



cgEE

Prospecção Tecnológica  
**Energia**



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

Prospecção Tecnológica  
**Energia**

COORDENAÇÃO GERAL

Marcio de Miranda Santos (Diretor Executivo – CGEE)

COORDENAÇÃO CIENTÍFICA

Gilberto De Martino Jannuzzi – Unicamp (Coordenador)

Isaías de Carvalho Macedo – Unicamp

Brasília, novembro 2005

Prospecção Tecnológica em Energia

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)

Evando Mirra de Paula e Silva

*Presidente*

Marcio de Miranda Santos

*Diretor Executivo*

Paulo Afonso Bracarense

*Diretor*

Projeto gráfico e design: Anderson Moraes

SCN Q. 2 Bl. A Corporate Financial Center, sala 1102

70712-900 Brasília, DF - Tel: (55.61) 424-9600 - Fax: (55.61) 424-9661

[www.cgge.org.br](http://www.cgge.org.br)

e-mail: [info@cgge.org.br](mailto:info@cgge.org.br)

Prospecção Tecnológica em Energia / Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.

Brasília: CGEE, 2005

141p.

1. Prospecção tecnológica 2. Energia 3. Foresight 4. Planejamento em CT&I  
5. Sustentabilidade 6. Delphi

CDU 620.9:62.001.76

Impresso em Brasília, 2005

# Prospecção Tecnológica

# Energia

## COORDENAÇÃO GERAL

Marcio de Miranda Santos (Diretor Executivo – CGEE)

## COORDENAÇÃO CIENTÍFICA

Gilberto De Martino Jannuzzi – Unicamp (Coordenador)

Isaías de Carvalho Macedo – Unicamp

## 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

## 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 – Prospecatar/MCT

Isaías de Carvalho Macedo – Unicamp

Marcio de Miranda Santos – CGEE

Marcos José Marques – INEE

Maria Aparecida Stallivieri Neves – Projeto Tendências

Mauro Zackiewicz – CGEE e 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 e GEOPI/Unicamp

Nelson Fontes Siffert Filho – BNDES



# 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<sub>2</sub> 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.



# Participantes

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

Gonzalo Enriquez - UFPA  
Helen Khoury - UFPE  
Hélio Guedes de Campos Barros - MCT  
Hélvio Neves Guerra - Aneel  
Henrique José Ternes Neto - Lactec  
Homero Gonçalves de Andrade - Cepel  
Homero Schneider - Cenpra  
Hugo Túlio Rodrigues - Projeto Tendências  
Idel Metzger - Abdib  
Isaías de Carvalho Macedo - Consultor Independente  
Ivan Aragão - Celpa  
Jaime Buarque Hollanda - INEE  
Jamil Haddad - EFEI  
Jane Maria Damaceno - Eletroacre  
Jeremias Alencar - RTG  
João Caldas do Lago Neto - UFAM  
João Roberto Barbosa - ITA  
João Roberto Pinto - CNPq  
João Tavares Pinho - UFPA  
José A. D. Dieguez - IPEN  
José Aderaldo Lopes - IbenBrasil  
José Alcides Santoro Martins - CTGás  
José Augusto Lima Barreiros - UFPA  
José Carlos Gomes Costa - MME  
José Carlos Medeiros - Eletronorte  
José do Patrocínio Hora Alves - UFS  
José Elieser de Oliveira Jr. - UFAC  
José Goldemberg - Governo do Estado de São Paulo  
José Henrique Diniz - Cemig  
José Leonaldo Souza - UFAL  
José Luiz Pereira Brittes - CPFL  
José Maldonado - INT  
José Nadir de Oliveira - Senai  
José Roberto Moreira - Megawatt Projetos  
José Valter Alves Santos - Nepen  
Josealdo Tonholo - UFAL  
Josiane Calado - UFAL  
Juarez Benigno Paes - UFCG  
Júlio A. Leitão - Chesf  
Júlio Militão - UNIR  
Laércio de Sequeira - Finep  
Leandro Dalla Zen - Cientec, RS  
Lélio Fellows Filho - CGEE  
Leonardo Bitencourt - UFAL  
Lúcia Carvalho Pinto de Melo - CGEE  
Luciana Xavier Capanema - Finep  
Luís Augusto Barbosa Cortez - Unicamp  
Luís Claudio Silva Frade - Eletronorte  
Luís Coradine - UFAL  
Luís Fernando Figueira da Silva - PUC-RJ  
Luiz Augusto Horta Nogueira - Unifei  
Luiz Eduardo Caron - Lactec  
Luiz Fortunato - ONS  
Luiz Henrique Alves de Medeiros - UFPE  
Luiz Paulo Faria - Eletrobras  
Luiz Pereira Ramos - UFPR  
Lusérgio Sales de Souza - Bovesa  
Magali Correia - UFCG  
Manoel Afonso Carvalho - UFPE  
Manoel Fernandes Martins Nogueira - MME  
Manoel Firmino de Medeiros Jr. - UFRN  
Manoel Régis Lima Verde Leal - Copersucar  
Marcelo Khaled Poppe - MME  
Marcelo Mesquita da Silva - CER  
Marcio de Miranda Santos - CGEE  
Marco Antônio Wanderley Cavalcanti - UFPB  
Marcos Branche - CEA  
Marcos Freitas - ANA  
Marcos José Marques - INEE  
Maria Aparecida Stallivieri Neves - Finep

Maria Cecília Lustosa - UFAL  
Maria da Graça Ferraz - MPEG  
Maria de Fátima Araújo Bringel - CREA  
Maria Eugênia Vieira da Silva - UFC  
Maria Helena Castro Lima - Adene  
Maria José Palmeira - Ucsal  
Maria Madalena Diegues - MCT  
Maria Regina da Silva Aragão - UFCG  
Maria Tereza Garcia Duarte - INT  
Maurício Tolmasquim - MME  
Mauro Zackiewicz - CGEE/GEOPI/Unicamp  
Máximo Luiz Pompermayer - ANEEL  
Miguel J. Dabdoub - USP, Ribeirão Preto  
Moema Soares de Castro - UFPB  
Mônica Dorigo Correia - UFAL  
Naum Fraidenraich - UFPE  
Nelson Fontes Siffert Filho - BNDES  
Nelson Martins - CEPTEL  
Newton Pimenta Neves Jr - Ceneh/Unicamp  
Nivaldo Roberto Ferreira - UFBA  
Norma Ely S. Santos - UEPA  
Osvair Trevisan - Unicamp  
Osvaldo Lívio Soliano Pereira - Unifacs  
Paulo Augusto Leonelli - MME  
Paulo César V. de Lucena - Ceron  
Paulo Emílio V. de Miranda - COPPE/UFRJ  
Paulo Gusmão - Projeto Tendências  
Paulo Roberto Krahe - Projeto Tendências  
Pedro Bezerra - Chesf  
Raimar Van Den Bylaardt - ANP  
Raimundo Ruy Pereira Bahia - Unama  
Raimundo Tarcísio - Coelce  
Ralph Lima Terra - Abdib  
Rejane Moraes Duzat - INPA  
Ricardo Pretz - PTZ Fontes Alternativas de Energia  
Roberto Bacellar Alves Lavor - Artek Industrial  
Roberto Ferreira de Lima Cefet, AM  
Roberto G. Jardim - Projeto Tendências  
Roberto Gregório Silva Júnior - Lactec  
Roberto Nogueira Franca - INB  
Roberto Schaeffer - UFRJ  
Roberto Zilles - USP  
Rodolfo Dourado M. Gomes - Unicamp  
Rodrigo Sarmento Garcia - MME  
Rogério P. Kluppel - Solartech  
Rômulo Alves Oliveira - Nepen  
Ronaldo R. B. de Aquino - UFPE  
Rubem César R. Souza - UFAM  
Rulemar Pessoa Silva - Aneel  
Sara Macedo dos Santos - UFRN  
Saul Barisnik Suslick - Unicamp  
Sebastian Yuri Catunda - UFMA  
Secundino Soares Filho - Unicamp  
Semida Silveira - Sustainable Vision  
Sérgio C. Trindade - SE²T International  
Sérgio Catão - Ecoluz SA  
Sérgio Colle - UFSC  
Sérgio Peres - UFPE  
Sérgio Valdir Bajay - NIPE/Unicamp  
Silas Sarmento - CGEE  
Silvério Visacro Filho - UFMG  
Simone M. da Silva - UFRPE  
Soila Maria Brilhante de Souza - UFPA  
Suani T. Coelho - Cenbio/USP  
Vladimir Levit - UFAL  
Washington Luiz Neves - UFCG  
Wellington dos Santos Mota - UFCG  
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)  
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)  
Se²T 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





# Sumário

<b>Participantes</b> . . . . .	11
Instituições participantes . . . . .	14
<b>Apresentação</b> . . . . .	21
<b>Introdução</b> . . . . .	23
Tendências Tecnológicas para Energia . . . . .	25
<b>Prospecção Tecnológica no CGEE</b> . . . . .	33
<b>Exercício de Prospecção Tecnológica em Energia</b> . . . . .	35
Objetivos . . . . .	35
Metodologia . . . . .	36
Etapas de execução . . . . .	38
Etapa I . . . . .	38
Etapa II . . . . .	39
<b>Resultados do Exercício de Prospecção em Energia</b> . . . . .	47
Etapa I . . . . .	47
Etapa II . . . . .	47
Resultados da aplicação do método multicritérios . . . . .	48
Conjuntos robustos de tecnologias com alta prioridade . . . . .	49
A influência dos especialistas na avaliação dos tópicos tecnológicos . . . . .	50
Priorização por grupos de tecnologias . . . . .	53
<b>Mapeamento de competências na área de energia</b> . . . . .	57
Metodologia . . . . .	57
Grupos de pesquisa . . . . .	59
Financiamento dos grupos de pesquisa . . . . .	63
Principais tipos de projetos e áreas de atividades . . . . .	64
Usos finais de energia e planejamento energético . . . . .	64
Eletricidade . . . . .	66
Petróleo e gás natural . . . . .	67
Papel e Celulose . . . . .	70
Carvão Vegetal . . . . .	70
Biodiesel . . . . .	70
Energia solar . . . . .	71
Principais tipos de parcerias . . . . .	71
<b>Conclusões</b> . . . . .	75
<b>Recomendações</b> . . . . .	81
<b>Anexo 1</b> . . . . .	83
Lista dos tópicos tecnológicos . . . . .	83
<b>Anexo 2</b> . . . . .	89
A técnica Delphi . . . . .	89
<b>Anexo 3</b> . . . . .	93
O método multicritérios de apoio à decisão . . . . .	93
<b>Anexo 4</b> . . . . .	97
Questionário Delphi . . . . .	97

1. Auto-Avaliação: avalie seu nível de especialização e conhecimento no grupo de tecnologias abaixo . . . . .	97
2. Custos finais da energia . . . . .	98
3. Impactos sobre a balança comercial nacional . . . . .	98
4. Risco tecnológico e risco comercial . . . . .	99
6. Capacitação nacional . . . . .	99
7. Efeitos de transbordamento . . . . .	100
8. Impacto da tecnologia na geração e/ou no aumento da eficiência energética. . . . .	100
9. Contribuição para a qualidade da energia e a segurança do suprimento .	100
10. Impactos no clima global . . . . .	101
11. Impactos sobre os recursos naturais. . . . .	101
12. Impactos no ambiente local . . . . .	102
13. Impacto sobre o emprego . . . . .	102
14. Impactos sobre o desenvolvimento econômico regional . . . . .	103
15. Impactos na universalização do atendimento de energia . . . . .	103
16. Avaliação pessoal sobre desempenho futuro . . . . .	104
<b>Anexo 5 . . . . .</b>	<b>105</b>
Métrica adotada nas questões do questionário Delphi e composição dos critérios. . . . .	105
<b>Anexo 6 . . . . .</b>	<b>109</b>
Visões de futuro . . . . .	109
Visão 1 - Escolha individual. . . . .	109
A visão da sociedade. . . . .	109
Conseqüências para o setor de energia . . . . .	110
Soluções particulares para necessidades individuais . . . . .	110
Alta demanda para energia de baixo custo: necessidades básicas. . . . .	110
Suprimento “robusto” de energia - para os que concordam em pagar mais	111
Soluções ecológicas para nichos do mercado . . . . .	111
Necessidades crescentes de transporte e mobilidade . . . . .	111
Visão 2 - Equilíbrio ecológico . . . . .	112
A visão da sociedade. . . . .	112
Conseqüências para o setor de energia . . . . .	112
Busca de tecnologias energéticas com baixo impacto ambiental. . . . .	112
Diversificação nas fontes de suprimento. . . . .	113
Conservação das fontes de energia . . . . .	113
Armazenamento local e transporte de energia a longas distâncias . . . . .	113
Visão 3 - Igualdade Social . . . . .	114
A visão da sociedade. . . . .	114
Conseqüências para o setor de energia . . . . .	114
Tecnologias intensivas em mão de obra . . . . .	114
Soluções regionais . . . . .	114
Geração descentralizada. . . . .	115

Custos compartilhados (das políticas para a igualdade) e tecnologias de baixo risco . . . . .	115
<b>Anexo 7 . . . . .</b>	<b>117</b>
Visões extremadas. . . . .	117
<b>Anexo 8 . . . . .</b>	<b>119</b>
A participação dos respondentes ao questionário Delphi . . . . .	119
<b>Anexo 9 . . . . .</b>	<b>123</b>
Simulações completas . . . . .	123



## 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-Energia<sup>1</sup>), 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.

