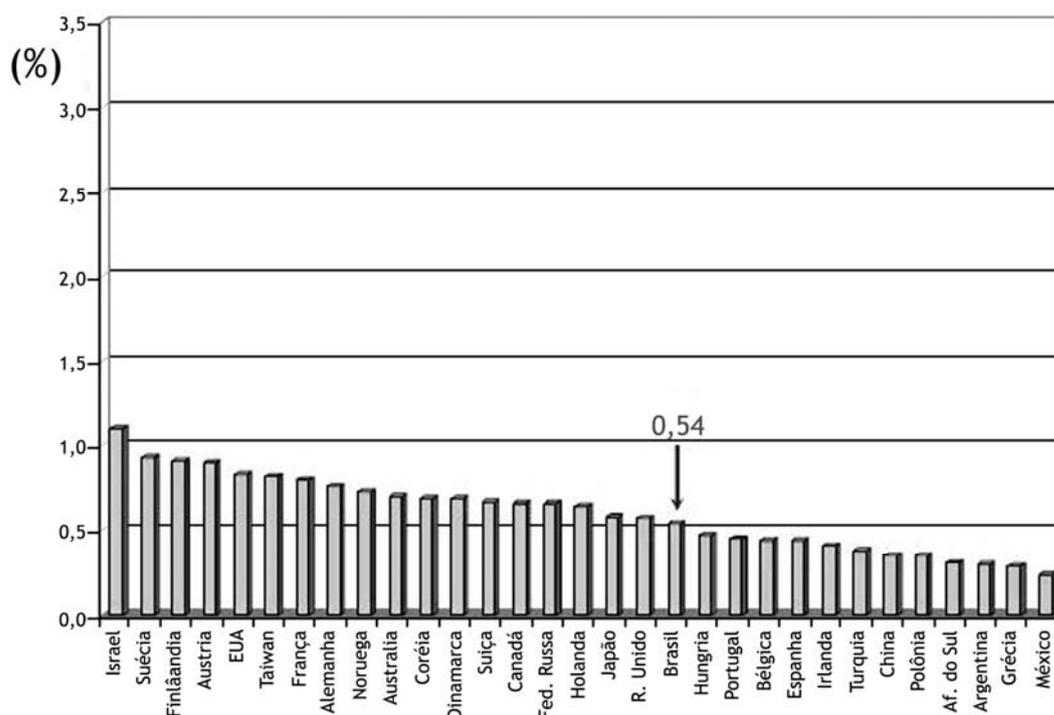
	Chile	Argentina	<b>Brasil</b>	UE-25	Japão	EUA
Alta intensidade tecnológica	5,6	9,2	<b>12,8</b>	30,6	31,6	37,6
Média intensidade tecnológica	1,9	12,5	<b>20,7</b>	32,2	45,5	29,4
Baixa intensidade tecnológica	2,2	3,4	<b>9,8</b>	6,9	9,6	4,2
Produtos intensivos em trabalho e recursos naturais	3,5	5,3	<b>9,5</b>	10,8	3,5	6,7
Produtos primários	81,5	50,8	<b>40,4</b>	8,1	2,8	11,8
Não classificados	5,4	18,8	<b>6,9</b>	11,4	7,0	10,4
Total geral	100,0	100,0	<b>100,0</b>	100,0	100,0	100,0

Extraído de Mariano Laplane, 2007, In: ELIAS (2007).

Por outro lado, a comparação com os países desenvolvidos, como o Japão, União Européia e EUA, mostra fragilidades e aponta o distanciamento tecnológico e científico em relação a esses blocos. Existem grandes possibilidades de estreitamento de relações de complementaridade com estes países, pois o Brasil possui conhecimentos específicos em setores energéticos, como biomassa e etanol, e tecnologias de exploração de petróleo em grandes profundidades.

A figura 5 mostra a posição de fragilidade do Brasil no dispêndio interno bruto em PD&I financiado pelo governo. Verifica-se que os investimentos representam apenas 0,54% do PIB, enquanto a média dos países mais avançados está pelo menos 50 a 60% maior.

**Figura 5** – Dispêndio Interno Bruto em PD&I financiado pelo governo como percentagem do PIB



Extraído de OECD – Main Science and Technology Indicators 2006-2 e MCT, In: ELIAS, 2007.

A tabela 5 mostra o ranking dos dispêndios em P&D em 2003, no qual os EUA aparecem como responsáveis por 25% de todos os investimentos mundiais.

**Tabela 5** – Investimentos em P&D

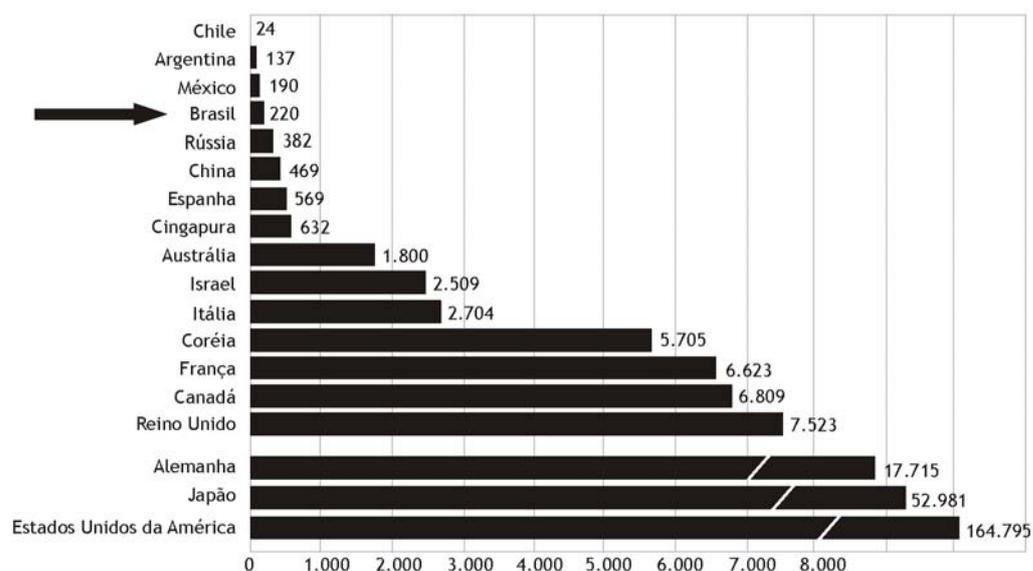
Ranking dos dispêndios com P&D em 2003		
Bilhões de dólares em PPC		
1	Estados Unidos	294,6
2	Japão	114,0
3	China	94,6
4	Alemanha	57,1
5	França	37,5
6	Reino Unido	33,6
7	Coréia	24,4
8	Índia <sup>(1)</sup>	20,7
9	Canadá	18,7
10	Itália <sup>(2)</sup>	17,7

(1) dado de 2001, (2) dado de 2002.

Extraído de OODE (In VERMULM , 2006)

A figura 6 mostra os pedidos de patentes de invenção depositados no escritório de marcas e patentes dos Estados Unidos por alguns países, em 2000. A China, um dos grandes competidores atuais do Brasil, aparece com um número de pedidos de patentes mais de duas vezes maior que o nosso. Os números que aparecem aqui são consequência dos dados que vinham sendo analisados anteriormente, em relação à intensidade tecnológica e investimentos em PD&I.

**Figura 6** – Pedidos de patentes em 2000



Adaptado de United States Patent and Trademark Office, In: ELIAS (2007)

Além desses pontos, julga-se oportuno apontar características e aspectos favoráveis que a economia brasileira apresenta em comparação a outros países emergentes “concorrentes”, que poderão impactar os cenários de atratividade para o desenvolvimento de centros de PD &I de empresas transnacionais:

- Tamanho e sofisticação da demanda interna;
- Capacitação da oferta já demonstrada por meio de soluções de classe mundial para segmentos específicos de mercado — exploração de petróleo em grandes profundidades submarinas; desenvolvimento do etanol para a indústria automotiva nacional;
- Infra-estrutura de telecomunicações moderna e capilar, se comparada com China e Índia;
- Proximidade com os principais mercados-alvo, em comparação com Índia e China;

- Apoio financeiro às atividades de PD&I e à inserção de pesquisadores nas empresas;
- Apoio à cooperação entre empresas e institutos de ciência e tecnologia;
- Capacitação de recursos humanos para a inovação;
- Excelência das universidades;
- Fuso horário.

### 3.1.3. Cenários prospectivos de PD&I no Brasil

As análises aqui apresentadas de cenários prospectivos de PD&I no Brasil tiveram por base o Plano de Ação 2007-2010, divulgado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) com as principais metas a serem atingidas pelo Governo Federal para o desenvolvimento nacional da ciência, tecnologia e inovação. Entre outros pontos, destacam-se os seguintes:

- O Plano prevê um forte incremento financeiro (50%) em aplicações de PD&I, passando de 1,02% do PIB em 2007, para 1,5% do PIB em 2010, além de recursos para bolsas do CNPq e CAPES no valor de R\$ 6,5 bilhões para o período.
- Prevê-se forte articulação da política de PD&I com a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE), com ênfase nos desafios científico-tecnológicos a serem enfrentados, visando à construção de competitividade; uso articulado de instrumentos de incentivos (fiscal-financeiro); regulação; poder de compra; apoio técnico; recursos disponíveis para todas as etapas do ciclo de inovação, e *metas compartilhadas com o setor científico-tecnológico e o setor privado* (o grifo é nosso).
- Desenvolvimento científico, tecnológico e de inovação receberão investimentos totais de R\$ 1,9 bilhão durante o período de 2007 a 2010, através do CNPq e FINEP, para apoio à inovação tecnológica nas empresas e incentivos à criação e consolidação de empresas intensivas em tecnologia. Por outro lado, os recursos previstos para apoio financeiro às atividades de PD&I e à inserção de pesquisadores nas empresas para o período 2007 a 2010 está estimado em R\$ 5,4 bilhões de reais.
- Criação e estruturação do Sistema Brasileiro de Tecnologia (SIBRATEC) e CRIATEC pelo BNDES para apoiar o desenvolvimento de empresas de base

tecnológica. O conceito é o de apoiar redes setoriais, temáticas e estratégicas formadas por institutos de pesquisa tecnológica e centros universitários de competência industrial, em todo o território nacional.

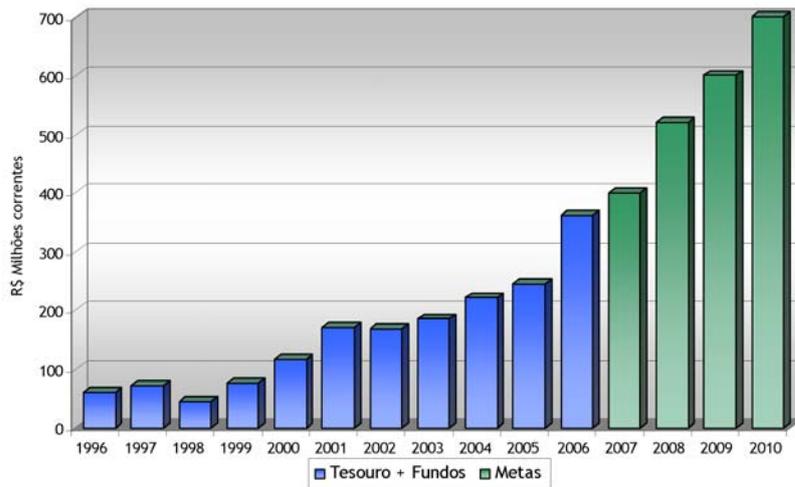
- *Energia elétrica, hidrogênio e energias renováveis* (o grifo é nosso) estão incluídos entre as áreas estratégicas portadoras de futuro nas quais o Plano de Ação concentrará ações de PD&I.
- Existirá forte incentivo às políticas setoriais através do MCT; de Crédito de Longo Prazo e Capitalização oferecido pelo Fundo Tecnológico (Funtec) do BNDES e demais IFCs (BB, CEF, BNB, BASA) e pelos mercados de capitais; de tratamento fiscal e desonerações compensatórias, realizadas pelo Ministério da Fazenda; de política tarifária, desenvolvida pelo Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio; e de política tributária, através do Ministério da Fazenda e do Congresso Nacional.

Para que se possam avaliar os possíveis impactos que estas ações, se realizadas, trarão para o cenário futuro, é importante comparar:

- a evolução dos recursos para o fomento à pesquisa durante o período 1996- 2006 e as metas propostas até 2010;
- o processo de incremento no número de artigos publicados nas revistas internacionais, e na formação de mestres e doutores.

A figura 7 mostra que os recursos investidos em pesquisa pelo CNPq serão quase triplicados no período 2005 a 2010, o que significa o reconhecimento pelo governo federal da necessidade de implantação de uma política mais agressiva em comparação com os demais países. Trata-se de uma tendência positiva no processo futuro de PD&I, pois demonstra claramente a preocupação de dotar o país de políticas capazes de proporcionar um papel de maior competitividade nos mercados internacionais.

**Figura 7** – Recursos destinados pelo CNPq para fomento à pesquisa



Extraído de ELIAS (2007)

Outro ponto a ser analisado é a evolução do ambiente de inovação no Brasil. O figura 8 mostra grande ascensão nas duas curvas que medem o ambiente da inovação no país: um forte incremento no número de artigos publicados nas revistas internacionais e na formação de mestres e doutores, a partir do final da década de 90, com incentivos crescentes e o conseqüente desenvolvimento de produtos inovadores com maior valor agregado de conhecimentos.

**Figura 8** – Potencial de geração de conhecimento



Extraído de Capes / MEC. (In ELIAS 2007)

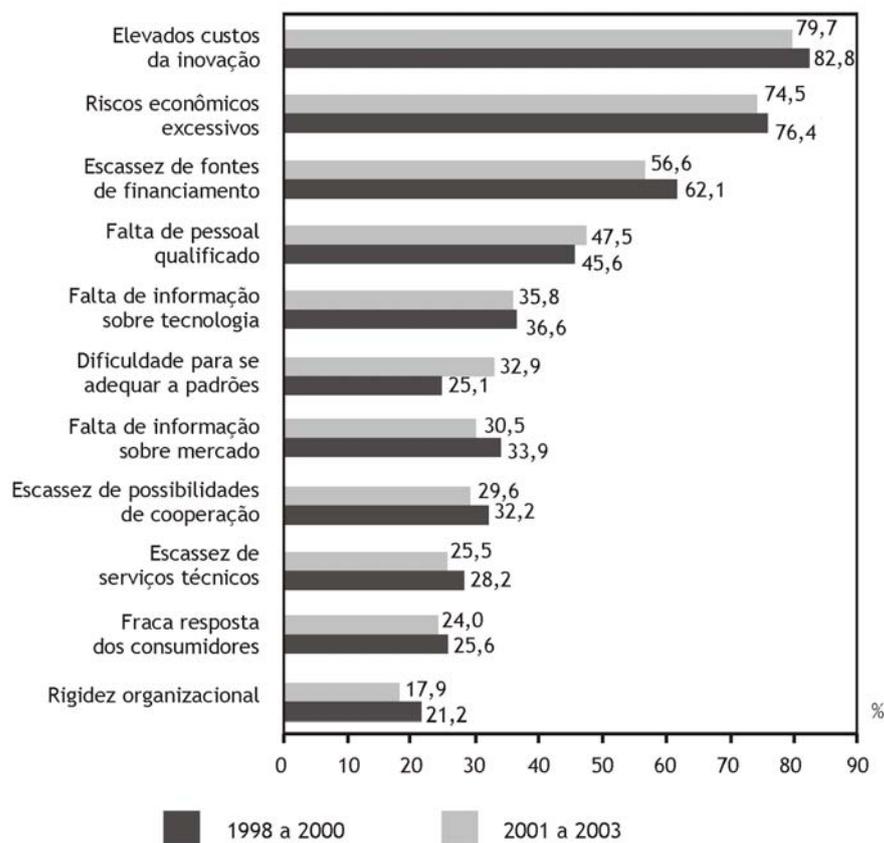
Existe um crescente consenso sobre a necessidade que o país tem de desenvolver competências técnicas e sócio-econômicas de longo prazo. No entanto, frente às pressões da globalização, a estrutura institucional prevalecente tende a adaptar as políticas aos objetivos financeiros de curto prazo. Tal conjuntura explica o fato de que os ministérios da área econômica tornaram-se agências responsáveis pela coordenação de políticas para diversas áreas especializadas. Em paralelo, ministérios de áreas específicas tendem a se identificar com os representantes de seus segmentos e terminam por demonstrar limitado interesse nos objetivos globais da sociedade.

O conceito de economia do aprendizado implica uma nova visão para um amplo conjunto de políticas (incluindo a social) de mercado de trabalho, educação, indústria, energia, meio ambiente, ciência e tecnologia. Trata-se, portanto, de um conceito que demanda novas estratégias nacionais de desenvolvimento integradas com a construção de uma governança efetiva em todas as áreas de elaboração e implementação de políticas.

Estudo realizado pela ABDI/ANPEI com 48 empresas transnacionais localizadas no Brasil apontou diversos aspectos que devem ser analisados como entraves ao desenvolvimento de PD&I no país. Entre eles, destacam-se os quatro primeiros, conforme apresentado na figura 6:

- Elevados custos de inovação;
- Riscos econômicos excessivos;
- Escassez de fontes de financiamento;
- Falta de pessoal qualificado em alguns segmentos.

**Figura 9** – Problemas das empresas que implementaram inovações no período de 1998-2003



Extraído de IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Indústria, Pesquisa Industrial de Inovação Tecnológica. (In ELIAS 2007).

O tópico que aponta a falta de pessoal qualificado em alguns segmentos merece maior detalhamento e prospecção. Trata-se de um dos processos que requerem maior tempo de maturação, já que uma resposta da educação ao mercado necessita de décadas de preparação. Desse modo, focam-se aqui inicialmente as respostas das empresas a este tópico:

- No que diz respeito aos profissionais com dedicação exclusiva às atividades de PD&I nas empresas, a distribuição por grau de instrução revelou os seguintes percentuais: 60% de graduados; 8% de mestres; 2% de doutores; 14% de técnicos; e 16% de pessoal de suporte.
- Sobre a oferta de mão-de-obra qualificada (M.O.Q) para PD&I em quantidade e qualidade : 54% consideram que há oferta suficiente de M.O.Q; 46% afirmam que não estão satisfeitos com a M.O.Q em termos de capacitação e em quantidade.

- Sobre dificuldades encontradas na oferta de M.O.Q para P&D : 43% afirmaram que não existem especialistas em quantidade; 41% disseram que existe dificuldade na busca de profissionais em determinadas áreas específicas; 5%, que não há especialistas em qualidade; 5%, que não existem profissionais em qualidade e quantidade; 3%, que existe dificuldade devido ao tamanho do mercado relativo às atividades de P&D no Brasil; e 3% relataram dificuldades com relação ao idioma.
- Sobre programas, financiamentos e incentivos existentes no Brasil para atividades de P&D: 75% das empresas transnacionais disseram conhecer algum tipo de programa ou financiamento à inovação, mas somente 35% deste universo se beneficiam de tais programas, já que os consideram excessivamente burocráticos e onerosos.

FANTINE (2006) relata que o Brasil busca seu eixo de desenvolvimento sustentável e que necessitará investir permanentemente em tecnologia e educação no sentido mais amplo. É fato que a manutenção da supremacia em qualquer campo do mercado globalizado depende de elevados investimentos em conhecimentos e tecnologias, bem como em inovadores sistemas de gestão que permitam a otimização de recursos e inovações continuadas.

Mas um país em desenvolvimento, em qualquer que seja o instante de sua caminhada rumo à riqueza, não conta com o montante que precisaria investir em PD&I para alcançar as demais nações. Enquanto o Brasil vai investir no máximo US\$ 5 bilhões anuais a mais nos próximos anos, os países desenvolvidos que têm acesso ao mercado brasileiro e que se apresentam como concorrentes no exterior investem somas que variam de dezenas a centenas de bilhões de dólares por ano em busca das inovações (tecnológica, científica ou dos conhecimentos) que chegarão proximamente ao mercado.

Uma das saídas é aplicar progressivamente em programas mobilizadores nacionais com vistas à formação de cadeias produtivas e à produção de pesquisas com chances de bons resultados; e, paralelamente, estimular o aumento de pesquisas nas empresas privadas, para resolver suas demandas tecnológicas, utilizando-se o crédito de tributações fiscais especiais.

Parte-se de dois pressupostos:

- A competição está ocorrendo agora e as empresas têm de avançar em sua eficiência independentemente dos programas nacionais concentradores de recursos;
- Os investimentos em PD&I acabam por gerar novas receitas, que, por sua vez, liberam mais investimentos, e assim por diante.

Para que este sistema possa evoluir adequadamente e em menor prazo, é necessário que as empresas nacionais, as universidades e órgãos de governo, como preceitua a Política Industrial, Tecnológica e de Comercio Exterior e a Lei de Inovação, busquem formar associações de vanguarda, otimizando o uso dos recursos existentes.

Com objetivo de contribuir para a reflexão de políticas públicas que poderiam ser desenvolvidas para diminuir as barreiras indicadas pelas empresas transnacionais, apresentam-se abaixo sugestões retiradas de estudos realizados pela ABDI/ANPEI (2007) e pela BRASSCOM e ATKEARNEY (LASKOWSKY, 2007).

Os estudos da ABDI/ANPEI apontam:

- **Tributação de matérias-primas e equipamentos importados para P&D**, além de burocracia e lentidão no processo de importação. Os procedimentos são os mesmos adotados para a importação regular de equipamentos destinados à produção. **Sugestão:** Sensibilizar o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior para a revisão das alíquotas e trâmites<sup>5</sup>.
- **Disponibilidade de pessoal capacitado em quantidade** para alguns dos setores da economia, como automotivo, de *software* e de alimentos. **Sugestão:** Iniciativa governamental para incremento de formação de pessoal; parceria governo-empresa para capacitação de profissionais de P&D.
- **Sistema de propriedade industrial lento**, processo moroso, burocrático. **Sugestão:** Otimizar os procedimentos junto aos órgãos responsáveis e representantes regionais.

---

<sup>5</sup> Cabe destacar que a Receita Federal publicou em 04/01/2008 norma que simplifica o despacho aduaneiro de importação de bens para pesquisa científica e tecnológica.

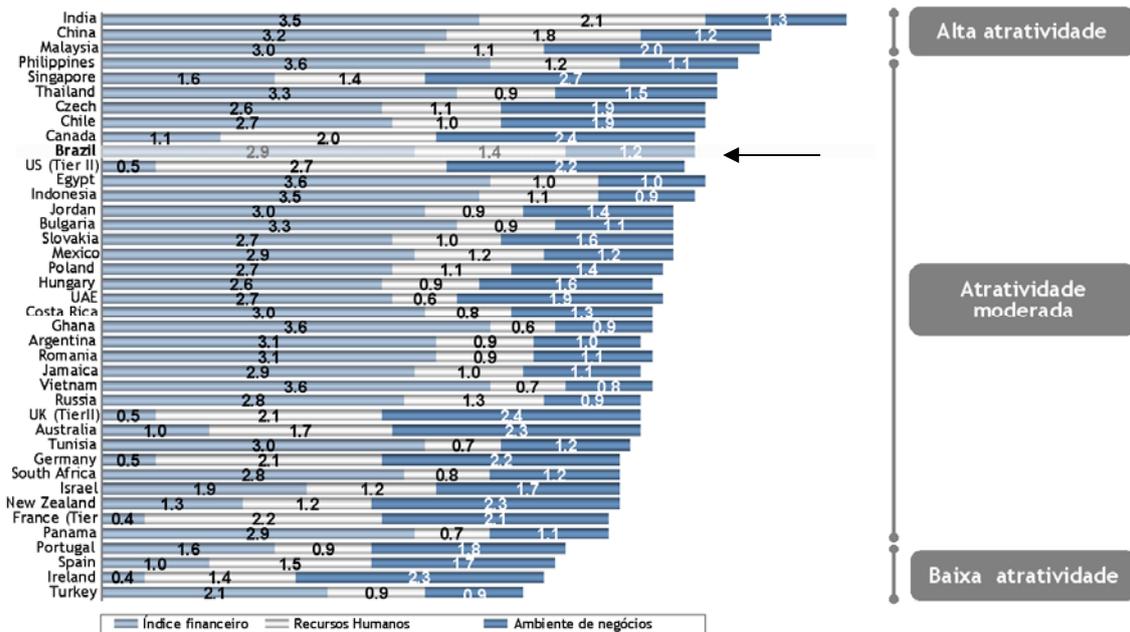
- **Lentidão e burocracia de entidades governamentais** na análise de recursos do governo à área de P&D (PDTI no passado e Lei da Informática atualmente). **Sugestão:** ampliar a interação com o MCT e Receita Federal.
- **Insegurança jurídica quanto ao uso de instrumentos fiscais (Lei do Bem)**, devido a problemas anteriores de glosa pela Receita Federal no antigo PDTI, instrumento da Lei 8661/93. **Sugestão:** Ampliar o debate entre Empresas, Ministério da Ciência e Tecnologia, Ministério da Fazenda e Receita Federal.
- **Lentidão e burocracia nas negociações com universidades e institutos de pesquisa**, agravadas mais recentemente no tópico do compartilhamento de patentes (titularidade e *royalties*). **Sugestão:** Ampliar o debate universidade/empresa, com o apoio de entidades de classe como facilitadoras e representando a área de P&D, em conjunto com a entidade de classe do setor industrial.
- **Domínio insuficiente da língua inglesa** pelos profissionais de P&D e desconhecimento sobre as competências disponíveis nas instituições acadêmicas nas várias áreas do conhecimento. **Sugestão:** Incentivo governamental na formação específica e parceria governo-empresa para a disponibilização de cursos para os profissionais de P&D.

Já os estudos da BRASSCOM/ATKEARNEY (LASKOWSKY, 2007) apontam a necessidade de o país desenvolver produtos de maior diferenciação tecnológica e com concentração de valores agregados, o que traria maior atratividade comercial. Apesar de os estudos se concentrarem no segmento de TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação), acredita-se que essa interpretação possa servir para outros nichos com a mesma magnitude e intensidade tecnológica (caso da distribuição de energia elétrica), pois é uma das formas eficientes de aumentar a competitividade em relação aos países emergentes (China, Índia, Leste Europeu etc.) e tradicionais (Canadá, EUA, Alemanha etc.).

A atual posição financeira atingida pelo Brasil nas principais agências de risco, obtendo o grau de investimento BBB+ , vem corroborar para que o Brasil melhore sua posição de atratividade de capitais para investimentos a longo prazo.

A figura 10 indica que, das três variáveis levadas em consideração (índice financeiro, recursos humanos e ambiente de negócios), as mais baixas são as relacionadas com os índices de mão-de-obra e ambiente de negócios, itens em que o Brasil fica muito aquém de países como Canadá, Inglaterra, Alemanha, França e Estados Unidos.

**Figura 10 – Índices de atratividade comercial**



Adaptado de A.T. Kearney 2005 Off-shore Location Attractiveness Index. (In LASKOWSKY 2007)

Outras sugestões apontadas pelo estudo são:

- Construir e promover uma imagem consistente de oferta de conteúdo tecnológico;
- Influenciar percepções positivas sobre a estabilidade do ambiente de negócios;
- Melhorar a qualidade e garantir uma oferta crescente de recursos humanos;
- Ampliar os investimentos em inovação e no domínio de novas plataformas tecnológicas;
- Compatibilizar a carga tributária com as práticas do mercado internacional.

Às sugestões já apresentadas acrescenta-se aqui uma contribuição para reformulação da estrutura empresarial do Brasil para o desenvolvimento de PD&I. As entidades de classe (associações, federações, sindicatos etc) representam a estrutura organizacional para a defesa dos interesses econômicos, sociais e ambientais dos setores de atividades da sociedade. É a partir destas organizações políticas setoriais que os

diversos níveis de governo podem auscultar e dialogar com os principais atores produtivos, não só para o estímulo de políticas estratégicas setoriais internas, como para a fixação de diretrizes fiscais que possibilitem a defesa dos interesses nacionais em segmentos priorizados.

Dentro desse cenário, julga-se de importância capital a reformulação da estrutura empresarial brasileira, hoje baseada nas Confederações Nacionais (da Indústria, do Comércio, do Transporte, da Agricultura etc.) e em suas congêneres Federações Estaduais. Tais entidades vêm recebendo, através do sistema S (Senai, Sesc, Sesi, Sebrae, Senac, Senat), um percentual sobre as folhas salariais dos funcionários das empresas, relacionadas a cada segmento e captadas através das guias de recolhimento do INSS.

Entende-se que o processo de desenvolvimento de PD&I do país deve passar por uma estrutura setorial, para que características e especificidades de cada setor econômico possam ter um acompanhamento científico e tecnológico adequado à competitividade internacional e o desenvolvimento humano de cada segmento receba *inputs* da massa crítica de empresas e entidades que o compõem. Esta dupla missão do desenvolvimento setorial (a científica e tecnológica, dos processos operacionais; e a da gestão das pessoas) é imprescindível ao acompanhamento da evolução competitiva.

A atual estrutura empresarial é considerada defasada no século XXI, por permanecer num sistema fechado. Os recursos pagos pelas empresas que compõem o segmento vão para um único caixa, que administra de forma global todos os recursos, sem possibilitar a cada segmento setorial a definição de sua própria administração. Acredita-se que a descentralização dos recursos poderia propiciar um melhor e mais adequado desenvolvimento de PD&I, com melhor distribuição de informações.

Nesta mesma linha de pensamento, destaca-se o trabalho de LUCCHESI (2007), que, entre os programas sugeridos para a melhoria da inovação, aponta os seguintes:

- Programa 54: Integração empresas/centros de conhecimento
- Programa 55: Extensão tecnológica industrial para MPEs
- Programa 56: Modernização dos centros tecnológicos e focalização nos clientes
- Programa 60: Reformulação do sistema de apoio à inovação

### **3.2. Perspectivas da PaCOS na matriz energética brasileira**

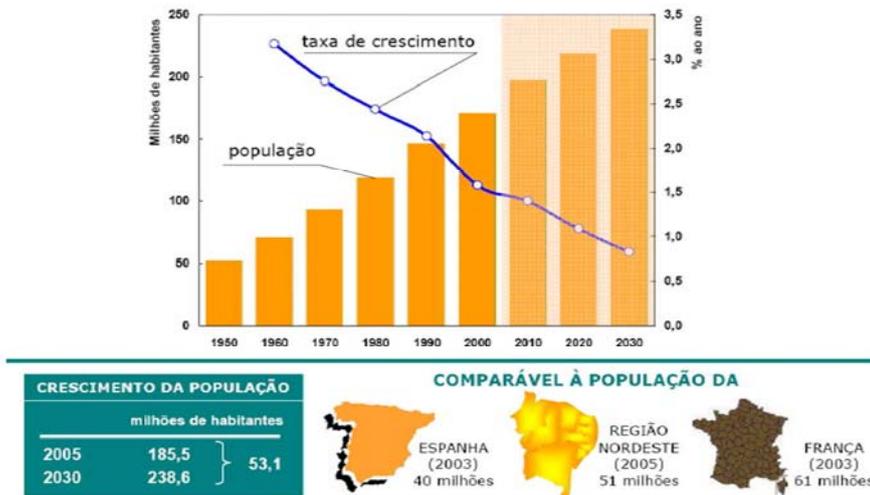
A participação de grandes hidrelétricas na geração e fornecimento de energia elétrica possui uma significativa dimensão nacional. Tendo em vista a dificuldade em disponibilizar recursos para o financiamento de grandes obras civis para a construção de novas usinas, o aumento da preocupação com as questões ambientais e os problemas já existentes com relação à equação entre a oferta e a demanda de energia, a busca de mudanças nos vetores da matriz energética brasileira é de grande importância estratégica para o país.

O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), através da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), apresentou no dia 08 de outubro de 2007, no Rio de Janeiro, o Plano Nacional de Energia 2030, que descreve seus cenários de crescimento macroeconômicos e estimativas de consumo e aponta os vetores energéticos mais importantes para a geração de energia elétrica até 2030. As informações apresentadas neste Plano servirão de base para a discussão sobre a forma como está representada a matriz energética do Brasil e as perspectivas de fontes alternativas de geração de energia elétrica até 2030

Do referido estudo, selecionam-se alguns dados que acredita-se sejam relevantes para os objetivos do presente trabalho:

- Enquanto o crescimento econômico médio mundial durante o período compreendido entre 1970 e 2005 foi de 3,7%, no Brasil este crescimento foi de 4%. Os setores que absorveram este crescimento foram: Agricultura = 4,2%; Serviços= 4,2%; Industrial = 3,7%.
- A tendência da taxa de crescimento demográfico no Brasil apresenta uma queda vertiginosa: de 3% em 1960 para 0,8% em 2030. A população brasileira passará de 185,5 milhões de pessoas em 2005 para 238,6 milhões de pessoas em 2030, um acréscimo de 53,1 milhões de pessoas, conforme mostrado na figura 11.

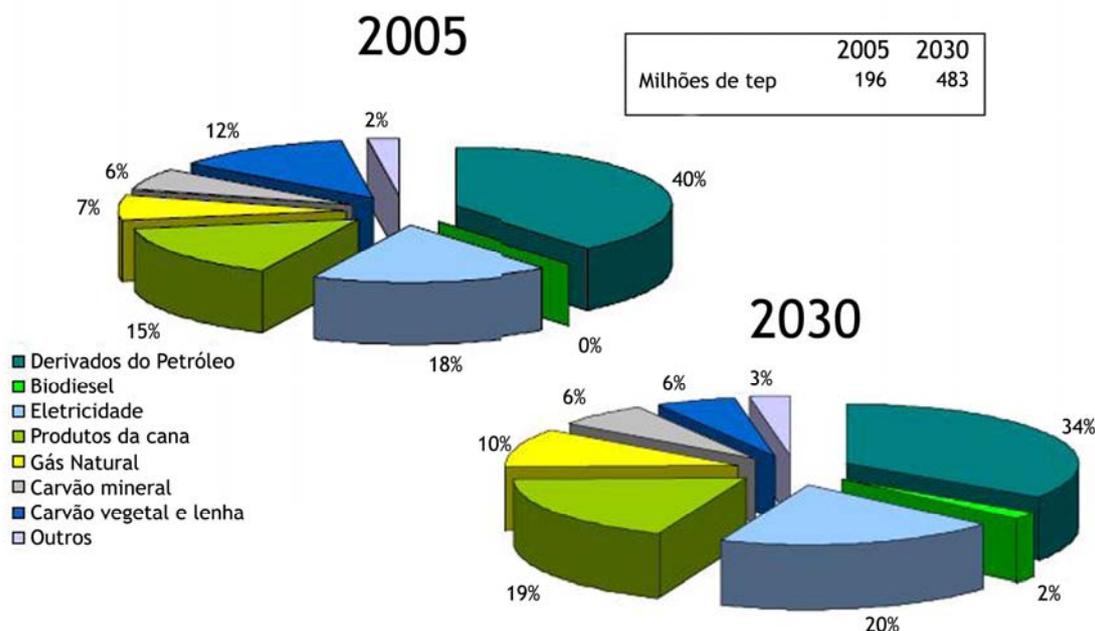
**Figura 11 – Crescimento da população**



Extraído de CNPE (2007)

- Esse acréscimo demográfico fará com que o Brasil passe seu consumo dos atuais 202,90 milhões de tPE (toneladas de petróleo equivalentes) em 2007 para 482,8 milhões de tPE em 2030. Conseqüentemente, o crescimento de consumo verificado entre 1970-2005 passará de 3,3% ao ano para 3,7% ao ano entre 2005 e 2030.
- Analisando-se e comparando-se o consumo final energético em 2005 e 2030, a estrutura por fonte apresentava as seguintes participações em 2005: derivados de petróleo= 40%; eletricidade= 18%; produtos de cana =15%; carvão vegetal e lenha = 12%; gás natural =7%; carvão mineral = 6%; outras fontes alternativas =2%. O cenário para 2030 apresenta modificações percentuais: derivados de petróleo caem de 40% para 34%; eletricidade cresce de 18% para 20%; produtos de cana crescem de 15% para 19%; carvão vegetal e lenha caem de 12% para 6%; gás natural cresce de 7% para 10%; carvão mineral permanece estável com 6%; energias alternativas crescem de 2% para 3%. A comparação é representada na figura 12.

**Figura 12** – Estrutura por fonte no consumo final energético em 2005 e 2030



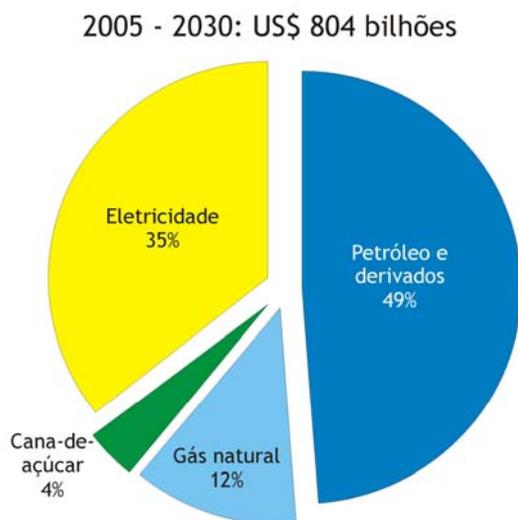
Extraído de EPE (In CNPE 2007)

Como fatores importantes, destacam-se o crescimento do gás natural e das energias alternativas em quase 50% e a diminuição do carvão vegetal e lenha também em 50%, o que vem demonstrar a tendência crescente de ações energéticas inovadoras, em função da preocupação com a emissão de gases do efeito estufa. Outros fatores importantes a serem analisados são:

- Aumento considerável da participação do consumo de biodiesel – de 6% em 2010 para 12% em 2030;
- Aumento de produção do gás natural de 50 milhões de metros cúbicos em 2005 para 250 bilhões de metros cúbicos em 2030;
- Expansão da produção da biomassa de cana de 431 milhões de ton/ano para 1.140 milhões de ton/ano em 2030;
- Aumento de produção de etanol de 16 bilhões de litros/ano em 2005 para 66,6 bilhões de litros/ano em 2030;
- Aumento da projeção de consumo total de eletricidade de 375,2 TWh em 2005 para 1086 TWh em 2030, o que equivale a um crescimento de 4,3% ao ano de 2005 até 2030;

- Na expansão da geração de eletricidade, chamam atenção as tendências apontadas para composição do parque das fontes alternativas em 2030 dos seguintes setores específicos: centrais de biomassa, com participação de 23%, passando de 56MW em 2005 para 6571 MW em 2030 (acréscimo de 6515 MW); centrais eólicas, que em 2005 participaram com 29 MW e passarão para 4682 MW em 2030 (acréscimo de 4653 MW).
- Os investimentos que serão realizados no setor energético brasileiro no período 2005-2030 atingirão o valor de US\$ 804 bilhões, distribuídos pelas fontes discriminadas na figura 13. Observa-se uma participação crescente e significativa do gás natural e cana de açúcar (etanol)

**Figura 13** – Investimentos no setor energético



Extraído de EPE. In: CNPE (2007)

Dos dados apresentados acima, depreendem-se conclusões importantes para o desenvolvimento da PaCOS de até 2kWe no Brasil:

- Haverá um crescimento significativo do consumo de energia elétrica no período 2005-2030, o que poderá permitir a inclusão da PaCOS como participante deste mercado.
- Haverá aumento da diversificação da matriz energética brasileira, principalmente no que se refere à cana de açúcar e ao gás natural. Tal fato possibilitará a canalização

dos estudos de desenvolvimento da PaCOS de até 2kWe alimentada por gás natural ou etanol, o que viria contribuir com esforços governamentais nestes setores.

- O crescimento de energia elétrica e a redução da participação da hidroeletricidade abrem oportunidades para fontes alternativas de geração de eletricidade e para a diversificação da matriz energética brasileira, principalmente se suas fontes de alimentação forem baseadas no gás natural e no etanol – caso da PaCOS.

Um dos principais desafios estratégicos para o setor é diminuir a dependência em relação à energia elétrica de origem hídrica, através do aumento da geração termelétrica, principalmente aquela baseada na utilização do gás natural como fonte primária. Outro deles seria a aproximação do parque gerador em relação aos centros consumidores. Esses benefícios podem ser alcançados e potencializados através da geração de energia elétrica e de energia térmica nas aplicações estacionárias com o uso de pilhas a combustível alimentadas com gás natural, ou etanol.

A maior eficiência e a possibilidade de diversificar a matriz energética brasileira são excelentes motivos para o investimento na produção de pilhas a combustível no Brasil. Soma-se a eles a carência ainda grande de fornecimento de energia elétrica a milhões de domicílios brasileiros. Uma das metas estabelecidas pelo governo federal é levar energia elétrica a quase 2,5 milhões de domicílios ainda não atendidos, através do programa Luz para Todos.

### **3.2.1. O hidrogênio como futuro vetor energético**

NEGRO (2004) cita diversos estudiosos que têm apontado a inadequação do sistema energético atual em relação à dependência dos combustíveis fósseis, à sua finitude, à poluição do ar e à falta de tecnologias para o tratamento dos resíduos nucleares, entre outros. Segundo aponta o autor, o aumento da demanda de energia suscita a busca por novas formas de produção e distribuição e as pilhas a combustível poderão se transformar num dos conversores energéticos comuns no futuro, podendo ser aplicadas em mercados de sistemas estacionários, automotivos e equipamentos portáteis.

Mas uma transformação desse quilate requer tempo, mobilização de instituições públicas e privadas, troca de conhecimentos entre os centros de geração de pesquisas e

os setores produtivos e muito investimento. No artigo de McDOWALL *et al.*(2006), os autores já descrevem em seus artigos um cenário de longo prazo (próximos 50 anos) do sistema global de energia com base no hidrogênio. Segundo esses autores, o hidrogênio terá um papel-chave na transição de longo prazo como vetor energético limpo e sustentável.

GREESPAN (2008) relata que “a aplicação prática de novas idéias demora algum tempo e não raro só depois de algumas décadas seus efeitos se manifestam nos níveis de produtividade” (p. 460). Ele cita o artigo do professor Paul David (1989), que observou que “demorava décadas para que uma nova invenção se difundisse de maneira bastante ampla, de modo a afetar os níveis de produtividade” (p. 460). Como exemplo, cita a experiência dos Estados Unidos com a substituição gradual da máquina a vapor pelo motor elétrico: “Depois da espetacular iluminação do Baixo Manhattan por Thomas Edison, em 1882, levou quatro décadas para que apenas metade das fábricas do país já estivesse eletrificada” (p.461).

O hidrogênio tem grandes perspectivas de se transformar num dos principais vetores energéticos do século XXI, mas esta tendência otimista, no entanto, só será concretizada se houver uma potencialização da interatividade de conhecimentos da “inteligência coletiva”, como assim denominam CAVALCANTI e NEPOMUCENO (2007), com o objetivo de transformar os grandes desafios técnicos, econômicos, ambientais, jurídicos e sociais em soluções práticas e aplicáveis a todas as sociedades.

Pensando nestes desafios, BARRETO *et al.* (2003) mostram as diversas fases necessárias à introdução de uma “economia do hidrogênio” no sistema econômico atual. Para os autores, no início, o hidrogênio poderia ser produzido a partir dos atuais combustíveis fósseis e, num estágio posterior, o sistema de produção poderia evoluir na direção de recursos renováveis, transformando o hidrogênio em importante moeda de troca energética a nível global.

Os autores apresentam um grande número de estudos que têm analisado as perspectivas e possíveis estratégias para a transição em direção a um sistema energético baseado no hidrogênio. Nesse sentido, trazem excelentes subsídios para o desenvolvimento de novos produtos provenientes das tecnologias emergentes do hidrogênio, mostrando estudos de viabilidades de um modelo de compartilhamento de

conhecimentos de diversos segmentos interdisciplinares – similar ao que aqui se propõe para a formação de um espaço agregador da PaCOS. O posicionamento de todas as partes que integram o todo das empresas, das entidades de pesquisas e instituições governamentais responsáveis pelas políticas públicas no desenho do papel das tecnologias do hidrogênio num cenário futuro de desenvolvimento energético, econômico e ambiental é o grande desafio a ser enfrentado.

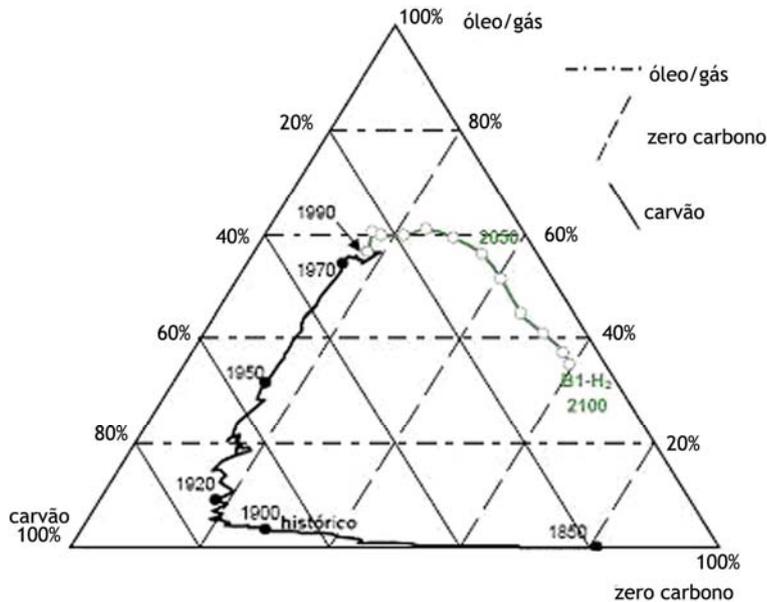
Uma das metas da presente tese é provar que novas tecnologias e inovações são reconhecidas como instrumentos essenciais para alcançar maior competitividade entre as nações e são objetivos de segurança energética e de sustentabilidade, desempenhando, deste modo, importante papel nas estratégias de PD&I dos países em desenvolvimento. Alianças público-privadas, junto à colaboração internacional e a políticas coordenadas de tecnologia ajudam a repartir os custos e superar os riscos no desenvolvimento de tecnologias inovadoras ainda fluidas. A promoção de cooperação internacional e a introdução de mecanismos de incentivo permitem o desenvolvimento e difusão de tecnologias mais limpas ambientalmente e mais eficientes energeticamente. Os esquemas de cooperação permitem o desenvolvimento da capacidade local e a bem-sucedida transferência de tecnologia para regiões em desenvolvimento, o que lhes possibilita grandes vantagens econômicas.

