

cgée



Prospecção Tecnológica  
Energia

Relatório Final



**cg ee**

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos  
*Ciência, Tecnologia e Inovação*

---



Prospeção Tecnológica

**Energia**

**PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA EM CIÊNCIA,  
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO**

**ENERGIA**

**RELATÓRIO FINAL**



## COORDENAÇÃO GERAL

Marcio de Miranda Santos (Diretor Executivo - CGEE)

## COORDENAÇÃO CIENTÍFICA

Gilberto De Martino Jannuzzi - Unicamp (Coordenador)

Isaías de Carvalho Macedo - Unicamp

## MEMBROS DO GRUPO CONSULTIVO

### 1ª ETAPA

Agostinho Pereira Ferreira - Consultor Independente

Dalci Maria dos Santos - CGEE

Gilberto De Martino Jannuzzi - Unicamp

Hélio Guedes de Campos Barros - Prospectar/MCT

Isaías de Carvalho Macedo - Unicamp

Marcio de Miranda Santos - CGEE

Marcos José Marques - INEE

Maria Aparecida Stallivieri Neves - Projeto Tendências

Mauro Zackiewicz – CGEE/GEOPI/Unicamp

Wellington dos Santos Mota – UFPB

### 2ª ETAPA

Carlos Eduardo Morelli Tucci - UFRGS

Dalci Maria dos Santos - CGEE

Gilberto De Martino Jannuzzi - Unicamp

Isaías de Carvalho Macedo - Unicamp

Marcelo Khaled Poppe - MME

Marcio de Miranda Santos - CGEE

Marcos José Marques - INEE

Maria Aparecida Stallivieri Neves - Finep

Mauro Zackiewicz – CGEE/GEOPI/Unicamp

Nelson Fontes Siffert Filho - BNDES

## ASSESSORIA TÉCNICA CGEE

Lélio Fellows Filho (Chefe)

Anderson Lopes de Moraes

Gilda Massari Coelho

Maria de Lourdes Cardoso dos Santos

Nathalia Kneipp Sena

Tatiana de Carvalho Pires

ASSESSORIA TÉCNICA IEI

Ana Regina Ferraz

Luiz Gustavo de Oliveira

Paulo Santana

Rubens Luciano

## PARTICIPANTES

Adiel Teixeira de Almeida	UFPE	Caroline Maria Guerra de Miranda	UFPE
Agostinho Pereira Ferreira	Consultor Independente	Celso Paulo de Azevedo	Embrapa
Alan Poole	INEE	Celso Trindade	Finep
Alecio Barreto Fernandes	Nepen	Cícero Mariano dos Santos	UFPE
Alejandro Antônio Fonseca Duarte	UFAC	Cláudia Canongia	IBICT
Alessandro Bezerra Trindade	Fucapil	Cláudia Maria Milito	UFAL
Alyne Vieira	SECT-AL	Cláudio Júdice	MCT
Altino Ventura	Consultor Independente	Cristina Lemos	INT
Álvaro B. Hidalgo	UFPE	Dalci Maria dos Santos	CGEE
Aluzilda J. Oliveira	UFCG	Dan Ramon	CGEE
Amilcar Gonçalves Guerreiro	MME	David Chazan	Cientec-RS
Anderson de Barros Dantas	UFAL	David Zylbersztajn	DZ & Associados
Antônio Carlos Faria de Paiva	Eletronorte	Dean William Carmeis	CGEE
Antonio Carlos de Oliveira Barroso	IPEN	Denis Schiozer	UFCG
Armando Bassetto Filho	Bassetto Tecnologia e Inovação	Denivaldo Germano de Araújo	Eletronorte
Armando Tupiassú	Celipa	Edgard Medeiros	Fiepa
Arnaldo César S. Walter	Unicamp	Eduardo Azevedo Rodrigues	Vector Energia
Arno Krenzinger	UFRGS	Eduardo Carpentieri	Chesf
Arthur Moret	UNIR	Elio Meneses Pacheco	UFPE
Aurélio C. de Melo Júnior	Aneel	Enes Gonçalves Marra	UFG
Auro Atsushi Tanaka	UFMA	Ennio Peres da Silva	Ceneh - Unicamp
Benedito das Graças D. Rodrigues	Eletronorte	Edson Leal M. Neto	Nepen
Benemar de Souza	UFPB	Ewerton Larry Soares Ferreira	Setec – AP
Brigida Ramati P. da Rocha	UFPA	Fábio da Costa Medeiros	ONS
Carlos Alberto Ribeiro Avellar	Abradee	Fernando A.Lopes	Procel
Carlos Campos	Celpe	Fernando Baratelli Júnior	Cenpes-Petrobras
Carlos Eduardo Morelli Tucci	UFRGS	Fernando Luiz Marcelo Antunes	UFC
Carlos Gurgel	UnB	Francisco Eulálio Alves dos Santos	UFAC
Carlos Leôncio Gonzaga Costa	Celpe	Francisco Luiz dos Santos	Unicap
Carlos Roberto Lima	UFCG	Frederico Araújo	Consultor Independente

Geoberto Espírito Santo	FIEA	José do Patrocínio Hora Alves	UFS
Geraldo Pimentel	ONS	José Elieser de Oliveira Jr.	UFAC
Geraldo Tiago Filho	CERPCH	José Goldemberg	Governo do Estado de São Paulo
Gilberto De Martino Jannuzzi	NIPE - Unicamp	José Henrique Diniz	Cemig
Gilson Galvão Krause	Promon Engenharia	José Leonardo Souza	UFAL
Gonçalo Rendeiro	UFPA	José Luiz Pereira Brittes	CPFL
Gonzalo Enriquez	UFPA	José Maldonado	INT
Helen Khoury	UFPE	José Nadir de Oliveira	Senai
Hélio Guedes de Campos Barros	MCT	José Roberto Moreira	Megawatt – Projetos, Eng <sup>a</sup> e Com. Ltda.
Hélvio Neves Guerra	Aneel	José Valter Alves Santos	Nepen
Henrique José Ternes Neto	Lactec	Josealdo Tonholo	UFAL
Homero Gonçalves de Andrade	Cepel	Josiane Calado	UFAL
Homero Schneider	Cenpra	Juarez Benigno Paes	UFCG
Hugo Túlio Rodrigues	Projeto Tendências	Júlio A. Leitão	Chesf
Idel Metzger	Abdib	Júlio Militão	UNIR
Isaías de Carvalho Macedo	Consultor Independente	Laércio de Sequeira	Finep
Ivan Aragão	Celpa	Leandro Dalla Zen	Cientec-RS
Jaime Buarque Hollanda	INEE	Leonardo Bitencourt	UFAL
Jamil Haddad	EFEI	Lélio Fellows Filho	CGEE
Jane Maria Damaceno	Eletroacre	Lúcia Carvalho Pinto de Melo	CGEE
Jeremias Alencar	RTG	Luciana Xavier Capanema	Finep
João Caldas do Lago Neto	UFAM	Luís Augusto Barbosa Cortez	Unicamp
João Roberto Barbosa	ITA	Luís Claudio Silva Frade	Eletronorte
João Roberto Pinto	CNPq	Luís Coradine	UFAL
João Tavares Pinho	UFPA	Luís Fernando Figueira da Silva	PUC-RJ
José A. D. Dieguez	IPEN	Luiz Augusto Horta Nogueira	Unifei
José Aderaldo Lopes	IbenBrasil	Luiz Eduardo Caron	Lactec
José Alcides Santoro Martins	CTGás	Luiz Fortunato	ONS
José Augusto Lima Barreiros	UFPA	Luiz Henrique Alves de Medeiros	UFPE
José Carlos Gomes Costa	MME	Luiz Paulo Faria	Eletrobras
José Carlos Medeiros	Eletronorte	Luiz Pereira Ramos	UFPR

Lusérgio Sales de Souza	Bovesa	Nelson Fontes Siffert Filho	BNDES
Magali Correia	UFCEG	Nelson Martins	CEPEL
Manoel Afonso Carvalho	UFPE	Newton Pimenta Neves Jr	Ceneh - Unicamp
Manoel Fernandes Martins Nogueira	MME	Nivaldo Roberto Ferreira	UFBA
Manoel Firmino de Medeiros Jr.	UFRN	Norma Ely S. Santos	UEPA
Manoel Régis Lima Verde Leal	Copersucar	Osvair Trevisan	Unicamp
Marcelo Khaled Poppe	MME	Oswaldo Lívio Soliano Pereira	Unifacs
Marcelo Mesquita da Silva	CER	Paulo Augusto Leonelli	MME
Marcio de Miranda Santos	CGEE	Paulo César V. de Lucena	Ceron
Marco Antônio Wanderley Cavalcanti	UFPB	Paulo Emílio V. de Miranda	COPPE - UFRJ
Marcos Branche	CEA	Paulo Gusmão	Projeto Tendências
Marcos José Marques	INEE	Paulo Roberto Krahe	Projeto Tendências
Marcos Freitas	ANA	Pedro Bezerra	Chesf
Maria Aparecida Stallivieri Neves	Finep	Raimar Van Den Bylaardt	ANP
Maria Cecília Lustosa	UFAL	Raimundo Ruy Pereira Bahia	Unama
Maria da Graça Ferraz	MPEG	Raimundo Tarcísio	Coelce
Maria de Fátima Araújo Bringel	CREA	Ralph Lima Terra	Abdib
Maria Eugênia Vieira da Silva	UFC	Rejane Moraes Duzat	INPA
Maria José Palmeira	Ucsal	Ricardo Pretz	PTZ Fontes Alternativas de Energia
Maria Helena Castro Lima	Adene	Roberto Bacellar Alves Labor	Artek Industrial da Amazônia
Maria Madalena Diegues	MCT	Roberto Ferreira de Lima	Cefet-AM
Maria Regina da Silva Aragão	UFCEG	Roberto G. Jardim	Projeto Tendências
Maria Tereza Garcia Duarte	INT	Roberto Gregório Silva Júnior	Lactec
Maurício Tolmasquim	MME	Roberto Nogueira Franca	INB
Mauro Zackiewicz	CGEE/GEOPI/Unicamp	Roberto Schaeffer	UFRJ
Máximo Luiz Pompermayer	ANEEL	Roberto Zilles	USP
Miguel J. Dabdoub	USP-Ribeirão Preto	Rodolfo Dourado M. Gomes	Unicamp
Moema Soares de Castro	UFPB	Rodrigo Sarmiento Garcia	MME
Mônica Dorigo Correia	UFAL	Rogério P. Kluppel	Solartech
Naum Fraidenraich	UFPE	Rômulo Alves Oliveira	Nepen
Ronaldo R. B. de Aquino	UFPE	Sérgio Peres	UFPE

---

Rubem César R. Souza	UFAM	Sérgio Valdir Bajay	NIPE - Unicamp
Rulemar Pessoa Silva	Aneel	Silas Sarmento	CGEE
Sara Macedo dos Santos	UFRN	Silvério Visacro Filho	UFMG
Saul Barisnik Suslick	Unicamp	Simone M. da Silva	UFRPE
Sebastian Yuri Catunda	UFMA	Soila Maria Brilhante de Souza	UFPA
Secundino Soares Filho	Unicamp	Suani T. Coelho	Cenbio - USP
Semida Silveira	Sustainable Vision	Vladimir Levit	UFAL
Sérgio Catão	Ecoluz SA	Washington Luiz Neves	UFCG
Sérgio Colle	UFSC	Wellington dos Santos Mota	UFCG
Sérgio C. Trindade	SE <sup>2</sup> T International	Williams Soares Batista	Sectes-MG

## INSTITUIÇÕES PARTICIPANTES

Agência de Desenvolvimento do Nordeste - Adene  
Agência Nacional de Águas - ANA  
Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel  
Agência Nacional do Petróleo - ANP  
Artek Industrial da Amazônia  
Associação Brasileira da Infra-Estrutura e Indústrias de Base - Abdib  
Associação Brasileira dos Distribuidores de Energia Elétrica - Abradee  
Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES  
Bassetto Tecnologia e Inovação  
Boa Vista Energia AS - Bovesa  
Centrais Elétricas Brasileiras SA - Eletrobrás  
Centrais Elétricas de Rondônia SA - Ceron  
Centrais Elétricas do Norte do Brasil - Eletronorte  
Centrais Elétricas do Pará SA - Celpa  
Centro de Gestão de Estudos Estratégicos - CGEE  
Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo M. De Mello – Cenpes-Petrobras  
Centro de Pesquisa em Energia Elétrica - Cepel  
Centro de Pesquisa Renato Archer - Cenpra  
Centro de Tecnologia do Gás - CTGás  
Centro Federal de Educação Tecnológica do Amazonas - Cefet-AM  
Centro Nacional de Referência em Biomassa – Cenbio-USP  
Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio – Ceneh-Unicamp  
Centro Nacional de Referência em Pequenos Aproveitamentos Hidroenergéticos – CERPCH - Unifei  
Companhia de Eletricidade de Pernambuco - Celpe  
Companhia de Eletricidade do Acre - Eletroacre  
Companhia de Eletricidade do Amapá - CEA  
Companhia Energética de Minas Gerais - Cemig  
Companhia Energética de Roraima - CER  
Companhia Energética do Ceará - Coelce  
Companhia Hidroelétrica do São Francisco - Chesf  
Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL  
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq  
Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia - CREA  
Cooperativa dos Produtores de Cana, Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo - Copersucar  
DZ & Associados  
Ecoluz SA  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa  
Escola Federal de Engenharia de Itajubá – EFEI - Unifei  
Federação das Indústrias do Estado do Pará - Fiepa  
Federação das Indústrias do Estado de Alagoas - FIEA  
Financiadora de Estudos e Projetos - Finep  
Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica - Fucapi  
Fundação de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Cientec-RS

Governo do Estado de São Paulo  
Iberdrola Empreendimentos do Brasil SA - Iben Brasil  
Indústrias Nucleares do Brasil - INB  
Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE - UFRJ  
Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia - Ibict  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN  
Instituto Nacional de Eficiência Energética - INEE  
Instituto Nacional de Tecnologia - INT  
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA  
Instituto Tecnológico da Aeronáutica - ITA  
Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - Lactec  
Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT  
Ministério de Minas e Energia - MME  
Museu Paraense Emílio Goeldi - MPEG  
Megawatt - Projetos, Engenharia e Comércio Ltda  
Núcleo de Estudos e Pesquisa do Nordeste - Nepen  
Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético - NIPE - Unicamp  
Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS  
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-RJ  
Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - Procel  
Projeto Tendências Tecnológicas para o Setor de Petróleo e Gás  
Promon Engenharia  
PTZ - Fontes Alternativas De Energia  
Rede Temática Geoma - RTG  
Se<sup>2</sup>T International, Ltda.  
Secretaria Executiva de Ciência e Tecnologia de Alagoas – SECT-AL  
Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia do Amapá - Setec-AP  
Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior de Minas Gerais - Sectes-MG  
Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - Senai  
SolarTech  
Sustainable Vision  
Universidade Católica de Pernambuco - Unicap  
Universidade Católica de Salvador - Ucsal  
Universidade da Amazônia - Unama  
Universidade de Brasília - UNB  
Universidade de São Paulo - USP  
Universidade de São Paulo - USP/Ribeirão Preto  
Universidade do Estado do Pará - UEPA  
Universidade Estadual de Campinas - Unicamp  
Universidade Federal da Bahia - UFBA  
Universidade Federal da Paraíba - UFPB  
Universidade Federal de Alagoas - UFAL  
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG  
Universidade Federal de Goiás - UFG  
Universidade Federal de Itajubá - Unifei  
Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE  
Universidade Federal de Rondônia - UNIR  
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC  
Universidade Federal de Sergipe - UFS  
Universidade Federal do Acre - UFAC  
Universidade Federal do Amazonas - UFAM  
Universidade Federal do Ceará - UFC  
Universidade Federal do Maranhão - UFMA  
Universidade Federal do Pará - UFPA  
Universidade Federal do Paraná - UFPR  
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN  
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE  
Universidade de Salvador - Unifacs  
Vectorenergia

## RESUMO EXECUTIVO

### Tendências tecnológicas para energia

A liberalização do mercado energético e os condicionantes de meio ambiente configuram um cenário futuro orientado para a diversificação da matriz energética com aumento significativo na utilização de energias limpas e um incremento na eficiência energética dos processos. Nos próximos anos, o petróleo deve permanecer como fonte dominante de energia e o incremento esperado no consumo exigirá um aumento da capacidade de produção. O gás natural deverá ser a fonte de energia primária com maior crescimento, mantendo a taxa anual de 2,2% no período de 2001-2025.

