

Universidade Federal de Minas Gerais  
Pós-Graduação em Ciências Biológicas  
Departamento de Fisiologia e Biofísica  
Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual

Marina Domingues Fernandes

Aprendizados para o Brasil do Desenvolvimento de Pilhas a  
Combustível de Óxido Sólido com base na Experiência dos  
Estados Unidos e Japão: Uma análise a partir de Patentes e dos  
Sistemas Nacionais de Inovação

Belo Horizonte

Janeiro de 2017

Marina Domingues Fernandes

Aprendizados para o Brasil do Desenvolvimento de Pilhas a  
Combustível de Óxido Sólido com base na Experiência dos  
Estados Unidos e Japão: Uma análise a partir de Patentes e dos  
Sistemas Nacionais de Inovação

Dissertação de Mestrado

Orientador: Ruben Dario Sinisterra Millan

Belo Horizonte

Janeiro de 2017

## Agradecimentos

Agradeço às cinco pessoas mais importantes da minha vida, Rosana, Otávio, Nicolas, Vovó Lia e Vovô Osvaldo, pela vida, criação e apoio incondicional.

Agradeço ao grande companheiro de jornada, Víctor, pela paciência e contribuições.

Ao mestre professor orientador Rubén Sinisterra responsável pelos justos “nãos” e mais sinceros carinhos.

À mestre amiga, professora Márcia Rapini pelos conselhos e amizade.

Aos amigos de infância Ana Clara, Isis, Luiz Henrique, Matheus, Thaisa, Taline, Letícia, Daniel, Jéssica, Tomás e Flávia.

Ao professor Lin Chih Cheng pelas conversas e ponderações para toda a vida.

Ao professor Rochel Montero Lago pelos conselhos.

Ao professor Raoni Barros Bagno pelas aulas.

À professora Maria Esperanza Cortés pelo apoio e conselhos.

Aos professores da economia pela carinhosa recepção nas disciplinas cursadas.

Aos professores do mestrado, Ana Valéria Carneiro Dias, Eduardo da Motta e Albuquerque, Eduardo Romeiro, Frédéric Jean Georges Frézard, Francisco Vidal Barbosa, Carlos Alberto Tagliati e Evanguedes Kalapothakis.

Aos familiares, vovó Ana, Tias Hermina, Mônica, Mariangela, Bernadete, aos tios Nilton, Paulos e Lu, aos primos, Ana Flávia, Danielle, Débora, Érika, Úrsula, Paulinho, Victor, Breno e Aninha.

Aos brasileiros, que financiam meus estudos.

## Resumo

As crescentes discussões relativas ao desenvolvimento sustentável evidenciam a dificuldade de se utilizar fontes de energia renováveis numa escala global. As Pilhas a Combustível de Óxido-Sólido são uma das tecnologias mais eficientes e promissoras para geração sustentável de energia. Essas pilhas geram energia a partir de hidrogênio, obtido através tanto combustíveis fósseis (tais como gás natural) quanto de fontes renováveis (como o bioetanol). Independentemente do combustível utilizado, a eficiência dessas pilhas permite um maior aproveitamento energético do combustível. O presente trabalho propõe-se discutir a trajetória tecnológica das Pilhas a Combustível de Óxido Sólido a luz do conceito dos Sistemas Nacionais Inovação, complementando esta análise com questões do desenvolvimento sustentável e os marcos históricos relativos a trajetória da pilha. Para isso, foram escolhidos, além do Brasil, os dois países que mais somam à participação de patentes na área (cerca de 70%), Japão e Estados Unidos. Para a argumentação deste presente trabalho são usadas 5250 patentes publicadas entre os anos de 1995 e 2015 e uma análise de 66 empresas e institutos de pesquisa relacionados às Pilhas a Combustível de Óxido Sólido. O presente trabalho apresenta as principais características dos Sistemas Nacionais de Inovação japonês e americano que favoreceram o desenvolvimento das pilhas, e a principal contribuição deste trabalho é identificar os principais aprendizados do desenvolvimento dessa tecnologia no Japão e Estados Unidos para sugerir um modelo para a produção brasileira de pilhas a combustível de óxido sólido.

## Abstract

The growing number of discussions about sustainable development highlight the difficulty of using renewable sources of energy on a global scale. Oxide-Solid Fuel Cells are one of the most efficient and promising technologies for sustainable power generation. These cells generate energy from hydrogen, obtained through both fossil fuels (such as natural gas) and renewable sources (such as bioethanol). Regardless of the fuel, the device generates energy with a higher efficiency. The present work proposes to discuss the technological path of the Solid Oxide Fuel Cells on the grounds of the concept of National Systems, complementing the analyses with sustainable development matters and historical facts intrinsic to the technology development itself. In order to do so, three countries guided this study, besides Brazil, the two others with most amount of published patents (around 70%), Japan and the US. The present work argumentation counts with a patent landscape including 5250 published patents from 1995 to 2015 and a panel company database comprising 66 SOFC related companies and research institutes. The present work presents the main characteristics of the Japanese and American National Systems of Innovation that favors the development of the cells, and the main contribution of this work is to identify the main learning of the development of such technology in Japan and the United States in order to suggest a model for a Brazilian production.

## Lista de Figuras

Figura 1: Esquema geral de uma pilha a combustível .....	6
Figura 2: Esquema etapas de fabricação de uma pilha a combustível de óxido sólido .....	7
Figura 3: Resumo dos Sistemas Nacionais de Inovação dos Estados Unidos e Japão ....	17
Figura 4: Cronologia de eventos relacionados a sustentabilidade.....	22
Figura 5: Distribuição das Patentes por ano, políticas de pilhas a combustível de óxido sólido e eventos referentes a sustentabilidade .....	34
Figura 6: Distribuição das patentes selecionadas por país de origem.....	37
Figura 7: Depositantes de patentes .....	38
Figura 8: Esquema do Programa Americano SECA .....	39
Figura 9: ENE-Farm type S, estrutura de governança.....	40
Figura 10: Distribuição por setor de mercado por país .....	41
Figura 11: Situação Legal das patentes americanas e japonesas.....	42
Figura 12: Distribuição de patentes depositadas no Brasil por país .....	43
Figura 13: Distribuição cronológica das patentes depositadas no Brasil por país .....	44
Figura 14: Patentes depositadas no Brasil por setores de atuação dos depositantes.....	45
Figura 15: Participação dos países nos setores das patentes brasileiras .....	46
Figura 16: Esquema do Programa Brasileiro de Pilhas a Combustível .....	48
Figura 17: Distribuição dos recursos investidos durante os projetos CEMIG – UFMG.....	53
Figura 18: Modelo Proposto.....	55

## Lista de Abreviaturas

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APU	<i>Auxiliary power unit</i>
CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CGEE	Centro de Estudos Estratégicos
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CT-Energ	Fundo Setorial de Energia
Fapemig	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
JPO	<i>Japan Patent Office</i>
LaMPaC	Laboratório de Materiais e Pilhas a Combustível
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
METI	<i>Ministry of Economy, Trade and Industry</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NEDO	<i>New Energy Development Organisation</i>

P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PaCOS	Pilhas a Combustível de Óxido Sólido
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
ProCaC	Programa Brasileiro de Células a Combustível
SECA	<i>Solid State Energy Conversion Alliance</i>
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SOFC	<i>Solid Oxide Fuel Cell</i>
UENF	Universidade Estadual do Norte Fluminense
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UNESP	Universidade Estadual de São Paulo
USPTO	<i>United States Patent and Trademark Office</i>
WEC	<i>World Energy Council</i>

# Sumário

Capítulo 1: Introdução.....	1
Capítulo 2: As Pilhas a Combustível, Estado da Arte .....	5
2.1 Pilhas a combustível de óxido sólido.....	5
Capítulo 3: Os Sistemas Nacionais de Inovação .....	10
3.1 O Sistema Nacional de Inovação dos Estados Unidos .....	13
3.2 O Sistema Nacional de Inovação do Japão .....	15
3.3 O Sistema Nacional de Inovação do Brasil .....	17
Capítulo 4: O papel da Sustentabilidade.....	21
Capítulo 5: Trajetórias Tecnológicas .....	24
5.1 A trajetória tecnológica para as PaCOS nos Estados Unidos .....	24
5.2 A trajetória tecnológica no Japão .....	26
5.3 A trajetória tecnológica no Brasil e em Minas Gerais .....	28
Capítulo 6: considerações sobre a metodologia deste trabalho .....	32
Capítulo 7: Resultados.....	34
7.1 Resultados obtidos através das patentes depositadas no Brasil .....	43
Capítulo 8: Aprendizados para o Brasil.....	51
8.1 Sugestão para produção das Pilhas a Combustível de Óxido Sólido .....	54
Referências.....	56

## Capítulo 1: Introdução

As crescentes discussões relativas ao desenvolvimento sustentável evidenciam a dificuldade de se utilizar fontes renováveis de energias numa escala global. A perspectiva histórica da evolução do uso dos recursos energéticos nas últimas duas décadas, não indica uma transição para o uso dessas fontes de energia. Ao contrário, a participação do petróleo, gás natural e carvão corresponderam à mais de 85% de todo o consumo de energias primárias a nível global (WEC, 2016). Mais do que isso, não há indícios de esgotamento de combustíveis fósseis para os próximos decênios, pelo contrário, somente as reservas de petróleo aumentaram em 60% nos últimos 20 anos, acompanhadas por um aumento de 20% na sua produção. Quando se considera as duas maiores economias mundiais, tanto a China quanto os Estados Unidos usam o carvão como sua principal fonte de abastecimento energético – 79% e 40% respectivamente (WEC, 2013).

Apesar de um otimismo quanto a disponibilidade de recursos naturais usados para atender a atual demanda energética, os impactos causados pela emissão de CO<sub>2</sub>, pela geração de resíduos de usinas nucleares ou até mesmo pelos conflitos geopolíticos, colocam em questão a urgência de se utilizar e desenvolver fontes alternativas de energia. Em termos de poluição por CO<sub>2</sub>, por exemplo, estima-se que o setor energético seja responsável, diretamente, por cerca de 47% das emissões. Para manter o aumento da temperatura global menor que 2°C os níveis de emissão de CO<sub>2</sub> devem ser reduzidos em 40 - 70% em relação ao nível de 2010 até 2015 (IPCC, 2014).

A complexidade de se atingir essas metas é evidente quando, por exemplo, se contabiliza o crescimento na demanda de energia devido apenas a inclusão da população rural, sem acesso a bens intensivos em energia nos países em desenvolvimento ou subdesenvolvidos. As projeções passadas sobre crescimento do uso de energia falharam drasticamente ao subestimarem o quanto universalização da energia, principalmente na África e Ásia, contribuiria para esse aumento.

Hoje, fazer com que o desenvolvimento da eletrificação seja capaz de suprir o crescimento da demanda é um dos principais desafios para o setor energético (WEC, 2013). Aliar o acesso à energia ao uso de fontes renováveis condizente aos princípios de sustentabilidade é ainda mais obscuro. Por isso, os governos cada vez mais preocupados com possíveis

desequilíbrios ambientais tem elaborado políticas para o desenvolvimento e implementação de novas e também já consolidadas tecnologias para o setor energético.

No que diz respeito às políticas públicas, as recentes decisões tomadas para incentivar novas fontes de energia foram amplamente criticadas visto seus fracassos nos últimos anos. Por exemplo, o mercado de carbono, além de não se mostrar uma política efetiva para a redução dos níveis de CO<sub>2</sub> também não foi o suficiente para justificar o uso de novas fontes de energias mais renováveis existentes (LEVI, 2013). Em Paris (2016), os governos acordaram em manter a temperatura global em no máximo 2,0°C acima da temperatura dos níveis pós revolução industrial, através do financiamento de tecnologias de baixo carbono (WEC, 2016). As atuais discussões sobre novas políticas para o setor energético visam uma agenda mais positiva e mais elaborada, composta por diversos mecanismos de incentivo e implementação. Há incentivos para a participação do setor privado no que diz respeito as tecnologias em estados mais avançados de desenvolvimento.

No entanto, mesmo fontes alternativas de energia em estágio mais avançado precisam de pesquisa e desenvolvimento. Desafios de intermitência, armazenamento e integração são os mais frequentes, além de outros relacionados a tecnologias específicas (WEC, 2013; TRANCIK, 2014). Para superar esses desafios, investimentos públicos e políticas que sinalizem o apoio as tecnologias são fundamentais para estimular a participação do setor privado.

A presente dissertação de mestrado tem como foco a tecnologia das Pilhas a Combustível Óxido-Sólido (PaCOS), uma das tecnologias mais eficientes e promissoras para geração sustentável de energia. Essas pilhas geram energia a partir de hidrogênio, obtido através de tanto combustíveis fósseis (tais como gás natural) quanto de fontes renováveis (como o bioetanol). Independentemente do combustível utilizado, a eficiência dessas pilhas permite um maior aproveitamento energético do combustível utilizado – cerca de 60% de eficiência. Isto ocorre devido ao fato desses dispositivos operarem diferentemente de outras máquinas térmicas que obedecem ao ciclo de *Carnot*. Estas máquinas convertem a energia química do combustível em energia elétrica e térmica. Os sistemas de geração de energia baseados nesta tecnologia já alcançaram estágios de demonstração em grande escala nos EUA, na Europa e no Japão. Sistemas em menores escalas estão em desenvolvimento para aplicações militares, residenciais, industriais e de transporte (STAMBOULI, TRAVERSA,

2002). Recentemente, o grupo de pesquisa alemão de Jülich anunciou o resultado obtidos num estudo da primeira pilha a combustível com 70.000 horas (oito anos) de funcionamento (BLUM *et al.*, 2016). Em termos de comercialização, o Japão por exemplo, em janeiro de 2016 apresentou 11.208 dispositivos de pilhas a combustível instalados no país, com um preço de venda de aproximadamente \$15.000,00 por unidade (HOSHINO, 2016). Já nos Estados Unidos, 41 dos 50 estados já possuem algum tipo de pilha a combustível instalado, sendo somente entre os anos de 2014 e 2015 foram instalados cerca de 14 MW no país (U.S Department of Energy, 2015).

O presente trabalho propõe-se discutir a trajetória tecnológica das Pilhas a Combustível de Óxido Sólido a luz do estudo de patentes e do conceito dos Sistemas Nacionais Inovação. Para isso, foram escolhidos, além do Brasil, os dois países que mais somam a participação de patentes na área (cerca de 70%), Japão e Estados Unidos. O arcabouço conceitual dos Sistemas Nacionais de Inovação ajuda a compreender o papel das instituições chaves na trajetória tecnológica das pilhas a combustível e a esclarecer como as características do país determinaram esse fluxo de inovação. No entanto, apenas uma abordagem geral aos Sistemas Nacionais de Inovação esconde as especificidades do próprio desenvolvimento da tecnologia. Por isso, torna-se relevante para esta pesquisa os elementos históricos do desenvolvimento das pilhas nos países escolhidos, enriquecendo a discussão e confirmando a especificidade dos aspectos do Sistema Nacional de Inovação de cada país.

Este trabalho também considerou o contexto que determinou as principais características dos Sistemas Nacionais de Inovação que por sua vez orientaram a trajetória das pilhas. No caso dos EUA, as instituições militares e a NASA participaram, na década de 1960, ativamente no desenvolvimento desta tecnologia através de financiamento de projetos. A forma como essas instituições interagiram naquela época desenhou as alternativas de desenvolvimento dessa tecnologia, refletida nas interações dos tempos atuais. No caso do Japão, o envolvimento com a tecnologia começou na década de 1970 com a pesquisa básica. Hoje em dia, o Ministério do Comércio Internacional e Indústria financia grandes grupos cooperativos que desenvolvem pesquisas aplicadas e são responsáveis pela produção das pilhas, visando, dentre outras vantagens, a redução de CO<sub>2</sub>. O Brasil iniciou sua trajetória em meados da década de 1990, quando o Ministério da Ciência e Tecnologia promoveu algumas iniciativas visando estimular a produção da pilha, fomentando pesquisas e interações entre universidades e empresas do setor energético.

A metodologia usada para o presente trabalho foi o uso das bases de dados de patentes públicas e informações obtidas através de artigos e outros documentos. A partir da busca em patentes foram construídas várias bases de dados as quais permitiram analisar os diferentes caminhos tecnológicos seguidos pelos principais países focados neste estudo, Japão, Estados Unidos e o Brasil. Foram também observadas as tendências nos países onde nasceu a tecnologia de pilha a combustível, Inglaterra e Alemanha. Três hipóteses são utilizadas para justificarem esses dados: (1) os elementos favoráveis dos seus Sistemas Nacionais de Inovação; (2) os acordos de sustentabilidade; e (3) a trajetória da tecnologia.

Compreender a trajetória do avanço das pilhas a combustível nos países onde essa tecnologia já atingiu um nível de maturação quase comercial, como nos Estados Unidos e Japão, pode ser um passo importante para tornar tal tecnologia uma realidade no Brasil. O objetivo geral do presente trabalho é criar um modelo de desenvolvimento de pilhas a combustível de óxido sólido para o Brasil, a partir das análises das trajetórias tecnológicas dos atuais países líderes, que possa ser representativo e efetivamente estruturante para o desenvolvimento dessa e de outras tecnologias com alto grau de inovação.

Este manuscrito será composto de 8 capítulos. O capítulo 2 apresenta uma breve revisão sobre as pilhas a combustível. O capítulo 3 relata a criação dos conceitos de Sistemas Nacionais de Inovação bem como sintetiza das principais características dos sistemas dos EUA, Japão e Brasil. O capítulo 4 ilustra a influência da sustentabilidade na evolução de tecnologias alternativas para produção de energia, em especial, para as pilhas a combustível. No capítulo 5 são mostradas as diferentes trajetórias tecnológicas adotadas pelos países. O uso de patentes como instrumento importante na elucidação de aspectos norteadores da tecnologia das pilhas e os resultados da análise das mesmas são dados nos capítulos 6 e 7. O capítulo 8 se constitui nos aprendizados para o Brasil e a proposta de um modelo para o desenvolvimento e produção das pilhas a combustível de óxido sólido.

## Capítulo 2: As Pilhas a Combustível, Estado da Arte

Embora as primeiras investigações relacionadas as tecnologias de hidrogênio datem de 1800, os princípios de funcionamento da pilha a combustível só foram desenvolvidos no final da década de 1830 (ANDÚJAR; SEGURA, 2009). Através desta descoberta, seis tipos diferentes de pilhas a combustível foram desenvolvidos ao longo de quase dois séculos, conforme a Tabela 1. O tipo de pilha, primeira coluna, nomeia as pilhas de acordo com o material, quase sempre o eletrólito ou com o combustível usado. A temperatura de operação é função dos materiais usados e suas faixas de valores correspondem a temperaturas nas quais os materiais apresentam condutividade elétrica adequada para a operação. A terceira coluna relaciona as principais aplicações à cada tipo de pilha.

**Tabela 1: Tipos de Pilha a Combustível, (LARMINIE, MAURICE, 2009)**

Tipo de Pilha	Temperatura de Operação	Aplicações e Comentários
Alcalina	50-200°C	Usado em ônibus espaciais
Membrana Polimérica	30-100°C	Veículos e aplicações móveis, além de sistemas de cogeração de baixa potência
Metanol Direto	20-90°C	Recomendado para Sistemas eletrônicos portáteis de baixa potência
Ácido Fosfórico	~220°C	Muito utilizado em sistemas de cogeração de 200 kW
Carbonato Fundido	~650°C	Recomendado para Sistemas de cogeração de média a larga escala, da ordem de MW
Óxido Sólido	500-1000°C	Recomendado para sistemas de cogeração de pequeno, médio e grande porte, de 2 kW a vários MW

### 2.1 Pilhas a combustível de óxido sólido

A primeira pilha a combustível de óxido sólido foi desenvolvida por Bauer e Preis em 1937 (SINGHAL, 2013) e desde então essa tecnologia passou por diversas mudanças técnicas

que dependeram de políticas públicas visando uma matriz energética mais sustentável e eficiente.

As pilhas a combustível de óxido sólido são produzidas majoritariamente a partir de materiais cerâmicos e encontram aplicações em diversos setores, desde os sistemas de propulsão dos futuros ônibus espaciais americanos até o fornecimento de energia e calor a moradias ao redor do mundo. A pilha apresenta vantagens tais como geração de energia distribuída permitindo o acesso em áreas remotas, pouco ruído, baixo ou nenhum resíduo poluente dependendo do combustível, utilização de diversos tipos de combustíveis, inclusive os fósseis, facilitando a transição para uma economia voltada para o hidrogênio e produção de energia com alta confiabilidade.