---

<sup>1</sup> O documento de Diretrizes Estratégicas do Fundo Setorial de Energia (CT-Energia) 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>.

Este processo, financiado com recursos do FNDCT e por encomenda do CT-Energia, 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.

## 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, 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.

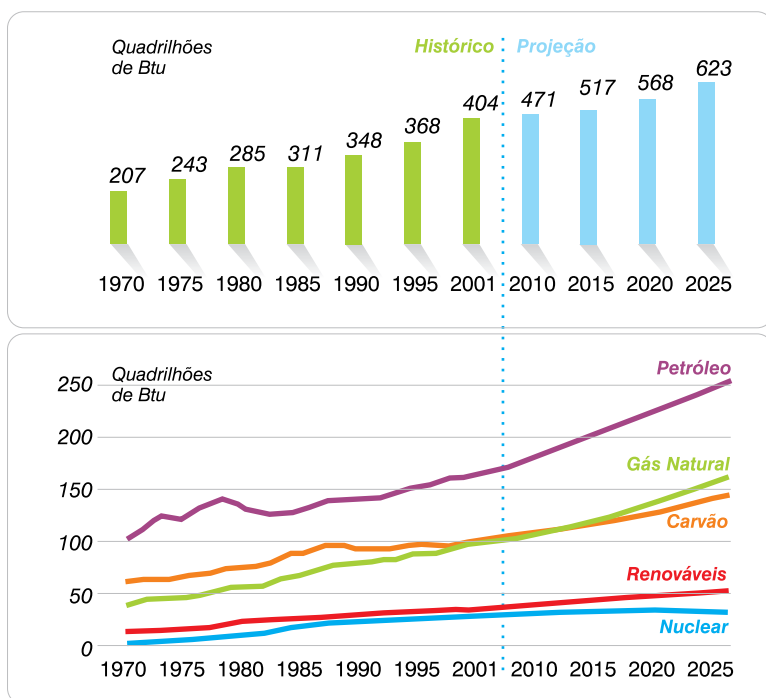
### **Tendências Tecnológicas para Energia**

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 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

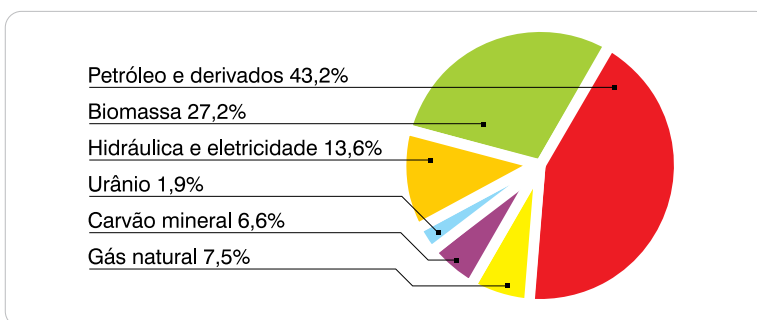
Fonte: History: Energy Information Administration (EIA), International Energy Annual 2001, DOE/EIA-0219(2001) Washington, DC, February 2003, [www.eia.gov.br/iea](http://www.eia.gov.br/iea). Projections: EIA, System for the Analysis of Global Energy Markets 2004.

O Brasil caminha na direção da matriz energética mundial, onde há uma maior participação de gás natural e uma menor participação

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

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<sub>2</sub> – 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

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

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 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<sub>2</sub> 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 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.

## Prospecção Tecnológica no CGEE

---

<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)

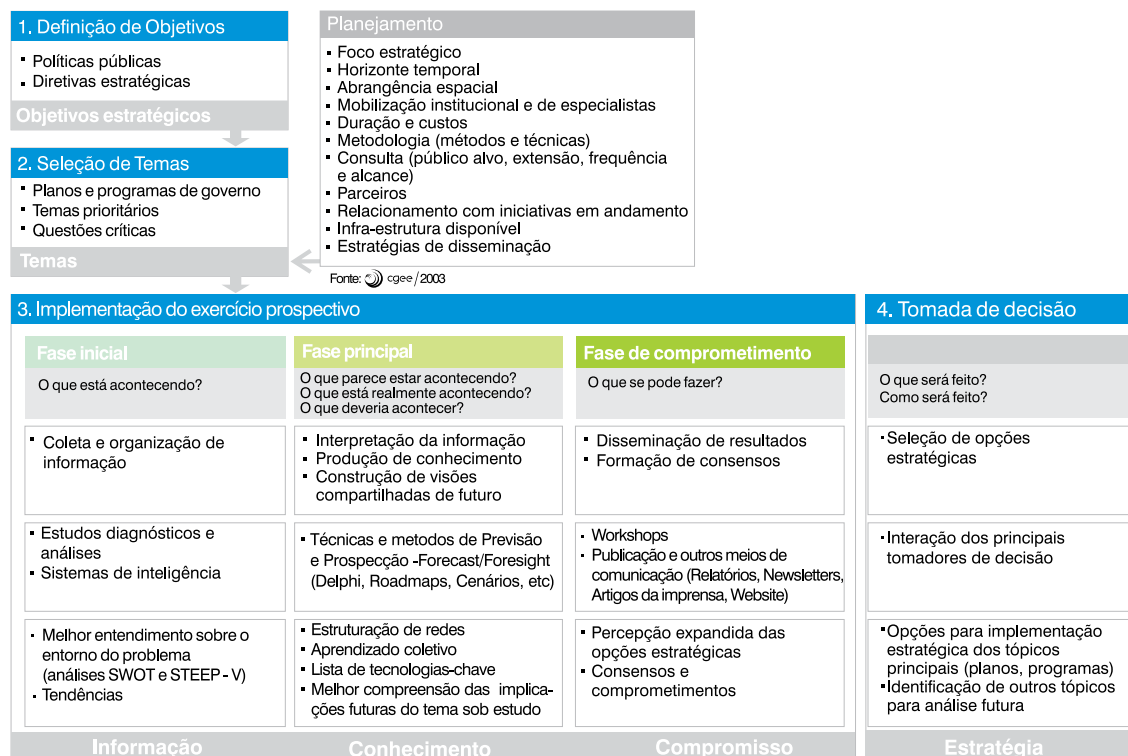
A metodologia de prospecção tecnológica em uso pelo CGEE é baseada na abordagem denominada *foresight*<sup>5</sup>, atualmente uma das mais utilizadas internacionalmente para auxiliar o estabelecimento de prioridades de pesquisa e desenvolvimento e para promover o alinhamento das políticas de CT&I às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

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

# Exercício de Prospeção Tecnológica em Energia

## 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.

## **Metodologia**

Para planejamento e acompanhamento do exercício foram constituídos dois grupos consultivos que atuaram durante as etapas I e II.

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).

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.

---

<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.

## 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.

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>.

---

<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 infra-estrutura 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.cgee.org.br/prospeccao/>)

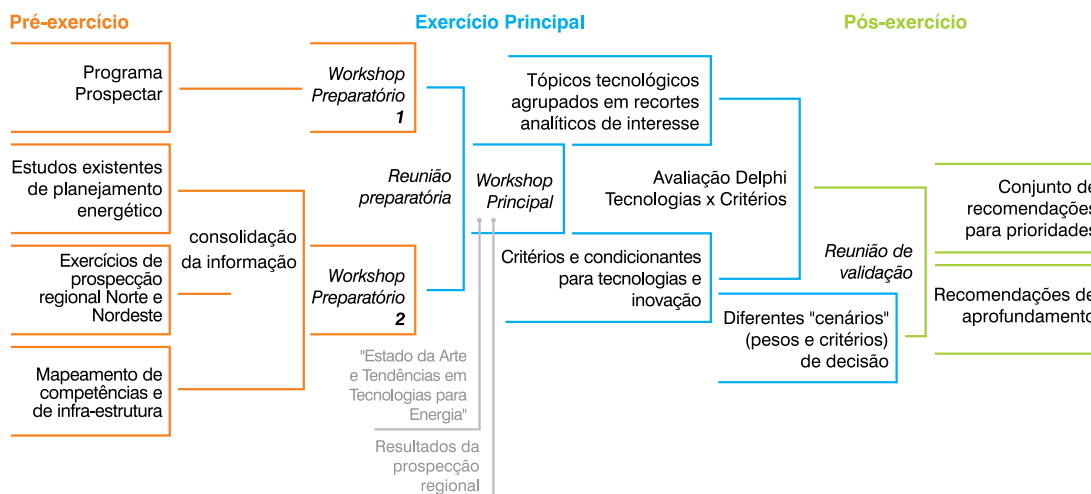
---

<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/>)

## 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 4 apresenta esquematicamente as ações desenvolvidas nas etapas I e II, ao longo de 2002 e 2003.



**Figura 4** Diagrama esquemático do exercício de prospecção em energia

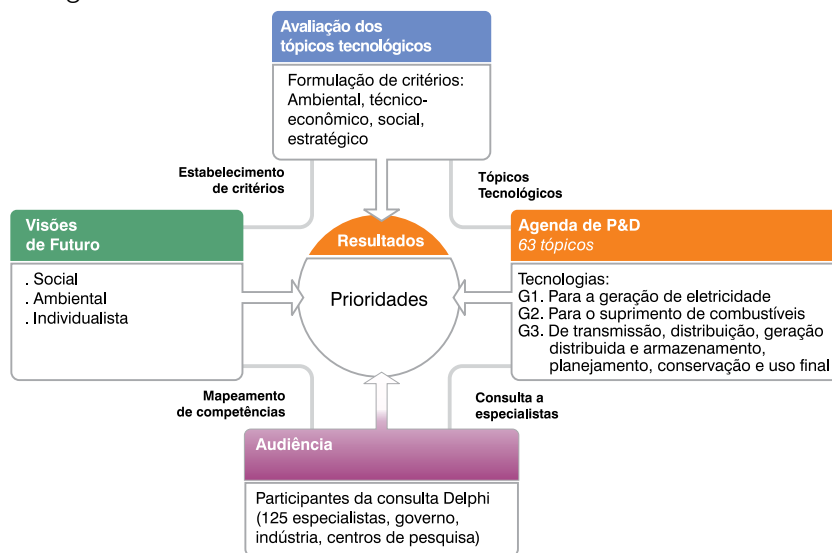


Dada a complexidade em se estabelecerem as dimensões de análise e os critérios a serem empregados neste exercício, optou-se por estabelecer um Grupo Consultivo para a Etapa II, composto por especialistas em Energia e na aplicação de métodos para estudos de futuro, bem como de representantes de governo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

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.

**Tabela 1** Relação entre critérios e questões do Delphi

Dimensões	Critérios	Questões
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

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.

**Tabela 2** Relação entre critérios e visões de futuro

Visões		Base		
		Social	Ambiental	Individualista
Critérios	Questões			
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 – Prazos 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 – Impactos no Desenvolvimento de regiões	5,51%	1,84%	2,94%
C.14	Q14a-d(2) Impactos no desenvolvimento	5,51%	1,84%	2,94%
C.15	Q15 – Impactos 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%

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.

# Resultados do Exercício de Prospecção em Energia

## *Etapa I*

---

<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.cgge.gov.br/prospeccao/>)

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.