Como exemplo de aplicabilidade e visão futura, o artigo de BARRETO *et al* apresenta um estudo da Tokyo Electric Power Company (TEPCO) para examinar perspectivas futuras das pilhas a combustível no mercado. O cenário, denominado B1-H<sub>2</sub>, ilustra o papel central do hidrogênio numa transição de longo prazo em direção a um futuro energético sustentável. As tecnologias do hidrogênio experimentam comportamento de melhorias de custos e estão aptas a se difundir extensivamente. A infra-estrutura de produção e distribuição emerge. O sistema de produção global do hidrogênio, inicialmente baseado em combustíveis fósseis, progressivamente se volta para recursos renováveis (solar, eólica para eletrólise da água). Pilhas a combustível e outras tecnologias de uso do hidrogênio têm um papel importante na transformação substancial em direção a um sistema de energia mais flexível, menos vulnerável e que atenda às necessidades energéticas de um modo mais limpo de CO<sub>2</sub>, mais eficiente, mas inicialmente mais oneroso. Essa profunda transformação do sistema de energia global traz substanciais incrementos em intensidade energética e uma acelerada

descarbonização do mix de energia, resultando em impactos climáticos relativamente baixos, conforme mostrado na figura 14, desde que esteja condicionada à obtenção de hidrogênio sem queima de material carbonoso, incluindo biomassa.

Acrescenta-se neste item uma reflexão do professor TSUNEHARU (em sala de aula) que questiona se os terremotos, erupções vulcânicas e maremotos têm alguma coisa a ver com o aquecimento global. Acrescenta TSUNEHARU que aparentemente não, mas que isto pode ser enganoso. Explica que quando se extrai minérios, petróleo e gás a partir da crosta terrestre, sobretudo das profundezas, a crosta se movimenta para acomodar-se numa melhor distribuição de peso (pressão e densidade, ou massa específica) e estas acomodações impactam líquidos. Quanto maior a extração de petróleo e gás das profundezas maiores acomodações são necessárias. (TSUNEHARU, em 30/05/2008. COPPE)

**Figura 14** - Participações globais no uso da energia primária



Adaptado de BARRETO et al. (2003, p.2)

O gráfico mostra as participações globais no uso da energia primária: carvão, óleo/gás e energia não fóssil, ilustrado com um "triângulo de energia" (em percentuais). Os percentuais constantes de carvão, óleo/gás e energias não-fósseis (0 carbono) são denotados por suas respectivas linhas isométricas. A marca histórica de 1850 a 1990 é baseada em NAKICENOVIC *et al.* (1998). O desenvolvimento no cenário B1-H<sub>2</sub> é mostrado para os anos de 1990 a 2100 (passos de dez anos).

Em particular, a emergência das pilhas a combustível para geração de energia distribuída pode alterar fundamentalmente a estrutura dos negócios de geração de energia e distribuição, em direção à criação de novos produtos e valores, padrões de serviços, sociedades inovadoras etc. As pilhas a combustível têm um potencial significativo para se tornar um importante elemento no leque de opções para o atendimento às crescentes demandas por energia, e ao mesmo tempo garantir padrões de qualidade e confiabilidade, eliminando obstáculos ambientais, dependendo de onde é retirado o hidrogênio.

McDOWALL e EAMES (2006), por sua vez, abordam os métodos utilizados para enfrentar as incertezas comuns às áreas que necessitam de previsões e horizontes muito

longos, como as políticas energéticas e de transporte. A pesquisa sobre o futuro da energia do hidrogênio não é uma exceção. Estudos como estes podem ter um importante papel no desenvolvimento de visões do futuro, criando fortes expectativas do potencial de tecnologias emergentes e mobilizando recursos necessários para sua realização.

Os autores apresentam uma revisão bibliográfica do futuro do hidrogênio, usando seis conjuntos de tipologias para mapear o estado da arte da construção do cenário. O estudo explora as expectativas incorporadas na literatura através de respostas às questões acerca do futuro do hidrogênio: Quais são os vetores diretores, as barreiras e desafios para o desenvolvimento da economia do hidrogênio? Quais são os elementos-chave tecnológicos para a construção desta arquitetura requerida? Em que tipos de cenários futuros o hidrogênio pode se tornar importante? Em que a economia do hidrogênio se assemelha, como e quando ela vai se desenvolver, e como ela se realiza?

Segundo os autores, a literatura descreve diversos cenários possíveis, partindo desde sistemas reusáveis descentralizados, baseados em pequena escala, até sistemas centralizados apoiados na energia nuclear ou seqüestro de carbono. Existe um consenso de que a economia do hidrogênio emergirá vagarosamente se estiver inserida em todos os cenários de negócios como utilitária. Transições rápidas para o hidrogênio ocorrerão somente sob forte suporte governamental, combinado com mudanças comportamentais na sociedade pelos valores ambientais, ou pelo crescente aumento nos preços do petróleo e mudanças intensas no clima.

O objetivo do trabalho de McDOWALL e EAMES (2006) é apresentar e capturar a diversidade de correntes da literatura, identificando grupos de estudos e caracterizando-os pelas questões apontadas, como eles conseguiram reuni-las, que perspectivas têm do futuro e das mudanças tecnológicas, e acima de tudo, qual a escala de tempo em que cada tipo de estudo tende a operar.

A revisão metodológica adotada pela dupla partiu de estudos identificados e pesquisados em informativos contendo banco de dados, e em pesquisas na internet contendo as palavras-chave hidrogênio ou pilhas a combustível, economia, cenário, futuros, diagnóstico, caminho, previsão, visão. Os estudos incluídos foram os que descreviam o desenvolvimento do hidrogênio ou da pilha a combustível, ou a estratégia ou diagnóstico de desenvolvimento. Foram focados estudos relevantes realizados na

Inglaterra, Canadá e na Austrália, com revisão de 40 estudos publicados entre 1996 e 2004. Destes, 11 tiveram foco sobre o hidrogênio ou pilha a combustível em transporte rodoviário, e uma grande maioria deu ênfase a aplicações estacionárias de pilhas a combustível. Todos os estudos foram analisados em relação a um tipo padrão, para assegurar que os elementos de cada um deles fossem comparados de maneira rigorosa e eficiente.

### **3.2.2. Pilhas a Combustível (PaC)**

As pilhas a combustível são dispositivos eletroquímicos que realizam a conversão de energia gerada por uma reação eletroquímica em energia elétrica. Trata-se de um método altamente eficiente de geração de eletricidade e de calor. Os combustíveis mais utilizados são o hidrogênio e substâncias que contenham hidrogênio, como gás natural, hidrocarbonetos, etanol, metanol e biogás.

O grande atrativo desse dispositivo eletroquímico é a alta eficiência de conversão de energia, medida pelo quociente energia elétrica gerada/gás combustível. Por converter energia química diretamente em elétrica, sua eficiência não está sujeita às limitações de processos de outras fontes de energia, tais como as fósseis (altas perdas no processamento), das marés, solar e a eólica (irregularidades na geração, pelo fato de a fonte energética ser irregular).

As pilhas a combustível encontraram suas primeiras aplicações nos anos 60, com o advento do programa espacial Apolo, o que provocou significativos avanços tecnológicos. Estes avanços tiveram grande receptividade particularmente no setor automobilístico. A indústria automotiva, que tem procurado se adaptar às crescentes e severas normas de controle da poluição, está muito interessada nas pilhas a combustível para suprir a demanda de energia elétrica de motor tracionário elétrico como um potencial substituto do motor de combustão interna, que tem dominado a propulsão automotiva por mais de um século. (O motor a gasolina foi inventado por Damler Benz, na Alemanha em 1885; e o motor diesel por Rudolf Diesel, também na Alemanha em 1892)

Embora AVADIKYAN *et al.* (2003) defendam que o grande impacto da tecnologia das pilhas a combustível está centrada na área automobilística – RYFKIN

(2003) também assinala este fato –, e que haverá reflexos em diversas outras áreas derivadas, verifica-se hoje um forte redirecionamento nesta abordagem, como foi verificada por MIRANDA, em simpósio do IPHE para as aplicações estacionárias e móveis também. O interesse neste texto concentra-se nos dados de estimativa de custos para o desenvolvimento de mudanças do sistema tradicional para as pilhas a combustível.

As pilhas a combustível podem funcionar conectadas à rede elétrica, gerando energia para o sistema, como geração distribuída (GD)<sup>6</sup> ou como sistema auxiliar para manter a continuidade do suprimento e qualidade de confiabilidade dos serviços. O funcionamento silencioso das pilhas a combustível permite reduzir a contaminação acústica. Além disso, elas não produzem emissões contaminantes e sua capacidade de entrar em operação em tempos curtos permite que sejam utilizadas em numerosas necessidades, com vantagens sobre as opções atuais. Por outro lado, o calor produzido durante sua operação permite sua utilização para produzir água quente, calefação, ou geração de frio mediante máquinas de absorção de duplo efeito. A estes sistemas baseados na produção combinada de calor, eletricidade e/ou frio definimos como co-geração (CG)<sup>7</sup>. Essas possibilidades aumentam a eficiência global dos processos e de seu balanço energético, com melhorias de aproximadamente 30% nos valores da eficiência energética.

As aplicações de geração distribuída se baseiam em instalações modulares projetadas de acordo com as necessidades de energia de cada ponto de consumo. Podem funcionar em locais remotos, para aplicações não conectadas à rede de distribuição, em áreas onde não é possível a instalação de redes elétricas, em áreas não rentáveis ou com opção de conectar-se à rede.

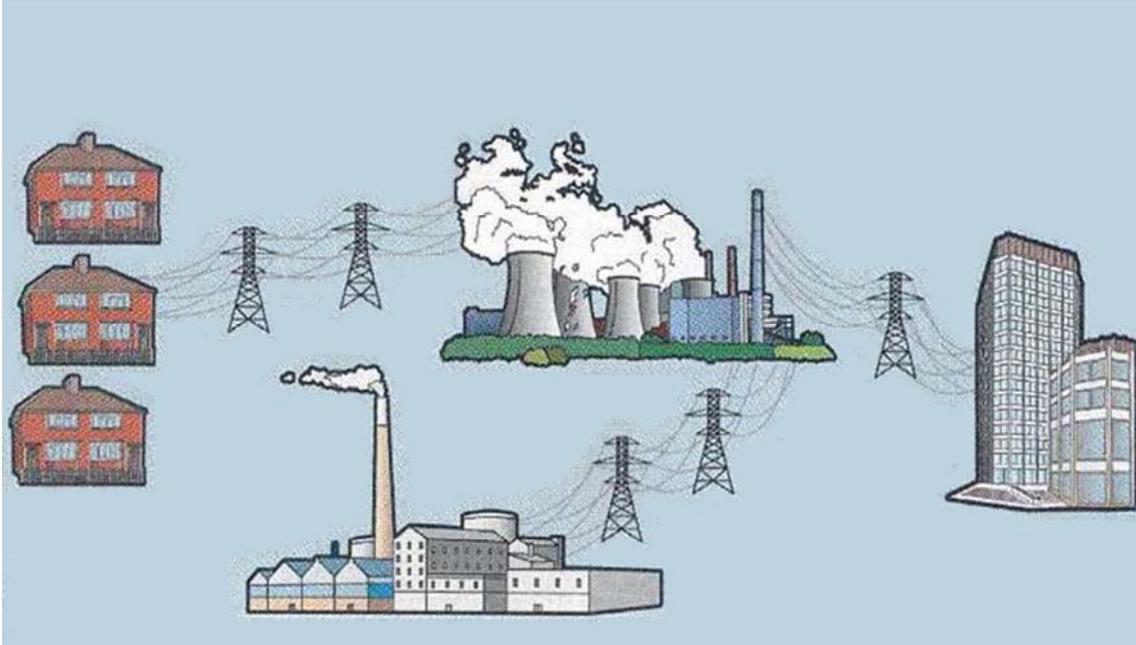
---

<sup>6</sup> Geração distribuída é a denominação dada à geração de energia elétrica junto ou próximo aos central consumidores, em geral constituídos por pequenas ou médias unidades geradoras.

<sup>7</sup> A co-geração (CG) pode ser considerada uma forma particular de geração distribuída na qual a geração de energia elétrica está associada a outras formas de utilização de energia de uma fonte primária.

Abaixo apresentam-se esquematicamente os diagramas de um sistema elétrico convencional (figura 14) e de um sistema com geração distribuída (GD) e co-geração (CG) (figura 15), para o dimensionamento de suas diferenças tecnológicas.

**Figura 14** – Diagrama de um sistema elétrico convencional



Extraído de The Economist – ABB. (In FALCÃO. s.d.)

**Figura 15** – Diagrama do sistema com geração distribuída (GD) e co-geração (CG)



Adaptado de The Economist – ABB. (In FALCÃO. s.d.)

Os principais componentes de uma pilha a combustível (PaC) são:

- Anodo – eletrodo onde se dá a oxidação do combustível e que conduz elétrons ao circuito externo;
- Catodo – eletrodo onde se dá a redução do oxidante e que recebe elétrons do circuito externo;
- Eletrólito – elemento de ligação dos eletrodos que transporta uma das espécies iônicas e previne a condução dos elétrons entre os eletrodos.

O funcionamento consiste em separarem-se dois eletrodos (anodo e catodo) e expô-los a um combustível (hidrogênio) e a um oxidante (oxigênio). Os eletrodos devem ter permeabilidade ao gás ou líquido a ser utilizado, ou seja, ter uma estrutura porosa, uma vez que a corrente elétrica gerada pela pilha é proporcional à área útil dos eletrodos. A difusão do gás na estrutura porosa dos eletrodos é complexa e requer considerável otimização para aplicação prática.

O tipo de combustível depende também do anodo. Algumas pilhas necessitam do hidrogênio puro e exigem conseqüentemente equipamento extra, tal como um reformador de combustível. Outras pilhas podem tolerar algumas impurezas, mas necessitam de altas temperaturas para funcionar eficientemente. O tipo de eletrólito dita também a temperatura de operação da pilha.

Em termos gerais, os átomos de hidrogênio são ionizados em prótons que carregam uma carga elétrica positiva. Os elétrons negativamente carregados fornecem a corrente elétrica, que circula através de condutores externos para produzir trabalho. Se a corrente alternada for necessária, a saída de corrente contínua da pilha a combustível deve ser distribuída através de um dispositivo de conversão chamado inversor. O eletrólito exerce um papel-chave. Deve permitir que somente os íons apropriados passem entre o anodo e o catodo. Se os elétrons livres ou outras substâncias percolarem o eletrólito, a reação química pode ser interrompida ou uma queda de rendimento na geração de tensão é verificada.

O desempenho satisfatório das PaCs depende, fundamentalmente, das seguintes características:

- Criação de interfaces entre três fases (reagentes gasosos, eletrólito e catalisadores) nos eletrodos;
- Alta porosidade nos eletrodos, para permitir a permeação dos gases até a interface com o eletrólito;
- Propriedades eletrocatalíticas para acelerar as reações eletroquímicas.

### **3.2.3. Pilha a Combustível de Óxido Sólido (PaCOS)**

Dentre os diversos tipos de pilhas existentes, a pilha a combustível de oxido sólido (PaCOS) surge como uma opção inovadora, como citam WEN *et al.* (2002). A possibilidade de produção de energia elétrica de forma não poluente e descentralizada possibilitará o estabelecimento de grande vantagem econômica para os países detentores desta tecnologia. Por isso, o desenvolvimento da PaCOS vem sendo abordado como assunto estratégico por diversos países desenvolvidos (EUA, Alemanha, Inglaterra, Japão etc.), onde investimentos maciços (financeiros e na formação de mão-de-obra qualificada) estão sendo realizados.

A PaCOS faz uso de compostos de elevada dureza, tais como óxidos cerâmicos de metal (como o níquel ou o zircônio). Sua eficiência energética é de aproximadamente 60% e a temperatura de operação hoje, está entre 800°C e 1000°C, gerando uma saída de até 100 kWh. Nesta temperatura, não é requerida reforma para a extração do hidrogênio do combustível e o calor produzido pode ser aproveitado para geração adicional de energia. As limitações desta tecnologia estão na alta temperatura de operação e na possibilidade de ocorrência de rachaduras nos componentes (WEBER, 2004).

Em relação a outros tipos de pilhas a combustível, a PaCOS oferece melhores perspectivas de eficiência elétrica e maior aproveitamento do rejeito térmico. Para que essas perspectivas se tornem realidade, no entanto, é necessário superar o gargalo

tecnológico do desenvolvimento de materiais que apresentem elevado desempenho e vida útil adequada sob as condições de funcionamento.

Em linhas gerais, as PaCOS possuem uma eficiência teórica total (considerando também o aproveitamento do rejeito térmico) em torno de 80%. Além da maior eficiência, as PaCOS têm outras vantagens sobre processos convencionais de geração de energia, como: alta confiabilidade; baixo ou nenhum nível de emissão; baixo impacto ambiental; versatilidade de potências (modularidade), podendo variar de menos de 1 kW até centenas de KW, com a junção de sistemas compostos por vários módulos individuais ; possibilidade de utilizar insumos energéticos renováveis; possibilidade de geração descentralizada (geração distribuída), isto é, micro-geração; possibilidade de co-geração, dependendo do tipo de PaCOS; e baixa emissão sonora quando comparada a motores a combustão interna.

Entre os atrativos tecnológicos que as empresas e centros de pesquisa encontram neste tipo específico de pilha destacam-se:

- São tolerantes a diversas fontes de hidrogênio;
- Metais não preciosos são utilizados como catalisadores;
- Não utilizam um meio corrosivo, facilitando o manuseio comparativamente aos demais tipos de pilha.

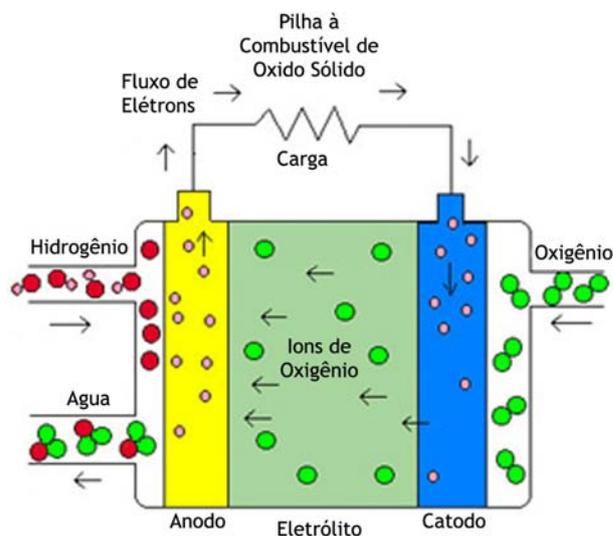
Já os desafios tecnológicos enfrentados pelos setores de P&D dos centros desenvolvedores de tecnologia das empresas e universidades são os seguintes:

- Obtenção de valores apreciáveis de condutividade iônica do eletrólito;
- Menor tolerância a ciclos térmicos;
- Dificuldade na seleção de materiais para suportar a elevada temperatura de operação (faixa entre 800 e 1000° C) e manter estabilidade mecânico-química;
- Alto custo atual, devido, sobretudo, à escala de produção;
- Pouca mão-de-obra qualificada;
- Otimização entre o desempenho elétrico e o termomecânico requerido;

- Minimização de perdas elétricas;
- Desenvolvimento de selo mecânico adequado, com a finalidade de impedir a mistura entre combustível e oxidante;
- Aumento da vida útil do dispositivo.

Os principais componentes de uma PaCOS são apresentados esquematicamente na figura 16:

**Figura 16** - Esquema de funcionamento de uma PaCOS utilizando hidrogênio como combustível



Adaptado de [americanhistory.si.edu/fuelcells/basics.htm](http://americanhistory.si.edu/fuelcells/basics.htm)

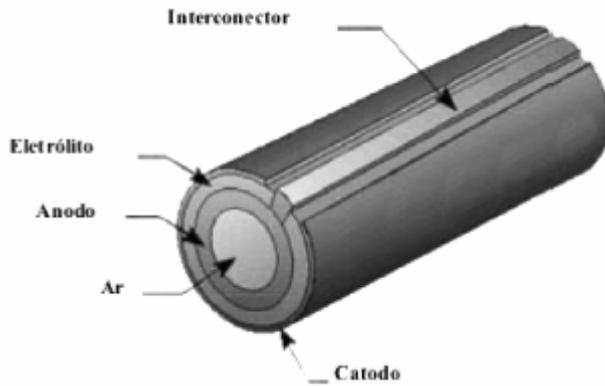
Este tipo de pilha possui três formatos básicos de produto. Os modelos disponíveis no mercado mundial até o presente momento são:

- Tubular;
- Planar circular;
- Planar retangular.

O modelo tubular (figura 17) foi o primeiro modelo de PaCOS, concebido nos anos 60 pela empresa Westinghouse (atual Siemens-Westinghouse). Este modelo já está em operação nos Estados Unidos e testes preliminares indicaram uma vida útil de 15.000 horas em plantas de co-geração de energia de capacidade de 100kW. O formato tubular tem como vantagem uma estrutura vedada que aumenta sua estabilidade,

eliminando a necessidade de um selante. O custo de fabricação deste tipo de pilha, no entanto, torna-se muito elevado.

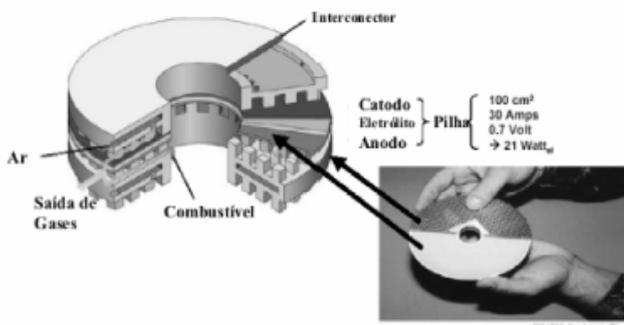
**Figura 17** – Pilha tubular comercializada pela Siemens



Adaptado de WILLIANS,M.C.(2002)

Na década de 90, surgiu o modelo planar circular (figura 18), desenvolvido pela empresa Sulzer-Hexis (*Heat Exchanger Integrated Stack*). Este modelo apresenta diversas vantagens, pois pode ser utilizado para pequenas plantas de co-geração de energia. O interconector serve como trocador de calor e ao mesmo tempo como um coletor de corrente. O custo de fabricação, contudo, é elevado em virtude da geometria circular, que causa dificuldades na execução dos processos de fabricação necessários.(SINGHAL & KENDALL, 2003,p.44)

**Figura 18** – Pilha planar circular



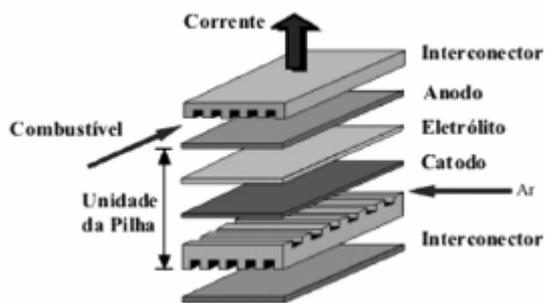
Adaptado de WILLIANS,M.C.(2002)

A preferência das empresas e centros de tecnologia é pelo tipo planar retangular (figura 19). As justificativas são meramente econômicas. Segundo DOKIYA (2002),

entre os três tipos é o que apresenta os menores custos, apesar das seguintes desvantagens:

- Maior ocorrência de trincas;
- A diferença do coeficiente de expansão térmica na região dos interconectores provoca problemas de vedação.

**Figura 19** – Pilha planar retangular



Adaptado de MIRANDA, *et al* [In TOLMASQUIM] p.444

As PaCOS podem ainda ser classificadas em função da temperatura, subdividindo-se em:

- Pilhas de alta temperatura (acima de 800° C);
- Pilhas de baixa temperatura (abaixo de 800° C).

As pilhas de alta temperatura ( $T > 800^{\circ}\text{C}$ ) são utilizadas para aumentar a eficiência elétrica em plantas de turbinas a gás e têm sido testadas em países como Estados Unidos, Austrália, Alemanha, França, Itália, Inglaterra, Japão, Coréia, China e Canadá (KHANDKAR, A. *et al.* 2000). Já as pilhas de baixa temperatura ( $T < 800^{\circ}\text{C}$ ) estão ainda em fase de desenvolvimento, com etapas bem-sucedidas em projetos ao redor do mundo, e destacam-se por:

- Menor custo;
- Maior estabilidade e durabilidade;
- Permitirem a utilização de interconectores de menor resistência elétrica. (SINGHAL.2000)

O sistema de alimentação de combustível da PaCOS pode ser considerado também uma forma de classificação, pois apenas na montagem da pilha é observada a diferença. Existem outras formas de classificação como:

a) pelo tipo de configuração, podendo ser:

- Tipo bi-câmara;
- Tipo monocâmara.

O tipo bi-câmara é a mais desenvolvida e usada atualmente, e consiste em duas câmaras separadas fisicamente por um eletrólito impermeável a gases, cada uma delas contendo um dos eletrodos (catodo ou anodo). O princípio de funcionamento desse tipo é baseado na alimentação separada de combustível e ar para o anodo e o catodo. Já o tipo monocâmara,(ainda em fase de relatórios não concluídos), consiste em uma câmara única, onde o anodo e o catodo são expostos à mesma mistura de combustível e ar, e

b) pelo tipo de suporte, podendo ser:

- as suportadas pelo eletrólito- as mais convencionais;
- as suportadas pelo anodo- as mais atuais;
- as suportadas pelo catodo- as menos usadas.

São apresentadas, a seguir, fichas técnicas com as características físicas e químicas fundamentais dos materiais-padrão utilizados nos elementos básicos da célula unitária PaCOS.

### **3.2.3.1 Anodo**

Anodo é a interface entre o combustível e o eletrólito. É a região redutora, onde ocorre a oxidação do combustível – que no caso da PaCOS permite flexibilidade para seleção de diversos combustíveis e possibilita a co-geração e a realização da reforma interna de combustíveis. (MIRANDA, et al. In TOLMASQUIM, p.442) O eletrodo anódico deve ser resistente à atmosfera redutora à qual é submetido. Ele também deve ser poroso o suficiente para permitir o transporte do combustível. O material a ser utilizado no anodo da PaCOS está diretamente relacionado ao combustível, embora suas

características operacionais permitam tolerâncias às impurezas em combustíveis alternativos. (SINGHAL,2000)

A razão desta maior flexibilidade aos diferentes combustíveis provém de sua alta temperatura de operação (800 a 1000<sup>0</sup>C), o que acelera as taxas da reação do eletrodo. Entretanto, a temperatura de operação elevada cria tensões térmicas durante o ciclo operacional e faz com que a escolha dos materiais empregados seja restrita a um universo pequeno de cerâmicas avançadas e ligas especiais.(MIRANDA, *et al* [In TOLMASQUIM, p.443]

A tendência de pesquisa dos centros desenvolvedores desta tecnologia está concentrada na busca por materiais que permitam a redução da temperatura de operação para 600 a 700<sup>0</sup>C.

Os eletrodos anódicos devem possuir as seguintes características:

- Estabilidade física e química sob uma atmosfera redutora a elevadas temperaturas;
- Ser condutores eletrônicos e iônicos; (MINHN,1993)
- Ter porosidade de 20–40% para permitir o transporte do combustível até a interface eletrólito/eletrodo e o transporte dos produtos da oxidação do combustível para fora do eletrodo (GORTE, R, *et al.* 2003);
- Alta atividade catalítica, visando promover a reação do combustível com íons do oxigênio;
- Coeficiente de expansão térmica compatível com o do eletrólito, impedindo que o eletrodo se desprenda;
- Baixa resistência de polarização;
- Resistência à corrosão do combustível e impurezas (FLÓRIO *et al.*, 2004).

As propriedades catalíticas do anodo à reação da oxidação do combustível são também importantes devido à diminuição da temperatura de operação. Devido à atmosfera redutora presente no anodo da pilha é permitido o uso de metais tais como:

- Níquel (Ni);
- Cobalto (Co);
- Platina (Pt);
- Paládio (Pd);
- Rutênio (Ru);
- Titânio (Ti).

O material tradicionalmente utilizado como anodo para a PaCOS alimentada com hidrogênio puro é composto de uma dispersão da mistura cermet<sup>8</sup> de óxido de níquel (NiO) e ZEI (zircônia estabilizada com 8% mol de ítria), sendo 70% de NiO e 30% de ZEI (GORTE, *et al.*, 2003).

### 3.2.3.2. Catodo

Catodo de uma PaCOS é a interface entre o ar (ou oxigênio) e o eletrólito. Suas principais funções são catalisar a reação de redução do oxigênio e conduzir os elétrons do circuito externo até o local da reação de redução (ULMANN, 2000).

O eletrodo catódico em uma PaCOS deve possuir as seguintes características (MINH, 2007; BADWAL, 1997):

- Alta condutividade eletrônica;
- Estabilidade química e estrutural;
- Expansão térmica compatível com o eletrólito;
- Compatibilidade e reatividade mínima com o eletrólito e o interconector;

---

<sup>8</sup> O denominado cermet (derivado de “cerâmica + metal”, sendo a cerâmica representada pela ZEI e o metal representado pelo Ni, originário da redução do NiO) de NiO/ZEI se caracteriza pela existência de um esqueleto de ZEI em volta das partículas de níquel. O conjunto cerâmica/metal possibilita melhor adesão entre o eletrodo e o eletrólito.

- Porosidade suficiente para facilitar o transporte de oxigênio para a fase gasosa na interface eletrodo/eletrólito;
- Baixo custo e facilidade de fabricação.

A natureza do material do eletrodo (composição, estabilidade com relação ao eletrólito, coeficiente de expansão térmica), sua microestrutura e valores de condutividade iônica e eletrônica são critérios de escolha que devem ser considerados na preparação de catodos de alto desempenho para a PaCOS (FLÓRIO, 2003).

Atualmente, a pesquisa em novos materiais catódicos tem como principais objetivos a obtenção de materiais que apresentem alta atividade catalítica a temperaturas intermediárias ( $T < 800^\circ \text{C}$ ) e condutividade elétrica mista (eletrônica e iônica), assim como a otimização da microestrutura do eletrodo e da interface catodo/ eletrólito (TIFÉE *et al.*, 2001).

Os materiais com estrutura da perovskita do tipo  $\text{ABO}_3$  mais utilizados como catodos na PaCOS são cerâmicas à base de manganita de lantânio ( $\text{LaMnO}_3$ ), com substituições dos íons A por Sr. Este material, denominado LSM (manganita dopada com estrôncio), estequiometria  $\text{La}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{MnO}_3$ , preenche a maior parte dos requisitos para utilização como catodo da PaCOS, operando em temperaturas até  $1000^\circ\text{C}$ , com estabilidade em atmosferas oxidantes e em contato com o eletrólito zircônia-ítria.

A  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_{3-\delta}$  tem excelente atividade eletrocatalítica para redução do oxigênio à temperatura elevada e é estável nas condições de operação. Além disso, a incorporação de partículas de zircônia estabilizada com ítria (ZEI) a um eletrodo de LSM aumenta seu desempenho, uma vez que diminui a sobretensão no eletrodo. Este fato torna possível sua aplicação também em pilhas que operam a temperaturas intermediárias (para o caso de temperaturas entre  $650$  e  $800^\circ\text{C}$ ) (TIFÉE *et al.*, 2001).

A dopagem, nesses materiais, é feita com o objetivo de otimizar as propriedades de condução eletrônica e iônica, minimizar a reatividade com o eletrólito (geralmente ZEI) e melhorar a compatibilidade do coeficiente de expansão térmica (CET) com os outros componentes da pilha.

### 3.2.3.3. Eletrólito

Eletrólitos sólidos são compostos nos quais ocorre condução iônica em uma faixa de temperatura e pressão parcial dos elementos que o compõem. Eles desempenham três funções críticas: separar os reagentes; bloquear toda corrente eletrônica para que não flua internamente, sendo forçada a fluir em um circuito externo; e promover a condução de portadores de cargas iônicas, fornecendo uma corrente iônica interna que deve balancear a corrente eletrônica do circuito externo. Encontram aplicação não só em pilhas a combustível, mas também em outros dispositivos eletroquímicos, como sensores, medidores de oxigênio e baterias (FLORIO *et al.*, 2004).

Algumas vantagens dos eletrólitos sólidos sobre os eletrólitos líquidos em dispositivos eletroquímicos são:

- Longa vida útil;
- Operação em largas faixas de temperatura, devido a sua alta estabilidade, principalmente no caso dos cerâmicos;
- Possibilidade de miniaturização e modulação de suas propriedades através de seu processamento, principalmente pela síntese química (MINH, N.1993, GORTE, R. 2004).

Para os eletrólitos sólidos em PaCOS, algumas propriedades e características são destacadas por consideração eletroquímica e pela alta temperatura de operação (FLÓRIO *et al.*, 2004):

- Alta condutividade iônica (maior que  $0,1 \text{ S.cm}^{-1}$  a  $900^{\circ}\text{C}$ );
- Baixo número de transferência eletrônica ( $\leq 10^{-3}$  a  $900^{\circ}\text{C}$ );
- Estabilidade de fase desde a temperatura ambiente até aproximadamente  $1100^{\circ}\text{C}$ ;
- Expansão térmica compatível com a dos demais componentes da célula;

- Compatibilidade química com os materiais de eletrodos e de interconexão e com o oxigênio e o material combustível;
- Impermeabilidade a gases;
- Resistência mecânica a fratura maior que 400 MPa a temperatura ambiente.

A estes requisitos tecnológicos deve-se somar o requisito econômico, ou seja, os custos dos materiais de partida e de fabricação devem ser moderados (FLÓRIO *et al.*, 2004).

Estudos recentes têm procurado desenvolver novos materiais condutores iônicos cerâmicos que possam ser utilizados em temperaturas mais baixas, sem que se observe um aumento muito grande em sua resistência elétrica, o que, no caso das pilhas a combustível de óxido sólido, permitiria um barateamento do produto.

O projeto da PaCOS se baseia no conceito de um eletrólito condutor de íons oxigênio através do qual os íons  $O^{2-}$  migram do catodo (eletrodo do ar) até o anodo (eletrodo do combustível), onde os íons oxigênio reagem com o combustível ( $H_2$ , CO etc.), gerando uma tensão (corrente) elétrica. Os principais condutores de íons de oxigênio, quanto às suas estruturas cristalinas, são (GOODENOUGH, J. 2003):

- estrutura fluorita (à base de zircônia, de céria);
- estrutura relacionada à fluorita, como os compostos pirocloro ( $TR_2B_2O_7$ , TR; metal de terra rara, B: cátion);
- estrutura de fases do tipo Aurivillius (BMVO, B:cátion, por exemplo Bi, M: cátion, por exemplo Cu, Ti);
- estrutura relacionada à perovskita, com fórmula geral  $ABO_3$  (A, B: cátions), por exemplo, titanato de cálcio dopado com alumínio e galato de lantânio dopado com estrôncio e magnésio (LSGM).

A zircônia estabilizada com ítria (8 a 10 mol%) é, até o momento, o eletrólito sólido favorito para aplicação na PaCOS. A formação de solução sólida zircônia-ítria tem dupla função: estabiliza a estrutura cristalina cúbica tipo fluorita e forma **lacunas** de oxigênio em concentrações proporcionais ao teor de ítria. Essas lacunas são responsáveis pela alta condutividade iônica (SINGHAL, S., 2000).

A zircônia estabilizada com ítria tem uma condutividade iônica adequada a temperaturas acima de 800<sup>0</sup>C, desde que membranas finas (espessuras menores que 20 $\mu$ m) e densas possam ser fabricadas. Essas membranas devem ser livres de impurezas e com apropriada concentração de dopante. A zircônia estabilizada é quimicamente inerte aos gases reagentes e à maioria dos materiais dos eletrodos (GOODENOUGH, J., 2003).

Sendo assim, para que o desempenho do eletrólito seja otimizado, não deve apresentar porosidade que o torne permeável a gases e deve ser uniformemente fino para minimizar as perdas ôhmicas. Além das propriedades elétricas, a zircônia estabilizada com ítria apresenta propriedades mecânicas adequadas, que foram extensamente estudadas (FLÓRIO *et al.*, 2004).

No modelo planar da PaCOS, a espessura de 150 $\mu$ m do eletrólito de zircônia-ítria requer uma temperatura de operação de 950<sup>0</sup>C. Altos custos aliados aos requisitos de materiais têm favorecido o desenvolvimento de outros materiais que operem a temperaturas intermediárias ( $\leq 750^{\circ}\text{C}$ ). Para isto é necessário que o eletrólito sólido apresente condutividade iônica mais elevada que a zircônia estabilizada (FLÓRIO *et al.*, 2004).

Eletrólitos baseados em céria (CeO<sub>2</sub>) vêm sendo investigados nos últimos 20 anos, com o objetivo de substituição da zircônia estabilizada. Esses materiais têm se mostrado promissores, uma vez que seu uso permitiria redução da temperatura de operação da pilha, de 1000 °C para temperaturas em torno de 500 °C, o que proporcionaria maior flexibilidade na escolha de materiais para eletrodos e interconectores, reduzindo o custo total das pilhas. A céria, entretanto, ainda se encontra em desenvolvimento como produto (GORTE, 2003).

### 3.2.3.4. Interconector

Interconector ou placa bipolar é o componente da PaCOS que apresenta as maiores exigências. É responsável pela coleta de corrente elétrica na pilha unitária e pela conexão entre as diversas pilhas unitárias em um empilhamento.

Os interconectores devem possuir as seguintes propriedades:

- Alta condutividade eletrônica;
- Estabilidade em atmosferas oxidante e redutora, na temperatura de operação;
- Baixa permeabilidade para oxigênio e hidrogênio, para minimizar a combinação direta do oxidante e combustível durante a operação da pilha;
- Expansão térmica próxima daquela do eletrólito e dos eletrodos e,
- Inércia com os eletrodos, eletrólito e o material de contato elétrico (SINGHAL, 2000).

Os materiais cerâmicos mais usados são as cromitas de lantânio ( $\text{LaCrO}_3$ ) com estrutura tipo perovskita, dopadas com íons de metais alcalinos terrosos – cálcio (Ca), magnésio (Mg) ou estrôncio (Sr).

A literatura também descreve dopagens com íons de metais de transição, como cobalto, cobre, ferro, níquel e vanádio; entretanto, estes dopantes são geralmente utilizados com cálcio e estrôncio, com o objetivo de refinar as propriedades da cromita. Esses materiais possuem uma boa condutividade eletrônica (são condutores do tipo p) e um coeficiente de expansão térmica similar ao da zircônia, mas apresentam alto custo de fabricação e estabilidade química apenas moderada.

Atualmente, o emprego de interconectores de materiais metálicos, como níquel, ligas de cromo ou de ferro ou, ainda, um metal/cermet como o  $\text{CrFe/Y}_2\text{O}_3$ , vem mostrando um melhor desempenho em pilhas a combustível de óxido sólido de temperatura intermediária, especialmente para temperaturas inferiores a  $700^\circ\text{C}$ , onde os problemas de corrosão são minimizados (SINGHAL,2000).

### 3.2.3.5. Selante

Os materiais selantes são responsáveis pela estanqueidade de um empilhamento planar de pilhas unitárias em uma pilha a combustível de óxido sólido. Os requisitos aos quais o selante deve obedecer também são extremamente rigorosos. Para evitar a geração de tensões devido a diferenças de expansão térmica, o selante deve ter valor de coeficiente de expansão térmica próximo dos apresentados pelos demais componentes. A compatibilidade química com os demais componentes e com as espécies gasosas dos compartimentos redutores e oxidantes é muito importante. O selante deve ser um bom isolante elétrico para prevenir curto-circuitos em um empilhamento. Os materiais selantes devem ter ainda baixa pressão de vapor e permanecer estanques aos gases durante a vida útil de uma pilha a combustível de óxido sólido (> 50.000 h) (BADWAL,S. et al. 1997).

Vidros e vitrocerâmicas têm sido propostos como materiais selantes para pilha a combustível de óxido sólido. Estes materiais devem possuir temperatura de transição vítrea mais baixa possível para evitar tensões devidas às diferenças de valores do coeficiente de expansão térmica. Entretanto, a viscosidade destes materiais na temperatura de operação deve ser maior que  $10^3$  Pa.s para permanecerem estanques. Os materiais comumente citados são à base de vidros soda-cálcia, de outros silicatos alcalinos, de silicatos alcalinos terrosos e de borosilicatos alcalinos (LEY,K *et al.* 1996).

A principal vantagem dos materiais selantes vítreos é que a composição do vidro pode ser controlada para otimizar as propriedades do material. Entretanto, alguns problemas são associados aos vidros, como sua natureza frágil e a reatividade com os demais componentes nas condições de operação (principalmente elevadas temperaturas) da PaCOS. Sistemas vítreo-cerâmicos destes tipos são estudados em função da composição química, incluindo dopagem, rotas de processamento químico e tratamentos térmicos, de forma a otimizar formulações vítro-cerâmicas para utilização como selante de PaCOS (FLÓRIO *et al.*, 2004).

Os principais requisitos técnicos que o material do selante da PaCOS deve possuir para trabalhar a temperaturas de 600 a 1000 °C são os seguintes:

- Estanqueidade frente aos gases que intervêm no funcionamento da pilha durante seu aquecimento e operação. As fugas provocam um notável decréscimo da eficiência da transformação e originam tensões mecânicas;
- Coeficiente de expansão térmica compatível com os materiais da pilha a selar, preferencialmente com o interconector, para evitar tensões que conduziriam à ruptura do selante;
- Viscosidade adequada durante o processo de aquecimento e funcionamento da pilha. O material selante deve ser suficientemente fluido para selar e ao mesmo tempo relaxar as tensões produzidas pela incompatibilidade entre os coeficientes de expansão térmica dos materiais. Ainda que para a realização da soldadura se possam utilizar viscosidades tão baixas como  $10^4$  dPa.s, com objetivo de evitar uma elevada reatividade com os componentes da pilha, o intervalo adequado de viscosidades para conseguir uma boa selagem corresponde ao intervalo viscoplástico do vidro, entre  $10^6 - 10^9$  dPa.s. Ao mesmo tempo, o material de selagem deve ser bastante viscoso à temperatura de trabalho e apresentar uma boa resistência frente às sobretensões que se geram durante o funcionamento da pilha. Na literatura se descreve que a viscosidade à temperatura de trabalho deve ser maior que  $10^9$  dPa.s. O emprego de selos de materiais vitrocerâmicos permitiria alcançar este compromisso;
- Baixa reatividade química frente aos outros componentes que constituem a pilha, ou seja, ao ZEI que constitui o eletrólito e ao  $\text{LaCrO}_3$  dopado com Sr ou aço inoxidável que constituem o separador na maioria dos *designs*;
- Alta estabilidade química à temperatura de trabalho, tanto em atmosfera redutora como oxidante e baixas pressões parciais de oxigênio em torno de  $10^{-18}$  bar;
- Elevada resistência elétrica, para evitar correntes parasíticas que diminuiriam o rendimento destas pilhas ( $\rho \geq 10^4 \Omega\text{cm}$ );

- Vida útil em torno de 40.000 horas (5 anos), para que seja rentável do ponto de vista econômico.

Dadas as condições específicas que deve cumprir o material de selagem, é aconselhável o uso de um material vítreo ou vitrocerâmico frente ao uso de outros possíveis materiais, como os materiais cerâmicos ou os cimentos, pelos seguintes motivos:

- Os selos vítreos ou vitrocerâmicos são fáceis de aplicar sobre as superfícies dos materiais a selar devido à moldagem em elevadas temperaturas;
- Ao contrário dos materiais cristalinos, os vidros não têm estequiometria fixa. É possível, portanto, fazer modificações em sua composição que possibilitem uma troca contínua das propriedades, em particular do coeficiente de expansão térmica ;
- As tensões introduzidas durante a fabricação da pilha, devido aos gradientes de temperatura, ou à causa das diferenças em coeficientes de expansão térmica, podem resumir-se à temperatura de operação se o selo vítreo ou vitrocerâmico apresenta uma viscosidade de  $10^{12}$  dPa.s ou inferior;
- As possíveis rupturas destes selos durante os ciclos térmicos a que são submetidas estas pilhas durante seu funcionamento podem ser reparadas por um posterior tratamento térmico;
- No caso particular de selos vitrocerâmicos, durante seu processo de preparação e como consequência da aparição de determinadas fases cristalinas, se produz um brusco incremento na viscosidade do material. Esta característica pode se utilizar com vantagens durante o processo de selagem: a baixa viscosidade do vidro inicial permite a selagem às temperaturas baixas (dentro do intervalo viscoplástico), uma vez que o tratamento a temperaturas superiores próximas à temperatura de trabalho da pilha provoca a precipitação de uma ou várias fases cristalinas que produzem um incremento na rigidez do selo, assim como de sua resistência térmica, química e mecânica (LARA *et al.*, 2003).