As pilhas consistem de dois eletrodos, anodo e catodo, fisicamente separados por um eletrólito. O combustível (hidrogênio, ou outros combustíveis reformados como os fósseis ou renováveis) se oxida no anodo enquanto o material oxidante (geralmente oxigênio) se reduz no catodo. O eletrólito está entre os dois de eletrodo, assegurando que apenas  $O^{2-}$  passe do catodo para o anodo. Os elétrons formados no anodo passam para o catodo através de um circuito externo, e são responsáveis pela condução da corrente elétrica. A Figura 1 ilustra o funcionamento da pilha:

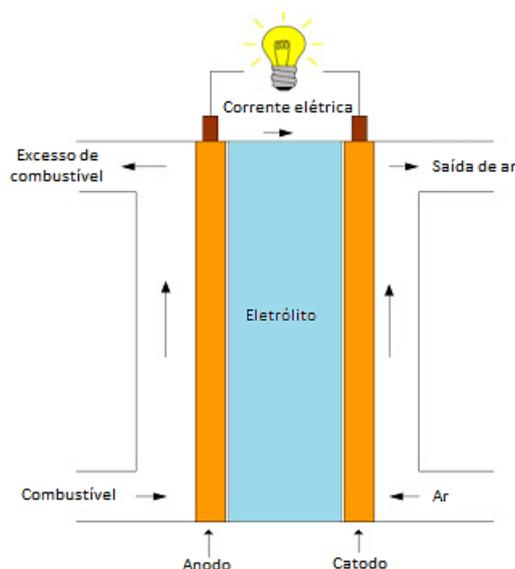
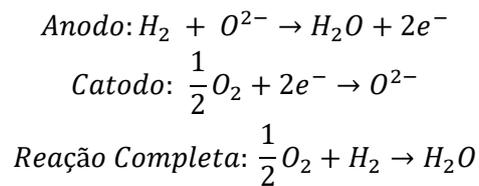


Figura 1: Esquema geral de uma pilha a combustível. Adaptado de: (PACHAURI & CHAURAN, 2015)

Cada unidade de célula é composta por estas três partes: anodo, catodo e eletrodo. O empilhamento de múltiplas células (interligadas por uma placa de cerâmica ou de metal, também conhecidas como interconectores) resulta num sistema de energia de energia modular, cuja intensidade varia com o número de células empilhadas. Como a célula opera com uma reação eletroquímica exotérmica, o calor gerado dentro da operação da célula pode também ser aproveitado em combinação com a energia elétrica. A célula funciona de acordo com as seguintes equações:



A fabricação das pilhas a combustível de óxido sólido é um processo complexo que se inicia a partir da fabricação de pós cerâmicos (de anodo, catodo e eletrólito) específicos, capazes de realizar as reações eletroquímicas especificadas nas equações acima. Os materiais devem possuir elevadas condutividades eletrônica e/ou iônica, além de serem compatíveis em termos de expansão térmica e não reagirem quimicamente entre si. A Figura 2 ilustra a cadeia de produção das pilhas de óxido sólido.

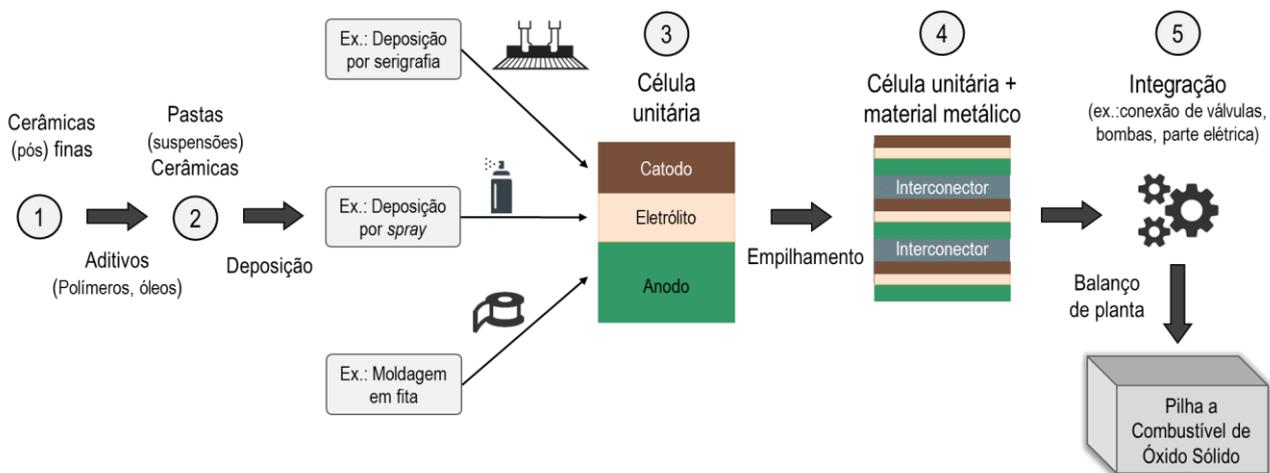


Figura 2: Esquema com etapas de fabricação de uma pilha a combustível de óxido sólido. Elaboração própria

Aos pós cerâmicos são adicionados ligantes, polímeros, óleos formando uma pasta cerâmica. Este processo é semelhante para os pós de anodo, catodo e eletrólito. Cada uma das três pastas ou suspensões é fabricada através de materiais distintos, com propriedades

distintas. As suspensões são então usadas na fabricação de camadas (de eletrólito, anodo e catodo) através de diferentes métodos de deposição. A título de exemplo, em uma pilha de óxido sólido na qual a camada mais espessa, também conhecida como a camada suporte, é a de anodo, esta é geralmente fabricada através do método de moldagem em fitas. Em seguida, o eletrólito é depositado sobre a fita de anodo através do método de *spray* e por fim, o catodo é depositado por serigrafia. Após a deposição de cada camada ou no final do depósito o conjunto é aquecido em altas temperaturas, gerando as células unitárias das pilhas. Essas são empilhadas (interconectadas por placas metálicas ou cerâmicas) e integradas com outros componentes que são capazes de gerar energia proporcional ao número de células que foram empilhadas. O dispositivo final, é composto por múltiplas células empilhadas, integradas e inseridas em um balanço de planta com outros componentes (ex.: trocador de calor, bombas).

As principais barreiras tecnológicas deste tipo de energia são a durabilidade e a confiabilidade dos empilhamentos e redução do custo da produção (SHAIKH *et al.*, 2015). O custo de produção é alavancado pelo alto custo dos materiais, sobretudo se as pilhas operarem em altas temperaturas (BLUM, 2016). Vários estudos se concentram no desenvolvimento de materiais cerâmicos mais condutores uma vez que as temperaturas de operação das pilhas são ditadas pelas temperaturas nas quais as condutividades mínimas requeridas são atingidas. As células que são suportadas pelo anodo apresentam a vantagem de operarem em uma temperatura mais baixa (600°-800°) comparadas com aquelas suportadas pelo eletrólito (800°-1000°). Alguns estudos se concentram em encontrar materiais para os interconectores e selantes, por exemplo, que ofereçam segurança, durabilidade e baixo custo. O local de utilização na qual as pilhas são usadas também implicam em desafios tecnológicos. Por exemplo, enquanto para o uso na aviação, o peso do dispositivo é uma barreira, para uso em aplicações estacionárias como as residenciais, o fator peso não é o mais limitante.

Mais detalhes sobre os aspectos técnicos das PaCOS (materiais, métodos de fabricação, aplicações) podem ser encontrados na vasta bibliografia existente sobre o tema (ONG, GHONIEM, 2016; CAMPNARI *et al.*, 2016; SPEIDEL *et al.*, 2015; BALDINELLI *et al.*, 2016). Outros estudos abordam questões relativas a comercialização e aos desafios a serem superados para um maior amadurecimento da tecnologia. Elmer *et al.* (2015), apresentam o estado da arte das PaCOS em relação: ao seu estágio de desenvolvimento, à evolução

da comercialização de células em termos de preço por kW, às principais empresas envolvidas na produção e as estratégias de comercialização. Em um outro artigo, um grupo de pesquisadores discute a implementação de centrais de hidrogênio a luz dos investimentos setoriais de empresas governamentais e privadas (APAK *et al*, 2016).

Outros trabalhos utilizaram patentes como indicadores para justificar a mudança tecnológica das pilhas a combustível (HA *et al*, 2015; CHEN, *et al*, 2011; CHEN *et al*, 2013). Ha *et al.*, 2015, reconhecem as patentes como um resultado intelectual dos ativos intangíveis de uma sociedade baseada no conhecimento e, por isso, as utilizam como instrumento para gestão de portfólio de empresas. Sob esta perspectiva, os autores identificam as patentes “núcleos” – através de elementos das próprias patentes como os índices de citação - para medir os avanços tecnológicos das pilhas a combustível voltadas para aplicação em veículos (HA *et al*, 2015). Chen *et al.*, 2011, aplicam métodos de previsão para as tecnologias de hidrogênio, também através de uma análise de patentes. A previsão é feita através de uma aproximação de uma curva logística (uma curva em S) característica da atividade de patentes, indicando seus estágios tecnológicos. Eles concluem que, naquela época, tais tecnologias não tinham atingido uma fase de maturidade (CHEN, *et al*, 2011). Em 2013, um grupo de pesquisa de Taiwan propõe explicar a evolução da tecnologia de pilhas a combustível nos países líderes com base em documentos de patentes. Uma das contribuições deste trabalho foi captar como essa tecnologia se desenvolveu cronologicamente de tópicos temáticos e os países líderes correspondentes no campo das pilhas de combustível (CHEN *et al*, 2013).

## Capítulo 3: Os Sistemas Nacionais de Inovação

A eficácia de inovação de cada país é resultado de como alguns agentes-chave interagem para inventar, lançar e gerenciar novos produtos no mercado. Schumpeter (1934) em "Teoria do Desenvolvimento Econômico", colocou a inovação no centro das discussões de desenvolvimento econômico (SCHUMPETER, 1934). Depois dessa contribuição, a percepção da academia em relação à inovação mudou consideravelmente (FAGERBERG, 2005; NARIN *et al.*, 1997; MOWERY, 1994). Muitos pesquisadores passaram a dedicar seus estudos para explicar os diferentes níveis de desenvolvimento econômico de acordo com o progresso tecnológico. Outros, passaram a pesquisar os padrões existentes no processo de inovação em diferentes escalas (nível da empresa, nível de mercado, nível de região, nível nacional). Foi a partir dessa contribuição que surgiram os conceitos de Sistemas Nacionais de Inovação no fim da década de 1980 e início da década de 1990.

Esses conceitos surgiram em um contexto da teoria econômica quando vários pesquisadores se interessaram em compreender a ascensão do Japão. A primeira definição sobre os sistemas de inovação foi elaborada pelo britânico Christopher Freeman em 1987 como "a rede de instituições nos setores público e privado cujas atividades e interações iniciam, importam e difundem novas tecnologias" (FREEMAN, 1987). Meia década depois são publicados dos dois mais influentes livros que dissertam sobre o tema (EDQUIST, 2005) o "*National systems of innovation: An analytical framework*" de 1992 editado pelo dinamarquês Bengt-Åke Lundvall e o "*National Innovation Systems: a comparative analysis*" de 1993 editado pelo americano Richard R. Nelson. Ambos economistas apresentam a mesma definição para os sistemas nacionais de inovação: determinantes (ou fatores influenciadores) do processo de inovação. Contudo, as diferentes formas como eles abordaram este conceito ressaltaram as limitações da própria definição. Por um lado, Nelson elabora um amplo estudo de casos empíricos, contemplando vários países de diferentes níveis de renda. Esses casos apresentam um foco na atuação de pesquisa e desenvolvimento dentro dos sistemas. Por outro lado, Lundvall prefere uma orientação teórica baseada em aprendizado, relações usuário-produtor e inovação. Seu conceito é amplo, abordando questões como construção de competências, diferenças culturais, indicadores sociais e fatores políticos. (LUNDVALL *et al.*, 2011).

É comum encontrar na literatura de sistemas nacionais de inovação uma definição de “sistemas” (NELSON, 1993, EDQUIST, 2005). Nelson, 1993, inicia a discussão definindo inovação, sistema e nacional. A inovação é definida como “os processos pelos quais as empresas dominam e colocam em prática projetos de produtos e processos de fabricação que são novos para eles, se não para o universo ou mesmo para a nação” (NELSON, 1993). Na definição de Edquist (2005) ele distingue inovação de produto, como sendo novos ou melhores bens de consumo incluindo serviços, da inovação de processo, como novas formas de produzir bens de consumo ou serviços. Há vários outros conceitos para a inovação. Por se tratar de um conceito multidisciplinar, cada área do conhecimento que se propôs a estudar a inovação, encontrou sua própria maneira de transcrever o caminho de uma invenção a um produto socialmente aceito. Um conceito útil, mais utilizado na área de engenharia de produção, é a Matriz Ansoff, que cruza o nível de novidade da tecnologia para o mercado e para os produtos (ANSOFF, 1957), conforme a Tabela 2.

**Tabela 2: Matriz de Ansoff**

		Produtos	
		Existentes	Novos
Mercado	Existentes	Penetração de Mercado	Desenvolvimento de Produtos
	Novos	Desenvolvimento de mercado	Diversificação

O conceito de sistema dentro deste arcabouço remete as atividades (ou atores) que estão interligados e que são capazes de influenciar a desempenho da inovação (FAGERBERG, 2005; NELSON, 1993). De fato, a definição de sistemas é mais utilizada nas ciências naturais do que nas sociais (EDQUIST, 2005). Três principais características definem um sistema (INGELSTAM, 2002, apud EDQUIST, 2005): i) ser constituído de variáveis e a relação entre essas; ii) apresentar uma função e iii) ser possível de identificar os seus limites. Entretanto, como Nelson ressaltou, não cabe na atual definição aplicar um conceito de sistema conscientemente elaborado e definido, mas sim com um caráter mais brando.

Por fim, algumas considerações sobre o termo nacional. Há varias espacialidades distintas para o estudo dos sistemas de inovação (por exemplo, regional e setorial). Nelson, 1993 afirma que os sistemas de inovação – ou seja instituições e organizações e suas correlações- para o setor de farmácia podem ser substancialmente distintas do setor de aviação. Mesmo assim, argumenta que em muitos campos da tecnologia (inclusive os setores de farmácia e aviação) os participantes desse sistema agem de forma transacional. (NELSON, 1993).

O aparecimento tardio desses conceitos (somente na década de 1990) está relacionado com a demora das discussões acadêmicas acerca da inovação. Diferentes argumentos poderiam explicar por que a inovação foi por tanto tempo negligenciada como um campo próprio de estudo. Uma razão é que, como Fagerberg escreveu a inovação "é tão antiga quanto a própria humanidade" (FAGERBERG, 2005), ou seja, este processo intrínseco ao ser humano, tão natural como o pensar, demorou a chamar a atenção da academia. Outra razão está relacionada com a imprevisibilidade do próprio fenômeno, tornando difícil a sua sistematização e, conseqüentemente, a produção do conhecimento científico na área. Por fim, outra razão deriva do fato de que a maioria dos modelos tradicionais de crescimento econômico "costumava se concentrar em fatores como a acumulação de capital ou os mercados de trabalho, e não na inovação" (FAGERBERG, 2005). Esses modelos não conseguiram incorporar atributos para definir uma função de progresso tecnológico, que levasse em conta a inovação uma vez que ela não é previsível.

Muitas dessas discussões acerca da inovação, próprias dos sistemas nacionais de inovação, podem ser exemplificadas com a tecnologia em análise desta presente dissertação. Elas também podem ajudar a compreender os obstáculos enfrentados para se atingir o atual estágio de desenvolvimento das pilhas a combustível além daqueles justificados pelos seus desafios tecnológicos. Desde a descoberta do fenômeno eletroquímico por trás das pilhas a combustível, mais de dois séculos de P&D e tentativas de comercialização se passaram, e, hoje, apenas poucos países conseguiram atingir a fase de comercialização desses dispositivos.

Na direção de investimentos em P&D, Nelson aponta que, embora o método científico desempenhe um papel essencial na construção do conhecimento na era moderna, correlacionar os esforços de P&D diretamente com a própria inovação é uma forte

simplificação uma vez que essa é imprevisível (NELSON, 1993). Ele afirma que nem mesmo algumas grandes descobertas foram necessariamente o resultado esperado por uma pesquisa – a exemplo, as ondas de rádio não tiveram a aplicação original que Hertz pesquisava. Nelson acrescenta que o avanço de certas tecnologias depende do desenvolvimento científico de outros campos o quais, muitas vezes, se encontra impossibilitado de progredir (NELSON, 1993). Sendo assim, embora a primeira investigação relacionada às pilhas a combustível seja de 1800, seu avanço se apoiou em outras tecnologias e descobertas, como a "Teoria das desordens nos sólidos" que explicava a condutividade elétrica de certos materiais sólidos a diferentes temperaturas (ANDÚJAR, SEGURA, 2009).

Outra discussão presente em Nelson 1993 é sobre os conceitos de inovação radical e incremental introduzidos por Schumpeter. Para Schumpeter, a inovação radical é a mais relevante, considerada o motor dos ciclos do capitalismo. Nelson, ao contrário, nota que a máquina voadora de 1903 dos irmãos Wright guarda poucas semelhanças com o que hoje é conhecido como um avião. Em outras palavras, foram as inovações incrementais que permitiram que os seres humanos voassem (NELSON, 1993). Novamente, tal discussão corrobora com o desenvolvimento das PaCOS, uma vez que a descoberta do fenômeno pilhas não se concretizou em geradores de eletricidade baseados em hidrogênio através de uma única inovação.

### 3.1 O Sistema Nacional de Inovação dos Estados Unidos

O Sistema Nacional de Inovação dos Estados Unidos é dinâmico e tem o maior desempenho em inovação no mundo contemporâneo. Este sistema tem o governo como peça chave, coordenando, financiando e constantemente exigindo o desenvolvimento de novas tecnologias no mercado americano e mundial (MOWERY, 1994; NELSON, 1990).

No entanto, o Sistema Nacional de Inovação dos EUA nem sempre foi o mesmo (MOWERY, ROSENBERG, 1999). Antes da Segunda Guerra Mundial, as universidades e o setor privado eram os principais responsáveis pela pesquisa e desenvolvimento, já o governo contribuía principalmente para a pesquisa agrícola (MOWERY, ROSEMBERG, 1993). O sucesso do desempenho do setor industrial americano da época se justificou devido a organização do setor privado moldado na primeira metade do século XX. Os setores químico e elétrico representavam uma parte considerável do setor industrial americano

(NELSON, 1990). Tais setores industriais, especialmente o químico, foram caracterizados por constantes P&D que envolviam fortes colaborações e integrações, essenciais para o sucesso do sistema de inovação do pós-guerra (MOWERY, ROSEMBERG, 1993).

No período anterior à Segunda Guerra Mundial, as universidades tinham como principal função fornecer força de trabalho qualificada para intensificar a pesquisa no setor privado. O governo provinha recursos para o financiamento do ensino nas universidades públicas, sem destinação de recursos para pesquisa acadêmica, uma vez que essa não era prioridade naquela época. Dessa forma, as universidades americanas não estavam na fronteira científica mundial. Além disso, o governo promovia políticas indiretas que permitiram o crescimento de um ambiente adequado para o setor privado industrial (NARIN et al., 1997; FREEMAN, 1989).

Após a Segunda Guerra Mundial, o Sistema Nacional de Inovação americano mudou significativamente, principalmente no que diz respeito a participação do governo em temas considerados essenciais surgidos na guerra fria. No novo contexto mundial, o governo se tornou mais proativo, intensificando as ligações existentes entre as universidades e a indústria através da demanda por novas tecnologias. Além disso, o governo aumentou os gastos com educação e em pesquisa acadêmica em outros assuntos além da área de agricultura. Com isso, a contribuição das universidades para o progresso tecnológico aumentou, mesmo que pesquisa maciça continuasse a pertencer à indústria. Vale a pena mencionar a importância do acordo antitruste para as pequenas e novas empresas, promovendo o ambiente legal e institucional para que as mesmas se aventurassem em novas oportunidades de mercado (MOWERY, 1994). Devido ao contexto da época, as questões militares orientaram a interação do governo dentro das universidades e empresas, exercendo um papel importante como o do Departamento de Defesa (NELSON, 1990).