## *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 9, onde os resultados são apresentados, questão a questão



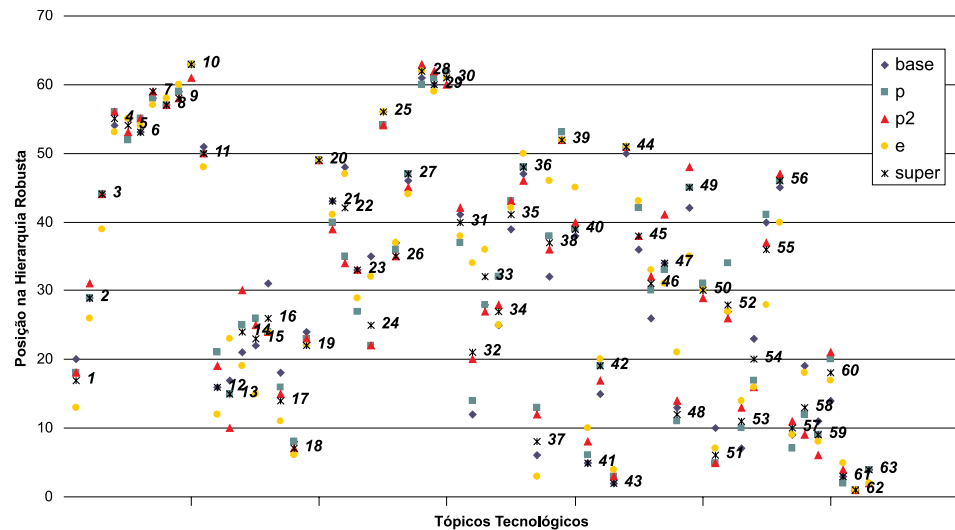
e priorizados de acordo com os valores médios obtidos na avaliação dos especialistas.

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 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 8. 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.

#### *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 9.

#### *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.

**Tabela 3** Tópicos tecnológicos prioritários “robustos”

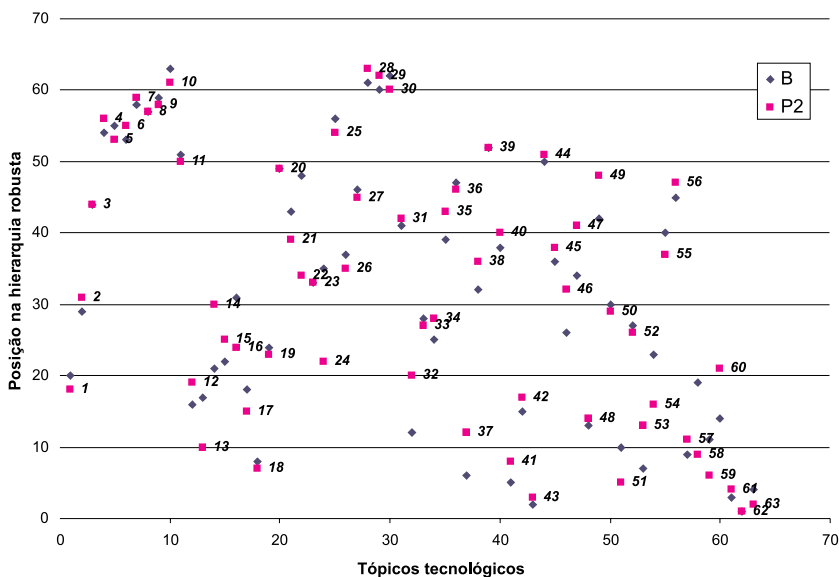
Tópicos tecnológicos	
62	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos de uso industrial
43	Desenvolvimento e implementação de tecnologias de transesterificação com etanol e metanol de óleos vegetais para utilização como biodiesel
61	Tecnologias e materiais para aumento 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

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.

#### *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 na tabela 4:

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

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

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

### *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.

**Tabela 6** Grupo 1. Tecnologias para geração de eletricidade. Hierarquização de tópicos

<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 aflúências
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/freqüência

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

---

**Tópicos tecnológicos**

---

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 8** Grupo 3. Tecnologias de transmissão e distribuição, geração distribuída e armazenamento, planejamento, conservação e uso final. Hierarquização de tópicos

---

**Tópicos Tecnológicos**

---

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

---

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.





## **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.

### **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	Prof <sup>a</sup> . Dr <sup>a</sup> . Moema Soares de Castro UFCG
Petróleo e gás natural	Prof. Dr. Denis Schiozer Centro de Estudos do Petróleo Unicamp
Planejamento energético e usos finais de energia	Prof. Dr. Gilberto De Martino Jannuzzi Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético Unicamp
Energia solar	Prof. Dr. Naum Fraidenaich UFPB
Biomassa	Prof. Dr. José Roberto Moreira 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:

### **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 infraestrutura 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 infra-estrutura, 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.

## 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.

## **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 cogeração, 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.

### **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.



## 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 valorização 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.





## 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.

# Anexo 1

## Lista dos tópicos tecnológicos

### 1. Tecnologias para a geração de energia elétrica

#### Combustíveis fósseis

1. Tecnologias de micro-turbinas a gás (< 5kW);
2. Tecnologias para turbinas a gás de média potência (até 30 MW)
3. Ciclos híbridos (Turbinas a Gás e solar; T. G. e células a combustível ) incluindo sistemas de armazenamento (CAES)
4. Combustão avançada de carvão (CAFBC supercrítico; PFBC);
5. Gasificação de carvão e ciclo combinado (IGCC);
6. Tecnologias para de-sulfurização de carvão; limpeza de gases, uso e disposição de resíduos.

#### Nuclear

7. Tecnologia mais adequada para implementação até 2040 (acompanhamento e participação em projetos de P&D no exterior);
8. Tecnologia do ciclo do combustível nuclear (continuidade do desenvolvimento nacional);
9. Tecnologias de reatores avançados (acompanhamento, participação; tipo PWR, IRIS);
10. Ciclos avançados de combustível nuclear (alta queima e conversão).

#### Energia Renovável

##### *Hidráulica*

11. Hidrogeradores: modelagem, monitoração e diagnóstico;

- 12 Modelos de gestão de reservatórios das hidrelétricas, com uso múltiplo da água;
- 13 Metodologias e instrumentação para previsão e prognóstico de afluências;
- 14 Ferramentas (softwares, instrumentação): inventário e monitoramento de bacias hidrográficas;
- 15 Tecnologias para aumento de competitividade de centrais hidrelétricas pequenas e médias; re-potenciação de hidrelétricas;
- 16 PCH: tecnologia de turbinas para baixas quedas e hidrocinéticas; periféricos: geradores com rotação variável, controles de carga/freqüência.

#### Biomassa

- 17 Tecnologia de produção agrícola de “biomassa energética”: cana de açúcar, madeira, dendê, outras; melhoramento genético e produção;
- 18 Tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos para culturas de grandes volumes: cana, madeira, arroz, milho, soja, etc;
- 19 Tecnologias de combustão avançadas (biomassa, incluindo resíduos);
- 20 Tecnologias de combustão mista (biomassa com carvão e gás natural);
- 21 Gasificação em pequeno porte (< 100 kW);
- 22 Gasificação em grande porte (10 – 100 MW) com ciclo combinado; diversos conceitos.

#### Solar Fotovoltaica

23. Tecnologias para produção de células fotovoltaicas (diversos conceitos);

24. Tecnologias para componentes (sistemas eletrônicos, conversores, conexão, armazenamento de energia, medidores).

Solar Termo-elétrica

25. Tecnologia dos sistemas e componentes: materiais, rastreamento, armazenagem térmica (concentradores parabólicos, cilindro-parabólicos e torre central).

Eólica

26. Tecnologia de máquinas para situações específicas no Brasil (regimes de vento, sistemas “pequenos” eficientes);

27. Tecnologias de integração de parques ao sistema interligado (incluindo armazenamento, sistemas híbridos).

Geotérmica

28. Acompanhamento dos desenvolvimentos para sistemas hidrotérmicos no exterior;

29. Investigação de potenciais no Brasil.

Ondas e marés

30. Tecnologia: avaliação de (modelos) sistemas alternativos, conversores e custos de produção no Brasil.

## 2. Tecnologias para suprimento de combustíveis (transporte e calor)

Combustíveis fósseis

31. Tecnologias de exploração (petróleo): sismologia e geofísica de poços, uso de imagens de satélites);

32. Tecnologia para produção de óleo em águas profundas (Árvore de Natal molhada, sistemas de produção flutuante, Árvore de Natal na superfície);

33. Tecnologias de recuperação avançada de petróleo;
34. Tecnologias de refino de óleos pesados;
35. Melhoria da qualidade dos derivados de petróleo (limites de S na gasolina e diesel);
36. Tecnologias de suporte à produção de gás na Amazônia;
37. Tecnologias de uso do gás natural (substituição de óleo combustível);
38. Tecnologias de controle da poluição e de segurança na indústria de petróleo (produção, refino, distribuição, uso);
39. Carvão: tecnologias de gasificação.

#### Energia Renovável (Biomassa)

40. Carvão Vegetal: tecnologias avançadas de carvoejamento (eficiência, uso dos sub-produtos); carvão vegetal e pirólise;
41. Etanol da cana de açúcar: melhoramento genético, inclusive transgênicos; produção da cana; e tecnologias no processamento industrial;
42. Etanol de hidrólise de ligno-celulósicos: tecnologias para hidrólise / fermentação via enzimática, ácida ou com solvente orgânico;
43. Bio-diesel: desenvolvimento e implementação de tecnologias de transesterificação com etanol e metanol de óleos vegetais; utilização do bio-diesel;
44. Metanol de biomassa: tecnologias de gasificação da biomassa; investigação de rotas alternativas (DME, Hidrogênio);
45. Lixo Urbano: domínio no país das tecnologias de incineração, biogás de aterros e compostagem sólida;

Solar (baixa temperatura)

46. Desenvolvimento de coletores solares: materiais, manufatura, automação.

3. Tecnologias de transmissão e distribuição, geração distribuída e armazenamento, planejamento, conservação e uso final

Transmissão / Distribuição de energia elétrica

47. Tecnologias de redes (estrutura, materiais, equipamentos); HTS (supercondutores a alta temperatura), cabos poliméricos com maior resistência; tecnologias para aumento de capacidade de linhas;

48. Automação, supervisão, controle: FACTS, automação na distribuição, controles eletrônicos de potência específicos (proteção);

49. Tecnologias para medição e tarifação;

50. Tecnologias para garantia da qualidade da energia;

51. Desenvolvimento dos sistemas isolados.

Geração distribuída e armazenamento de energia elétrica

52. Tecnologia para pequenas turbinas a gás (1-25 kW): obtenção de maior eficiência;

53. Tecnologias de células a combustível (PEM, óxido sólido, PEM-etanol), e dos sistemas auxiliares (reformadores, controles); integração à rede;

54. Tecnologia de sistemas híbridos: PV ou turbinas a gás mais células a combustível;

55. Tecnologia de motores estacionários;

56. Tecnologia para armazenamento em ar comprimido (CAES).



## Hidrogênio

- 57. Melhorias nas tecnologias de produção (eletrólise; gasificação; reforma; fotoquímica; outras);
- 58. Tecnologias de armazenamento de energia (hidretos metálicos, tanques) e distribuição; eficiência e segurança.

## Conservação – Uso final

- 59. Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas: uso doméstico;
- 60. Tecnologias para redução de consumo energético com projetos adequados de construção civil;
- 61. Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas: setor de comércio e serviços
- 62. Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos: uso industrial (inclusive co-geração e geração distribuída);

## Planejamento

- 63. Desenvolvimento de modelos de planejamento integrado, incluindo diversas fontes de energia, tecnologias para uso eficiente, meio ambiente, etc.

## Anexo 2

### A técnica Delphi

O uso do Delphi como técnica orientadora do processo de prospecção proporciona a participação de um grande número de especialistas e estabelece um canal de comunicação entre eles, uma vez que existe a possibilidade de uma nova consulta onde os respondentes podem observar suas respostas em relação ao conjunto dos respondentes. Por ocasião dessa segunda consulta (ou 2<sup>a</sup>. Rodada) o respondente pode modificar sua avaliação original, ou mantê-la e justificar, se assim desejar. Esse efeito por si só já é considerado um aspecto positivo do exercício, do ponto de vista da circulação de informações e mobilização para reflexão sobre o futuro, os desafios colocados ao país, as novas possibilidades tecnológicas e as conseqüências para a definição de políticas e prioridades de fomento público à ciência, tecnologia e inovação.