### **3.2.4. Perspectivas para o desenvolvimento do hidrogênio no Brasil**

Apresenta-se a seguir um breve levantamento das ações traçadas pelo Ministério das Minas e Energia (MME) e pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) com referência à introdução das pilhas a combustível no Brasil, com base nos estudos MME (2005) e PROCaC (2002).

Os estudos apontam que os desafios inerentes ao desenvolvimento da economia do hidrogênio, não só no Brasil, mas em todo mundo, embora sendo expressivos, não configuram dificuldades intransponíveis. Eles destacam um elenco de oportunidades que farão surgir no país novas empresas de bens e serviços, assim como a focalização das atividades de pesquisa, desenvolvimento e suporte tecnológico, indispensáveis para garantir sustentabilidade aos negócios relacionados à nova economia.

O termo “economia do hidrogênio” refere-se a um mercado estruturado, criado a partir de um marco regulatório que permita a sua comercialização a preços competitivos, com qualidade, confiabilidade e segurança no suprimento. Nesse contexto, os ministérios, motivados pelas vantagens ambientais e, futuramente, econômicas e pela decisão de diversificar a matriz energética nacional, apresentaram linhas gerais da estruturação da cadeia do hidrogênio no Brasil. Para tal, lideraram reuniões de trabalho que envolveram de forma permanente técnicos dos dois ministérios, dezenas de especialistas do Brasil e do exterior, empresas nacionais e estrangeiras, institutos e centros de pesquisa e agências reguladoras.

O relatório do MME não constitui um plano de P&D para o hidrogênio, muito menos um plano de natureza comercial. Este documento, embora não seja fruto de consenso absoluto, reflete os entendimentos e percepções gerais daqueles que participaram dos diversos fóruns de discussão ao diagnosticarem a situação atual do setor do hidrogênio no Brasil e no mundo. Em seu conteúdo, sugere uma visão futurística para a economia do hidrogênio, apontando as barreiras existentes, os desafios a serem superados, o grau de maturidade das tecnologias associadas e as ações a serem implementadas para antecipar o futuro e introduzir o hidrogênio na matriz energética com vantagens competitivas para o Brasil.

O referido roteiro foi organizado em nove capítulos, que descrevem as macroatividades inerentes à cadeia do hidrogênio: visualização dos mercados potenciais; produção do combustível considerando as vocações nacionais no que se refere aos insumos fósseis e renováveis; logística de transporte, armazenamento e distribuição; etapas de conversão; suas aplicações; demandas por tecnologia e capacitação de recursos humanos; questões regulatórias; normalização.

Como conclusão, o relatório propõe ações estruturantes para o desenvolvimento da economia do hidrogênio no Brasil, nos segmentos de Metrologia Científica, Industrial e Legal; Normalização; Regulamentação Técnica; Avaliação da Conformidade; Regulação e Fiscalização; Segurança do Hidrogênio; Meio Ambiente e Ações Complementares. Tais ações integram os cronogramas de atividades apresentados no capítulo 9 do referido relatório, no qual constam marcos globais, metas e prazos para desenvolvimento e implantação dos resultados ao longo dos próximos 20 anos.

Cabe ressaltar ainda o Programa Brasileiro PROCaC<sup>9</sup>, que foi desenvolvido em 2002 pelo Ministério de Ciência e Tecnologia, com a participação de universidades, centros de pesquisa e empresas brasileiras. Seu objetivo é promover ações integradas e cooperadas, que viabilizem o desenvolvimento nacional da tecnologia de hidrogênio e de sistemas de pilha a combustível, habilitando o país a se tornar um produtor internacionalmente competitivo nesta área. Pretende-se ainda apoiar o estabelecimento de indústria nacional para produção e fornecimento de sistemas energéticos com pilha a combustível.

O Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio é estruturado por meio da formação de redes de pesquisa e desenvolvimento, com a participação de universidades, centros de pesquisa e empresas interessadas. A ação coordenada dos vários órgãos do governo objetiva acelerar o desenvolvimento industrial dos sistemas mais apropriados para a matriz energética brasileira. Nesse sentido, o programa garante o uso mais racional dos recursos investidos e antecipa o alcance dos objetivos. O estudo apresenta o contexto internacional de políticas visando ampliar o

---

<sup>9</sup> Em 2005, o PROCaC ganhou nova denominação, passando a se chamar Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio.

aproveitamento de energias renováveis, os investimentos públicos e privados realizados em P&D nesta área e a previsão de mercado de pilhas a combustível estacionárias, conforme representado na tabela 6.

**Tabela 6** – Previsão de mercado de pilhas a combustível estacionárias

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

Adaptado de PROCaC/MCT (2002, p. 10)

Além das informações acima, o PROCaC apresenta os nichos de mercado mais promissores para aplicações de pilhas a combustível, além dos tipos, tecnologias e estágios de desenvolvimento de pilhas a combustível mais interessantes para introdução no mercado. Quanto à PaCOS, o programa apresenta os grandes desafios a serem vencidos: engenharia de alta temperatura; selagem dos elementos cerâmicos e dificuldades relacionadas à reforma interna dos combustíveis.

Por fim, cabe destacar a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior<sup>10</sup>, que tem como objetivo o aumento da eficiência econômica e o desenvolvimento e difusão de tecnologias com maior potencial de indução do nível de atividade e de competição no comércio internacional. Ela está focada no aumento da eficiência da estrutura produtiva, no aumento da capacidade de inovação das empresas brasileiras e na expansão das exportações. Estas são as bases para a maior inserção do país no comércio internacional, estimulando os setores onde o Brasil tem maior capacidade ou necessidade de desenvolver vantagens competitivas.

Não se trata de uma iniciativa isolada. Ela faz parte de um conjunto de ações articuladas com os investimentos planejados para a infra-estrutura e com os projetos de promoção do desenvolvimento regional. Sua implementação deverá se articular com a nova política regional, contribuindo para uma maior integração nacional e para a redução das disparidades regionais entre estados e sub-regiões. Especialmente relevantes são seus elos de articulação com a integração físico-econômica do território,

---

10 Programa lançado pelo ministro Luiz Fernando Furlan em 26 de novembro de 2003. O texto pode ser encontrado em [www.desenvolvimento.gov.br/arq/ascom/apresentacoes/Diretrizes.pdf](http://www.desenvolvimento.gov.br/arq/ascom/apresentacoes/Diretrizes.pdf)

através do esforço de setor público, em parceria com o setor privado, na melhoria da infra-estrutura de transportes, energia e telecomunicações. A melhoria da infra-estrutura, em conjunto com uma política regional com vistas a facilitar a maior integração territorial, irá fortalecer as competências, vocações e oportunidades tecnológicas regionais. Isto é desejável não apenas para o exercício do pacto federativo, como também para que os ganhos de eficiência decorrentes das diretrizes mostrem efeitos de encadeamentos ancorados territorialmente e contribuam para reduzir as disparidades produtivas regionais.

Esta política lançada pelo governo federal é um excelente material de referência, que poderá servir de base para a definição das diretrizes estratégicas do desenvolvimento tecnológico da PaCOS de 2kWe de energia elétrica. O projeto conceitual da PaCOS de 2kWe se encaixa adequadamente entre as prioridades estabelecidas para as diversas políticas, dentre as quais destacam-se:

- Sustentar a elevação do patamar de exportações, com a valorização de recursos e produtos brasileiros, aproveitando potencialidades para melhorar a imagem do país no exterior e ajudar a criar a “marca Brasil”.
- Promover a capacidade inovadora das empresas via concepção, projeto e desenvolvimento de produtos e processos. Estimular o incremento de atividades portadoras de futuro, como biotecnologia, *software*, eletrônica, novos materiais, nanotecnologias, energia renovável, biocombustíveis (álcool, biodiesel) e atividades derivadas do Protocolo de Kyoto.
- Contribuir para o desenvolvimento regional, estimulando iniciativas que valorizem a dimensão espacial e o fortalecimento de arranjos produtivos locais.

## 4. Resultados

### Pesquisa do cenário da PaCOS no Brasil

*Não se aprende, senhor, na fantasia, sonhando ou estudando, senão vendo, tratando e pelejando.* (Camões)

Os possíveis rumos e alternativas existentes e a evolução das diferentes tecnologias emergentes para o desenvolvimento da PaCOS necessitam de ferramentas que permitam a análise e operação dos sistemas integrados e componentes que os formam. A realização de estudos integrados sobre o impacto potencial dos desenvolvimentos em determinados setores e segmentos de aplicação permitirá a visão de como se realizará a transição da situação tecnológica atual para a futura, bem como a detecção de possíveis obstáculos. A geração destas informações estratégicas possibilita a tomada de decisões em políticas públicas de ciência e tecnologia que poderão ser utilizadas por todos os atores atuantes neste segmento.

O primeiro passo para a consolidação do estudo de caso envolvendo a produção da PaCOS de 2kWe no Brasil foi a realização de uma ampla pesquisa com especialistas no tema. A intenção era identificar as viabilidades de materialização da PaCOS no Brasil e seu potencial mercadológico, avaliando, ainda, as estratégias de compartilhamento de conhecimentos e risco. Para tanto, partiu-se do estudo OPTI/CIEMAT/INASMET-TECNALIA (2006), adaptando-o para os interesses e necessidades da presente tese. O estudo, realizado na Espanha, incluiu painéis e entrevistas com grande número de pesquisadores e especialistas, com o objetivo de selecionar quais seriam os temas relacionados às tendências do uso do hidrogênio e de pilhas a combustível em 2030.

A metodologia incluiu compilação prévia dos resultados dos estudos mais recentes relacionados a estes temas, para dispor de informações iniciais sobre o estado em que se encontravam os principais programas de PD&I existentes em outros países. A partir daí, foi realizado um primeiro painel com especialistas, para seleção de um conjunto de temas e tecnologias que serviria de base para a consulta aos atores do setor. Os temas constituem uma série de hipóteses, relacionadas a um avanço tecnológico ou a um desenvolvimento concreto na economia do hidrogênio. Por fim, um segundo painel de especialistas analisou e sintetizou os resultados quantitativos obtidos na primeira

pesquisa, incorporando opiniões e comentários. A versão final do questionário espanhol continha 44 temas como hipóteses de futuro nas áreas do hidrogênio e pilhas a combustível, suas utilizações no transporte, aplicações estacionárias e portáteis, e um arcabouço de normas e legislação de segurança.

Entende-se aqui que o aproveitamento da base metodológica, da experiência dos especialistas espanhóis e dos resultados desse estudo de identificação de tecnologias emergentes para o desenvolvimento da PaCOS pode ser muito útil para o Brasil. Além disso, é absolutamente coerente com o conceito que aqui se defende, que é o da criação de ambientes propícios às interseções de conhecimentos de diversas áreas e regiões do mundo. Levaram-se em conta as diferenças tecnológicas, científicas, econômicas e culturais que separam o Brasil da Espanha, bem como suas matrizes energéticas. Outro ponto considerado importante foi a avaliação do alto grau de incertezas tecnológicas que pairam em todos os centros de pesquisa ou empresas envolvidos com a PaCOS, que estão longe de alcançar os requisitos necessários para seu lançamento no mercado de consumo global. Tal fato, de uma forma genérica, coloca quase todos os países num mesmo patamar de desafios científicos e tecnológicos para a descoberta de novos materiais e processos que permitam produzir em série este produto, com maior segurança e menores custos.

#### 4.1. Metodologia da pesquisa

Partindo, portanto, da metodologia utilizada na Espanha, a pesquisa realizada no âmbito da presente tese se concentrou nos temas referentes ao desenvolvimento de pilhas a combustível de óxido sólido para aplicações estacionárias. Foram acrescentados, ainda, temas referentes ao compartilhamento de redes de informações, capacitações, capital de giro e ambiente físico<sup>11</sup>. Com a intenção de definir uma visão prospectiva de temas relacionados ao desenvolvimento da PaCOS no Brasil, dividiu-se o questionário em três módulos temáticos: na primeira página concentram-se temas relacionados às questões científicas e tecnológicas; na segunda página, temas relacionados a normas e segurança; e, na terceira página, temas relacionados ao compartilhamento de conhecimentos, informações, investimentos e ambiente físico<sup>12</sup>.

A relação dos especialistas pesquisados foi obtida junto a entidades promotoras de congressos, seminários e *workshops* relacionados aos temas pilhas a combustível e inovação tecnológica; revistas especializadas nacionais e internacionais; pesquisas na internet. Foram enviados 176 questionários aos profissionais que trabalham direta ou indiretamente com o desenvolvimento da PaCOS no Brasil. Nesta relação constam pesquisadores de instituições acadêmicas, empresários e especialistas de departamentos de desenvolvimentos tecnológicos de empresas de diversas regiões do país<sup>13</sup>. Abaixo é apresentada, em resumo, a metodologia aplicada.

---

<sup>11</sup> Acredita-se ser recomendável a concretização, no Brasil, de seminários e *workshops* com especialistas dessas matérias, para consultas sobre os temas apontados neste trabalho e possível exclusão ou inclusão de assuntos relacionados. Reconhece-se aqui antecipadamente que a escolha pessoal dos temas contradiz as recomendações relativas à prospecção, que deveria ser realizada em conjunto com a comunidade científica, e não isoladamente. Tem-se a esperança, no entanto, de que este deslize seja reparado nas análises críticas, e os dados, enriquecidos com a troca de idéias e o compartilhamento das experiências com pesquisadores, empresários e especialistas das áreas governamentais. A pretensão da pesquisa realizada é apenas abrir caminhos para a discussão de políticas e diretrizes estratégicas visando à criação de ambientes inovadores.

<sup>12</sup> Ver modelo do questionário no Anexo 5.

<sup>13</sup> Um dos problemas enfrentados na pesquisa foi a seleção dos entrevistados, já que uma escolha pouco rigorosa poderia acarretar distorções na interpretação das respostas. A exemplo da metodologia do estudo espanhol, foram mantidos dois indicadores que assinalam o grau de experiência dos entrevistados em relação aos temas abordados. O primeiro se refere ao grau de conhecimento sobre o tema e o segundo, ao grau de importância atribuído ao tema. Com esses indicadores, foi possível analisar as respostas em dois âmbitos distintos: o dos entrevistados com conhecimentos gerais e o dos entrevistados com conhecimentos especializados.

O questionário apresenta diversas variáveis a partir das quais os entrevistados deveriam expressar sua avaliação pessoal em relação aos temas dos três módulos:

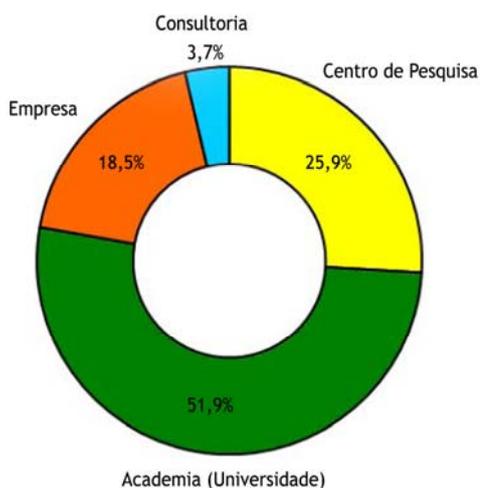
- A) Nível de conhecimento pessoal dos temas;
- B) Grau de importância pessoal dado ao tema;
- C) Período de materialização no Brasil de cada tema (previsão pessoal);
- D) Posição no Brasil:
  - D.1) Capacidade científica e tecnológica relacionada a cada tema;
  - D.2) Capacitação industrial para cada tema;
- E) Atração para o Brasil:
  - E.1) Ciência e Tecnologia relacionadas ao tema;
  - E.2) Mercado relacionado ao tema;
- F) Fatores críticos para o Brasil:
  - F.1) Desenvolvimento de conhecimentos científicos e tecnológicos relativos ao tema;
  - F.2) Integração de sistemas no que se refere ao tema;
  - F.3) Segurança, legislação e normas relacionados ao tema;
  - F.4) Custos relativos ao tema;
  - F.5) Apoio governamental referente ao tema.

Nos itens A (nível de conhecimento) e B (grau de importância), foi solicitado aos entrevistados que atribuíssem uma nota a cada tema listado, de acordo com os seguintes pesos: 1= alto; 2=médio; 3=baixo; 4=irrelevante. No item C (período de materialização no Brasil), as alternativas eram: até 2009; de 2010 a 2014; de 2015 a 2019; de 2020 a 2024; de 2025 a 2029; após 2030; e nunca. Para os itens D e E (posição do Brasil, dividido em capacidade científica e tecnológica e capacitação industrial; e atratividade para o Brasil, dividido em ciência e tecnologia e mercado), os temas foram avaliados também numa escala de 1 a 4, sendo 1 a nota mais alta e 4, a mais baixa. No item F, para cada um dos temas apresentados, os entrevistados deveriam selecionar dois dos fatores críticos apresentados: desenvolvimento de conhecimentos científicos e tecnológicos; integração de sistemas; segurança, legislação e normas; custos; e apoio governamental.

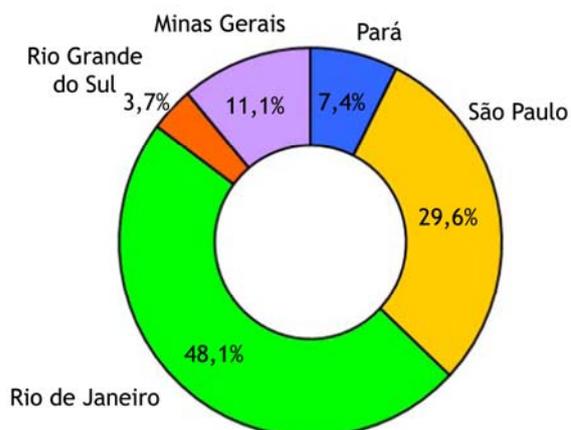
## 4.2. Resultados da pesquisa

Dos 176 questionários enviados, obtiveram-se 27 respostas, caracterizando um índice de 15,34%. As figuras 20 e 21 mostram a divisão dos questionários recebidos por origem (centros de pesquisa, universidades, empresas, consultorias) e localização geográfica.

**Figura 20** – Procedência profissional dos questionários



**Figura 21** – Procedência geográfica dos questionários

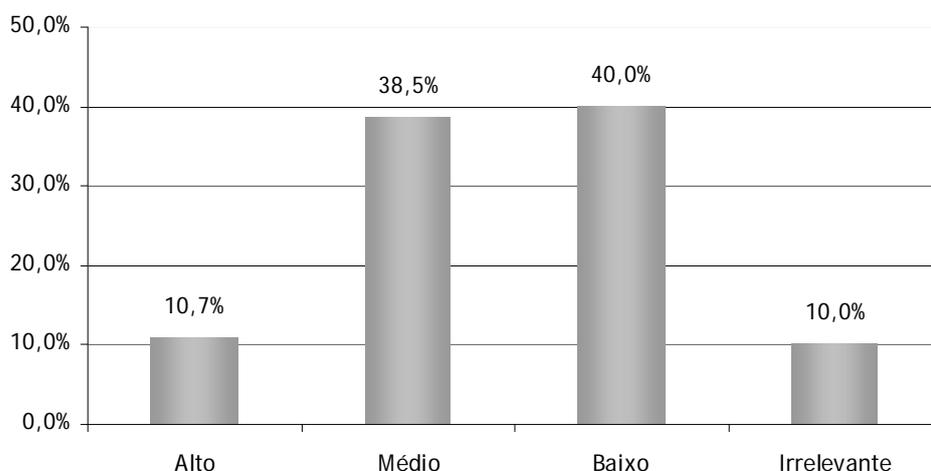


Entende-se que a preponderância do Rio de Janeiro (48,1%) na procedência geográfica das respostas seja fruto de nossa maior proximidade e contatos pessoais com os pesquisadores deste estado. Caracteriza-se como muito significativa a participação das respostas de São Paulo, Minas Gerais e demais estados. As figuras não devem ser entendidos como reflexo da concentração de pesquisadores nas áreas citadas (figura 20)

ou nos referidos estados do país (figura 21), mas sim como retrato exclusivo desta pesquisa.

Com relação ao grau de conhecimento pessoal sobre os temas abordados, foram categorizados como “especialistas” os entrevistados que se atribuíram grau de conhecimento alto ou médio. Os demais foram agrupados na categoria “geral”. A figura 22 mostra a média dos resultados obtidos.

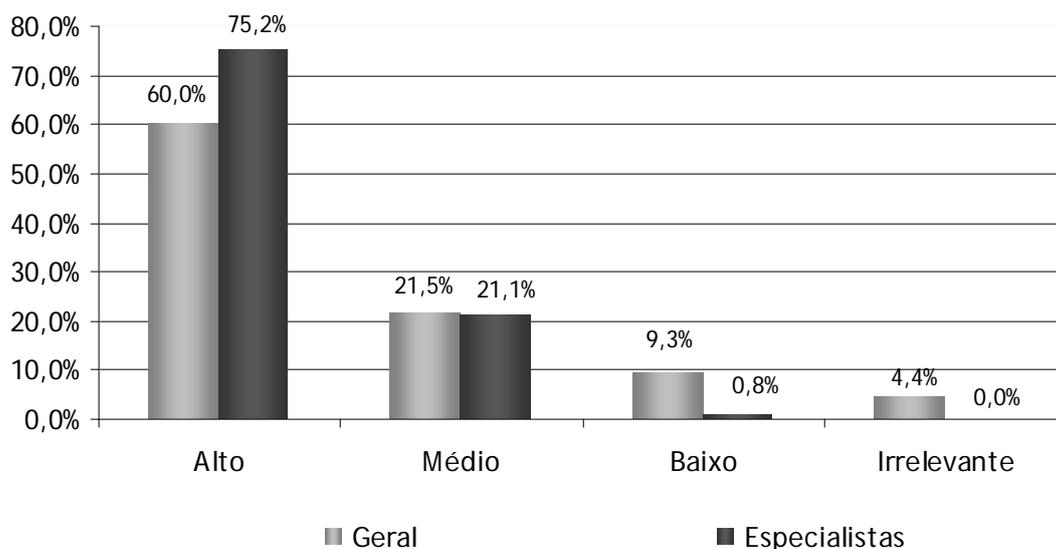
**Figura 22** – Grau de conhecimento dos temas



A figura mostra um equilíbrio entre as categorias médio e baixo. Do total de 270 respostas referentes aos grupos temáticos “questões científicas e tecnológicas” e “normas e segurança”, 133 foram categorizadas como de especialistas, representando 49,26% do total, o que pode ser considerado bastante relevante, por se tratar de um assunto de magnitude ainda limitada no cenário de PD&I do setor energético.

No nível de importância dos temas (figura 23), a pesquisa revelou que 96,3% dos especialistas consideraram os temas com grau de importância alto ou médio, níveis cerca de 20% acima do grau de importância atribuído pelos profissionais de conhecimento geral (81,5%). Pode-se deduzir que os entrevistados atribuem maior importância quanto maior o nível de conhecimento que declaram possuir dos temas.

**Figura 23** – Grau de importância dos temas



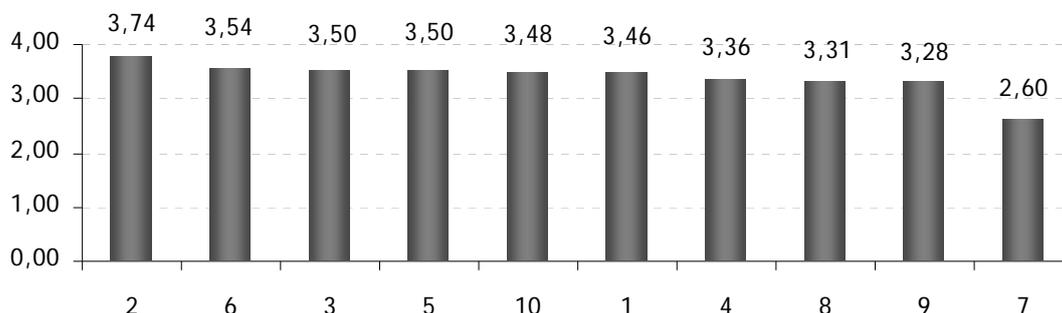
A tabela 7 e a figura 24 mostram as médias ponderadas dos graus de importância atribuídos pelos entrevistados a cada um dos dez temas referidos no questionário, dentro dos eixos temáticos “questões científicas e tecnológicas” (p. 1) e “normas, legislação e segurança” (p. 2). A esta média denominamos IGI (índice do grau de importância). A figura 24 permite a visualização da comparação dos IGI entre os dez temas.

**Tabela 7** – Índice do grau de importância (IGI) dos temas

<b>Pilhas a combustível – Aplicações estacionárias</b>		
1	Desenvolvimento de novos eletrólitos e materiais para eletrodos com temperaturas de operação entre 600 a 700° C de maior condutividade e menor custo que os atuais	3,46
2	Utilização de pilhas a combustível com reforma interna para aplicações estacionárias	3,74
3	Utilização generalizada de pilhas a combustível de alta temperatura de pequena potência para produção combinada de calor, eletricidade e frio	3,5
4	Desenvolvimento da PaCOS de 2kWe para sistemas estacionários de alta temperatura	3,36
5	Utilização generalizada da reforma de etanol para produção de hidrogênio	3,5

Pilhas a Combustível – Normas, Legislação e Segurança		
6	Implantação de procedimentos de ensaio para avaliação e certificação, qualidade e segurança dos componentes da PaCOS de 2kWe	3,54
7	Desenvolvimento de aplicação de metodologias inovadoras para avaliação da segurança, baseadas em simuladores numéricos de possíveis cenários de acidentes, para minimizar riscos	2,6
8	Desenvolvimento de regulamentos e normas relacionados com pilhas a combustível	3,31
9	Desenvolvimento de ferramentas para modelização e análises de sistemas da PaCOS, seus componentes, garantia de qualidade e segurança	3,28
10	Desenvolvimento de cursos que incorporem as tecnologias do hidrogênio e da PaCOS na formação profissional e universitária	3,48

**Figura 24 - Temas em Função do Índice do Grau de Importância (IGI)**



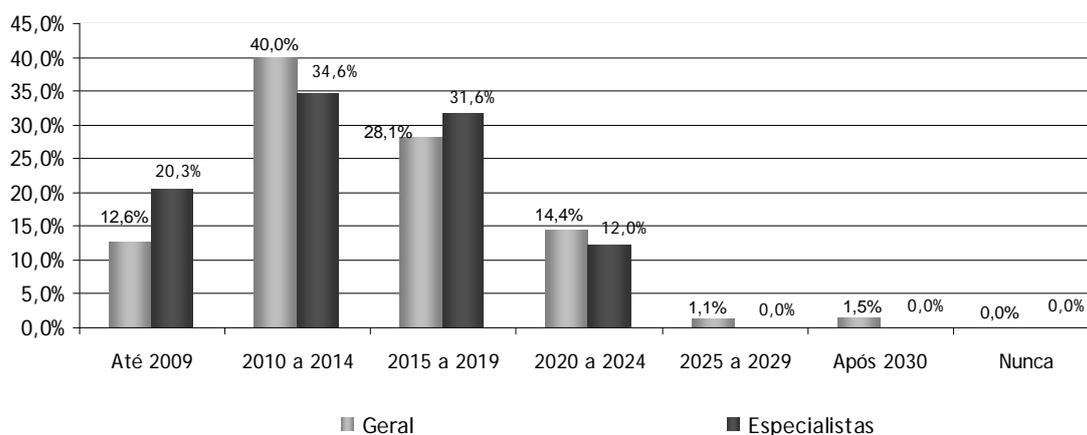
A tabela 8 apresenta uma visualização das previsões preponderantes sobre os períodos de materialização referentes a cada um dos dez temas abordados. Embora a visão dos profissionais entrevistados defina 2025 como ano base para materialização, acredita-se que a escolha do ano de 2030 como base para o estabelecimento de previsões referentes aos cenários de desenvolvimento e aplicação das pilhas a combustível de óxido sólido esteja dentro dos parâmetros balizadores. A grande maioria dos entrevistados considera que todos os temas apresentados já estarão materializados até esta data.

**Tabela 8** – Período de materialização no Brasil por tema (visão preponderante)

Representação dos períodos de materialização dos temas propostos									
		Até 2009	2010 a 2014	2015 a 2019	2020 a 2024	2025 a 2029	Após 2030	Nunca	
1 - PILHAS A COMBUSTÍVEL	APLICAÇÕES ESTACIONÁRIAS	1.1. Desenvolvimento de novos eletrólitos e materiais para eletrodos com temperaturas de operação entre 600 e 700° C de maior condutividade e menor custo que os atuais							
		1.2. Utilização de pilhas a combustível com reforma interna para aplicações estacionárias							
			1.3. Utilização generalizada de pilhas a combustível de alta temperatura de pequena potência para produção combinada de calor, eletricidade e frio						
		1.4. Desenvolvimento da PaCOS de 2kWe para sistemas estacionários de alta temperatura							
		1.5. Utilização generalizada da reforma de etanol para produção de hidrogênio							
2 - PILHAS A COMBUSTÍVEL	NORMAS, LEGISLAÇÃO E SEGURANÇA	2.1. Implantação de procedimentos de ensaio para avaliação e certificação, qualidade e segurança dos componentes da PaCOS de 2kWe							
		2.2. Desenvolvimento de aplicação de metodologias inovadoras para avaliação da segurança, baseadas em simuladores numéricos de possíveis cenários de acidentes, para minimizar riscos							
		2.3. Desenvolvimento de regulamentos e normas relacionados com pilhas a combustível							
		2.4. Desenvolvimento de ferramentas para modelização e análises de sistemas da PaCOS, seus componentes, garantia de qualidade e segurança							
		2.5. Desenvolvimento de cursos que incorporem as tecnologias do hidrogênio e da PaCOS na formação profissional e universitária							

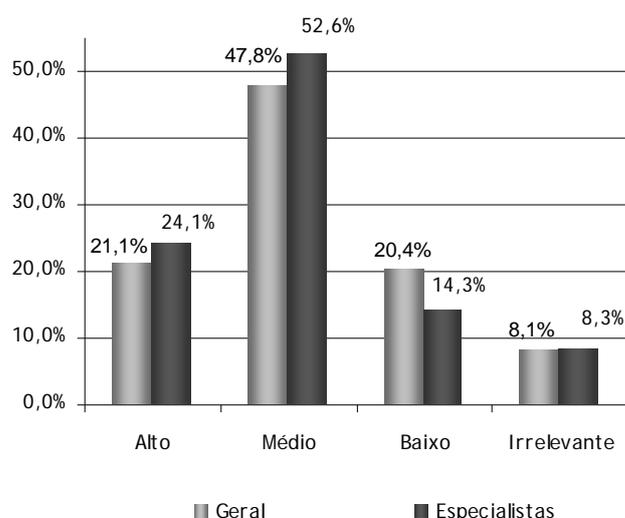
A figura 25 apresenta uma visão global sobre as previsões dos períodos de materialização, considerando-se os dez temas abordados e as visões distintas dos entrevistados categorizados como “especialistas” ou “geral”. Observa-se que a soma dos percentuais compreendidos no período de 2009 a 2019 é maior na categoria “especialistas” – 86,5%, contra 80,7% na categoria “geral”. A maioria acredita que os temas se materializem nos períodos 2010 a 2014 e 2015 a 2019.

**Figura 25** – Período de materialização no Brasil – visão global (especialistas x geral)

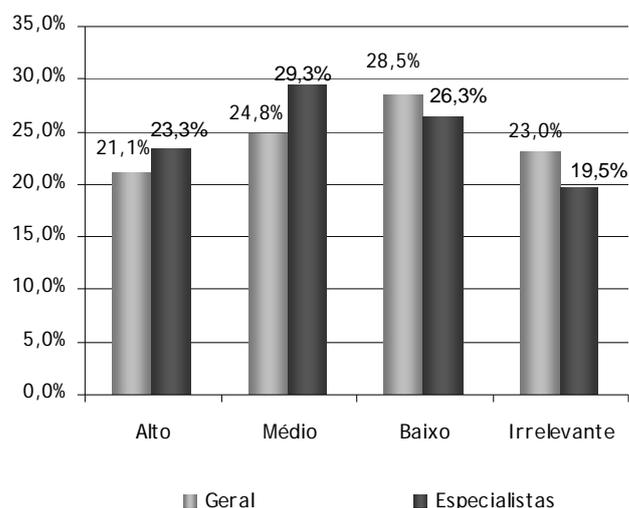


A variável “posição no Brasil” foi dividida em dois tópicos: capacidade científica e tecnológica e capacitação industrial. As figuras 26 e 27 mostram uma visão global da atribuição de valores pelos entrevistados à totalidade dos temas abordados, distinguindo-se a avaliação das duas categorias (“especialistas” e “geral”). Pode-se verificar que a visão da categoria “especialistas” é mais otimista que a da categoria “geral”. Observa-se ainda que a capacidade científica e tecnológica do Brasil é considerada quase 50% maior que sua capacitação industrial.

**Figura 26** – Capacidade científica e tecnológica – visão global dos temas



**Figura 27** – Capacitação industrial – visão global dos temas



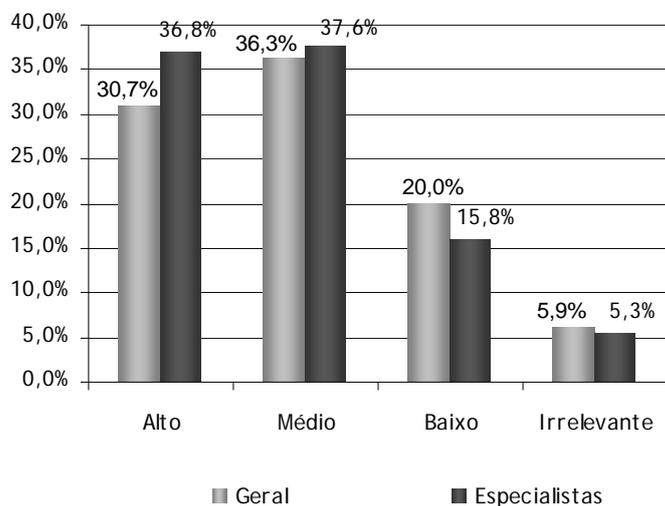
Comparando-se apenas a atribuição de índices “alto” e “médio”, tem-se<sup>14</sup>:

- Capacidade científica e tecnológica – geral= 68,9%; especialistas=76,7%.
- Capacitação industrial – geral= 45,9%; especialistas= 52,6%.

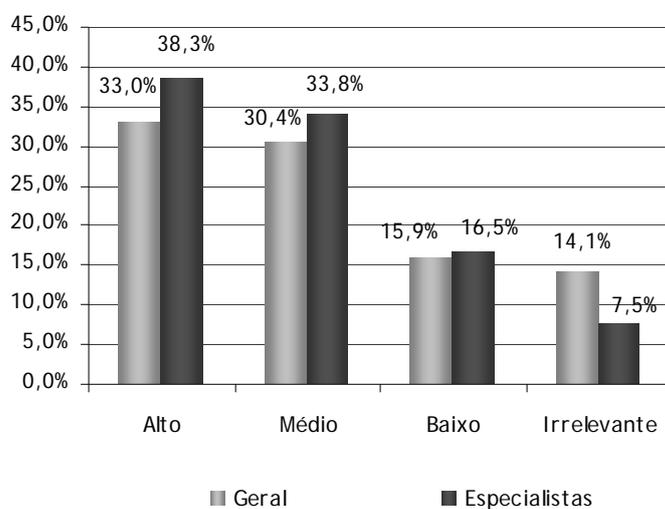
<sup>14</sup> Estes dados reforçam os resultados da pesquisa apresentada por VERMULM (2006), já destacados no capítulo 3. As empresas transnacionais entrevistadas consideram, em sua maioria (77%), que a mão-de-obra brasileira é competitiva na relação custo x benefício e destacam como atrativo para os investimentos no país a qualidade do corpo técnico, o ótimo perfil dos pesquisadores, o grande número de mestres e doutores, a existência de especialistas em diferentes áreas e de excelentes universidades e centros de pesquisa. Por outro lado, no que se refere à aplicabilidade industrial brasileira, são apontados alguns desafios tecnológicos à consolidação da PaCOS, tais como custos elevados, vida estimada curta e necessidade de desenvolvimento de novos materiais para compatibilizar o funcionamento a temperaturas menos elevadas.

Com relação à atratividade para o Brasil, a pesquisa também foi dividida em dois tópicos: ciência e tecnologia e mercado, conforme mostram as figuras 28 e 29. Em geral, os especialistas atribuíram índices de atratividade bastante consideráveis.

**Figura 28** – Ciência e tecnologia – visão global dos temas

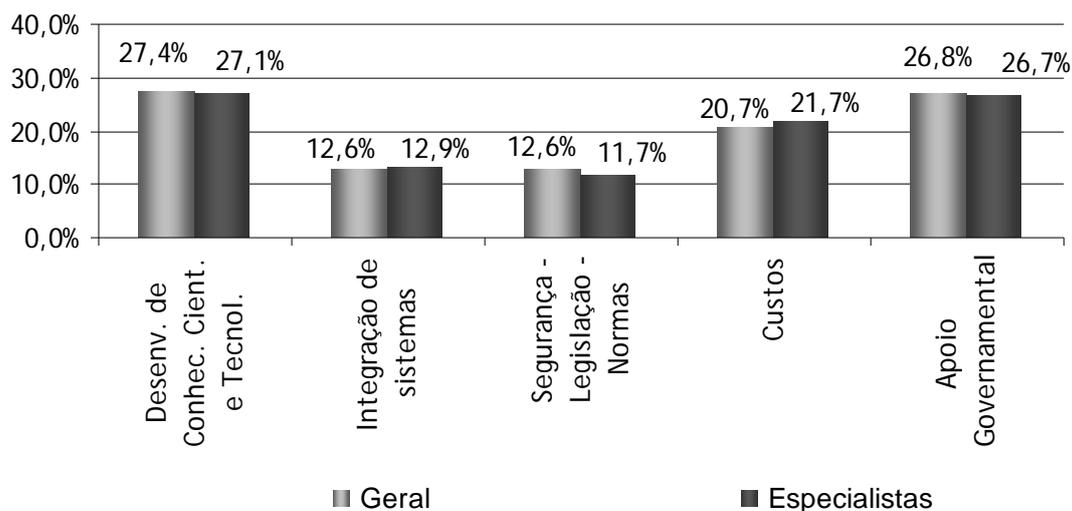


**Figura 29** – Mercado – visão global dos temas



Com relação à variável “fatores críticos para o Brasil”, foram apresentados cinco itens, entre os quais os entrevistados deveriam escolher até dois que considerassem relevantes para o desenvolvimento das pilhas a combustível no país. A pesquisa revela resultados quase idênticos nas duas categorias de entrevistados (“geral” e “especialista”), conforme pode ser visto na figura 30.

**Figura 30** – Fatores críticos para o desenvolvimento da PaCOS no Brasil



Apresentados os resultados gerais, são destacadas a seguir detalhadamente as respostas a cada tema, nas tabelas 9 a 15. Para tanto, os dez temas abordados foram classificados em função de seu IGI. Por uma questão de simplificação analítica, focalizam-se apenas os itens que obtiveram IGI superior a 3,35, apresentando-os em ordem decrescente.

**Tabela 9** – Utilização de pilhas a combustível com reforma interna para aplicações estacionárias – respostas detalhadas

Fatores	SubFator	Quantd.	%
A - Nível de Conhecimento Pessoal dos temas	1-Alto	4	14,8%
	2-Médio	13	48,1%
	3-Baixo	9	33,3%
	4-Irrelevante	1	3,7%
	Não responderam	0	0,0%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
B - Grau de importância Pessoal dos temas	1-Alto	22	81,5%
	2-Médio	3	11,1%
	3-Baixo	2	7,4%
	4-Irrelevante	0	0,0%
	Não responderam	0	0,0%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>

C - Período de Materialização no Brasil (previsão pessoal) dos temas	Até 2009	2	7,4%
	de 2010 a 2014	9	33,3%
	2015 a 2019	10	37,0%
	2020 a 2024	4	14,8%
	2025 a 2029	2	7,4%
	Após 2030	0	0,0%
	Nunca	0	0,0%
	Não responderam	0	0,0%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
D1 - Posição no Brasil - Capacidade Científica e Tecnológica	1	6	22,2%
	2	13	48,1%
	3	5	18,5%
	4	3	11,1%
	Não responderam	0	0,0%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
D2 - Posição no Brasil - Capacitação Industrial	1	7	25,9%
	2	3	11,1%
	3	9	33,3%
	4	8	29,6%
	Não responderam	0	0,0%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
E1 - Atração para o Brasil - Ciência e tecnologia	1	9	33,3%
	2	9	33,3%
	3	7	25,9%
	4	2	7,4%
	Não responderam	0	0,0%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
E2 - Atração para o Brasil - Mercado	1	10	37,0%
	2	7	25,9%
	3	7	25,9%
	4	3	11,1%
	Não responderam	0	0,0%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
F- Fatores Críticos para o Brasil	Desenvolvimento de Conhecimentos Científicos e tecnológicos	13	26,0%
	Integração de sistemas	8	16,0%
	Segurança - Legislação - Normas	3	6,0%
	Custos	13	26,0%
	Apoio Governamental	13	26,0%
<b>Total:</b>		<b>50</b>	<b>100,0%</b>

A utilização prática de pilhas a combustível com reforma interna para aplicações estacionárias estabelecerá um importante papel na transição da atual economia de hidrocarbonetos para a economia do hidrogênio. Sua alta temperatura de funcionamento permite o aproveitamento direto de outros combustíveis, como gás natural; misturas de metano enriquecidas com hidrogênio; etanol ou diversos combustíveis renováveis procedentes da fermentação da biomassa, o que possibilita a diminuição do tempo de transição para a economia do hidrogênio, e reduções de emissões de dióxido de carbono na natureza, devido a sua elevada eficiência energética.

As excelentes perspectivas destas pilhas para a geração descentralizada de energia elétrica e calor em aplicações residenciais e comunitárias enfrentam, no entanto, a necessidade de ultrapassar a fase de pesquisas de base (protótipos acadêmicos e científicos), com entrada no campo das inovações (estabelecimento nos mercados de aplicações). Fatores críticos de desenvolvimento da PaCOS precisam ser transpostos:

- Redução de custos dos materiais, componentes e sistemas para operação mais eficiente, mais duradoura e com pilhas de menor tamanho;
- Inversores de corrente eficientes para transformar corrente contínua produzida pela PaCOS em corrente alternada;
- Tecnologias de controle e conexão à rede;
- Criação de normas que protejam os consumidores e garantam os trabalhadores para a manutenção e instalação;
- Melhoria da confiabilidade e robustez dos empilhamentos e do sistema em geral;
- Aumento da durabilidade (>40.000 horas);
- Integração de sistemas;
- Melhoria da tolerância aos contaminantes contidos no combustível;
- Segurança e facilidade de manutenção.

**Tabela 10** – Implantação de procedimentos de ensaio para avaliação e certificação, qualidade e segurança dos componentes da PaCOS de 2kWe – respostas detalhadas

<b>Fatores</b>	<b>SubFator</b>	<b>Quantd.</b>	<b>%</b>
A - Nível de Conhecimento Pessoal dos temas	1-Alto	3	11,1%
	2-Médio	9	33,3%
	3-Baixo	12	44,4%
	4-Irrelevante	3	11,1%
	Não responderam	0	0,0%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
B - Grau de importância Pessoal dos temas	1-Alto	19	70,4%
	2-Médio	3	11,1%
	3-Baixo	3	11,1%
	4-Irrelevante	1	3,7%
	Não responderam	1	3,7%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
C - Período de Materialização no Brasil (previsão pessoal) dos temas	Até 2009	5	18,5%
	de 2010 a 2014	17	63,0%
	2015 a 2019	3	11,1%
	2020 a 2024	2	7,4%
	2025 a 2029	0	0,0%
	Após 2030	0	0,0%
	Nunca	0	0,0%
	Não responderam	0	0,0%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
D1 - Posição no Brasil - Capacidade Científica e Tecnológica	1	4	14,8%
	2	15	55,6%
	3	5	18,5%
	4	3	11,1%
	Não responderam	0	0,0%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
D2 - Posição no Brasil - Capacitação Industrial	1	4	14,8%
	2	11	40,7%
	3	3	11,1%
	4	9	33,3%
	Não responderam	0	0,0%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>

E1 - Atração para o Brasil - Ciência e tecnologia	1	7	25,9%
	2	13	48,1%
	3	3	11,1%
	4	2	7,4%
	Não responderam	2	7,4%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
E2 - Atração para o Brasil - Mercado	1	9	33,3%
	2	8	29,6%
	3	5	18,5%
	4	3	11,1%
	Não responderam	2	7,4%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
F- Fatores Críticos para o Brasil	Desenvolvimento de Conhecimentos Científicos e tecnológicos	8	16,0%
	Integração de sistemas	7	14,0%
	Segurança - Legislação - Normas	15	30,0%
	Custos	4	8,0%
	Apoio Governamental	16	32,0%
<b>Total:</b>		<b>50</b>	<b>100,0%</b>

Os temas de qualidade e segurança com respeito à utilização da PaCOS podem afetar o desenvolvimento das tecnologias nos casos em que sua manipulação e utilização não estejam explícitas em normas e códigos, o que pode dificultar sua comercialização.