Existe uma forte tendência mundial em se priorizar desenvolvimento de P&D na direção de tecnologias que contribuam para conferir maior sustentabilidade ambiental, maior qualidade de energia e segurança no fornecimento.

O Brasil apresenta situação privilegiada em termos de utilização de fontes renováveis, que representam 41% da oferta interna energia, enquanto que a média mundial é de 14%. Esta vantagem, complementada pela grande utilização da biomassa, faz com que o Brasil apresente baixa taxa de emissão de CO<sup>2</sup> pela utilização de combustíveis. Com relação às diferentes fontes de energia e sua participação na matriz energética nacional, algumas premissas básicas devem ser consideradas:

- a importância da hidroeletricidade é significativamente maior que na grande maioria dos países e deverá continuar a ser a mais importante fonte de eletricidade no país nas próximas décadas;
- a produção de petróleo nacional deverá atingir níveis de auto-suficiência nos próximos anos, sendo resultante de significativos investimentos em P&D, prospecção e exploração;
- o gás natural representa cerca de 3% da energia primária produzida no país, em torno de 10 vezes menor que o petróleo.

As diretrizes da política energética nacional estabelecem que esse combustível deverá responder por 12% da energia primária em 2010.

- o carvão mineral é o combustível fóssil mais abundante no país, mas apresenta dificuldades para competir com outras energias alternativas, seja para geração de eletricidade ou para outros fins térmicos, devido a sua baixa qualidade.
- o uso de biomassa para fins de geração de energia é interessante para o país, especialmente para usos finais com maior conteúdo tecnológico como geração de eletricidade, produção de vapor e combustíveis para transporte.

### Objetivo do exercício

Construção de uma agenda de P&D e a identificação de uma ordem de prioridades dentro desta agenda, a partir de visões estratégicas para o desenvolvimento tecnológico, considerando-se os desafios colocados à matriz energética bem como a identificação de ações prioritárias em um conjunto de tópicos tecnológicos que envolvem: (1) tecnologias para geração de energia elétrica; (2) tecnologias para suprimento de combustíveis e, (3) tecnologias de transmissão e distribuição, geração distribuída e armazenamento, planejamento, conservação e uso final.

### Metodologia

A abordagem metodológica utilizada para este exercício foi construída de modo a permitir a identificação de um conjunto de tópicos tecnológicos prioritários para os investimentos no Brasil nos próximos 20 anos. Esta abordagem foi conduzida em duas etapas e envolveu a elaboração de um estudo sobre o estado da arte e as principais tendências tecnológicas em energia, bem como a organização de um conjunto de tópicos tecnológicos que foram objeto de uma consulta estruturada a especialistas (técnica Delphi) e posterior

análise e hierarquização (método multicritérios de apoio à tomada de decisão).

## Resultados

Como resultados principais obtidos destacam-se:

- relatório sobre o “Estado da Arte e Tendências Tecnológicas em Energia”;
- identificação e priorização de 63 tópicos tecnológicos em energia;
- identificação de 7 tópicos tecnológicos que, em todas simulações realizadas, se colocaram entre os dez primeiros em listas de prioridades, a saber:
  - Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos de uso industrial.
  - Desenvolvimento e implementação de tecnologias de transesterificação com etanol e metanol de óleos vegetais para utilização como biodiesel.
  - Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas utilizados nos setores de comércio e de serviços.
  - Desenvolvimento de modelos de planejamento integrado.
  - Etanol da cana de açúcar: melhoramento genético (inclusive transgênicos), novas tecnologias para a produção da cana e no processamento industrial.
  - Desenvolvimento de sistemas elétricos isolados.
  - Tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos para culturas de grandes volumes: cana, madeira, arroz, milho, soja, etc.

## Recomendações

(a) divulgar e difundir estes resultados de forma a se obter uma avaliação mais ampla deste exercício prospectivo junto à sociedade;

(b) possibilitar a efetiva incorporação dos resultados no processo decisório, particularmente no que diz respeito à aplicação de recursos do CT-Energ;

(c) aprofundar a análise dos tópicos selecionados de modo a identificar mecanismos de gestão tecnológica e investimentos em C&T adequados aos mesmos. É importante destacar que, com a massa de dados obtida, por meio consulta realizada a um conjunto selecionado de especialistas, podem ser realizadas outras análises e simulações, que atendam a interesses e as novas questões, a critério do tomador de decisão.

(d) elaborar novas propostas de exercícios prospectivos na área de energia, com vistas ao aprofundamento de questões levantadas e discutidas neste relatório bem como permitir a incorporação de novos temas de interesse para o sistema de CT&I

(e) monitorar, de forma sistemática, o desenvolvimento das tecnologias consideradas críticas para o país, no Brasil e no exterior.

(f) Estimular uma maior interação entre os grupos de pesquisa existentes no país, tomando-se por base a identificação da capacidade instalada no país e as deficiências apontadas no mapeamento de competências realizado.

## SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	15
1 INTRODUÇÃO	16
2 TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS PARA ENERGIA	18
3 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA NO CGEE	23
4 EXERCÍCIO DE PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA	26
4.1 Objetivos	26
4.2 Metodologia	27
4.3 Etapas de execução	28
5 RESULTADOS DO EXERCÍCIO DE PROSPECÇÃO EM ENERGIA	36
5.1 Etapa I	36
5.2 Etapa II	36
5.2.1 Resultados da aplicação do método multicritérios	37
5.2.2 Conjuntos robustos de tecnologias com alta prioridade	38
5.2.3 A influência dos especialistas na avaliação dos tópicos tecnológicos	39
5.2.4 Priorização por grupos de tecnologias	41
6 MAPEAMENTO DE COMPETÊNCIAS NA ÁREA DE ENERGIA	45
6.1 Metodologia	45
6.2 Grupos de pesquisa	46
6.3 Financiamento dos grupos de pesquisa	49
6.4 Principais tipos de projetos e áreas de atividades	50
6.5 Principais tipos de parcerias	54
7 CONCLUSÕES	56
8 RECOMENDAÇÕES	59

## APRESENTAÇÃO

O presente relatório resume as atividades de prospecção em energia desenvolvidas pelo CGEE, desde a elaboração do documento de diretrizes estratégicas para o Fundo Setorial de Energia – CT-Energ, trabalho iniciado em junho de 2001, bem como o esforço despendido pelo Centro ao longo do ano de 2003 na mobilização de competências na área de Energia, com vistas à elaboração de uma agenda em ciência, tecnologia e inovação, **consubstanciada em um conjunto priorizado de tópicos tecnológicos.**

Este processo, financiado com recursos do FNDCT e por encomenda do CT-Energ, foi estruturado de forma a facilitar a construção de consensos e promover a interação de um elenco selecionado de especialistas. Sua condução envolveu a participação de 204 especialistas na área de energia, planejamento e prospecção tecnológica, oriundos de 105 instituições de pesquisa e empresas do setor.

Após um amplo estudo do estado da arte e das tendências tecnológicas para o setor de energia, no país e no mundo, foi identificado um conjunto de questões relacionadas aos desafios que o Brasil deverá enfrentar nos próximos anos. Além disso, foi realizado um mapeamento das competências existentes no país de forma a permitir a construção da agenda em CT&I, organizada a partir do conjunto de tópicos tecnológicos priorizados. Estes resultados foram apresentados em seminário realizado em Brasília, em 09 de março de 2004, que contou com a participação de um conjunto representativo das competências nacionais deste setor.

O CGEE agradece ao grupo de instituições e especialistas envolvidos neste trabalho, caracterizado por um clima de grande entusiasmo, de compartilhamento de idéias, informação e conhecimento e, principalmente, pela expectativa da inserção estratégica da área de energia na agenda do desenvolvimento sustentável do Brasil. Em particular, a equipe CGEE agradece a colaboração e firme orientação científica recebidas dos Drs. Gilberto De Martino Jannuzzi e Isaías de Carvalho Macedo.

## 1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios que os responsáveis pela formulação e acompanhamento de políticas em CT&I têm a enfrentar é a elaboração de estratégias para a efetiva exploração do potencial existente no país e a decisão de concentrar recursos em determinadas áreas consideradas prioritárias.

A análise de tecnologias emergentes e suas implicações são vitais para a economia, a sociedade e as empresas. Essas análises fornecem informações sobre escolhas críticas que vão do nível internacional (como, por exemplo, a União Européia) a organizações individuais (isto é, uma empresa). São muitas as decisões a serem tomadas e que necessitam do suporte de informações para reduzir o nível de incerteza, tais como: o estabelecimento de prioridades para investimentos em P&D, a compreensão e gerenciamento do risco associado à inovação tecnológica, a conscientização sobre o uso dos direitos de propriedade intelectual e a melhoria da competitividade de produtos, processos e serviços, entre outros.

Um exercício de prospecção em CT&I tem como um de seus objetivos principais oferecer subsídios para financiamento de atividades de P&D, relacionando conjuntos de tecnologias que serão importantes segundo expectativas da sociedade. Os resultados de um trabalho desse tipo permitem, portanto, a indicação de listas de tópicos tecnológicos priorizados (uma agenda de P&D), segundo a avaliação de especialistas consultados.

Não se pretende que os resultados apresentados nesse **Exercício de Prospecção Tecnológica em Energia** sejam definitivos, mas espera-se que estes possam subsidiar decisões no âmbito do Comitê Gestor do CT-Energ e em outros foros relevantes. Ressalta-se que esse exercício permitiu a caracterização e priorização de um conjunto significativo de tópicos tecnológicos em energia, tanto no que se refere aos seus impactos sociais, técnicos, econômicos e ambientais quanto em relação às competências existentes no país, segundo percepções dos especialistas consultados.

Embora tenha sido baseado nas orientações básicas apontadas no documento de Diretrizes do CT-Energ<sup>1</sup>, focadas mais especificamente em energia elétrica, este exercício buscou abordar o sistema energético como um todo, considerando as várias formas de energia primária e suas conversões até os usos finais, de forma a não se restringir aos temas diretamente relacionados apenas com energia elétrica.

De modo a complementar esse exercício de prospecção tecnológica foi realizado, também, um mapeamento das competências existentes no país que atuam em P&D, oferecendo assim subsídios adicionais para a tomada de decisões relacionadas com priorização de investimentos. Esse mapeamento contempla as atividades correntes dos principais grupos de P&D na área energética do país e busca compreender a capacidade de articulação dos grupos de pesquisas com outras instituições do setor energético do país. Baseia-se em informações coletadas durante outubro a dezembro de 2003 sobre as principais linhas de pesquisa, recursos financeiros, número de pesquisadores e instituições envolvidas com os projetos em execução pelos grupos consultados. Analisa, também, a produção técnica mencionada e as parcerias mais importantes dos grupos com outras instituições, sejam elas empresas, organizações ou centros de pesquisa. Procurou, ainda, reunir um número suficiente de informações para obter um panorama atual das principais atividades temáticas conduzidas nas áreas de eletricidade, energia solar, biomassa, petróleo e gás, planejamento energético e usos finais de energia.

---

<sup>1</sup> O documento de Diretrizes Estratégicas do Fundo Setorial de Energia (CTEnerg) apresenta os principais desafios do setor de energia elétrica e indica estratégias e diretrizes temáticas para os principais investimentos em P&D do Fundo. Mais informações em <http://www.mct.gov.br/fundos>.

## 2 TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS PARA ENERGIA

A liberalização do mercado de energia e os condicionantes de meio ambiente configuram um cenário futuro orientado para a diversificação energética com aumento significativo na utilização de energias limpas e um incremento na eficiência energética dos processos.

Conforme indicado pelas tendências mundiais, o consumo mundial de energia deverá aumentar 54% no período de 2001 a 2025, passando de 404 quatrilhões de BTUs, em 2002, para 623, em 2025 (figura 1). O uso de energia nos países em desenvolvimento deverá aumentar mais rapidamente do que em outras regiões nas próximas décadas.

Resultados do estudo feito pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos<sup>2</sup> indicam um crescimento do uso de todas as fontes de energia primária. O petróleo deve permanecer como fonte dominante de energia e o incremento esperado no consumo exigirá um aumento da capacidade de produção de 77 milhões de barris/dia para 121 milhões em 2025. Nos países em desenvolvimento, o consumo de petróleo está projetado para aumentar em todos os usos finais. O gás natural deverá ser a fonte de energia primária com maior crescimento, mantendo a taxa anual de 2,2% no período de 2001-2025.