Os possíveis efeitos da adoção de novas tecnologias para energia são muitos e é alta a complexidade envolvida para sua previsão. Para a consulta Delphi aos especialistas foram consideradas as dimensões Técnico-Econômica, Estratégica, Ambiental e Social. Essas dimensões foram aquelas apresentadas no documento de Diretrizes Estratégicas do CT-Energ. Cada uma delas foi detalhada em diferentes componentes mais específicos. Os componentes

das dimensões prospectivas deram origem a 22 questões para o Delphi. Além delas, mais duas questões de controle foram incorporadas, uma acerca do grau de especialidade do respondente nos tópicos tecnológicos e outra que procurou captar uma avaliação global do tópico tecnológico.

A técnica Delphi é empregada como uma expansão de uma discussão presencial e visa a obtenção de consenso por meio de rodadas de questionários com retorno controlado. O conjunto de tópicos tecnológicos previamente selecionado é enviado a um grande número de potenciais respondentes e sobre eles são feitas perguntas estruturadas em escalas tratáveis estatisticamente. Após cada rodada, os resultados são tratados e o questionário reenviado àqueles que responderam. Nesse momento, cada participante pode reavaliar sua resposta anterior em vista da opinião consolidada de todos os outros participantes. Ele pode então alterar ou manter sua avaliação anterior, conforme já mencionado. Na prospecção tecnológica em energia foram executadas duas rodadas. Na primeira rodada, cada participante respondeu o questionário independentemente. Na segunda rodada, o respondente pode comparar a sua resposta ao conjunto de respostas do grupo, alterá-la se desejar e fazer comentários por escrito.

O questionário Delphi da prospecção tecnológica em energia foi preparado para funcionar através de interface eletrônica em tempo real pela Internet. Cada respondente do conjunto de especialistas selecionado recebeu um código pessoal e uma

senha para acessar o questionário a partir da página do CGEE na Internet. Os resultados do Delphi foram tratados estatisticamente e organizados de modo a alimentar um modelo multicritério de apoio à decisão para produzir a lista de tópicos tecnológicos prioritários.

A estratégia adotada para comparar os diferentes tópicos em cada questão foi usar o histograma da distribuição das categorias disponíveis para cada questão. A mediana das categorias foi o indicador utilizado para designar a tendência da distribuição. A mediana fornece uma medida que tem, entretanto, baixo poder discriminante. Oportunamente, isso implica numa razoável garantia de que quando houver diferença entre medianas o significado do conjunto das respostas entre os tópicos em questão é suficientemente díspar para que se possa estabelecer uma diferenciação segura entre elas.

Em outras palavras, essa estratégia de transposição de dados do Delphi para o modelo multicritérios já incorpora um intervalo de segurança dentro do qual a comparação entre tópicos não é possível. Se tivéssemos que gerar uma hierarquia com apenas um critério de ordenação, a mediana das categorias nos daria poucos níveis de classificação. Porém, com a abordagem multicritério, essa mesma medida é capaz de gerar muito mais níveis, suficientes para uma análise detalhada.



## Anexo 3

### O método multicritérios de apoio à decisão

Considerando as características do problema de priorização sistematizadas acima, a opção escolhida para mediar sua execução foi a incorporação de sistemas de apoio à decisão capazes de hierarquizar alternativas concorrentes segundo um conjunto de diferentes critérios. Entre os algoritmos existentes, optou-se por uma versão simplificada do método multicritério ELECTRE III. O método compara o desempenho das alternativas para cada critério separadamente e gera uma hierarquia que sintetiza o resultado final, ordenando todas as alternativas no sentido da melhor para a pior.

Entretanto, os resultados gerados pelo método normalmente ultrapassam as indicações quantitativas ou qualitativas de ordenação e fornecem mapas de percepções, inter-relações e causalidades importantes e não perceptíveis num primeiro momento. Essas são características que estimulam o emprego desses métodos em gestão e planejamento para os casos em que a complexidade associada desautoriza análises e decisões simplistas.

O método ELECTRE III necessita de alguns parâmetros para gerar a ordenação dos tópicos. Para cada critério é definido um peso  $k$  maior ou igual a zero (o extremo zero significa desconsiderar

o critério na análise) e o sentido da preferência, crescente (1) ou decrescente (-1). Preferência crescente significa que medianas à direita nos histogramas (opiniões no sentido Baixo-Alto) determinam tópicos melhores (preferíveis) e preferência decrescente significa que medianas à esquerda nos histogramas (opiniões no sentido Alto-Baixo) determinam tópicos melhores (preferíveis). O ponto de partida para a aplicação do algoritmo do método é a matriz mostrada abaixo, contendo todas as alternativas avaliadas por todos os critérios. No presente estudo, a valoração  $g_i(x)$  foi obtida a partir das questões da consulta Delphi e representa - na maior parte dos casos - a mediana do conjunto das apreciações dos especialistas na questão correspondente ao critério considerado. Para alguns critérios, essa ligação não é direta, ou seja, são formados ou pela soma das medianas de duas ou mais questões ou por outros tipos de contagem (vide Anexo 2 para maiores detalhes).

		critérios				
		1	2	.	.	j
		$k_1$	$k_2$	.	.	$k_j$
alternativas	a	$g_1(a)$	$g_2(a)$	.	.	$g_j(a)$
	b	$g_1(b)$	$g_2(b)$	.	.	$g_j(b)$
	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.
	n	$g_1(n)$	$g_2(n)$	.	.	$g_j(n)$

Deve-se observar que nada impede que para cada critério se utilize uma escala de medida diferente, uma vez que o algoritmo de hierarquização realiza comparações critério por critério e não diretamente entre critérios. Para isso, ele associa a cada par de alternativas do conjunto de alternativas um valor denominado índice de credibilidade de que a supere b,  $c(a,b)$ , calculado a

partir da soma dos pesos dos critérios em que a alternativa a possui melhor ou igual valoração que a alternativa b, e dividido pela soma de todos os pesos. Os pesos não precisam somar 1 (ou 100%), esse cálculo normaliza automaticamente os pesos.

$$c(a,b) = \frac{\sum_{j \in C(aSb)} k_j}{\sum_{j \in F} k_j}$$

Onde  $C(aSb)$  é o conjunto dos critérios em que  $g_j(a) \geq g_j(b)$ ,  $F$  é o conjunto de todos os critérios do modelo e  $k_j$  é peso do critério  $j$ . Isso feito para todas os pares de alternativas gera a matriz de credibilidade, de onde sai a hierarquização final:

	$a$	$b$	...	$n$
$a$	1	$c(a,b)$	...	$c(a,n)$
$b$	$c(b,a)$	1	...	$c(b,n)$
...	...	...	1	...
$n$	$c(n,a)$	$c(n,b)$	...	1

O peso  $k$  associado a cada critério denota a importância relativa que este critério tem no conjunto  $F$ . Os pesos são parâmetros externos atribuídos pelo decisor. Desta forma, ele é obrigado a refletir sobre a importância dos critérios e não diretamente na importância das alternativas. Entretanto, se uma alternativa  $a$  possuir um vetor de valoração  $[g_1(a), g_2(a), \dots, g_j(a)]$  tal que  $\forall g_i(a) \geq g_i(b)$  então  $a$  sempre irá superar  $b$  independentemente do vetor peso associado ao problema (diz-se que  $a$  é uma alternativa dominante).

O modelo de decisão pode ter um ou mais vetores de pesos  $[k_1, k_2, \dots, k_j]$  determinados. Construir mais de um vetor de pesos é equivalente a estabelecer mais de uma “visão” sobre o problema, que depois são comparadas em busca de alternativas robustas.





## Anexo 4

### Questionário Delphi

1. *Auto-Avaliação: avalie seu nível de especialização e conhecimento no grupo de tecnologias abaixo*

Perito	
Conhecedor	
Familiarizado	
Não familiarizado	

Definições:

**Perito:** assinale se você se considerar dentro do grupo de pessoas que atualmente se dedica a este tópico com profundidade.

**Conhecedor:** use essa classificação nos seguintes casos:

- 1 Se você está se tornando um perito, mas falta alguma experiência para dominar o tópico;
- 2 Se você já foi um perito no tópico há alguns anos, mas se considera no momento pouco atualizado no tópico;
- 3 Se você trabalha em área próxima, mas contribui regularmente com temas relacionados a esse tópico.

**Familiarizado:** assinale se você conhece a maioria dos argumentos usados nas discussões sobre o tópico, leu sobre o assunto, e tem uma opinião sobre ele.

**Não familiarizado:** marque esta opção se você não se enquadra em nenhuma das categorias anteriores.

## 2. Custos finais da energia

Tomando como base os valores médios para os custos de energia encontrados hoje no Brasil, qual a expectativa nos próximos 20 anos para os custos finais da energia gerada com cada tecnologia abaixo?

Redução Muito Alta	
Redução Alta	
Redução Média	
Redução Baixa	
Nenhuma Redução	
Prefiro não responder	

## 3. Impactos sobre a balança comercial nacional

Em que medida os resultados dos investimentos realizados nessa tecnologia poderão alterar o SALDO da balança comercial nacional no que se refere às transações com energia? Em 2002 o Brasil importou cerca de US\$ 1,7 bilhão em equipamentos para o setor elétrico (14% do total de bens de capital importados). Para o setor de petróleo o déficit gira em torno de US\$ 1,8 bilhão (sem considerar custos com plataformas e navios).

Grande Perda no Saldo	
Média Perda no Saldo	
Pequena Perda no Saldo	
Sem alteração	
Pequeno Ganho no Saldo	
Médio Ganho no Saldo	
Grande Ganho no Saldo	
Prefiro não responder	

#### 4. Risco tecnológico e risco comercial

Indique a melhor composição para os riscos existentes para a viabilização destas tecnologias (risco = probabilidade de não ocorrer sucesso).

	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto	Prefiro não responder
Risco Tecnológico						
Risco Comercial						

#### 5. Prazo para implementação comercial da tecnologia no Brasil

Quanto tempo de P&D é ainda necessário para o início da implementação comercial destas tecnologias?

nenhum	
menos de 3 anos	
entre de 3 a 10 anos	
entre 10 a 25 anos	
mais de 25 anos	
Prefiro não responder	

#### 6. Capacitação nacional

Para cada tecnologia abaixo, faça sua avaliação sobre a capacitação existente e a importância estratégica dessa capacitação para o desenvolvimento sócio-econômico brasileiro. Considere separadamente capacitação em termos de pesquisa e desenvolvimento e capacitação para implantação comercial.

	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta	Prefiro não responder
<b>Capacitação</b>						
P&D						
Manufatura, comercialização, suporte, manutenção						
<b>Importância estratégica</b>						
P&D						
Manufatura, comercialização, suporte, manutenção						

### 7. *Efeitos de transbordamento*

Qual o potencial de cada tecnologia abaixo para nos próximos 20 anos gerar inovações ou outros desdobramentos em outras áreas?

Muito baixo ou nenhum	
Baixo	
Médio	
Alto	
Muito Alto	
Prefiro não responder	

### 8. *Impacto da tecnologia na geração e/ou no aumento da eficiência energética*

No período de 20 anos, considerados a implementação de novas tecnologias, poderá melhorar a oferta e o consumo de energia para a mesma produção de bens e serviços (aumento de eficiência energética). Qual o efeito relativo que cada tecnologia abaixo terá nesse sentido?

Muito baixo ou nenhum	
Baixo	
Médio	
Alto	
Muito Alto	
Prefiro não responder	

### 9. *Contribuição para a qualidade da energia e a segurança do suprimento*

No período considerado de 20 anos, a implementação de novas tecnologias poderá afetar a qualidade e a segurança de fornecimento energético. Qual o efeito relativo que as tecnologias abaixo terão nesse sentido?

Qualidade	
Grande Redução	
Redução Moderada	
Pequena Redução	
Nível equivalente ao atual	
Pequeno Aumento	
Aumento Moderado	
Grande Aumento	
Prefiro não responder	

Segurança	
Grande Redução	
Redução Moderada	
Pequena Redução	
Nível equivalente ao atual	
Pequeno Aumento	
Aumento Moderado	
Grande Aumento	
Prefiro não responder	

### 10. Impactos no clima global

Em 20 anos, que efeito essa tecnologia provocará nas emissões de CO<sub>2</sub> em relação às emissões provocadas pelo uso de combustível fóssil?

Grande Redução	
Redução Moderada	
Pequena Redução	
Nível Equivalente às Emissões Atuais	
Pequeno Aumento	
Aumento Moderado	
Grande Aumento	
Prefiro não responder	

### 11. Impactos sobre os recursos naturais

Quais são os efeitos esperados a partir do uso desta tecnologia em termos de pressão sobre recursos naturais (incluindo perda da biodiversidade e degradação ambiental, dentre outros efeitos)?