O ponto de partida para desenvolver a segurança na área das pilhas se baseia nos códigos, normas e manuais de operação existentes, que tenham sido desenvolvidos em relação à utilização do hidrogênio nas indústrias química e aeroespacial. Existem programas específicos de treinamento na manipulação de segurança do hidrogênio. É necessário desenvolver uma série de trabalhos prévios para analisar as carências detectadas e criar novos códigos e regulamentos mais adequados.

**Tabela 11** – Utilização generalizada de pilhas a combustível de alta temperatura de pequena potência para produção combinada de calor, eletricidade e frio – respostas detalhadas.

<b>Fatores</b>	<b>SubFator</b>	<b>Quantd.</b>	<b>%</b>
A - Nível de Conhecimento Pessoal dos temas	1-Alto	2	7,4%
	2-Médio	16	59,3%
	3-Baixo	9	33,3%
	4-Irrelevante	0	0,0%
	Não responderam	0	0,0%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
B - Grau de importância Pessoal dos temas	1-Alto	16	59,3%
	2-Médio	8	29,6%
	3-Baixo	1	3,7%
	4-Irrelevante	1	3,7%
	Não responderam	1	3,7%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
C - Período de Materialização no Brasil (previsão pessoal) dos temas	Até 2009	0	0,0%
	de 2010 a 2014	4	14,8%
	2015 a 2019	14	51,9%
	2020 a 2024	6	22,2%
	2025 a 2029	0	0,0%
	Após 2030	2	7,4%
	Nunca	0	0,0%
	Não responderam	1	3,7%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
D1 - Posição no Brasil - Capacidade Científica e Tecnológica	1	5	18,5%
	2	15	55,6%
	3	4	14,8%
	4	2	7,4%
	Não responderam	1	3,7%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
D2 - Posição no Brasil - Capacitação Industrial	1	7	25,9%
	2	3	11,1%
	3	9	33,3%
	4	7	25,9%
	Não responderam	1	3,7%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>

E1 - Atração para o Brasil - Ciência e tecnologia	1	6	22,2%
	2	10	37,0%
	3	7	25,9%
	4	2	7,4%
	Não responderam	2	7,4%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
E2 - Atração para o Brasil - Mercado	1	8	29,6%
	2	8	29,6%
	3	4	14,8%
	4	5	18,5%
	Não responderam	2	7,4%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
F- Fatores Críticos para o Brasil	Desenvolvimento de Conhecimentos Científicos e tecnológicos	12	24,0%
	Integração de sistemas	8	16,0%
	Segurança - Legislação - Normas	1	2,0%
	Custos	17	34,0%
	Apoio Governamental	12	24,0%
<b>Total:</b>		<b>50</b>	<b>100,0%</b>

O desenvolvimento dos sistemas aos quais se refere a tabela 11 apresenta um grande atrativo para o Brasil, mas os especialistas apontaram como fatores críticos a necessidade de novos conhecimentos científicos e tecnológicos e a diminuição dos custos dos materiais, componentes e insumos. A utilização para produção de eletricidade e calor em pequenas unidades descentralizadas é uma das aplicações mais promissoras da tecnologia de pilhas a combustível. Em função das necessidades de utilização, a potência requerida poderia estar entre 1 a 10 kWe para aplicações residenciais uni-familiares e entre 5 e 50 kW no caso de instalações comunitárias.

O mercado mais fácil para penetração da PaCOS de até 2kWe é o estacionário, que aqui se julga de maior potencial de exploração no Brasil e está concentrado em aplicações residenciais para produção de energia elétrica e calor, alimentadas com gás natural ou etanol.

A geração elétrica em escala industrial com centrais de pilhas a combustível competirá, nos cenários energéticos do futuro, com as centrais de geração distribuída baseadas em outras tecnologias, como as energias renováveis.

Existe um grande estímulo em todos os governos de países desenvolvidos no sentido de impulsionar a cooperação entre os centros de pesquisas e as indústrias, acelerando o desenvolvimento de projetos conjuntos. Trata-se de aglomerar as forças para o desenvolvimento de componentes auxiliares como reformadores e conversores para conseguir reduções dos custos atuais, considerados como o maior entrave para estas tecnologias.

O desenvolvimento de novos conhecimentos necessários depende da colaboração com empresas externas e a cooperação entre indústria e centros de pesquisas. Além das tecnologias de pilhas de alta temperatura de reforma interna, é necessário o desenvolvimento dos fatores críticos já assinalados.

**Tabela 12** – Utilização generalizada da reforma de etanol para produção de hidrogênio

<b>Fatores</b>	<b>SubFator</b>	<b>Quantd.</b>	<b>%</b>
A - Nível de Conhecimento Pessoal dos temas	1-Alto	5	18,5%
	2-Médio	9	33,3%
	3-Baixo	11	40,7%
	4-Irrelevante	2	7,4%
	Não responderam	0	0,0%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
B - Grau de importância Pessoal dos temas	1-Alto	18	66,7%
	2-Médio	4	14,8%
	3-Baixo	3	11,1%
	4-Irrelevante	1	3,7%
	Não responderam	1	3,7%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
C - Período de Materialização no Brasil (previsão pessoal) dos temas	Até 2009	1	3,7%
	de 2010 a 2014	6	22,2%
	2015 a 2019	10	37,0%
	2020 a 2024	9	33,3%
	2025 a 2029	0	0,0%
	Após 2030	1	3,7%
	Nunca	0	0,0%
	Não responderam	0	0,0%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>

D1 - Posição no Brasil - Capacidade Científica e Tecnológica	1	5	18,5%
	2	16	59,3%
	3	3	11,1%
	4	3	11,1%
	Não responderam	0	0,0%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
D2 - Posição no Brasil - Capacitação Industrial	1	5	18,5%
	2	8	29,6%
	3	8	29,6%
	4	6	22,2%
	Não responderam	0	0,0%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
E1 - Atração para o Brasil - Ciência e tecnologia	1	13	48,1%
	2	8	29,6%
	3	3	11,1%
	4	2	7,4%
	Não responderam	1	3,7%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
E2 - Atração para o Brasil - Mercado	1	11	40,7%
	2	9	33,3%
	3	5	18,5%
	4	2	7,4%
	Não responderam	0	0,0%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
F- Fatores Críticos para o Brasil	Desenvolvimento de Conhecimentos Científicos e tecnológicos	14	26,9%
	Integração de sistemas	6	11,5%
	Segurança - Legislação - Normas	2	3,8%
	Custos	15	28,8%
	Apoio Governamental	15	28,8%

**Tabela 13** – Desenvolvimento de cursos que incorporem as tecnologias do hidrogênio e da PaCOS na formação profissional e universitária

<b>Fatores</b>	<b>SubFator</b>	<b>Quantd.</b>	<b>%</b>
A - Nível de Conhecimento Pessoal dos temas	1-Alto	5	18,5%
	2-Médio	11	40,7%
	3-Baixo	8	29,6%
	4-Irrelevante	3	11,1%
	Não responderam	0	0,0%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
B - Grau de importância Pessoal dos temas	1-Alto	18	66,7%
	2-Médio	3	11,1%
	3-Baixo	2	7,4%
	4-Irrelevante	2	7,4%
	Não responderam	2	7,4%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
C - Período de Materialização no Brasil (previsão pessoal) dos temas	Até 2009	10	37,0%
	de 2010 a 2014	12	44,4%
	2015 a 2019	3	11,1%
	2020 a 2024	1	3,7%
	2025 a 2029	0	0,0%
	Após 2030	1	3,7%
	Nunca	0	0,0%
	Não responderam	0	0,0%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
D1 - Posição no Brasil - Capacidade Científica e Tecnológica	1	10	37,0%
	2	10	37,0%
	3	5	18,5%
	4	1	3,7%
	Não responderam	1	3,7%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
D2 - Posição no Brasil - Capacitação Industrial	1	7	25,9%
	2	8	29,6%
	3	6	22,2%
	4	5	18,5%
	Não responderam	1	3,7%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>

E1 - Atração para o Brasil - Ciência e tecnologia	1	10	37,0%
	2	8	29,6%
	3	5	18,5%
	4	1	3,7%
	Não responderam	3	11,1%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
E2 - Atração para o Brasil - Mercado	1	9	33,3%
	2	8	29,6%
	3	4	14,8%
	4	3	11,1%
	Não responderam	3	11,1%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
F- Fatores Críticos para o Brasil	Desenvolvimento de Conhecimentos Científicos e tecnológicos	15	31,3%
	Integração de sistemas	4	8,3%
	Segurança - Legislação - Normas	3	6,3%
	Custos	6	12,5%
	Apoio Governamental	20	41,7%
<b>Total:</b>		<b>48</b>	<b>100,0%</b>

No Brasil, existem diversas instituições que promovem cursos de formação em temas relacionados com o hidrogênio e o desenvolvimento da PaCOS, com ofertas de cursos de doutorado ou mestrado em algumas universidades. A Rede PaCOS realiza importante papel na formação profissional, contribuindo com a difusão de informações, graças aos diversos cursos, congressos e palestras sobre a PaCOS.

**Tabela 14** - Desenvolvimento de novos eletrólitos e materiais para eletrodos com temperaturas de operação entre 600 e 700° C de maior condutividade e menor custo que os atuais – respostas detalhadas

<b>Fatores</b>	<b>SubFator</b>	<b>Quantd.</b>	<b>%</b>
A - Nível de Conhecimento Pessoal dos temas	1-Alto	3	11,1%
	2-Médio	11	40,7%
	3-Baixo	12	44,4%
	4-Irrelevante	1	3,7%
	Não responderam	0	0,0%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
B - Grau de importância Pessoal dos temas	1-Alto	16	59,3%
	2-Médio	7	25,9%
	3-Baixo	2	7,4%
	4-Irrelevante	1	3,7%
	Não responderam	1	3,7%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
C - Período de Materialização no Brasil (previsão pessoal) dos temas	Até 2009	4	14,8%
	de 2010 a 2014	11	40,7%
	2015 a 2019	7	25,9%
	2020 a 2024	4	14,8%
	2025 a 2029	0	0,0%
	Após 2030	0	0,0%
	Nunca	0	0,0%
	Não responderam	1	3,7%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
D1 - Posição no Brasil - Capacidade Científica e Tecnológica	1	4	14,8%
	2	15	55,6%
	3	5	18,5%
	4	2	7,4%
	Não responderam	1	3,7%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
D2 - Posição no Brasil - Capacitação Industrial	1	7	25,9%
	2	3	11,1%
	3	10	37,0%
	4	6	22,2%
	Não responderam	1	3,7%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>

E1 - Atração para o Brasil - Ciência e tecnologia	1	6	22,2%
	2	9	33,3%
	3	10	37,0%
	4	1	3,7%
	Não responderam	1	3,7%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
E2 - Atração para o Brasil - Mercado	1	8	29,6%
	2	9	33,3%
	3	3	11,1%
	4	6	22,2%
	Não responderam	1	3,7%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>96,3%</b>
F- Fatores Críticos para o Brasil	Desenvolvimento de Conhecimentos Científicos e tecnológicos	18	36,7%
	Integração de sistemas	2	4,1%
	Segurança - Legislação - Normas	0	0,0%
	Custos	16	32,7%
	Apoio Governamental	13	26,5%
<b>Total:</b>		<b>49</b>	<b>100,0%</b>

**Tabela 15** – Desenvolvimento da Pacos de 2kWe para sistemas estacionários de alta temperatura – respostas detalhadas

<b>Fatores</b>	<b>SubFator</b>	<b>Quantd.</b>	<b>%</b>
A - Nível de Conhecimento Pessoal dos temas	1-Alto	2	7,4%
	2-Médio	9	33,3%
	3-Baixo	13	48,1%
	4-Irrelevante	2	7,4%
	Não responderam	1	3,7%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
B - Grau de importância Pessoal dos temas	1-Alto	14	51,9%
	2-Médio	7	25,9%
	3-Baixo	3	11,1%
	4-Irrelevante	1	3,7%
	Não responderam	2	7,4%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
C - Período de Materialização no Brasil (previsão pessoal) dos temas	Até 2009	1	3,7%
	de 2010 a 2014	9	33,3%
	2015 a 2019	10	37,0%
	2020 a 2024	5	18,5%
	2025 a 2029	0	0,0%
	Após 2030	0	0,0%
	Nunca	0	0,0%
	Não responderam	2	7,4%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
D1 - Posição no Brasil - Capacidade Científica e Tecnológica	1	5	18,5%
	2	13	48,1%
	3	5	18,5%
	4	2	7,4%
	Não responderam	2	7,4%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
D2 - Posição no Brasil - Capacitação Industrial	1	6	22,2%
	2	8	29,6%
	3	6	22,2%
	4	6	22,2%
	Não responderam	1	3,7%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>

E1 - Atração para o Brasil - Ciência e tecnologia	1	9	33,3%
	2	8	29,6%
	3	6	22,2%
	4	2	7,4%
	Não responderam	2	7,4%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
E2 - Atração para o Brasil - Mercado	1	9	33,3%
	2	7	25,9%
	3	6	22,2%
	4	3	11,1%
	Não responderam	2	7,4%
<b>Total:</b>		<b>27</b>	<b>100,0%</b>
F- Fatores Críticos para o Brasil	Desenvolvimento de Conhecimentos Científicos e tecnológicos	13	27,7%
	Integração de sistemas	8	17,0%
	Segurança - Legislação - Normas	1	2,1%
	Custos	15	31,9%
	Apoio Governamental	10	21,3%
<b>Total:</b>		<b>47</b>	<b>100,0%</b>

Na terceira parte do questionário, os entrevistados não foram divididos por seu grau de conhecimento, uma vez que os temas ali agrupados foram considerados como de especialização gerencial. Foi solicitado a todos que expressassem a importância atribuída a cada tema, sendo 1=alto; 2=médio; 3=baixo e 4=irrelevante. Os temas selecionados foram os seguintes:

- Desenvolvimento de redes de informações entre instituições de C&T e empresas para compartilhamento de conhecimentos e informações.

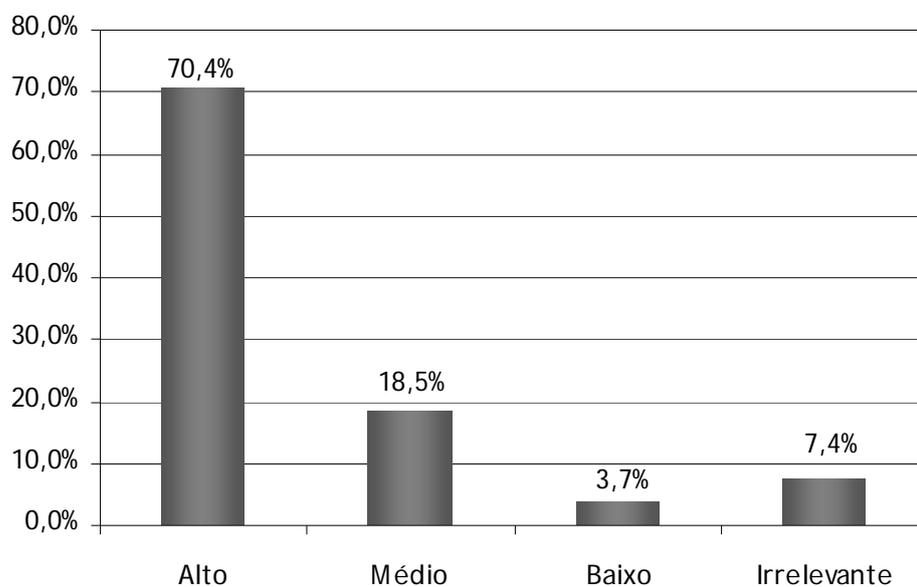
Para evoluir tecnologicamente é necessário inovar no conceito de formação de redes de informações que possibilitem a união, interação e interseção de vários segmentos interdisciplinares. Não se trata de repetir os necessários mecanismos de grupos matriciais, reunidos para atender a uma demanda específica e ocasional, mas sim de montar redes permanentes e sustentadas com gestão e visão de futuro.

As trocas de informações tecnológicas devem ser estabelecidas em função dos interesses específicos entre as empresas e institutos de ciência e tecnologia (ICTs). Estas redes devem levar em conta o caráter volátil e confidencial das informações mantidas entre as empresas e ICT's, com impacto sobre a questão de propriedade intelectual como base para o valor na empresa.

As empresas são pressionadas pela necessidade de inovação a atuar num mercado global cada vez mais ágil e competitivo, enquanto as instituições de C&T são pressionadas pela necessidade de busca por recursos financeiros fora dos mecanismos tradicionais, ou seja, fora do financiamento governamental.

O desenvolvimento de redes de informações entre instituições de C&T e empresas para compartilhamento de conhecimentos e informações é uma importante ferramenta para otimizar esforços, incentivar as empresas nacionais a desenvolverem tecnologias e favorecer as partes envolvidas para a sobrevivência mútua, a médio e longo prazos. Os resultados da pesquisa no que diz respeito a este item são apresentados na figura 31.

**Figura 31** – Desenvolvimento de redes de informações – respostas



- Criação de um ambiente físico para conjugação dos esforços das instituições de C&T e empresas para desenvolvimento da PaCOS de 2kWe.

O ser humano requer ambientes físicos onde possa desenvolver continuamente suas habilidades e se superar. A busca contínua por temas de vanguarda necessita de uma atmosfera e comprometimento de expansão com atividades multidisciplinares. Espaços geográficos tecnológicos com estes atributos facilitam a interação e o encontro de soluções para os constantes desafios, mas o desenvolvimento cibernético também permite a criação de ambientes virtuais que facilitam esta interação.

A metodologia de desenvolvimento de produtos inovadores tecnologicamente complexos apresentada adiante passa por etapas que requerem uma série de definições conceituais do produto, do mercado, da administração e das finanças entre os parceiros. As primeiras fases de pesquisas acadêmicas e de desenvolvimento do *spin-off* podem ser conduzidas e negociadas através de uma rede de informações virtual, até o atingimento dos objetivos comuns.

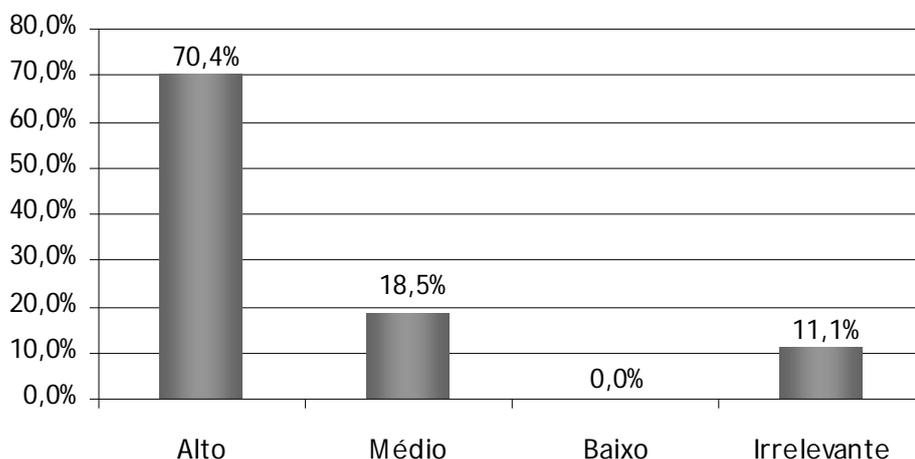
A partir dessas conclusões, um espaço físico que acomode as equipes dos diversos parceiros torna-se elemento integrador e sinérgico entre as partes, permitindo surgimentos espontâneos de soluções de problemas e de novos produtos.

Com base no estágio atual de desenvolvimento de pesquisa e tecnologia dos componentes da PaCOS, os esforços iniciais poderiam ser realizados de forma descentralizada e dispersa entre os parceiros do empreendimento. Com o amadurecimento das resoluções tecnológicas e mercadológicas dos insumos e componentes, a criação de um espaço físico para conjugação de esforços e otimização dos recursos das instituições de C&T e empresas, com foco no desenvolvimento de uma tecnologia de geração de energia (PaCOS de 2kWe), seria de grande importância para testes operacionais com a finalidade de medições de desempenho, potência, durabilidade, emissões, entre outros parâmetros.

Diversos países desenvolvidos oferecem ambientes onde o ativo fixo e a manutenção correm por conta de uma instituição pública de pesquisa, que aluga e cede a

empresas nacionais o espaço. É um mecanismo de desenvolvimento tecnológico e inovação. A opinião dos entrevistados sobre este aspecto está retratada na figura 32.

**Figura 32** – Criação de um ambiente físico para conjugação de esforços – respostas



- Compartilhamento de capital de risco entre instituições de C&T e empresas para desenvolvimento de insumos para PaCOS de 2kWe

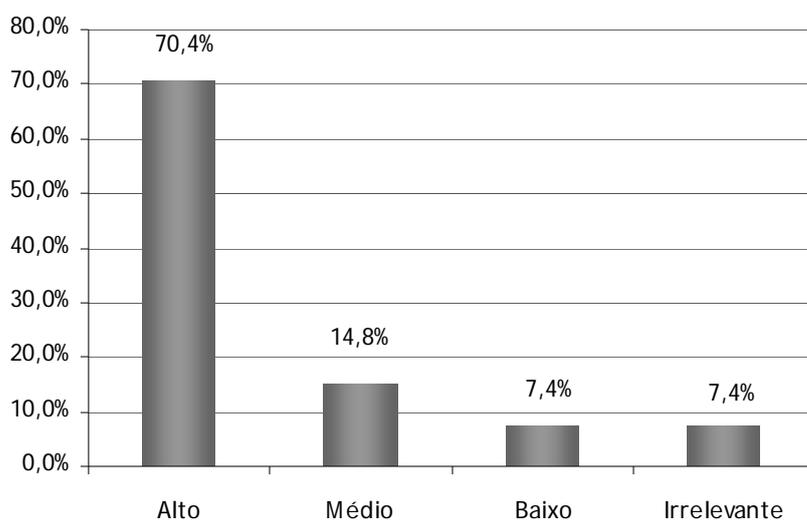
A competitividade global reforça a busca por resultados cada vez mais rápidos, e as entidades e empresas de países em desenvolvimento são deslocadas automaticamente de negócios com perspectivas futuras por falta de recursos e infra-estrutura necessários para projetos que requerem ambientação especial.

O compartilhamento de capital de risco entre as instituições e empresas poderia diminuir estes entraves, com um sistema de governança que permitisse a todos os parceiros atingir seus objetivos no projeto conjunto. Entendemos, no entanto, que o compartilhamento de capital de risco enfrenta o desafio de administração do potencial conflito de interesse entre as empresas.

O investimento através de capital de risco, diferente de um financiamento, implica, além da entrada de recursos financeiros, um compartilhamento de gestão do investidor com o empreendedor. Desta forma, torna-se um importante auxílio para empresas de inovação, como é o caso das empresas de

desenvolvimento de insumos para a PaCOS, ainda pouco estruturadas no Brasil. Uma possibilidade já existente é o Portal de Risco da Finep, um espaço virtual para investidores e empreendedores com interesse pelo tema. A figura 33 retrata as opiniões dos entrevistados sobre este tema.

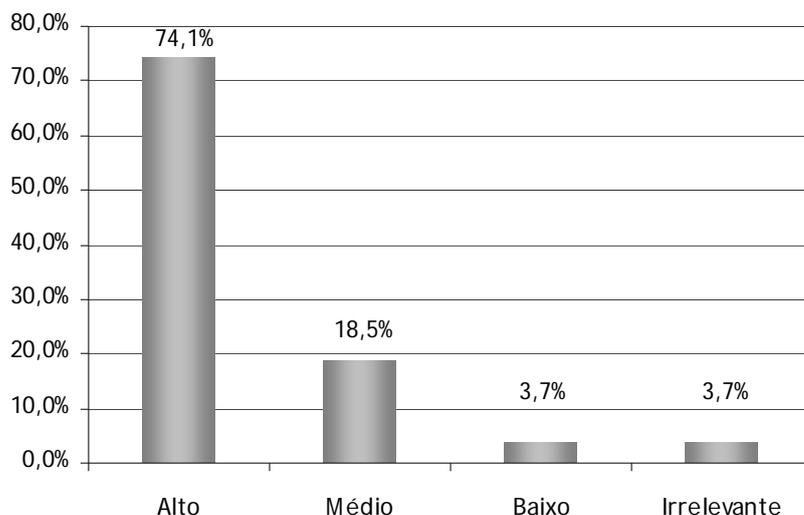
**Figura 33** – Compartilhamento de capital de risco – respostas



- Compartilhamento de capacitações e habilidades pessoais entre instituições de C&T e empresas para desenvolvimento de materiais, componentes, equipamentos, processos, testes para PaCOS de 2kWe no Brasil

Este tópico foi apontado, na pesquisa, como o de maior importância para o desenvolvimento da PaCOS de 2kWe no Brasil (figura 34). Foi quase consensual a importância do compartilhamento das capacitações e habilidades pessoais entre os profissionais envolvidos. As viabilidades dos diversos desenvolvimentos ficam muito ampliadas. Além disto, fica favorecida a atual base tecnológica do país, onde as ICT's estão difundidas por todo o território nacional, levando à disseminação de especialidades e à conseqüente maior possibilidade de surgirem empresas nos elos da cadeia produtiva desta incipiente tecnologia.

**Figura 34** – Compartilhamento de capacitações e habilidades – respostas



A seguir, apresenta-se um resumo da importância dos temas do terceiro grupo temático, somando-se os percentuais atribuídos de grau alto e médio a cada um deles:

- **Tema 4** – Compartilhamento de capacitações e habilidades pessoais entre instituições de C&T e empresas para desenvolvimento de materiais, componentes, processos, testes para PaCOS de 2kWe – 92,6%
- **Tema 1** - Desenvolvimento de redes de informações entre instituições de C&T e empresas para compartilhamento de conhecimentos e informações – 88,9%
- **Tema 2** - Criação de um ambiente físico para conjugação dos esforços das instituições de C&T e empresas para desenvolvimento da PaCOS de 2kWe – 88,9%
- **Tema 3** – Compartilhamento de capital de risco entre instituições de C&T e empresas para desenvolvimento de insumos para a PaCOS de 2kWe – 85,2%

Considera-se aqui de importância capital a construção de um ambiente favorável ao desenvolvimento de produtos inovadores tecnologicamente complexos, como é o caso da PaCOS de 2kWe. Os motivos para este desenvolvimento não se prendem à materialização da aplicabilidade industrial simplesmente. O fator vital é a forma como

uma sociedade se organiza para enfrentar o futuro, seja ele distante ou não. A necessidade de construir modelos estruturantes para penetração em assuntos estratégicos que demandam aprofundamentos de pesquisas básicas, aplicadas e organização empresarial é justificada por ser daí que surgem as grandes ondas de inovação, realocação de capital para setores de maior produtividade relativa e crescimento econômico sustentado.

A pesquisa aqui apresentada procura encontrar os vetores para o entendimento de como um país como o Brasil, onde a infra-estrutura básica elementar ainda é insuficiente para o atendimento do dia-a-dia de seus cidadãos, pode pensar num futuro energético. Os primeiros resultados apresentados deverão ser desmembrados, e suas análises, mais aprofundadas. Mas se conclui a apresentação desta pesquisa com a esperança de que os caminhos para o futuro também possam ser compartilhados pelas competências e habilidades que se encontram nos centros de pesquisas, universidades, empresas e órgãos governamentais brasileiros.

Listam-se a seguir aqui algumas das sugestões colhidas nas respostas apresentadas aos questionários para desenvolvimento da PaCOS de 2kWe no Brasil: facilitação para importação de equipamentos científicos; encomendas governamentais; focalização de pesquisas em atividades; elaboração de uma cartilha abrangente para consulta e conquista do apoio do governo para realização de um seminário conceitual sobre o tema; realização de estudo de mercado; desenvolvimento de novos materiais; preocupação com a transferência de tecnologia para o nível industrial; criação de mecanismos que incentivem as parcerias público-privadas; apoio governamental para jovens pesquisadores; efetivação da estrutura em rede da pesquisa em pilhas a combustível e áreas correlatas; gaseificação de biomassa e integração com a PaCOS; aumento da demanda e incentivos por fontes de energia de baixa (ou zero) emissão de gases de efeito estufa; análise do impacto ambiental da tecnologia e análises com fontes energéticas concorrentes.

## 5. Discussão

A competitividade globalizada impõe vetores determinantes à forma de atuação estratégica das empresas e organizações por sua sobrevivência. As condições básicas para que suas atuações se dêem de forma coletiva ou individualizada são impostas pelas conveniências da maximização de resultados ambientais, intimamente relacionada ao atendimento no mercado do consumidor.

O século XXI é caracterizado por um padrão de organização jamais visto até então. Mudanças cada vez mais rápidas na economia, tecnologia, organização da produção e nas formas de gestão têm desafiado e ameaçado as bases de vantagem competitiva das organizações e nações, como afirma HASEGAWA (2001). Uma das formas encontradas pelas organizações e nações para continuarem a competir é o investimento massivo no capital humano, em competências e capacitações que são acumuladas ao longo do tempo, além é claro, do fornecimento crescente de elementos de infra-estrutura necessários à transformação desses conhecimentos em bens de consumo para a sociedade.

Para BENKO (1996), pela primeira vez na história mundial a internacionalização está integrada em torno de um objetivo comum, ditado pela “acumulação global”, seja de recursos energéticos, renda ou conhecimentos. A sistematização da acumulação global aparece na exploração de todas as energias conhecidas (sobretudo elétrica, petróleo, gás, carvão etc.) ou possíveis de serem exploradas (biomassa, eólica, solar, hidrogênio etc.), na obtenção de superávits de fluxos financeiros, representados pela balança comercial dos países, e na transformação dos conhecimentos em bens e serviços. Estes acúmulos tornaram-se parâmetros e insumos vitais para a estabilidade e possível progresso de bem-estar para todos os governantes e suas coletividades.

Segundo SCHMITZ (In LASTRES *et al.*, 2005):

*a globalização traz oportunidades e ameaças. Uma das principais ameaças aos países em desenvolvimento é a de se encontrarem presos em uma “corrida para baixo”, na qual a competição se dá com base na redução dos salários, sem levar em consideração as normas trabalhistas e ambientais e evitando o pagamento de impostos. Esse tipo de estratégia acarretaria, no melhor dos cenários, um ‘crescimento baseado na miséria’ (p. 321).*

Além das reduções de salários e do desrespeito às normas trabalhistas e ambientais, destaca-se como consequência dessa estratégia a eliminação, de forma progressiva, do ambiente inovador nos países em desenvolvimento, que se vêem forçados a investir em produtos já consagrados e tecnologicamente mais simples. O investimento em operações de pesquisa, desenvolvimento e inovação é cada vez menor, perpetuando um processo baseado na miséria da geração de conhecimentos.

Os países em desenvolvimento precisam apresentar estratégias e políticas públicas globais consistentes e estáveis, de modo a atrair novos parceiros e clientes de maior poder econômico, que requerem infra-estrutura mais sofisticada para o funcionamento de suas operações. Como a possibilidade de construção de uma melhor infra-estrutura básica é diretamente proporcional ao fortalecimento de sistemas de articulações institucionais, como afirmam PORTER e STERN (s.d.), e essas se encontram enfraquecidas pelo processo de miséria, cria-se um ciclo vicioso de difícil solução.

Schmitz entende que para obter tanto o crescimento das exportações quanto o crescimento sustentável da renda é importante que os produtores dos países em desenvolvimento aprimorem suas atividades através do aprendizado interativo, da eficiência coletiva e da competitividade sistêmica. A nova economia é sistematizada e requer redes de interações tecnológicas e humanas complexas, envolvendo múltiplos parceiros e agentes de realimentação que operem em espaços de aglomerações econômicas específicas, de modo a provocar e produzir uma variedade infinita de fenômenos emergentes para o desenvolvimento de suas tecnologias e compartilhamento de suas competências.

Neste cenário, nada mais se faz sem o compartilhamento de conhecimentos codificados e tácitos, esforços e energias alternativas e sustentáveis. Criar ambientes de interação entre os diversos atores de cada setor de atividade é tarefa imprescindível para o crescimento das sociedades, para o desenvolvimento de seu capital humano (conhecimento individual) e capital social (conhecimento coletivo) e, conseqüentemente, para o aumento da capacidade competitiva, ou seja, para que estes conhecimentos gerados por seus membros possam ser efetivamente traduzidos em produtos e serviços tecnológicos inovadores.

Assim, estar antenado com a era das informações e preparado para as análises e oportunidades oferecidas pelo mercado da “destruição construtiva”, definido por SCHUMPETER (1984), é um exercício diuturno. É exigida de todos os empreendimentos, sejam eles científicos, tecnológicos ou empresariais (públicos ou privados), a sistematização de um processo analítico de verificação permanente das forças que atuam na sinergia entre as necessidades presentes ou futuras das sociedades e as condições estruturais locais para realização dos atendimentos desejados.

A formação de redes de parcerias é um dos possíveis recursos colocados à disposição do mercado. Sabe-se que as relações requerem uma complexa engenharia de articulações humanas, que varia de acordo com os valores culturais e éticos de cada cidadão, e com a integração dos diversos elementos que compõem a infra-estrutura de conhecimentos de cada região ou país. Forças tangíveis e intangíveis de uma mesma comunidade, muitas vezes paradoxais, atuam para o atingimento do bem-estar comum. De um lado, a tecnologia dispõe os instrumentos necessários para a facilitação da comunicação, aproximando os seres humanos através da cibernética, de maneira sistêmica, em redes de integração para benefício coletivo; de outro, esta mesma tecnologia é utilizada, de maneira isolada, por indivíduos e entidades, para seus próprios atendimentos pontuais.

Em resumo, as formas como são utilizadas as tecnologias são fruto dos sistemas operativos tecnológicos colocados à disposição da sociedade local. Estes sistemas impactam, por exemplo, a criação de novas oportunidades de empregos, ou desencadeiam a competitividade interpessoal, estimulando a visão de afastamento coletivo e não receptividade às redes de novos parceiros complementares.

Como já explicitado anteriormente, a PaCOS foi selecionada, na presente tese, como catalisador do estudo de formação de um modelo para parcerias entre empresas, centros de pesquisas e governo no Brasil. O Plano Nacional de Energia 2030, realizado pelo Ministério de Minas e Energia (MME, 2007), serve de base para a presente discussão, pois levou em consideração diversas tendências e condicionantes nos cenários mundiais que aqui são consideradas pertinentes ao desenvolvimento da PaCOS:

- a) Valorização de fontes energéticas ambientalmente sadias (internacionalmente);
- b) Continuidade do padrão de globalização, com grandes fluxos financeiros e comerciais (internacionalmente);
- c) Estabilidade macroeconômica no Brasil;
- d) Aumento do mercado doméstico;
- e) Evolução contínua do preço do barril de petróleo;
- f) Investimentos em infra-estrutura no Brasil crescente;
- g) Crescimento médio anual acima de 3,5% a.a até 2030.

A PaCOS caracteriza-se como um produto em padrão fluido de inovação, como foi definido por ALBERNATH *et al.* (1978). Neste estágio, muitos parâmetros tecnológicos relacionados ao produto e à sua aplicação mercadológica ainda se encontram com alto grau de incerteza, necessitando de inúmeros testes antes de sua consolidação e lançamento futuro.

O desenvolvimento do processo tecnológico e mercadológico a ser projetado para a PaCOS é apoiado na importância de se criar um modelo de ambiente propício à inovação tecnológica, onde possa ser realizada a transformação do conjunto de conhecimentos da coletividade brasileira em produtos e serviços de geração de energia elétrica descentralizada, originárias da PaCOS de 2kWe.

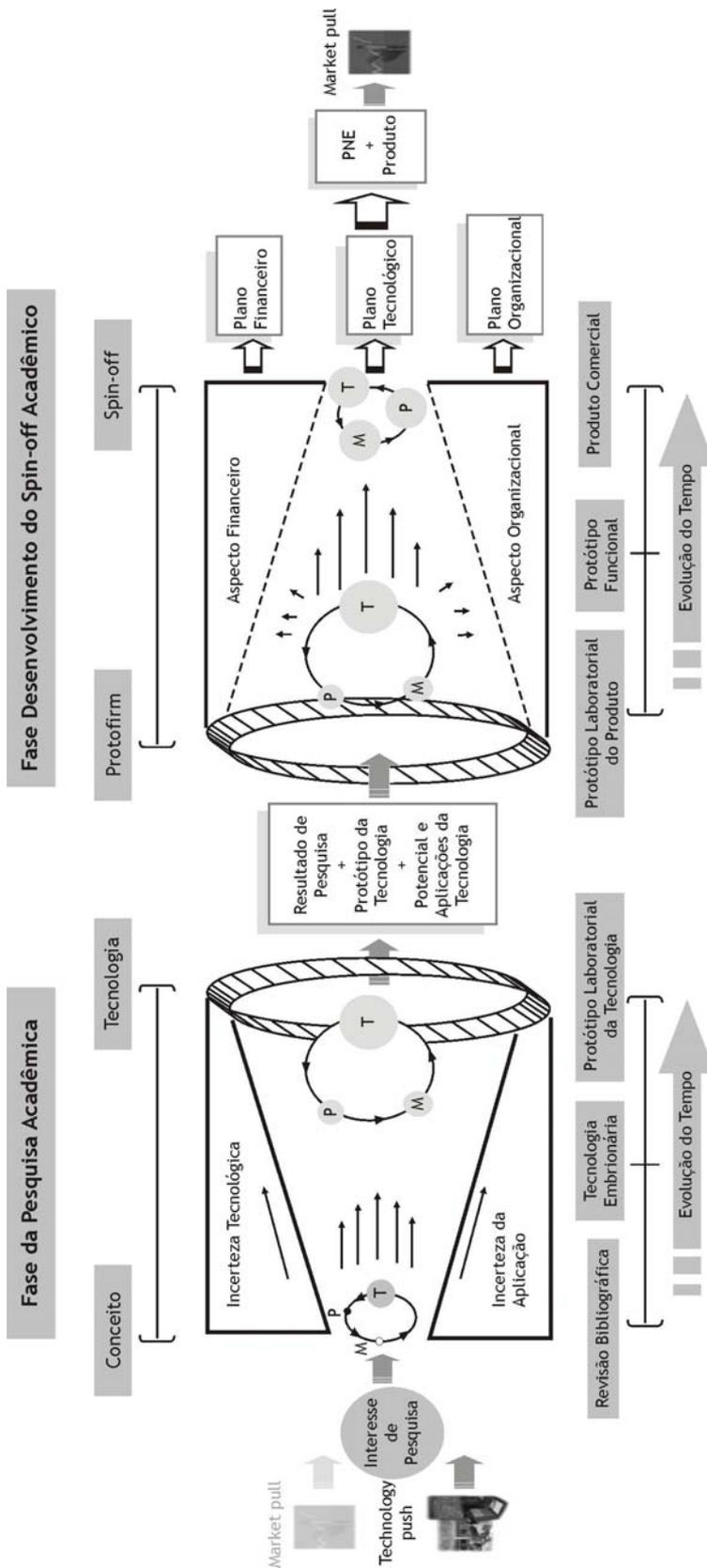
Os resultados da pesquisa apresentada no capítulo 4 ressaltam a importância da criação de ambientes e espaços econômicos próprios para processos de interação e de cooperação científica e tecnológica – 70,4% dos entrevistados destacaram a relevância da criação de um ambiente físico para conjugação dos esforços entre instituições de C&T e empresas.

Esses espaços devem possuir governança determinada pelos parceiros, de modo a implantar um plano tecnológico específico, com metas objetivas (dimensionáveis) a serem cumpridas nos diversos estágios de desenvolvimento, o que condicionará a forma de relacionamento e os processos de geração e difusão dos conhecimentos codificados e tácitos entre as comunidades que participam do compartilhamento de competências e habilidades.

Assim, o ambiente a ser desenvolvido é consequência dos tipos de vínculos e sistemas operacionais determinados entre as organizações de pesquisa e empresas, o seu grau de qualificação da mão-de-obra e, ainda, da organização do sistema empresarial e educacional de cada região, que interferem de maneira decisiva no modo como se dão os processos de aprendizado e, portanto, na geração, difusão e emprego de conhecimentos. Por isso, as características locais e a dimensão territorial ganham relevância neste contexto de análise.

CHENG *et al.* (2007) e COOPER (2001) apresentam suporte técnico-gerencial para a confecção de um plano tecnológico. Os dois autores abordam de forma satisfatória a integração das perspectivas de tecnologias do produto e mercado para Novas Empresas de Base Tecnológica (NEBTs). A figura 35 foi extraída do artigo de CHENG, inspirado na lógica do *stage-gate* de COOPER, no qual são apresentadas etapas que compreendem tanto a fase de pesquisa-acadêmica quanto a fase de lançamento dos produtos no mercado.

**Figura 35** – Gênese de um empreendimento tecnológico acadêmico



Extraído de CHENG *et al.* (2007, p. 35)

São apresentados dois momentos, denominados “fase de pesquisa acadêmica” e “fase de desenvolvimento do *spin-off*”. Segundo CHENG, esse modelo foi construído sob a inspiração de dois funis – um primeiro invertido, destoando divergentemente e representando a fase de pesquisa; e um segundo, que representa a fase do desenvolvimento *spin-off*. As circunferências nas extremidades iniciais e finais de cada funil, com três círculos pequenos, representam a articulação do trinômio TPM (tecnologia, produto e mercado), que constituem o âmago do processo de planejamento tecnológico (PPTec) e do plano tecnológico (PTec) defendido pelos autores. Pode-se observar também que os três círculos, cada um representando um dos alicerces do trinômio, possuem dimensões diferentes nos quatro momentos representados.

Verifica-se ainda que o modelo apresenta duas escalas temporais, situadas na parte superior e inferior da figura. A escala superior representa a formação da empresa, desde a definição de um conceito de tecnologia até a consolidação do surgimento de novas empresas associadas. A escala inferior contempla alguns dos principais resultados das etapas do PPTec, referindo-se ao desenvolvimento da tecnologia e do produto.

O conhecimento sobre possíveis outros produtos que irão incorporar essa tecnologia e os seus mercados potenciais ainda é incipiente. A primeira circunferência visa justamente ilustrar essa questão, pelo fato de o círculo que representa a tecnologia ser maior que os outros dois.

À medida que o tempo avança, a incerteza associada à tecnologia, como em todo processo de investigação de natureza científica, tende a diminuir. Isso também ocorre de modo simultâneo com as aplicações mercadológicas, onde poderão aparecer outros nichos de negócios. Na figura 35, ambas as curvas de incerteza são representadas pelas setas situadas na parte superior e inferior dentro do funil.

Essa evolução em termos de possibilidades é representada na figura pelo sentido divergente do funil, retratando a expansão do universo inicial da pesquisa. Essa mesma evolução também é mostrada pelos círculos presentes na segunda circunferência, ao fim do primeiro funil, na qual os círculos que denotam o produto e o mercado são maiores em relação à primeira circunferência.

Ao término do primeiro funil, tem-se a construção em laboratório do protótipo da tecnologia, como ilustra a escala situada abaixo dele. Como saídas dessa primeira etapa, surgem outros resultados, como relatórios científicos, dissertações, patentes e teses de doutorado, e outras potenciais aplicações da tecnologia.

Esses resultados originam as entradas do segundo funil, que representa o “desenvolvimento do *spin-off*”. Esse funil contrário ao primeiro é convergente para uma priorização durante toda a fase. Serão feitas escolhas, partindo de várias aplicações possíveis de uma tecnologia genérica até chegar a um determinado produto, com um conteúdo tecnológico específico e um dado mercado consumidor. O mesmo é reforçado pelas circunferências com a mesma dimensão, mostrando o equilíbrio entre as três dimensões do trinômio.

A fase de desenvolvimento do *spin-off* de empresas fornecedoras começa com a concepção de um protótipo do produto, a partir de resultados da primeira fase. Para este protótipo é importante realizar uma série de escolhas, tais como a plataforma tecnológica; a área de aplicação da tecnologia; e o mercado consumidor. O protótipo inicial será melhorado ao longo do segundo funil, através da voz do cliente, agregando-se novas funções a partir de informações colhidas junto ao mercado. O amadurecimento deste protótipo resultará em outro, que contemplará as funções principais do produto. O processo de desenvolvimento do próprio *spin-off* ocorre paralelamente ao desenvolvimento do produto.

O plano de negócio estendido (PNE) defendido pelos autores constitui o processo de evolução do produto, alinhavado com outras duas dimensões do trinômio. O arcabouço informacional da dimensão financeira e organizacional só se concretiza quando começam a surgir informações sobre custos de produção, matérias-primas, aluguel (que envolve o dimensionamento da capacidade, do fluxo produtivo e do maquinário necessário), além dos aspectos organizacionais, como as competências requeridas, políticas de fornecimento e estratégia de negócio, definidas com mais precisão com o desenvolvimento do produto.

No segundo funil, similarmente ao que ocorre no primeiro, estão representadas duas progressões diferentes. A primeira escala, situada na parte superior, representa a evolução do *spin-off*, denominada “protofirm”, em analogia ao conceito de protótipos

de tecnologia e produto. Situada na parte de baixo do funil, a outra escala representa os estágios de evolução do produto dentro do escopo do processo de planejamento tecnológico (PPTec), partindo do protótipo laboratorial do produto até o produto comercial. O progresso em uma das escalas está atrelado ao avanço da outra. O *spin-off* só existe após a concepção do produto final, desenvolvendo-se paralelamente ao desenvolvimento do produto.