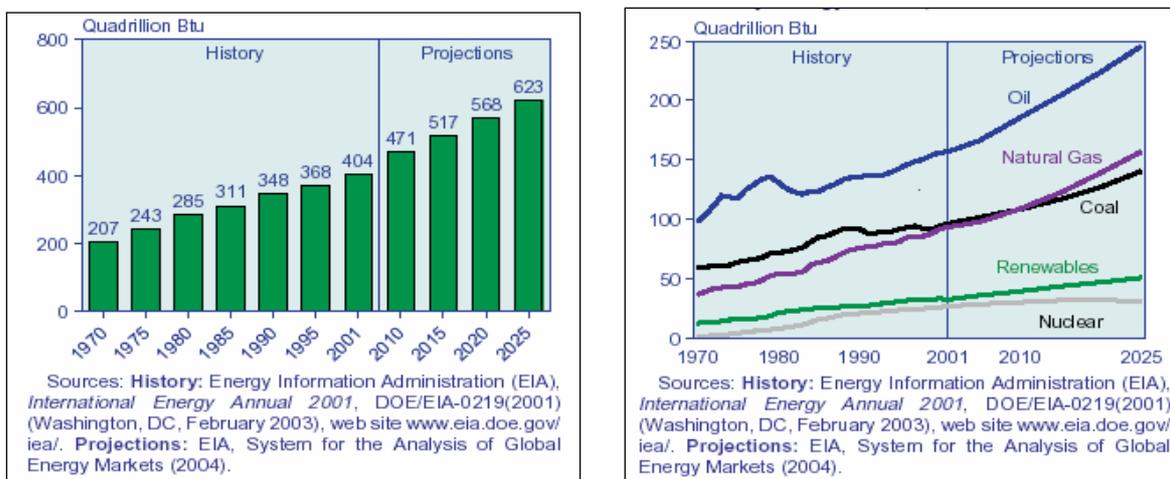


Figura 1 – Tendências mundiais para energia

Fonte: DOE-EIA,2004

<sup>2</sup> DOE-EIA. *International energy Outlook 2004*. April 2004. Disponível em: [www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html](http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html). Acesso em: 26/04/2004.

O Brasil caminha na direção da matriz energética mundial, onde há uma maior participação de gás natural e uma menor participação de hidráulica. Entretanto, ainda apresenta situação privilegiada em termos de utilização de fontes renováveis de energia<sup>3</sup>. No país, 41% da oferta interna de energia (OIE) são renováveis, enquanto que a média mundial é de 14% e nos países da OECD é de 6%.

Os países com grande geração térmica apresentam perdas de transformação e distribuição entre 25 e 30% da OIE. No Brasil, estas perdas são de apenas 10%, dada a alta participação da geração hidráulica (figura 2). Esta vantagem, complementada pela grande utilização da biomassa, faz com que o Brasil apresente baixa taxa de emissão de CO<sup>2</sup> – 1,7 tCO<sub>2</sub>/tep – pela utilização de combustíveis, quando comparada com a média mundial de 2,36 tCO<sub>2</sub>/tep.

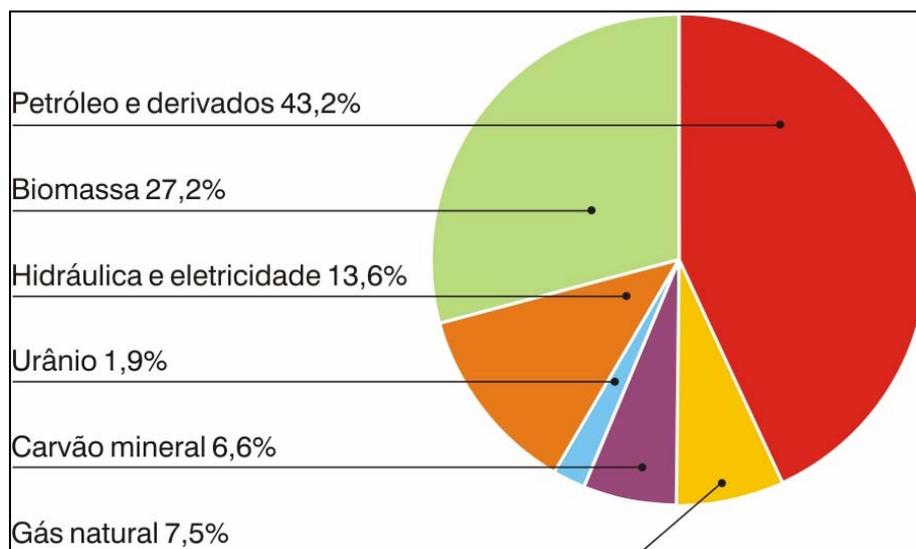


Figura 2 – Oferta interna de energia (OIE) no Brasil - 2002 Fonte: BEN, 2003

Com relação à tecnologia, de um modo geral, conforme aponta estudo feito pelo CGEE<sup>4</sup>, é possível verificar que existe uma forte tendência mundial em se priorizar desenvolvimento em P&D na direção de tecnologias que contribuam para conferir

<sup>3</sup> MME. Balanço Energético Nacional (BEN) 2003. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/paginasInternas.asp?url=../ben/>

<sup>4</sup> CGEE. Estado da arte e tendências das tecnologias para energia. Brasília: 2003. Disponível em: <http://www.cggee.org.br/prospeccao/>

maior sustentabilidade ambiental, maior qualidade de energia e segurança de fornecimento.

No curto prazo, ainda na perspectiva internacional, os maiores desafios na área podem ser identificados com esforços para P&D e difusão de tecnologias para uso eficiente e limpo do carvão e energias renováveis, disseminação de tecnologias de geração distribuída e armazenamento. Existe uma forte tendência para geração distribuída de eletricidade através do desenvolvimento de micro-turbinas, usando gás natural e outros combustíveis e células a combustível. Esses sistemas possuem o atrativo de manterem altas taxas de eficiência energética, baixa emissão de poluentes e de CO<sup>2</sup> e redução de custos de transmissão.

Com relação às diferentes fontes de energia e sua participação na matriz energética nacional, algumas premissas básicas devem ser consideradas:

- a importância da hidroeletricidade é significativamente maior que na grande maioria dos países e deverá continuar a ser a mais importante fonte de eletricidade no país nas próximas décadas;
- a produção de petróleo nacional deverá atingir níveis de auto-suficiência nos próximos anos, sendo resultante de significativos investimentos em P&D, prospecção e exploração;
- o gás natural representa cerca de 3% da energia primária produzida no país, em torno de 10 vezes menor que o petróleo. As diretrizes da política energética nacional estabelecem que esse combustível deverá responder por 12% da energia primária em 2010.
- o carvão mineral é o combustível fóssil mais abundante no país, mas que apresenta dificuldades para competir com outras energias alternativas seja para geração de eletricidade ou para outros fins térmicos, devido a sua baixa qualidade.
- o carvão vegetal tem sido um componente importante da matriz energética nacional, sendo grande parte de seu consumo realizado na indústria de ferro e aço.
- a energia nuclear defende uma proposta de desenvolver até 2010 os conceitos de sistemas nucleoeletrônicos mais promissores e mapear as tecnologias mais relevantes e viáveis para o país.
- os usos de biomassa para fins de geração de energia são interessantes para o país, especialmente para usos finais com maior conteúdo tecnológico como geração de eletricidade, produção de vapor e combustíveis para transporte.
- a produção de biogás, com formação e adaptação adequada de aterros sanitários está sendo promovida, em larga escala, inclusive para evitar a emissão de metano (estimada hoje em 20-60 milhões t/ano, no mundo).

- o etanol da cana de açúcar representa um caso de sucesso tecnológico para o país. A indústria da cana mantém o maior sistema de energia comercial de biomassa no mundo através da produção de etanol e do uso quase total de bagaço para geração de eletricidade.
- a tecnologia de produção de metanol a partir de biomassa evoluiu muito nos últimos anos, apresentando maior eficiência de conversão e menores custos, mas o conceito de integração completa da gaseificação, limpeza do gás e síntese do metanol não é ainda comercial.
- o uso de óleos vegetais em motores diesel (biodiesel) tem sido testado desde o surgimento desse tipo de motor no século 19. Atualmente, a iniciativa de elaboração do programa Probiodiesel pelo MCT prevê o desenvolvimento tecnológico em especificações técnicas, qualidade e aspectos legais, viabilidade sócio ambiental, competitividade técnica e viabilidade econômica.
- a geração de energia através da conversão fotovoltaica tem sido preferível à alternativa via térmica. A sua modularidade, favorecendo sistemas distribuídos, já demonstra aplicações importantes para regiões isoladas e poderá ser crescentemente importante para aplicações de maior porte em 10-20 anos interconectadas à rede elétrica.
- a energia solar termelétrica, embora não tenha apresentado grandes aplicações, merece atenção e seu conhecimento deve estar sempre atualizado, sobretudo em tecnologias mais promissoras e em início de operação na Europa e nos EUA.
- o uso de energia solar para aquecimento a baixas temperaturas é feito com tecnologias comerciais em todo o mundo, especialmente para o aquecimento de água. É também utilizado para processos de secagem e refrigeração (sistemas de absorção).
- a energia eólica apresenta um panorama bastante diferente da energia solar, já possui maturidade tecnológica e escala de produção industrial. Hoje essa tecnologia está para se tornar economicamente viável para competir com as fontes tradicionais de geração de eletricidade, além de um existir um grande potencial eólico a ser explorado em diversos países.
- as áreas de transmissão e distribuição de energia elétrica, indicam uma tendência de que haja um aumento na complexidade do gerenciamento, principalmente como resultado do avanço das demandas de "economia digital" (qualidade, confiabilidade e precisão), da entrada em larga escala de geração distribuída "moderna" e auto-geração e saturação dos sistemas de transmissão e distribuição existentes.
- a implementação de "novos sistemas" tem sido de certa forma atrasada em parte por falta de definição dos papéis dos setores público/privado e dono/operador e, além disso, há o agravante de o país ser fortemente dependente dos avanços tecnológicos do exterior.
- tecnologias para armazenamento de energia estão merecendo interesse crescente. Começam a surgir "nichos" de mercado para várias escalas de armazenamento decorrentes da desregulamentação do setor de eletricidade, como por exemplo, sistemas de armazenamento para larga escala, deslocando carga diurna através de bombeamento de água ou ar comprimido.
- o uso do hidrogênio como vetor energético tem sido crescentemente estudado e existe já um razoável consenso sobre suas vantagens em sistemas de energia do futuro. A visão é de

uma grande complementaridade entre o sistema elétrico e hidrogênio, mas ainda é difícil prever as formas de transporte e armazenamento a serem adotadas. Isso implica em desenvolver sistemas competitivos, capazes de produzir hidrogênio em escalas compatíveis com as opções de geração de energia elétrica no futuro.

- a tecnologia de células a combustível tem despertado muito interesse recentemente e recebido grandes investimentos internacionais, tanto para aplicações móveis como estacionárias. O Brasil já possui um plano de P&D específico para essa área, o Programa Brasileiro de Células a Combustível, que identifica grupos de pesquisas e sugere um trabalho em rede.
- o setor de usos finais de energia apresenta grande diversidade tecnológica e grande potencial de introdução de alternativas e modificações. Estão incluídas aqui modificações no comportamento dos usuários de energia (ou instituições), implantação de melhores sistemas de gestão de energia, além de desenvolvimento e difusão de tecnologias mais eficientes. O Brasil ainda não possui uma estimativa do potencial econômico de introdução de tecnologias eficientes.
- O meio ambiente representa uma questão de central importância para direcionar o desenvolvimento tecnológico do setor de energia, seja no país, como internacionalmente. Áreas como o gerenciamento de riscos, atendimento de acidentes ambientais e recuperação de passivos ambientais, deverão concentrar atividades de P&D.

A partir deste conjunto de grandes áreas tecnológicas foi iniciada a investigação prospectiva que deu origem ao presente exercício.

### 3 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA NO CGEE

A metodologia de prospecção tecnológica em uso pelo CGEE é baseada na abordagem denominada *foresight*<sup>5</sup>, atualmente uma das mais utilizadas internacionalmente para auxiliar o estabelecimento de prioridades de pesquisa e desenvolvimento e para promover o alinhamento das políticas de CT&I às necessidades econômicas e sociais dos países.

Por meio da comunicação e cooperação entre pesquisadores, usuários e financiadores, a metodologia em uso pelo CGEE procura articular a busca por “visões do futuro”, privilegiando o conhecimento do ambiente e dos fatores que determinam o entorno do problema, de modo a estabelecer uma comunicação mais efetiva entre os atores envolvidos nos processos e que influenciam o desenvolvimento da ciência e da tecnologia, levando ao fortalecimento e ampliação das redes técnico-econômicas de que participam. Adicionalmente, as ações de prospecção desenvolvidas pelo CGEE buscam alavancar o processo da inovação tecnológica no país, agregando valor à informação existente, transformando-a em conhecimento útil e passível de ser utilizado.

Estudos prospectivos constituem poderosos auxiliares do planejamento e do gerenciamento dos níveis de incerteza, porém precisam estar inseridos em um contexto planejado, isto é, estar embasados em diretrizes e necessidades pré-estabelecidas. Sua efetividade está intrinsecamente ligada a um desenho metodológico adequado, o qual só pode ser obtido a partir de uma delimitação precisa das questões a serem respondidas, do tipo de resposta desejado, da orientação espacial, do escopo do tema, bem como da estruturação de uma rede de atores capazes de se articularem de forma a buscarem consensos e comprometimentos necessários à implementação das linhas de ação identificadas.

---

<sup>5</sup> *Foresight* pode ser definido como “um processo pelo qual pode-se chegar a um entendimento mais completo das forças que moldam o futuro a longo-prazo e que devem ser levadas em consideração na formulação de políticas, planejamento e tomada de decisão. *Foresight* inclui meios qualitativos e quantitativos para monitorar pistas e indicadores das tendências de desenvolvimento e seu desenrolar, e é melhor e mais útil quando diretamente ligado à análise de políticas e suas implicações. O *foresight* nos prepara para as oportunidades futuras. No governo, *foresight* não define políticas, mas pode ajudar as políticas a serem mais apropriadas, mais flexíveis e mais robustas em sua implementação, em tempos e condições que se alteram”. (Coates, 1985)

O modelo teórico organizado para nortear o processo prospectivo no âmbito do CGEE, para os ambientes de prospecção é apresentado na figura 3.