Grande Redução	
Redução Moderada	
Pequena Redução	
Nível Equivalente às Emissões Atuais	
Pequeno Aumento	
Aumento Moderado	
Grande Aumento	
Prefiro não responder	

### *12. Impactos no ambiente local*

Frente aos níveis atuais de emissões das tecnologias em uso, qual será o efeito na poluição do ar e águas com a adoção das tecnologias abaixo? (considerar o mesmo output de bens e serviços, de modo que tecnologias de uso mais eficiente da energia levem à redução da poluição em termos de qualidade do ar e águas e vice-versa?)

Grande Redução	
Redução Moderada	
Pequena Redução	
Nível Equivalente às Emissões Atuais	
Pequeno Aumento	
Aumento Moderado	
Grande Aumento	
Prefiro não responder	

### *13. Impacto sobre o emprego*

Que efeito cada tecnologia abaixo terá em relação ao número e qualidade de postos de trabalho nos próximos 20 anos, tomando como base a situação atual da tecnologia que ela substituiria?

Grande Redução	
Redução Moderada	
Pequena Redução	
Nível Equivalente às Emissões Atuais	
Pequeno Aumento	
Aumento Moderado	
Grande Aumento	
Prefiro não responder	

#### 14. Impactos sobre o desenvolvimento econômico regional

Em 20 anos, que benefício cada uma destas tecnologias trará em termos de desenvolvimento econômico, considerando cada região brasileira?

	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sul e Sudeste
Nenhum				
Pequeno ganho				
Médio ganho				
Grande ganho				
Prefiro não responder				

#### 15. Impactos na universalização do atendimento de energia

Qual a importância das tecnologias abaixo para promover a universalização do atendimento dos serviços comerciais de energia?

Muito baixa ou Nenhuma	
Baixa	
Média	
Alta	
Muito alta	
Prefiro não responder	



### 16. Avaliação pessoal sobre desempenho futuro

Incluindo outras considerações que você julgue relevantes, além das questões anteriores, qual sua previsão para o desempenho de cada tecnologia abaixo daqui a 20 anos?

Sem futuro (esta tecnologia será lembrada apenas como uma curiosidade científica)	
Pouco promissor (esta tecnologia será utilizada em aplicações muito específicas e de baixo impacto no geral)	
Promissor (esta tecnologia configurará uma trajetória importante e destacada no setor energético)	
Muito promissor (esta tecnologia se tornará dominante e gerará muitas novas aplicações no setor energético e em outros setores, com grandes impactos)	
Revolução (esta tecnologia alterará a forma que a sociedade se organiza, as relações de poder entre países, dentre outros impactos de grande magnitude)	
Prefiro não responder	

## Anexo 5

### Métrica adotada nas questões do questionário Delphi e composição dos critérios

A tabela abaixo apresenta a métrica adotada nas questões para o cálculo das médias e medianas, bem como a composição dos critérios que foram adotados para aplicação do método multicritérios.

Esp.	Q01 Especialidade	Perito	Conhecedor	Familiarizado	Não Familiarizado			
		3	2	1	0			
C.1	Q02 Custos Finais	Redução Muito Alta	Redução Alta	Redução Média	Redução Baixa	Nenhuma Redução		
		4	3	2	1	0		
C.2	Q03 Impactos Balança Comercial	Grande perda no saldo	Média perda no saldo	Pequena perda no saldo	Sem alteração	Pequeno ganho no saldo	Média ganho no saldo	Grande ganho no saldo
		-3	-2	-1	0	1	2	3
C.3	Q04 Riscos	indicador síntese = tecnológico+comercial						
	tecnológico	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto		
		4	3	2	1	0		
	comercial	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto		
		4	3	2	1	0		
C.4	Q05 Prazo para Implementação	Nenhum	Menos de 3 anos	Entre 3 e 10 anos	Entre 10 e 25 anos	Mais de 25 anos		
		0	1	2	3	4		
C.5	Q06a Capacitação Existente	indicador síntese = P&D+Indústria						
	P&D	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta		
		0	1	2	3	4		
	Indústria	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta		
		0	1	2	3	4		
C.6	Q06b Capacitação Conseqüente	indicador síntese = P&D+Indústria						
	P&D	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta		
		0	1	2	3	4		
	Indústria	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta		
		0	1	2	3	4		

		0	1	2	3	4		
C.7	Q07 Transbordo	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto		
		0	1	2	3	4		
C.17	Q08 Impacto na geração e eficiência	Muito baixa ou nenhuma	Baixa	Média	Alta	Muito Alta		
		0	1	2	3	4		
C.8	Q09a Qualidade	Grande redução	Redução moderada	Pequena redução	Nível equivalente ao atual	Pequeno aumento	Aumento moderado	Grande aumento
		-3	-2	-1	0	1	2	3
C.16	Q09b Segurança	Grande redução	Redução moderada	Pequena redução	Nível equivalente ao atual	Pequeno aumento	Aumento moderado	Grande aumento
		-3	-2	-1	0	1	2	3
C.9	Q10 Impactos no clima global	Grande redução	Redução moderada	Pequena redução	Nível equivalente às emissões atuais	Pequeno aumento	Aumento moderado	Grande aumento
		3	2	1	0	-1	-2	-3
C.10	Q11 Impactos nos Recursos Naturais	Grande redução	Redução moderada	Pequena redução	Manutenção dos padrões atuais	Pequeno aumento	Aumento moderado	Grande aumento
		3	2	1	0	-1	-2	-3
C.11	Q12 Impactos no ambiente local	Grande redução	Redução moderada	Pequena redução	Manutenção dos padrões atuais	Pequeno aumento	Aumento moderado	Grande aumento
		3	2	1	0	-1	-2	-3
C.12	Q13 Impactos no Emprego	Grande redução	Redução moderada	Pequena redução	Manutenção dos padrões atuais	Pequeno aumento	Aumento moderado	Grande aumento
		-3	-2	-1	0	1	2	3
C.13	Q14a Impacto no Desenvolvimento de Regiões	indicador síntese = número de regiões com mediana = 2 ou 3 (Objetivo: destacar tecnologias com ganho no máximo de regiões)						
	Norte	Nenhum	Pequeno ganho	Moderado ganho	Grande ganho			
		0	1	2	3			
	Nordeste	Nenhum	Pequeno ganho	Moderado ganho	Grande ganho			
		0	1	2	3			
	Centro-Oeste	Nenhum	Pequeno ganho	Moderado ganho	Grande ganho			
		0	1	2	3			
	Sul e Sudeste	Nenhum	Pequeno ganho	Moderado ganho	Grande ganho			
		0	1	2	3			

<b>C.14</b>	<b>Q14b</b> <b>Impacto no</b> <b>Desenvolvimento</b>	indicador síntese = soma dos impactos nas 4 regiões (Objetivo: destacar tecnologias com máximo ganho)						
	Norte	Nenhum	Pequeno ganho	Moderado ganho	Grande ganho			
		0	1	2	3			
	Nordeste	Nenhum	Pequeno ganho	Moderado ganho	Grande ganho			
		0	1	2	3			
	Centro-Oeste	Nenhum	Pequeno ganho	Moderado ganho	Grande ganho			
		0	1	2	3			
	Sul e Sudeste	Nenhum	Pequeno ganho	Moderado ganho	Grande ganho			
		0	1	2	3			
<b>C.15</b>	<b>Q15</b> <b>Impacto na</b> <b>Universalização</b>	Muito baixa ou nenhuma	Baixa	Média	Alta	Muito Alta		
		0	1	2	3	4		
	<b>Q16</b> <b>Opinião síntese</b>	Sem Futuro	Promissor	Promissor	Muito Promissor	Revolução		
		0	1	2	3	4		



## Anexo 6

### Visões de futuro

A metodologia consiste em considerar alguns (neste caso, três) “visões” hipotéticas da sociedade brasileira para os próximos anos; estas visões representam conjuntos extremos (divergentes) de valores da sociedade, que conduziriam a três “futuros energéticos” diversos em 2020. Os três conjuntos de valores são:

- 1 - Escolha individual
- 2 - Equilíbrio ecológico
- 3 - Igualdade social

Para simplicidade de nossa análise escolhemos esses casos contrastantes, sendo que na realidade o futuro ideal desejado poderá ser uma combinação dos mesmos. O PPA, por exemplo, está próximo da Visão 3, mas há pontos da Visão 2 (e até de 1).

### Visão 1 - Escolha individual

#### *A visão da sociedade*

Neste caso haveria um predomínio de valores de interesse particular, onde os cidadãos estariam prioritariamente interessados em otimizar seus benefícios individuais.

Em 2020 a liberdade individual seria o principal valor da sociedade

no Brasil; por isto a estrutura de mercados liberalizados é estabelecida com muita ênfase na decisão do consumidor. Transparência de custos e livre competição assegurariam que o povo teria a possibilidade de escolher produtos e serviços de acordo com suas necessidades e preferências pessoais. O conjunto de opções iria desde o atendimento das necessidades básicas a baixo custo até produtos sofisticados (alto conforto ou ecológicos) a alto custo.

## **Conseqüências para o setor de energia**

### *Soluções particulares para necessidades individuais*

As companhias de energia oferecem produtos customizados e combinações de serviços. Eles incluem pacotes “padrão” de multi-utilidades, mas também soluções especializadas, desenhadas para as necessidades de cada consumidor. Consumidores (industriais, residenciais e comerciais) possuem acesso a informações e participam ativamente de escolhas entre companhias de energia e diferentes energéticos.

### *Alta demanda para energia de baixo custo: necessidades básicas*

Soluções padronizadas para “mercado atacadista” de energia são disponíveis a baixo custo. São usadas principalmente em áreas urbanas e regiões prósperas. A forte competição no setor produtivo exige grandes quantidades de energia a baixo custo. Existe uma generalizada procura por soluções que minimizem os

custos de energia para o consumidor e alta rentabilidade para as companhias de energia.

*Suprimento “robusto” de energia - para os que concordam em pagar mais*

A segurança do suprimento (alta confiabilidade e qualidade, robustez e flexibilidade do sistema) é altamente valorizada (porque interrupções limitam a liberdade de escolha). Como o custo de suprimento garantido em horários de pico é muito alto, as companhias com demanda alta e específica em termos de segurança devem ter para isto contratos caros, usar back-up para curta duração ou operar sistemas de geração descentralizada (freqüentemente co-geração).

*Soluções ecológicas para nichos do mercado*

Nichos específicos de mercado evoluíram com tecnologias baseadas em fontes renováveis, mesmo além da estrita viabilidade econômica, para atender consumidores interessados. Embora pequeno esse segmento de mercado é presente no país no horizonte de análise.

*Necessidades crescentes de transporte e mobilidade*

Viagens baratas e fáceis, e o aumento no comércio mundial, para atender a uma demanda por ampla escolha de bens levam a um forte crescimento do setor de transportes e correspondentemente do seu consumo energético.



## Visão 2 - Equilíbrio ecológico

### *A visão da sociedade*

Neste caso existiria a preocupação de se observar medidas de proteção ambiental e aderência a convenções internacionais como o Protocolo de Quioto, em particular.

“Viver em equilíbrio com a natureza” seria a descrição do valor predominante na sociedade brasileira em 2020. A proteção do eco-sistema seria a maior meta das políticas, incluindo o eco-sistema local (qualidade do ar, águas, etc) e global (mudanças climáticas, biodiversidade, etc). O princípio “o poluidor paga” seria sempre utilizado. Os consumidores aceitam custos maiores por soluções ecologicamente fortes. Isto levaria a companhias com forte consciência ecológica; muitos processos seriam fechados, com reciclo de materiais. O uso de recursos materiais e a emissão de poluentes teriam sido reduzidos substancialmente.

### **Conseqüências para o setor de energia**

#### *Busca de tecnologias energéticas com baixo impacto ambiental*

A escolha de fontes energéticas é feita com a meta de buscar o menor impacto ambiental possível. Renováveis tornaram-se importantes e sua participação no suprimento de energia cresceu rapidamente. Várias fontes diferentes são utilizadas dependendo de seus potenciais regionais. Um mix de gerações centralizadas / descentralizadas é empregado. O país atinge a meta de ter 10%

de sua geração de eletricidade baseada em fontes renováveis, além da hidráulica de grande porte: PCHs, eólica, biomassa e solar.