O foco a ser atingido por esse funil é constituído por um plano de negócios com elementos das três áreas assinaladas: financeira, tecnológica e organizacional. Como resultado, teríamos o produto comercial com todos os seus vetores conhecidos para aplicação nos mercados nacional e ou internacional.

O modelo sistêmico que aqui se pretende construir inspira-se no modelo de CHENG *et al.* e na lógica do *stage gate* de COOPER, bem como nos conceitos dos diversos especialistas até aqui citados, como BRITTO (1999), LASTRES, *et al.* (2005), DAL POZ (2006), CHUM (2002), PORTER e STERN (s.d), ETZKOWITZ (1995), ZOUAIN, *et al.* (2006) e FANTINE (2006). Ao empreendimento assim planejado, com vistas ao desenvolvimento da PaCOS e apoiado em vínculos consistentes a serem estabelecidos entre os diferentes atores, denomina-se Centro de Referência da Rede PaCOS (CR-PaCOS).

A política governamental do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) para o desenvolvimento de pilhas a combustível no Brasil dividiu o setor em redes, de acordo com a tipologia das pilhas. Para atender aos objetivos específicos desta tese, atem-se aqui à Rede PaCOS, que funcionará, portanto, como base institucional do CR-PaCOS para o desenvolvimento de sistemas de geração de energia elétrica e calor, a partir das pilhas a combustível de óxido sólido. Sendo assim, são descritas a seguir as etapas necessárias à constituição do CR-PaCOS.

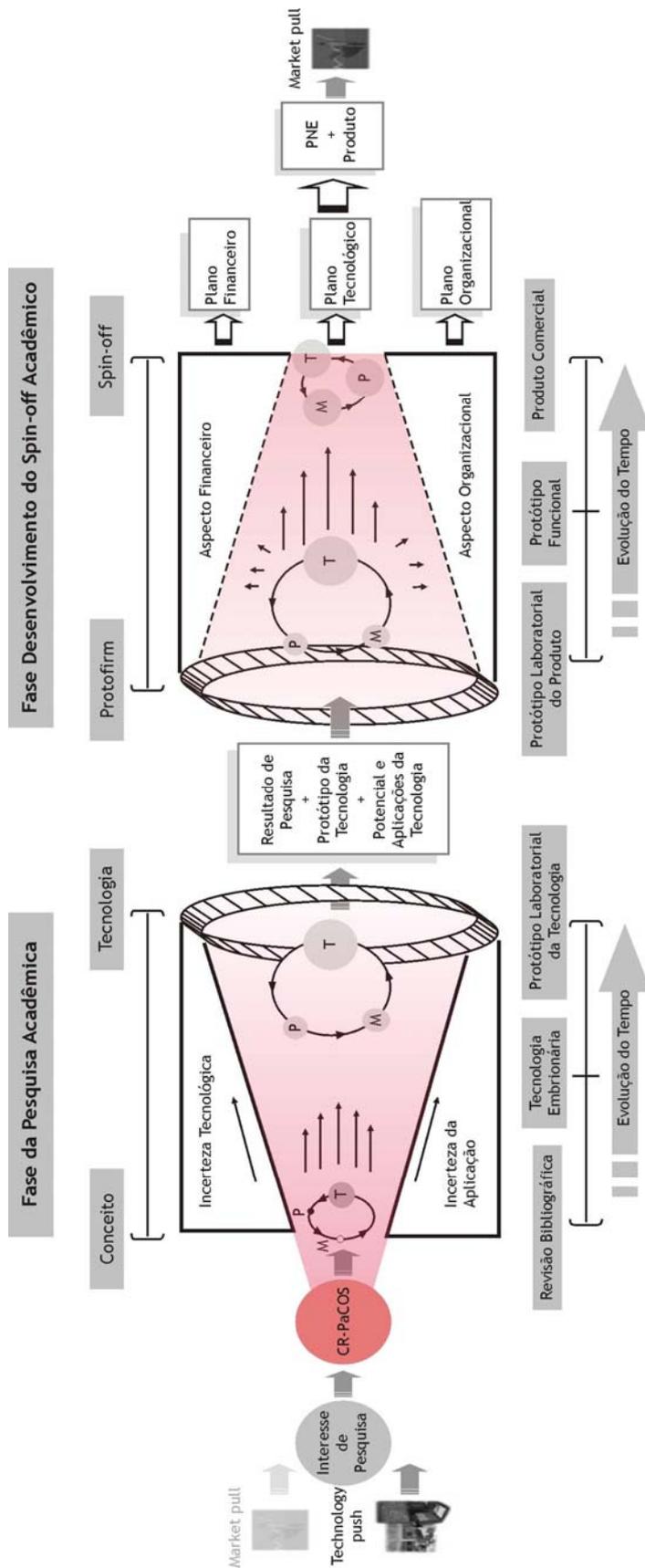
A constituição do CR-PaCOS iniciou-se com uma pesquisa acadêmica e revisão bibliográfica, realizada pela Rede PaCOS e pessoalmente, com objetivo de estudar os produtos inovadores que poderiam suprir o processo de geração de energia elétrica descentralizada, demandada crescentemente pelo mercado. Essa revisão bibliográfica representa o primeiro ponto na escala inferior do esquema de CHENG *et al.*. Na escala superior, essa revisão representa a definição do conceito da tecnologia de pilhas a

combustível (PaC). Esse conceito refere-se a uma definição da tecnologia, das suas características básicas e de suas aplicações – no caso, aplicações estacionárias para residências ligadas ou não à rede de distribuição elétrica.

As diretrizes estratégicas do CR-PaCOS serão: atrair, incentivar e acoplar competências, habilidades e recursos de empresas usuárias de tecnologias emergentes, entidades acadêmicas e científicas de âmbito nacional e/ou internacional que possam compartilhar e contribuir na transformação de seus conhecimentos em materiais, componentes, equipamentos, serviços e outros insumos necessários ao projeto-piloto da PaCOS de 2kWe.

O CR-PaCOS será constituído, inicialmente, de forma virtual (1ª fase: pesquisa acadêmica). Após os primeiros desenvolvimentos, deverá ser instalado em um espaço localizado no Parque Tecnológico do Rio/UFRJ, onde entidades de pesquisas, instituições governamentais e empresas públicas ou privadas possam interagir e compartilhar seus conhecimentos, competências e habilidades relacionados ao interesse comum de fabricação e desenvolvimento do protótipo laboratorial da PaCOS de 2 kWe. A figura 36 mostra a adaptação do esquema de CHENG *et al.* para a constituição do CR-PaCOS.

**Figura 36** – Adaptação do esquema de CHENG *et al.* para constituição do CR-PaCOS



A tarefa de atração e articulação de parceiros nacionais e internacionais para o desenvolvimento tecnológico e mercadológico da PaCOS de 2kWe no Brasil é um dos passos mais importantes na constituição do CR-PaCOS. É preciso, portanto, criar um modelo de aliança entre os parceiros. Como conseguir que as estratégias específicas dos parceiros componentes se alinhem numa estratégia comum? Que fatores técnicos e comerciais serão focados? Como combinar as diversas capacitações de agentes especializados em diferentes áreas de PD&I, para exploração de oportunidades tecnológicas atrativas da PaCOS?

As respostas a estas perguntas serão projetadas pelo consenso inicial dos interesses comerciais de cada parceiro que comporá o CR-PaCOS, na formatação de gestões que busquem o intercâmbio de informações e conhecimentos entre os agentes envolvidos nos diferentes estágios do processo. Para tanto, torna-se essencial a elaboração de um plano de negócios estendido (PNE), que dimensione as incertezas e viabilidades de concretização do empreendimento, alinhando o trinômio tecnologia, produto e mercado (TPM) de maneira consistente, com seus respectivos atributos e elementos de governança e gestão. Segundo CHENG *et al.*, o PNE deve englobar as diversas etapas do desenvolvimento do produto, mercado e finanças: as características tecnológicas; suas vantagens e restrições; as análises de lançamentos de plataformas e nichos de aplicações prospectivas de mercado e outros dados de interesse dos possíveis investidores.

### **5.1. Modelo hipotético para o CR- PaCOS**

As complexidades tecnológicas e mercadológicas do produto PaCOS se refletem na organização institucional do CR-PaCOS, pois as formas de coordenação entre as entidades e parceiros que o compõem assumem caráter de pouca especificidade quanto aos resultados pretendidos. As formas de governança e tipos de contratos entre as empresas serão estabelecidas como “contrato incompleto”, ou seja, uma pré-definição negociada das condições de apropriabilidade das inovações a serem geradas.

BRITTO (1999) defende que a generalização de contratos incompletos favorece a intensificação do esforço tecnológico, uma vez que os elevados custos e a incerteza inerentes aos projetos de P&D tornam praticamente inviável a definição anterior dos objetivos a serem atingidos. A periódica repactuação de contratos evita o oportunismo

de comportamentos individuais que podem comprometer o potencial inovativo da articulação. Na medida em que a interação entre os agentes perdure e se aprofunde ao longo do tempo, é provável que ocorra uma progressiva formalização dos mecanismos de coordenação e da base contratual que orienta as relações entre firmas.

GHEMAWAT (2000) propõe estratégias e procedimentos que devem ser levados em consideração na análise das empresas e entidades que compõem um conjunto produtivo. Ele aponta a importância de se verificar, por exemplo, a estratégia de visão do sistema de atividades, isto é, como as empresas e entidades que serão convidadas para compor o referido conjunto planejam seus processos de inovação e mudanças tecnológicas. Como o sistema empresarial responde e reage a mudanças, quando o ambiente requer mudanças constantes? A consequência disso pode levar à consideração de estratégias de articulações que alternem parâmetros rígidos (aqueles negociados entre as partes como fundamentais) e processos modulares nos quais as atividades ou os agrupamentos de atividades podem ser mudados ou substituídos, sem afetar de forma significativa o modo como outras atividades são executadas, ou o desempenho do sistema como um todo.

Outro ponto importante é o que se refere à estratégia de compartilhamento de recursos e análise das empresas. Recursos aqui são definidos de acordo com WERNERFELT (*In* GHEMAWAT, 2000, p. 120): “(...) qualquer coisa que possa ser considerada uma força ou fraqueza de uma empresa”. Implícita na definição está a idéia de que recursos são fatores fixos – isto é, atributos da empresa que não podem ser modificados a curto prazo. Como isto vai ser tratado no conjunto das entidades?

Com relação a esse item, tenta-se aqui cruzar as estratégias de capacitação numa matriz comum, englobando as empresas e entidades selecionadas. O dimensionamento das especificações estratégicas dessas empresas e entidades permitirá vislumbrar como e quais ações solidárias poderão ser executadas para fazer frente às incertezas e riscos de desenvolvimento tecnológico da PaCOS.

O desenvolvimento de capacidades, segundo GHEMAWAT, envolve opções que, individualmente, são pequenas e freqüentes, em vez de importantes e esporádicas. A idéia é que as capacidades específicas da empresa para executar atividades melhor que os concorrentes podem ser construídas gradualmente e reforçadas no decorrer de longos

períodos de tempo. Isto é válido tanto para o ambiente interno quanto para o ambiente externo.

Levar a sério as capacidades dinâmicas também significa que um dos aspectos mais estratégicos da empresa é a maneira pela qual as coisas são feitas – aquilo que pode ser chamado de “rotinas” ou padrões correntes de prática e aprendizado. Em consequência disso, “a pesquisa em áreas como gerenciamento de P&D, desenvolvimento de produtos e processos, fabricação e recursos humanos tende a ser bastante relevante” (GHEMAWAT, 2000, p. 127).

Um dos aspectos relevantes a ser considerado é que não existem capacidades para todos os fins. Deve-se reconhecer que elas diferem em termos de sua especificidade de uso. Tal aspecto é útil por colocar ênfase na mobilidade e flexibilidade de uso. O que se quer enfatizar é que, na construção/montagem da PaCOS, muitas das capacidades requeridas não estarão disponíveis, mas poderão ser atendidas se somadas a flexibilidade e mobilidade das empresas dispostas a compartilhar suas capacitações.

Com base em todos estes princípios, propõe-se um modelo hipotético para a constituição do CR-PaCOS, composto pelos seguintes atores-chave:

- quatro entidades empresariais relacionadas à área energética, mas com *core business* totalmente diferenciados: a Petrobras, representada por seu Centro de Pesquisas (CENPES); a Eletrobrás, representada por seu Centro de Pesquisa (CEPEL); a Oxiteno, empresa química ligada ao setor petroquímico; e a Embraer, empresa aeronáutica. Prevedemos a inclusão da CEMIG como uma das empresas âncoras neste desenvolvimento, pelo fato de já ter mostrado interesse ao Lab H<sub>2</sub> da COPPE.
- duas entidades governamentais responsáveis por políticas públicas nas áreas de energia elétrica e ciência e tecnologia: o Ministério de Minas e Energia (MME) e o Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT);
- A Rede PaCOS, representada pelo LabH<sub>2</sub>; e o Instituto Jülich (FZJ), líderes de um consórcio de universidades e centros de pesquisas nacionais e internacionais interessadas no desenvolvimento da Rede PaCOS.

A partir do levantamento das capacidades e interesses dessas entidades, sugerimos, a seguir, um plano de negócios estendido (PNE) para o CR-PaCOS.

### 5.1.1. Plano de negócios estendido (PNE) do CR-PaCOS

Além de especificar as formas de governança e tipos de contratos entre os membros constituintes do CR-PaCOS, o PNE deverá funcionar como uma bússola dos comprometimentos técnicos, administrativos, financeiros e comerciais assumidos pelos parceiros, apresentando indicadores para avaliação de cooperação, aprendizado, inovação e produção. O PNE será estruturado nas seguintes etapas descritivas:

- a) O empreendimento – Descrição da forma como vai ser constituído o CR-PaCOS. Composição dos participantes: breve relato sobre suas atividades e experiência no mercado. Objetivos do empreendimento. Oportunidades de negócio apresentadas. Estudo das forças, fraquezas, oportunidades e ameaças do projeto (análise SWOT<sup>15</sup>). Definição das formas de governança.
- b) O produto – Descrição da PaCOS de 2kWe (empilhamento), modelo planar, para geração de energia elétrica descentralizada para utilização em aplicações estacionárias ligadas ou não à rede de distribuição elétrica. Tecnologias disponíveis, escolha da tecnologia, custos para o desenvolvimento, equipes de especialistas disponíveis, materiais e componentes disponíveis no mercado.
- c) O mercado – Descrição do mercado potencial inicial do produto. Metas a serem atingidas. Plano de marketing. Clientes-alvo. Possíveis concorrentes. Cronograma de desenvolvimento no mercado.
- d) Administração e finanças – Equipe de trabalho. Interesse dos participantes-líderes. Investimentos financeiros e de recursos humanos a serem realizados por cada entidade parceira. Fluxo de caixa ao longo de 24 meses.

---

<sup>15</sup> A análise SWOT é uma ferramenta de análise do empreendimento a ser desenvolvido, através de variáveis captadas no ambiente interno e externo. Seu nome advém das primeiras letras que o compõem na língua inglesa (*strength, weakness, opportunity e threatness*). Este dispositivo permite realizar um cruzamento entre as variáveis internas e externas e traçar estratégias de ação para o empreendimento, com vistas à sobreposição das ameaças e fraquezas. No caso do CR-PaCOS, por tratar de um produto inovador tecnologicamente complexo, esta análise deve levar em conta as diversas tendências que poderão ocorrer nos variados cenários – econômico, ambiental, social e político.

### 5.1.1.1. O empreendimento CR-PaCOS

#### a) Entidades-líderes

Dentro do escopo da presente tese, foi assinado, em junho de 2007, um convênio entre o LabH<sub>2</sub>, representado pela Fundação COPPETEC, e o Centro de Pesquisas Jülich (FZJ), da Alemanha. O convênio de compartilhamento de conhecimentos tem como objetivo fundamental a construção de um protótipo da PaCOS de 2kWe estacionária para aplicação no Brasil. As diretrizes e metas estabelecidas tiveram como base os estágios tecnológicos em que se encontram os dois parceiros no desenvolvimento da PaCOS. Sendo assim, no âmbito acadêmico, as duas entidades-líderes do CR-PaCOS serão o LabH<sub>2</sub> e a Fundação Jülich (FZJ).

Com relação ao âmbito empresarial, a partir dos temas técnicos especificados na pesquisa apresentada capítulo 4, foram analisadas as empresas brasileiras que possuíam diretrizes tecnológicas inovadoras consoantes com o projeto do CR-PaCOS. O método de seleção das empresas acompanhou a temática de sistemas e processos produtivos relacionados à geração de energia ou de produtos com grande intensidade tecnológica. Após extensa pesquisa, chegou-se à definição das quatro empresas selecionadas: Petrobras/Cenpes; Eletrobrás/Cepel; Oxiteno e Embraer.

A tabela 16 apresenta o cruzamento das competências necessárias ao desenvolvimento da PaCOS de 2kWe<sup>16</sup>. A intenção é mapear as possíveis competências tecnológicas existentes no país, apresentadas por empresas que já utilizam estes ingredientes em seu dia-a-dia para desenvolvimento de produtos e processos complexos.

---

<sup>16</sup> As empresas não foram consultadas a respeito do projeto da PaCOS de 2 kWe. Ao assinalarem-se suas competências, levam-se em conta as estratégias anunciadas por cada empresa em sua política de PD &I em relação aos projetos que lhes são particularmente interessantes e possuem importância mercadológica em seus negócios.

**Tabela 16** – Mapa matricial de competências para o desenvolvimento da PaCOS de 2kWe no Brasil, com base nas empresas selecionadas

Necessidades fundamentais para o desenvolvimento da PaCOS de 2kWe no Brasil	Embraer	Oxiteno	Petrobras/CENPES	Eletrobrás/Cepel
Novos eletrólitos e materiais para eletrodos para operação em temperaturas entre 600 -700 <sup>0</sup> C		X	X	X
Utilização da PaCOS de 2kWe com reforma interna para aplicações estacionárias				X
Utilização da reforma de etanol para produção de hidrogênio			X	
Implantação de procedimentos de ensaio, avaliação e certificação dos componentes da PaCOS de 2kWe	X	X	X	X
Desenvolvimento de cursos que incorporem tecnologias do H <sub>2</sub> e PaCOS na formação profissional e universitária	X	X	X	X
Desenvolvimento de Redes de Informações entre instituições de C&T e empresas para compartilhamento	X	X	X	X
Criação de ambiente físico para conjugação dos esforços entre instituições de C&T e empresas	X	X	X	X
Compartilhamento de Capital de Risco entre instituições de C&T e empresas para desenvolvimento de produtos complexos	X	X	X	X
Compartilhamento de capacitações e habilidades entre instituições de C&T e empresas para desenvolvimento de materiais, componentes etc	X	X	X	X

Uma vez estabelecida a composição da parceria tecnológica para a elaboração conjunta de um produto inovador de alta complexidade, é necessário realizar um debate junto aos atores-chave selecionados, com o objetivo de estabelecer as diretrizes estratégicas que serão desenvolvidas no plano tecnológico, apontado como prioridade inicial da metodologia CHENG *et al.* (2007).

Uma boa estratégia é a realização de um *workshop* para discussão conjunta, englobando temas de interesse compartilhado e fatores percebidos de maneiras diversas pelas várias empresas/entidades. O objetivo deste encontro é produzir um documento com especificações sobre as etapas posteriores a serem desenvolvidas, englobando:

- a) cronograma de ações estratégicas para o projeto-piloto;
- b) estruturação e fixação do CR-PaCOS no Parque Tecnológico do Rio/ UFRJ;
- c) indicação de outros possíveis parceiros para fornecimento e colaboração tecnológica;
- d) indicadores apropriados para dimensionamento das ações estratégicas;
- e) ações a serem propostas aos governos para políticas públicas adequadas ao objetivo de ampliar os investimentos no CR- PaCOS;
- f) construção de um quadro de referências tecnológicas e de políticas praticadas por outros países sobre a PaCOS.

Entre essas etapas, uma das diretrizes de fundamental importância é a definição dos critérios de seleção de novas empresas de base tecnológica (NEBT's) que contribuirão nos processos relacionados aos materiais, componentes, testes e outras necessidades básicas da PaCOS de 2kWe. Os critérios listados abaixo, por sua vez, são exemplos de fatores de atração que podem ser oferecidos às possíveis empresas integrantes:

- Oferta de mão-de-obra qualificada e competências locais;
- Incentivos fiscais;
- Mercados atingidos pelas empresas que poderiam auxiliar a penetração da PaCOS;
- Patentes e propriedades intelectuais que poderiam colaborar no desenvolvimento tecnológico da PaCOS;
- Fatores culturais que contribuem para implantação da PaCOS em regiões distantes;

- Estratégias específicas diferenciadas que possam contribuir para sua administração;
- Proximidade geográfica com uma rede tecnológica de ponta;
- Estudos de novos processos para regulamentação de projeto estruturante;
- Articulações com diversas entidades e órgãos de diversas instâncias governamentais.

#### **b) Conceito**

O conceito do CR-PaCOS está alicerçado na busca de integração e sinergia das tecnologias de entidades da tríplice hélice (nacionais e internacionais) que possuem competências e habilidades para desenvolver soluções ambientais e econômicas de geração descentralizada de energia elétrica distribuída (GD).

Deve se apresentar como um ambiente institucional onde será administrado o conhecimento gerado no interior da Rede PaCOS ou externamente, com vistas ao surgimento e à promoção de novas idéias, novos conhecimentos, novas tecnologias e novos negócios referentes à PaCOS. Deve ser visto como um espaço institucional de articulação e integração de pessoas e atividades, onde conhecimentos são transformados em resultados através de:

- melhoria do processo de gestão do conhecimento;
- geração de negócios a partir de competências internas;
- criação de soluções e parcerias empresariais através de patentes e licenciamento de tecnologias.

O conceito deverá promover a criação de um ambiente de integração e articulação com a participação de pessoas relacionadas às seguintes funções/atividades:

- **gestão do conhecimento interno** (gestão dos capitais do conhecimento, gestão do processo, prospecção tecnológica e inteligência competitiva, gestão de patentes);

- **oferta de serviços de comercialização** (negociação, registro de patentes, captação de parcerias e alianças, licenciamento de técnicas e tecnologias, planos de negócios);
- **promoção das atividades de marketing** da Rede PaCOS e dos sócios empreendedores (venda da idéia, fortalecimento da imagem da Rede PaCOS);
- **fundo próprio de investimentos** para suporte a novos negócios (parceria com agentes financeiros para captação e aplicação de recursos financeiros);
- **central de solução de problemas e banco de necessidades.**

#### c) **Negócio**

Desenvolvimento científico, tecnológico e mercadológico de geração distribuída (GD) de energia elétrica através da PaCOS de 2kWe para fins estacionários, alimentada por combustíveis alternativos (hidrogênio puro, biogases, gás natural, etanol, etc). Espera-se que ao longo do desenvolvimento dos processos da PaCOS surjam outros sub-produtos, processos e serviços (novos materiais, sistemas), provenientes das tecnologias emergentes utilizadas, através de redes de empresas, instituições e órgãos governamentais nacional e internacional.

#### d) **Forma jurídica**

O CR-PaCOS deve constituir-se como uma OSCIP (Organização da Sociedade Civil de Interesse Público), regulamentada pela lei 9.790 de 23/03/99, conhecida como Lei do Terceiro Setor. As OSCIPs são:

*(...) entidades privadas atuando em áreas típicas do setor público, e o interesse social que despertam merece ser, eventualmente, financiado, pelo Estado ou pela iniciativa privada, para que suportem iniciativas sem retorno econômico (extraído do site [www.sebraemg.com.br](http://www.sebraemg.com.br) em 27/01/08).*

Dentro dos pré-requisitos solicitados pela legislação para enquadramento de um empreendimento como OSCIP, encontra-se o item “estudos e pesquisas, desenvolvimento de tecnologias alternativas, produção e divulgação de informações e conhecimentos técnicos e científicos”, no qual o CR-PaCOS se enquadra perfeitamente.

**e) Missão (período 2008-2030)**

Transformar, capacitar, difundir e compartilhar conhecimentos das entidades parceiras associadas sobre pilhas a combustível de óxido sólido (PaCOS) para geração distribuída e co-geração de energia elétrica, proporcionando custos compatíveis aos de outras fontes alternativas, durabilidade e segurança ambiental para seu lançamento no mercado brasileiro e mundial.

**f) Visão (período 2008-2030)**

Ser reconhecido como uma referência nacional e sul-americana na gestão de conhecimentos da PaCOS de até 2kWe, capaz de provocar impactos na matriz energética brasileira com fornecimento de eletricidade no setor estacionário,

- desenvolvendo novos materiais, componentes e sistemas da PaCOS;
- desenvolvendo combustíveis alternativos (etanol, biogás) para operacionalização da PaCOS;
- integrando 10 novos institutos de ciência e pesquisas nacionais e internacionais ao CR-PaCOS;
- integrando 5 empresas nacionais ou internacionais para o compartilhamento de fabricação de um protótipo da PaCOS de 2kWe no Brasil.

**g) Valores**

Ética; transparência nas ações; empreendedorismo e inovação; apoio e incentivo aos parceiros do CR-PaCOS; compartilhamento de conhecimentos.

## **h) Análise SWOT (Forças, Fraquezas, Oportunidades, Ameaças)<sup>17</sup>**

### **Forças:**

- a) Principais entidades e competências nacionais reunidas na Rede PaCOS;
- b) Acordo de cooperação científica e tecnológica entre a Fundação COPPETEC e o FZJ;
- c) Produtos e serviços do CR-PaCOS em consonância com as tendências do mercado;
- d) Especialistas do CR-PaCOS, países integrantes da *International Partnership for the Hydrogen Economy* (IPHE)..

### **Fraquezas:**

- a) Produto com necessidades de aprimoramento científico e tecnológico;
- b) Custos de produção elevados;
- c) Práticas de mercado ainda incipientes;
- d) Poucos fornecedores interessados em desenvolver matérias-primas e insumos no Brasil;
- e) Possíveis dificuldades de agregar empresas;
- f) Possíveis dificuldades de obtenção de financiamentos para sustentação;
- g) Produtos e serviços com longos períodos de maturação nos mercados brasileiro e mundial;
- h) Tecnologias de materiais necessários à PaCOS ainda com padrão de inovação fluido;

---

<sup>17</sup> São referenciados aqui alguns dados da metodologia aplicada no “Plano Nacional de Energia 2030” (MME, 2007), já apresentados e discutidos no capítulo 3.

- i) Falta de infra-estrutura para fornecimento de hidrogênio;
- j) Funcionamento em altas temperaturas - 800 a 1000<sup>0</sup>C;
- k) Sistemas de segurança ainda incipientes.

**Oportunidades:**

- a) Mudanças do clima do planeta. Necessidade de diminuir as conseqüências do aquecimento e a emissão de gases causadores do efeito estufa (GEE);
- b) Valorização de fontes energéticas ambientalmente sadias;
- c) Aumento no preço internacional do petróleo e seus derivados;
- d) Segurança Nacional. Necessidade de diminuição da importação de petróleo;
- e) Crescimento econômico e populacional;
- f) Aparecimento de novos nichos de mercado intensivos em tecnologia;
- g) Corporações à procura de mercados populosos com potencial de crescimento;
- h) Gargalos de geração e produção de energia elétrica;
- i) Previsão, no Brasil, de taxas de crescimento do consumo de eletricidade em 4,3% a.a até 2030;
- j) Aumento de 53,1 milhões de habitantes na população do Brasil no período compreendido entre 2005 e 2030;
- k) Aumento da produção de cana (de 431 milhões de toneladas por ano em 2005 para 1.140 milhões de toneladas por ano em 2030) e do consumo de etanol (de 14 bilhões de litros/ano em 2005 para 54,7 bilhões litros/ano em 2030);
- l) Aumento significativo dos investimentos em P&D no Brasil (de 1,02% do PIB em 2007 para 1,5% do PIB em 2010).

## **Ameaças:**

- a) Não ser auto-sustentável financeiramente;
- b) A adesão de grandes empresas pode ser prejudicada pelo fato de a PaCOS não estar incluída em suas diretrizes estratégicas para os próximos anos;
- c) Outras fontes alternativas de energia elétrica descentralizadas (tais como solar e eólica) são atualmente mais econômicas e comercialmente mais desenvolvidas.

## **i) Governança**

A governança do CR-PaCOS será realizada por um conselho consultivo constituído por membros indicados pelas empresas e instituições acadêmicas e científicas (nacionais e internacionais) participantes. Caberá ao conselho consultivo determinar as prioridades tecnológicas a serem alcançadas no CR-PaCOS. Já o monitoramento das metas tecnológicas ficará a cargo de um comitê técnico constituído pelos setores das entidades envolvidas.

A estruturação do CR-PaCOS considera as seguintes etapas a serem detalhadas após aprovação do modelo conceitual básico com os associados:

- Elaboração do documento conceitual definitivo;
- Formação e formalização da rede interna do CR-PaCOS;
- Nomeação do conselho consultivo e do comitê técnico do CR-PaCOS;
- Definição do esquema de trabalho dos organismos de gestão;
- Definição dos projetos estruturantes iniciais, incluindo:
  - O detalhamento físico do CR-PaCOS;
  - A nomeação final dos núcleos e pesquisas internas que serão conduzidos em rede no CR-PaCOS;
  - Outras ações e medidas fundamentais a serem definidas pelos grupos operativos;

- Elaboração do documento (contrato) para formalizar o acordo entre as partes;
- Definição das formas de compartilhamento da propriedade intelectual gerada no âmbito do CR-PaCOS;
- Fechamento do acordo para operação do CR-PaCOS.

#### **5.1.1.2. O produto**

O produto principal é a pilha a combustível de óxido sólido (PaCOS) de 2kWe (empilhamento), modelo planar, alimentada com combustíveis alternativos (inicialmente hidrogênio puro e gás natural), para aplicações estacionárias e geração distribuída (GD) de energia elétrica e calor.

Por se tratar de um produto tecnologicamente complexo (isto é, dependente de sistemas e subsistemas), a PaCOS, em seu processo de desenvolvimento, possivelmente dará origem a diversos sub-produtos e serviços, dos quais cabe destacar alguns:

- a) Matérias-primas para fabricação de anodo, catodo, eletrólito, interconectores e selantes vítreos, cujas características técnicas poderão ser utilizadas em outros setores que trabalham com temperaturas elevadas. A especificação de cada um dos elementos está no Anexo 4;
- b) Sistemas para processos de integração. A PaCOS depende de sistemas integradores como: BdP (balanço de planta); transformação de corrente contínua em corrente alternada; indicadores de eficiência energética; equipamentos de testes nos diversos estágios dos processos de fabricação, etc.
- c) Cursos e eventos para capacitação profissional e difusão mercadológica da PaCOS.

#### **a) Tecnologias**

As diretrizes para o desenvolvimento das tecnologias necessárias à construção e implantação da PaCOS no mercado serão modulares e deverão ser pautadas de acordo com os estágios tecnológicos de desenvolvimento de cada parceiro-líder no âmbito

acadêmico (Lab H<sub>2</sub> da COPPE e FZJ), suas capacidades de absorção dos conhecimentos e os recursos humanos e materiais que efetivamente poderão ser dimensionados dentro da conjuntura de cada país.

Assim, o FZJ fornecerá pilhas unitárias e empilhamentos curtos do modelo planar estacionário para realização de diversos tipos de testes, descritos adiante. As diretrizes básicas acertadas entre as duas partes foram as seguintes:

- Transferir a experiência de alguns processos de fabricação da PaCOS de 2kWe, modelo planar de uso estacionário, alimentada com gás natural, desenvolvida pelo FZJ, para o Brasil;
- Desenvolver no Brasil produtos e processos tecnológicos complementares aos já desenvolvidos na FZJ, como: balanço de planta (BdP) e mecanismos de introdução da PaCOS de 2kWe, planar, alimentada com gás natural, no mercado brasileiro;
- Desenvolver no LabH<sub>2</sub> anodo para uso direto de etanol, baseado em material electrocatalítico, com apoio e procedimentos do FZJ.

A estratégia para efetivação dessas diretrizes foi definida pelos representantes das duas entidades-âncora, em encontro realizado nos dias 5 e 6 de dezembro de 2007, em Jülich, Alemanha, ocasião em que foi ratificado o 1<sup>o</sup> Plano de Ação Técnico<sup>18</sup>. O cronograma prevê os seguintes estágios:

- **Estágio 1 - Testes e intercâmbio (com início em 2008):**
  - Desenvolvimento de testes laboratoriais em equipamentos do LabH<sub>2</sub>, usando biogás sintético em 50 pilhas unitárias da PaCOS modelo planar, com dimensões 5 x 5 cm<sup>2</sup>, e 3 empilhamentos curtos de 10 X10 cm<sup>2</sup>, produzidos e fornecidos pelo FZJ;
  - Intercâmbio de técnicos e especialistas entre o LabH<sub>2</sub> e FZJ. O LabH<sub>2</sub> enviará ao FZJ dois estudantes de PhD. Um para estágio nas bancadas de testes de pilhas unitárias de empilhamentos curtos, com ênfase em espectroscopia de

---

<sup>18</sup> O documento encontra-se no Anexo 7.

impedância, e outro para estágio na integração do anodo para a PaCOS a ser alimentada com etanol direto. O FZJ enviará ao Brasil um estudante de PhD para estagiar no LabH<sub>2</sub> para estudos termodinâmicos da PaCOS, alimentada diretamente com etanol.

- Participação de pesquisadores do FZJ no próximo Seminário da Rede PaCOS, a ser realizado em novembro de 2008, com organização do LabH<sub>2</sub>.
- **Estágio 2 – Desenvolvimento do BdP para o sistema PaCOS de 2 kWe (início em 2011)**

A partir da aquisição de um empilhamento PaCOS de 2kWe, será desenvolvido no LabH<sub>2</sub> projeto conceitual para um balanço de planta destinado a tornar o sistema PaCOS apto a produzir e gerenciar energia (elétrica e térmica) em condições otimizadas de eficiência, durabilidade, simplicidade e confiabilidade de operação. Componentes usuais para implementação de balanços de planta serão estudados, projetando-se os circuitos elétricos, gasosos e de arrefecimento necessários, bem como a malha de controle e os sistemas de eletrônica de potência necessários para operação do sistema conectado ou não à rede elétrica. Em todas essas atividades, bem como ao longo de todo o processo de estudos do dispositivo, as ferramentas de análise de eficiência energética serão amplamente usadas para avaliar os processos considerados.

- **Estágio 3 – Testes no LabH<sub>2</sub> usando etanol e biogás sintético em um empilhamento da PaCOS a ser fornecido pelo FZJ (início em 2012)**
  - Desenvolvimento do anodo da PaCOS para trabalhar com etanol direto. LabH<sub>2</sub> fornecerá os materiais eletrocatalíticos em pó para fabricação dos eletrodos. FZJ desenvolverá os processos de fabricação dos eletrodos com o material enviado pelo LabH<sub>2</sub>. Avaliação conjunta deverá ser realizada sobre o tipo de substrato a ser usado para este propósito.
- **Estágio 4 – Testes com PaCOS fornecida por FZJ, acoplada ao Bdp desenvolvido pelo LabH<sub>2</sub>, alimentada com etanol e biogás sintético (início em 2013)**

- **Estágio 5: Testes com PaCOS fornecida por FZJ, acoplada ao BdP desenvolvido pelo LabH<sub>2</sub>, alimentada com etanol e biogás real (início em 2013)**
  - Testes em duas ou três unidades da PaCOS de 2kWe, fornecidas por FZJ, com diversos tipos de combustíveis (incluindo hidrogênio, metano, gás natural, biogás e etanol). As informações obtidas serão avaliadas em conjunto com os especialistas do LabH<sub>2</sub> e FZJ. Todos os resultados obtidos serão de propriedade conjunta dos dois parceiros;
- **Estágio 6 – Início de fabricação do lote-piloto de 1000 PaCOS de 2kWe, para efeito demonstrativo no Brasil, utilizando a infra-estrutura do CR-PaCOS (2013-2018).**

É importante ressaltar que, além da parceria científica e tecnológica já realizada com o FZJ, o CR-PaCOS contará com as competências de empresas nacionais e internacionais interessadas no desenvolvimento da PaCOS. Assim, os estágios descritos acima passam pelo conhecimento do estado da arte de empresas com possibilidades de fornecimento ou desenvolvimento de materiais, componentes, insumos, equipamentos, acessórios e testes; pelo estudo das tecnologias emergentes existentes e faltantes nas universidades e centros de pesquisas para construção do protótipo no Brasil; e pela formação de uma rede de parcerias e alianças tecnológicas e econômicas constituída pela UFRJ/COPPE e FZJ com outras instituições, empresas e entidades nacionais e internacionais a serem convidadas.

O cenário para realização das atividades do estágio 6 foi fixado para o período 2013-2018, visando às seguintes metas:

- Otimização do desempenho elétrico e termomecânico requerido;
- Minimização de perdas elétricas;
- Desenvolvimento de selo mecânico adequado, com a finalidade de impedir a mistura entre combustível e oxidante;
- Redução de custo e aumento da reprodutibilidade do processo de fabricação;
- Aumento da vida útil do dispositivo;

- Transformação da PaCOS de 2kWe em um produto de fabricação em escala.

**b) Proposição de um *roadmap* tecnológico do CR-PaCOS para os próximos 10 anos<sup>19</sup>**

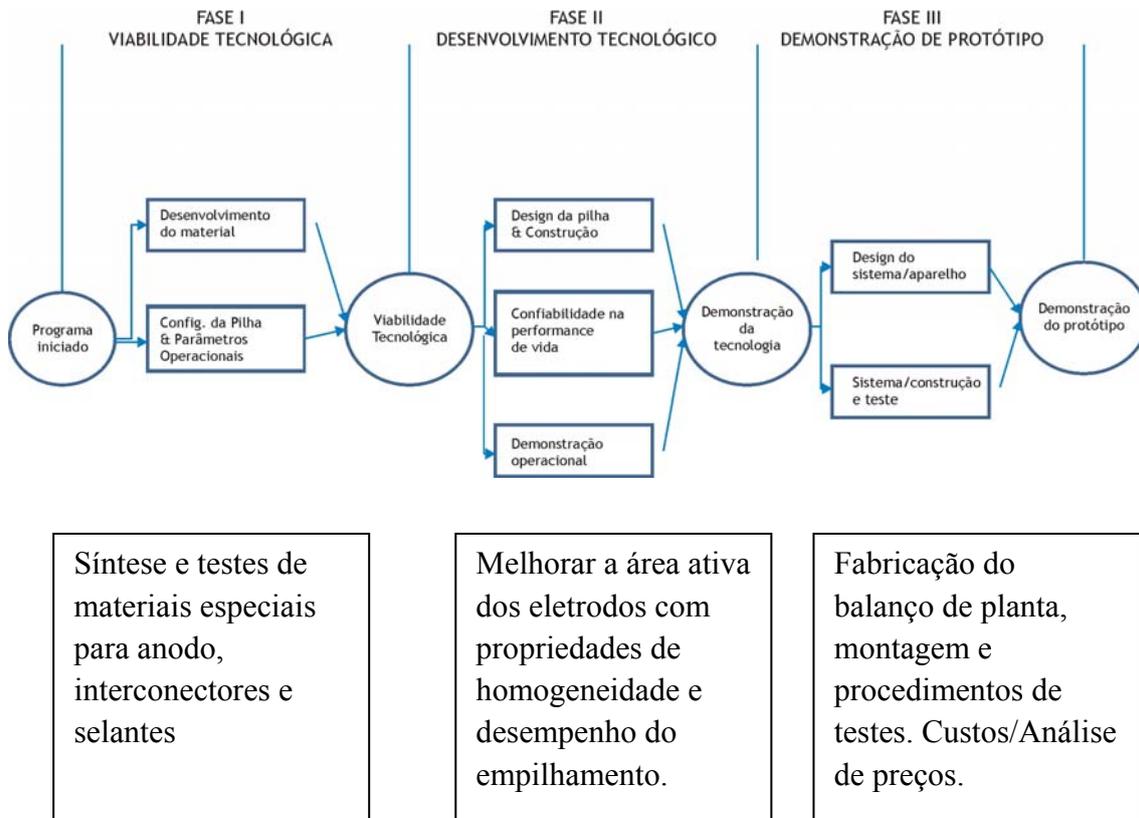
As tecnologias energéticas estão entre as que possuem os maiores horizontes de ciclo de vida. As usinas geradoras de energia que utilizam como matéria prima o carvão, óleo ou nuclear, permanecem em atividade por 30 a 40 anos, e as hidrelétricas comumente têm o dobro de durabilidade. Logo, uma previsão futurista de 40 a 60 anos não é um fato isolado no setor energético, como aponta LUNDVALL (1998).

Para confecção do *roadmap* proposto devem ser realizadas coletas de informações específicas com os responsáveis pelos setores estratégicos das empresas/entidades selecionadas, com o objetivo de verificar e dimensionar as competências e habilidades de cada empresa no que se refere à implementação de processos inovadores relacionados a produtos e serviços que possam contribuir com o desenvolvimento da PaCOS. O *roadmap* aqui proposto foi elaborado com base nas informações obtidas junto às duas entidades-líderes em âmbito acadêmico (LabH<sub>2</sub> e FZJ).

---

<sup>19</sup> O objetivo deste *roadmap* é agregar e consolidar em etapas cronológicas os conhecimentos e informações obtidos desde o início das pesquisas de empresas participantes até o desenvolvimento do protótipo da PaCOS. (A metodologia utilizada tem base em ANDERSEN et al., 2004).

**Figura 37** – Roadmap do CR-PaCOS para os próximos 5 anos



Adaptado de MIRANDA *et al.* (2008).

### c) Custos

Os aspectos referentes aos custos de produção de uma PaCOS são abordados em KHANDKAR *et al.* (2000). Os autores estudam os custos e benefícios de um projeto em relação a sua potência, operação e componentes do sistema *hardware* da PaCOS. Eles enfatizam que os resultados só são obtidos quando se relacionam potência e eficiência com informações controláveis, tais como tensão da pilha e consumo de combustível. O artigo sugere ainda a construção de um mapa de controle onde se simulam os pontos de maior eficiência operacional para uma determinada estrutura.

Como o detalhamento de custos de um protótipo de produto exige uma experiência prévia, com o objetivo de analisar e quantificar as variáveis que incidem na formação de custos, e como não se dispõe até o momento destes elementos fundamentais, tomam-se por base os estudos de CARLSON *et al.* (2004), SERRA *et*

*al.* (2005) e LOKURLU *et al.* (2003) e a experiência do LabH<sub>2</sub> na aquisição de uma pilha a combustível de membrana polimérica para um de seus projetos.

CARLSON *et al.* declaram que o objetivo da SECA (*Solid State Energy Conversion Alliance*) é alcançar, em 2010, um custo de US\$ 400/kW para a PaCOS, modelo planar, de aplicações estacionárias. O projeto foca somente os custos de materiais eletroquímicos (anodo, catodo, eletrólito), interconector sem revestimento e custos fabris, e considera um alto volume de produção para estabelecer um custo estimado (250 MW, tendo como base unitária o empilhamento de 5kW).

SERRA *et al.* indicam que o trinômio formado pelo custo de aquisição e instalação, o preço do insumo combustível e o custo de energia elétrica produzida constitui a chave para se determinar a viabilidade tecnológica de uma pilha a combustível. LOKURLU *et al.* apresentam uma análise de custos para o mercado alemão de sistemas de geração de energia elétrica com base em pilhas a combustível, utilizando o gás natural como combustível primário. Os resultados mostram os custos em função do tempo de operação da planta (de 200 kWe), tendo o investimento e o preço do gás natural como parâmetros, e consideram uma perspectiva de se atingir o valor de US\$ 1000,00 a 1500/kWe como meta para viabilização do emprego das pilhas a combustível em aplicações estacionárias.

A tabela 17, extraída de SERRA *et al.*, mostra uma comparação entre opções de dispositivos em geração distribuída sem processo de combustão.

**Tabela 17** – Opções de dispositivos em geração distribuída

Característica	Pilha a Combustível	Turbina Eólica	Painel Foto-Voltaico
Porte Atual (kW)	<1 - 10.000	< 1 - 3000	< 1 - 1000
Eficiência Elétrica (%)	34 - 50	20-35	12 - 16
Custo Atual (US\$/kW) <sup>1</sup>	3.500 – 20.000	900 - 1000	5.000 – 10.000
Custo Projetado (US\$/kW) <sup>2</sup>	600 - 1500	500	1.000 - 2000

<sup>1</sup> Equipamento Instalado

<sup>2</sup> Equipamento instalado, projeção para produção em massa  
Adaptado de SERRA *et al.* (2005, p. 158)

LOKURLU *et al.* demonstram que o custo da energia elétrica numa planta de co-geração com pilhas a combustível com a tecnologia atual é cerca de oito vezes maior que aquele resultante de uma térmica convencional. O cenário muda, no entanto, quando se compara o custo da eletricidade gerada na hipotética futura planta de co-geração (44% mais eficiente e com um quinto dos investimentos das plantas com pilhas a combustível atuais). Neste caso, o custo final não só é competitivo, como se mostra significativamente menor que aquele resultante de uma planta convencional atual.