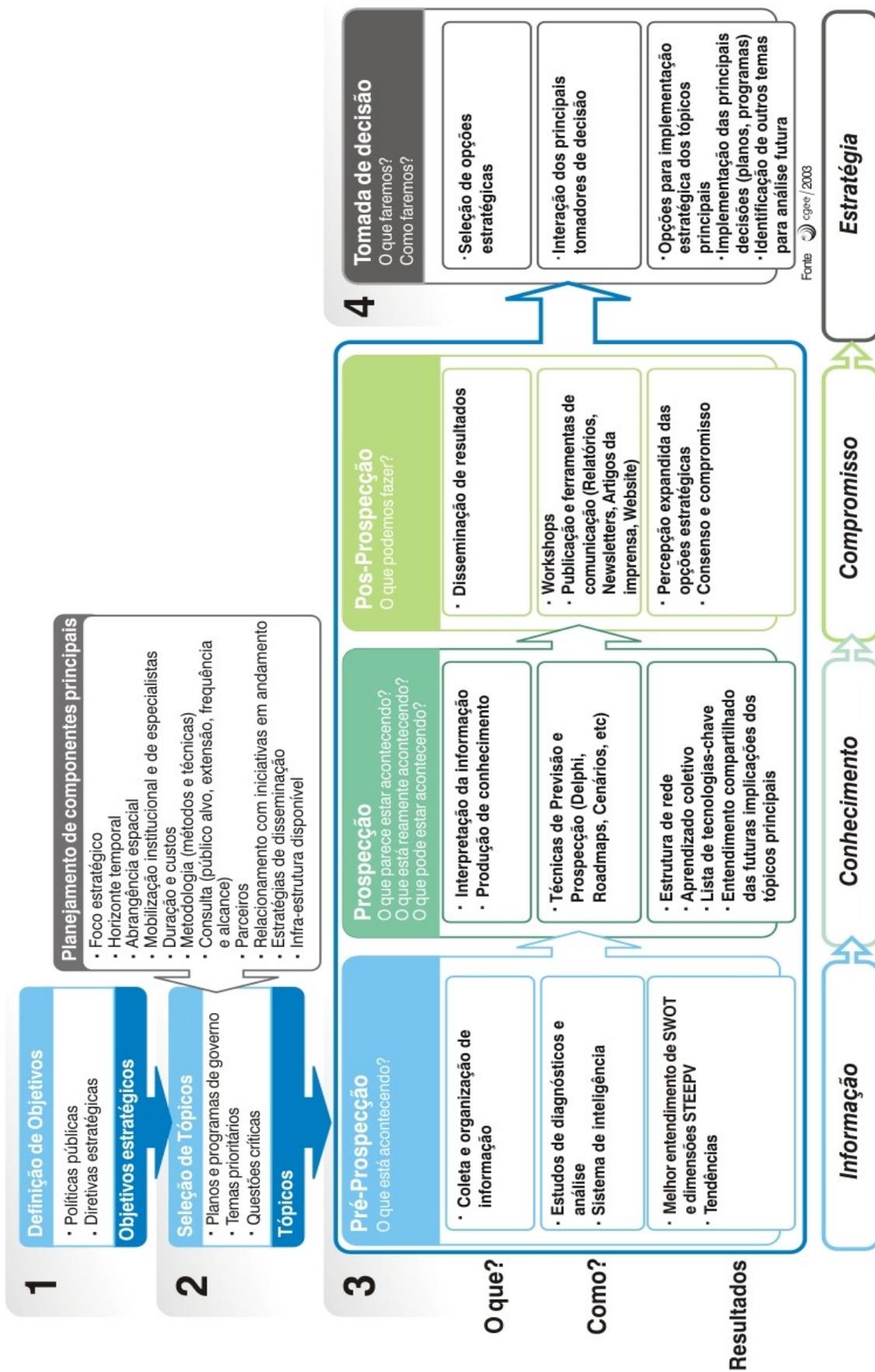


Figura 3: Ambiente de prospecção utilizado como referência para a condução das atividades coordenadas pelo CGEE.

## 4 EXERCÍCIO DE PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA

### 4.1 Objetivos

Este exercício teve como objetivo identificar tecnologias emergentes e pesquisas estratégicas relevantes para a formulação de políticas públicas, especialmente aquelas que envolvem forte componente tecnológico, considerando o sistema energético como um todo e as várias formas de energia primária e suas conversões até os usos finais. Desta forma, buscou ampliar a capacidade de monitorar e compreender a dinâmica social e técnica na qual este setor encontra-se inserido.

Algumas perguntas centrais nortearam a sua estruturação:

#### **Que tecnologias em energia serão necessárias nas próximas décadas para o Brasil?**

A resposta esta pergunta requer o estabelecimento de uma metodologia para determinar uma agenda de P&D ou um escopo de atividades consideradas relevantes e de critérios para identificar uma ordem de prioridades dentro dessa agenda.

#### **O que é e como organizar uma agenda de P&D?**

A escolha de um elenco de atividades de P&D e, em última análise, de uma lista de temas tecnológicos, depende de um entendimento entre os participantes do exercício sobre os condicionantes ambientais, econômicos e técnicos, sociais e estratégicos que deverão influir na tomada de decisão durante o horizonte de planejamento. Esses condicionantes determinam o escopo de temas considerados relevantes, oferecendo a caracterização das tecnologias desejadas para as quais o Brasil deverá voltar a sua atenção nos próximos anos.

#### **Por quê, para quê e para quem se buscam inovações tecnológicas?**

Inovações tecnológicas em produtos, processos e serviços contribuem para a melhoria da qualidade de vida e da geração de riquezas no país. Buscar responder às indagações acima auxilia na definição de prioridades, uma vez que é necessária a definição de critérios para avaliação das tecnologias sob análise.

Como objetivos do exercício foram considerados os itens abaixo:

- i) promover a construção coletiva de um ambiente de prospecção para o setor de energia;
- ii) construir visões estratégicas para o desenvolvimento tecnológico a partir dos desafios colocados à matriz energética brasileira;
- iii) identificar ações prioritárias e propor recomendações ao Comitê Gestor do Fundo Setorial de Energia;
- iv) estimular a reflexão em longo prazo sobre a questão energética brasileira; e,
- v) contribuir para a institucionalização da atividade de prospecção e ampliar os canais de diálogo e reflexão no sistema de CT&I, fomentando o aprendizado coletivo, a sinergia e a difusão destas ações.

## **4.2 Metodologia**

Para planejamento e acompanhamento do exercício foram constituídos dois grupos consultivos que atuaram durante as etapas I e II (vide página 3).

A metodologia proposta levou em conta a definição dos principais elementos de planejamento (foco estratégico; horizonte temporal; abrangência geográfica; atores envolvidos; prazos; organização e gestão do processo; instrumentos metodológicos; consultas necessárias (tipo, alcance e frequência); parcerias para a execução; relação com as iniciativas já existentes; previsão para implementação e avaliação; estratégias de disseminação; custos e fontes de financiamento).

Os principais pontos considerados na estruturação metodológica foram:

- (a) o conjunto de tópicos tecnológicos provenientes da base de dados produzida pelo Programa Prospectar do MCT, no que se refere ao tema Energia, e resultados de outros exercícios similares conduzidos no Brasil e no exterior;

- (b) o conjunto das tendências relevantes para o planejamento energético na atualidade;
- (c) a organização de um novo conjunto de tópicos tecnológicos, a partir dos elementos (a) e (b) (Anexo 1);
- (d) a realização de uma consulta estruturada a especialistas utilizando a técnica Delphi<sup>6</sup>;
- (e) a definição de conjuntos de critérios e pesos frente a visões de futuro;
- (f) a utilização do método multicritérios<sup>7</sup> de apoio à tomada de decisão para gerar listas de prioridades.

### 4.3 Etapas de execução

Este exercício de prospecção foi estruturado para ser executado em duas etapas, a saber:

#### Etapa I

Esta etapa envolveu a elaboração de um estudo sobre o estado da arte e as principais tendências tecnológicas em energia e a organização de uma lista de tópicos tecnológicos, a partir dos elementos obtidos deste estudo, da base Prospectar/Energia, de outros exercícios similares conduzidos no Brasil e no exterior e da análise do conjunto de cenários relevantes para o planejamento energético na atualidade.

---

<sup>6</sup> Desenvolvido na década de 50, na RAND Corporation (EUA), objetivando a obtenção de consensos entre especialistas, a técnica Delphi busca estruturar o processo de comunicação de um grupo explorando a experiência coletiva em um processo interativo. Atualmente tem sido usada para solucionar incertezas sobre condições e tendências futuras, particularmente em ciência, tecnologia e sociedade, revelando relações de causalidade e explorando cenários plausíveis. O procedimento adotado neste exercício está baseado em abordagem similar empregada em um estudo prospectivo realizado pelo European Commission Research DG (Energy Programme). Mais detalhes sobre a técnica Delphi no Anexo 2.

<sup>7</sup> O método multicritérios de apoio à decisão utilizado neste exercício (Electre III – *ELimination Et Choix Traduisant la REalité* -versão simplificada) é uma ferramenta (*software*) que compara o desempenho das alternativas para cada critério separadamente e gera uma hierarquia que sintetiza o resultado final, ordenando as alternativas no sentido da melhor para a pior. Mais detalhes sobre o método podem ser encontrados no Anexo 3.

Ao longo desta etapa foram incorporados os resultados parciais dos exercícios de prospecção regional em energia, para as regiões Norte e Nordeste<sup>8</sup>, que envolveram levantamentos de oportunidades, identificação preliminar de desafios e problemas e mapeamento inicial de competências no âmbito destas duas regiões.

Foram, ainda, incorporados a esta etapa os resultados e lições aprendidas no exercício de prospecção em “Células a Combustível” que posteriormente foi lançado oficialmente pelo MCT como o “Programa Brasileiro de Células a Combustível”<sup>9</sup>.

## Etapa II

Os resultados obtidos na Etapa I (identificação de tópicos tecnológicos) revelaram que ganhos significativos poderiam ser obtidos a partir da ampliação da estratégia metodológica original, com a incorporação de uma consulta a especialistas usando a técnica Delphi (Anexo 2). Os tópicos tecnológicos identificados passariam a ser avaliados frente a critérios de hierarquização e por meio de análise de robustez utilizando-se o método multicritérios de apoio à tomada de decisão (Anexo 3), com vistas a possibilitar a geração de listas hierarquizadas destes tópicos, à luz de visões e critérios definidos pela equipe de especialistas envolvida neste exercício.

A figura abaixo apresenta esquematicamente as ações desenvolvidas nas etapas I e II, ao longo de 2002 e 2003.

---

<sup>8</sup> Realizadas em parceria com a ‘Rede Norte de Energia’ e o ‘Fórum Nordeste de Energia’, estas atividades objetivaram identificar e caracterizar as principais demandas em P&D na área de energia para as regiões norte e nordeste. O trabalho se baseou em um mapeamento que buscou identificar e registrar as atividades de P&D desenvolvidas nas regiões e traçar um panorama da condição atual da infraestrutura e da formação de recursos humanos nos últimos anos. Adicionalmente, envolveu um levantamento de oportunidades, problemas e desafios relacionados ao setor de energia elétrica nas duas regiões e realizou um cruzamento entre as competências e as oportunidades e desafios identificados de modo a explicitar as principais prioridades a serem enfrentadas no curto prazo. (Ver mais em <http://www.cgce.org.br/prospeccao/>)

<sup>9</sup> O Programa Brasileiro de Células a Combustível, criado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), em 2002, visa promover ações integradas e cooperadas que viabilizem o desenvolvimento nacional da tecnologia de sistemas CaC (células a combustível). Visa a produção de energia elétrica com tecnologia limpa e eficiente, aplicada também para sistemas auxiliares e de propulsão: aplicações automotivas, embarcações, aeronaves, entre outras. Pretende ainda apoiar o estabelecimento de uma indústria nacional para produção e fornecimento de sistemas energéticos célula a combustível que inclua a produção de células, de reformadores, de integradores de sistemas e fornecedores de serviços. (ver mais em <http://www.mct.gov.br/programas/>)

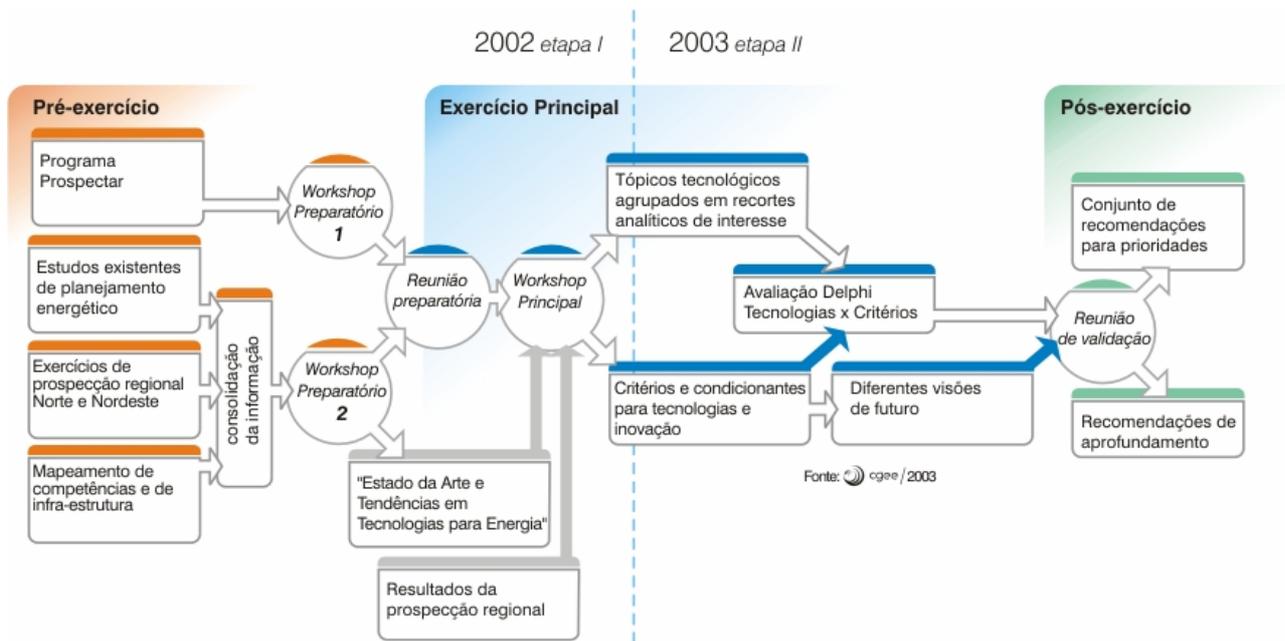


Figura 4 – Diagrama esquemático do exercício de prospecção em energia

Dada a complexidade em se estabelecerem as dimensões de análise e os critérios a serem empregados neste exercício, optou-se por estabelecer um Grupo Consultivo para a Etapa II, composto por especialistas em Energia e na aplicação de métodos para estudos de futuro, bem como de representantes de governo oriundos de ministérios afins e de agências de fomento em CT&I (ver composição deste grupo na página 3).

Além de definir as dimensões e critérios de análise, o Grupo Consultivo selecionou três conjuntos de respondentes para a consulta Delphi a ser realizada, representativos dos segmentos da cadeia de energia elétrica, a saber: GA1 – respondentes envolvidos com os aspectos relacionados com geração de eletricidade; GA2 – respondentes envolvidos com aspectos associados ao suprimento de combustíveis; e GA3 – respondentes envolvidos com transmissão, distribuição, geração distribuída, armazenamento, conservação, planejamento e uso final de energia, perfazendo um total de 73 respondentes.