#### *Diversificação nas fontes de suprimento*

Para minimizar os riscos de problemas ecológicos, não há grandes “monoculturas” extensivas responsáveis pela maior parte do suprimento energético. Há uma grande diversificação das fontes. Em um período de transição é necessário incluir fontes de energia que não são estritamente renováveis, mas que apresentem um impacto relativamente baixo no eco-sistema. Em particular, há uma forte inserção do gás natural nos principais mercados de consumo do país (seja para transporte, produção de eletricidade ou usos térmicos).

#### *Conservação das fontes de energia*

O aumento previsto em 2003 para o consumo geral de energia foi reduzido por avanços importantes nas eficiências energéticas, e por sistemas de gerenciamento da demanda. Equipamentos possuem padrões internacionais de consumo mínimo de energia e o país possui um alto índice de qualidade de energia.

#### *Armazenamento local e transporte de energia a longas distâncias*

Desbalanceamentos entre demanda e suprimento são resolvidos com sistemas altamente desenvolvidos de armazenamento local (curto e longo prazos) e com um robusto sistema de transmissão a longas distâncias.

## Visão 3 - Igualdade Social

### *A visão da sociedade*

Neste caso a busca da maior igualdade possível seria o principal valor na sociedade brasileira em 2020; as políticas seriam voltadas para a redução de disparidades na renda e para o combate à exclusão social. Haveria urgência na redução de diferenças regionais, e para isto haveria investimentos públicos e incentivos a investimentos privados; e a estrutura regulatória permitiria claramente soluções regionais. No setor privado o conceito de responsabilidade social seria amplamente utilizado, e as indústrias buscariam o aumento da intensidade de emprego no crescimento econômico. A sociedade estaria disposta a socializar os custos correspondentes às medidas de promoção da igualdade.

## Conseqüências para o setor de energia

### *Tecnologias intensivas em mão de obra*

Investimentos em energia cada vez mais levam em conta os efeitos na criação de empregos locais. As escolhas tecnológicas são feitas de modo a promover a criação de empregos.

### *Soluções regionais*

A produção de energia é concebida com base nos recursos e necessidades regionais. Há, portanto, uma grande variedade

de modalidades de suprimento. Políticas regulatórias mantêm o nivelamento necessário para os diversos agentes, e ao mesmo tempo permitem medidas de proteção que promovem o valor agregado regionalmente. Existe maior participação de agentes regionais na elaboração de planejamento e políticas regionais para o setor de energia.

#### *Geração descentralizada*

O sistema elétrico é altamente descentralizado, consumidores tem a possibilidade de gerar sua própria energia e vender para a rede. Tecnologias de geração (para energia elétrica ou calor / frio) são operadas localmente, e são de propriedade local (inclusive pelos próprios consumidores). O equilíbrio suprimento / demanda é gerenciado de forma descentralizada (web). A estrutura legal é definida de modo a permitir acesso fácil a tecnologias, recursos, informação e à rede elétrica para todos os consumidores. A operação do sistema elétrico, a estrutura regulatória e especialmente tarifária são bastante desenvolvidas e permitem a inserção dessas tecnologias de maneira eficiente e competitiva. Existe acesso ao gás natural nos principais centros de consumo.

#### *Custos compartilhados (das políticas para a igualdade) e tecnologias de baixo risco*

A promoção do compartilhamento dos custos da igualdade exige uma forte ênfase na minimização dos riscos locais das tecnologias (acidentes, emissão de poluentes). Tecnologias consideradas arriscadas encontram forte oposição.

Como o risco potencial percebido pelo público não corresponde (em geral) ao risco real, isto coloca uma grande pressão em tecnologias que apresentem possibilidades de “grandes desastres” (plantas nucleares, petroleiros) ou em tecnologias com efeitos locais negativos (poluentes tóxicos, odores).

Existe uma generalizada aceitação de custos maiores de energia de maneira a subsidiar consumidores e regiões menos favorecidas.

## Anexo 7

Hierarquias geradas conforme cada visão de futuro (caso Exagerado)

### Visões extremadas

Visão social extremada					
Dimensões	%	Crítérios	Questões	Peso	Peso final
Técnico-econômica	0%	C.1	Q02- Custos finais	<b>4</b>	0,00%
		C.2	Q03- Impactos balança comercial	<b>1</b>	0,00%
		C.3	Q04- Riscos	<b>1</b>	0,00%
		C.4	Q05- Prazo para implementação	<b>2</b>	0,00%
		C.5	Q06a- Capacitação existente	<b>1</b>	0,00%
Estratégica	0%	C.6	Q06b- Capacitação conseqüente	<b>1</b>	0,00%
		C.7	Q07- Transbordo	<b>1</b>	0,00%
		C.8	Q09a- Qualidade	<b>2</b>	0,00%
Ambiental	0%	C.9	Q10- Impactos no clima global	<b>1</b>	0,00%
		C.10	Q11- Impactos nos recursos naturais	<b>2</b>	0,00%
		C.11	Q12- Impactos no ambiente local	<b>2</b>	0,00%
Social	100%	C.12	Q13- Impactos no emprego	<b>2</b>	26,44%
		C.13	Q14a- Imp no desenv de regiões	<b>1</b>	13,22%
		C.14	Q14b- Imp no desenvolvimento	<b>1</b>	13,22%
		C.15	Q15- Imp na universalização	<b>1</b>	13,22%
Invariantes		C.16	Q09b- Segurança	<b>3</b>	10,17%
		C.17	Q08- Impacto na geração e eficiência	<b>7</b>	23,73%

<b>Visão ambiental extremada</b>					
Dimensões	%	Crerios	Questões	Peso	Peso final
Técnic-econômica	0%	C.1	Q02- Custos finais	<b>4</b>	0,00%
		C.2	Q03- Impactos balança comercial	<b>1</b>	0,00%
		C.3	Q04- Riscos	<b>1</b>	0,00%
		C.4	Q05- Prazo para implementação	<b>2</b>	0,00%
		C.5	Q06a- Capacitação existente	<b>2</b>	0,00%
Estratégica	0%	C.6	Q06b- Capacitação conseqüente	<b>1</b>	0,00%
		C.7	Q07- Transbordo	<b>1</b>	0,00%
		C.8	Q09a- Qualidade	<b>2</b>	0,00%
Ambiental	100%	C.9	Q10- Impactos no clima global	<b>1</b>	13,22%
		C.10	Q11- Impactos nos recursos naturais	<b>2</b>	26,44%
		C.11	Q12- Impactos no ambiente local	<b>2</b>	26,44%
Social	0%	C.12	Q13- Impactos no emprego	<b>1,5</b>	0,00%
		C.13	Q14a- Imp no desenv de regiões	<b>1</b>	0,00%
		C.14	Q14b- Imp no desenvolvimento	<b>1</b>	0,00%
		C.15	Q15- Imp na universalização	<b>1</b>	0,00%
Invariantes		C.16	Q09b- Segurança	<b>3</b>	10,17%
		C.17	Q08- Impacto na geração e eficiência	<b>7</b>	23,73%

<b>Visão individualista extremada</b>					
Dimensões	%	Crerios	Questões	Peso	Peso final
Técnic-econômica	100%	C.1	Q02- Custos finais	<b>3</b>	33,05%
		C.2	Q03- Impactos balança comercial	<b>0,5</b>	5,51%
		C.3	Q04- Riscos	<b>1</b>	11,02%
		C.4	Q05- Prazo para implementação	<b>1</b>	11,02%
		C.5	Q06a- Capacitação existente	<b>0,5</b>	5,51%
Estratégica	0%	C.6	Q06b- Capacitação conseqüente	<b>1</b>	0,00%
		C.7	Q07- Transbordo	<b>1</b>	0,00%
		C.8	Q09a- Qualidade	<b>3</b>	0,00%
Ambiental	0%	C.9	Q10- Impactos no clima global	<b>1</b>	0,00%
		C.10	Q11- Impactos nos recursos naturais	<b>2</b>	0,00%
		C.11	Q12- Impactos no ambiente local	<b>2</b>	0,00%
Social	0%	C.12	Q13- Impactos no emprego	<b>2</b>	0,00%
		C.13	Q14a- Imp no desenv de regiões	<b>1</b>	0,00%
		C.14	Q14b- Imp no desenvolvimento	<b>1</b>	0,00%
		C.15	Q15- Imp na universalização	<b>1</b>	0,00%
Invariantes		C.16	Q09b- Segurança	<b>3</b>	10,17%
		C.17	Q08- Impacto na geração e eficiência	<b>7</b>	23,73%

## Anexo 8

### A participação dos respondentes ao questionário Delphi

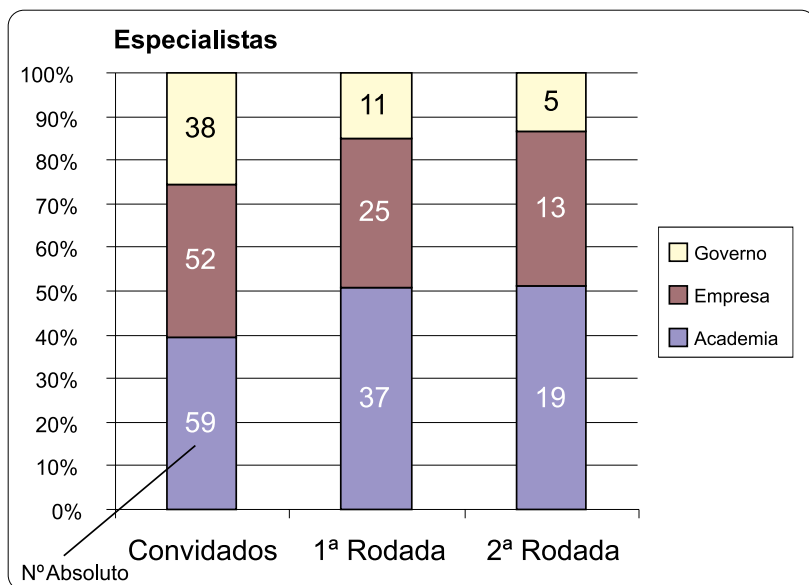
Os 63 tópicos tecnológicos avaliados foram distribuídos em três grupos (G1: Tecnologias para geração de energia elétrica; G2: Tecnologias para suprimento de combustíveis (calor e transporte); e G3: Tecnologias de transmissão e distribuição, geração distribuída e armazenamento, planejamento, conservação e uso final. Os tópicos em cada grupo estão relacionados no Anexo 1. Os consultantes foram selecionados de acordo com sua especialização, para opinar sobre os tópicos de um dos grupos. Sempre que possível, um consultante foi convidado a opinar sobre dois grupos e alguns responderam aos três grupos. Desta forma buscou-se obter avaliações mais homogêneas mesmo entre os grupos.

De um total de 149 pessoas escolhidas originalmente para responder a consulta Delphi, 49% efetivamente responderam a primeira rodada. O gráfico abaixo mostra os diferentes índices de participação entre as três categorias de respondentes. Inicialmente a amostragem procurou equilibrar o número de participantes especialistas em energia, no entanto é possível notar ao final a maior adesão dos especialistas ligados aos centros de pesquisa (63% daqueles contatados completaram o questionário). É interessante observar a relativamente maior participação final



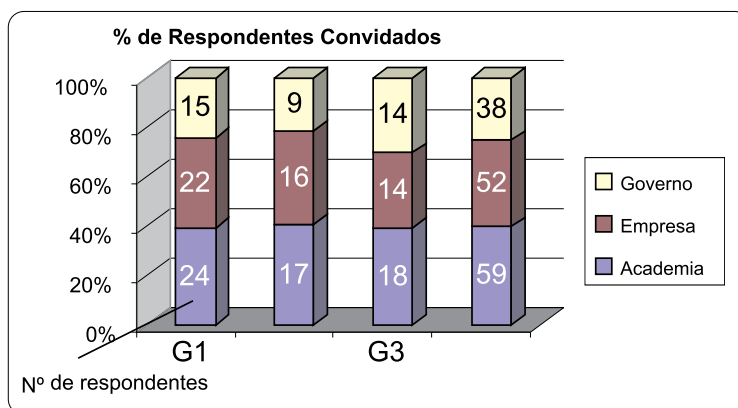
dos especialistas das empresas de que do governo, onde apenas 29% dos especialistas contratados responderam a primeira consulta, comparados com cerca de 52% entre os representantes de empresas.

Na segunda rodada, dos 73 especialistas, 37 finalizaram o questionário (50%). A representatividade dos especialistas está apresentada de acordo com a Figura 1.