Mais de 15 anos após o fim da guerra fria, o governo americano continua promovendo inovações através de investimento em aplicações militares. Segundo a Pesquisa de Ensino Superior de Pesquisa e Desenvolvimento, o Departamento de Defesa recebeu o terceiro maior orçamento nacional para P&D em 2014 (NATIONAL SCIENCE FOUNDATION, 2015).

A estrutura do Sistema Nacional de Inovação dos Estados Unidos mudou consideravelmente durante o período pré e pós-guerra. Atualmente, esse sistema conta

com o governo como o principal ator, apoiando diferentes setores econômicos e impulsionando o desenvolvimento de novas tecnologias.

### 3.2 O Sistema Nacional de Inovação do Japão

O Sistema Nacional de Inovação Japonês apresenta um ambiente de forte confiança e cooperação entre os agente-chaves, fundamental para propiciar a jornada rumo a uma nação tecnológica ao longo dos séculos passados. O objetivo do governo japonês era reduzir a diferença tecnológica entre o país e o Ocidente, visando uma economia mais forte, um país mais seguro e um maior bem-estar para a população (OKAWA, KOHAMA, 1989).

Antes da Restauração Meiji, o governo era o principal agente do sistema nacional de inovação japonês, coordenando o avanço técnico na Era Tokugawa (1603-1868). Durante este período, o país permaneceu fechado, mantendo contato apenas com a China e os Países Baixos. Embora com acesso limitado à informação, a educação em massa e de qualidade permitiram avanços técnicos importantes em áreas como agricultura, engenharia e saúde (ODAGIRI, GOTO, 1993).

Após a abertura política-econômica-social do Japão, quando as diferenças tecnológicas entre o Japão e as economias de alta renda tornou-se evidente, o governo tornou-se mais incisivo nos planos relativos ao progresso tecnológico. O país precisava se reestruturar para alcançar os níveis de progresso do ocidente. Para isso, o governo importou modelos políticos e indústrias ocidentais, e promoveu políticas de incentivos para atração de pesquisadores europeus e americanos qualificados. O objetivo era aprender. A intervenção do governo foi coerente, consistente e engajada em todos os tipos de atividades, incluindo aquelas comumente designadas ao setor privado, ausente na época. Havia também uma constante preocupação com a qualidade da educação. O Japão estava ciente de que o triunfo da estratégia de substituição de importações só teria êxito se aliado à qualificação da população japonesa. Assim, durante a Era Meiji, mais escolas surgiram, bem como instituições de ensino superior, com foco nas áreas de engenharia (OKAWA, KOHAMA, 1989; GOTO, 2000).

Antes do fim da Segunda Guerra Mundial (1945), o governo concentrou-se na defesa do país, investindo na expansão militar. No entanto, a ambição de se tornar uma nação avançada em ciência e tecnologia levou a indústria, políticos, militares e cientistas a criarem

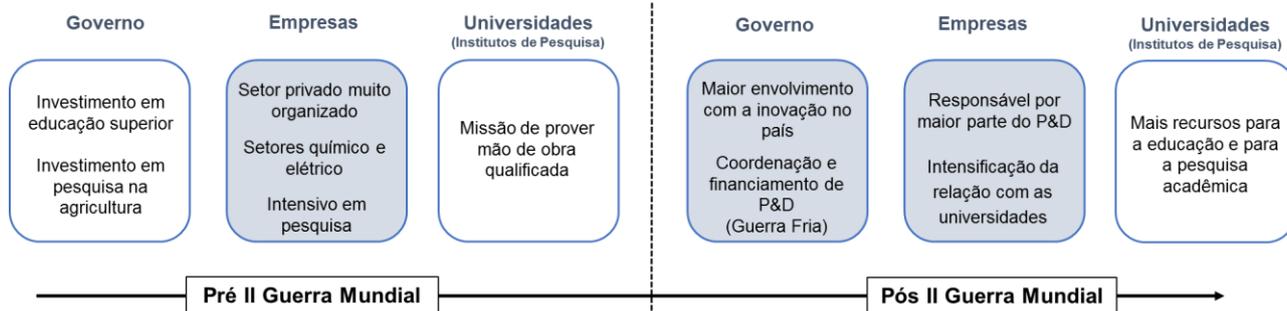
instituições de pesquisa básica fortes e melhorarem a educação voltada para ciência e tecnologia (ODAGIRI, GOTO, 1993). É deste período que emergem as instituições de pesquisas nacionais fundadas pelo setor privado, revelando o caráter cooperativo entre as instituições japonesas desde sua raiz. O interesse da indústria era expandir as possibilidades de ativos tecnológicos para que pudessem se tornar mais competitiva no mercado global.

Apesar da devastação do país após a Segunda Guerra Mundial, a economia cresceu consideravelmente devido aos esforços de acumulação de capital e progresso tecnológico nos períodos anteriores (ODAGIRI, GOTO, 1993). A política de substituição de importações continuou, desta vez combinada com políticas cambiais visando acelerar o processo, sob regência do Ministério do Comércio Internacional e Indústria (MITI) (OKAWA, KOHAMA, 1989). Na década de 1960, o Japão completou a estratégia de substituição de importações e se tornou um importante país exportador de tecnologia. Após as crises do petróleo, em 1973 e 1979, o governo passou a direcionar as pesquisas que levassem o país a uma maior independência energética. Assim, pesquisas voltadas para a criação novas fontes de energia bem como para a economia e eficiência de energia existentes foram incentivadas através dos projetos Sunshine e Moonlight em 1974 e 1978, respectivamente (ODAGIRI, GOTO, 1993).

O governo japonês é um agente importante do Sistema Nacional de Inovação do país, uma vez que ele é capaz de orientar o país através da definição de metas e estratégias claras. As empresas, universidades e instituições de pesquisa desempenham suas respectivas funções com grande persistência e sucesso, coordenadas pela instância superior do governo. No entanto, a alavancada do Japão desde um país fechado e atrasado até a posição de liderança tecnológica dos dias atuais, necessitou de mais do que fortes orientações governamentais. O ingrediente especial do sucesso japonês parece ser o ambiente único de cooperação e confiança que a sociedade está imersa. Esse ambiente é um elemento característico do Sistema Nacional de Inovação do Japão, que permite o progresso do país e de tecnologias para o mundo.

As características dos principais agentes dos Sistemas Nacionais de Inovação (governo, empresas e universidades) dos EUA e do Japão durante os períodos pré- e pós-Segunda Guerra Mundial estão ilustrados na Figura 3.

### Sistema Nacional de Inovação dos Estados Unidos



### Sistema Nacional de Inovação do Japão



Figura 3: Resumo dos Sistemas Nacionais de Inovação dos Estados Unidos e Japão, baseado em (Nelson, 1990)

### 3.3 O Sistema Nacional de Inovação do Brasil

A imaturidade do Sistema Nacional de Inovação brasileiro (ALBUQUERQUE, 1996) guarda profundas relações com a trajetória histórica do Brasil desde sua colonização. A inserção de traços das culturas europeias e da influência da cultura norte americana pouco contribuiu na busca por uma identidade brasileira própria para os mecanismos de inovação no país. O processo de industrialização brasileiro iniciou-se em 1940, seguindo o modelo de substituição de importações. Nesta época, as políticas de investimento em infraestrutura para modernização do país foram marcadas por uma forte participação do Estado, já previstas pelas diretrizes nacionalistas e intervencionistas da Constituição de 1937, instituída no Governo Vargas. A Constituição democrática de 1946 também apresentava diretrizes que favorecessem a industrialização do país, porém sem uma perspectiva nacionalista, utilizando-se do capital estrangeiro. A ideia de Dutra e dos opositores de Getúlio era construir um capitalismo autônomo. Contudo, as políticas liberais da época conduziam o país a uma dependência externa. A política cambial que deveria estimular o aumento de importações de máquinas e equipamentos para indústria, provocou o aumento do consumo de bens supérfluos e conseqüentemente um desequilíbrio no balanço de pagamentos (IANNI, 2009).

Posteriormente, o período governado por Juscelino Kubitschek foi marcado por uma significativa alteração no sistema econômico brasileiro com o Plano de Metas. O objetivo do plano era acelerar a industrialização do país dinamizando os setores privados estrangeiro e nacional. Incentivos atraíam multinacionais para o país (principalmente as automobilísticas), integrando a economia brasileira à estrutura econômica mundial - já que grande parte das decisões das empresas eram tomadas em suas matrizes no exterior. Assim, a medida em que o plano acelerava o crescimento das indústrias, diversificando sua estrutura e modificando a pauta de importações brasileira, aprofundava-se também as relações e estruturas de dependência externas e restringia-se as oportunidades para as inovações no país (IANNI, 2009).

Por parte das universidades, além do atraso de sua criação, por muitas décadas a pesquisa não conseguiu se consolidar como uma de suas missões. Mesmo com a industrialização na década de 1940 e uma ideologia desenvolvimentista, o baixo investimento público em laboratórios e o acanhado ensino superior não propiciaram um ambiente para a pesquisa no país. Somente após a Reforma Universitária de 1968 que, por lei, a missão de pesquisar foi introduzida nas universidades.

Este cenário parecia mudar ao longo da década de 1970 quando no governo de Médici e dos demais militares, as iniciativas para impulsionar o desenvolvimento do país ganhavam orientações nacionalistas visando tornar o Brasil uma “grande potência”. (IANNI, 2009).

É deste período, entre outras iniciativas, a construção da Usina de Itaipu, no Rio Paraná, até recentemente o maior complexo de energia hidroelétrica existente; o acordo nuclear Brasil-Alemanha, que deveria dar ao Brasil autossuficiência na geração de energia nuclear; o início do programa espacial brasileiro; e a política nacional de informática, que buscava tornar o Brasil também autossuficiente na produção de computadores de pequeno porte. (SCHWARTZMAN 1994, apud SCHWARTZMAN 2008)

Foram feitos grandes incentivos na pesquisa e criadas algumas indústrias nacionais de tecnologia de ponta. Pode-se destacar o desenvolvimento da ciência da computação e microeletrônica, que usando a engenharia reversa, possibilitou a criação de uma estatal do setor.

Em 1973, foi criada uma empresa *holding* estatal, de nome de Digibrás, baseada em capitais provenientes de empresas estatais, com o propósito de promover a indústria brasileira de computadores. Em 1975, ela deu lugar à firma Cobra S.A. Contando com tais instrumentos, estabeleceu-se uma política de reserva de mercado para a produção de microcomputadores para firmas brasileiras. No que diz respeito aos minicomputadores, a estratégia consistia em estimular a formação de

*joint ventures* sob o controle de firmas brasileiras, e na previsão de uma transferência completa de tecnologia. O mercado de grandes unidades [*main frames*] permaneceu aberto para a IBM e outras firmas multinacionais, mas todas as suas ações passaram a ser examinadas e acompanhadas. (SCHWARTZMAN, 1978, p. 13, cap. ix)

Com a crise financeira na década de 1980, os avanços feitos nas políticas de incentivo a pesquisa foram interrompidos devido aos cortes de investimentos em universidades e instituições de pesquisa. Mesmo em 1986, após os empréstimos do Banco Mundial para o Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico objetivando o fomento à pesquisa, o principal destino do recurso foi para manutenção dos cursos de pós-graduação (SCHWARTZMAN, 2008). Apesar dos impactos da crise, no ano de 1985 foi criado o Ministério da Ciência e Tecnologia (MTC) para fortalecer a pesquisa e vinculá-la ao setor produtivo.

A estabilização nos anos 1990 e sua tendência neoliberal não garantiram a retomada dos investimentos em pesquisa perdidos ao longo da década de 1980. A década de 1990 foi marcada pela privatização de diversas empresas estatais, inclusive daquelas que financiavam centros de pesquisa. A abertura comercial, também característica da época, surtiu efeitos ambíguos para as empresas nacionais de acordo com suas competitividades. A preocupação com o aumento da produtividade e competitividade da economia brasileira evidenciou a necessidade de se avançar tecnologicamente, refletindo-se sobre a questão da inovação no Brasil.

O governo de Fernando Henrique Cardoso percebeu corretamente a necessidade de se estabelecer regulações para a promoção da inovação. É de seu governo a Lei de Propriedade Industrial 9.279/96 e a criação dos Fundos Setoriais:

A partir de 1999, um dos principais instrumentos de financiamento da pesquisa brasileira passam a ser os Fundos Setoriais, vinculados a áreas específicas de atividade econômica como petróleo, energia, informática e outros, que deveriam, em princípio, favorecer o direcionamento da pesquisa para resultados práticos nos diferentes setores, além do apoio geral à infraestrutura dos centros de pesquisa do país. A estimativa é que, em 2005, o total de recursos do Fundo Nacional de Ciência e Tecnologia tenha finalmente recuperado o nível de 1979 (SCHWARTZMAN, 2008, p. 14)

A partir de 2003, as políticas de inovação ganharam uma forma diferente de incentivo através da Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (Pitce). Havia 5 objetivos principais:

i) fortalecer a inovação na empresa (e reconhecer, explicitamente, a empresa como o locus da inovação tecnológica); ii) aumentar as exportações de alta tecnologia e reforçar a concorrência por marca nos mercados internacionais, iii) difundir atualização e modernização industrial; iv) aumentar a escala de produção das empresas; e v) desenvolver alguns campos de pesquisa selecionados – produtos farmacêuticos, semicondutores, softwares, bens de capital (considerados como opções estratégicas) e nanotecnologia, biotecnologia e biomassa/energias renováveis (consideradas como áreas portadoras de futuro) (ARAUJO, 2012, p.12)

Em 2004 foi criada a Lei da Inovação. Segundo o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, a Lei reflete a necessidade do país em contar com dispositivos legais eficientes que contribuam para o delineamento de um cenário favorável ao desenvolvimento científico, tecnológico e ao incentivo a inovação. Outros amparos a inovação foram criados, sendo a Lei do Bem, que permite incentivos fiscais em empresas que investem em pesquisa e desenvolvimento, outro destaque.

Já no governo da presidente Dilma Rousseff, o plano Brasil Maior, parcialmente interrompido pela crise econômica mundial em 2009, também fomentou a inovação no país através de incentivos fiscais para fatores de produção, maior direcionamento de recursos ao BNDES e políticas de proteção a produtos nacionais (AGENCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2014).

O Sistema Nacional de Inovação brasileiro, semelhantemente aos sistemas de inovação mais maduros, apresenta seus principais agentes (universidades consolidadas, políticas públicas e regras para inovação, empresas em diversos setores). Entretanto, percebe-se que mais relevante que a existência das instituições, é a presença de fortes relações entre elas, que viabilizam uma atuação conjunta e coerente (ALBUQUERQUE *et al.*, 2005).

## Capítulo 4: O papel da Sustentabilidade

Em “Economia Verde para o Desenvolvimento Sustentável”, CGEE (2012) descrevem como se consolidaram o conceito e os principais temas relacionados a economia verde. As primeiras discussões foram iniciadas pelo Clube de Roma, através de uma dogmática conclusão publicada em “Os Limites do Crescimento” (1972) na qual se afirmava que, caso o crescimento econômico não cessasse haveria impactos negativos irreversíveis ao meio ambiente. A partir desse relatório, duas principais correntes se formaram: os zeristas (neomalthusianos) que defendiam o crescimento zero e os ecodesenvolvimentistas que defendiam um “crescimento econômico eficiente (sustentado) à longo prazo, acompanhado da melhoria das condições sociais (distribuindo renda) e respeitando o meio ambiente” (CGEE, 2012, p. 17). Dessas duas correntes, a dos ecodesenvolvimentistas tornou-se mais robusta apesar de divergências internas.

Nas décadas seguintes, as discussões sobre o tema ganharam força. CGEE (2012) relatam que 10 anos após a publicação do Clube de Roma, criou-se a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, e, em 1987, foi formulada a definição de desenvolvimento sustentável conhecida hoje: “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas necessidades” (World Commission on Environment and Development, 1987, p. 46). O conceito de sustentabilidade mudou significativamente, na medida que o tema ganhou proporções maiores atingindo governos e sociedades.

Em 1992 mais de 170 representantes de países se reuniram no Rio de Janeiro na segunda conferência sobre o meio ambiente, marcando o primeiro pacto entre os governos, sociedade civil e empresas em busca de um desenvolvimento mais homogêneo. Em um resumo sobre a Rio 92 publicado pelas Nações Unidas (1992) destaca-se que nesta conferência foram discutidas questões como o uso de recursos naturais não renováveis e emissões de carbono. Passados cinco anos, governantes de 84 países assinaram o Protocolo de Quioto, comprometendo-se em reduzir seus níveis de emissões de gases poluentes na atmosfera. Dentre as medidas previstas pelo protocolo, estão a implementação de políticas direcionadas ao melhoramento da eficiência energética e aumento da participação e pesquisa em fontes renováveis de energia (ONU, 1997).

Os compromissos dos governos em relação ao desenvolvimento sustentável também impactaram a construção de modelos econômicos. MOTTA (2012) afirma que a visão da sustentabilidade insere o meio ambiente como nova dimensão nesses modelos, antes considerado um fator de capital sem restrições de escassez. Ele ainda esclarece:

“A questão da sustentabilidade apenas introduz a necessidade de tratar-se o capital natural diferenciadamente do capital material. Uma diferenciação com semelhante corte teórico e metodológico, comparando-se ao daquela que introduziu a teoria do capital humano e tecnológico nesses mesmos modelos” (MOTTA, 2012, p. 69)

Em 2012, na Rio +20, novamente os representantes dos países e desta vez juntamente com a população discutiram temas relevantes ao desenvolvimento sustentável. Desta conferência originou-se outro documento alertando sobre às consequências do atual crescimento econômico e propondo uma reflexão para mudanças. Dentre os temas abordados na conferência e no documento, as questões energéticas tiveram um forte peso, compondo uma das sete principais questões a serem tratadas uma vez que a energia é essencial para superar quase todos os principais desafios da atualidade – tais como emprego, a segurança, as alterações climáticas e a produção alimentar.

A Figura 4 apresenta uma linha do tempo com os principais eventos de sustentabilidade que incluíram discussões importantes sobre o desenvolvimento sustentável de 1972 até 2015.

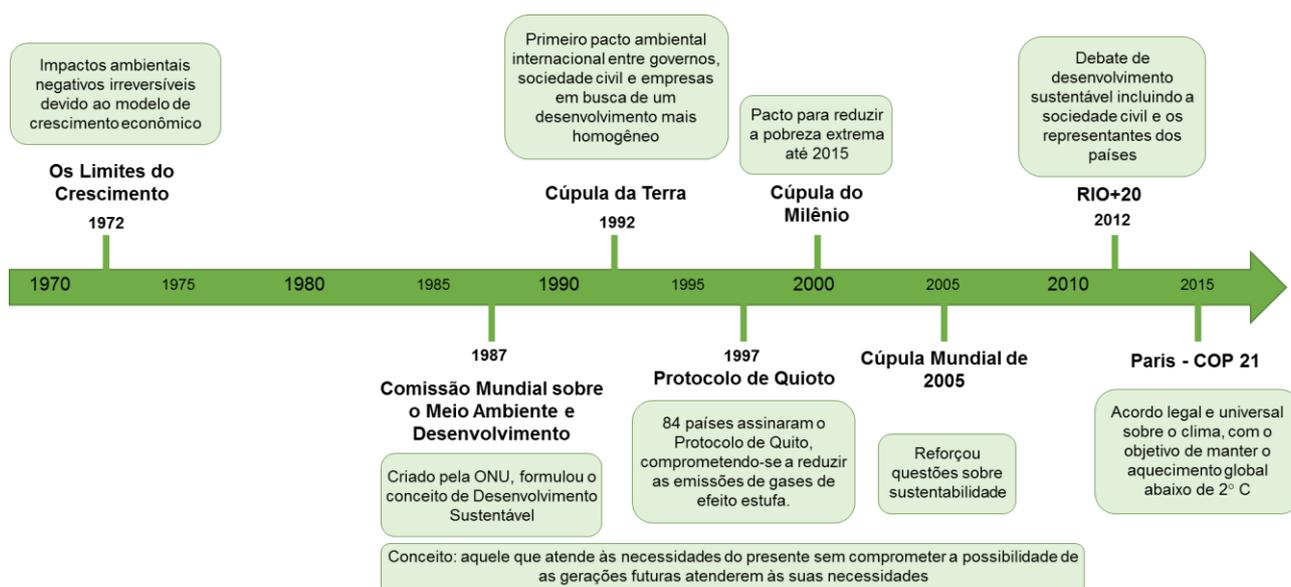


Figura 4: Cronologia de eventos relacionados a sustentabilidade. Elaboração própria.