Para efeito de aplicação da técnica Delphi, foram consideradas quatro dimensões de análise, a saber: técnico-econômica, estratégica, ambiental e social. Cada uma das quatro dimensões de análise foi detalhada em componentes mais específicos, dando

origem a 22 questões a serem respondidas por tópico tecnológico durante a consulta Delphi. Além destas 22, duas outras questões de controle foram incorporadas, uma acerca do grau de especialidade do respondente e outra que procurou captar uma avaliação global do tópico tecnológico. O questionário completo contendo o conjunto de questões utilizado na consulta Delphi é apresentado no Anexo 4.

A figura 5 mostra a relação entre as variáveis analisadas neste trabalho para avaliação e priorização de tópicos tecnológicos em energia.

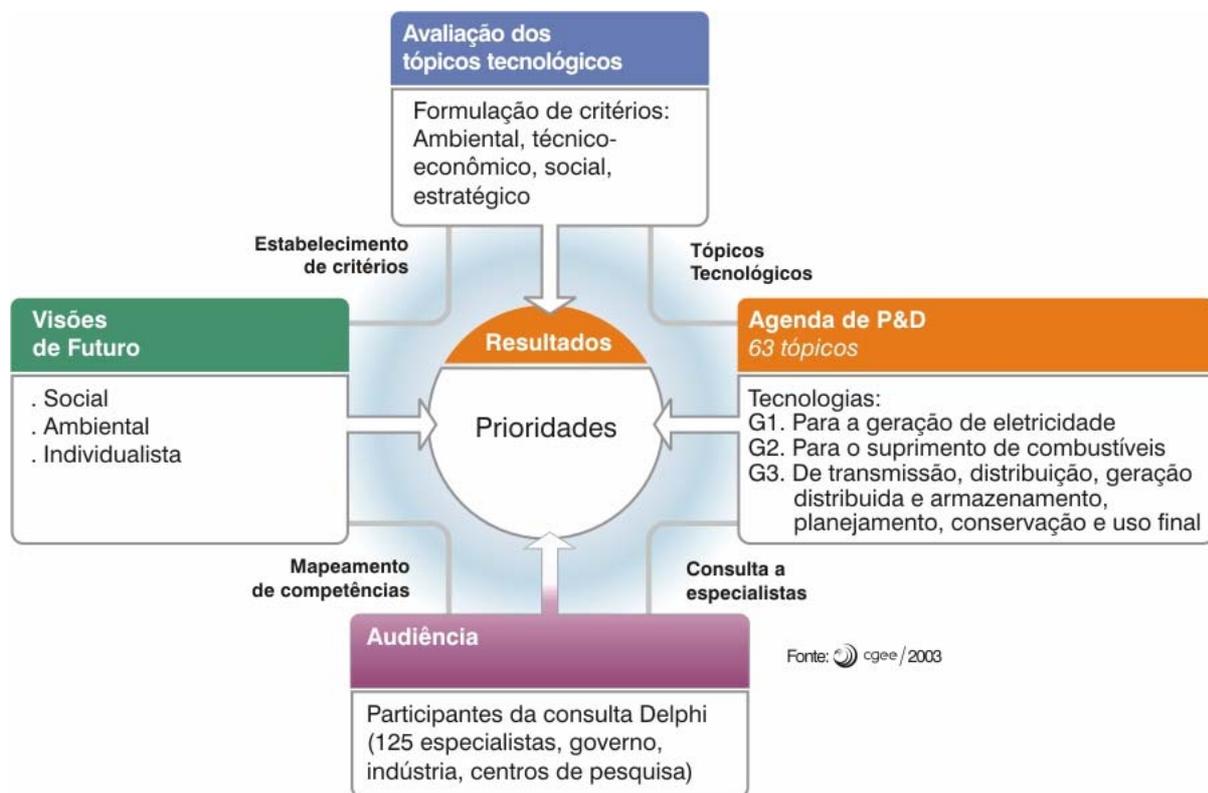


Figura 5: Apresentação esquemática da inter-relação de objetivos do exercício

A consulta Delphi foi realizada em duas rodadas, por meio da aplicação de questionário eletrônico disponibilizado na Internet para os três grupos de especialistas selecionados (GA1, GA2 e GA3). Os 63 tópicos tecnológicos objeto da consulta Delphi foram subdivididos em três grupos, conforme mencionado abaixo:

- Tecnologias para geração de energia elétrica - **30 tópicos**
- Tecnologias para suprimento de combustíveis (transporte e calor) - **16 tópicos**
- Tecnologias de transmissão e distribuição, geração distribuída e armazenamento, planejamento, conservação e uso final – **17 tópicos**

Para efeito da aplicação do método multicritérios, os resultados da consulta Delphi foram tratados estatisticamente e organizados de forma a possibilitar a aplicação conjunta de 17 critérios, obtidos a partir de um rearranjo das 22 questões do questionário Delphi, conforme mostrado na tabela 1, que apresenta a relação das dimensões com os critérios e as questões do questionário. Dois critérios relacionados à dimensão social foram considerados invariantes.

<b>Dimensões</b>	<b>Critérios</b>	<b>Questões</b>
Técnico-econômica	C.1	Q02- Custos Finais
	C.2	Q03- Impactos Balança Comercial
	C.3	Q04a,b - Riscos
	C.4	Q05- Prazo para Implementação
	C.5	Q06a,c - Capacitação Existente
Estratégica	C.6	Q06b,d - Capacitação Conseqüente
	C.7	Q07- Transbordo
	C.8	Q09a- Qualidade
Ambiental	C.9	Q10- Impactos no clima global
	C.10	Q11- Impactos nos Recursos Naturais
	C.11	Q12- Impactos no ambiente local
Social	C.12	Q13- Impactos no Emprego
	C.13	Q14a,b,c,d Impactos no Desenvolvimento de Regiões
	C.14	Q14a,b,c,d (2) Impactos no Desenvolvimento
	C.15	Q15- Impactos na Universalização
Invariantes	C.16	Q09b- Segurança
	C.17	Q08- Impactos na geração e eficiência

Tabela 1 – Relação entre critérios e questões do Delphi.

A métrica adotada para as questões do questionário Delphi e a composição dos critérios são apresentadas em detalhes no Anexo 5.

Adicionalmente, a análise multicritérios levou em consideração três visões de futuro hipotéticas desenvolvidas pelos membros do Grupo Consultivo, baseadas em experiências similares de estudos prospectivos em energia conduzidos no Reino Unido

e em consultas a especialistas do setor, a saber: 1) escolha individual; 2) equilíbrio ecológico; e 3) igualdade social (Anexo 6), conforme tabela 2.

Critérios	Questões	Visões		
		Social	Base Ambiental	Individualista
C.1	Q02- Custos Finais	7,34%	6,61%	14,69%
C.2	Q03- Impactos Balança Comercial	1,84%	1,65%	2,45%
C.3	Q04- Riscos	1,84%	1,65%	4,90%
C.4	Q05- Prazo para Implementação	3,67%	3,31%	4,90%
C.5	Q06a- Capacitação Existente	1,84%	3,31%	2,45%
C.6	Q06b- Capacitação Conseqüente	2,75%	2,07%	1,47%
C.7	Q07- Transbordo	2,75%	2,07%	1,47%
C.8	Q09a- Qualidade	5,51%	4,13%	4,41%
C.9	Q10- Impactos no clima global	2,20%	6,61%	2,94%
C.10	Q11- Impactos nos Recursos Naturais	4,41%	13,22%	5,88%
C.11	Q12- Impactos no ambiente local	4,41%	13,22%	5,88%
C.12	Q13- Impactos no Emprego	11,02%	2,75%	5,88%
C.13	Q14a-d Imp no Desenv de Regiões	5,51%	1,84%	2,94%
C.14	Q14a-d(2) Imp no Desenvolvimento	5,51%	1,84%	2,94%
C.15	Q15- Imp na Universalização	5,51%	1,84%	2,94%
C.16	Q09b- Segurança	10,17%	10,17%	10,17%
C.17	Q08- Impacto na geração e eficiência	23,73%	23,73%	23,73%

Tabela 2 – Relação entre critérios e visões de futuro.

A importância relativa dos critérios para cada visão foi discutida no Grupo Consultivo, de forma a possibilitar a geração de três listas distintas de tópicos, a partir dos resultados da consulta Delphi e das três visões de futuro utilizadas neste exercício.

Uma vez obtidas estas três listas de tópicos, hierarquizados de acordo com os resultados da consulta Delphi e a importância relativa das três visões, deu-se início a uma análise de robustez das hierarquias assim obtidas, de forma a identificar tópicos tecnológicos que se mantivessem sempre bem colocados em hierarquias que seriam obtidas a partir de simulações arbitrárias. De forma similar, estes procedimentos permitiriam, ainda, a identificação daqueles tópicos que apresentam grande sensibilidade a variações impostas nas simulações realizadas (visões e especialidade), alterando, portanto, de forma mais significativa sua classificação nas hierarquias obtidas.

Estas simulações foram realizadas atribuindo-se importâncias relativas distintas para os 17 critérios, seja por meio de ênfases distintas e exageradas atribuídas às visões de futuro, seja pela valorização diferenciada das respostas obtidas dos especialistas consultados, segundo o grau de especialidade declarado pelos mesmos.

A primeira simulação realizada na análise de robustez foi obtida pelo reordenamento dos tópicos a partir de uma pontuação gerada pela soma dos seus posicionamentos nas três hierarquias originais. Assim, os tópicos melhor colocados nas três hierarquias, continuaram bem colocados nesta simulação, o mesmo não ocorrendo com tópicos que apresentaram maiores variações de posicionamento nas três hierarquias ou que estiveram mal colocados em todas elas. Esta simulação foi denominada “Síntese B”.

A segunda simulação consistiu na obtenção de três novas hierarquias obtidas pela alteração drástica da importância de cada visão, de modo a enfatizar, em cada uma das três hierarquias obtidas, uma das três visões utilizadas neste exercício. (Anexo 7) Assim, na hierarquia “visão ambiental extremada” a importância relativa dos critérios associados à visão “equilíbrio ecológico” foi enfatizada em relação aos critérios associados às outras duas visões (escolha individual e equidade social). Após a obtenção destas três hierarquias, uma nova síntese foi obtida de forma similar ao caso anterior (B), sendo denominada “Síntese E”.

A terceira simulação foi realizada para avaliar o efeito do grau de especialidade dos respondentes na hierarquização dos tópicos. Para este fim, as respostas obtidas da consulta Delphi foram recalculadas atribuindo-se importância relativa maior para os respondentes que se declararam peritos ou conhecedores para cada um dos 63 tópicos, objeto da consulta. Nesta simulação, as respostas para os tópicos tecnológicos respondidos por peritos ou conhecedores foram contadas duplamente, o que deu origem a três novas hierarquias, mantendo-se a mesma importância relativa das visões empregada na primeira simulação. Novamente, após a geração destas três novas hierarquias obteve-se uma síntese denominada “Síntese P”, pelo mesmo processo utilizado na produção das sínteses anteriores (B e E).

De forma a enfatizar ainda mais o efeito das respostas obtidas de peritos e conhecedores, na análise de robustez dos tópicos analisados, nova recontagem dos resultados da consulta Delphi foi realizada, contando-se, para cada tópico tecnológico, uma vez os valores das respostas de não-familiarizados, duas vezes os valores de familiarizados, três vezes os valores de conhecedores e quatro vezes os valores das respostas obtidas de peritos. Outra vez, foram obtidas três novas hierarquias e uma síntese, esta última denominada “Síntese P2”.

Finalmente, foi realizada uma última simulação, que consistiu de uma síntese geral (Super-Síntese) obtida pela soma dos valores dos posicionamentos dos tópicos tecnológicos em cada uma das hierarquias-síntese obtidas (B, E, P e P2).

Adicionalmente, foi realizado o levantamento das principais atividades de P&D na área de energia no Brasil, a partir dos Grupos de Pesquisa, cujos resultados são apresentados ao final deste relatório.

## 5 RESULTADOS DO EXERCÍCIO DE PROSPECÇÃO EM ENERGIA

### 5.1 Etapa I

O relatório sobre o **‘Estado da arte e tendências tecnológicas para energia’**<sup>10</sup> buscou apresentar de forma abrangente as oportunidades para P&D em energia nos próximos 20-30 anos, por meio de consultas aos estudos referentes aos principais cenários e tendências internacionais identificados para o setor nesse horizonte temporal. Este relatório envolveu um amplo mapeamento sobre as tecnologias energéticas no mundo (geração, conversão, transmissão e armazenamento); o estágio atual (uso, desenvolvimento, custos, limitações); a evolução prevista para os próximos 20-30 anos; e o estágio atual no Brasil (especificidades e potenciais, uso, custos e nível de desenvolvimento).

O principal resultado obtido nessa etapa foi a **identificação de 63 tópicos tecnológicos** (Anexo 1) considerados relevantes para o setor de energia, obtidos a partir das informações contidas no referido relatório e consolidados através de debates envolvendo o Grupo Consultivo e outros especialistas do setor.

### 5.2 Etapa II

Os resultados da consulta Delphi a um conjunto representativo de especialistas do setor e que forneceram a base para todas as simulações e análises posteriores são encontrados no Anexo 8, onde os resultados são apresentados, questão a questão e priorizados de acordo com os valores médios obtidos na avaliação dos especialistas.

Destaca-se que, com a massa de dados obtida pela consulta, podem ser realizadas diversas análises e simulações, com o uso de diferentes métodos e técnicas, conforme os interesses e as questões que se deseja responder. Neste caso, optou-se pelo tratamento dos dados obtidos com o emprego do método multicritérios para apoio à

---

<sup>10</sup> O documento “Estado da arte e tendências das tecnologias para energia” busca mostrar, de forma abrangente, oportunidades para P&D em energia, vistas hoje para os próximos 20-30 anos. Apresenta uma base de informações sobre tecnologias para o suprimento de energia elétrica; para o suprimento de combustíveis; tecnologias de interface e complementares e envolve o estágio atual das tecnologias e ações importantes e necessárias para o seu desenvolvimento. (Ver mais em <http://www.cgee.gov.br/prospeccao/>).

decisão, de modo a possibilitar o ordenamento dos tópicos de acordo com critérios definidos pelo Grupo Consultivo.

A análise da participação dos respondentes no questionário também foi considerada e seus resultados podem ser encontrados no Anexo 9. De um total de 149 pessoas escolhidas originalmente para participar da consulta Delphi, 49%, ou seja, 73 efetivamente responderam a primeira rodada. Na segunda rodada, dos 73 especialistas 50% (37) finalizaram o questionário. Cumpre ressaltar o alto nível de conhecimento do setor de todos aqueles que participaram da consulta.

### 5.2.1 Resultados da aplicação do método multicritérios

A aplicação deste método permitiu a constatação de que alguns grupos de tecnologias aparecem como prioritárias e variam pouco nas simulações efetuadas, enquanto outras apresentam grandes variações. A figura 6 apresenta o posicionamento de cada tecnologia nas diversas simulações realizadas.