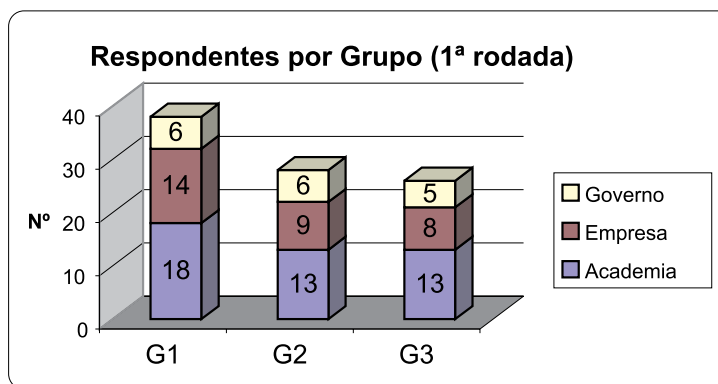
**Figura 1:** Participação dos respondentes de acordo com instituições de origem

A participação dos respondentes considerando os três grandes grupos de tecnologias - grupo G1: tecnologias relacionadas com geração de energia elétrica; grupo G2: tecnologias para suprimento de combustíveis (calor e transporte); Grupo G3: tecnologias de transmissão e distribuição, geração distribuída e armazenamento, planejamento, conservação e uso final - é mostrada na Figura 2.



**Figura 2** Participação dos respondentes convidados por grupos de tecnologias (G1, G2 e G3) segundo sua origem (Centros de pesquisa, Empresas e Governo)

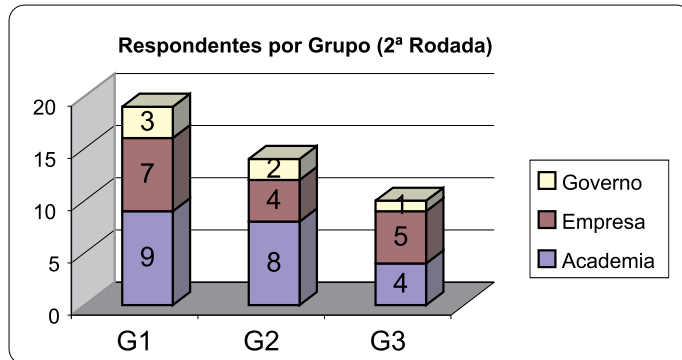
Na figura 3 abaixo está representado o nº de respondentes por grupo da primeira rodada. O total ultrapassa os 73 especialistas que responderam a pesquisa nesta etapa, pois alguns responderam a questões em dois ou três grupos.



**Figura 3** Participação dos respondentes por grupos de tecnologias (G1, G2 e G3) segundo sua origem (Centros de pesquisa, Empresas e Governo): 1ª. Rodada

Dos 73 especialistas que iniciaram a segunda rodada, 37 destes responderam no período determinado (50%), e do mesmo modo alguns responderam mais do que um grupo. A figura 4 referente

à segunda rodada mostra a divisão por grupo e por tipo de especialista. É importante mencionar que para a análise dos resultados, foi assumido que aqueles que não responderam a segunda rodada mantiveram suas avaliações registradas na 1ª rodada.



**Figura 4** Participação dos respondentes por grupos de tecnologias (G1, G2 e G3) segundo sua origem (Centros de pesquisa, Empresas e Governo): 2ª. Rodada

# Anexo 9

## Simulações completas

### Simulação B

Tópicos Tecnológicos priorizados na Simulação B						
		Visão Social	Visão Ambiental	Visão Individualista	Síntese B Tópicos Robustos	Variância
62	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos de uso industrial,	2	1	1	4	0,3
43	Desenvolvimento e implementação de tecnologias de transesterificação com etanol e metanol de óleos vegetais para utilização como biodiesel,	1	2	2	5	0,3
61	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas utilizados nos setores de comércio e de serviços,	3	3	3	9	0,0
63	Desenvolvimento de modelos de planejamento integrado	3	5	3	11	1,3
41	Etanol da cana de açúcar: melhoramento genético (inclusive transgênicos), novas tecnologias para a produção da cana e no processamento industrial,	5	4	5	14	0,3
37	Tecnologias de uso do gás natural para substituição de óleo combustível,	4	7	4	15	3,0
53	Tecnologias de células a combustível (PEM, óxido sólido, PEM-etanol), e dos sistemas auxiliares (reformadores, controles); integração à rede,	5	6	6	17	0,3
18	Tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos para culturas de grandes volumes: cana, madeira, arroz, milho, soja, etc,	4	9	7	20	6,3
57	Melhorias nas tecnologias de produção,	5	8	8	21	3,0
51	Desenvolvimento de sistemas isolados,	4	11	6	21	13,0

59	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas de uso doméstico,	6	8	8	22	1,3
32	Tecnologia para produção de óleo em águas profundas: Árvore de Natal molhada, sistemas de produção flutuante, Árvore de Natal na superfície,	8	6	11	25	6,3
48	Automação, supervisão e controle de transmissão e distribuição,	5	11	9	25	9,3
60	Tecnologias para redução de consumo energético a partir da melhor adequação de projetos de construção civil,	7	10	10	27	3,0
42	Etanol de hidrólise de ligno-celulósicos: tecnologias para hidrólise / fermentação via enzimática, ácida ou com solvente orgânico,	9	7	12	28	6,3
12	Modelos de gestão de reservatórios das hidrelétricas, com uso múltiplo da água,	8	12	9	29	4,3
13	Metodologias e instrumentação para previsão e prognóstico de afluências,	11	10	10	31	0,3
17	Tecnologias de produção agrícola e melhoramento genético de biomassa energética: cana de açúcar, madeira, dendê etc.,	6	14	11	31	16,3
58	Tecnologias de armazenamento de energia e distribuição, melhoria da eficiência e segurança,	7	13	13	33	12,0
1	Tecnologias de micro-turbinas a gás (< 10kW),	7	19	9	35	41,3
14	Ferramentas (instrumentação e softwares) para inventário e monitoramento de bacias hidrográficas,	13	12	14	39	1,0
15	Tecnologias para repotenciação de centrais hidrelétricas pequenas e médias,	12	15	12	39	3,0
54	Tecnologia de sistemas híbridos,	9	16	14	39	13,0
19	Tecnologias de combustão avançadas de biomassa e resíduos,	11	14	15	40	4,3
34	Tecnologias de refino de óleos pesados,	12	15	15	42	3,0
46	Desenvolvimento de coletores solares: materiais, manufatura e automação,	14	12	17	43	6,3
52	Tecnologia para obtenção de maior eficiência em pequenas turbinas a gás (1-25 kW),	12	17	17	46	8,3
33	Tecnologias de recuperação avançada de petróleo,	13	18	16	47	6,3
2	Tecnologias para turbinas a gás de média potência (até 100 MW),	10	21	16	47	30,3

50	Tecnologias para garantia da qualidade da energia,	11	20	17	48	21,0
16	PCH: tecnologia de turbinas para baixas quedas e hidrocínéticas, geradores com rotação variável, controles de carga/freqüência,	15	18	17	50	2,3
38	Tecnologias de controle da poluição e de segurança na indústria de petróleo (produção, refino, distribuição, uso),	15	17	18	50	2,3
23	Tecnologias para produção de células fotovoltaicas,	13	18	19	50	10,3
47	Tecnologias de redes: estrutura, materiais, equipamentos e aumento de capacidade,	14	18	19	51	7,0
24	Tecnologias para componentes: sistemas eletrônicos, conversores, conexão, armazenamento de energia e medidores,	14	20	18	52	9,3
45	Lixo Urbano: domínio no país das tecnologias de incineração, biogás de aterros e compostagem sólida,	21	13	20	54	19,0
26	Tecnologia de máquinas para situações específicas no Brasil,	16	19	20	55	4,3
40	Carvão Vegetal: tecnologias avançadas de carvoejamento e pirólise, aumento da eficiência, uso dos sub-produtos,	17	17	21	55	5,3
35	Melhoria da qualidade dos derivados de petróleo,	19	17	21	57	4,0
55	Tecnologia de motores estacionários,	17	19	22	58	6,3
31	Tecnologias de exploração de petróleo: sismologia e geofísica de poços, uso de imagens de satélites,	15	22	23	60	19,0
49	Tecnologias para medição e tarifação,	20	23	20	63	3,0
21	Gasificação em pequeno porte (< 100 kW),	18	22	23	63	7,0
3	Tecnologias de ciclos híbridos,	18	21	24	63	9,0
56	Tecnologia para armazenamento em ar comprimido,	19	20	26	65	14,3
27	Tecnologias de integração de parques eólicos à rede,	20	22	25	67	6,3
36	Tecnologias de suporte à produção de gás na Amazônia,	20	22	25	67	6,3
22	Gasificação em grande porte (10 - 100 MW) com ciclo combinado,	20	21	26	67	10,3
20	Tecnologias de combustão mista de biomassa com carvão e gás natural,	21	22	27	70	10,3
44	Metanol de biomassa: tecnologias de gasificação da biomassa e investigação de rotas alternativas,	22	23	28	73	10,3
11	Hidrogeradores: modelagem, monitoração e diagnóstico,	22	24	29	75	13,0

39	Tecnologias de gasificação de carvão,	23	25	30	78	13,0
6	Tecnologias para de-sulfurização de carvão, limpeza de gases, uso e disposição de resíduos,	24	26	31	81	13,0
4	Combustão avançada de carvão,	24	27	32	83	16,3
5	Gasificação de carvão e ciclo combinado,	25	30	33	88	16,3
25	Tecnologias para sistemas (concentradores parabólicos, cilindro-parabólicos e torre central) e componentes (materiais, rastreamento, armazenagem térmica),	26	29	34	89	16,3
8	Tecnologia do ciclo do combustível nuclear, com desenvolvimento nacional,	27	30	35	92	16,3
7	Novas tecnologias nucleares,	28	28	36	92	21,3
9	Tecnologias de reatores avançados, com acompanhamento e participação do desenvolvimento no exterior,	29	28	38	95	30,3
29	Investigação do potencial hidrotérmico no Brasil,	30	32	37	99	13,0
28	Acompanhamento dos desenvolvimentos para sistemas hidrotérmicos no exterior,	30	34	37	101	12,3
30	Avaliação de modelos, sistemas e custos de produção de tecnologias de conversores para as condições marítimas do Brasil,	30	33	38	101	16,3
10	Tecnologias para ciclos avançados, com alta queima e conversão de combustível nuclear,	31	31	39	101	21,3

## Simulação P

Tópicos Tecnológicos priorizados na Simulação P						
		Social	Ambiental	Individualista	Síntese P Tópicos Robustos	Variância
62	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos de uso industrial,	2	1	2	5	0,3
61	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas utilizados nos setores de comércio e de serviços,	3	2	1	6	1,0
43	Desenvolvimento e implementação de tecnologias de transesterificação com etanol e metanol de óleos vegetais para utilização como biodiesel,	1	3	3	7	1,3

63	Desenvolvimento de modelos de planejamento integrado	4	4	3	11	0,3
51	Desenvolvimento de sistemas isolados,	5	5	5	15	0,0
41	Etanol da cana de açúcar: melhoramento genético (inclusive transgênicos), novas tecnologias para a produção da cana e no processamento industrial,	7	5	5	17	1,3
57	Melhorias nas tecnologias de produção,	5	8	5	18	3,0
18	Tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos para culturas de grandes volumes: cana, madeira, arroz, milho, soja, etc,	5	8	6	19	2,3
59	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas de uso doméstico,	7	6	7	20	0,3
53	Tecnologias de células a combustível (PEM, óxido sólido, PEM-etanol), e dos sistemas auxiliares (reformadores, controles); integração à rede,	9	6	6	21	3,0
48	Automação, supervisão e controle de transmissão e distribuição,	9	5	7	21	4,0
58	Tecnologias de armazenamento de energia e distribuição, melhoria da eficiência e segurança,	8	7	8	23	0,3
37	Tecnologias de uso do gás natural para substituição de óleo combustível,	10	9	4	23	10,3
32	Tecnologia para produção de óleo em águas profundas: Árvore de Natal molhada, sistemas de produção flutuante, Árvore de Natal na superfície,	11	7	7	25	5,3
13	Metodologias e instrumentação para previsão e prognóstico de aflúências,	11	7	9	27	4,0
17	Tecnologias de produção agrícola e melhoramento genético de biomassa energética: cana de açúcar, madeira, dendê etc.,	8	11	9	28	2,3
54	Tecnologia de sistemas híbridos,	8	11	9	28	2,3
1	Tecnologias de micro-turbinas a gás (< 10kW),	6	14	8	28	17,3
42	Etanol de hidrólise de ligno-celulósicos: tecnologias para hidrólise / fermentação via enzimática, ácida ou com solvente orgânico,	13	8	10	31	6,3