A encruzilhada entre produção, energia e emissões de gases poluentes pressionam os governos e pesquisadores a dedicarem uma grande atenção às fontes renováveis de energia. Um agravante é que as tecnologias existentes hoje não são suficientes para substituir o uso de combustíveis fósseis. Jennings (2008) argumenta que a crise que o setor energético mundial enfrenta é na verdade uma consequência da falha do nosso sistema de ensino, que não foi capaz de nos dar uma compreensão básica de opções de fornecimento de energia e seu impacto na sociedade e no ambiente (JENNINGS, 2008).

No caso brasileiro, corroborando com a ideia de Jennings, o Plano Decenal de Energia (PDE) enfatiza que a falta de formação de mão de obra qualificada é um dos gargalos para o desenvolvimento do país e do setor energético. Além da mão de obra, a questão energética é por si só um gargalo econômico brasileiro. Segundo o PDE, “para atender de forma adequada ao crescimento da carga de energia, optou-se por indicar a expansão do parque gerador também com termelétricas entre os anos de 2019 e 2023, totalizando 7.500 MW” Plano Decenal de Energia (PDE). Mesmo com investimentos em combustíveis fósseis, a meta é manter as fontes renováveis de energia em maior peso, aumentando a sua participação e reduzindo entorno de 40% as emissões de gases de efeito estufa. Para reforçar o alinhamento do setor energético e o desenvolvimento sustentável, o plano deu origem ao Decreto 7.390/10 que se compromete com metas de energia resguardando as mudanças climáticas.

## Capítulo 5: Trajetórias Tecnológicas

Tanto o Japão como os EUA impulsionaram o desenvolvimento mundial das pilhas a combustível de óxido sólido através de notáveis contribuições em P&D e estratégias de comercialização. Essas contribuições foram de suma importância para a criação de um ambiente favorável a pesquisas no Brasil.

Esta seção é uma tentativa de justificar os caminhos tecnológicos distintos que as pilhas a combustível de óxido sólido- PaCOS- tomaram nos três países focos desta dissertação, em combinação com os seus respectivos Sistemas Nacionais de Inovação.

### 5.1 A trajetória tecnológica para as PaCOS nos Estados Unidos

O fato mais intrigante sobre o desenvolvimento de PaCOS nos EUA é o contexto no qual ele ocorreu. Não foram nem questões sustentáveis nem o conhecimento técnico acumulado que justificaram o comprometimento dos EUA com as pilhas naquela época, mas sim a corrida espacial da NASA e a atmosfera da guerra fria. Parte do entusiasmo em relação a tecnologia se deu após o sucesso da primeira pilha a combustível alcalina funcional de F. Bacon, divulgado na década de 1950 (WARSHAY, PROKOPIUS, 1989). Desde então os americanos deslumbraram aplicações que reforçassem a hegemonia do país influenciadas pelo contexto único da guerra fria.

O governo americano se tornou o principal agente influenciador da trajetória do desenvolvimento de pilhas a combustível através do financiamento e coordenação de projetos da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) na década de 1960 (WARSHAY, PROKOPIUS, 1989; VASUDEVA, 2009). A importância dos programas da NASA vai além das fronteiras americanas. A agência alega que foi somente depois dela anunciar o uso de pilhas a combustível para voos espaciais que as tecnologias de hidrogênio se tornaram populares. Em 1961, o presidente americano Kennedy estabeleceu uma das metas mais ambiciosas estipuladas durante a guerra fria, a expedição do homem à lua. Esta meta veio em resposta a disparada Soviética na corrida espacial quatro anos antes, ao colocar o primeiro satélite Sputnik em órbita. A realização da expedição lunar não apenas elevaria o nível tecnológico dos EUA para que cumprir tal missão, como também permitiria ao país ultrapassar os russos na corrida e triunfar na sua hegemonia.

As pilhas a combustível foram as tecnologias mais promissoras para fornecer a energia para as espaçonaves enfrentarem este novo desafio, apresentando propriedades convenientes como eficiência, peso, confiabilidade e suprimento de água potável (WARSHAY, PROKOPIUS, 1989). O projeto Gemini (1962-1965), ou "*Bridge to the Moon*", englobou indústria, universidade e laboratórios do governo, que em conjunto viabilizaram a expansão do projeto para uma espaçonave com dois homens (GILRUTH, 2009). A empresa General Electric foi escolhida para desenvolver uma pilha a combustível de membrana polimérica. Entretanto, foi a pilha alcalina de Francis Bacon que completou a missão espacial uma vez que as poliméricas apresentavam impedimentos técnicos devido a sensibilidade à água autogerada (WARSHAY, PROKOPIUS, 1989). O resultado de três anos de pesquisa para missões espaciais fez com que o desenvolvimento dessa tecnologia permanecesse na Terra, sendo que os esforços da época marcaram a trajetória americana e mundial das tecnologias do hidrogênio, combustível usado nas pilhas a combustível.

Uma das heranças dos projetos de tecnologias de hidrogênio é a empresa Bloom Energy, fundada em 2001 com o nome de ION American Corp por alguns dos engenheiros da NASA envolvidos no desenvolvimento de pilhas de combustível. A missão da empresa é fornecer energia com menor emissão de gases poluentes utilizando as PaCOS. Em 2008, a Bloom Energy entregou seu primeiro sistema de pilhas a combustível pronto para uso para o Google (BLOOM ENERGY, 2015). Seis anos depois, outro servidor foi instalado no Departamento de Defesa no campus NSA (BLOOM ENERGY, 2014). A Bloom Energy fornece servidores para aplicações comerciais de outras grandes empresas, incluindo Wal-Mart, AT & T, Bank of America, Coca-Cola, eBay e FedEx (BLOOM ENERGY, 2010).

O governo americano integrou outros departamentos além da NASA no desenvolvimento das PaCOS. O US Army é um deles que investe em empresas visando o desenvolvimento das pilhas para aplicações em veículos militares, e que ganhou uma motivação adicional após o departamento se comprometer em reduzir de 20% de suas emissões de CO<sub>2</sub> (DELPHI, 2010). A abordagem do departamento é promover editais específicos para aplicação militar e, por meio de competições, selecionar empresas para receberem o financiamento. Diversas empresas já foram contempladas com recurso do US Army, tais como as Acumentrics, Adoptive Materials, Delphi Technologies, Bloom Energy e NexTech, (BLOOM ENERGY, 2014; NEXTTECH, 2014, ACUMENTRICS, 2003; PROTONEX, 2010; BARRET, DELPHI, 2010). Incentivar a competição através de prêmios é uma característica

dos projetos do US Army. Em geral, os prêmios são instrumentos eficientes para promover o desenvolvimento tecnológico quando o objetivo é específico, preferencialmente em pequena escala e com investimentos moderados. Isto é consistente com o que os projetos do US Army visam, mas este instrumento é limitado à pesquisa de curto prazo (OLMOS *et al.*, 2012).

O Departamento de Energia americano é o principal meio com que o governo elabora políticas para fornecer fundos para esta tecnologia. Em 1999, o departamento criou a “*Solid State Energy Conversion Alliance*” (SECA) com principal objetivo de reduzir o custo dos sistemas de pilhas a combustível de óxido sólido através de avanços técnicos, para que assim fossem atingidos estágios de comercialização de tais sistemas. Vale a pena observar que o programa apresentou os combustíveis fósseis como a principal fonte desses sistemas. O programa, como afirma o relatório (US DEPARTMENT OF ENERGY, 2001), procura resolver o problema do ovo e da galinha, ou seja, a demanda pelas pilhas requer um preço mais baixo, mas, para que os preços possam ser praticados, a escala tem de ser suficientemente elevada para viabilizar a produção. De 2002 a 2011, o foco do programa foi reduzir o custo das pilhas pela metade (de 800 a 400 dólares por kWh) e a diminuição da sua degradação. Os participantes dedicaram os anos de 2011 a 2015 para a prova de conceito e a perspectiva para os próximos anos é a implantação de sistemas integrados de demonstração (US DEPARTMENT OF ENERGY, 2001).

## 5.2 A trajetória tecnológica no Japão

O Japão lidera as pesquisas em pilhas a combustível nos últimos trinta anos devido ao sucesso de sua estratégia econômica para o desenvolvimento da tecnologia aliado a forte motivação pela busca de independência energética (HASLAM *et al.*, 2012).

Em 1980, o governo japonês criou o mais importante instrumento institucional para o desenvolvimento das PaCOS: O “*New Energy Development Organisation*” (NEDO), uma organização governamental com o objetivo de mitigar problemas ambientais e energéticos, aprimorando a tecnologia industrial. Esta organização trabalha no âmbito do Ministério da Economia, Comércio e Indústria (METI) responsável pela coordenação de políticas públicas e financiamento de projetos tecnológicos. A combinação de expressivos orçamentos - mais de U\$ 1,5 bilhão anuais - e uma gestão consciente, colocou o Japão à frente no desenvolvimento de pilhas a combustível (NEDO, 2015).

O NEDO reflete a preocupação do Japão com a sustentabilidade nas últimas décadas. Já em 1974, dois anos após a primeira discussão global sobre questões de sustentabilidade, o governo lançou o "Projeto Sunshine", com o objetivo de desenvolver novas tecnologias energéticas (NEDO, 2015). Duas décadas depois, o Japão foi palco de um dos pactos de sustentabilidade mais memoráveis: O Protocolo de Quioto. Essas iniciativas frente as questões de sustentabilidade foram fundamentais para o envolvimento empresarial japonês no desenvolvimento das pilhas a combustível, uma vez que elas sinalizaram a orientação do governo, tornando o investimento em tecnologias em estágios primários de desenvolvimento factíveis.

A expressiva coordenação do governo por intermédio do NEDO começou em 2001. No entanto, a acumulação de conhecimento que fundamentou o desenvolvimento de pilhas a combustível no Japão foi construída antes, com investimentos significativos em pesquisa básica. Todo esse conhecimento se prosperou no desenvolvimento de um sistema de cogeração em pequena escala em 2004. Após a validação da tecnologia, os quatro anos seguintes foram marcados por um período de demonstração em larga escala, testando os protótipos anteriores e prospectando mercados. Em 2009, o programa de demonstrações em larga escala foi concluído, resultando na criação da marca ENE-Farm (HASHIMOTO, 2015; DODDS *et al.*, 2015).

Algumas observações sobre este período são necessárias para entender as particularidades da estrutura empresarial formada. Em primeiro lugar, o projeto iniciou abrangendo duas tecnologias de pilhas a combustível: a de óxido sólido e a de membrana polimérica. Porém, o rápido avanço técnico das de membrana polimérica fez com que, à medida que os anos se passaram, uma maior porcentagem do orçamento fosse alocada a este tipo de pilha (NEDO, 2011). Como sua principal aplicação é em veículos, o programa da NEDO conta com a participação de diversas empresas automotivas japonesas.

Apesar da aplicação principal ser para veículos, as empresas que constituem o grupo ENE-Farm não são apenas desse setor específico. A marca é composta por outras empresas envolvidas no desenvolvimento das próprias pilhas a combustível e responsáveis pela produção do sistema celular, como a Panasonic, Toshiba, Toyota, Ballard Power Systems e Jx Nippon Oil & Energy com a ENEOS (TOKYO GAS, 2007). Em 2012, a marca ENE-Farm tipo S apresentou ao mundo o resultado de décadas de P&D em pilhas a combustível

de óxido sólido em seu dispositivo para aplicações residenciais - novamente financiado pelo METI sobre o NEDO (OSAKA GAS, 2007).

As políticas voltadas para sustentabilidade promovidas pelo governo japonês foram eficientes para sinalizar seu apoio às pesquisas em empresas na área de pilhas a combustível. A cada acordo de redução de CO<sub>2</sub> assinado, o Japão confirma ser uma nação voltada de ciência e tecnologia viabilizando uma dedicação confiável de longo prazo as essas tecnologias. Assim, o Japão segue na vanguarda, criando padrões para uma nova sociedade baseada no hidrogênio e se comprometendo com a expansão de recursos energéticos sustentáveis em sua matriz energética. As iniciativas do governo foram determinantes para a trajetória tecnológica das pilhas no Japão, contudo o segredo do sucesso japonês está na interação de suas empresas, imersas em um ambiente de elevada confiança e cooperação.

### 5.3 A trajetória tecnológica no Brasil e em Minas Gerais

O Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), desde 1995, promovia ações voltadas para o estímulo da produção de Pilhas a Combustíveis no Brasil. Fomentando pesquisas de universidades do estado de São Paulo e outras instituições como a CEMIG, o MCT arquitetava um ambiente que propiciasse uma inclusão do hidrogênio na matriz energética brasileira (RAFFI *et al*, 2013) A partir da criação dos Fundos Setoriais em 2001, os objetivos do Ministério se tornavam mais ambiciosos na medida que um maior escoamento de recursos foi destinado ao setor de energia no Brasil. Com isso, intensificou-se as parcerias privadas, internacionais e também com o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior viabilizando um projeto voltado para a reforma de etanol para produção de hidrogênio (MCT, 2002).

Além da efetivação dos Fundos Setoriais, ano de 2001, foi marcado também por uma drástica crise energética denominada a “crise do apagão”, propulsada especialmente pela falta de planejamento do setor energético brasileiro, pela dependência da hidroeletricidade, pelo baixo investimento em transmissão de energia e pelos baixos índices de chuvas. Os prejuízos dos cortes de energia elétrica neste mesmo ano contabilizados pelo Tribunal de Contas da União chegaram a R\$ 45,2 bilhões, sendo R\$ 27,12 bilhões repassados aos contribuintes em forma de reajuste nas contas de energia e R\$ 18,8 bilhões pagos pelo

Tesouro Nacional (PEDROZO, 2009) e evidenciaram a necessidade de maiores investimentos em fontes de energia alternativas no país.

Os primeiros indícios de uma mudança da conduta por parte do governo brasileiro perante a situação despontaram-se no ano posterior, em 2002. Com uma reação rápida e pioneira, o Ministério de Ciência e Tecnologia acentuou seus esforços para identificar competências tecnológicas nos estados de Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro e São Paulo que pudessem desenvolver Pilhas a Combustível. A principal conclusão deste mapeamento foi de que não havia no país a possibilidade de, isoladamente, alguma instituição desenvolver a tecnologia (MCT, 2002). Em contraste ao diagnóstico desanimador, o MCT enfatizou a necessidade de estimular o desenvolvimento de um protótipo nacional através da coordenação e da colaboração entre os distintos grupos de pesquisa permitindo um maior aproveitamento dos recursos já instalados, intensificando a formação de recursos humanos, incentivando a participação de empresas brasileiras e consolidando um novo conceito de desenvolvimento. Com isso, em 2002 foi criado o primeiro programa do MCT para o hidrogênio, o ProCaC –Programa Brasileiro de Células (pilhas) a Combustível (hoje ProH2), com objetivo de “promover ações integradas e cooperadas, que viabilizem o desenvolvimento nacional da tecnologia de sistemas [de pilhas a combustível], para habilitar o país a se tornar um produtor internacionalmente competitivo nesta área”. (MCT, 2002). Os mecanismos de gestão do programa incluíram a criação de redes de pesquisa e desenvolvimento focadas em elaboração dos sistemas de pilhas a combustível de óxido sólido e eletrólito polimérico; reforma de combustíveis e produção de hidrogênio; integração de sistemas; e utilização da tecnologia. O propósito do Ministério de Ciência e Tecnologia com a criação das redes foi de permitir melhor diálogo e entendimento entre os participantes, para que em seguida as informações pudessem ser centralizadas (CGEE, 2002). Em 2004 foi criada a Rede Cooperativa de Pilhas a Combustível de Óxido Sólido - Rede PaCOS, estabelecendo uma parceria entre dez grupos de pesquisa de universidades brasileiras. Em 2006, a Rede Pacos contava com cerca de 40 pesquisadores e teve um projeto aprovado na FINEP da ordem de 4,5 milhões de reais. Os pesquisadores estavam lotados na UFRN, UFBA, UFMG, UFRJ, UENF, UNESP, UFSCar, IPEN, UFSC. A Rede permanece atuando em favor da economia do hidrogênio. Em 2018 ocorrerá, com o apoio da Rede e de outras Instituições, o 22º evento mundial sobre economia do hidrogênio no Rio de Janeiro.

No que diz respeito ao cenário internacional, em 2003, por incentivo do Departamento de Energia dos Estados Unidos, o Brasil e outros 15 países passaram a fazer parte da Parceria Internacional para a Economia do Hidrogênio, com os propósitos de organizar e implementar o P&D internacional, promover atividades de utilização, comercial e demonstração, relacionadas as tecnologias de hidrogênio e elaborar políticas avançadas para normas e padronizações. As principais motivações para foram as possibilidades de redução das emissões de gases de efeito estufa e a segurança energética (CGEE, 2010).

Apesar do ambiente favorável ao desenvolvimento da tecnologia, muitos desafios limitaram parcialmente o sucesso do programa. Em especial, a dificuldade da gestão dos recursos destinados a Rede - seja pela burocracia da movimentação do capital provindo do CT-Energ, ou pelo modelo imposto para as compras de fatores de produção e obras de infraestrutura, muitas vezes em forma de leilões - que não conseguia acompanhar a urgência dos projetos das universidades e a rotatividade dos alunos que compunham as equipes de execução. Outras complicações foram a descontinuidade dos esforços políticos para a manutenção das metas estipuladas, as dificuldades de interação entre universidades e empresas.

### 5.3.1 A experiência mineira em detalhes

O caso específico da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), com seu grupo de pesquisadores de Pilhas a Combustível de Óxido Sólido, também participante da Rede mencionada, merece um estudo mais aprofundado. Quando o Programa Brasileiro de Sistemas de Células a Combustível foi iniciado, o departamento de química da UFMG contava com pesquisadores na área de química de materiais familiarizados com a tecnologia e técnicas próprias utilizadas na fabricação das mesmas. Através da participação no programa, a empresa de energia mineira CEMIG pode conhecer o trabalho desenvolvido pelos químicos. Por já ter participado de iniciativas anteriores com pesquisadores da UNIFEI particularmente no projeto intitulado “ Avaliação Experimental de Sistemas de Ciclo Combinado com Células a Combustível, Microturbinas a Gás e Motores Stirling para Geração de Eletricidade (P&D001) ” (CEMIG, 2009) que marcou o início do programa de Pesquisa & Desenvolvimento Cemig-Aneel, a empresa demonstrou um grande interesse em promover parcerias com o grupo local. O grupo de pesquisadores da UFMG participou do edital Cemig & ANEEL e teve a aprovação do primeiro projeto intitulado

“Desenvolvimento de um protótipo de pilha a combustível de óxido sólido de 50 W” (CEMIG, 2009). Nesse projeto, que ocorreu entre 2004-2009, a CEMIG, em parceria com a UFMG, construiu o Laboratório de Materiais e Pilhas a Combustível no campus universitário, um prédio de aproximadamente 150 m<sup>2</sup> e o equipou com os mais modernos equipamentos para que o grupo pudesse desenvolver suas pesquisas. O sucesso dessa interação foi concretizado em julho de 2008, com o primeiro protótipo brasileiro de pilha a combustível de óxido sólido. O segundo projeto permitiu ainda mais avanços na área, mais formação de recursos humanos e uma maior divulgação da tecnologia.

Mais recentemente, o grupo LaMPaC participou do Edital Fapemig/Embraer e foi contemplado com verbas para o projeto “Desenvolvimento e análise de eficiência de arquiteturas para APU com pilha a combustível de óxido sólido multifuncional em aeronaves regionais”.

Algumas observações devem ser ressaltadas no caso mineiro permitindo uma maior compreensão sobre a articulação e execução do projeto.

Primeiramente, um elemento fundamental que possibilitou a criação do protótipo e se diferenciou dos demais pesquisadores da Rede foi o volume de recursos investidos em infraestrutura pela empresa parceira, externa a Rede, disposta a arcar com os custos necessários ao desenvolvimento tecnológico. Recursos fragmentados ao longo do tempo e de baixo valor, dificilmente surtem efeito na concretização completa de pesquisas envolvendo pilhas a combustível.

O volume de recursos em um projeto de ruptura foi incentivado pela Lei No 9.991, de 24 de julho de 2000, na qual obriga, legalmente as empresas do setor elétrico aplicarem investirem em pesquisa e desenvolvimento.