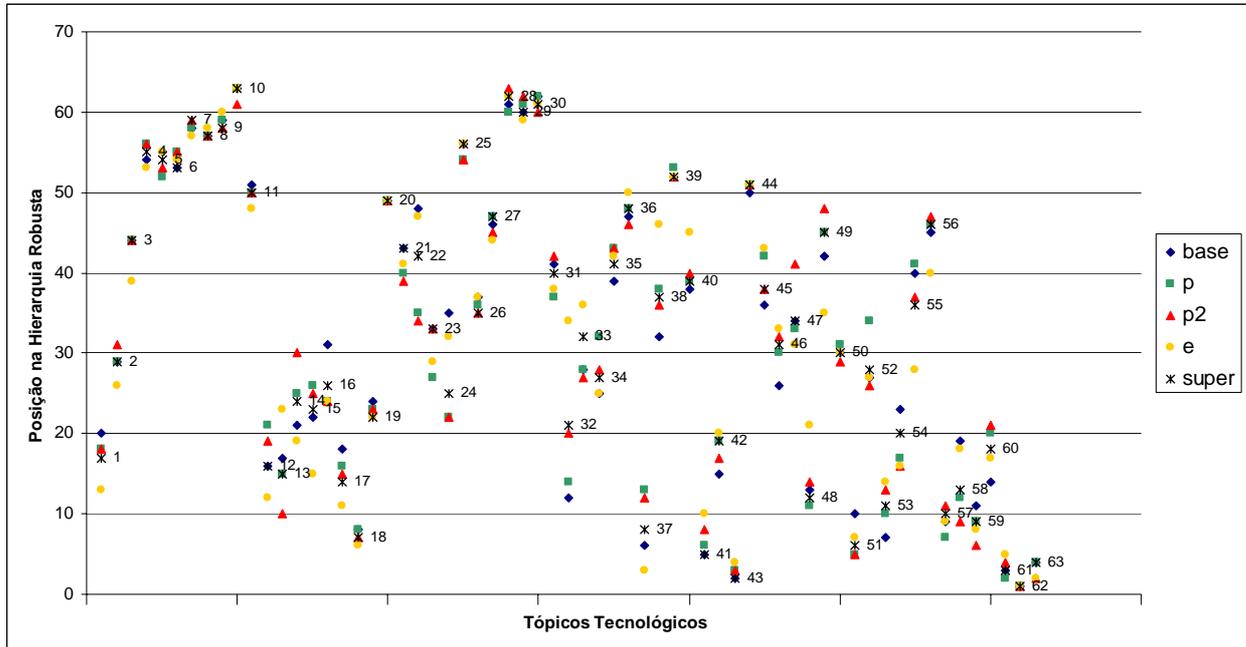


Figura 6: Resultados da hierarquização de acordo com cada simulação para o conjunto total dos tópicos tecnológicos

As listas hierarquizadas de tópicos tecnológicos geradas através das simulações que possibilitaram a análise de robustez dos mesmos, incluindo as listas das sínteses (B, E, P, P2 e super-síntese), podem ser encontradas no Anexo 10.

### 5.2.2 Conjuntos robustos de tecnologias com alta prioridade

As hierarquias produzidas, uma vez sobrepostas e comparadas, evidenciaram claramente os tópicos tecnológicos robustos e os sensíveis, quando submetidos às simulações realizadas. A tabela 3 abaixo apresenta os **sete tópicos tecnológicos que sempre aparecem nas dez primeiras colocações nas diversas simulações efetuadas.**

<i>Tópicos tecnológicos</i>	
62	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos de uso industrial
43	Desenvolvimento e implementação de tecnologias de transesterificação com etanol e metanol de óleos vegetais para utilização como biodiesel
61	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas utilizados nos setores de comércio e de serviços
63	Desenvolvimento de modelos de planejamento integrado
41	Etanol da cana de açúcar: melhoramento genético (inclusive transgênicos), novas tecnologias para a produção da cana e no processamento industrial
51	Desenvolvimento de sistemas elétricos isolados
18	Tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos para culturas de grandes volumes: cana, madeira, arroz, milho, soja, etc

Tabela 3: Tópicos tecnológicos prioritários “robustos”

Deve-se ainda observar que nenhum planejamento deverá considerar apenas os tópicos tecnológicos “mais robustos”, dado que estes foram obtidos por meio de simulações arbitradas pelos especialistas setoriais consultados, dirigidas por critérios, visões e métricas que podem variar se outros interlocutores forem consultados. Neste sentido, é importante destacar que a base de dados gerada pela consulta Delphi pode

ser trabalhada futuramente, de modo a gerar outras hierarquias construídas pelo emprego de critérios, visões e métricas distintas das utilizadas neste trabalho.

### 5.2.3 A influência dos especialistas na avaliação dos tópicos tecnológicos

Buscando-se verificar a influência do nível de especialidade do respondente na avaliação das tecnologias e sua priorização, foram alterados os pesos atribuídos aos respondentes de acordo com seu conhecimento declarado sobre cada tópico. A figura 7 apresenta a comparação da síntese **B** com a síntese **P2** mostrando a influência dos especialistas no ordenamento das tecnologias.

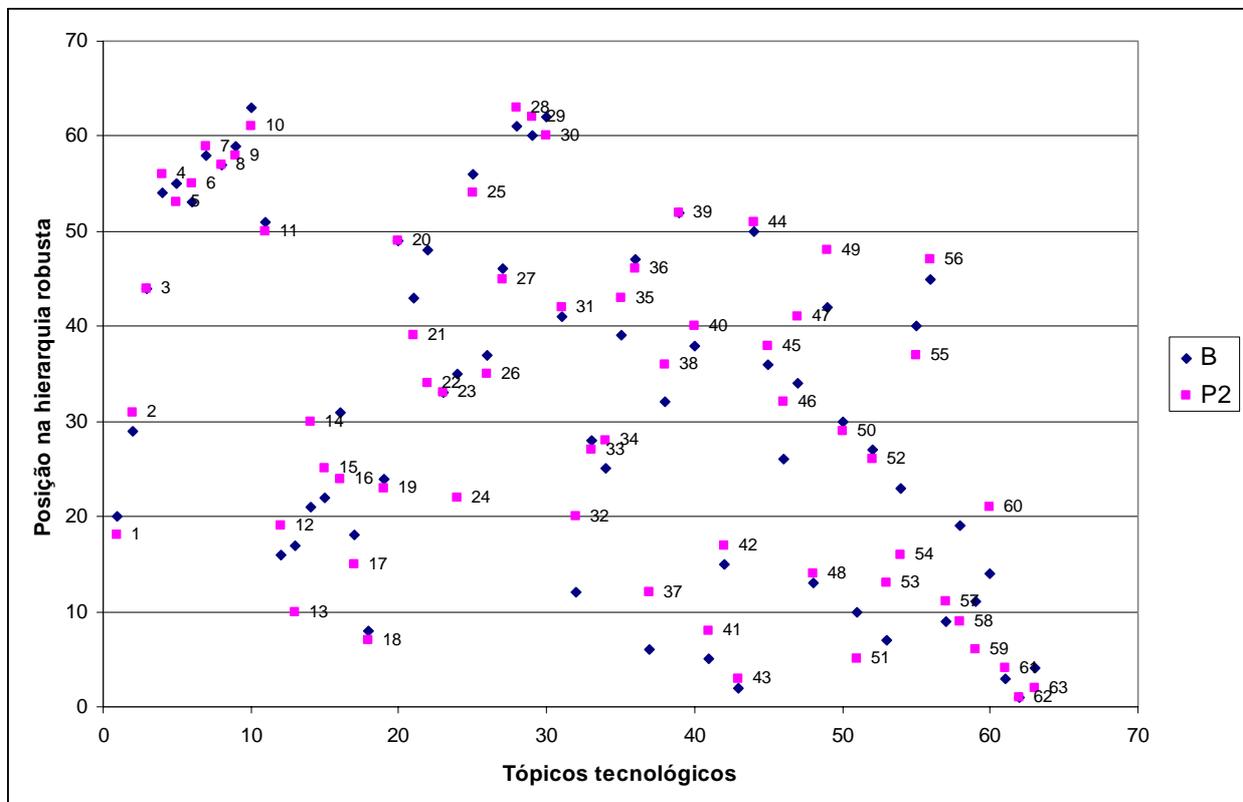


Figura 7: Variação na ordem de prioridades de cada tópico entre simulação B e P2: a influência dos especialistas

De uma maneira geral, pode-se observar que o grau de especialidade declarado pelos respondentes nas suas respostas para cada questão tem pequena influência na ordem de prioridade dos tópicos tecnológicos. Esta influência é refletida na escolha e ordenamento das 10 prioridades que pode ser observada ao se comparar as listas resultantes das sínteses B e P2, conforme tabelas 4 e 5 apresentadas abaixo:

---

<b>Nº</b>	<b>Tópicos tecnológicos</b>
62	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos de uso industrial
43	Desenvolvimento e implementação de tecnologias de transesterificação com etanol e metanol de óleos vegetais para utilização como biodiesel
61	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas utilizados nos setores de comércio e de serviços
63	Desenvolvimento de modelos de planejamento integrado
41	Etanol da cana de açúcar: melhoramento genético (inclusive transgênicos), novas tecnologias para a produção da cana e no processamento industrial
37	Tecnologias de uso do gás natural para substituição de óleo combustível
53	Tecnologias de células a combustível (PEM, óxido sólido, PEM-etanol), e dos sistemas auxiliares (reformadores, controles); integração à rede
18	Tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos para culturas de grandes volumes: cana, madeira, arroz, milho, soja, etc.
51	Desenvolvimento de sistemas elétricos isolados
57	Melhorias nas tecnologias de produção de hidrogênio

---

Tabela 4: Hierarquização dos dez primeiros tópicos tecnológicos atribuindo pesos iguais aos respondentes (**síntese B**)

Nº	Tópicos tecnológicos
62	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos de uso industrial
63	Desenvolvimento de modelos de planejamento integrado
43	Desenvolvimento e implementação de tecnologias de transesterificação com etanol e metanol de óleos vegetais para utilização como biodiesel
61	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas utilizados nos setores de comércio e de serviços
51	Desenvolvimento de sistemas isolados
59	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas de uso doméstico
18	Tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos para culturas de grandes volumes: cana, madeira, arroz, milho, soja, etc.
41	Etanol da cana de açúcar: melhoramento genético (inclusive transgênicos), novas tecnologias para a produção da cana e no processamento industrial
58	Tecnologias de armazenamento de energia e distribuição, melhoria da eficiência e segurança
57	Melhorias nas tecnologias de produção de hidrogênio

Tabela 5: Hierarquização dos dez primeiros tópicos tecnológicos, atribuindo maior peso ao grau de especialização do respondente (**Síntese P2**)

#### 5.2.4 Priorização por grupos de tecnologias

Além das listas hierarquizadas contendo todos os tópicos tecnológicos foi considerada relevante a apresentação de hierarquias dentro de cada um dos três grupos de tecnologias (G1, G2 e G3). Ressalta-se que estes grupos representam conjuntos de tecnologias que devem co-existir em qualquer planejamento, sendo importante, portanto, considerar como ficaram as prioridades “internas”, em cada grupo. Estas tecnologias também estão sujeitas a variações devido ao uso de diferentes ponderações para os critérios em cada visão do futuro e ao peso dado ao grau de especialização dos respondentes.

Utilizando a síntese **B** e separando os tópicos por grupo pode-se obter as dez prioridades em cada grupo, conforme apresentado nas tabelas 6,7 e 8 abaixo.

---

<b>Nº</b>	<b>Tópico Tecnológico</b>
18	Tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos para culturas de grandes volumes: cana, madeira, arroz, milho, soja, etc.
12	Modelos de gestão de reservatórios das hidrelétricas, com uso múltiplo da água
13	Metodologias e instrumentação para previsão e prognóstico de afluências
17	Tecnologias de produção agrícola e melhoramento genético de biomassa energética: cana de açúcar, madeira, dendê etc.
1	Tecnologias de micro-turbinas a gás (< 10kW)
14	Ferramentas (instrumentação e softwares) para inventário e monitoramento de bacias hidrográficas
15	Tecnologias para repotenciação de centrais hidrelétricas pequenas e médias
19	Tecnologias de combustão avançadas de biomassa e resíduos
2	Tecnologias para turbinas a gás de média potência (até 100 MW)
16	PCH: tecnologia de turbinas para baixas quedas e hidrocinéticas, geradores com rotação variável, controles de carga/frequência

---

Tabela 6: Grupo 1 - Tecnologias para geração de eletricidade - Hierarquização de tópicos

Nº	Tópico tecnológico
43	Desenvolvimento e implementação de tecnologias de transesterificação com etanol e metanol de óleos vegetais para utilização como biodiesel
41	Etanol da cana de açúcar: melhoramento genético (inclusive transgênicos), novas tecnologias para a produção da cana e no processamento industrial
37	Tecnologias de uso do gás natural para substituição de óleo combustível
32	Tecnologia para produção de óleo em águas profundas: Árvore de Natal molhada, sistemas de produção flutuante, Árvore de Natal na superfície
42	Etanol de hidrólise de ligno-celulósicos: tecnologias para hidrólise/fermentação via enzimática, ácida ou com solvente orgânico
34	Tecnologias de refino de óleos pesados
46	Desenvolvimento de coletores solares: materiais, manufatura e automação
33	Tecnologias de recuperação avançada de petróleo
38	Tecnologias de controle da poluição e de segurança na indústria de petróleo (produção, refino, distribuição, uso)
45	Lixo Urbano: domínio no país das tecnologias de incineração, biogás de aterros e compostagem sólida

Tabela 7: Grupo 2 - Tecnologias para suprimento de combustíveis (transporte e calor) - Hierarquização de tópicos

<b>Nº</b>	<b>Tópicos Tecnológicos</b>
62	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos de uso industrial
61	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas utilizados nos setores de comércio e de serviços
63	Desenvolvimento de modelos de planejamento integrado
53	Tecnologias de células a combustível (PEM, óxido sólido, PEM-etanol), e dos sistemas auxiliares (reformadores, controles); integração à rede
51	Desenvolvimento de sistemas isolados
57	Melhorias nas tecnologias de produção de hidrogênio
59	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas de uso doméstico
48	Automação, supervisão e controle de transmissão e distribuição
60	Tecnologias para redução de consumo energético a partir da melhor adequação de projetos de construção civil
58	Tecnologias de armazenamento de energia e distribuição, melhoria da eficiência e segurança

Tabela 8: Grupo 3 - Tecnologias de transmissão e distribuição, geração distribuída e armazenamento, planejamento, conservação e uso final - Hierarquização de tópicos

A partir das tabelas apresentadas, pode-se concluir que foi possível demonstrar a existência de um conjunto de tópicos tecnológicos que foram sempre bem avaliados e que permaneceram em posições de alta prioridade mesmo com fortes diferenças de ênfase em relação às três distintas visões de futuro. Esse conjunto “robusto” de tópicos tecnológicos indica a existência um alto consenso entre os respondentes do Delphi, além de apontar para oportunidades para novos investimentos em P&D de interesse para o setor de energia.