Com relação à experiência do LabH<sub>2</sub>, o menor preço obtido para a compra de uma pilha a combustível de membrana polimérica (PEM) para um de seus projetos foi de aproximadamente R\$ 12 mil por kWe. É preciso considerar, no entanto, que os estágios tecnológicos e mercadológicos da PEM estão bem mais avançados que os da PaCOS, que ainda requer desenvolvimentos de materiais e sistemas de integração.

Assim, para que se possam estabelecer parâmetros mais factíveis para a entrada da PaCOS (empilhamento) no Brasil, e levando-se em conta os estudos e argumentos apresentados, acredita-se que o arbítrio de um custo de R\$ 8 mil/ kWe para o protótipo laboratorial da PaCOS esteja dentro da realidade inicial. O preço de venda por kWe após os custos administrativos e fiscais será de R\$ 16 mil<sup>20</sup>.

Este valor será considerado como um parâmetro inicial a ser alcançável no projeto-piloto. Espera-se que, com a contínua melhoria de processos de fabricação e integração dos parceiros da Rede PaCOS, possam ser atingidos, ao longo do tempo, custos menores e mais competitivos.

Outro aspecto importante a ser considerado foram os investimentos em equipamentos, máquinas, bancadas de testes, e dispositivos necessários à montagem e fabricação do protótipo da PaCOS de 2 kWe.

De acordo com pesquisas com empresários brasileiros, fabricantes de pilhas a combustível PEM, estimou-se que nesta primeira etapa (elaboração do protótipo da PaCOS de 2kWe) seria necessário um investimento de aproximadamente R\$ 3 milhões de reais, levando-se em conta, que os componentes iniciais seriam importados do FZJ.

---

<sup>20</sup> Para efeito de referência em todos os custos aqui apresentados em R\$, deve-se registrar que, na data em que foram feitos os cálculos (abril de 2008), U\$1,00 valia R\$ 1,70.

A partir dos progressos de conhecimentos adquiridos no desenvolvimento do protótipo da PaCOS de 2kWe nos primeiros três anos, prevê-se que outros investimentos seriam realizados nos 5 anos seguintes, totalizando o valor de R\$ 10 milhões de reais, com objetivo de desenvolvimento dos componentes no Brasil.

Para efeito de plano de negócios admitiremos o investimento inicial de R\$ 3 milhões de reais para os primeiros 3 anos e gradativamente investimentos de R\$ 1,5 milhões de reais por ano, nos 5 anos seguintes.

### **5.1.1.3. O mercado**

A orientação mercadológica da PaCOS de 2kWe estará focada aos seguintes tipos de aplicações:

- a) Consumidores que necessitam de suprimento de energia elétrica com alto grau de confiabilidade. Exemplos: bancos, centros de pesquisas, hospitais, aeroportos, sistemas de comunicação, plantações automatizadas por sistemas de irrigação;
- b) Complementaridade com outros modelos descentralizados para geração de energia elétrica, com aproveitamento da energia solar, eólica, turbinas a gás e biomassa.

Segundo o Proinfa (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia), as energias alternativas vão responder por 10% do consumo brasileiro em menos de uma década. Após estudos a este respeito, conclui-se que um dos principais setores de atividades para difusão e propagação de novos produtos inovadores de base tecnológica se encontra nos projetos demonstrativos educacionais de centros de pesquisas, universidades e empresas.

A metodologia aplicada para se chegar a esta conclusão foi baseada em GHEMAWAT (2000). Para se tornar realidade como vetor energético, a PaCOS necessita ter uma difusão tecnológica por todo o país, através de centros de pesquisas, academias, empresas públicas e privadas, que possam replicar, testar e capacitar os recursos do protótipo da PaCOS de 2kWe, compartilhando o desenvolvimento de materiais, processos e recursos humanos.

Sendo assim, a consolidação nos segmentos de mercado descritos acima – ou em outros não apontados – será realizada por intermédio do cliente-alvo selecionado para introdução da PaCOS no mercado: os centros de pesquisas e tecnologias de entidades públicas e privadas que buscam a geração de novos produtos, serviços e processos inovadores, relacionados à geração de energia elétrica descentralizada (GD) no Brasil e/ou exterior, os quais terão como desafio aprofundar as aplicações da PaCOS nos nichos de sua região, e averiguar as potencialidades do mercado local.

Para a obtenção das informações sobre os impactos mercadológicos que poderão ocorrer com o futuro tecnológico da PaCOS, serve de base também GHEMAWAT (2000). O autor defende que a análise de impacto de negócios de um novo produto tecnológico não pode se restringir à estrutura interna de um grupo, devendo se concentrar também na íntima relação entre os grupos. Isso significa que uma estratégia só é consistente se puder se adequar aos ambientes internos e externos, sendo testada e quantificada em seus elementos básicos e essenciais. Ele aponta dois critérios estratégicos convencionais para a análise de impacto de negócios:

A estratégia deve se encaixar internamente de uma maneira que gere valor agregado para a organização como um todo no ambiente em que opera; e a estratégia deve se adequar ao ambiente externo de forma a imunizá-lo, pelo menos até certo ponto, contra ameaças à sua sustentabilidade (GHEMAWAT, 2000, p. 117).

O desenvolvimento da PaCOS de 2kWe pelo CR-PaCOS pode desencadear ao mesmo tempo oportunidades e ameaças. Pode criar novos picos de negócios e também eliminar os já existentes. Uma estratégia de comprometimentos coletivos, portanto, é fundamental para se lidar com essas inovações radicais, que poderão afetar as empresas, entidades e indivíduos que desejem aproveitar essas oportunidades.

A geração distribuída, através da PaCOS de 2kWe, se constitui num grande desafio para o mercado de energia:

Ao mesmo tempo em que representa um risco de diminuição do mercado para as concessionárias e distribuidoras, também pode ser uma grande oportunidade para as empresas do setor. A geração distribuída pode ser factível em locais onde há problemas de fornecimento, subestações saturadas, comunidades isoladas, ou mesmo apenas muito distantes da geração, de tal forma que os custos de transmissão e distribuição tornam-se bastante significativos. As distribuidoras podem empregar a geração distribuída como forma de postergar investimentos de grande porte. Para as companhias de eletricidade, pode ser mais econômico efetuar pequenos investimentos freqüentes em geração distribuída, sob demanda do mercado e acompanhando de perto sua evolução, do que investir em ampliações de grande porte no sistema centralizado de geração, transmissão e distribuição, incorporando previsões de médio e longo prazo (SERRA *et al.*, 2005, p.159).

Uma análise de impacto de negócios deve, portanto, considerar a capacidade e disponibilidade das empresas e entidades envolvidas para assumir compromissos e desenvolver capacidades. Esses dois princípios fazem parte da estratégia adotada neste trabalho e são complementares para o desenvolvimento de um produto portador de alta tecnologia. Apesar de a tecnologia envolvida no âmbito da geração distribuída de energia elétrica da PaCOS estar despertando grande interesse técnico e possivelmente comercial, as empresas ainda estão incertas sobre quais tecnologias chegarão primeiro ao estágio de mercado, uma vez que muitas opções de transição são possíveis<sup>21</sup>.

O problema do comprometimento em relação às incertezas é amenizado pelo fato de muitas opções intensivas de comprometimento se apresentarem como relações “aprender-queimar”, conforme descreve GHEMAWAT (2000). Trata-se de um investimento de recursos mesmo quando se sabe que os resultados poderão ser negativos. O investimento é justificado, nestes casos, pela possibilidade de aprendizado incluída no processo. Altas taxas de relações “aprender-queimar” proporcionam um retorno oportuno, que permite revisões de comprometimentos em resposta a más notícias – uma importante fonte de valor de opção em um mundo incerto.

---

<sup>21</sup> Se por um lado, por exemplo, a PaCOS pode oferecer melhor eficiência energética e menores problemas de contaminação pelos combustíveis, quando comparada à PEM, por outro lado as temperaturas de trabalho da PaCOS e a necessidade de desenvolvimento de materiais especiais tornam-na mais suscetível ao risco de comercialização. Como este tema não pode ser determinado exclusivamente por estudos ou processos teóricos, assume-se a posição de que se torna necessária a evolução das diferentes tecnologias para avaliar rumos e alternativas.

A realização do potencial para relações “aprender-queimar” requer um gerenciamento cuidadoso e pode ser ampliada de várias maneiras – por experimentação, programas-piloto, pela graduação ou seqüenciamento dos comprometicimentos, pelo estabelecimento de marcos e gatilhos para cancelar um comprometimento ao longo de um curso de ação perdedor, pela garantia de que os incentivos apropriados estejam em ordem e assim por diante.

O que se deseja implantar no CR-PaCOS é um processo de “aprender-queimar” por experimentação e transferência tecnológica nacional de programas-piloto, no qual diversas entidades e empresas teriam o papel de desenvolver o protótipo inicial e de transferir estas tecnologias a todas as entidades nacionais ou internacionais, através da comercialização da PaCOS de 2kWe.

Um dos grandes objetivos para a difusão mercadológica é desenvolver com os possíveis parceiros MME e MCT um plano de compras compartilhado de 1000 PaCOS de 2kWe entre órgãos governamentais e empresas privadas, de modo a estimular a formação da cadeia produtiva deste segmento.

Futuramente, a realização de estudos integrados sobre o impacto potencial dos desenvolvimentos em determinados setores e segmentos de aplicação permitirá a transição da situação tecnológica atual em direção à futura, bem como a detecção de possíveis obstáculos ou nichos que surgirem. A geração destas informações estratégicas possibilitará, ainda, a tomada de decisões em políticas públicas de ciência e tecnologia que poderão ser utilizadas por todos os atores atuantes neste segmento.

Para que se possam alcançar as metas estabelecidas para o custo (R\$ 8 mil/ kWe) e a venda (R\$ 16 mil/kWe) a partir de 2013, estabeleceremos uma industrialização em série de 2MW ao longo de 6 anos, em unidades de empilhamento de 2kWe, ou seja, uma produção de 1000 PaCOS de 2kWe, conforme mostra a tabela 18.

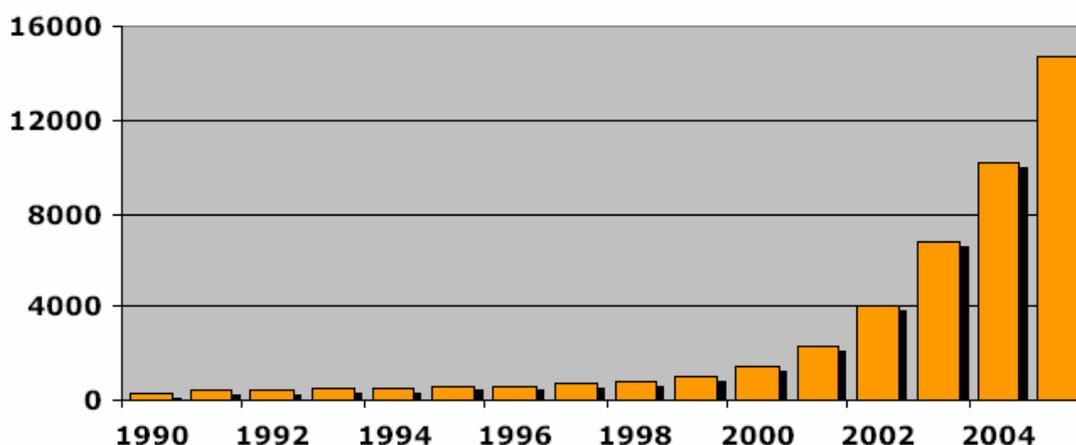
**Tabela 18 – Custo mercadológico a ser atingido no período 2013-2018**

Ano	Quantidade de PaCOS de 2kWe a ser comercializada	Quantidade de kWe por ano	Custo previsto em R\$ Preço/referência R\$ 8.000,00/kWe	Receita prevista em R\$ Preço/referência R\$16.000,00/kWe
2013	20	40	320 K R\$	640 K R\$
2014	80	160	1280 K R\$	2560 K R\$
2015	120	240	1920 K R\$	3840 K R\$
2016	200	400	3200 K R\$	6400 K R\$
2017	250	500	4000 K R\$	8000 K R\$
2018	330	660	5280 K R\$	10560 K R\$
Total	1000 PaCOS de 2kWe	2.000 kWe= 2MW	16000 K R\$	32000 K R\$

Observação: 1 K = 1000

A figura 38 mostra a evolução das pilhas a combustível colocadas no mercado mundial. Em 2005, o volume chegou a 14.500 unidades, representando um crescimento de 32 % em relação a 2004.

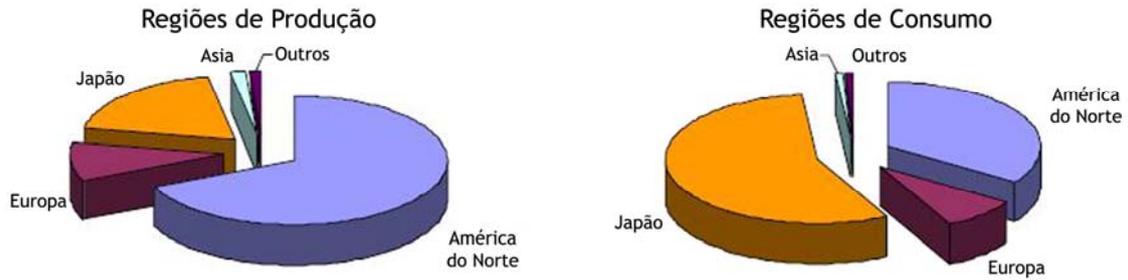
**Figura 38 – Pilhas a combustível no mercado entre 1990 e 2005**



Adaptado de ADAMSON (2005).

As pilhas a combustível se tornaram um mercado global, com empilhamentos sendo produzidos em um país, integrados em outro e vendidos em um terceiro. Tal fato pode ser comprovado na figura 39. O primeiro gráfico mostra as regiões onde partes do sistema são produzidas, e o segundo, onde são usadas. Em termos de produção o domínio pertence à América do Norte, enquanto o Japão é atualmente o país que mais usa as pilhas a combustível.

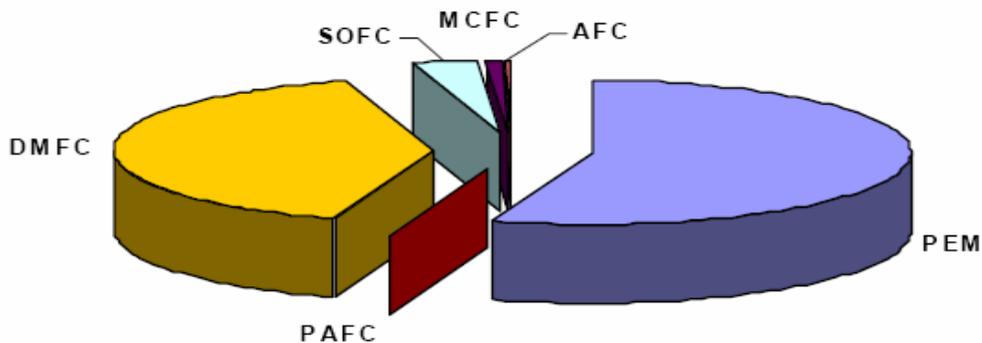
**Figura 39** – Regiões de produção e consumo das pilhas a combustível



Adaptado de ADAMSON (2005).

A figura 40 mostra a posição ocupada no mercado em 2005 por cada tipo de pilhas a combustível. As pilhas a combustível de óxido sólido, apesar da pequena participação até o momento em relação às demais, apresentam um significado potencial futuro em sua comercialização, principalmente para aplicações estacionárias residenciais.

**Figura 40** – Pilhas a combustível por tipo

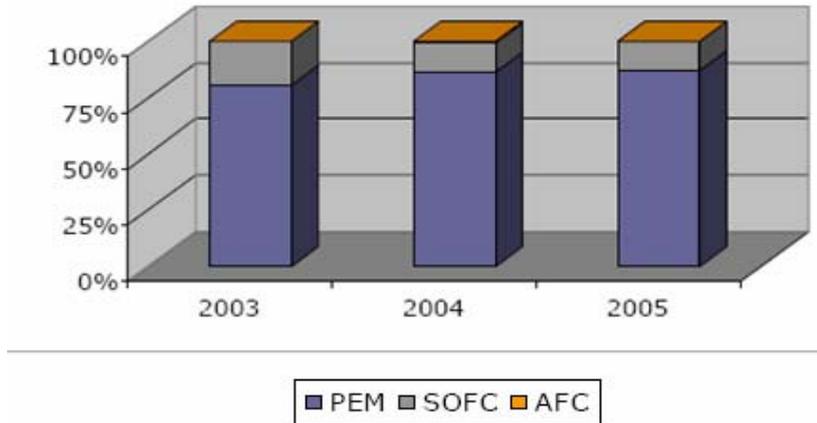


Adaptado de ADAMSON (2005).

O mercado das pilhas a combustível para fins estacionários está se concentrando em unidades de até 2kWe para geração de energia elétrica a ser utilizada para aquecimento de água, em residências ligadas ou não à rede elétrica. Durante o dia, o sistema fica desligado e durante a noite, quando ocorre o pico de demanda elétrica, a pilha é ligada ao sistema elétrico. A maioria destas pilhas a combustível é alimentada por gás natural ou propano.

Durante o ano de 2005, duas das tecnologias dominaram o cenário de aplicações: PEM e PaCOS. As pilhas de membrana polimérica dominaram três quartos do mercado e a PaCOS, um quarto. As PEM estão comercialmente há mais tempo no mercado e seu preço é muito menor que o da PaCOS, que ainda está no início de sua maturação mercadológica. A figura 41 mostra esta evolução entre os anos de 2003 e 2005.

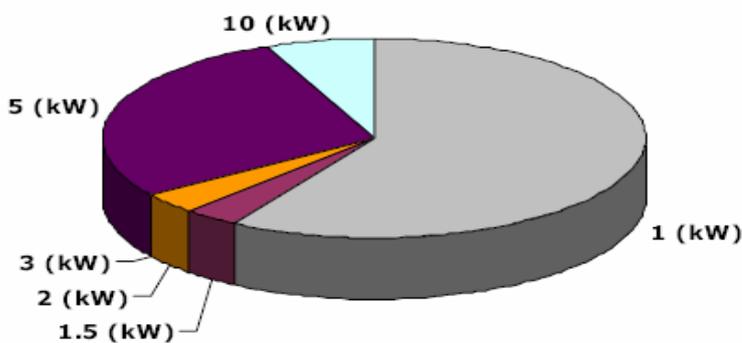
**Figura 41** – Percentuais de utilização das pilhas por tipo entre 2003 e 2005



Adaptado de ADAMSON (2005).

A figura 42 mostra que as pilhas de 1kWe dominam o mercado. Tal fato é devido às características específicas do Japão, onde elas vêm sendo aplicadas em maior escala. As pilhas de até 5 kWe, que aparecem no gráfico com a segunda maior fatia do mercado, são as atualmente mais expressivas em termos de produção ao redor do mundo.

**Figura 42** – Unidades de pilhas a combustível por potência



Adaptado de ADAMSON (2005).

O Japão anunciou que está fazendo uma demonstração em larga escala em aplicações estacionárias residenciais. Esta demonstração recebeu um substancial financiamento governamental para colocação de 6.400 unidades de 1kWe a um custo unitário de todo o sistema integrado de aproximadamente U\$ 90 mil (tabela 19).

**Tabela 19** – Subsídios do governo japonês para unidades estacionárias

	2005	2006	2007
Número de Unidades	400	100	5000
Subsídio máximo (mYen por unidade <sup>1</sup> )	6	3	2
Custo alvo (mYen por unidade)	8 a 10		<1

<sup>1</sup> mYen (1 milhão de ienes) é aproximadamente R\$ 17.000  
Adaptado de ADAMSON (2005).

#### 5.1.1.4. Administração e finanças

Foram estabelecidas as seguintes demandas de recursos humanos para o custeio do protótipo no CR-PaCOS ao longo dos primeiros 3 anos, conforme mostra a tabela 20:

**Tabela 20** – Recursos humanos necessários para operação do protótipo no CR-PaCOS em 3 anos

Pessoal	Salário mensal	Salário + Encargos	Total/ano	Total/3a
1 coordenador geral da PaCOS	R\$ 8.000,00	R\$ 16.000,00	192.000	576K
1 secretária bilíngüe	R\$ 1.500,00	R\$ 3.000,00	36.000	108 K
1 engenheiro metalúrgico	R\$ 5.000,00	R\$ 10.000,00	120.000	360 K
1 engenheiro químico	R\$ 5.000,00	R\$ 10.000,00	120.000	360 K
1 mestrando	R\$ 1.500,00	R\$ 3.000,00	36.000	108 K
1 doutorando	R\$ 2.000,00	R\$ 4.000,00	48.000	144 K
Total em 3 anos				1.656 K

Para os próximos 3 anos seguintes, entende-se que os recursos humanos para o desenvolvimento dos componentes (selante, interconector, etc.) seriam o dobro do valor inicial, pela necessidade de contratações de pessoal mais específico para Assim, os recursos necessários para os 6 anos seriam a soma dos 3 primeiros anos, cujo valor seria de 1.656 + 3.312K provenientes dos outros 3 anos seguintes, o que totalizaria o valor R\$4.968K.

Estimando-se os custos de despesas administrativas em R\$ 30 mil/mês, para compra de insumos internos, viagens etc., chega-se ao valor anual de R\$ 360 mil/ano, totalizando, em seis anos, o valor de R\$ 2, 160 K.

Devem-se acrescentar aos custos os tributos fiscais, estimados em cerca de 20% do volume total de vendas a ser alcançado (estimado em R\$ 32.000K, valor da venda de mil unidades). Chega-se, assim, ao valor de R\$ 6.400K.

Assim, temos, na tabela 21, o resumo das operações em R\$, para o período 2013 – 2018:

**Tabela 21** – Resumo das operações do CR-PaCOS, em R\$, para o período 2013-2018

Investimentos nos 3 primeiros anos	3.000 K
Investimentos nos 3 anos seguintes	7.000 K
Receita de venda de 2MW	32.000 K
Despesas de Produção da PaCOS	16.000 K
Despesas com Pessoal	4.968K
Despesas Administrativas	2.160 K
Despesas Tributárias	6.400 K
Despesas Operacionais	2.456 K
Resultado Final: $R - (Dp+Da+Dt)$	00,00

Embora o valor final apresente um saldo positivo de R\$ 2.456 K, deve-se observar que os custos iniciais de investimentos (infra-estrutura, equipamentos, dispositivos de testes, etc), estimados em R\$ 10.000 K não foram aqui computados nos custos totais, devido a que este investimento possa ser obtido a fundo perdido para desenvolvimento de tecnologias emergentes, priorizadas pelos governos. Assim, consideramos que este valor seja consumido em despesas operacionais extras que não foram estimadas, decorrentes de problemas não previstos. Assim, julga-se que os valores pré-fixados não estejam longe de um possível equilíbrio do empreendimento ao longo dos seis anos para difusão da PaCOS de 2kWe.

#### 5.1.1.4.1 Gestão do conhecimento

Para gestão do conhecimento produzido no âmbito do CR-PaCOS, recorreu-se aqui à ferramenta GCC (gestão do conhecimento científico), desenvolvida pelo Programa de Sistemas e Computação da COPPE/UFRJ. Em um trabalho de parceria articulado no âmbito da presente tese, um grupo coordenado pelo professor Jano Moreira de Souza e pela pesquisadora Jonice Oliveira realizou a aplicação desta ferramenta a todas as informações e conhecimentos acumulados ao longo da pesquisa sobre a PaCOS de 2 kWe e às competências e habilidades envolvidas em sua produção.

Sendo assim, dispõe-se, atualmente, de um extenso banco de dados, já em funcionamento, que reúne e conecta todos os dados coletados até agora sobre pessoas físicas (pesquisadores, professores, técnicos, especialistas e outros profissionais) e entidades de pesquisas nacionais e internacionais que desenvolvem trabalhos relacionados a pilhas a combustível de óxido sólido. O GCC se constitui num grande patrimônio do CR-PaCOS e deverá ser ininterruptamente atualizado por todos os participantes do processo de pesquisa, produção e aplicação da PaCOS de 2 kWe no Brasil.

Este banco de dados pode ser acessado no endereço <http://gcc.cos.ufrj.br/redepacos/index.asp><sup>22</sup> e servirá para orientar a criação e o uso de práticas e metodologias no CR-PaCOS. Seguindo os passos definidos pelo GCC, o CR-PaCOS poderá desenvolver as seguintes atividades, tendo por objetivo final o enriquecimento constante dos bancos de dados sobre a PaCOS de 2 kW para aplicações estacionárias:

- Estudo do cenário e familiarização com o domínio;
- Levantamento de técnicas e soluções de gestão do conhecimento aplicada em cenários similares;
- Implantação, manutenção e avaliação do uso das ferramentas de gestão de conhecimento;

---

<sup>22</sup> Para acessar o GCC é preciso solicitar login e senha através do e-mail [jonice@cos.ufrj.br](mailto:jonice@cos.ufrj.br).

- Levantamento de novos requisitos para que o CR-PaCOS possa:
  - Identificar e mapear os conhecimentos e competências internas da PaCOS;
  - Identificar e mapear os conhecimentos e competências da própria universidade (UFRJ/COPPE) e colaboradores externos;
  - Identificar e mapear os conhecimentos referentes aos materiais, equipamentos e recursos no cenário da PaCOS;
  - Apoiar a geração de novos conhecimentos, propiciando a obtenção de vantagens competitivas.
- Codificação dos novos requisitos, além da sua implantação no CR-PaCOS;
- Criação ou adaptação de metodologias, visando sempre aprimorar a gestão do conhecimento no CR- PaCOS;
- Avaliação contínua do processo de implantação, permitindo o levantamento dos pontos fortes (sintomas e causas de sucesso) e fracos (sintomas e causas de fracasso) e retenção do conhecimento adquirido;
- Pesquisa de novas metodologias e ferramentas para a gestão do conhecimento nas áreas tecnológicas e científicas.

Tendo em vista o caráter inovador do CR- PaCOS, o GCC auxiliará na gestão de conhecimento deste projeto de duas maneiras:

- Gestão do conhecimento existente na UFRJ e em outras instituições ligadas ao estudo de pilhas a combustível;
- Gestão do conhecimento no CR- PaCOS.

Essas duas posições são complementares, uma vez que a universidade, conseguindo gerenciar seu próprio conhecimento, poderá melhorar o seu desenvolvimento científico e tecnológico e desta maneira prover serviços, produtos inovadores e profissionais ao CR-PaCOS. Por sua vez, o CR-PaCOS e seus pesquisadores aumentarão sua vantagem competitiva administrando o conhecimento

adquirido em projetos anteriores, melhorando a integração e a comunicação entre seus membros e identificando competências de maneira rápida e precisa.

O projeto apresenta em suas telas as seguintes informações, que deverão ser sempre atualizadas e complementadas:

- Levantamento das principais necessidades referentes à gestão do conhecimento centrada em equipamentos, no contexto da PaCOS.
- Uma ontologia, a nível nacional, sobre os principais equipamentos utilizados no domínio da PaCOS. Essa ontologia, além das descrições de conceitos e seus relacionamentos, elenca projetos e suas áreas de atuação, tipos e categorizações de equipamentos, profissionais especializados nestes equipamentos e material didático.
- Estudo com os principais dados e padrões de descrição de equipamentos existentes.
- Mecanismos para identificar automaticamente e gerenciar competências de pesquisadores, técnicos, engenheiros e demais profissionais da área de pilhas a combustível. A identificação das competências será feita por:
  - técnicas de mineração de textos, utilizando como insumos publicações de pesquisadores, relatórios técnicos, propostas, descrições de projetos e demais documentos;
  - recomendação e avaliação de pessoas do próprio domínio.
- Ferramentas para os profissionais gerenciarem:
  - suas próprias informações, permitindo a importação de dados de “currículos” em um formato de importação/exportação padrão, e
  - os conhecimentos por estes adquiridos (através de diários, mapas mentais e outras ferramentas de gestão do conhecimento pessoal).
- Ferramentas para categorização de equipamentos, bem como descrição e ilustração dos mesmos.
- Auxílio à criação de comunidades virtuais para que as pessoas discutam sobre um equipamento, aprendam e possam trabalhar juntas. Com isto, o projeto proverá

ferramentas para comunicação assíncrona e síncrona, além da recomendação de materiais sobre equipamentos.

- Técnicas de visualização da informação, permitindo assim estruturas intuitivas de consultas e maior interação com o usuário.
- Ferramentas para apoio à aquisição, extração e disseminação de conhecimento em projetos, tendo em vista que os projetos são importante fonte de criação de conhecimento.
- Ferramentas para mapeamento e reuso (total ou parcial) de processos;
- Aperfeiçoamento de técnicas e ferramentas para extração do conhecimento;
- Publicações em congressos e revistas.

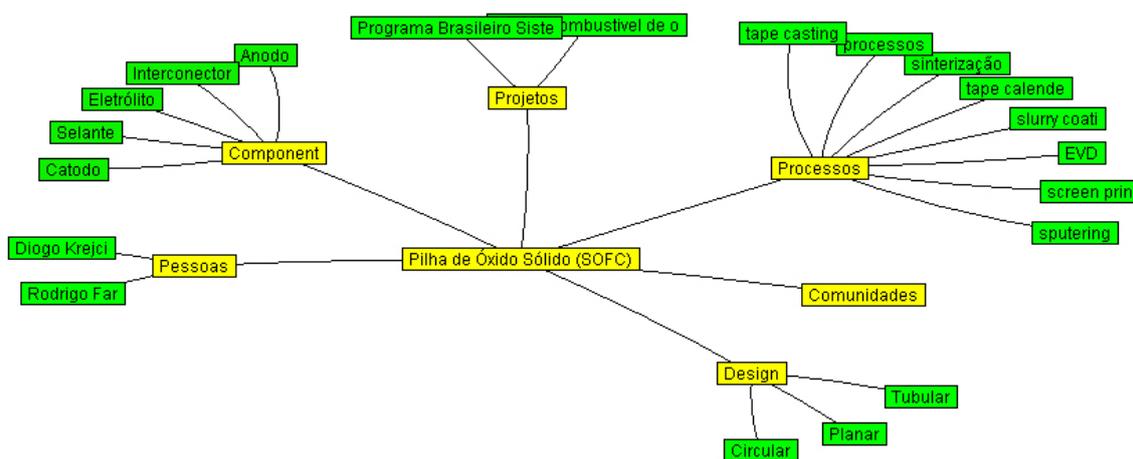
O processo de busca de informações para a constituição dos bancos de dados seguirá ainda as orientações metodológicas da CommonKADS. Segundo CÁLAD (2001), trata-se de um:

*projeto de conhecimento que inclui a construção de uma série de modelos que constituem parte do produto a ser construído. Estes modelos refletem diferentes pontos de vista do conhecimento imerso no problema e na sua solução. Cada um deles tem um propósito específico, produtos associados e estratégias para seu desenvolvimento (p.32)*

Assim, a gestão do conhecimento da PaCOS será um projeto de aprendizagem baseado na experiência, em forma de espiral controlada. O CommonKADS favorece o enfoque de administração de projetos ordenáveis, balanceados, permitindo uma aprendizagem estruturada, na qual os resultados ou “estados” dos modelos atuam como indicadores de gestão para se saber como têm sido realizadas as atividades e que passos devem ser seguidos adiante (CÁLAD, 2001, p. 32). A metodologia oferece ainda uma série de formulários que facilitam o trabalho de construção do sistema, permitindo obter as especificações e os requerimentos de um problema e sua solução, desde o ponto de vista de sua relação com o resto da organização, dos entes que participam do problema e do conhecimento que se requer para o sistema final.

A figura 43 representa, no GCC, a árvore ontológica da PaCOS, que reúne todos os elementos envolvidos em seus processos de pesquisa, produção e aplicação. Trata-se de uma espécie de “matriz” da PaCOS no GCC, com cada um dos elementos abrindo inúmeras perspectivas de pesquisa e interação de conhecimentos.

**Figura 43 – Árvore ontológica da PaCOS no GCC**



## 5.2. Modelo sistêmico para transformação do conhecimento em produtos inovadores de alto valor tecnológico

A construção do modelo ConSOL (Conhecimentos Solidários) parte do princípio da necessidade de as instituições científicas e acadêmicas brasileiras transformarem os conhecimentos desenvolvidos em seus departamentos em recursos ou rendimentos que possam ser reaplicados em prol do desenvolvimento científico e tecnológico do país.

O tema é complexo e delicado, mas acredita-se que o assunto é grande importância para as discussões acadêmicas, uma vez que países em desenvolvimento como o Brasil, não pode se dar ao luxo de desperdiçar seus talentos e conhecimentos.

Com base nos estudos da PaCOS de 2kWe, o objetivo deste item é o de apresentar um estudo de modelo que possa servir de subsídio para entidades possuidoras de conhecimentos que desejem transformá-los em produtos, processos ou serviços, num espaço geográfico, definido com Centro de Inovação do Conhecimento Solidário (CI-ConSOL), um ambiente propício para o compartilhamento de competências e habilidades de centros de pesquisas, universidades, empresas, e órgãos governamentais.

O CI-ConSOL parte da seleção de quatro variáveis marcantes do ambiente 21, cujos aspectos mais relevantes são os seguintes:

a) Busca pelo desenvolvimento sustentável

A busca no desenvolvimento sustentável engloba dois conceitos de sustentabilidade concomitantes. O primeiro está relacionado à busca de projetos que se coadunem com a preservação ambiental. O segundo diz respeito à procura por fontes de recursos que possibilitem manter sustentável o projeto proposto.

b) Competição na gestão da inovação tecnológica

Este item prioriza o aprimoramento da competitividade local, através de melhorias contínuas na gestão das competências e habilidades necessárias ao desenvolvimento do projeto setorial temático a ser trabalhado.

c) Lógica da localização

Ressalta-se aqui a importância estratégica de se encontrar o espaço territorial que reúna condições de agregar e estimular as competências e habilidades da comunidade, para instalação do CI-ConSOL a ser constituído, como uma das condições de desenvolvimento do produto, processo ou serviço.

d) Busca pela transformação dos conhecimentos em produtos

O modelo a ser arquitetado tem como finalidade precípua a materialização e transformação dos conhecimentos em bens que possam melhorar o bem-estar da comunidade local, aumentando sua competitividade.

A metodologia do Modelo do Conhecimento Solidário (ConSOL) é dividida em fases, conforme descrito a seguir:

- **Fase 1: Seleção dos possíveis produtos por segmento temático**

A metodologia ConSOL é fundamentada no desvelamento dos principais recursos tecnológicos da entidade, da seguinte forma:

**Atividade 1.1** - Processo de imersão com especialistas de todas as áreas da coletividade envolvida. O objetivo é a apresentação de todos os setores temáticos com a

finalidade de compartilhamento de conhecimentos para seleção de possíveis produtos, processos e serviços e obtenção dos Índices do Grau de Importância (IGI) de cada tema proposto.

Cada apresentação temática deverá trazer as seguintes informações:

- Compilação dos resultados mais recentes relacionados a cada um dos temas, com levantamentos de informações iniciais sobre seu estágio de desenvolvimento em sua unidade e comparações com outras entidades brasileiras ou estrangeiras.
- Ao final deste estágio, os especialistas deverão ter compartilhado, para cada um dos temas escolhidos, informações referentes a fontes de conhecimento e tecnologias existentes, competências e habilidades, possibilidades de captação de recursos, sustentabilidade e possíveis impactos no mercado, entre outros.
- Com base nestas informações compartilhadas, cada especialista apontará, para cada um dos temas, dois produtos mais apropriados para possível desenvolvimento. Os critérios para a escolha de tais produtos devem levar em conta os impactos desejados no momento da seleção dos temas e também aspectos mercadológicos; científicos e tecnológicos; e financeiros.
- A partir daí, têm-se os possíveis produtos, sendo dois referentes a cada um dos temas apontados. Estes produtos serão, então, avaliados pelos especialistas segundo as variáveis definidas a seguir:
  - nível de conhecimento pessoal – O grau de conhecimento do especialista sobre cada um dos produtos, com base em suas experiências acadêmicas ou empresariais.
  - conhecimentos e tecnologias – A avaliação do especialista sobre o nível de conhecimentos e tecnologias essenciais ao desenvolvimento do produto já disponíveis no ambiente considerado (comunidade de pesquisa e/ou produção, cidade, região ou país).

- competências e habilidades - A avaliação do especialista sobre o nível de competências (entidades) e habilidades (indivíduos) essenciais ao desenvolvimento do produto já disponíveis no ambiente considerado (comunidade de pesquisa e/ou produção, cidade, região ou país).
- sustentabilidade ambiental – A avaliação do especialista sobre o grau de sustentabilidade ambiental do produto, considerando-se as distinções já citadas: os impactos positivos em relação ao meio ambiente e as possibilidades de auto-sustentabilidade econômica.
- captação de recursos financeiros – A avaliação do especialista sobre o possível interesse que o produto pode vir a despertar em entidades financiadoras e empresas.
- impactos do produto – A avaliação do especialista sobre o impacto do produto em PD&I, e no mercado considerado (municipal, regional, nacional etc.).
- período de materialização do produto, processo ou serviço – A avaliação de quando o item poderá ser materializado no local, ou na região.

Os especialistas deverão atribuir uma nota de 1 a 4 ( 1 = irrelevante; 2 = baixo; 3 = médio ; 4 = alto) para cada produto sugerido, em relação a cada uma das variáveis, conforme a tabela 22.

**Tabela 22** – Seleção do produto, processo ou serviço a ser desenvolvido na metodologia ConSOL

Produtos selecionados por Tema	Nível de conhecimento pessoal	Conhecimentos e tecnologias	Competências e habilidades		Sustentabilidade ambiental	Captação de recursos financeiros	Impactos do produto		Período de Materialização	IGI
			PD&I	Capacitação Industria			PD&I	Mercado		
A1										
A2										
B1										
B2										
C1										
C2; D1; G2, etc.										

### **Atividade 1.2 - Análise e síntese dos resultados da pesquisa**

Após a apuração, o IGI (índice do grau de importância) representará a média ponderada dos graus atribuídos por cada especialista a cada produto, de acordo com os mesmos pesos. Depois, será verificada, então, a média ponderada dos IGI atribuídos por todos os especialistas a cada um dos produtos, chegando-se, assim, a um IGI geral para cada produto. Os seis produtos que apresentarem o maior IGI serão selecionados como objeto de trabalho da fase 2.

Sugere-se que o tempo disponibilizado para cada especialista seja de 90 minutos, sendo divididos em duas partes: uma exposição de 45 minutos, e outra de respostas às dúvidas dos demais componentes da imersão.

A escolha dos produtos orientará o aprofundamento dos conhecimentos temáticos a serem buscados e suas possíveis interseções com outros conhecimentos, oriundos dos diversos setores nos quais atuam os participantes do projeto.

## **Fase 2 – Identificação dos produtos, processos ou serviços prioritários e cruzamento de interesses de acordo com os IGI’s obtidos**

A partir da seleção dos seis itens com maior IGI obtidos na tabela 22, passa-se a afunilar a escolha para somente três itens, procedendo-se uma segunda rodada com todos os especialistas para fixação de notas na tabela 23.

**Tabela 23** – Seleção dos 3 itens a serem desenvolvidos na metodologia ConSOL

Produtos selecionados por Tema	Nível de conhecimento pessoal	Conhecimentos e tecnologias	Competências e habilidades		Sustentabilidade ambiental	Captação de recursos financeiros	Impactos do produto		Período de Materialização	IGI
			PD&I	Capacitação Industria			PD&I	Mercado		
B1										
A2										
M1										
E2										
C1										
G2										

A partir das prioridades apontadas pelos especialistas participantes, chega-se à seleção dos três itens mais importantes, ou seja, aqueles que obtiverem o maior grau de IGI nos graus conferidos pelos especialistas.

### **Fase 3- Detalhamento técnico dos equipamentos, materiais, tecnologias, testes e normas de segurança necessários para o desenvolvimento dos três (3) itens de maior IGI**

Esta fase compreende a realização do detalhamento tecnológico dos itens selecionados, desta vez contando com a presença de especialistas nos três temas escolhidos. O detalhamento tecnológico deverá contemplar as necessidades materiais, as competências e habilidades existentes no local e as possíveis complementaridades existentes no país ou externamente, mencionando-se os possíveis parceiros (empresas e entidades que desenvolverão o produto com os especialistas dos setores apontados).

A tabela 24 descreve sumariamente as necessidades para o desenvolvimento dos itens.

**Tabela 24** – Apuração tecnológica dos três itens específicos para o desenvolvimento

ITENS selecionados	Especificações técnicas dos produtos, processos e serviços selecionados					
	Matérias Primas	Tecnologias Emergentes	Máquinas e Equipamentos	Dispositivos de Testes	Normas de Segurança	Competências e Habilidades
B2						
G1						
M1						

- **Fase 4 – Criação do Plano de Negócios para o CI-ConSOL**

As entidades e órgãos públicos e privados participantes do processo, ao lado dos especialistas selecionados, devem confeccionar um plano de negócios estendido (PNE) para a estruturação dos itens a serem desenvolvidos no Centro de Inovação de Conhecimento Solidário, a ser criado no espaço territorial selecionado para este propósito. O PNE deve apontar parâmetros indicadores de viabilidades econômicas, tecnológicas e mercadológicas dos produtos, processos e serviços selecionados e funcionará como instrumento básico para a formação de novas parcerias. Além disso, o PNE deve definir a governança do sistema e os formatos de gestão tecnológica, administrativa, financeira e mercadológica<sup>23</sup> de cada item.

A elaboração do PNE dos itens que compõem o CI-ConSOL, deverá acompanhar as seguintes etapas:

**Atividade 4.1 – Estudo da capacitação industrial da região ou país para as necessidades tecnológicas do produto a ser desenvolvido**

---

<sup>23</sup> Todo Centro de Inovação de Conhecimento Solidário deve possuir um sistema de gerenciamento das informações, essencial para a articulação dos conhecimentos produzidos no âmbito de sua atuação e para a interação entre os atores envolvidos. Sugerimos que este sistema seja o GCC.

**Atividade 4.2 – Estudo das viabilidades econômicas, tecnológicas e mercadológicas necessárias para o desenvolvimento dos itens selecionados nos centros de pesquisas científicos e tecnológicos da região, do país, e do exterior;**

**Atividade 4.3 – Verificação de possíveis fornecedores de insumos, matérias-primas, equipamentos e máquinas, dentro das especificações exigidas pelo produto.**

**Atividade 4.4. Construção do mapa tecnológico do produto e período de realização**

- **Fase 5 – Elaboração do protótipo**

Quanto a esta etapa, vale salientar que a elaboração de um protótipo laboratorial depende fundamentalmente da localização estratégica onde as equipes poderão interagir. A proximidade com centros de pesquisas ou universidades ajuda no encontro de talentos necessários ao desenvolvimento do novo produto.

- **Fase 6– Lançamento no mercado de consumo**

Esta fase significa a definição de cada parceiro para o lançamento do produto, processo ou serviço. Entende-se, por exemplo, que centros acadêmicos e científicos não possuem perfis para lançamento de itens no mercado, mas podem possuir experiências de negociação de suas patentes. A junção de parceiros de interesses comerciais diferenciados pode auxiliar no somatório de mecanismos das entidades co-ligadas ao projeto, alavancando de maneira direta seu lançamento e aceitação no mercado consumidor ou no mercado do conhecimento.

## 6. Conclusões

Além do processo de articulação de conhecimentos e competências, com geração de aprendizado e reflexão sobre o cenário inovativo no Brasil, destacamos alguns resultados tangíveis do presente trabalho.

A primeira conclusão é que os desenvolvimentos científicos e tecnológicos da PaCOS nas entidades de pesquisas estão muito mais avançados que o desenvolvimento industrial. O processo de desenvolvimento de produtos complexos tecnologicamente inovadores requer que haja um compartilhamento dos conhecimentos e experiências realizadas nos centros de pesquisas, sob a pena de que os materiais e insumos necessários sejam sempre importados de países mais desenvolvidos.

A segunda conclusão é que os centros de pesquisas, apesar de atuarem numa rede (a REDE PaCOS), atuam de forma compartimentada, ou seja, os recursos são disputados competitivamente entre os pesquisadores do ramo, talvez estimulados pelo sistema vigente no CNPq, FAP's, FINEP, BNDES, e não possuem um sistema de gestão do conhecimento, o que provoca muitas vezes duplicações de esforços e dispêndios de recursos materiais e humanos. A necessidade de uma ferramenta como o GCC é de vital importância para que os conhecimentos sejam difundidos de maneira sistêmica, independentemente dos esforços pessoais de cada pesquisador na articulação com outros setores e entidades.

A terceira conclusão é a necessidade de maiores articulações com entidades internacionais de reconhecimento científico. Muitas entidades brasileiras possuem ligações com centros internacionais, mas de formatos não específicos para o desenvolvimento e transferências tecnológicas, baseando-se apenas no intercâmbio de estudantes e presenças em seminários.