Por fim, o empenho e persistência do grupo de pesquisa em conseguir captar o investimento foi também diferenciado. A rigidez do sistema universitário brasileiro desafiou a efetivação do projeto. Somente para a aprovação do projeto foram gastos 2 anos, além da sua elaboração e do tempo para a construção da infraestrutura utilizada. Novamente, tal desafio só foi contornado pela convicção dos pesquisadores na tecnologia que motivavam a insistência na manutenção do projeto.

## Capítulo 6: considerações sobre a metodologia deste trabalho

A presente dissertação utilizou, além da abordagem dos sistemas nacionais de inovação, uma base de dados de patentes como um instrumento para compreender a trajetória tecnológica das PaCOS nos Estados Unidos, Japão e Brasil. A análise de patentes é capaz de revelar informações como os principais países e empresas detentoras dos direitos de patente, anos-chave do desenvolvimento da tecnologia, o estado legal das invenções além de aspectos técnicos detalhados. Os dados das patentes foram obtidos através da plataforma pública e *online* do European Patent Office, o Espacenet, utilizando a equação de busca abaixo:

- Resumo: "Solid Oxide Fuel Cell" ou "SOFC"
- Classificação Internacional de Patentes (IPC): H01M8 (Pilhas de Combustível, Fabricação) ou H01M4 (Eletrodos)

A pesquisa foi repetida 20 vezes usando o filtro ano a ano no período entre 1995 a 2015, já que as patentes são válidas por 20 anos. Vale ressaltar que foi utilizada a data de publicação (geralmente 18 meses após a data de depósito da patente) devido às facilidades que o *website* oferece. Foram obtidas 5250 patentes e essas, organizadas de acordo com o ano de publicação.

Para dimensionar a participação na quantidade de patentes dos Estados Unidos, Japão e Brasil, os dados foram novamente filtrados adicionando os códigos de cada país (US, JP e BR) no campo "*Publication Number*". Foram computadas 1975 patentes para o Japão, 1325 para os EUA e 261 para o Brasil. Esta primeira base de dados contendo o número total de patentes publicadas em cada um dos países é denominada, na presente dissertação, "dados totais país".

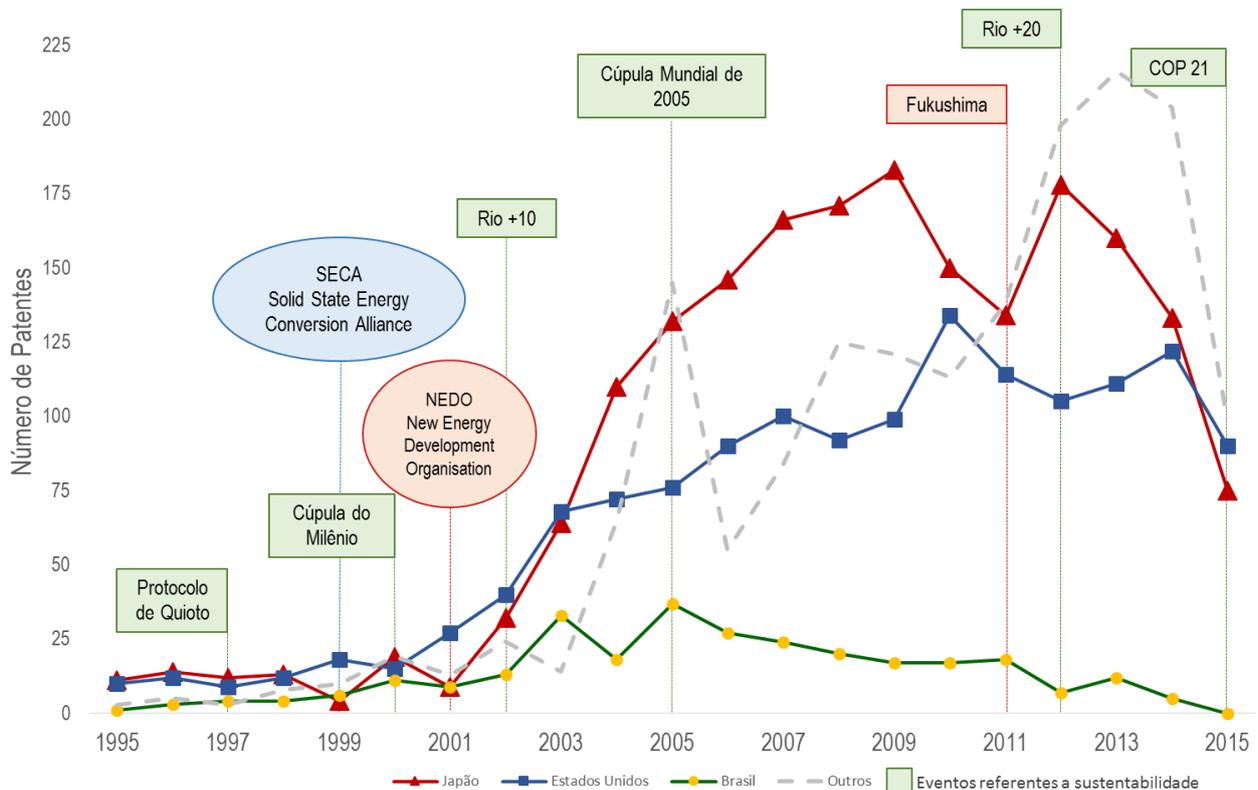
Do total de 5250 patentes, foi extraída uma amostra contendo 942 patentes para uma análise mais profunda, consistindo de informações técnicas do resumo, reivindicações e desenhos; atualizações legais referentes ao documento; famílias de patentes e datas de prioridade propriedade. A amostra (denominada "amostra extraída") foi composta selecionando 50 patentes de cada ano utilizando a mesma operação de pesquisa original - nos anos de 1995 a 1999 foram analisadas todas as patentes, uma vez que o número de

patentes era menor que 50. A escolha das patentes foi feita através de um método aleatório a fim de obter uma melhor amostragem. Algumas informações dos documentos de patentes não foram encontradas no Espacenet, nestes casos foram consultados o *website* do escritório de patentes do país de origem do documento. Para o caso específico do Brasil, todas as 261 patentes foram analisadas em particular.

Através das patentes foi percebido as interações entre empresas, governos, países, relações cronológicas em relação ao desenvolvimento das células. Sendo assim foi utilizado referências que explicassem tais observações, complementando as informações necessárias para compreender o processo por trás da trajetória da pilha.

## Capítulo 7: Resultados

Nesta seção, são discutidas as principais diferenças e semelhanças encontradas nas bases de dados de patentes que revelam as características dos sistemas nacionais de inovação e as trajetórias tecnológicas apresentadas. Dentre as 5250 patentes buscadas contendo a operação de pesquisa descrita na seção de método acima, 38%, 25% e 0,05% foram depositadas nos escritórios de patentes japonês (JPO) e americano (USPTO), e brasileiro (INPI) respectivamente. A Figura 5 apresenta os dados da distribuição de patentes do Japão, dos EUA, Brasil e do resto do mundo em paralelo com as conferências de sustentabilidade e as cúpulas e políticas públicas para o desenvolvimento de pilhas.



**Figura 5: Distribuição das Patentes por ano, políticas de pilhas a combustível de óxido sólido e eventos referentes a sustentabilidade. Elaboração própria**

A Figura mostra três estágios diferentes das patentes publicadas: 1995-2001, 2002-2009 e 2010 até hoje. Na primeira fase, quando o número de patentes foi inferior a 50 por ano, foram realizadas duas importantes conferências e eventos internacionais de

sustentabilidade - o Protocolo de Quioto em 1997 e a Cúpula do Milênio em 2000. Nesse período, os Estados Unidos fundaram o *Solid State Energy Conversion Alliance* em 1999 e, dois anos depois, o Japão, através da coordenação do *New Energy Development Organization* (NEDO), iniciou um projeto para desenvolver os sistemas PaCOS. Na segunda etapa, logo após os EUA e o Japão implementarem suas políticas públicas, houve uma tendência de crescimento das patentes na área. O gráfico também mostra que, no ano de 2003, o Japão passou os EUA no número de patentes publicadas. Na terceira etapa, a partir de 2010, a publicação de novas patentes diminuiu.

Em geral, o número de patentes cresceu junto com a preocupação ambiental. As conferências sobre sustentabilidade e as cúpulas pareciam criar expectativas em torno de fontes de energia alternativas, como as PaCOS, observadas no aumento do número de patentes no ano anterior à sua realização. A Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável e a Rio + 20 foram as que mais impactaram neste crescimento. Em ambos os eventos, a energia foi um dos temas recorrentes, sinalizando aos pesquisadores um compromisso dos governos para desenvolver fontes de energia alternativas como os sistemas PaCOS. Outro comentário é sobre o episódio de reator nuclear em Fukushima em 2011. Após o acidente, questões relativas à segurança das fontes de energia nuclear tornaram-se ainda mais urgentes, ressaltando a importância de se viabilizarem outras soluções de energia renováveis.

O crescimento das patentes reflete as políticas públicas dos EUA e do Japão, inclusive no Brasil. Três anos após a fundação da SECA, as patentes americanas relacionadas à tecnologia PaCOS mais do que dobraram. Da mesma forma, no Japão, após o NEDO, o número de patentes mais do que triplicou em apenas um ano. A resposta japonesa ao programa norte-americano foi mais eficaz na produção de tecnologias patenteáveis e, após dois anos de apoio governamental, o Japão já registrava mais patentes do que os EUA. O programa NEDO também foi mais eficaz no desenvolvimento de tecnologia de longo prazo. O mesmo é válido para o Brasil. A medida que as patentes foram sendo depositadas, muitas empresas estrangeiras apostaram no país como um mercado promissor, alavancando o número de patentes. Após 2009, o número de patentes de ambos os países começou a diminuir significativamente. Quatro hipóteses podem justificar este fato.

A primeira é no que diz respeito a maturidade da tecnologia de PaCOS. Como já foi observado com o caso dos polímeros no final da década de 1960, a melhoria da capacidade tecnológica não está necessariamente relacionada com a entrada de novos produtos no mercado. Adicionando valor aos polímeros já existentes, muitas empresas, concomitantemente, atingiram uma alta escala de produção de produtos de alta tecnologia, resultando em um excesso de oferta. Tal resultado caracterizou a maturidade do mercado de polímeros (Mauskopf, 1993). Uma tendência semelhante poderia ocorrer com as tecnologias PaCOS, já que, embora as empresas tenham capacidades tecnológicas a demanda de dispositivos PaCOS não é suficiente para aquecer o mercado, retardando a corrida por propriedades intelectuais como as patentes.

A segunda hipótese é devida à queda do preço do petróleo no mercado provocado pelo aumento das reservas. Isto, em partes, reduziu as preocupações sobre os desafios do futuro abastecimento de petróleo, que, por sua vez, fundamentavam alguns argumentos a favor de alternativas de energia renovável como PaCOS.

A terceira hipótese se refere ao impacto da crise global, que prejudicou diretamente os orçamentos das empresas e governamentais em P&D.

A última hipótese é de que o compromisso com as questões de sustentabilidade não foi suficiente para consolidar um mercado de energia alternativa voltados para o hidrogênio. As duas últimas hipóteses evidenciam a elevada dependência das tecnologias com políticas públicas de baixas emissões de carbono, incentivos governamentais e compromissos com a sustentabilidade (ALBINO *et al.*, 2014).

Vale ressaltar que além do Japão e dos EUA, a China e a Coreia do Sul são os principais detentores dos pedidos de patentes. Os dois países registraram um forte aumento na publicação de patentes nos anos de 2011 e 2012, quando os dois principais líderes tecnológicos (EUA e Japão) já atingiam a maturidade de mercado.

Conforme descrito na seção de método, selecionamos aleatoriamente uma amostra de quase 20% do total de patentes para aprofundar a análise das patentes americanas e japonesas. A partir desta amostra extraída, foi mapeado o país de origem original de cada patente, ou seja, foi identificado o país correspondente a partir do número de prioridade de patente. Os resultados são apresentados na Figura 6.

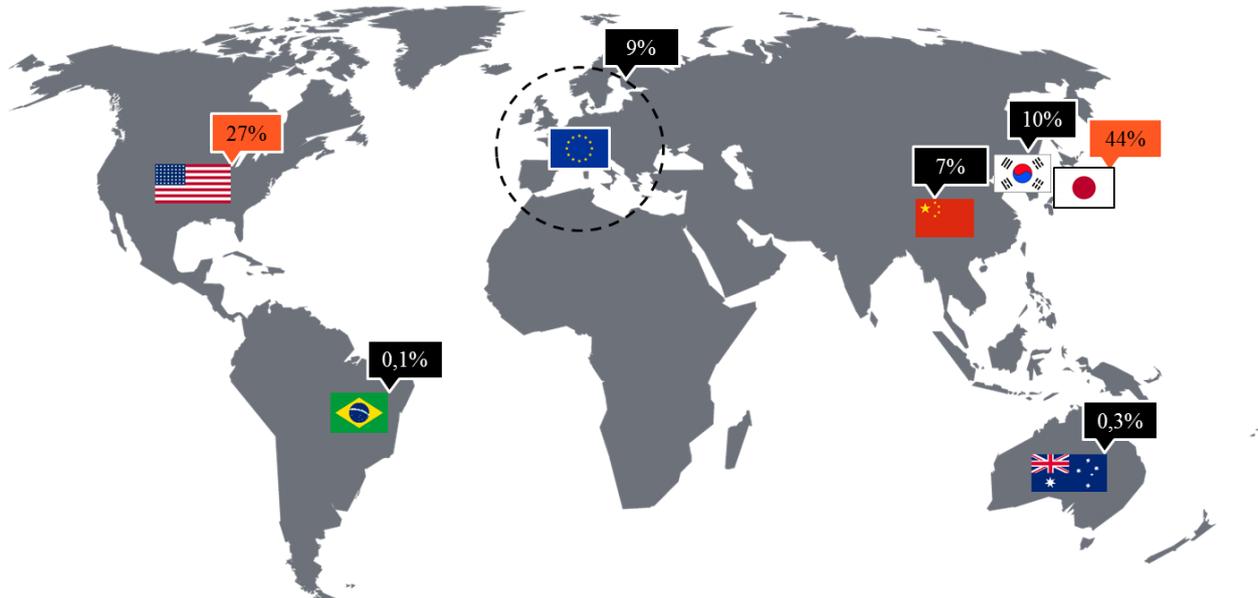


Figura 6: Distribuição das patentes selecionadas por país de origem. Elaboração própria

Conforme observado na Figura 6, as patentes de pilhas a combustível de óxido sólido estão distribuídas principalmente entre os países do hemisfério norte, concentradas no Japão e EUA. Juntas a China e a Coreia do Sul, em apenas 5 anos, já apresentam quase o dobro das patentes que toda a Europa. Dois países do hemisfério sul também contribuíram, embora com apenas algumas patentes - Brasil e Austrália.

Nota-se que existe uma diferença expressiva entre os dados apresentados na Figura 5 e na Figura 6. A Figura 5 refere-se ao número de patentes num país independentemente da sua origem. Em outras palavras, se uma empresa japonesa decidiu proteger sua tecnologia no mercado americano e japonês, esta única tecnologia seria contada duas vezes, pois tem uma família com duas patentes (EUA e Japão). A Figura 6 inclui apenas o país do primeiro pedido de patente. Isto significa que para o exemplo acima, a Figura 6 apresenta apenas a patente japonesa. A partir das patentes selecionadas, foram identificados os 30 principais detentores de patentes PaCOS em todo o mundo, como mostrado na Figura 7.

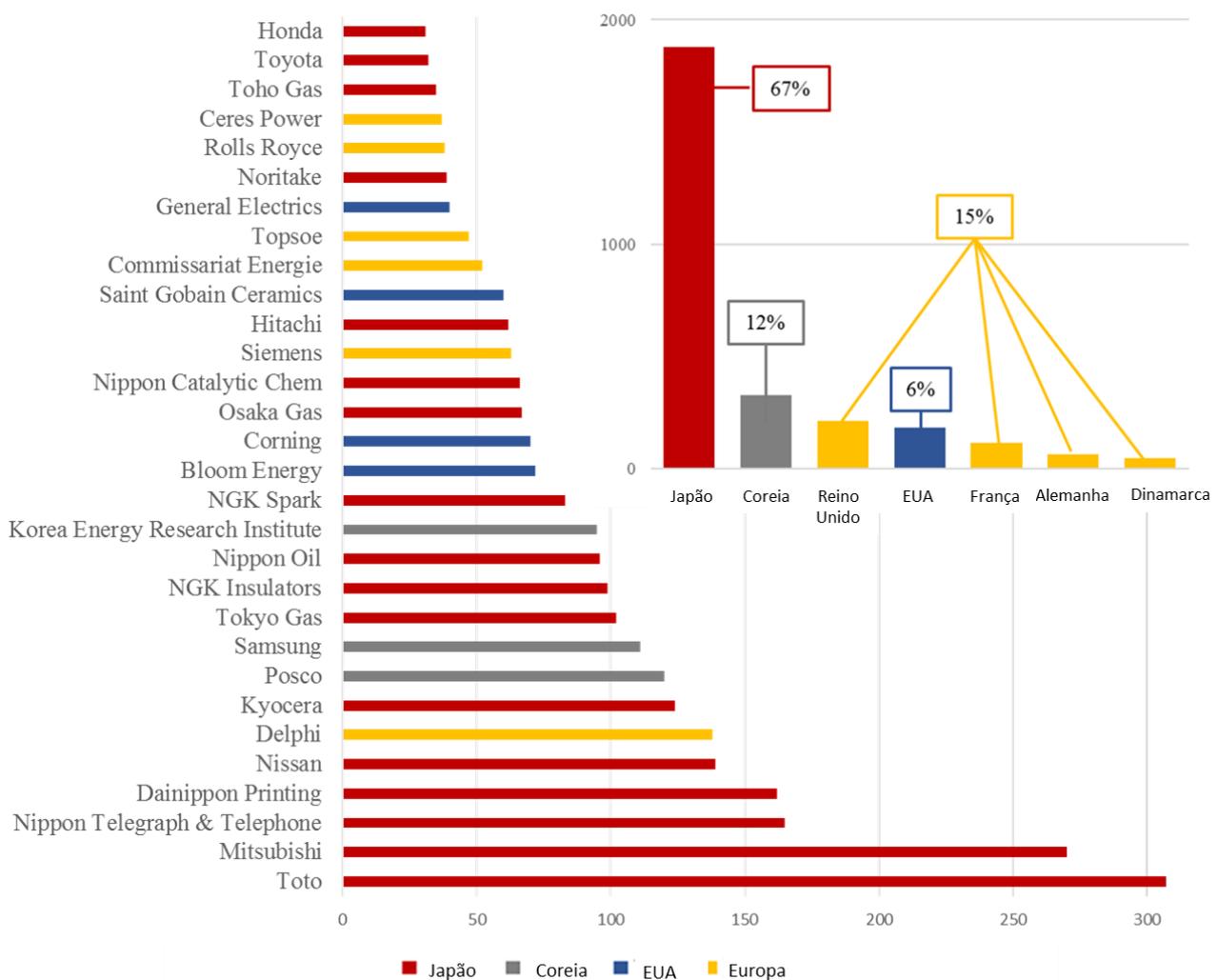


Figura 7: Depositantes de patentes. Elaboração própria

Os depositantes japoneses correspondem a 17 dos 30 principais detendo 67% das patentes neste ranking. As empresas japonesas listadas são majoritariamente de grande porte e bem estabelecidas. Algumas delas, tais como a TOTO, Nippon Telegraph & Telephone e Dainippon Printing, não apresentam seu negócio principal em áreas relacionadas a dispositivos intensivos em tecnologia com aplicação em soluções energéticas.

Contrariamente ao Japão, apenas quatro empresas dos EUA aparecem no gráfico e detendo apenas 6% das invenções. Isto indica que nos Estados Unidos essa tecnologia não se apresenta concentrada em grandes empresas. A maioria dos requerentes foram participantes dos programas promovidos pelos governos americano e/ou japonês, demonstrando a eficácia de tais iniciativas. Vale ressaltar que os três maiores depositantes

da Coreia do Sul no desenvolvimento PaCOS detêm 12% das patentes neste ranking, valor superior ao dos principais países europeus.