## **6 MAPEAMENTO DE COMPETÊNCIAS NA ÁREA DE ENERGIA**

O mapeamento de competências teve por objetivo apresentar as atividades correntes dos principais grupos de P&D na área energética do país e compreender a capacidade de articulação dos grupos de pesquisas com outras instituições. O intuito deste trabalho não foi fazer uma avaliação individual dos grupos de pesquisa, nem apresentar um censo de todos os grupos na área de energia. Procurou-se reunir um número suficiente de informações para obter um panorama atual das principais atividades temáticas conduzidas nas seguintes áreas: eletricidade, energia solar, biomassa, petróleo e gás, planejamento energético e usos finais de energia.

A análise realizada é baseada em informações coletadas no período de outubro a dezembro de 2003 sobre os principais projetos desenvolvidos pelos grupos de pesquisa consultados, considerando recursos financeiros, número de pesquisadores e instituições envolvidas. Analisa-se, também, a produção técnica mencionada e as parcerias mais importantes dos grupos com outras instituições, sejam elas empresas, instituições ou centros de pesquisa.

### **6.1 Metodologia**

O trabalho foi realizado com a colaboração de cinco especialistas, conhecedores das atividades de ensino, pesquisa e desenvolvimento em cinco áreas temáticas escolhidas pelo Grupo Consultivo do Exercício de Prospecção Tecnológica em Energia do CGEE.

Foi enviado um formulário para diversos especialistas de empresas e universidades que atuam em atividades de P&D na área de energia, para pesquisadores identificados como lideranças. O número variou para cada área temática, mas um mínimo de 20 nomes foi reunido para cada uma delas. Cada respondente inicial sugeriu novos nomes que também foram consultados.

Os especialistas responsáveis pela coleta e análise das informações estão relacionados a seguir:

---

Energia elétrica	Profa. Dra. Moema Soares de Castro, Universidade Federal de Campina Grande
Petróleo e gás natural	Prof. Dr. Denis Schiozer, Centro de Estudos do Petróleo, Universidade Estadual de Campinas
Planejamento energético e usos finais de energia	Prof. Dr. Gilberto De Martino Jannuzzi, Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético, Universidade Estadual de Campinas
Energia solar	Prof. Dr. Naum Fraidenaich, Universidade Federal de Pernambuco
Biomassa	Prof. Dr. José Roberto Moreira, CENBIO-Centro Nacional de Referência em Biomassa - USP

---

As informações coletadas abrangiam: informações do respondente; principais projetos; principais pesquisadores do grupo de pesquisa; produção técnica; parcerias; outras competências na área.

Apresentam-se, a seguir, os resultados sumarizados do levantamento:

## 6.2 Grupos de pesquisa

O índice de respostas obtidas a partir do preenchimento dos formulários variou bastante para cada uma das áreas escolhidas, mas o próprio especialista procurou complementar a avaliação das atividades de P&D com seu próprio conhecimento.

As atividades de P&D nas áreas de eletricidade, planejamento e solar ainda são apoiadas em sua grande parte por grupos situados em universidades. Na área de petróleo e gás natural, os principais grupos de pesquisa estão no CENPES, com forte relação, portanto, com a indústria (Petrobras), mas também existem diversos grupos espalhados por universidades de todo o país.

Uma tendência bastante recente, no caso de energia elétrica, é o surgimento de grupos privados, juntamente com os grupos acadêmicos tradicionais, que estão se dedicando a atividades financiadas pelos programas de P&D das concessionárias de eletricidade e supervisionados pela ANEEL. Esses grupos privados são firmas de consultoria e engenharia que estão sendo contratados para desenvolver projetos de interesse das

concessionárias. A participação relativamente maior das empresas de distribuição no financiamento das atividades de P&D introduziu um viés privilegiando temas mais relacionados com os aspectos da distribuição de eletricidade, pelo menos na amostra de grupos que responderam o questionário.

Com a criação do CT-Energ foi estabelecida nova repartição dos recursos oriundos das concessionárias de distribuição, transmissão e geração para P&D e eficiência energética, mantendo uma parcela sob controle da Aneel e direcionando outra para o FNDCT.

Na área de petróleo e gás natural é relevante mencionar o esforço específico para desenvolvimento de recursos humanos e infra-estrutura de pesquisa que inicialmente foi patrocinado pela Petrobras e mais recentemente pela ANP e pelo CT-Petro. A situação encontrada hoje é resultado de vários anos de investimentos nessa direção. Existem hoje 36 programas financiados pela ANP para qualificação de mão de obra totalizando 1500 bolsas de pós-graduação em todo o país.

A distribuição regional dos grupos mostra que existe uma concentração de representantes no Sudeste, no entanto, diversas universidades do Nordeste já estão desenvolvendo atividades significativas na área de petróleo e gás natural e também nas áreas de eletricidade, planejamento e fontes renováveis.

É importante observar que o tamanho dos grupos levantados é de cerca de 3-4 pesquisadores nas Universidades, existindo, em muitos casos, grupos com dois pesquisadores principais. É claro que muitos grupos se apóiam em alunos de pós-graduação, mas esse indicador sugere a relativa dispersão e pouca coordenação entre os pesquisadores.

No caso da biomassa, dada a disponibilidade de matéria-prima, a indústria do açúcar e do álcool, de papel e celulose e de ferro e aço se destacam no desenvolvimento de tecnologia. O Centro de Tecnologia da COPERSUCAR, durante muitos anos investiu US\$20 milhões/ano, estimulando o uso de novas variedades de cana, a modernização das usinas e o desenvolvimento de tecnologias de geração mais eficiente de eletricidade. A ARACRUZ possui tecnologia avançada de plantação de florestas e a KLABIN tecnologia de geração de energia a partir de biomassa. O setor de ferro e aço tem interesse no carvão vegetal produzido de plantações de florestas. Há um centro

de referência, porém as informações sobre tecnologia são escassas e sua maior atuação é na centralização de estatísticas.

O número total de pesquisadores envolvidos nas atividades acadêmicas identificadas na pesquisa, especialmente conduzida para este documento, atingiu a cifra de 70 profissionais distribuídos por 13 instituições, dos quais 7 são acadêmicas, 3 são instituições de pesquisa pública, uma é de pesquisa privada e duas são de empresas. Considerando que o levantamento foi parcial, estima-se em pelo menos 150 pesquisadores em centros de pesquisa, universidades e empresas como ativos no tema biomassa.

As seguintes áreas foram identificadas como concentrando boa parte das pesquisas científicas conduzidas no país: gaseificação de biomassa; produção de H<sub>2</sub> de biomassa e seu uso; utilização do biogás; produção e utilização do álcool; produção e utilização do biodiesel. Por outro lado, a atividade de pesquisa é modesta em: hidrólise de biomassa; produção de briquetes e produção de carvão vegetal. Conforme análise dos dados da base Lattes, os pesquisadores principais têm em média 13 anos de experiência.

No caso de energia solar, observa-se que existem diversos grupos com boa infraestrutura, com projetos bem definidos e com financiamento, desenvolvendo trabalhos relevantes à problemática da tecnologia solar (aquecimento de fluidos e fotovoltaicos) para o país. No entanto, dada a diversidade de temas, raramente existem mais de dois grupos trabalhando ou colaborando entre si.

A maior parte dos grupos consultados que trabalham com usos finais de energia e planejamento energético está situada também em universidades e, dentro destas, em institutos de economia, engenharias ou então em núcleos interdisciplinares ou tecnológicos. Os grupos mais ativos possuem uma boa interface com outros grupos que trabalham em áreas tecnológicas. Alguns desses grupos possuem pesquisadores que ao longo dos anos recentes desempenharam diferentes papéis como executivos ou consultores de agências de governo, empresas de energia (estatais e privadas) e agências reguladoras.

### 6.3 Financiamento dos grupos de pesquisa

O CT-Petro, CT-Energ e o financiamento das concessionárias aparecem já como as principais fontes de financiamento dos grupos de pesquisa levantados nas diversas áreas investigadas. O CNPq e as agências de fomento apresentam menor participação relativa.

No caso de eletricidade verifica-se que 75% dos grupos que responderam o formulário são financiados diretamente por concessionárias de eletricidade. Esse é um dado interessante e que deve ser analisado em termos de direcionamento temático das atividades em P&D e também de uma necessidade de maior coordenação para possibilitar o aproveitamento desses recursos (humanos e de infra-estrutura) para os projetos que possam também ser financiados pelo CT-Energ e CT-Petro.

Para permitir a manutenção da capacidade de alguns grupos de pesquisa em responder a editais do CT-Energ, em paralelo com as atividades demandadas pelas empresas de eletricidade, é interessante atentar para elaboração e posterior aprofundamento de estratégias de aproveitamento e formação de recursos humanos para essa área. O financiamento através das concessionárias tem possibilitado uma grande disseminação das atividades no país, uma vez que em geral as concessionárias locais procuram se relacionar com os grupos de universidades da região. Mas esta dinâmica será certamente afetada pela redução substantiva dos recursos para P&D devido à transferência de uma parcela, tanto dos recursos aplicados diretamente pelas concessionárias, quanto daqueles disponibilizados por meio do FNDCT/CT-Energ.

Ainda no caso de energia elétrica, a obrigatoriedade de investimentos em programas de eficiência energética pelas concessionárias tem também, de certa forma, contribuído para o financiamento das atividades em P&D na área de usos finais de energia. Neste caso, em particular temos a presença ainda mais significativa de firmas de engenharia e consultoria, além de grupos de pesquisas em universidades.

No caso da biomassa, os resultados da pesquisa indicaram envolvimento de pesquisadores em 32 projetos nacionais e em 6 projetos internacionais, perfazendo um valor total de R\$ 61.1 milhões sendo que, apenas uma das empresas tem projetos no valor de R\$ 31.5 milhões e um dos centros privados (CTC) tem projetos no valor de R\$ 13.3 milhões. Essa avaliação não inclui a PETROBRAS, para a qual não foi possível

fazer uma estimativa, mas que possivelmente deve ter investimentos da ordem de dezenas de milhões de reais no setor biomassa. Os projetos estão mais concentrados no setor de cana-de-açúcar e gaseificação e dispersos nos demais.

#### **6.4 Principais tipos de projetos e áreas de atividades**

##### *Usos finais de energia e planejamento energético*

Os grupos de pesquisa que trabalham nessa área têm tido um papel importante desenvolvendo programas de treinamento junto às agências ANEEL e ANP. Além disso, em anos recentes em decorrência da crise de fornecimento de eletricidade, muitos deles participaram de programas de treinamento em eficiência energética, junto a empresas de energia e federações de comércio e indústria locais.

As principais atividades em P&D em andamento são as seguintes:

- Levantamento de dados, desenvolvimento de bancos de informação, a aplicação de ferramentas de geo-referenciamento de dados;
- Desenvolvimento de modelos e softwares para apoio à decisão de interesse ao setor energético; metodologias para contabilizar efeitos e riscos ambientais do setor energético;
- Apoio ao desenvolvimento de padrões de normas técnicas, elaboração de metodologias de testes de conformidade e ensaios em laboratório para os principais equipamentos de usos finais, incluindo também painéis fotovoltaicos e geradores eólicos;
- Projetos de demonstração e desenvolvimento de protótipos de algumas tecnologias de uso final e geração de energia (em particular, refrigeração, aquecimento solar, energia eólica), incluindo análises de mercado;
- Análises de viabilidade técnico econômica e ambiental, incluindo considerações sobre ciclos de vida, contribuições para estudos de mudanças climáticas (incluindo trabalhos na área de co-geração, geração distribuída, sistemas convencionais de pequeno e grande portes);

- Trabalhos de apoio às atividades das agências de regulação: desenvolvimento de conceitos, critérios, análises abrangentes (do tipo estado da arte ou análise de conjuntura).

### *Eletricidade*

O levantamento das atividades dos grupos de pesquisa na área de eletricidade mostra as seguintes linhas principais:

**Geração:** As pesquisas desenvolvidas concentram-se na produção de eletricidade a partir de PCH'S, Biomassa e Fontes Alternativas de Energia.

**Transmissão:** Estão em andamento pesquisas objetivando o aumento de capacidade de transmissão, isto é feito através da otimização da distribuição de campo elétrico superficial - LPNE. Um outro aspecto em destaque é o da qualidade de energia elétrica, evidenciando-se a elaboração de metodologias para avaliação de perturbações no sistema elétrico, estudos envolvendo CEM e IEM, modelagem e simulação de sistemas que utilizam FACTS. Existem vários estudos de equipamentos, considerando-se a análise de desempenho, desenvolvimento de técnicas preditivas para avaliação de condições de operação; desenvolvimento de software.

**Distribuição:** Grande parte dos trabalhos em execução envolve as questões de redução de perdas e combate às fraudes. Um dos casos é a elaboração de metodologia para análise de perdas em alimentadores. O outro se refere à estimação da curva de demanda para consumidores de baixa tensão. No que diz respeito ao combate às fraudes há desenvolvimento de sistemas de medição remota de energia com vistas à tarifação, associada ao combate às fraudes. Considerando o processo de automação e atuação remota dos sistemas de medição configura-se a necessidade de implantação de software para viabilizar a comunicação através da rede de distribuição. Existem, também, pesquisas envolvendo software para a análise de transferência de distribuição, acompanhamento do balanço de energia e cálculo de campo eletromagnético. Estão sendo realizadas pesquisas para monitoração da qualidade de energia elétrica. Na análise das ações envolvendo equipamentos, constata-se o desenvolvimento de inversores; monitoramento e diagnóstico de equipamentos de subestações; análise de desempenho de pára-raios; desenvolvimento de técnicas preditivas para avaliar a degradação de isoladores poliméricos. Além das aplicações

básicas, está sendo desenvolvida a aplicabilidade da teoria de potência complexa, envolvendo análise de transitórios de máquinas síncronas e compensação de potência ativa e reativa em sistemas elétricos.

### *Petróleo e gás natural*

Neste caso, as principais áreas de atividades dos grupos estão bastante alinhadas com as prioridades estabelecidas pela Petrobras e pelo CTPetro.

No CENPES/Petrobras existem diversos projetos em várias categorias: pesquisa básica, aplicada e inovação tecnológica. Alguns dos resultados, entretanto, são de domínio apenas da empresa.