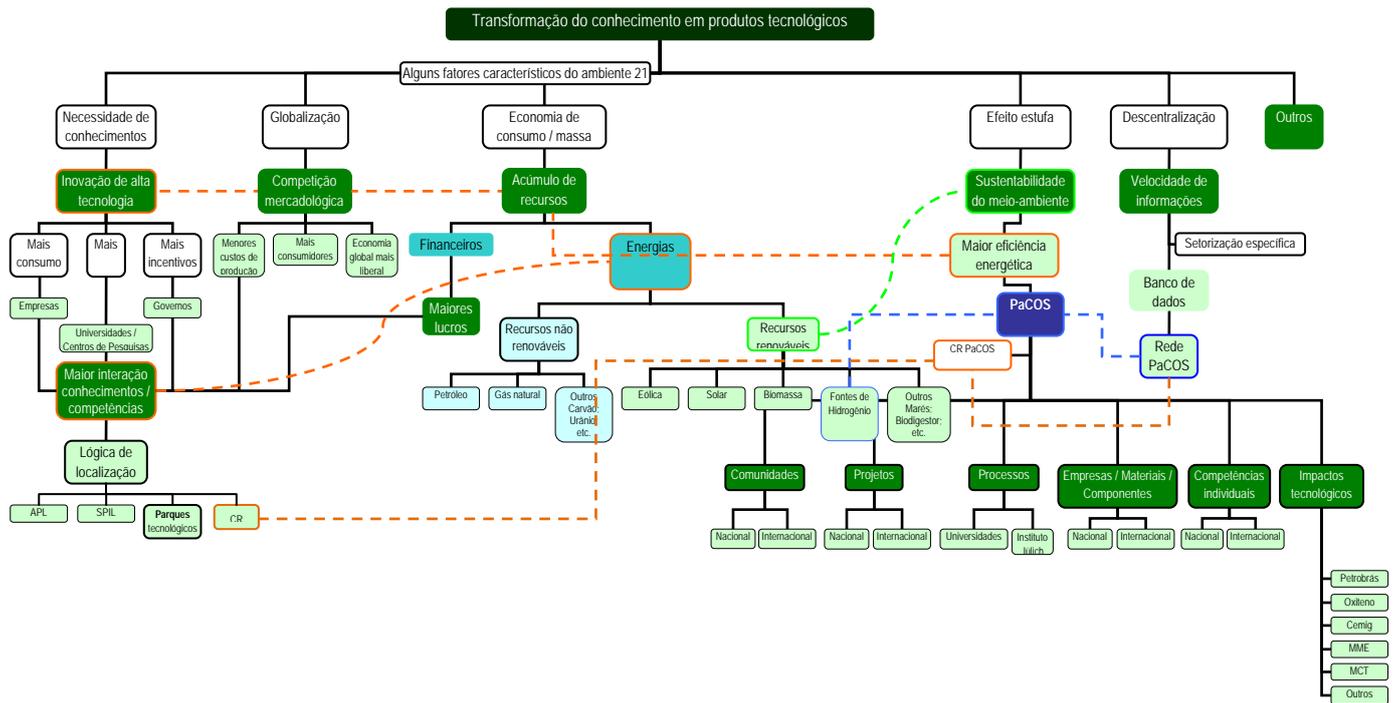
A quarta conclusão é o distanciamento das empresas brasileiras em relação à pesquisa de base. Devido às pressões financeiras, as empresas se preocupam cada vez mais em lançar produtos e serviços no menor tempo possível no mercado, procurando nos meios externos, seja na importação de máquinas e equipamentos, seja na compra de tecnologias, o caminho mais rápido para desenvolvimento do produto ou serviço, afastando-se cada vez mais das universidades e centros de pesquisas de base. É

fundamental a presença dos governos no subsídio aos processos de inovação, e não no estímulo ao lançamento exclusivo de produtos.

Com base nestas conclusões anteriores, o trabalho aponta a necessidade de construir espaços territoriais de conhecimentos solidários, uma metodologia que denominamos ConSOL, a qual deu origem ao CR-PaCOS, fruto de nossas pesquisas.

A figura 44 apresenta o fluxograma do desenvolvimento da tese, com destaque para as inúmeras variáveis envolvidas, os atores participantes e os produtos resultantes do trabalho.

**Figura 44 – Fluxograma do desenvolvimento da tese**



## 7. Considerações finais

*Existem três tipos de empresas: as que fazem as coisas acontecerem, as que ficam observando o que acontece e as que ficam se perguntando o que aconteceu.*

(anônimo)

*Se não mudarmos nossa direção, acabaremos por chegar ao nosso objetivo inicial.*

(antigo provérbio chinês)

O presente trabalho partiu da constatação da necessidade de criação de um processo sistêmico de transformação de conhecimentos em produtos tecnologicamente complexos e inovadores no Brasil. Com base na reflexão sobre a competitividade do país no mercado globalizado, via-se a carência de um modelo estruturante, capaz de promover o incremento da intensidade tecnológica em seus produtos e serviços.

Selecionada como objeto de estudo, a PaCOS de 2kWe para geração descentralizada de energia elétrica reúne uma série de requisitos que a qualificam como produto ideal para os propósitos do presente trabalho: trata-se de um produto inovador; tecnologicamente complexo; com um amplo horizonte de potencialidades, reforçado pela busca de fontes alternativas de energia e pelo destaque do hidrogênio como vetor energético futuro; mas, ao mesmo tempo, encontra-se em estágio ainda fluido de inovação, requerendo grandes investimentos em pesquisa, longo período de maturação e o compartilhamento de competências, habilidades, informações e conhecimentos ainda dispersos em poucos centros de pesquisa ao redor do mundo.

No ambiente empresarial, um prazo de 30 anos é considerado longo demais para um planejamento estratégico tecnológico. Entende-se que o sucesso científico e tecnológico mundial tem provocado um encurtamento cada vez maior no ciclo de vida dos produtos. Entre as empresas que apresentaram suas estratégias de desenvolvimento de novos produtos nos congressos da ANPEI em 2005, 2006 e 2007, pouquíssimas ultrapassam o período de cinco anos em seus planejamentos estratégicos. Na maioria das vezes em que o planejamento fica restrito a este período, o *portfolio* é formado por produtos que não são tecnologicamente complexos. As empresas com produtos

tecnologicamente complexos contemplam, em média, um prazo de planejamento estratégico não superior a 10 anos, embora o prazo de 30 a 40 anos seja aplicado normalmente aos grandes projetos estruturais, como hidrelétricas, usinas atômicas, ferrovias etc.

Avaliando-se os investimentos destas mesmas empresas no desenvolvimento de novos produtos, encontra-se a proporção 70-20-10, ou seja: a média destas empresas aplica 70% de seu orçamento no desenvolvimento de produtos inovadores que serão lançados no mercado em até 5 anos, 20% em produtos com previsão de lançamento em até 7 anos e 10% em produtos com previsão estimada em até 10 anos. Como consequência direta desse tipo de estratégia, verifica-se, como comprova a pesquisa IBGE/PINTEC, que a grande incidência de produtos inovadores no mercado nacional é registrada na importação de máquinas e equipamentos.

Parte-se aqui do princípio de que o lançamento de produtos inovadores provenientes da aquisição de novas máquinas ou equipamentos se reflete negativamente na cultura de inovação do país, provocando um distanciamento cada vez mais acentuado entre empresas e centros de pesquisas. Privilegia-se como inovação, nestes casos, mais o produto que o processo.

A filosofia do compartilhamento, por sua vez, não ficou restrita ao modelo aqui proposto. Como não poderia deixar de ser, ela se refletiu fundamentalmente no processo de elaboração do próprio trabalho. Ao aceitar a proposta de tese, a coordenação do programa de Metalurgia e Materiais exigiu a co-orientação de um professor do programa de Produção. Pouco depois, em função das demandas surgidas do próprio trabalho, foi envolvido ainda o programa de Sistemas de Computação, responsável pela articulação da ferramenta Gestão do Conhecimento, imprescindível para o gerenciamento das informações geradas no âmbito do planejamento e articulação do Centro de Referência da PaCOS. Assim, o presente trabalho já começava com a interação de três diferentes programas da COPPE.

O estudo da PaCOS possibilitou a realização de um mapeamento das necessidades de recursos e materiais envolvidos em sua criação, de modo a prever as viabilidades de sua produção e fornecimento no Brasil e inferir conhecimentos para a expansão de um modelo sistêmico que denominamos ConSOL. As respostas negativas do mercado

nacional à pesquisa sobre a disponibilidade de fornecimento dos insumos necessários à realização da PaCOS levou à consideração da necessidade de criar novas cadeias produtivas, baseadas em tecnologias emergentes, que, em conjunto ou separadamente, pudessem produzir e fornecer os materiais e processos requisitados.

Assim volta-se à questão básica da tese. Os custos para o desenvolvimento desses materiais e processos são bastante significativos. Além disso, as possibilidades de retorno mercadológico só existem em longo prazo. Daí a necessidade de construção de um processo capaz de articular os esforços e investimentos, gerando resultados positivos e desenvolvimento econômico, social, tecnológico e ambiental.

A idéia aqui defendida é que esta deficiência pode ser superada pela criação de um processo que permita gerar sistematicamente a interação e interseção de conhecimentos de diversas áreas e entidades, provocando o surgimento espontâneo de produtos inovadores, com custo e resultado compartilhado entre os diversos atores envolvidos. A decisão pela formação do Centro de Referência da PaCOS (CR-PaCOS) teve, assim, como alicerce, a necessidade de provocar a interação de conhecimentos e informações para a descoberta de soluções de problemas enfrentados na gestão da produção da PaCOS. Da mesma forma, sugere-se a formação de Centro de Inovação do Conhecimento Solidário (CI-ConSOL) para outros desenvolvimentos tecnológicos.

Uma das formas de amenizar o problema do comprometimento dos parceiros em relação às incertezas de um projeto é apresentar, num plano de negócios, possíveis cenários onde são expostos os valores financeiros envolvidos, as formas como serão resolvidos os problemas tecnológicos, as necessidades de recursos materiais e humanos, a estrutura de governança e as potencialidades que o produto poderá alcançar no mercado.

No caso específico da PaCOS, a dimensão dos parceiros e entidades líderes deve permitir a flexibilidade de reflexão sobre o seu comprometimento em relação às incertezas. Os resultados do balanço dos investimentos e benefícios que as entidades poderão usufruir é muito grande, mesmo quando se sabe que os resultados poderão ser negativos. O investimento é justificado pelas enormes possibilidades de aprendizado incluídas no processo da PaCOS, que poderão ser transpostas, ainda, para outras áreas de conhecimento e atuação das entidades.

Deve-se considerar, ainda, a sugestão dada para a estratégia mercadológica de introdução da PaCOS de 2 kWe no mercado brasileiro. Verifica-se que a conquista de novos e importantes mercados vem sendo acompanhada da implantação de centros de tecnologias regionais, pois a manutenção no território conquistado depende da contínua observação das tendências e características específicas daquela sociedade.

A metodologia para conquista de mercados brasileiros pela PaCOS acompanhou este processo. O mercado-alvo proposto é o de projetos de demonstrações, constituído por centros de pesquisas, universidades e laboratórios de empresas públicas ou privadas envolvidos com a busca de soluções para geração descentralizada de energia elétrica em seus processos operacionais. Entende-se que tais clientes, ao adquirirem o empilhamento da PaCOS de 2kWe, tornar-se-ão centros de tecnologia da PaCOS em suas regiões, promovendo a difusão de tecnologias da PaCOS e a abertura de novas perspectivas e nichos de mercado para seus sistemas, materiais e processos, o que permitirá a diminuição dos custos projetados inicialmente.

As possibilidades de resoluções tecnológicas, avaliadas num exercício hipotético de matriz de competências, mostrou que a junção de quatro grandes empresas de interesses mercadológicos diferentes, dois órgãos governamentais, um grupo de universidades e centros de pesquisas brasileiros (liderados pelo LabH<sub>2</sub>, da COPPE) e empresas internacionais, lideradas pelo FZJ, poderia suprir as necessidades tecnológicas para produção da PaCOS no mercado nacional ao longo de seis anos, com orçamento estimado em torno de R\$ 20 milhões.

Pessoalmente, acreditamos que as experiências vivenciadas no processo de confecção da tese abriram-nos uma nova visão sobre a importância das pesquisas de base. Até aqui, nossa experiência nos apontava a necessidade preponderante da aplicação dos conhecimentos. Ao longo da tese, percebemos que se não nos dedicarmos de corpo e alma às pesquisas de base jamais alcançaremos a independência tecnológica, científica e mercadológica.

Uma das perspectivas que desejaríamos fosse alcançada a partir deste trabalho é o desenvolvimento coletivo de estruturas temáticas-piloto que pudessem congregiar os diversos parceiros setoriais, com o objetivo de transformar conhecimentos e informações em produtos, processos ou serviços que possam ser úteis à sociedade

brasileira. Esperamos que a filosofia do compartilhamento, que nos orientou até aqui, também inspire os leitores deste trabalho, proporcionando a incorporação de críticas, sugestões e melhorias ao modelo proposto, tendo em vista o desenvolvimento econômico, social e tecnológico de nosso país.

## 8. Referências bibliográficas

ABDI/ANPEI. *Oportunidades de investimentos em P&D de empresas transnacionais no Brasil*. 2007. Disponível em [www.anpei.org.br](http://www.anpei.org.br).

ABERNATHY, W.J.; UTTERBACK, J.M. “Patterns of industrial innovation”. *Technology Review*, 80, June/July, 1978.

ADAMSON, A. K. “Fuel cell today market survey: small stationary applications. *Fuel Cell Today*, December, 2005.

AMADO, R. S.; BRUM, L. F.; GARRIDO, F. M. S.; MEDEIROS, M. E. “Pilhas a combustível de óxido sólido: materiais, componentes e configurações”. *Revista Química Nova*, vol. 30, nº 1, p. 189-197, 2006.

ANDERSEN, P.; GREVE, O.; HOLST, J. “Nordic H<sub>2</sub>Energy foresight”. 2004. Disponível em [www.h2foresight.info](http://www.h2foresight.info).

ANPROTEC/ABDI. *Parques tecnológicos no Brasil*. Estudo, análises e proposições. Apresentado no seminário da Anprotec em Brasília (março 2007).

ARRUDA, M.; VERMULM, R.; HOLLANDA, S. *Inovação tecnológica no Brasil: A indústria em busca da competitividade global*. São Paulo: ANPEI, 2006.

AVADIKYAN, A.; COHENDET, P.; HÉRAUD ALAIN, J. *The economic dynamics of fuel cell technologies*. Berlin: Springer-Verlag, 2003.

AYDALOT P.; KEEBLE, D. *High technology industry and innovative environments: The European experience*. London: Routledge, 1988.

BADWAL, S. *et al.* “Materials for solid oxide fuel cells”. *Materials forum*, 21, p. 187-224, 1997.

BALAGUER, D. *et al.* “Technological prospective: a theoretical application for the aeronautic sector”. Society of Automotive Engineers, p. 17, 2006.

BALAGUER, D. *et al.* “Technological prospective as a driver for innovation in high complexity products”. Artigo apresentado no World Future Society Technology and Science, 2007.

BARRETO L. *et al.* “The hydrogen economy in the 21<sup>st</sup> century: a sustainable development scenario”. *International Journal of Hydrogen Energy*, 28, pp. 267-284, 2003.

BAUMAN, Z. *Amor Líquido*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2004.

BAUMOL W.J. *The free-market innovation machine: Analyzing the growth miracle of capitalism*. Princeton University Press, 2002.

BAUQUIS, P.R. “A reappraisal of energy supply and demand in 2050”. *Oil and Gas Science and technology*, v. 56, n.4, pp. 389-402, 2001.

- BAXTER, M. *Projeto de produto*. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.
- BENKO, G. *Economia espaço e globalização na aurora do século XXI*. São Paulo: Hucitec, 1996.
- BERT, H. “SOFC-RD at Forschungszentrum Jülich”. Apresentação realizada em dezembro de 2007.
- BOSSEL, U.L.F. “The birth of the FUEL CELL 1835-1845”. Göttingen, Germany, pp. 1-4, 2000.
- BRITTO, J. *Concepção tecnológica e aprendizado coletivo em redes de firmas: sistematização de conceitos e evidências empíricas*. Tese de doutorado. Niterói: UFF, 1999.
- BROWN, G. “A Global cooling plan”. *Newsweek*. Special Edition, december 2006/february 2007.
- BROWN, M.A.; LEVINE, M.D.; SHORT, W.; KOOMEY, J.G. “Scenarios for a clean energy future”. *Energy Policy*, n. 29, p.1179-1196, 2001.
- BUBER, M. *Que es el hombre?*. Cidade do México: Fondo de Cultura Econômica, 1949.
- BUCHKREMER, H. P. “Fabrication of solid oxid fuel cells”. Apresentação no 3º Seminário da Rede PaCOS (19-22 março de 2006).
- CÁLAD, H.M. *CommonKADS-RT: Una metodologia para el desarrollo de sistemas basados en el conocimiento de tiempo real*. Tese de doutorado. Universidad Valencia, Espanha, 2001.
- CAPRA, F. *As Conexões Ocultas – Ciência para uma vida sustentável*. São Paulo: Cultrix, 2002.
- CARLSON, E. J.; SRIRAMULU, S.; TEAGAN, P; YANG, Yong. “Cost modeling of SOFC Technology”. *University of Connecticut Storrs*, March 10, 2004.
- CAVALCANTI, M.; NEPOMUCENO, C. *O conhecimento em rede*. Como implantar projetos de inteligência coletiva. Rio de Janeiro: Campus, 2007.
- CHENG, L.C. *et al.* “Plano tecnológico: um processo para auxiliar o desenvolvimento de produtos de empresas de base tecnológica de origem acadêmica”. *Revista Locus Científico*, vol. 1, n. 2, p. 32-40, 2007.
- CHRISTENSEN, C. *The innovator’s dilemma*. Boston: Harvard Business School Press, 1997.
- CHUM, H. *Programa Brasileiro de Células a Combustível*. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, p. 2-24, 2002.

COOKE, P.; WILLS, D. “Small firms, social capital and the enhancement of business performance through innovation programs”. *Small Business Economics*, 13, 1999.

COPPE. *Projeto tecnologias avançadas de gás natural*. Rio de Janeiro: Centex, 2004.

COOPER, H. *Winning at new products*. Accelerating the process from idea to launch. New York: Basic Books, 2001.

COUTO, V.; MANI, M.; LEWIN, A. Y.; PEETERS, C. “The globalization of white-collar work. The facts and fallout of next-generation offshoring”. DUKE The Fuqua School of Business/Booz, Allen, Hamilton, 2006.

DAL POZ, M. E. *Redes de inovação em biotecnologia: genômica e direitos de propriedade intelectual*. Tese de doutorado. Campinas: UNICAMP, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Balanço Mineral Brasileiro 2001, pp. 1-19, Brasília, 2005. Disponível em: [www.dnpm.gov.br/balan%c3%a7o01/pdf/carvao.pdf](http://www.dnpm.gov.br/balan%c3%a7o01/pdf/carvao.pdf).

DOKIYA, M. “SOFC system and technology”. *Solid State Ionics*, n. 152-153, p. 383-392, 2002. Disponível em [www.elsevier.com/locate/ssi](http://www.elsevier.com/locate/ssi).

DUARTE FILHO. “Programa Brasileiro de Ciência, Tecnologia e Inovação para a economia do hidrogênio (ProH<sub>2</sub>)”. Apresentado no 3º Workshop Internacional sobre Células a Combustível (MCT/SETEC 2006).

DUNN S. “Micropower; The Next Electrical Era”. *Worldwatch Paper* 151, Worldwatch Institute, Washington D.C., US, 2000.

DUNN S. “Hydrogen futures: towards a sustainable energy system”, *Worldwatch Paper* 157, Worldwatch Institute, Washington D.C., US, 2001.

DURSTON, J. *Qué es el capital social comunitário*. Série Políticas Sociales, nº 38. Santiago de Chile, Cepal, 2000.

ELIAS, L. “O desafio da inovação no Brasil”. Apresentação de estudo do Ministério de Ciência e Tecnologia na ANPEI, 2007. Extraído de [www.anpei.org.br](http://www.anpei.org.br).

ETZKOWITZ, H.; LEYDESDORFF, I., 1995. “The triple helix – University-industry-government relations: a laboratory for knowledge-based economic development”, *EASST REVIEW* 14 (1), 14-19.

FALCÃO, D. Apresentação do Programa de Engenharia Elétrica da COPPE/UFRJ, s. d.

FANTINE, J. “Redes de excelência – Uma estratégia para desenvolvimento nacional”. Apresentação realizada no Fórum Regional do Prominp, em 27/03/06.

FELLS, I. “Clean and secure energy for the twenty-first century”. *Institution of mechanical engineers*, December 12, 2001, pp. 291-294.

- FERRAZ, J. C.; KUPFER, D.; HAGUENAUER, L. *Made in Brazil: Desafios competitivos para a indústria brasileira*. Rio de Janeiro: Campus, 1996.
- FLÓRIO, D. *et al.* “Materiais cerâmicos para células a combustível”. *Cerâmica*, n. 50, p. 275-290, 2004.
- FONTES, M.; COOMBS, R. “Contribution of new technology-based firms to the strengthening of technological capabilities in intermediate economies”. *Research Policy*, 30, 2001.
- FREYER, H. *Teoria da Época Atual*. Zahar Editores: Rio de Janeiro, 1965.
- FRIEDMAN, T. *O mundo é plano. Uma breve história do século XXI*. Rio de Janeiro: Objetiva, 2005.
- FURMAN, J.; PORTER, E. M.; STERN, S. “The determinants of national innovative capacity”. Oxford University Press, 2001. Disponível em [www.kellogg.northwestern.edu/faculty/sstern/htm/NEWresearchpage/home/Research%20](http://www.kellogg.northwestern.edu/faculty/sstern/htm/NEWresearchpage/home/Research%20) em 06/04/07.
- Gazeta Mercantil*. 12 de novembro de 2003.
- GELLER, H.S. “Em direção a um futuro energético sustentável”. *Revolução Energética*. Rio de Janeiro: Relume Dumará, cap. VIII, pp. 264-268, 2003.
- GHEMAWAT, P. *A estratégia e o cenário de negócios*. Texto e casos. Porto Alegre, Bookman, 2000.
- GOODENOUGH, J. Annual Ver. Mater. Res 33 (2003) 91
- GORTE, R. *et al.* “Novel SOFC anodes for the direct electrochemical oxidation of hydrocarbons”. *Journal of catalyses*, vol. 216, p. 477-486. University of Pennsylvania, 2003.
- GRANOVETTER, M. “Economic action and social structure: the problem of embeddedness”. *American Journal of Sociology*, 91, pp. 481-510, 1985.
- GREESPAN, A. *A era da turbulência*. Aventuras em um novo mundo. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.
- GROSS, S. M.; KOPPITZ, T.; WANKO, E.; REMMEL, J.; REISGEN, U. “Glass-ceramic sealants for the assembling of SOFC stacks”. Apresentação no TMS 2007 Annual Meeting, Orlando, 2007.
- HASEGAWA, M. *As novas abordagens à teoria do capital humano e suas ferramentas de mensuração de capacitações*. Tese de doutorado. Campinas: UNICAMP, 2001.
- HIPPEL, E.V.; TYRE, M.J. “How learning by doing is done: Problem identification in novel process equipment”. *Research Policy*, 24, 1-2, 1995.

IEE. Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, CENBIO, Centro Nacional de Referência em Biomassa, São Paulo, 2002. Disponível em: [www.infoener.iee.usp/scripts/biomassa/brcana.asp](http://www.infoener.iee.usp/scripts/biomassa/brcana.asp)

INB. Industrias Nucleares do Brasil, 2002. Disponível em [www.inb.gov.br](http://www.inb.gov.br)

JOHANSSON, F. *El efecto Medici*. Percepciones rompedoras en la intersección de ideas, conceptos y culturas. Barcelona, Deusto, 2005.

KERSEY, D.; BATES, M. *Please understand me*. Character & temperament types. Gnosology Books Ltd., 1984.

KHANDKAR, A.; HARTVIGSEN, J.; ELANGO VAN, S. “A techno-economic model for SOFC power systems”. *Solid State Ionics*, n. 135, p. 325-330, 2000.

KNOWLEDGE ACQUISITION. Disponível em: <http://www.wpistemics.co.uk/Notes/63-0-0.htm>.

LANDES, D. S. *Prometeu desacorrentado*. Transformação tecnológica e desenvolvimento industrial na Europa ocidental, desde 1750 até a nossa época. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1994.

LARA, C.; PASCUAL, J.M.; DURÁN, A. “Sellos vítreos y vitrocerámicos para pilas de combustible de óxido sólido (SOFC)”. *Boletín de La sociedad española de cerámica y vidrio*, n. 42, p. 133-143, 2003.

LASKOWSKY, B. “Brasil como destino de offshoring de TI: Formulando uma agenda estratégica para o desenvolvimento das exportações do setor de serviços de TI”. Apresentação de estudo da empresa At Kearney no Congresso da BRASSCOM, 2007.

LASTRES, H. M. M.; CASSIOLATO, J. E. *Arranjos produtivos locais: Uma nova estratégia de ação para o Sebrae*. Questionário para arranjos produtivos locais. Rio de Janeiro, Sebrae, 2003.

\_\_\_\_\_; ARROIO, A. *Conhecimento, sistemas de inovação e desenvolvimento*. Rio de Janeiro: Editora UFRJ/Contraponto, 2005.

LAUFER, A.; SAKATSUME, F.; PINHEIRO, V. “Economia e tecnologia do hidrogênio”. Trabalho apresentado na disciplina do Professor Maurício Arouca, do Programa de Planejamento Energético, como requisito para o Doutorado em Metalurgia e Materiais da COPPE/UFRJ, 2005.

LEVITT, T. “Marketing myopia”. *Harvard Business Review*. USA, December, 2003.

LÉVY, P. *As tecnologias da inteligência*. O futuro do pensamento na era da informática. São Paulo: Editora 34, 1993.

LÉVY, P. *Cibercultura*. São Paulo: Editora 34, 1999.

LEY, K. *et al.* “Glass –Ceramic sealants for solid oxide fuel cell”. PartI. *J.Mater Res*.1996

LIMA, R. *Novas lentes para uma nova realidade*: Uma proposta de metodologia para o relacionamento gerencial em clusters. Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Março, 2006.

LOKURLU, A. *et al.* “Fuel cells for mobile and stationary applications – cost analysis for combined heat and power stations on the basis of fuel cells”. *International Journal of Hydrogen Energy*, n. 28, p. 703-711, 2003.

LOVINS A.; WILLIAMS B. “A Strategy for the Hydrogen Transition”. Apresentado no 10<sup>th</sup> Annual US Hydrogen Meeting, National Hydrogen Assotiation, Vienna, Virginia, US, 1999.

LUCCHESI, R. *Inovar para crescer*. Apresentação da Confederação Nacional da Indústria no Congresso da ANPEI em 2007.

LUNDEVALL, B. A.; BORRÁS, S. *The globalizing learning economy*: implications for innovation policy. Research Report – TSER Programme, DG XII European Commission. Luxembourg: European Comunities, 1998.

MACHADO, G.V.; SCHAEFFER, R. “A Inserção do Brasil na nova ordem internacional: Uma nova ordem energética mundial?”. *Revista Brasileira de Energia*, vol. 4, nº 1, 1995.

MALUF, U. *Cultura e Mosaico*. Rio de Janeiro: Sol Nascente, 1997.

MARTIN, N.; WORRELL, E.; SCHIPPER, L.; BLOK, K. “International comparisons of energy efficiency”. *Workshop Proceedings*, Lawrence Berkeley Laboratory, 1994.

MATSUZAKI, Y; YASUDA, I. “The poisoning effect of sulfur containing impurity gas on SOFC anode. Part 1: Dependence on temperature, time and impurity concentration”. *Solid State Ionics*, n. 132, p. 261-269, 2000.

MAUGERI, L. “What lies below?” *Newsweek*. Special Edition, December 2006/February 2007.

McDOWALL, W.; EAMES, M. “Forecasts, scenarios, visions, backcasts and roadmaps to the hydrogen economy: A review of the hydrogen futures literature”, *Energy Policy*, 34, pp. 1236-1250, 2006.

McEVOY, A. “Thin SOFC electrolytes and their interfaces. A near term research strategy”. *Solid State Ionics*, n. 132, p. 159-165, 2000.

MCT. *Proposta CT Brasil*. Arranjos Produtivos Locais. Programação FVA, 2002-2003.

MCT. *Plano de Ação 2007–2010*. Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Nacional. 2007.

MENDONÇA, M. “Programa Brasileiro - Sistemas Célula a Combustível”, 1º Workshop Internacional de Células a Combustível, Campinas, 2002.

MILLES, I. "Services Innovations: a reconfiguration of innovation studies". *Prest.* University of Manchester, 2001.

MINH, N. "Solid oxide fuel cell technology features, status and applications. Clean energy: pathways to adoptions. Apresentação na Boston University. Boston, 2007.

MINH,N. *Journal American Ceramic Society.* 76 (1993) 563

Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, 2003. *Diretrizes de Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior.* Disponível em [www.desenvolvimento.gov.br/arquivo/ascom/apresentacoes/Diretrizespdf](http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivo/ascom/apresentacoes/Diretrizespdf).

MIRANDA, P.E.V. *Análise de Viabilidade Técnico-Econômica de um sistema residencial de co-geração com pilha a combustível.* Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, Agosto, 2002.

\_\_\_\_\_. "SPIL virtual da Rede PaCOS no CE-GN do Parque Tecnológico da UFRJ". Trabalho de pesquisa para o CE-GN. LabH<sub>2</sub>/COPPE/UFRJ, 2007.

\_\_\_\_\_. "German-Brazilian collaboration on solid oxide fuel cell". Apresentação em fevereiro de 2008.

MIRANDA, P.E.V.; MINH, N. "Direct Ethanol Solid Oxide Fuel Cells". Apresentação em simpósio da PaCOS em Essen, 2008.

MIRANDA, P. E. V.; BUSTAMANTE, L. A. C.; PAULA, M. C. *et al.* "Análise prospectiva da introdução de tecnologias alternativas de energia no Brasil. Pilhas a combustível". *Cenergia.* Rio de Janeiro, COPPE, julho 2002.

MME – CGIE, Ministério de Minas e Energia. *Coordenação Geral de Informações Energéticas*, cap. 1 a 8, Brasília, janeiro, 2004.

MME. *Plano Nacional de Energia 2030.* 2007. Disponível em [www.epe.org.br](http://www.epe.org.br)

\_\_\_\_\_. "Roteiro para estruturação da economia do hidrogênio no Brasil". Ministério de Minas e Energia. Apresentado pela Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis, Departamento de Gás Natural, no Seminário PaCOS, realizado em março de 2006. 2005.

MORITA, T.; LEE, H.C.; *IPCC SRES Database, Version 0.1, Emission Scenario Database prepared for IPCC Special Report on Emission Scenarios*, <http://www.cger.nies.go.jp/cger-e/db/ipcc.html> >

MYERS, I.B.; MYERS, P. B. *Gifts differing: Understanding personality type.* Mountain View, CA: Davies-Black Publishing, 1980.

MYERS; MARQUIS. *Successful industrial innovations.* Washington DC.: National Science Foundation, 1969.

NAKI'CENOVIC N.; GRÜBLER A.; McDONALD A. *Global Energy Perspectives*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1998.

NEGRO, M., *Impactos da introdução da tecnologia de células a combustível na matriz energética brasileira visando à geração de energia elétrica distribuída*. Dissertação de mestrado, São Paulo, IPEN, 2004.

NETO, J. A. *Redes de cooperação produtiva e clusters regionais*. São Paulo: Atlas, 2000.

NEXTECH MATERIALS. “Electrolyte Planar Cell”. Disponível em [www.nextechmaterials.com](http://www.nextechmaterials.com).

*Newsweek*. Special Edition, December 2006/February 2007.

NHA (National Hydrogen Association). *Strategic plan for the hydrogen economy: The hydrogen commercialization plan*, 2000. Disponível em: <http://www.hydrogenus.com/commpln.htm>

OLIVEIRA, J. “METHEXIS: Uma abordagem de gestão do conhecimento para ambientes de e-ciência”. Tese de doutorado, 2007.

OPTI/CIEMAT/INASMET-TECNALIA. “Hidrógeno y pilas de combustible. Estudio de prospectiva. España, 2006. Disponível em [www.opti.org/publicaciones/opti.asp](http://www.opti.org/publicaciones/opti.asp).

PAMPLONA, N. “Gás encontrado em Santos triplica reservas brasileiras”. O *Estado de São Paulo*, São Paulo, 04 de Setembro, 2003. Disponível em: [www.estadao.com.br/economia/noticias/2003/set/04/2.htm](http://www.estadao.com.br/economia/noticias/2003/set/04/2.htm)

PAULA, M.C. “Avaliação das pilhas a combustível como principal promotor do hidrogênio como vetor energético”. Tese de doutorado, Rio de Janeiro, UFRJ, 2003.

PETRICK; ECHOLS. “Technological forecasting and social change”, v. 71, n. 1, p. 81-100, 2004.

PETROBRAS. *Centros e redes de excelência*. Integração, inovação e motivação para promover o desenvolvimento empresarial e nacional sustentado. Livro 01. Metodologia, 2005.

PETROBRAS. *A produção brasileira: a indústria do petróleo, o petróleo, e a Petrobras*. Rio de Janeiro: Petrobras, 2003. Disponível em: [www2.petrobras.com.br/português/index.asp](http://www2.petrobras.com.br/português/index.asp)

POLANYI, M. *Personal Knowledge*. London: Routledge and Kegan, 1978.

PORTAL GÁS ENERGIA. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: [www.gasenergia.com.br/portal/port/gasnatural/reservas.jsp](http://www.gasenergia.com.br/portal/port/gasnatural/reservas.jsp)

PORTER, M. E. *Estratégia competitiva*. Técnicas para análise de indústrias e da concorrência. Rio de Janeiro, Campus, 1997.

\_\_\_\_\_. *A vantagem competitiva das nações*. Rio de Janeiro: Campus, 1993.

\_\_\_\_\_. “Cluster and the new economics of competition”. *Harvard Business Review*. Boston, 1998.

\_\_\_\_\_; STERN, S. “Ranking national innovative capacity: findings from the national innovative capacity index”, s.d. Disponível em [www.kellogg.northwestern.edu/faculty/sstern/...](http://www.kellogg.northwestern.edu/faculty/sstern/...)

PROCaC/MCT. *Sistemas de Células a Combustível*. 2006.

PROCaC/MCT. *Programa Brasileiro Sistemas Célula a Combustível*. 2002. Disponível em [www.met.gov.br/index.php/content](http://www.met.gov.br/index.php/content).

RIAHI, K.; ROEHRL, R.A.”Greenhouse gas emission in a dynamics- as-usual scenario of economic and energy development”. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 63 (3), 2000.

RYFKIN, J. *A economia do hidrogênio*. São Paulo: M. Books do Brasil, 2003.

SALERNO, M. S.; DE NIGRI, A. J. “Inovação, padrões tecnológicos e desempenho das firmas brasileiras”. Rio de Janeiro: IPEA, 2005. Disponível em [www.iea.usp.br/iea/glauco2.pdf](http://www.iea.usp.br/iea/glauco2.pdf). em 06/04/07.

SANZ, L. “Statistics, facts and figures”. Pesquisa. International Association of Science Parks, 2003.

SCHUMPETER, J. A. *Capitalismo, socialismo e democracia*. Rio de Janeiro: Zahar, 1984.

SEBRAE. Boletim Estatístico de Micro e Pequenas Empresas. Observatório Sebrae, 2005. Disponível em [www.sebrae.com.br/customizado/estudos-e-pesquisas/estudos-e-pesquisas/boletim-estatistico-das-mpe/](http://www.sebrae.com.br/customizado/estudos-e-pesquisas/estudos-e-pesquisas/boletim-estatistico-das-mpe/)

SEN, A. *Desenvolvimento como liberdade*. São Paulo: Companhia das Letras, 2002.

SERRA, E. *et al. Células a combustível: uma alternativa para geração de energia no mercado brasileiro*. Rio de Janeiro: CEPEL, 2005.

SINGHAL, C.S. “Advances in solid oxide fuel cell technology”. Science and Technology Center, Siemens Westinghouse Power Corporation. *Solid State Ionics* 305-313. 2000

SINGHAL, S; KENDALL, K. *High Temperature Solid Oxide Fuel Cells*. Fundamentals, Design and Applications. Elsevier.Oxford. London. 2003

SRES. *A special report on emissions*. Scenarios for working group III of the intergovernmental panel on climate change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2000.

STEELE, B. “Materials for IT-SOFC stacks. 35 years R&D: the inevitability of gradualness. *Solid State Ionics*, n. 134, p. 3-20, 2000.

STÖHR W.B. “Regional innovation complexes”. *Papers of the Regional Science Association*, 59, pp. 29-44, 1986.

TIDD, J.; BESSANT, J.; PAVITT, K. *Managing innovation*. Integrating technological market and organizational change. Chichester, Wiley, 1997.

TIETZ, F.; BUCHKREMER, H. P.; STÖVER, D. “Components manufacturing for solid oxide fuel cell”. *Solid State Ionics*, n. 152/153, p. 373-381, 2002.

TIFFÉE, E. *et al.* “Materials and technologies for SOFC components”. *Journal of the European Ceramic Society* 21. 2001. Disponível em [www.elsevier.com/locate/ssi](http://www.elsevier.com/locate/ssi).

TOFLER, A. *A terceira onda*. Rio de Janeiro: Record, 1970.

TOLMASQUIM, M.T. Palestra proferida no dia 16 de maio de 2003, na COPPE/UFRJ

\_\_\_\_\_ *et al.* *Fontes renováveis de energia no Brasil*. Rio de Janeiro: Interciência, Cenergia, 2003.

TORRES, R.; ALMEIDA, S.; TATSCH, L.A. “Cooperação e aprendizado em arranjos produtivos locais: aspectos conceituais e indicadores da Redesist”. Nota técnica 08. Disponível em [www.ie.ufrj.br/resist](http://www.ie.ufrj.br/resist), em maio de 2004.

ULMANN, H. “Correlation between thermal expansion and oxide ion transport in mixed conducting perovskite-type oxides for SOFC cathodes. *Solid State Ionics*, n. 138, p. 79-90, 2000.

ÚNICA. União da Agroindústria Canavieira de São Paulo, 2003. Disponível em: [www.copersucar.com.br](http://www.copersucar.com.br)

VERMULM, R. “Inovação tecnológica no Brasil. A indústria em busca da competitividade global”. Apresentação de estudo da ANPEI, 2006.

WALTERS, L.; WADE, D.; LEWIS, D. “Transition to a nuclear/hydrogen energy system. *Argonne*. Argonne National Laboratory, 2002.

WEBER, A.; TIFFÉE, E.; HERBSTTRITT, D. “Materials and technologies for SOFC-components”. *Journal of the European Ceramic Society* 21, p. 1805-1811, 2001.

WEBER, A.; TIFFÉE, E. “Materials and concepts for solid oxide fuel cells (SOFCs) in stationary and mobile applications”. *Journal of Power Sources*, 127, p. 273-283, 2004.

WEN, L *et al.* “Material research for planar SOFC stack”. *Solid State Ionics*, n. 148, p. 513-519, 2002. Disponível em [www.elsevier.com/locate/ssi](http://www.elsevier.com/locate/ssi).

WENDT, H.; GÖTZ, M.; Linardi, M. “Tecnologia de Células a Combustível”. *Química Nova*, pp. 538-545, 2, 3, 2000.

WILLIAMS, M.C. *Fuel Cell Handbook*, 6<sup>th</sup> ed., U.S. Department of Energy. West

Virginia, EG&G Technical Services, Inc. 2002

ZIMMERMANN, J. B. “Mimétisme, assimilation, creation. *Espace Temps*, n. 45-46, p. 44-52, 1991.

ZOLTAN J.A.; DAVID B.; AUDRETSCH, P.B.; CARLSSON, B.; “The knowledge spillover theory of entrepreneurship, ISSN, pp. 05-11, 2005.

ZOUAIN, M. D.; PLONSKY, A. G. *Parques tecnológicos: planejamento e gestão*. Rio de Janeiro: ANPROTEC/Sebrae, 2006.

## **Anexo 1. Entrevistas**

**Carlos Camerine, gerente de desenvolvimento tecnológico do Cenpes (05/06/07, durante VII Conferência ANPEI, em Salvador)**

1- Qual o contexto tecnológico do hidrogênio no âmbito das diretrizes estratégicas da Petrobras/ Cenpes?

Camerine: No último planejamento estratégico da empresa, o hidrogênio não entrou como vetor de oportunidade de negócios até 2015. Ele começa a surgir na prospecção de negócios em 2020 e é considerado viável depois de 2030. Foi realizada pesquisa Delphi contando com 860 pesquisadores que apontaram três vetores energéticos importantes para este período: hidrogênio, energia nuclear e lixo.

2- Qual a estrutura apresentada pela Petrobras/Cenpes para a concretização de produtos, serviços e processos inovadores?

Camerine: A empresa possui uma musculatura bastante desenvolvida neste sentido, pois, além de contar com o Cenpes, possui uma forte rede de interação com universidades e centros de pesquisas por todo o país.

3- Quais as principais áreas de negócios apontados neste último planejamento estratégico para a empresa?

Camerine: Águas profundas, biomassa e refino.

4- Poderia citar algum exemplo prático no qual a Petrobras compartilha de algum objetivo convergente com outras entidades?

Camerine: A Petrobras participa em nível mundial de um conselho, denominado Pipe Line Council Research International, com 48 sócios, pagando um valor significativo anualmente para conhecer os desenvolvimentos nesta área. Sugiro que vejam na internet a formulação deste conselho. O site é [www.prci.com](http://www.prci.com).

5- Como a Petrobras/Cenpes poderia participar para o desenvolvimento da PaCOS de 2 kW em conjunto com outras empresas?

Camerine: Para que o Cenpes possa participar de qualquer projeto de desenvolvimento tecnológico é necessário que se envie um estudo de plano de negócios ou de trabalho apresentando um cronograma de execução; custos envolvidos; de onde virão os materiais estratégicos para o produto ou serviço; *background* e experiência do setor proponente; estudos de processos de fabricação. Sugiro que após esse estudo se realize uma reunião conjunta com todos os parceiros para compartilhamento de interesses.

**José Waldemar Silva Dias da Cunha, pesquisador do Instituto de Engenharia Nuclear da UFRJ (15/06/07)**

1- Quais as suas especializações técnicas?

Waldemar: Minha especialidade está na separação de materiais de alta pureza. Por exemplo, uma empresa necessita separar um determinado tipo de minério, terras raras e outros materiais, nós realizamos este tipo de trabalho.

2- O IEN poderia desenvolver o Zircônio estabilizado com ítria?

Waldemar: Não temos condições para isso, mas poderíamos, por exemplo, separar a zircônia com um determinado grau de pureza, caso ela tenha impureza, ráfio (impureza associada ao zircônio). O ítrio ou ítria é uma terra rara e não há ninguém no Brasil que produza terras raras. O lantânio também é uma terra rara.

3- Quem no Brasil poderia desenvolver o óxido de níquel para o anodo com zircônia e ítria?

Waldemar: O óxido de níquel poderia ser desenvolvido pela Votorantim, em sua usina de São Miguel. Eles possuem profissionais que poderiam desenvolver este material.

4- E o manganato de lantânio?

Waldemar: O lantânio não se encontra no país, mas o manganês pode ser encontrado também com a Votorantim e Companhia Vale do Rio Doce.

5- Quais suas sugestões para desenvolvimento da tese?

Waldemar: Sugeriria a possibilidade de focar um único material. Por exemplo: a zircônia estabilizada com ítria, que é a mais fácil. Nós aqui do IEN temos toda infra-estrutura necessária para a separação dos elementos de alta pureza que farão parte do processo de fabricação do anodo, por exemplo.

### **José Carlos, empresário da Techmat (18/06/07)**

1- O que fazem o José Carlos e a Techmat?

J.Carlos: Sou pesquisador do INT e proprietário Techmat, que possui seis anos de existência. Existem pouquíssimas empresas no setor de cerâmicas no Brasil, devido ao pequeno interesse e aplicações neste segmento. Para sobrevivermos, também estamos mudando nosso foco, tornando a Techmat uma empresa especializada em desenvolvimentos tecnológicos de diversos materiais. Temos trabalhado, por exemplo, com próteses dentárias e materiais cerâmicos para esta área, uma vez que o segmento importa tudo. Como empresa de desenvolvimento, a Techmat aceita desafios para estes desenvolvimentos, atendendo pequenas demandas, como um parafuso de suporte cerâmico para fornos. Temos conhecimento de materiais porosos.

2- Quais suas opiniões para o desenvolvimento dos materiais da PaCOS de 2kWe?

J.Carlos: Sugiro submeter projetos às fontes de financiamento tecnológico, como Finep e Faperj, pois são poucas as empresas dispostas a estas nacionalizações. Só poderemos desenvolver a lista de materiais que você nos enviou se tivermos financiamento externo dessas fontes. Temos condições de desenvolver o zircônio e seus compósitos, da mesma forma que os selantes vítreos. Outro ponto que considero importante é a verificação dos programas do MCT relacionados com o projeto. Para termos adesão do INT é necessário estar alinhado ao MCT.

3- Como poderíamos iniciar este processo de parceria?

J.Carlos: Sugiro o envio de um e-mail convite ao pesquisador. Por intermédio deste e-mail o pesquisador fará os contatos com a direção do INT para participação da entidade neste projeto. Sugiro ainda enviar informações sobre as propriedades dos materiais da PaCOS de 2kWe alimentada com etanol, com características físicas e químicas dos elementos constitutivos; estudar a forma de participação da propriedade intelectual dos produtos a serem desenvolvidos em parceria; e enviar senha e *login* para trabalho com o GCC.