Dois diagramas foram elaborados para explicar os principais programas norte-americano e japonês. No caso da SECA, coordenado pelo Departamento de Energia dos EUA, o programa selecionou dois tipos diferentes de participantes para receber investimentos e compartilhar a propriedade intelectual. O primeiro tipo é formado pelos *Times Industriais*, compostos por empresas selecionadas devido a suas vantagens tecnológicas, sendo esses times responsáveis por desenvolver, projetar e fabricar a pilha. O segundo tipo forma o *Programa de Tecnologia*, composto por universidades, institutos de pesquisa e laboratórios governamentais responsáveis por fornecer o conhecimento tecnológico aos Times Industriais (Williams *et al.*, 2005). A Figura 8 esquematiza como o Departamento de Energia dos EUA projetou o programa e como ele funcionou. As empresas selecionadas para as Equipes Industriais foram Cummins Engine, Delphi Technologies, General Electric, Siemens, Acumentrics e Fuel Cell Energy (em parceria com a Versa Power) (Williams *et al.*, 2005).

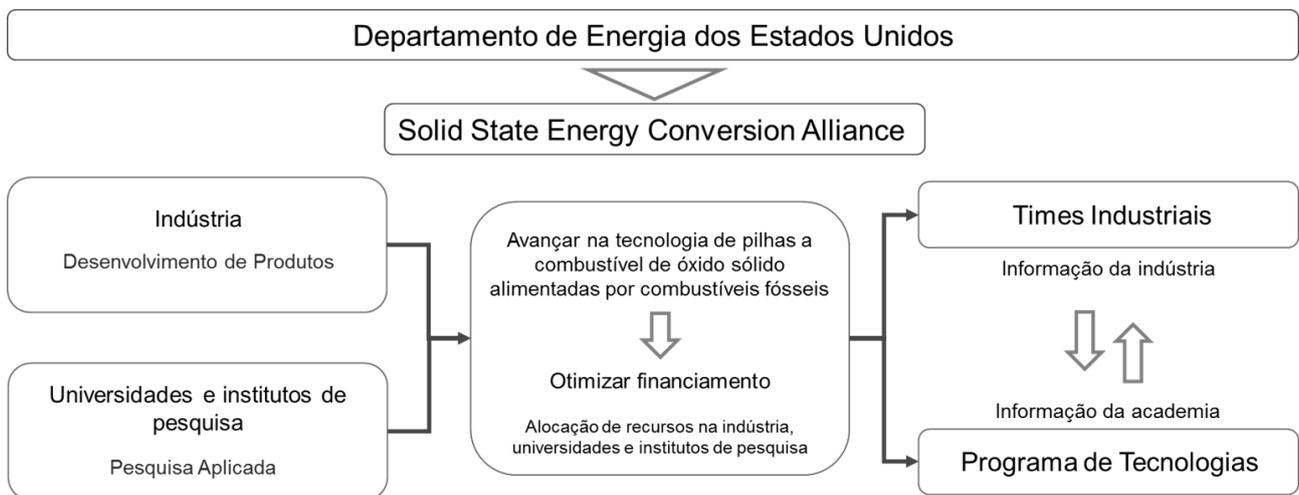


Figura 8: Esquema do Programa Americano SECA. Elaboração própria

Diferente dos EUA, o programa japonês centra-se em uma marca, a ENE-Farm, composta por empresas que atuam em distintos setores de mercado, combinando suas competências para o desenvolvimento conjunto da pilha e de sistemas baseados em PaCOS. O governo, por mais de meio século, coordena e financia essas tecnologias provendo recursos a pesquisa nas empresas e institutos de pesquisa, elaborando estratégias de subvenção às

vendas e garantindo um ambiente que assegure os projetos de risco para o sucesso da tecnologia. O METI é o financiador direto dos programas do NEDO. O diagrama na Figura 9 ilustra o programa.

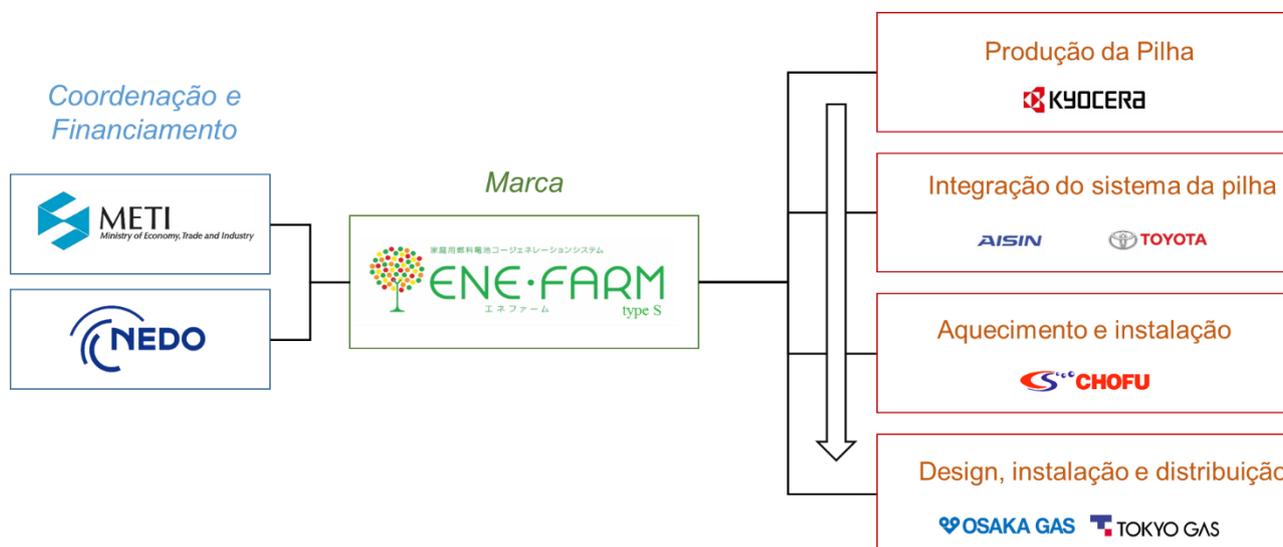


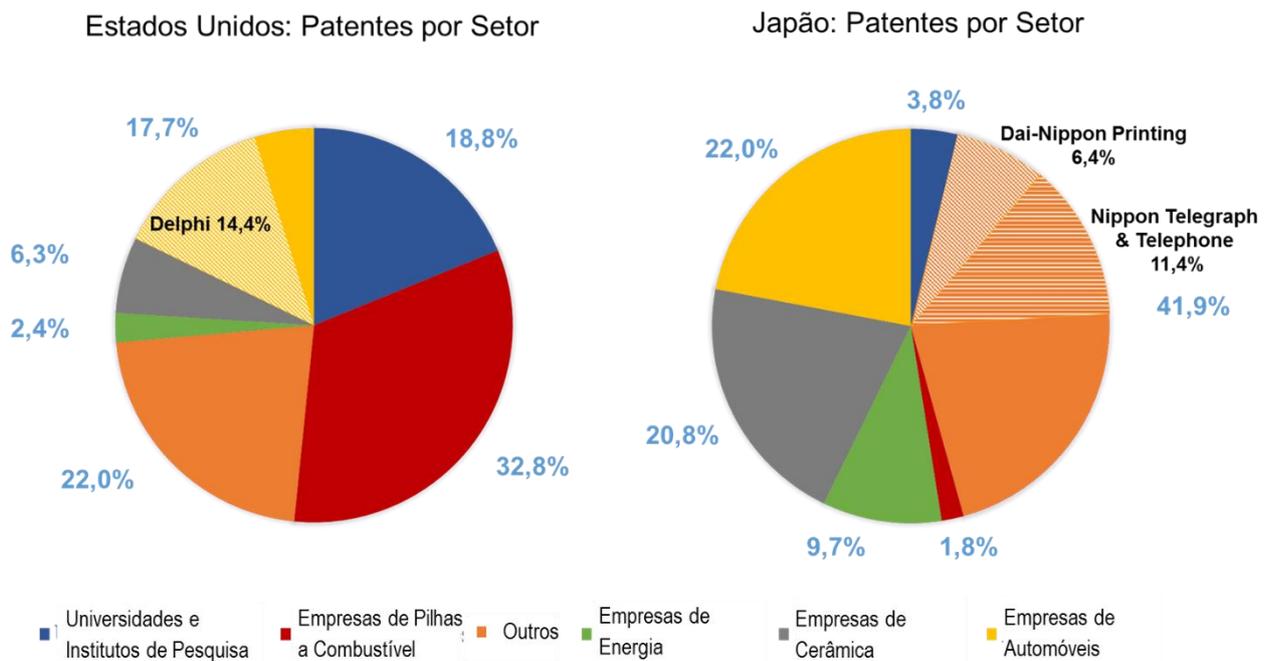
Figura 9: ENE-Farm type S, estrutura de governança, baseado em (OSAKA GAS, 2011)

Ambos os programas tiveram resultados positivos quanto ao desenvolvimento das PaCOS. Mesmo com as barreiras tecnológicas ainda existentes, o Japão e os EUA são hoje os países mais avançados na comercialização desses sistemas. No entanto, os programas são consistentemente diferentes. A diferença principal é em relação ao tipo de ambiente que os programas criaram. Por um lado, a SECA estimula a competição entre os participantes, premiando as melhores tecnologias e deixando o mercado responder pelo sucesso dos produtos. Por outro lado, contrastando fortemente com o programa americano, a ENE-Farm japonesa tem um ambiente extremamente cooperativo, no qual as empresas trabalham juntas para co-desenvolver as PaCOS. Cada empresa, pré-selecionada pelo programa, contribui para uma parte específica da pilha e, em cooperação com os demais, desenvolvem o sistema PaCOS comercial a ser vendido em um mercado protegido pelo governo.

Outro aspecto em que os programas se diferem é quanto a inclusão das universidades e institutos de pesquisa. Como ilustra a Figura 7, esses agentes são fundamentais nos EUA, fornecendo os requisitos técnicos para a tecnologia avançar. Ao contrário, no Japão, as

empresas participantes do programa NEDO executam tanto a pesquisa quanto o desenvolvimento e comercialização.

Após 15 anos desses programas, as marcas das políticas públicas em ambos os países podem ser observadas na distribuição de patentes por setor de mercado. A Figura 10 destaca os principais efeitos surtidos na amostra extraída.



**Figura 10: Distribuição por setor de mercado por país. Elaboração própria**

Cinco pontos principais devem ser mencionados. Em primeiro lugar, a indústria automotiva tem uma forte participação em ambos os países, provavelmente devido à familiarização com outros tipos de pilhas a combustível. Na Figura 7, na qual são apresentados os 30 maiores depositantes de patentes, a Mitsubishi e a Nissan estavam entre as cinco primeiras. Delphi aparece após a Nissan, com 14,4% de todas as patentes americanas analisadas na amostra extraída.

Outro aspecto é a grande diferença entre as porcentagens de participação das universidade e institutos de pesquisa ao se comparar os países - quase seis vezes maior nos EUA. Este fato pode estar diretamente relacionado com estrutura dos programas governamentais (em

especial a SECA), em que o governo dos EUA, ao contrário dos japoneses, incluía universidades e institutos de pesquisa no desenvolvimento da pilha.

Em terceiro lugar, as "Empresas de Pilhas de Combustível" nos Estados Unidos representam mais de um terço das patentes. Essas empresas têm uma alta interação com universidades, institutos de pesquisa e os departamentos governamentais dos EUA, como a NASA, US Navy, US Army e o Departamento de Energia dos EUA - herdadas da Segunda Guerra Mundial e do período da Guerra Fria.

Com uma percentagem semelhante à das empresas de pilhas a combustível nos EUA, as empresas de cerâmica desempenham um papel importante no Japão. A TOTO que tem o seu principal negócio na fabricação de vasos sanitários e a Noritake que produz louças finas de cerâmica, estão ambas listadas entre as principais 30 depositantes (TOTO em primeiro lugar). Esta característica de pesquisar e de desenvolver produtos fora do principal negócio da empresa é uma prática familiar no desenvolvimento de novos produtos no Japão e outros países asiáticos (OKA, 2013). Nippon Telegraph & Telephone e Dainippon Printing, computados na categoria "Outros" no Japão, apresentam uma estratégia semelhante.

Outra forte diferença entre as patentes dos EUA e do Japão é em relação a situação legal das patentes, apresentados na Figura 11.



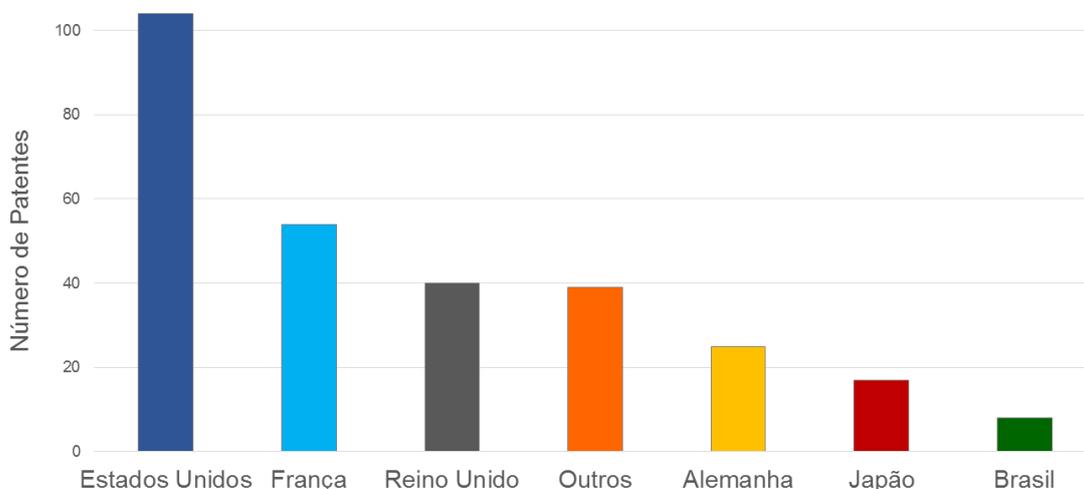
**Figura 11: Situação Legal das patentes americanas e japonesas. Elaboração própria**

As patentes americanas apresentam uma percentagem mais elevada de patentes concedidas e uma menor taxa de abandono, contrastando com as japonesas. Foram levantadas algumas hipóteses para justificar esses dados. Como a tecnologia está avançando e as empresas japonesas são as principais responsáveis pelas patentes, há uma elevada motivação para abandonar as patentes à medida que a tecnologia é ultrapassada. Nos EUA, a lógica parece diferente. Como a pesquisa aplicada é conduzida

pelas universidades, que não são orientadas pelo mercado, a taxa de abandono é menor. Além disso, a diferença das taxas de concessão pode ser justificada pelas divergências dos critérios dos escritórios de patentes com relação ao rigor do deferimento.

### 7.1 Resultados obtidos através das patentes depositadas no Brasil

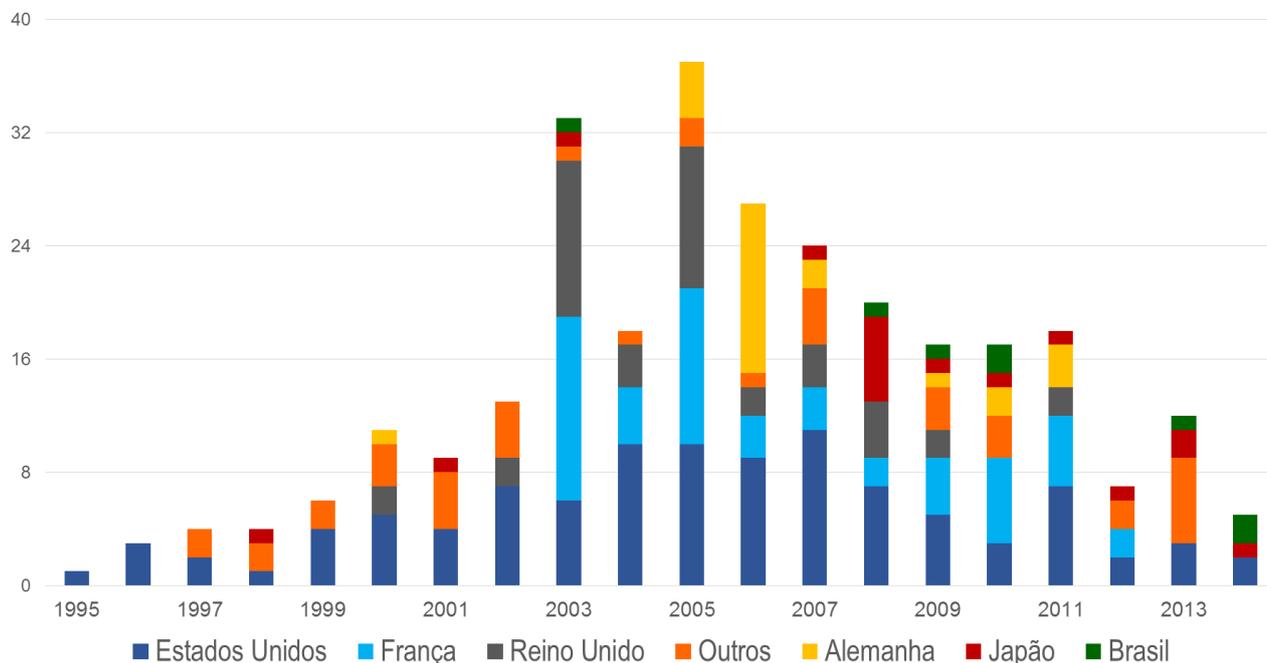
Foram encontradas 261 patentes depositadas no escritório de patentes brasileiro - Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). Dessas patentes, oito são tecnologias nacionais e as demais distribuídas conforme a Figura 12.



**Figura 12: Distribuição de patentes depositadas no Brasil por país. Elaboração própria**

Os Estados Unidos são os maiores depositantes de patentes de pilhas a combustível de óxido sólido no Brasil. Em contraste, o Japão, o maior depositante mundial de patentes não optou pelo mercado brasileiro com a mesma frequência. Em compensação, outros países europeus como a França, Reino Unido e Alemanha ganharam espaço, especialmente após o ano de 2003, como mostra a Figura 13. Algumas observações a respeito do crescimento do número de patentes após 2002 são oportunas. Primeiramente, há uma sinalização clara do governo em incentivar a economia do hidrogênio no Brasil a partir de 2001 através de políticas públicas, conforme já comentado anteriormente. É de 2003 a entrada do Brasil na Parceria Internacional para a Economia do Hidrogênio, justificando parte da internacionalização e diversificação das patentes. O Japão apresenta depósitos de patentes mais frequentes após 2008, quando a tecnologia se apresenta em fase crescente de maturação, após a fase de validação tecnológica, finalizada em 2004. É a partir de 2008

que as patentes brasileiras ganham força, muito provavelmente alavancadas pelos incentivos das políticas públicas no início da década de 2000.

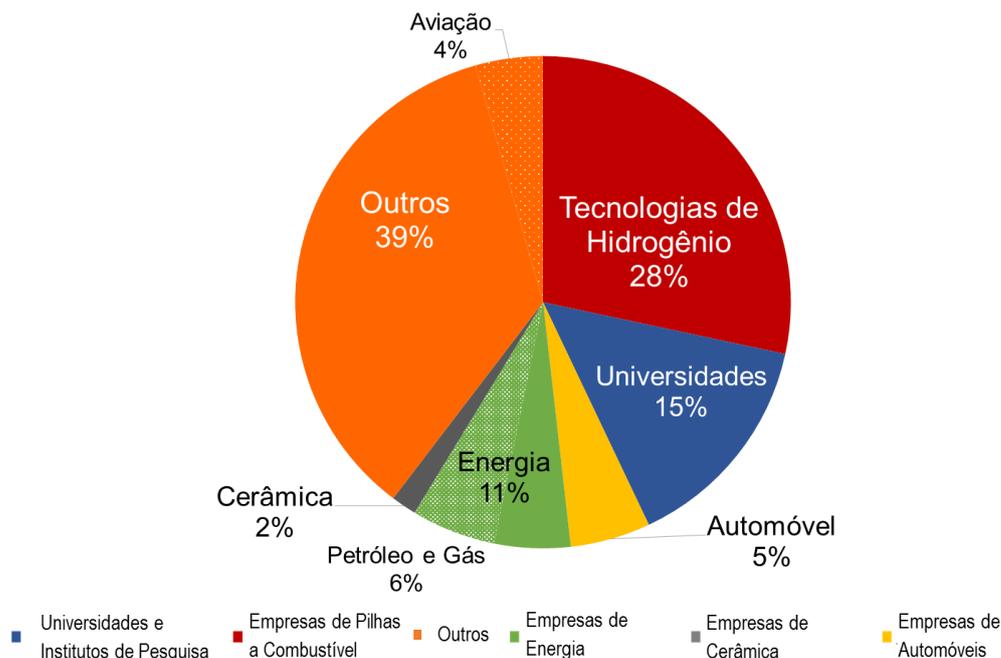


**Figura 13: Distribuição cronológica das patentes depositadas no Brasil por país. Elaboração própria**

Seguindo a tendência mundial, o número de patentes publicadas no Brasil a partir de 2012 foi consideravelmente menor. Vale notar que apesar da queda, os líderes mundiais na tecnologia Japão e Estados Unidos mantiveram a opção do mercado brasileiro. Não foram registradas patentes publicadas para os anos de 2015 e 2016.