Nas universidades, a regra geral é de grupos de pesquisa com parceria com empresas (na grande maioria a própria Petrobras), com um bom nível de publicações científicas, mas sem muitos registros de inovação e patentes. Muitos dos grupos desenvolvem programas computacionais, mas poucos têm histórico de utilização pela indústria. Na maioria dos grupos, os avanços registrados são em metodologias, procedimentos e formação de recursos humanos.

De acordo com as respostas obtidas e busca no Diretório de Grupos de Pesquisa e Currículo Lattes, ambos do CNPq, e resultados de Editais financiados pela FINEP e CNPq, os principais grupos de pesquisa da área estão nas seguintes universidades: UNICAMP (Engenharia de Petróleo - Reservatórios, Poços, Produção -, Geociências, Refino); UFRJ/Coppe (Exploração de Petróleo, Águas Profundas, Refino); USP/IPT (Engenharia Naval – Águas Profundas, Geociências); PUC-RJ (Exploração, Perfuração); UFPE (Combustíveis, Gás Natural); UFRN (Refino); UFPR (Gás Natural); UFBA (Geociências, Gás Natural); UENF (Geociências); UFF (Geociências); UNESP (Geociências); ITA (Reservatórios); UFSC (Reservatórios); IMPA (Reservatórios).

Existe uma forte tendência de ampliação de atividades nas Universidades do Norte e Nordeste visto que grande parte dos recursos do CT-Petro é direcionada para essas regiões.

### *Biomassa*

Cana de Açúcar: na área agrícola, os maiores interesses estão na identificação de novas variedades de cana com maior produtividade, resistência a pragas e doenças e

espécies de desenvolvimento precoce, para o propósito de ampliar a época da colheita de cana. Na área de colheita da cana destaca-se o desenvolvimento de colheitadeiras mecânicas de alta eficiência e produtividade para a separação eficaz de cana e de palha. Na área de transformação da cana em açúcar e álcool há espaço modesto para diminuir as perdas nas diversas etapas do processo, porém não se antevêem grandes inovações, visto que a eficiência total já supera os 90%.

Quanto à utilização do álcool, o grande impulso recente foi devido à comercialização do veículo *flexfuel*, iniciativa conduzida essencialmente pelos fabricantes de automóveis e sem nenhuma atuação dos institutos de pesquisa e academia. Outra atividade de grande potencial é a utilização do álcool em misturas com o diesel envolvendo diversos centros de tecnologia no país. Em médio e longo prazos, o álcool pode vir a ser utilizado como combustível para células a combustível.

Essas atividades são em quase sua maioria conduzidos pelo CTC, da Universidade de Campinas, que tem programas contínuos nas áreas de pesquisa e desenvolvimento da cana.

### *Papel e Celulose*

Esse setor tem crescido sistematicamente no país e a competição internacional requer contínuos avanços tecnológicos. As fábricas têm se aparelhado para gerar mais energia a partir da biomassa, mas a tecnologia sendo usada é a da turbina a vapor. Alguns poucos trabalhos acadêmicos existem, geralmente propondo soluções técnicas envolvendo gaseificação ou alertando a sociedade e os tomadores de decisão para o potencial energético disponível.

### *Carvão Vegetal*

Os avanços técnicos têm sido feitos em empresas que utilizam o produto, ou pela concessionária de eletricidade de Minas Gerais. A atividade é economicamente importante no país e merece mais interesse dos centros de pesquisas e da universidade. Há grande potencial de melhoria na conversão de madeira em carvão aumentando a produtividade e o uso de subprodutos. Há necessidade de estudos para garantir o uso sustentável de madeira como matéria-prima.

### *Biodiesel*

Nos últimos dois anos aumentou o interesse do governo e da sociedade sobre o assunto “biodiesel” e atividades de demonstração sendo conduzidas por empresas, como é o caso da Biolix, da Petrobras e da Agropalma. O principal objetivo é verificar a viabilidade do biodiesel competir comercialmente com o diesel num futuro próximo. No Brasil o interesse tem se concentrado, principalmente, numa nova técnica de transesterificação usando etanol. Desde o ano 2000, ressalta-se a atuação da universidade (USP), Centros de Pesquisas (TECPAR e COPPE) e de empresários (ABIOVE) para testes de biodiesel em motores de veículos.

### *Energia solar*

Existem três grandes áreas de atuação: conversão heliotérmica, conversão fotovoltaica e estudos sobre o recurso solar.

## **6.5 Principais tipos de parcerias**

Na área de planejamento energético, nota-se uma forte inserção de alguns grupos acadêmicos nacionais em projetos internacionais. Alguns grupos, e notadamente alguns pesquisadores, possuem papel relevante, inclusive na coordenação de projetos de pesquisas financiados ou conduzidos por agências ou universidades do exterior em temas relacionados com planejamento energético e efeitos ambientais. Isso é interessante, na medida em que historicamente o papel desses profissionais tem sido menos relevante no próprio país. Alguns grupos já possuem mais de 20 anos de atividades e foram responsáveis pela formação de profissionais que hoje lideram novos grupos de pesquisas em praticamente todo o território nacional. Os principais e maiores grupos se localizam no Sudeste, mas existe registro de atividades de planejamento energético sendo desenvolvidas em praticamente todas as universidades públicas e várias privadas. Os programas de P&D e Eficiência Energética têm sido responsáveis pelo surgimento e manutenção de diversos desses grupos.

No setor de óleo e gás, já existe uma tradição da Petrobras em estabelecer parcerias com universidades para formação de recursos humanos, apoiando programas de pós-graduação. Mais recentemente, a ANP vem apoiando com bolsas de estudos alunos de

pós-graduação em 36 universidades de todo o país. No que se refere a projetos de pesquisa, a maioria dos grupos atuais estão sendo financiados através do CT-Petro.

As atividades realizadas pela Petrobras/CENPES são constituídas por projetos de natureza básica e aplicada, e muitos produtos se transformam em inovações absorvidas pela Petrobras. Nas universidades, a parceria com as empresas, vinculada em grande parte aos editais CT-Petro, tem resultado em grande número de publicações mas sem registro de patentes ou inovações. Na sua maioria os avanços registrados são de cunho metodológico, procedimentos e formação de recursos humanos. A Petrobras tem sido a principal parceira dos grupos de pesquisas, com ausência de outras companhias de petróleo e gás de porte internacional ou localizadas no exterior. Muitos dos grupos de pesquisa possuem contatos com universidades no exterior.

Na área de energia solar, existe uma crescente oferta de prestação de serviços dos grupos de pesquisas para os ministérios, utilizando laboratórios e bancadas de testes para verificação de características de painéis fotovoltaicos ou sistemas de bombeamento de água. Existe também boa parceria entre grupos acadêmicos e empresas como Cemig, CHESF, Petrobras, Eletrobrás, CEEE e CEAM.

Foi detectada, também, uma atividade, ainda incipiente, de prestação de serviços pelo setor privado intermediado pelo Sebrae.

Na área de biomassa, foram identificadas diversas instituições que atuam em parceria, envolvendo universidades (UNIFEI, UNIFACS, Unicamp, UNIR, Cenbio/USP, UFPA), centros de pesquisa (IPT, Cientec) e empresas (Cetesb, Copersucar).

As atividades relacionadas com energia elétrica começam a se beneficiar cada vez mais de uma aproximação com as concessionárias de eletricidade. Anteriormente havia uma concentração dessas atividades no CEPEL, e mais recentemente os grupos acadêmicos começaram a trabalhar mais diretamente qualificando profissionais de empresas através da participação em projetos de pesquisa e de eficiência energética.

## 7 CONCLUSÕES

Conforme ressaltado na introdução deste documento, o país encontra-se em um processo de planejamento da matriz energética nacional considerando diferentes expectativas futuras sobre o desempenho e papel das tecnologias de energia que possam contribuir para promover a sustentabilidade e o bem estar social. Neste sentido, torna-se fundamental priorizar investimentos de forma a atender aos problemas críticos e aproveitar as oportunidades identificadas nesta perspectiva, levando em conta os condicionantes institucionais existentes.

Este exercício de prospecção tecnológica em energia permitiu captar as diferentes percepções que os especialistas possuem no que se refere às quatro dimensões de avaliação de tecnologias consideradas (técnico-econômica, social, ambiental e estratégica) e a metodologia empregada permitiu discutir objetivamente a priorização de tecnologias e recomendar aprofundamentos para grupos específicos de tecnologias.

Nesse contexto, os tópicos tecnológicos robustos, considerados prioritários, foram:

- 62 - Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos de uso industrial
- 43 - Desenvolvimento e implementação de tecnologias de transesterificação com etanol e metanol de óleos vegetais para utilização como biodiesel
- 61 - Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas utilizados nos setores de comércio e de serviços
- 63 - Desenvolvimento de modelos de planejamento integrado
- 41 - Etanol da cana de açúcar: melhoramento genético (inclusive transgênicos), novas tecnologias para a produção da cana e no processamento industrial
- 51 - Desenvolvimento de sistemas elétricos isolados
- 18 - Tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos para culturas de grandes volumes: cana, madeira, arroz, milho, soja, etc.

*Investimentos em P&D em tecnologias e materiais para melhoria de eficiência energética do setor industrial* aparece como principal prioridade em praticamente todas as simulações realizadas, exceto naquelas onde há valorização dos impactos sociais associados às tecnologias. Nesses casos, *as tecnologias associadas ao biodiesel*

assumem a liderança, devido principalmente aos efeitos na geração de empregos e contribuições ao desenvolvimento regional.

Esforços relacionados ao *desenvolvimento e aplicação de modelos de planejamento integrado de recursos* também são apontados como prioritários, significando que esse tópico recebeu boas avaliações dos respondentes e, mesmo considerando as três visões contrastantes de futuro, permaneceu como prioridade.

O recente episódio do racionamento pode explicar parcialmente a alta valoração dos tópicos relacionados com eficiência energética e a necessidade de planejamento, pois historicamente esses itens não têm recebido tamanha relevância. Essa experiência pode ter contribuído para deixar mais evidente o potencial e a contribuição dessas atividades para o desenvolvimento do setor de energético nacional. Deve-se mencionar que duas questões (*impactos na geração e/ou aumento da eficiência energética e contribuição para qualidade de energia e segurança do suprimento*) contidas no conjunto de tópicos foram mantidas em todas as simulações com pesos relativamente altos (variando de 24% a 28%). Isso ajuda a explicar a alta priorização dos tópicos relacionados com eficiência energética, que foram bem valorados pelos respondentes.

Tecnologias para o *desenvolvimento de sistemas elétricos isolados* embora tenham permanecido entre as prioridades foram as que apresentaram maior variação quando comparam-se as três visões. Estas naturalmente apresentam-se em posições mais relevantes quando os aspectos sociais são priorizados e perdem posições quando os aspectos associados à visão ambiental e individual são priorizados. Nesses dois casos, é provável que a percepção de impactos ambientais e possivelmente maiores custos unitários da exploração de PCHs e geração de energia através de biomassa expliquem essa variação de prioridades.

A *exploração energética da biomassa* também aparece como destaque em futuros investimentos em P&D, seja para o *desenvolvimento de biodiesel*, seja como melhorias na *produção de etanol e aproveitamento de resíduos de biomassa*.

É importante notar que tecnologias associadas aos sistemas de energia mais convencionais e usados em larga escala (petróleo e energia hidroelétrica, por exemplo) não aparecem aqui entre as tecnologias prioritárias (a não ser implicitamente, em sistemas isolados, planejamento e conservação), provavelmente porque a análise

buscou priorizar os esforços de desenvolvimento tecnológico para o futuro e, certamente, a percepção dos consultados é que P&D agregaria relativamente pouco a estas tecnologias consideradas já maduras.

Dentre os itens prioritários pode-se notar que um é ligado especificamente à “*Geração de energia elétrica*”; dois referem-se à produção de “*Combustíveis para calor e transportes*”; e quatro estão nos tópicos mais gerais de “*Conservação de energia, Interfaces e Planejamento*”.

O levantamento das atividades correntes dos grupos de pesquisa identificados neste trabalho mostra que existem atividades em praticamente todos os principais tópicos tecnológicos avaliados na consulta Delphi. A densidade e qualidade das atividades não é homogênea e é possível notar que na sua grande maioria os grupos são de tamanho reduzido e se concentram em universidades.

Uma análise do porte dos projetos e da produção técnica mostra uma situação diferenciada: alguns poucos grupos são capazes de gerenciar grandes projetos, mas a maioria trabalha com projetos de menor porte. Os grupos também demonstram dispor de razoável infra-estrutura para suas atividades. Observa-se uma boa produção acadêmica, relatórios, participações em eventos internacionais, o que reflete a realidade da atividade de P&D realizada essencialmente dentro das universidades, segundo a amostragem pesquisada. A aproximação deles com empresas é de uma maneira geral algo mais recente, mas vem se verificando de maneira crescente.

As implicações do presente levantamento para subsidiar decisões em política de P&D parecem indicar que, uma vez priorizadas as áreas de P&D, deverá haver um esforço de melhor articular os grupos existentes já atuantes na área, aumentar sua qualificação e número de profissionais.

## 8 RECOMENDAÇÕES

A identificação de um conjunto de sete tópicos tecnológicos que se destacaram como prioritários em qualquer simulação realizada e a produção de várias hierarquias (listas priorizadas) de tópicos tecnológicos relevantes para o setor de energia constituem os principais resultados deste exercício de prospecção em energia. Apesar de estes resultados formarem um consenso dentro de um grupo altamente qualificado, o processo não se encerra, de modo que recomendamos que o mesmo tenha continuidade de modo a:

- (a) divulgar e difundir estes resultados de forma a se obter uma avaliação mais ampla deste exercício prospectivo junto à sociedade;
- (b) possibilitar a efetiva incorporação dos resultados no processo decisório, particularmente no que diz respeito à aplicação de recursos do CT-Energ;
- (c) aprofundar a discussão e estudo dos tópicos selecionados de modo a promover a discussão quanto a mecanismos de investimentos, metas, procedimentos de transferência de tecnologia ou formação de incubação tecnológica. É importante destacar que, com a massa de dados obtida pela consulta, podem ser realizadas diversas análises e simulações, com o uso de diferentes métodos e técnicas, conforme os interesses e as questões que se deseja responder.
- (d) elaborar novas propostas de exercícios prospectivos na área de energia, com vistas ao aprofundamento de questões levantadas e discutidas neste relatório bem como permitir a incorporação de novos temas de interesse para o sistema de CT&I e monitorar, de forma sistemática, aquelas tecnologias consideradas críticas para o país.
- (e) estimular, com base na identificação da capacidade instalada no país e nas deficiências apontadas no mapeamento de competências, maior interação entre os grupos de pesquisa existentes, aprimorar os mecanismos de investimentos para torná-los mais eficientes no sentido de incentivar a competitividade, a permanência e ampliação de grupos de excelência e o resultado acadêmico-tecnológico.