**Professor Tsuneharu Ogasawara, do Programa de Metalurgia e Materiais da COPPE (20/06/07)**

1- Quais as empresas e entidades brasileiras que poderiam ajudar no desenvolvimento dos materiais necessários à PaCOS de 2kWe?

Ogasawara: O INB (Indústria Nuclear do Brasil), cuja diretoria está localizada em Botafogo e minas em Poços de Caldas e Resende, possui instalações que poderiam auxiliar na extração do zircônio da monazita (minério de onde se extrai o urânio, tório). Eles possuem grande interesse na separação e comercialização de outros elementos, como a zircônia, e contrataram o José Waldemar do IEN justamente para fazer este trabalho de separação. O INB pode passar da zircônia simples para a zircônia tripla e tetra. Outra instituição a ser consultada é o IPEN. Verifique também o antigo grupo Paranapanema, que hoje pertence ao mesmo grupo que explora zinco em Juiz de Fora. Antigamente extraíam da xenotima (mineral de terras raras de alto teor de ítria) a ítria. Veja a Mineração Taboca. Outra entidade que deve ser pesquisada é a faculdade de Engenharia de Lorena (FELUSP), que possui um grupo de estudos de cerâmicas refratárias. Podem ser recuperados muitos trabalhos da antiga FAENQUIL.

2- Qual a sua sugestão para o prosseguimento da tese de doutorado, diante destes problemas de nacionalização de matérias-primas?

Ogasawara: Penso que você deve se concentrar na possível transferência de tecnologias dos materiais para o LabH<sub>2</sub> e outros departamentos da COPPE/UFRJ.

## **Anexo 2. Listagem dos profissionais que receberam o questionário da pesquisa**

A listagem foi entregue em caráter confidencial. Estará à disposição da banca examinadora da tese.

### **Anexo 3. Pesquisa do estado-da-arte de empresas e entidades brasileiras e estrangeiras**

O grau de desenvolvimento de uma rede de valores de determinado segmento só é impulsionado e ganha massa crítica de parceiros quando os indicadores mercadológicos (consumo *versus* demanda) indicam que os cenários de consumo são crescentes e que as incertezas tecnológicas estão diminuindo. Estes parâmetros são essenciais para que as empresas, de um modo geral, se adaptem aos fatores da produção em série.

A PaCOS, embora seja considerada um produto de grande potencial para o futuro, encontra-se com níveis de incertezas elevados, com diversas lacunas tecnológicas, mercadológicas e econômicas a serem preenchidas. Apesar disso, diversas empresas de grande porte no Brasil e no exterior, com focos específicos em exploração, produção e distribuição de energia elétrica, petróleo e gás, energias alternativas, petroquímica, automobilística e aeronáutica, estão investindo desde já grandes somas na PaCOS, acreditando que os desafios tecnológicos sejam vencidos muito brevemente. Exemplos desses investimentos vêm das empresas distribuidoras de gás natural, que poderão se tornar concorrentes das distribuidoras de energia elétrica, com o advento da PaCOS alimentada com gás natural (SERRA *et al.*, 2005).

Ainda assim, a rede de fornecedores para os materiais e componentes para a PaCOS, em todo o mundo, encontra-se em estágio embrionário de desenvolvimento. Para constatar o estado da arte das empresas brasileiras com condições de fornecimento, foi realizado, no segundo semestre de 2007, uma pesquisa via internet com entidades de classe e empresas.

Com os conteúdos das especificações técnicas contidas nas fichas técnicas elaboradas para cada componente da célula unitária da PaCOS de 2kWe, foram listadas as empresas e entidades de classe que poderiam ser consultadas sobre o fornecimento ou desenvolvimento do produto selecionado. Nenhuma empresa brasileira respondeu que possuía condições de fornecimento. As únicas empresas com possibilidades são a Novocell e a Electrocell, que importam materiais dos Estados Unidos, Alemanha e outros países europeus. As empresas pesquisadas encontram-se listadas abaixo.

- **Selantes Vítreos**

Metalite – [técnico@metalite.com.br](mailto:técnico@metalite.com.br)

Dow Corning – [WWW.downcorning.com](http://WWW.downcorning.com)

Richard Klinger – [rkvendas@rklinger.com.br](mailto:rkvendas@rklinger.com.br)

Retesp retentores – [retesp@retesp.com.br](mailto:retesp@retesp.com.br)

Carbono Lorena – [vendas@carbonolorena.com.br](mailto:vendas@carbonolorena.com.br)

Techseal Vedações – [t.vendas@techseal.com.br](mailto:t.vendas@techseal.com.br)

Eagle Burgmann do Brasil – [matriz@br.eagleburgmann.com](mailto:matriz@br.eagleburgmann.com)

Retentores Sabó – [WWW.sabo.com.br](http://WWW.sabo.com.br)

- **Óxidos de Níquel**

Techmat Materiais Cerâmicos – José Carlos da Rocha- INT

Macea Cerâmica Técnica – [macea@macea.com.br](mailto:macea@macea.com.br)

Masterglass Ind.Com. – [masterglass@masterglass.com.br](mailto:masterglass@masterglass.com.br)

JB Química Ind.Com- [jbquimica@jbquimica.com.br](mailto:jbquimica@jbquimica.com.br)

Minasolo Com.Rep.- [minasolo@minasolo.com.br](mailto:minasolo@minasolo.com.br)

SaliferInd.Quim.- [jfekete@uol.com.br](mailto:jfekete@uol.com.br)

- **Zircônia estabilizada com ítria/Ligas de zircônio**

Certec Advanced Ceramics – [certec@ceramicacertec.com.br](mailto:certec@ceramicacertec.com.br)

Energyc Industrial – [energyc@energyc.com.br](mailto:energyc@energyc.com.br)

Cascadura Industrial – [sca.vendas@cascadura.com.br](mailto:sca.vendas@cascadura.com.br)

Engecer Ltda – [comercial@engecer.com.br](mailto:comercial@engecer.com.br)

Maxcrom Desenv. Tecnológico – [info@intertekno.com](mailto:info@intertekno.com)

Sealine Ltda – [comercial@sealineld.com.br](mailto:comercial@sealineld.com.br)

Via Nuova tecnologia – [ambuschinelli@vianuova.com.br](mailto:ambuschinelli@vianuova.com.br)

Caravaggio Benef. E Moagem- [caravaggio@caravaggio.com.br](mailto:caravaggio@caravaggio.com.br)

Comexim mat. Primas- (pó de óxido de zircônio)- [atendimento@adexim-comexim.com.br](mailto:atendimento@adexim-comexim.com.br)

- **Anodos**

*Metal Sales Schlenk do Brasil- RJ- [matales@pobox.com](mailto:matales@pobox.com)*

*CQN – Colina Química Nacional – [colinaquimica@terra.com.br](mailto:colinaquimica@terra.com.br)*

*Niquelfer Com. Metais – [niquelfer@niquelfer.com.br](mailto:niquelfer@niquelfer.com.br)*

- **Dióxido de Manganês**

EletroManganês S.A – [embra@eletromanganes.com.br](mailto:embra@eletromanganes.com.br)

Sumatex Prod. Químicos- RJ- [sumatex@sumatex.com.br](mailto:sumatex@sumatex.com.br)

Verificar CVRD – área de Manganês

LaMav – Laboratório de Materiais Vítreos da Universidade de S.Carlos –  
Edgar Zanatto

Instituto de Ceramica y Vidrio de Madrid- Eva Chamorro

[Bemtevi.ipen.br/ensino/cbecimat/pdf/programa.pdf](http://Bemtevi.ipen.br/ensino/cbecimat/pdf/programa.pdf)

- **Associações de classe importantes para contatos constantes:**

ABC – Assoc. Brasileira de Cerâmica

ABM - Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais

ABPol - Associação Brasileira de Polímeros

## **Anexo 4. Resumo das fichas técnicas dos componentes da PaCOS de 2kWe, modelo planar**

### **Anodo**

Características: Deve apresentar condutividade iônica e eletrônica elevadas, uma boa atividade catalítica para oxidação do combustível e estabilidade em ambientes oxidantes.

Material utilizado: Cermet de níquel e zircônia estabilizada com 8%mol de ítria.

Fornecedor: Suspensão cerâmica fabricada no próprio Laboratório de Hidrogênio com *óxido de níquel* fabricado no Laboratório do Grupo de Catálise da Universidade Federal da Bahia, *zircônia estabilizada com 8%mol de ítria (# 4039ON-8601)* adquirida da Inframat Advanced Materials, [www.advancedmaterials.com](http://www.advancedmaterials.com), Tel: +1 (860) 487-3838 e *dispersante (Ink Vehicle)* adquirido da Nextech Materials, [www.fuelcellmaterials.com](http://www.fuelcellmaterials.com), Tel: +1 (614) 842-6606.

### **Catodo**

Características: Deve apresentar alta condutividade elétrica, alta atividade catalítica para redução do oxigênio e compatibilidade adequada com outros componentes da pilha.

Material utilizado: Manganita de lantânio dopada com estrôncio ( $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ ).

Fornecedores: Suspensão cerâmica fabricada no Laboratório de Hidrogênio com *manganita de lantânio dopada com estrôncio* adquirida da Praxair Specialty Ceramics, [www.praxair.com](http://www.praxair.com), Tel: +1 (425) 487-1769 e *dispersante (Ink Vehicle)* adquirido da Nextech Materials, Tel: +1 (614) 842-6606.

### **Eletrólito**

Características: Deve ter características singulares de estabilidade em ambientes oxidantes e redutores, alta condutividade iônica associada com baixa condutividade eletrônica nas temperaturas de operação da pilha e resistência mecânica apropriada para poder ser conformado como placas finas.

Material utilizado: Zircônia estabilizada com 8%mol de ítria. Para PaCOS utilizam-se eletrólitos sólidos cerâmicos, que são estáveis a alta temperatura e possuem condutividade iônica relevante. O material mais utilizado para este fim se constitui de zircônia ( $ZrO_2$ ) estabilizada com ítria ( $Y_2O_3$ ), conhecido como ZEI (em inglês, YSZ, *yttria stabilized zirconia*).

Fornecedor: A estrutura cristalina desse material favorece bastante a mobilidade dos íons. O material utilizado como eletrólito é adquirido da empresa “Kerafol” e consiste de placas densas de ZEI, de forma arredondada (medindo aproximadamente 2cm de diâmetro) e espessuras que variam entre 0,150 - 0,500mm.

Kerafol Keramische Folien GmbH, [www.kerafol.com](http://www.kerafol.com), Tel:+49 (9645) 88-300.

(NEXTECH MATERIALS. [WWW.nextechmaterials.com](http://WWW.nextechmaterials.com))

Material utilizado: CroFer 22 APU (JS-3)

### **Interconector**

Material utilizado: Materiais metálicos, como níquel, ligas de cromo ou de ferro, ou ainda um metal/*cermet* como o  $CrFe/Y_2O_3$  vem mostrando um melhor desempenho em pilhas a combustível de óxido sólido de temperatura intermediária, especialmente para temperaturas inferiores a  $700^\circ C$ , onde os problemas de corrosão são minimizados.

Fornecedor: FZJ- Instituto Jülich

### **Selante**

Características: Deve manter as duas câmaras da pilha a combustível de óxido sólido, a do combustível e a do oxidante, separadas, de maneira que os gases não se misturem.

Material utilizado: (Ba,Ca,Al) silicato vítreo. Suspensão cerâmica #4460 a base de vidro.

Fornecedor: Electro-Science, [www.electro-science.com](http://www.electro-science.com), Tel: +1 (610) 272-8000.

FZJ- Jülich

## Anexo 5. Questionário da pesquisa sobre a PaCOS

Página 1		A- Nível de Conhecimento Pessoal dos temas	B- Grau de importância Pessoal dos temas	C- Período de Materialização no Brasil (previsão pessoal) dos temas						D - Posição no Brasil (1 a4)	E-Atração para o Brasil(1a4)	F- Fatores Críticos para o Brasil. Selecionar no máximo 2 dos itens abaixo				
Nome Instituição E-mail Tels Setor de especialização Engenharia		Alto	Alto	Até 2009						<b>Capacidade Científica e Tecnológica</b>  Capacitação Industrial  Ciência e tecnologia  Mercado  Desenvolvimento de Conhecimentos Científicos e tecnológicos  Integração de sistemas  Segurança- Legislação- Normas  Custos  Apoio Governamental						
	TEMAS	Médio	Médio	de 2010 a 2014												
	Desenvolvimento de novos eletrólitos e materiais para eletrodos com temperaturas de operação entre 600 a 700 C de maior condutividade e menor custo que os atuais	Baixo	Baixo	2015 a 2019												
	Utilização de Pilhas a Combustível com reforma interna para aplicações estacionárias	Irrelevante	Irrelevante	2020 a 2024												
	Utilização generalizada de Pilhas a Combustível de alta temperatura de pequena potência para produção combinada de calor, eletricidade e frio			2025 a 2029												
	Desenvolvimento da PaCOS de 2kWe para sistemas estacionários de alta temperatura			Após 2030												
	Utilização generalizada da reforma de etanol para produção de hidrogênio			Nunca												

Nome.....  
 .....

Pilhas a Combustível, Normas, Legislação, Segurança	A- Nível de Conhecimento Pessoal dos Temas				B- Grau de Importância Pessoal dos temas				C- Período de materialização no Brasil(previsão pessoal) dos temas				D-Posição no Brasil(1a4)		Atratividade para Brasil (1 a 4)		F- Fatores Críticos no Brasil. Selecionar no máximo 2 dos itens abaixo									
	Alto	Medio	Baixo	Irrelevante	Alto	Medio	Baixo	Irrelevante	Até 2009	de 2010 a 2014	2015 a 2019	2020 a 2024	2025 a 2029	Após 2030	Nunca	Capacidade Científica e Tecnológica	Capacitação Industrial	Ciência e tecnologia	Mercado	Desenvolvimento de	Conhecimentos Científicos e tecnológicos	Integração de sistemas	Segurança- Legislação- Normas	Custos	Apoio Governamental	
TEMAS																										
Implantação de procedimentos de ensaio para avaliação e certificação, qualidade e segurança dos componentes da PaCOS de 2kWe																										
Desenvolvimento de aplicação de metodologias inovadoras para avaliação da segurança, baseadas em simuladores numéricos de possíveis cenários de acidentes, para minimizar riscos																										
Desenvolvimento de regulamentos e normas relacionadas com Pilhas a Combustível																										
Desenvolvimento de ferramentas para modelização e análises de sistemas da PaCOS, seus componentes, garantia de qualidade e segurança																										
Desenvolvimento de cursos que incorporem as tecnologias do hidrogênio e da PaCOS na formação Profissional e Universitária																										

Página 3

Explicita abaixo as notas de acordo com o grau de importância que você atribui a cada tema. (alto=1 ; médio=2 ; baixo=3 ; irrelevante=4)

PaCOS. Compartilhamento de Redes de Informações, Capacitações, Capital de Risco, e Ambiente Físico

Desenvolvimento de Redes de Informações entre instituições de C&T e empresas para compartilhamento de conhecimentos e informações

Criação de um ambiente físico para conjugação dos esforços das instituições de C&T e empresas para desenvolvimento da PaCOS de 2kWe.

Compartilhamento de Capital de Risco entre instituições de C&T e empresas para desenvolvimento de insumos para a PaCOS de 2kWe

Compartilhamento de Capacitações e Habilidades Pessoais entre instituições de C&T e empresas para desenvolvimento de materiais, componentes, equipamentos, processos, testes para PaCOS de 2kWe no Brasil

Assinale outros temas que julga importantes para o desenvolvimento da PaCOS de 2kWe no Brasil

## Anexo 6. Competências para a PaCOS de 2kWe

- **Anodo:**
  - **O LabH<sub>2</sub>** (COPPE/UFRJ) produz matéria-prima para anodo, suspensão cerâmica de anodo e testa pilhas unitárias como os anodos produzidos.
  - Maria do Carmo Rangel dos Santos, **UFBA**: produz matéria-prima para anodo.
  - O Laboratório **FZJ**, de Jülich, Alemanha, produz placas de anodo para suporte de PaCOS.
  - Dulcina M. P. F. de Souza, **UFSCar**, produz placas de anodo para suporte de PaCOS.
  - Margarida Júri Saeki, **Unesp-Botucatu**, realiza ensaios de desempenho elétrico e eletroquímico do anodo.
  
- **Catodo:**
  - Compra-se, no mercado, matéria-prima para catodo
  - Rosana Zacarias Domingues, **LAMPaC**, UFMG: produz matéria-prima para catodo e realiza ensaios de desempenho elétrico e eletroquímico de catodo.
  - O **LabH<sub>2</sub>** (COPPE/UFRJ) produz suspensão cerâmica de catodo e testa pilhas unitárias como os catodos produzidos.
  - Herval R. Paes Jr., **UENF**, produz filme fino de catodo sobre eletrólito, usando spray-pirólise.
  
- **Eletrólito:**
  - **IEN**: produz matéria-prima para eletrólito de ZEI 8% mol.

- O **LabH<sub>2</sub>** (COPPE/UFRJ) produz suspensões cerâmicas de eletrólito e as deposita sobre suporte de anodo usando serigrafia
- Herval R. Paes Jr., **UENF**, produz filme fino de eletrólito sobre suporte de anodo, usando spray-pirólise
- **Selante:**
  - **CEPEL** e o **LabH<sub>2</sub>** (COPPE/UFRJ) produzem, conjuntamente, material para selante.
- **Coletor de Corrente/Placas Separadoras:**
  - **IPEN**: produz material para coletor de corrente, cromita de lantânio.
  - Herval R. Paes Jr., **UENF**, produz filme fino de cromita de lantânio para atuar como coletor de corrente sobre suportes de anodo e catodo, usando spray-pirólise
  - Herval R. Paes Jr., **UENF**, e Wilson Acchar, **UFPB**, produzem conjuntamente placas de aço revestidas com cromita de lantânio para atuarem como placas separadoras coletoras de corrente.
- **Balanço de Planta:**
  - **Electrocell** e **LPC** (COPPE/UFRJ) produzem balanço de planta.
- **Conexão à Rede e a Dispositivos:**
  - Grupo de Eletrônica de Potência da **COPPE/UFRJ** desenvolve interface para conexão à rede elétrica e dispositivos.
  - **CEPEL** desenvolve interface para conexão à rede elétrica e dispositivos.

### **Rede catálise para reforma**

- Grupo do Prof. Martin Schmal (Programa de Engenharia Química da **COPPE/UFRJ**)
- Outras entidades, empresas nacionais e internacionais, envolvidas com o desenvolvimento da PaCOS :

- <http://www.fuelcellmaterials.com/category.cfm?defID=41>
- <http://www.cfcl.com.au/>
- <http://www.h2fc.com/>
- <http://www.h2fc.com/reframe.php?top=/global/indust.shtml&bot=/industry/fcellcomp/index.shtml>
- [Ceramic Fuel Cells, Ltd.](#)
- [CeresPower](#)
- [CellTech Power](#)
- <http://labbd.cos.ufrj.br/gce/testeEquipamento.asp>
- [GenCell](#)
- [Rolls-Royce Plc](#)
- [SOFCo-EFS](#)
- [http://www.nextechmaterials.com/view\\_page.php?id=14](http://www.nextechmaterials.com/view_page.php?id=14)
- <http://www.brasilh2.com.br/BrasilH2/noticiasnews/385.htm>
- [CELESC](#) - Centrais Elétricas de Santa Catarina.
- [CENEH](#) - Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio
- [CENPES/Petrobrás](#) - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello da Petrobrás
- [Cerbio](#) - Centro Nacional de Referência em Biomassa
- [CEMIG](#) - Companhia Energética de Minas Gerais
- [CEPEL](#) - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica.
- [CHESF](#) - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
- [COPEL](#) - Companhia Paranaense de Energia
- [CTPETRO](#) (Fundo Setorial do Petróleo e Gás Natural)
- [Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná \(UFPR\)](#)
- [Electrocell](#)

- [Emtu](#) - Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo
- [FAPESP](#)
- [INEP](#) - Instituto Nacional de Eletrônica de Potência – UFSC
- [Instituto de Química da USP de São Carlos](#)
- [IPEN](#) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
- [IPT](#) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas
- [Laboratório de Hidrogênio LH2](#) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)- Instituto de Física "Gleb Wataghin".
- [Laboratório de Hidrogênio LABH2 - COPPE/UFRJ](#) - Vinculado ao COPPE/UFRJ - Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro
- [Lactec](#) - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento
- [PHB Eletrônica](#)
- [PIPE](#) - Programa de Inovação Tecnológica em Pequenas Empresas
- [UEM](#) - Universidade Estadual de Maringá
- [Unitech](#)
- [Unesp](#) - Departamento de Energia da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá.
- [Univali](#) - Universidade do Vale do Itajaí-SC

## **Anexo 7. Plano de ação LabH<sub>2</sub> e FZJ**

### **LabH<sub>2</sub>-FZJ SOFC Collaboration Meeting – 05-06/12/2007**

#### **1<sup>st</sup>. Technical Action Plan**

Based on the FZJ-F. COPPETEC Scientific and Technological Interchange and Cooperation Contract signed by both sides in 2007.

Participants:

Paulo de Miranda, Alfredo Laufer

Robert Steinberger-Wilckens, Ludger Blum, Bert de Haart, Sven Uhlenbruck, Sonja Gross, Roland Peters

Main Conclusions:

- Test Rigs
  - For 5 x 5 cm<sup>2</sup> single fuel cells: LabH<sub>2</sub> is going to order an apparatus to the company EBZ established in Dresden;
  - For short stacks: LabH<sub>2</sub>-FZJ staff will specify and order an apparatus to test 10 x 10 cm<sup>2</sup> single cells composing short stacks, to be paid with Brazilian money and also to be ordered from the company EBZ established in Dresden;
  - FZJ will furnish 50 single fuel cells and at least three short stacks for the tests mentioned above;
- Direct ethanol SOFC anode development:
  - LabH<sub>2</sub> supplies anode powder to fabricate electrodes;
  - FZJ develops the fabrication procedure to obtain functional electrodes using the mentioned powders;
  - A joint evaluation has to be made about the type of substrate to be used for that purpose;
- Exchange of staff:

- LabH2 will send to FZJ two PhD students:
  - one to work on testing of single cells and short stacks with emphasis on the impedance spectroscopy;
  - The other one to work on anode integration for direct ethanol SOFC;
  - LabH2 will cover the salaries for the students, FZJ will pay for the lodging and will look for additional support;
  - FZJ (Dr. Torsten Markus) will send one Ph.D student to work at LabH2. FZJ will cover his salary and LabH2 will pay for the lodging and will look for additional support;
- LabH2 and FZJ agree to plan exchanging researchers, at their own expenses;
- FZJ researchers are invited to actively participate in the next PaCOS Network Seminar to be held in Brazil on the second semester of 2008, being organized by LabH2;
- Building on the experience of the stack tests, LabH2 will build up a system test bench for evaluating 2 kWe class stacks operating with a variety of fuels, including hydrogen, methane, natural gas, biogas and ethanol;
  - FZJ will try to mobilize funds to deliver two to three 2 kWe stacks to LabH2 in order to be integrated into the test bench system;
- LabH2 will evaluate the information that can be disclosed to FZJ about the plasma pyrolysis process for hydrogen production;
- All results will be owned jointly.

Agreed by:

Paulo E. V. de Miranda  
LabH2-Coppe/UFRJ

Robert Steinberger-Wilkens  
PBZ - Research Centre Juelich

## Anexo 8. Detalhamento do processo de fabricação, montagem e testes da PaCOS no FZJ

Devido ao pioneirismo do FZJ neste setor, o LabH<sub>2</sub> procurou desde 2002 intensificar relações com esta entidade. Este processo culminou na assinatura do acordo de cooperação com a Fundação COPPETEC. Estabelecido em 1956, o Centro de Pesquisas de Jülich tem 15 anos de experiência no desenvolvimento da PaCOS. É considerado o maior instituto de pesquisas da Alemanha, com aproximadamente 4.400 pessoas, das quais mais de 1000 são cientistas. A divisão de desenvolvimento da PaCOS foi criada em 1992 e conta com 110 pessoas.

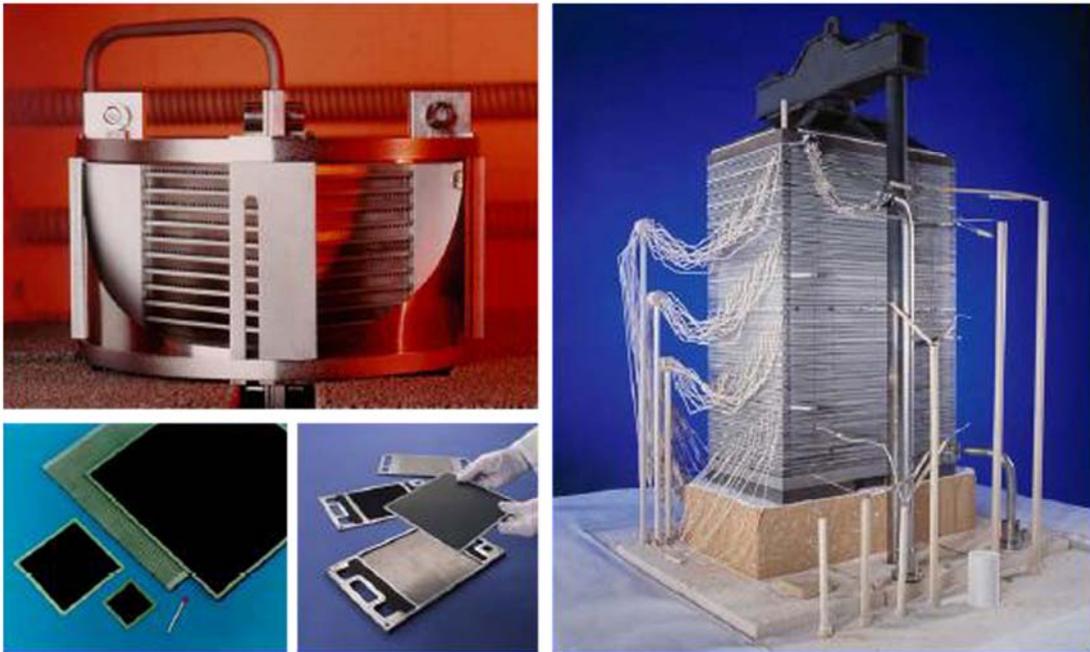
### Área do FZJ em Jülich



Adaptado de MIRANDA (2008)

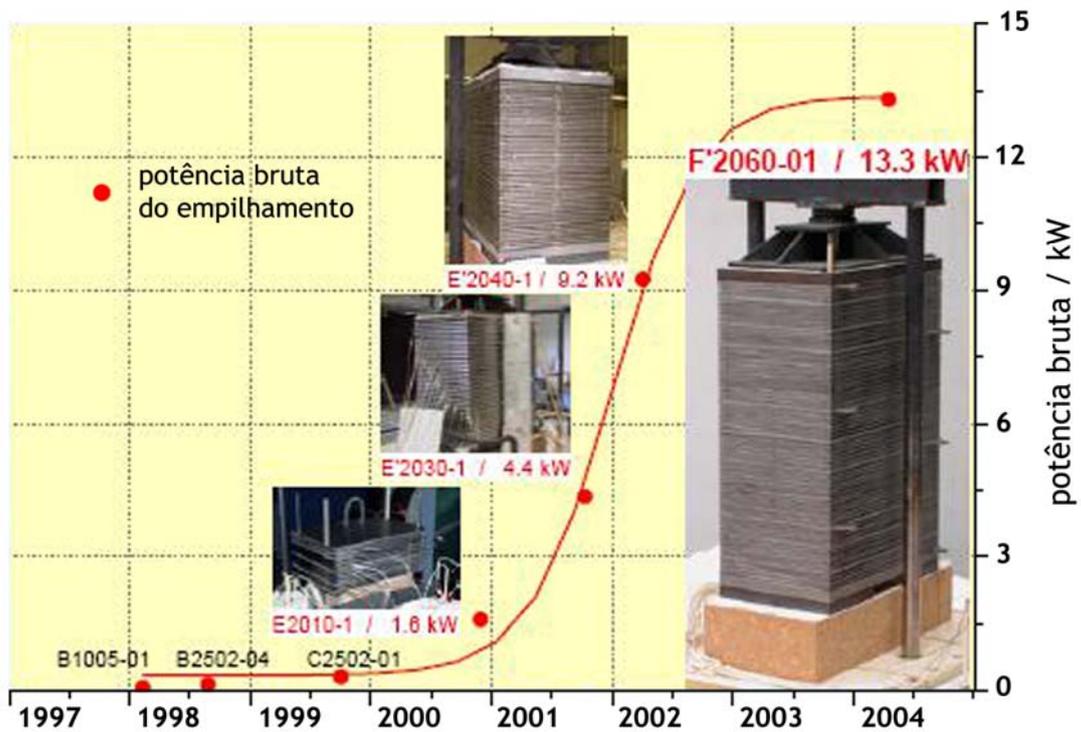
Alguns modelos de PaCOS desenvolvidos no FZJ e sua evolução dos últimos anos são mostrados nas próximas figuras.

## Alguns modelos de PaCOS e fases de seu empilhamento



Adaptado de BERT (2007).

## Desenvolvimento da PaCOS ao longo dos anos no FZJ.



Adaptado de BERT (2007).

O plano de ação estabelecido em conjunto entre o FZJ e o LabH<sub>2</sub> apresenta as seguintes metas, em cada uma das etapas:

### **Materiais**

- Desenvolvimento de materiais cerâmicos e ferríticos;
- Alta confiabilidade, pequena taxa de envelhecimento, aumento às impurezas dos gases;
- Propriedades de compatibilidade com materiais compostos e sistemas de multi-materiais;
- Baixos custos.

### **Células Unitárias**

- Alta densidade de potência;
- Melhoria das propriedades mecânicas.

### **Empilhamentos**

- Otimização do regime de fluxo, melhoria de contato e distribuição de carga mecânica;
- Capacidade de ciclos térmicos;
- Menor peso e volume.

Para facilitar o entendimento dos conhecimentos e competências que serão necessários ao desenvolvimento da PaCOS no Brasil, concluiu-se pela necessidade de acompanhamento dos processos pré-industriais executados no FZJ, que são divididos em três fases distintas:

### **Fabricação**

- Métodos de fabricação pré-industrial para células unitárias, empilhamentos e componentes.

### **Sistemas**

- Redução de custos;
- Projeto, adaptação e testes dos componentes do balanço de Planta (BoP);
- Montagem dos componentes.

### **Modelagem**

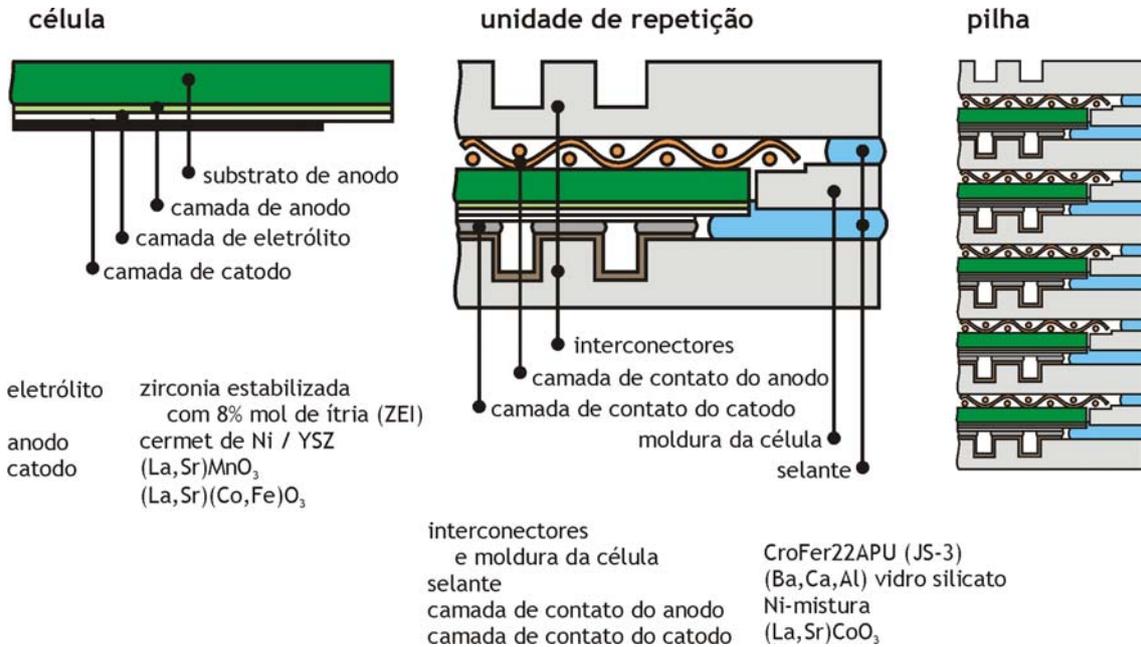
- Entendimento dos processos de envelhecimento físico-químicos;
- Previsibilidade de comportamento da célula, empilhamento e sistema.

Para atingir os objetivos acima listados, é necessário dispor de infra-estrutura composta pelos seguintes dispositivos, equipamentos e materiais:

- Bancadas para testes em células unitárias;
- Bancadas para testes em empilhamentos curtos (3 a 5 planos, aproximadamente 300 testes);
- Empilhamento de potência (0,5 a 2 kW);
- Bancada para testes do sistema e componentes do sistema;
- Análises pós-testes;
- Modelagem.

Os componentes e as fases de montagem que se processam desde a formação da célula unitária até ao empilhamento curto (de três a cinco planos) e as especificações dos respectivos materiais dos componentes básicos são mostrados na figura abaixo.

### Componentes e fases de montagem da PaCOS no FZJ



Adaptado de BERT (2007).

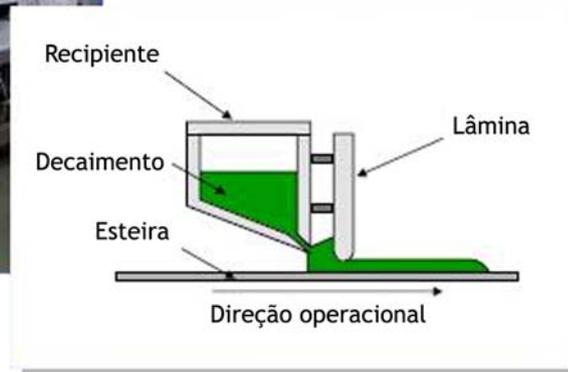
Para a montagem da PaCOS, é necessária, inicialmente, a fabricação dos seus componentes básicos, que passam por diversos estágios de desenvolvimento, conforme mostrado na seqüência abaixo.

O processo mais utilizado na fabricação do substrato anodo é a moldagem em fita, conforme a figura abaixo.

## Fabricação do substrato anodo de uma PaCOS modelo planar



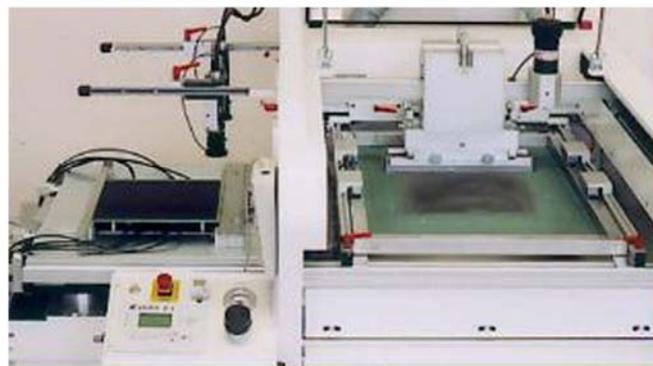
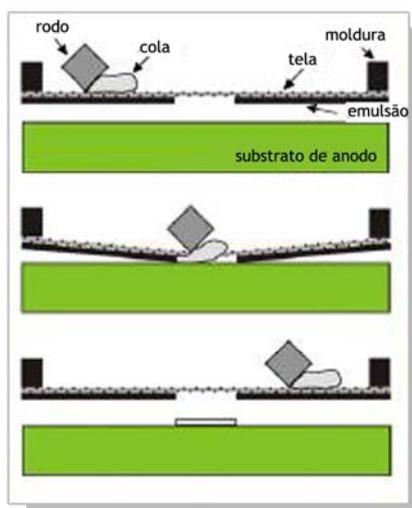
- espessura do verde: 1000  $\mu\text{m}$



Adaptado de BERT (2007).

Nas PaCOS planares, a serigrafia (*screen-printing*) é um dos processos mais utilizados para fabricação dos eletrólitos e catodo.

## Fabricação do eletrólito e catodo da PaCOS pelo processo de serigrafia

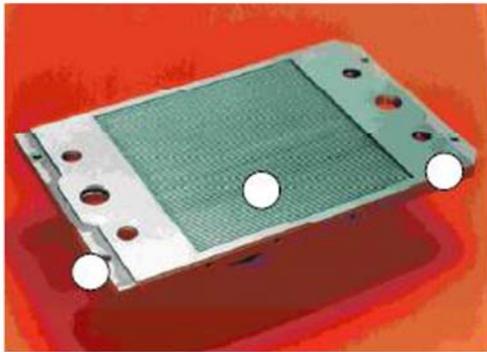


- espessura do verde: 10  $\mu\text{m}$
- tamanho: 220 mm x 250 mm

Adaptado de BERT (2007)

Os processos de montagem da PaCOS unitária e seu empilhamento são mostrados nas próximas figuras.

## Corte do interconector por jato de água e ajustamento da pilha unitária ao interconector e material selante



- corte do interconector por jato d'água
- moagem dos canais de fluxo
- brasagem da moldura:  
separação dos volumes gasosos  
posicionamento da célula

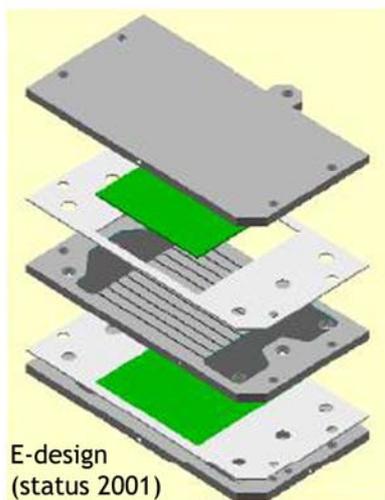


ajustamento da célula ao interconector  
vitrocerâmica como material selante

Adaptado de BERT (2007).

A figura abaixo mostra a tecnologia e geometria de empilhamento da PaCOS. Observam-se dois aspectos importantes no empilhamento: as superfícies de vedação estão em planos perpendiculares à direção do empilhamento; e os canais de fluxos são distribuídos paralelamente para melhor homogeneização da temperatura de operação.

### Tecnologia e geometria de empilhamento da PaCOS



#### distribuidor interno

selando as superfícies apenas em planos perpendiculares à direção do empilhamento

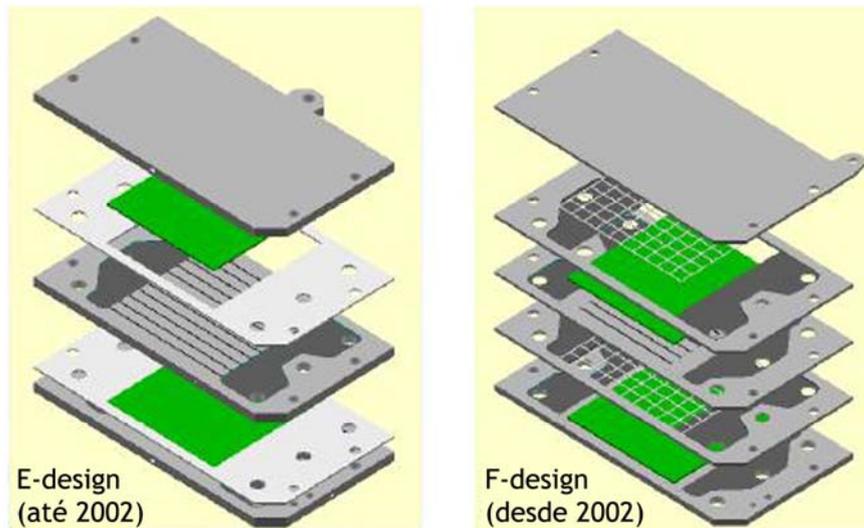
#### fluxo paralelo de gases

maior distribuição homogênea da temperatura para operação com metano (reforma interna) com contra-fluxo

Adaptado de BERT (2007).

Observam-se abaixo duas diferentes geometrias de montagem de PaCOS. A diferença está na colocação de uma tela de níquel para melhoria da distribuição dos gases e da coleção de corrente na geometria F.

### Duas diferentes geometrias de montagem da PaCOS

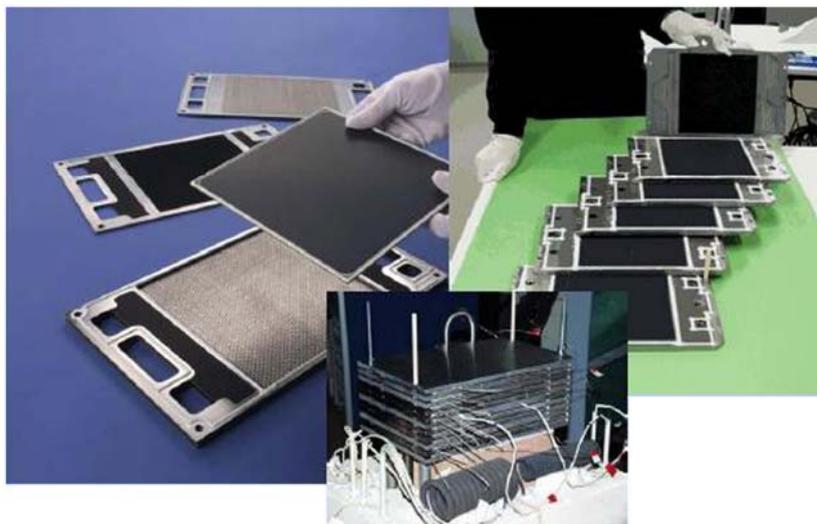


esforço reduzido na produção e introdução de tela de níquel como distribuidor de gás e elemento de contato

Adaptado de BERT (2007).

A figura abaixo mostra a montagem do empilhamento dos módulos unitários da PaCOS planar.

### Montagem da PaCOS

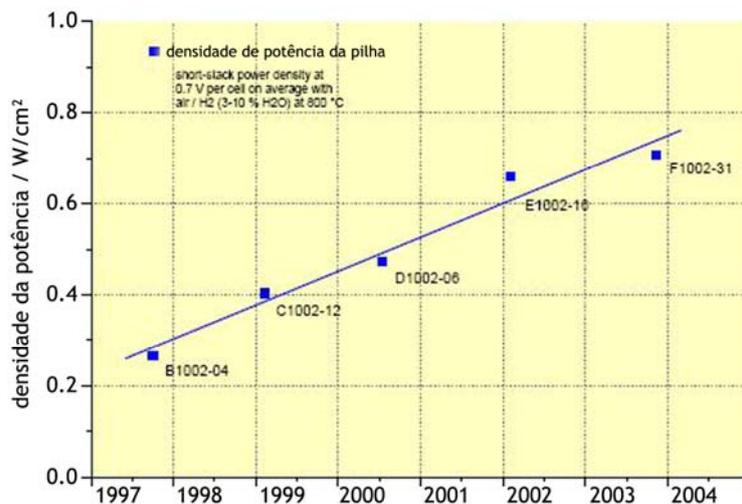


Adaptado de BERT (2007).

Em fins de 1997, o FZJ apresentou seu primeiro protótipo da PaCOS, que recebeu a denominação de modelo B 1002-04, cuja densidade de potência era um pouco superior a  $0,2\text{W}/\text{cm}^2$ . Em meados de 2004, foram lançados os modelos F1002-31 e F 1002-26, com  $0,7$  e  $0,9\text{ W}/\text{cm}^2$  respectivamente. Ao longo de quase seis anos, o FZJ conseguiu mais que quadruplicar a densidade de potência da PaCOS, com o desenvolvimento de outros materiais para o catodo.

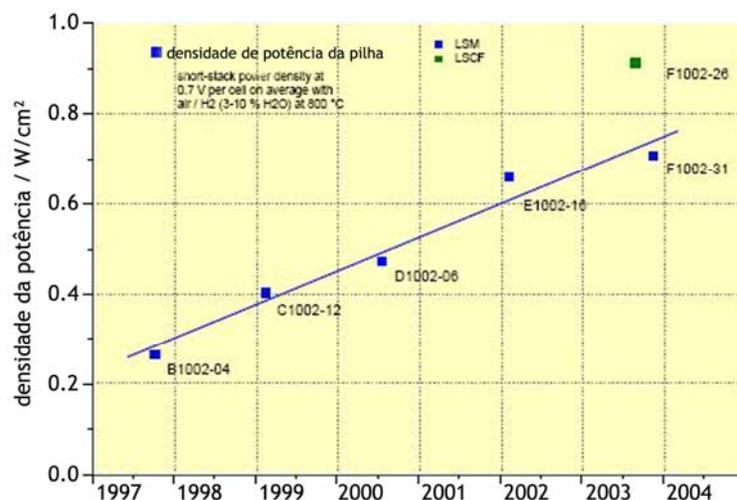
O desempenho eletroquímico ao longo dos anos pode ser observado nos gráficos seguintes.

### Desempenho da densidade de potência no modelo F1002-31



Adaptado de BERT (2007).

### Desempenho da densidade de potência no modelo F1002-26



Adaptado de BERT (2007).