Os dados apresentados na Figura 13 representam apenas as patentes brasileiras encontradas no período de 1995-2014. Outras oito patentes foram depositadas nos anos entre 1984-1994. Dessas, sete são de origem dos Estados Unidos e uma de origem alemã.

A distribuição das patentes de acordo com a principal área de atuação do depositante é mostrada na Figura 14.



**Figura 14: Patentes depositadas no Brasil por setores de atuação dos depositantes. Elaboração própria**

As empresas do setor de tecnologias de hidrogênio correspondem a 28% de todas as patentes depositadas no Brasil, apontando uma estrutura mais semelhante à americana, em que o setor corresponde a quase 33% das patentes. As empresas de cerâmica apresentam uma participação muito baixa 2% dos casos. Vale ressaltar que algumas empresas do setor químico, incluídas na variável “outros”, publicaram patentes no setor de cerâmicas. As universidades e institutos de pesquisa correspondem a 15% das patentes publicadas. É nesta categoria que as patentes brasileiras estão. O instituto de pesquisa francês Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives é outro forte detentor do setor, com 11 patentes. As empresas de automóvel corresponderam a 5% das patentes, sendo que outras empresas que desenvolvem componentes também para a aplicação automotiva foram classificadas como “outros”. As patentes de empresas de energia representam 11%, sendo que a Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE) do Rio Grande do Sul participou em duas patentes depositadas em conjunto com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dentre os 11% de patentes do setor de energia, 6% foram depositados por empresas associadas ao setor de petróleo ou gás. Tal interesse no mercado brasileiro pode ter sido motivado pelos investimentos realizados pela estatal Petrobrás, interessada em ampliar seu domínio tecnológico da produção de hidrogênio, utilizado na redução do teor de enxofre nos combustíveis (RAFFI *et al.*, 2013).

O setor “outros” é composto por setores de peso tal como o químico – alavancado pela multinacional Saint Gobain, instalada também no Brasil. A empresa francesa BIC, mundialmente conhecida pela produção de canetas e material para escritório é que apresenta maior número de patentes no Brasil. A empresa começou a investir na tecnologia de pilhas a combustível em 2003 em parceria com o instituto Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives. Em 2011 a BIC comprou a canadense Angstrom Power Incorporated, especializada em tecnologias portáteis de pilhas a combustível. Em 2014, a BIC optou por não investir mais nesta tecnologia e transferiu seus ativos de patente e *know-how* para a parceira britânica Intelligent Energy (especializada em pilhas a combustível) (BIC GROUP, 2015).

Outro importante setor da categoria “Outros” é o de Aviação, com a participação de concorrentes diretas da Embraer, tais como a Boeing (duas patentes) e a Airbus (duas patentes), além de outras como a Allied Signal e United Technologies.

A Figura 15 apresenta a distribuição de cada setor analisado de acordo com a participação dos principais países.

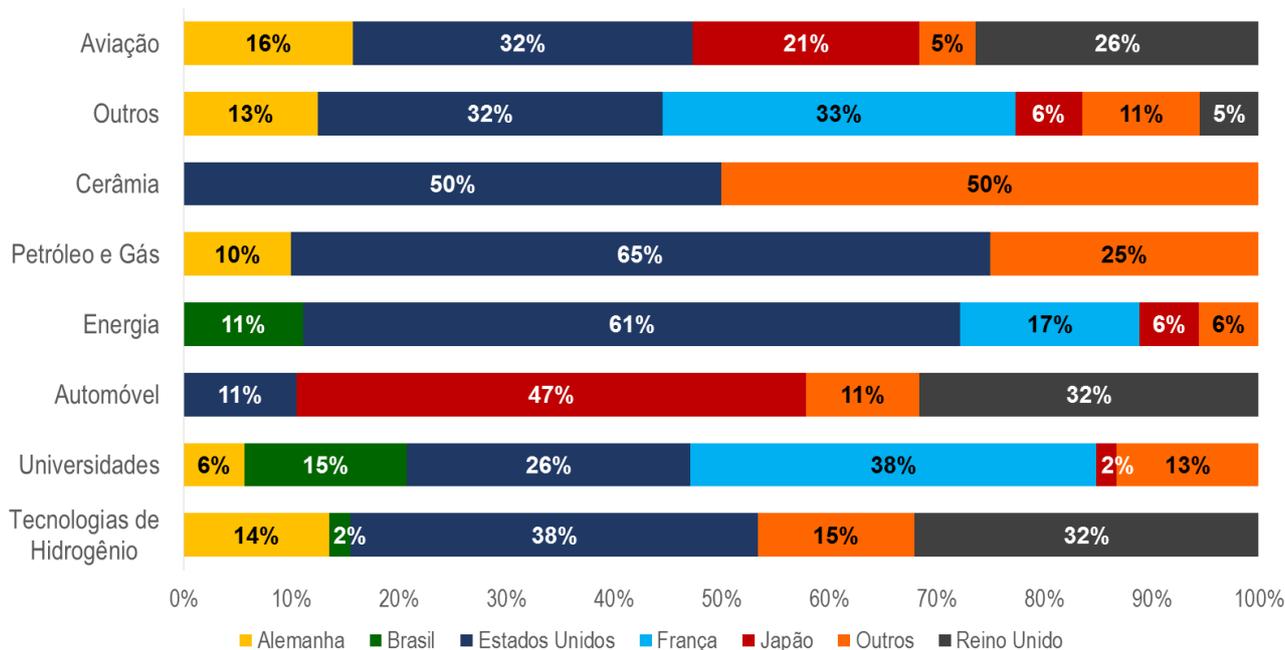


Figura 15: Participação dos países nos setores das patentes brasileiras. Elaboração própria

O gráfico mostra que o Brasil apresenta patentes em três setores, empresas de tecnologia de hidrogênio, universidades e centros de pesquisa e em empresas de energia. Não há, contudo, nenhum setor em que se predomine as patentes nacionais.

As patentes dos Estados Unidos representam mais de 60% das depositadas no setor de energia, incluindo aquelas de destinada a petróleo e gás. Os americanos também apresentam a maioria no setor de empresas de tecnologias de hidrogênio e aviação.

O Japão apresenta sua principal participação nas patentes de automóveis. As empresas Nissan e Toyota são as mais expressivas. É importante ressaltar que a Nissan optou pelo mercado brasileiro para lançar o seu primeiro carro movido a pilhas a combustível de óxido sólido. O principal atrativo do país para a empresa foi a ampla disponibilidade de etanol em postos de abastecimento (NISSAN NEWS, 2016).

O setor de automóveis também conta com uma expressiva participação do Reino Unido, impulsionado pela Rolls Royce. A pesquisa e desenvolvimento das pilhas pela empresa são feitas no próprio Reino Unido, nos Estados Unidos – após a aquisição de ativos da empresa McDermott International Inc – e em Singapura. Em 2007 a Sul Coreana LG iniciou uma parceria através do investimento nas pesquisas nos Estados Unidos. (CLEVERLAND, 2016).

A participação dos países em universidades e institutos de pesquisa está distribuída principalmente entre Estados Unidos (Universidade da Califórnia, MIT, Universidade da Flórida), França (especialmente pelo Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) e Brasil (Universidades Federais do Rio de Janeiro, Rio Grande de Sul e Bahia).

A estrutura do Programa Brasileiro de Pilhas a Combustível promovido pelo MCT está representada de acordo com o diagrama divulgado pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2002).

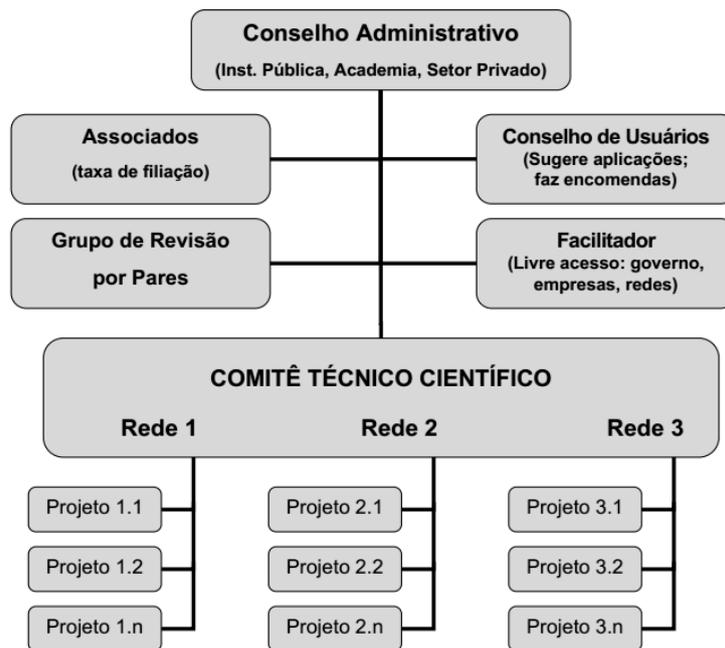


Figura 16: Esquema do Programa Brasileiro de Pilhas a Combustível

As três redes previstas no programa e os temas das áreas investidas foram descritas no estudo do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2002), como a seguir.

### 1. Rede de Células a Combustível e Eletroquímica

Investimentos nos seguintes temas:

- Célula a combustível de óxido sólido;
- Célula a combustível de eletrólito polimérico (com uso de hidrogênio ou etanol direto);
- Outras tecnologias de células a combustível;
- Eletrodos e membranas;
- Eletroquímica aplicada – P&D.

### 2. Rede de Combustíveis e Hidrogênio

Investimentos nos seguintes temas:

- Eletrólise da água;
- Reforma de gás natural para produção de hidrogênio;
- Reforma de gás liquefeito de petróleo para produção de hidrogênio;
- Reforma de etanol para produção do hidrogênio;

- Produção de hidrogênio a partir de fontes renováveis;
- Outros métodos para produção de hidrogênio;
- Engenharia de sistemas de reforma;

### 3. Rede de Sistemas, Integração e Uso

Investimentos nos seguintes temas:

- Análise e engenharia de sistemas e automação;
- Balanço de planta;
- Geração de hidrogênio (eletrólise) em sistemas renováveis;
- Armazenamento, transporte e distribuição de hidrogênio;
- Segurança, Certificação, Códigos e Padrões;
- Sensores e atuadores;
- Integração dos componentes para montagem dos sistemas energéticos baseados em células a combustível (células, eletrônica de potência e de controle, reformador, etc.);
- Integração dos sistemas energéticos baseados em células a combustível com a rede de combustíveis e com a rede elétrica;
- Formação de recursos humanos especializados;
- Inserção social e incentivo ao uso das novas tecnologias;
- Incentivo ao desenvolvimento empresarial relativo às novas tecnologias.

Foram definidas também as entidades participantes do projeto tais como MCT, ANEEL, CNPq, FAPESP, FINEP, CEMIG, centros de pesquisa, da Petrobrás, Eletrobrás, Universidades Federais de Minas Gerais, do Rio de Janeiro, do Paraná, entre outras (CGEE, 2009).

A estrutura do programa, assim como nos casos dos Estados Unidos e Japão, é refletida na base de dados das patentes depositadas no Brasil.

Uma das características do programa foi o envolvimento de dois tipos de organizações do nível governamental, aquelas que funcionam como instrumento de atuação direta do governo e voltadas para o interesse nacional (MCT, CNPq, ANEEL) e as de carácter híbrido entre o governo e setores industriais (CEMIG, centros de pesquisa e desenvolvimento). Outro tipo de organização presente no programa foram as universidades, sendo a essas

creditadas as funções de formação de recursos humanos e desenvolvimento tecnológico. Não houve no programa uma abordagem ao setor industrial privado, normalmente orientados para o mercado e em projetos mais objetivos. Esta talvez seja a principal característica do programa que justifique o baixo número de patentes brasileiras nos últimos dois decênios.

Contudo a ausência desses agentes não esvazia o programa em termos de outros tipos de propriedades intelectuais criadas. Pelo contrário. De 2002 até hoje, os grupos envolvidos em pesquisas trabalhando em prol da economia do hidrogênio aumentaram e o know-how que o país possui quanto a tecnologia já viabilizou protótipos nacionais (para as pilhas de membrana polimérica).

Da mesma forma, não poderia se esperar que fossem desenvolvidas tecnologias nos setores de aviação e automóveis sem a presença de empresas no programa, especialmente porque a aplicação principal vislumbrada para as pilhas a combustível de óxido sólido era majoritariamente estacionária (devido a suas propriedades).

O baixo envolvimento do setor privado no programa tem fundamento. O programa surge como alternativa para intervir no diagnóstico de ausência de grupos de pesquisas suficientemente qualificados para desenvolver as pilhas por completo. Sendo assim, um dos objetivos do programa foi de habilitar o país tecnologicamente e em recursos humanos para conseguir acompanhar o desenvolvimento mundial na área e com isso desenvolver suas competências. Dessa forma, foi mais característico do programa alcançar o estado da arte internacional do que contribuir para o mesmo.

## Capítulo 8: Aprendizados para o Brasil

O caso das pilhas a combustível de óxido sólido no Brasil retrata uma conjuntura em que as três esferas do Sistema Nacional de Inovação atuaram articuladamente para o desenvolvimento de uma tecnologia antes não dominada pelos grupos de pesquisa brasileiros. Diferentemente do Japão e dos Estados Unidos, o Brasil não apresenta um sistema nacional de inovação maduro, no sentido de ser limitado quanto as interações entre os principais agentes do sistema. Ainda, diferentemente dos países líderes, o país não encontrou suas próprias formas de **RE**produzir a inovação de forma sistemática dentro de seu arcabouço organizacional e institucional.

Neste presente trabalho foram explorados paralelamente quatro trajetórias distintas de desenvolvimento tecnológico das pilhas a combustível de óxido sólido: a nível de país: Estados Unidos, Japão e Brasil; e a nível de estado, Minas Gerais.

No que há de comum entre elas, os três países tiveram a pesquisa e desenvolvimento da tecnologia devido a orientações do governo. Há, nos três países, uma grande barreira de entrada ao mercado devido principalmente aos altos custos dos dispositivos de pilha a combustível de óxido sólido e a dificuldade de distribuição do hidrogênio. Motivações distintas levaram os três países apostarem nesta tecnologia. Por parte dos Estados Unidos, a motivação se iniciou com a guerra fria, e desde então, apresenta um forte cunho voltado para uso em aplicações militares. Ainda assim, como no Japão, as pressões ambientais por buscas por fontes mais e seguras e renováveis de energia, despertam as atenções de diferentes organizações para as pilhas a combustível. Entretanto, foi a busca por uma maior independência energética que alavancou os primeiros incentivos fiscais para o investimento nas pilhas no Japão, logo após as sucessivas crises do petróleo na década de 1970.

No Brasil, o cenário é muito distinto. Assim como no Japão, as pilhas a combustível foram cogitadas após a década de 1970 (CRUZ, 2010, apud RAFFI *et al.* 2013). Os carros movidos a etanol em conjunto com as descobertas de reservas de petróleo no país descartam possíveis correlações entre as crises e o desenvolvimento desta tecnologia no Brasil. O argumento de políticas voltadas para uma matriz energética mais renovável também é invalidado no país, onde cerca de 90% da energia elétrica utilizada é proveniente de fontes renováveis (CEMIG, 2012).

Então, o que poderia motivar o desenvolvimento desta tecnologia no Brasil?

Um argumento nasce das aplicações em transportes. As regras globais para as emissões de carbono corriqueiramente recaem sob a utilização de combustíveis fósseis em aviões e automóveis. Alguns países europeus (como Alemanha, Dinamarca, Suécia) promovem acordos rigorosos para a redução drástica dessas emissões. Tais políticas surtirão efeitos a nível global uma vez que o avião que parte do Brasil é o mesmo que chega a esses países.

Outro argumento é relativo ao potencial de transformação econômico-social-ambiental desta tecnologia. Por afetar vários setores da economia de forma intensa em conhecimento, a inserção dessa tecnologia pode corroborar com o desenvolvimento econômico do país. Um efeito semelhante foi esperado ao se modernizar o Brasil no fim da década de 1940 com a entrada da indústria automobilística, de máquinas e equipamentos e bens de consumo.

Por fim, pode se argumentar que, mesmo utilizando apenas cerca de 35% da capacidade da hidroeletricidade no Brasil, esta fonte é limitada. Segundo Luiz Pinguelli Rosa, professor da Coppe/UFRJ, é impossível aproveitar 100% dessa capacidade instalada devido a questões ambientais e conflitos com indígenas. O professor argumenta que os investimentos em alternativas a esta geração, preferencialmente de forma sustentável, devem ser incentivados (GOMBATA, 2016).

Quais são os aprendizados dos modelos japonês, americano e mineiro para o Brasil?

O primeiro é de que o setor privado é fundamental não só para fases posteriores de demonstração e comercialização, mas também fases iniciais de pesquisa e desenvolvimento. O setor privado é responsável por detectar desafios no que diz respeito a viabilização da pesquisa em um produto, tais como o escalonamento da produção.

O segundo aprendizado é de que, para este tipo de tecnologia, promover um ambiente de cooperação é uma alternativa mais eficiente. Por ainda não estar completamente desenvolvida e por apresentar desafios de integração, o compartilhamento de informações se torna estratégica para um avanço mais rápido. É importante ressaltar que, para que isto seja possível, as regras (leis) devem ser claras.

O terceiro aprendizado é de que, diferentemente do Japão, as grandes empresas brasileiras dos diversos setores econômicos não investem em pesquisa e desenvolvimento de pilhas a combustível de óxido sólido. Assim, melhor do que incentivar a pesquisa nas empresas é promover a interação das mesmas com a academia, que por sua vez já apresentam várias décadas em conhecimento na área.

No que diz respeito ao exemplo mineiro, ele valida, em partes, o sistema brasileiro de inovação. Dentre os aspectos positivos, o exemplo confirma que, embora ainda limitada pela sua quantidade, há grupos de pesquisa no país com competências comparáveis com as existentes na fronteira tecnologia mundial. Isto significa que o país está cientificamente preparado para desenvolver protótipos nacionais utilizando tecnologias de ponta.

O caso confirma que políticas públicas claras e objetivas, mesmo quando descontínuas são oportunas para sinalizarem, às empresas, futuras orientações de setores econômicos específicos desejáveis e estratégicos para o Estado. No caso, ao indicar uma preocupação com o setor energético e valorizando as tecnologias do hidrogênio, o governo foi o alicerçador para possibilitar a interação CEMIG-UFMG.

Os recursos destinados aos dois projetos de pesquisa e desenvolvimento foram investidos de acordo com a Figura 17.

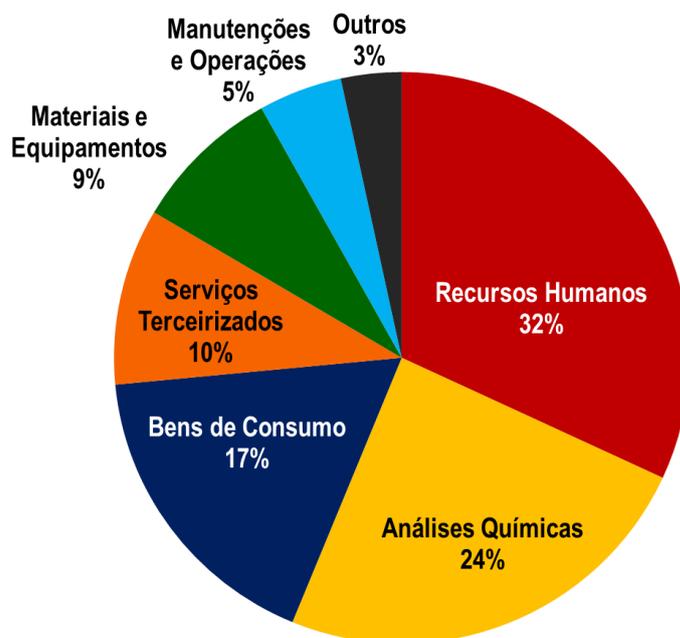


Figura 17: Distribuição dos recursos investidos durante os projetos CEMIG – UFMG. Elaboração própria

O principal investimento dos projetos foi na formação de recursos humanos, no qual envolveu a formação de 9 mestres e 6 doutores além dos alunos de graduação. Foi este investimento que garantiu que pesquisadores com altas qualificações pudessem se especializar no desenvolvimento das pilhas. Mesmo com a construção e a montagem de um laboratório com o foco no desenvolvimento das pilhas, esses gastos representaram menos de 10% do valor total investido.

As análises químicas foram, em quase sua totalidade, a contrapartida da UFMG para o projeto. Essas análises tinham a finalidade de caracterizar os materiais sintetizados para construção dos protótipos. Os bens de consumo tinham natureza importada e nacional. Eles representaram 17% do investimento do projeto.

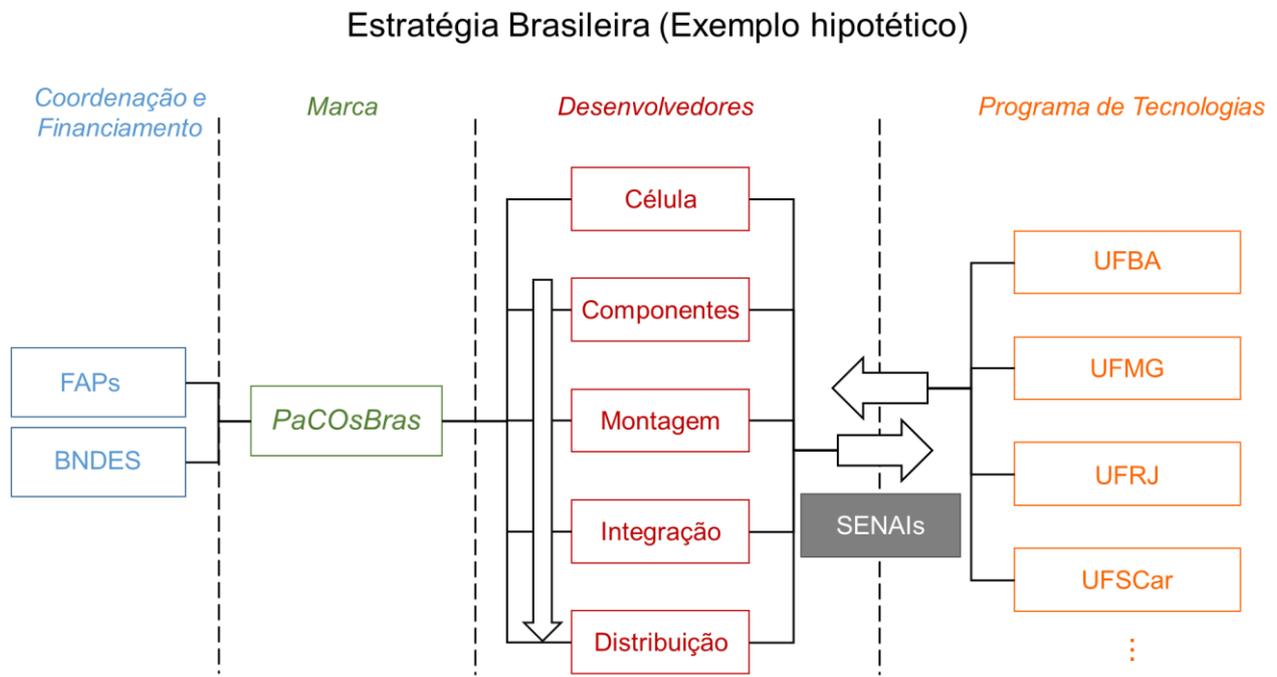
Contudo, o exemplo não se substancializou numa inclusão do hidrogênio na cadeia energética brasileira, indicando que há aprimoramentos a serem internalizados. Entraves semelhantes recorrentes a outros setores econômicos ainda esvaziam o potencial de grandes projetos no país. A exemplo, a descontinuidade de políticas públicas bem como a burocratização imposta para execução de projetos governamentais talvez sejam os mais explícitos. A falta da sistematização do aprendizado, através de um estudo replicável, desperdiça oportunidades de crescimento com as imperfeições inerentes às políticas, aos gastos e às próprias pesquisas.

Neste sentido, a criação de boas práticas que permitam compreender e sistematizar falhas em projetos tecnológicos se torna central. É preciso aumentar a cultura de gerar conhecimento a partir de casos brasileiros que apontem formas de sucesso ou fracasso dentro da estrutura instrucional do Brasil, uma vez que cada país apresenta elementos específicos de suas sociedades que oportunizam ou não o tramite tecnológico à inovação. Isto é a busca pela identidade do Sistema de Inovação Brasileiro, conhecer e saber como se inova dentro das próprias estruturas do país.

### 8.1 Sugestão para produção das Pilhas a Combustível de Óxido Sólido

Como última contribuição desta presente dissertação de mestrado, apresento uma sugestão de modelo para pesquisa, desenvolvimento, demonstração e comercialização das pilhas a combustível de óxido sólido no Brasil.

A estratégia brasileira poderá usufruir tanto dos aprendizados dos modelos japonês e americano quanto dos mecanismos já existentes do próprio sistema nacional de inovação brasileiro. Assim, o modelo proposto se estrutura conforme a Figura 18.



**Figura 18: Modelo Proposto**

O modelo proposto é, assim como o modelo japonês, centrado em uma marca “PaCOsBras”. Essa marca é responsável por captar o recurso provindo do governo e distribuí-lo entre grandes empresas brasileiras e universidades (ou centros de pesquisa). As empresas seriam escolhidas de acordo com os nichos de atividade principal, e de acordo com a sua especialidade, será designada uma parcela da pilha para que ela possa co-desenvolver. As universidades serão responsáveis por fornecer a tecnologia, know-how e pessoal qualificado para as empresas, com ajuda dos grupos SENAIs.

O modelo consegue criar um novo tipo de trajetória para o desenvolvimento de tecnologias no Brasil sem destruir os mecanismos de inovação já elaborados no país e incorporando características que foram determinantes para o sucesso da de pilhas a combustível de óxido sólido nos dois países mais avançados no desenvolvimento da tecnologia.

## Referências

- ACUMENTRICS. US Army 21st Century Truck uses Acumentrics SOFC APU. Fuel Cells Bulletin, 2003.
- ALBINO V., *et al.* Understanding the development trends of low-carbon energy technologies: A patent analysis. Applied Energy, v. 135, p. 836-854, 2014.
- ALBUQUERQUE, E.M. Sistema Nacional de Inovação no Brasil: uma análise introdutória a partir de dados disponíveis sobre a ciência e a tecnologia. Revista de Economia Política, vol. 16, n.3 (63), p.56-72, 1996
- ALBUQUERQUE, E. M. *et al.* Diferenciação intersetorial na interação entre empresas e universidades no Brasil. São Paulo em Perspectiva, v. 19, n. 1, p. 95-104, 2005.
- ANDÚJAR, J. M., e F. SEGURA. Fuel cells: History and updating. A walk along two centuries. Renewable and sustainable energy reviews, v. 13.9, p. 2309-2322, 2009
- ANSOFF. Strategies for Diversification. Harvard Business Review, v. 35, p. 113-124, 1957.
- APAK S. *et al.* Renewable hydrogen energy and energy efficiency in Turkey in the 21st century. International Journal of Hydrogen Energy, 2016.
- ARAÚJO, B. C. Políticas de apoio à inovação no Brasil: uma análise de sua evolução recente. IPEA: Rio de Janeiro, 2012.
- B.A. LUNDVALL, *et al.*, Handbook of innovation systems and developing countries: building domestic capabilities in a global setting. Edward Elgar Publishing, 2011.
- BALDINELLI A., *et al.* Performance characterization and modelling of syngas-fed SOFCs (solid oxide fuel cells) varying fuel composition. Energy v. 90, p. 2070-2084, 2015.
- BIC GROUP. Portable Fuel Cell Technology Disposal. Press Release. Clichy, França, 2015. Disponível em <[https://www.bicworld.com/img/pdf/BIC\\_FuelCellDisposal\\_27FEB2015.pdf](https://www.bicworld.com/img/pdf/BIC_FuelCellDisposal_27FEB2015.pdf)>. Acesso em 22/11/2016
- BLOOM ENERGY HOMEPAGE. NASA - Technology Comes to Earth, <http://www.bloomenergy.com/about/company-history/> (accessed December 17, 2015).
- BLOOM ENERGY. Bloom Energy Server SOFC to power buildings, Fuel Cells Bulletin, v. 2010 (3), p.1, 2010
- BLOOM ENERGY. US military deploys Bloom Energy SOFC power at NSA campus. Fuel Cells Bulletin, v. 6, p.6, 2014.
- BLUM *et al.* Anode-Supported Solid Oxide Fuel Cell Achieves 70000 Hours of Continuous Operation. Energy Technology, v. 4, p. 939 – 942, 2016
- BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Plano Decenal de Expansão de Energia 2023. Brasília: MME/EPE, 2014
- BRASIL. AGENCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Plano Brasil Maior Inovar para competir. Competir para crescer. Brasília, 2014.
- BRASIL. Ministério da Ciência e tecnologia. Sistemas célula a combustível: programa brasileiro PROCaC. Brasília: MCT, 2002

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). Conceitos de economia verde frente ao desenvolvimento sustentável. In \_\_\_\_\_: Economia verde para o desenvolvimento sustentável. Brasília: CGEE, 2012

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. Hidrogênio energético no Brasil: subsídios para políticas de competitividade, 2010-2025; Tecnologias críticas e sensíveis em setores prioritários. Brasília, 2010

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. Programa Brasileiro de Células a Combustível. Brasília, 2002

CHEN S.H., *et al.* Exploring technology evolution and transition characteristics of leading countries: A case of fuel cell field. *Advanced Engineering Informatics* v. 27.3, p. 366-377, 2013.

CHEN Y.H., *et al.* Technology forecasting and patent strategy of hydrogen energy and fuel cell Technologies. *International Journal of Hydrogen Energy* v. 36.12, p. 6957-6969, 2011.

CLEVELAND. Rolls-Royce sells 51% of its Ohio fuel cell company to LG. Disponível em < [http://www.cleveland.com/business/index.ssf/2012/06/rolls-royce\\_sells\\_51\\_percent\\_o.html](http://www.cleveland.com/business/index.ssf/2012/06/rolls-royce_sells_51_percent_o.html)>. Acesso em 22/11/16.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Alternativas Energéticas: uma visão Cemig. Belo Horizonte: Cemig, 2012

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Laboratório de materiais e pilhas a combustível. Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico. Belo Horizonte, 2009

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Núcleo de Excelência em geração termelétrica e distribuída. Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico. Belo Horizonte, 2009

CRUZ, F. E. Produção de hidrogênio em refinarias de petróleo: avaliação energética e custo de produção. 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2010

DELPHI, Delphi demos SOFC tech for truck APU, *Fuel Cells Bulletin*, v. 12 p.3, 2010

EDQUIST, C. Systems of innovation—a critical review of the state of the art. In: FAGERBERG, J. *The Oxford handbook of innovation*. Oxford university press, p. 181-208, 2005.

ELMER T., *et al.* Fuel cell technology for domestic built environment applications: State-of-the-art review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* v. 42, p. 913-931, 2015

FAGERBERG J. Innovation: a guide to the literature. In \_\_\_\_\_. *The Oxford handbook of innovation*. Oxford University press, 2005.

FREEMAN, C. Technology policy and economic performance. Great Britain: Pinter Publishers, 1989.

G.E. HASLAM, *et al.* Assessing fuel cell vehicle innovation and the role of policy in Japan, Korea, and China. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 37.19, p. 14612-14623, 2012.

GILRUTH R.R. I believe we should go to the moon. In: *Apollo Expeditions to the Moon: The NASA History (Dover Edition)*. Dover Publications, INC, Mineola, New York, p. 19-40, 2009.

GOMBATA, M. Hidrelétricas chegarão a um limite, e precisaremos de outra fonte. *Carta Capital*. 2016. Disponível em < <http://www.cartacapital.com.br/especiais/infraestrutura/hidreletricas-chegarao-a-um-limite-alerta-especialista>>. Acesso em 22/11/16.

GOTO A. Japan's national innovation system: current status and problems, *Oxford Review of Economic Policy*, vol. 16.2, p. 103-113, 2000

HOSHINO, M. IPHE Country Update: Japan. 25<sup>th</sup> IPHE Steering Committee Meeting Berkeley, CA, USA, May 18, 2016.

IANNI, O. Estado e planejamento econômico no Brasil. Rio do Janeiro: Editora UFRJ, 2009.

IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC: Geneva, Suíça, 2014.

JENNINGS, Philip. New directions in renewable energy education. *Renewable Energy*, v. 34, n. 2, p. 435-439, 2009.

LARMINIE, A. D. J. e MAURICE, S. M. Fuel cell systems explained. Vol. 2. Chichester, UK: J. Wiley, 2003.

LEVI, M. The hidden risks of energy innovation. *Issues in Science and Technology*, v. 29, p.2, 2013.

LUNDVALL, B.A., National systems of innovation: An analytical framework. London: Pinter, 1992.

HASHIMOTO, M. Japan's Hydrogen Policy and Fuel Cells Development in NEDO. NEDO, 2015.

MOTTA, Ronaldo. Fundamentos econômicos da sustentabilidade e políticas de transição rumo à economia verde. In: CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. Economia verde para o desenvolvimento sustentável. Brasília: CGEE, 2012.

MOWERY D.C. The US National Innovation System: Origins and Prospects for Change. *Science and technology policy in interdependent economies*. p. 79-106, 1994.

MOWERY D.C., ROSENBERG N. The U.S. National Innovation System. In: NELSON, R., National innovation systems: a comparative analysis. New York, Oxford: Oxford University, p. 76-114, 1993.

MOWERY D.C., ROSENBERG N., Paths of innovation: Technological change in 20th-century America. Cambridge University Press, 1999.

NARIN F *et al.* The increasing linkage between US technology and public science. *Research policy* v 26.3, p. 317-330, 1997

NATIONAL SCIENCE FOUNDATION. Higher Education Research and Development Survey, FY 2014. National Center for Science and Engineering Statistics, 2015.

NEDO. Activities of NEDO for practical use of stationary fuel cell systems, 4th IPHE Workshop. Tokyo International Forum Tokyo, v. 01, p. 3, 2011.

NEDO. Japan's Hydrogen Policy and Fuel Cells Development in NEDO. NEDO, 2015.

NELSON R.R. US technological leadership: Where did it come from and where did it go? *Research Policy*, v. 19.2, p.117-132, 1990.

NELSON, R. R. National innovation systems: a comparative analysis. Oxford university press, 1993

NEXTECH MATERIALS LTD. NexTech awarded US Army contract for SOFC stack technology. *Fuel Cells Bulletin*, 2014.

NISSA NNEWS. Nissan unveils world's first Solid-Oxide Fuel Cell vehicle. Disponível em <<http://nissannews.com/en-US/nissan/usa/releases/nissan-unveils-world-s-first-solid-oxide-fuel-cell-vehicle>>. Acesso em 22/11/2016

ODAGIRI H., GOTO A. The Japanese system of innovation: past, present and future. In: NELSON, R. National innovation systems: a comparative analysis, New York, Oxford: Oxford University, p. 76-114, 1993.

OKA T., Penetrating New Markets through Extension of Goods or Product Lines or Expansion into Oter Territories. In: BRYER, L. G. *et al.*, Intellectual property strategies for the 21st century corporation: a shift in strategic and financial management. John Wiley & Sons, 2011, capítulo 4 p. 63 – 74.

ŌKAWA K., KOHAMA H., Lectures on developing economies: Japan's experience and its relevance. University of Tokyo Press, 1989.

OLMOS L. *et al.*, On the selection of financing instruments to push the development of new technologies: Application to clean energy technologies. Energy Policy v. 43 p. 252-266, 2012.

ONG K.M., GHONIEM A.F. Modeling of indirect carbon fuel cell systems with steam and dry Gasification. Journal of Power Sources v. 313, p. 51-64, 2016.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Agenda 21 Earth Summit. The United Nations Programme for Action from Rio, 1992.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Protocol Kyoto. United Nations framework convention on climate change. Kyoto Protocol, Kyoto, 1997

OSAKA GAS, Development status and future prospects for residential and commercial use of SOFC systems. JGA Newsletter v.22, 2013.

OSAKA GAS. Development of SOFC residential cogeneration system at Osaka Gas and Kyocera. ECS Transactions, v. 7.1, p. 27-30, 2007.

DODDS, P.E. *et al.*, Hydrogen and fuel cell technologies for heating: A review. International journal of hydrogen energy, v. 40.5, p. 2065-2083, 2015.

PACHAURI, R. K. e CHAUHAN, Y. K. A study, analysis and power management schemes for fuel cells. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 43, p. 1301-1319, 2015.

PEDROZO, E., Brasileiros pagaram R\$ 45,2 bi pelo apagão elétrico de 2001. Rede Brasil Atual 17 de julho 2009. Disponível em: <<http://www.redebrasilatual.com.br/economia/2009/07/brasileiros-pagaram-r-45-2-bi-pelo-apagao-eletrico-de-2001>><<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/opiniao/inde15072009.htm>>. Acesso em: 20 de nov. 2016

PROTONEX TECHNOLOGY CORPORATION, Protonex wins US Army contract to advance SOFC systems. Fuel Cells Bulletin, v. 1 p. 7, 2010.

RAFFI, S. *et al.*, Os investimentos estatais na geração de hidrogênio no Brasil. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 16.16, p. 3099-3112, 2013.

HA, S.H. *et al.* Technological advances in the fuel cell vehicle: Patent portfolio management. Technological Forecasting and Social Change v. 100, p. 277-289, 2015.

SCHUMPETER J. A. The theory of economic development: An inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle. Vol. 55. Transaction publishers, 1934.

SCHWARTZMAN, Simon. Pesquisa universitária e inovação no Brasil. Avaliação de políticas, p. 19, 2008

SCHWARTZMAN, Simon. Um espaço para a ciência formação da comunidade científica no Brasil, 1978

SHAIKH, S. P. *et al.* A review on the selection of anode materials for solid-oxide fuel cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 51, p. 1-8, 2015.

SINGHAL, S. C. *Solid Oxide Fuels Cells: Facts and Figures*. Springer London, p. 1-23, 2013.

SPEIDEL M., *et al.* A new process concept for highly efficient conversion of sewage sludge by combined fermentation and gasification and power generation in a hybrid system consisting of a SOFC and a gas turbine. *Energy Conversion and Management* v. 98, p. 259-267, 2015.

STAMBOULI, A. B., TRAVERSA, E. Solid oxide fuel cells (SOFCs): a review of an environmentally clean and efficient source of energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 6(5), p. 433-455, 2002.

TOKYO GAS, *New Models of Residential PEMFC Cogeneration Systems*. 2008 Fuel Cell Seminar. Session No. RDP25b, 2008.

TRANCIK, J. E. Renewable energy: back the renewables boom *Nature*. *Nature*, v. 507, No. 7492, p. 300-302, 2014.

U. S. DEPARTMENT OF ENERGY, National Energy Technology Laboratory, *The Solid State Energy Conversion Alliance SECA - A US Department of Energy Initiative to Promote the Development of Mass Customized Solid Oxide Fuel Cells for Low-Cost Power*. 7th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells, v.6, 2001.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. *State of the States: Fuel Cells in America 2015*. 6th Edition. Fuel Cell Technologies Office, 2015.

VASUDEVA G., How national institutions influence technology policies and firms' knowledge-building strategies: A study of fuel cell innovation across industrialized countries, *Research Policy* 38.8, 1248-1259, 2009.

Warshay M., P.R. PROKOPIUS, *The fuel cell in space: yesterday, today and tomorrow*, Grove Anniversary Fuel Cell Symposium, 1989.

WILLIAMS M.C. *et al.*, The US department of energy, office of fossil energy stationary fuel cell program. *Journal of Power Sources*, v. 143.1, p. 191-196, 2005.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, *Our common future*, Oxford: Oxford University Press, 1987.

WORLD ENERGY COUNCIL. *World Energy Resources 2013 Survey: Summary* WORLD ENERGY. Londres: 2013

WORLD ENERGY COUNCIL. *World Energy Resources 2016*. Londres, 2016