60	Tecnologias para redução de consumo energético a partir da melhor adequação de projetos de construção civil,	11	10	11	32	0,3
12	Modelos de gestão de reservatórios das hidrelétricas, com uso múltiplo da água,	11	12	9	32	2,3
24	Tecnologias para componentes: sistemas eletrônicos, conversores, conexão, armazenamento de energia e medidores,	12	11	9	32	2,3
19	Tecnologias de combustão avançadas de biomassa e resíduos,	14	13	12	39	1,0
16	PCH: tecnologia de turbinas para baixas quedas e hidrocinéticas, geradores com rotação variável, controles de carga/frequência,	14	15	11	40	4,3
14	Ferramentas (instrumentação e softwares) para inventário e monitoramento de bacias hidrográficas,	17	13	12	42	7,0
15	Tecnologias para repotenciação de centrais hidrelétricas pequenas e médias,	17	14	13	44	4,3
23	Tecnologias para produção de células fotovoltaicas,	16	16	14	46	1,3
33	Tecnologias de recuperação avançada de petróleo,	16	17	13	46	4,3
2	Tecnologias para turbinas a gás de média potência (até 100 MW),	14	19	14	47	8,3
46	Desenvolvimento de coletores solares: materiais, manufatura e automação,	18	15	15	48	3,0
50	Tecnologias para garantia da qualidade da energia,	15	19	14	48	7,0
34	Tecnologias de refino de óleos pesados,	17	19	13	49	9,3
47	Tecnologias de redes: estrutura, materiais, equipamentos e aumento de capacidade,	14	20	15	49	10,3
52	Tecnologia para obtenção de maior eficiência em pequenas turbinas a gás (1-25 kW),	18	17	15	50	2,3
22	Gasificação em grande porte (10 - 100 MW) com ciclo combinado,	19	16	16	51	3,0
26	Tecnologia de máquinas para situações específicas no Brasil,	20	16	16	52	5,3

31	Tecnologias de exploração de petróleo: sismologia e geofísica de poços, uso de imagens de satélites,	18	21	14	53	12,3
38	Tecnologias de controle da poluição e de segurança na indústria de petróleo (produção, refino, distribuição, uso),	22	16	16	54	12,0
40	Carvão Vegetal: tecnologias avançadas de carvoejamento e pirólise, aumento da eficiência, uso dos sub-produtos,	21	17	17	55	5,3
21	Gasificação em pequeno porte (< 100 kW),	19	19	18	56	0,3
55	Tecnologia de motores estacionários,	19	18	19	56	0,3
45	Lixo Urbano: domínio no país das tecnologias de incineração, biogás de aterros e compostagem sólida,	23	17	16	56	14,3
35	Melhoria da qualidade dos derivados de petróleo,	22	18	17	57	7,0
3	Tecnologias de ciclos híbridos,	21	20	20	61	0,3
49	Tecnologias para medição e tarifação,	22	22	17	61	8,3
56	Tecnologia para armazenamento em ar comprimido,	22	18	23	63	7,0
27	Tecnologias de integração de parques eólicos à rede,	23	20	21	64	2,3
36	Tecnologias de suporte à produção de gás na Amazônia,	23	21	22	66	1,0
20	Tecnologias de combustão mista de biomassa com carvão e gás natural,	24	20	23	67	4,3
11	Hidrogeradores: modelagem, monitoração e diagnóstico,	25	22	22	69	3,0
44	Metanol de biomassa: tecnologias de gasificação da biomassa e investigação de rotas alternativas,	25	20	24	69	7,0
5	Gasificação de carvão e ciclo combinado,	26	24	25	75	1,0
39	Tecnologias de gasificação de carvão,	27	23	25	75	4,0
25	Tecnologias para sistemas (concentradores parabólicos, cilindro-parabólicos e torre central) e componentes (materiais, rastreamento, armazenagem térmica),	26	24	26	76	1,3
6	Tecnologias para de-sulfurização de carvão, limpeza de gases, uso e disposição de resíduos,	29	23	27	79	9,3
4	Combustão avançada de carvão,	28	25	28	81	3,0

8	Tecnologia do ciclo do combustível nuclear, com desenvolvimento nacional,	30	26	28	84	4,0
7	Novas tecnologias nucleares,	31	26	29	86	6,3
9	Tecnologias de reatores avançados, com acompanhamento e participação do desenvolvimento no exterior,	31	26	29	86	6,3
28	Acompanhamento dos desenvolvimentos para sistemas hidrotérmicos no exterior,	32	28	30	90	4,0
29	Investigação do potencial hidrotérmico no Brasil,	32	28	30	90	4,0
30	Avaliação de modelos, sistemas e custos de produção de tecnologias de conversores para as condições marítimas do Brasil,	32	28	30	90	4,0
10	Tecnologias para ciclos avançados, com alta queima e conversão de combustível nuclear,	33	27	31	91	9,3

## Simulação P2

Tópicos Tecnológicos priorizados na Simulação P2						
		Social	Ambiental	Individualista	Síntese P2 Tópicos Robustos	Variância
62	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos de uso industrial,	1	1	1	3	0,0
63	Desenvolvimento de modelos de planejamento integrado	2	3	2	7	0,3
43	Desenvolvimento e implementação de tecnologias de transesterificação com etanol e metanol de óleos vegetais para utilização como biodiesel,	2	3	3	8	0,3
61	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas utilizados nos setores de comércio e de serviços,	5	2	1	8	4,3
51	Desenvolvimento de sistemas isolados,	5	4	4	13	0,3

59	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas de uso doméstico,	4	5	4	13	0,3
18	Tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos para culturas de grandes volumes: cana, madeira, arroz, milho, soja, etc,	3	8	3	14	8,3
41	Etanol da cana de açúcar: melhoramento genético (inclusive transgênicos), novas tecnologias para a produção da cana e no processamento industrial,	7	4	5	16	2,3
58	Tecnologias de armazenamento de energia e distribuição, melhoria da eficiência e segurança,	6	6	7	19	0,3
13	Metodologias e instrumentação para previsão e prognóstico de afluências,	6	6	7	19	0,3
57	Melhorias nas tecnologias de produção,	5	8	6	19	2,3
37	Tecnologias de uso do gás natural para substituição de óleo combustível,	8	7	5	20	2,3
53	Tecnologias de células a combustível (PEM, óxido sólido, PEM-etanol), e dos sistemas auxiliares (reformadores, controles); integração à rede,	9	6	7	22	2,3
48	Automação, supervisão e controle de transmissão e distribuição,	7	9	8	24	1,0
17	Tecnologias de produção agrícola e melhoramento genético de biomassa energética: cana de açúcar, madeira, dendê etc.,	9	9	8	26	0,3
54	Tecnologia de sistemas híbridos,	7	11	8	26	4,3
42	Etanol de hidrólise de ligno-celulósicos: tecnologias para hidrólise / fermentação via enzimática, ácida ou com solvente orgânico,	12	7	9	28	6,3
1	Tecnologias de micro-turbinas a gás (< 10kW),	6	14	8	28	17,3
12	Modelos de gestão de reservatórios das hidrelétricas, com uso múltiplo da água,	10	12	8	30	4,0
32	Tecnologia para produção de óleo em águas profundas: Árvore de Natal molhada, sistemas de produção flutuante, Árvore de Natal na superfície,	11	10	10	31	0,3

60	Tecnologias para redução de consumo energético a partir da melhor adequação de projetos de construção civil,	11	10	10	31	0,3
24	Tecnologias para componentes: sistemas eletrônicos, conversores, conexão, armazenamento de energia e medidores,	12	13	11	36	1,0
19	Tecnologias de combustão avançadas de biomassa e resíduos,	14	12	12	38	1,3
16	PCH: tecnologia de turbinas para baixas quedas e hidrocínéticas, geradores com rotação variável, controles de carga/freqüência,	15	15	11	41	5,3
15	Tecnologias para repotenciação de centrais hidrelétricas pequenas e médias,	16	15	12	43	4,3
52	Tecnologia para obtenção de maior eficiência em pequenas turbinas a gás (1-25 kW),	15	15	15	45	0,0
33	Tecnologias de recuperação avançada de petróleo,	15	16	14	45	1,0
34	Tecnologias de refino de óleos pesados,	16	16	13	45	3,0
50	Tecnologias para garantia da qualidade da energia,	13	19	13	45	12,0
14	Ferramentas (instrumentação e softwares) para inventário e monitoramento de bacias hidrográficas,	19	14	12	45	13,0
2	Tecnologias para turbinas a gás de média potência (até 100 MW),	14	20	14	48	12,0
46	Desenvolvimento de coletores solares: materiais, manufatura e automação,	20	13	15	48	13,0
23	Tecnologias para produção de células fotovoltaicas,	17	18	16	51	1,0
22	Gasificação em grande porte (10 - 100 MW) com ciclo combinado,	19	16	16	51	3,0
26	Tecnologia de máquinas para situações específicas no Brasil,	20	17	17	54	3,0
38	Tecnologias de controle da poluição e de segurança na indústria de petróleo (produção, refino, distribuição, uso),	23	15	16	54	19,0
55	Tecnologia de motores estacionários,	18	17	20	55	2,3

45	Lixo Urbano: domínio no país das tecnologias de incineração, biogás de aterros e compostagem sólida,	22	16	17	55	10,3
21	Gasificação em pequeno porte (< 100 kW),	18	19	19	56	0,3
40	Carvão Vegetal: tecnologias avançadas de carvoejamento e pirólise, aumento da eficiência, uso dos sub-produtos,	21	17	18	56	4,3
47	Tecnologias de redes: estrutura, materiais, equipamentos e aumento de capacidade,	17	20	21	58	4,3
31	Tecnologias de exploração de petróleo: sismologia e geofísica de poços, uso de imagens de satélites,	20	21	17	58	4,3
35	Melhoria da qualidade dos derivados de petróleo,	22	18	18	58	5,3
3	Tecnologias de ciclos híbridos,	21	20	19	60	1,0
27	Tecnologias de integração de parques eólicos à rede,	23	20	20	63	3,0
36	Tecnologias de suporte à produção de gás na Amazônia,	22	19	22	63	3,0
56	Tecnologia para armazenamento em ar comprimido,	22	18	23	63	7,0
49	Tecnologias para medição e tarifação,	24	21	21	66	3,0
20	Tecnologias de combustão mista de biomassa com carvão e gás natural,	24	20	23	67	4,3
11	Hidrogeradores: modelagem, monitoração e diagnóstico,	25	21	21	67	5,3
44	Metanol de biomassa: tecnologias de gasificação da biomassa e investigação de rotas alternativas,	25	20	24	69	7,0
39	Tecnologias de gasificação de carvão,	27	22	25	74	6,3
5	Gasificação de carvão e ciclo combinado,	26	23	26	75	3,0
25	Tecnologias para sistemas (concentradores parabólicos, cilindro-parabólicos e torre central) e componentes (materiais, rastreamento, armazenagem térmica),	26	22	27	75	7,0
6	Tecnologias para de-sulfurização de carvão, limpeza de gases, uso e disposição de resíduos,	28	23	26	77	6,3
4	Combustão avançada de carvão,	28	25	28	81	3,0

8	Tecnologia do ciclo do combustível nuclear, com desenvolvimento nacional,	29	26	29	84	3,0
9	Tecnologias de reatores avançados, com acompanhamento e participação do desenvolvimento no exterior,	30	24	30	84	12,0
7	Novas tecnologias nucleares,	31	27	32	90	7,0
30	Avaliação de modelos, sistemas e custos de produção de tecnologias de conversores para as condições marítimas do Brasil,	31	29	31	91	1,3
10	Tecnologias para ciclos avançados, com alta queima e conversão de combustível nuclear,	31	28	32	91	4,3
29	Investigação do potencial hidrotérmico no Brasil,	31	30	32	93	1,0
28	Acompanhamento dos desenvolvimentos para sistemas hidrotérmicos no exterior,	31	31	32	94	0,3

### Simulação Exagerada

Tópicos Tecnológicos priorizados na Simulação Exagerada						
		Social	Ambiental	Individualista	Síntese E Tópicos Robustos	Variância
62	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos de uso industrial,	2	1	1	4	0,3
63	Desenvolvimento de modelos de planejamento integrado	4	4	5	13	0,3
37	Tecnologias de uso do gás natural para substituição de óleo combustível,	8	4	1	13	12,3
43	Desenvolvimento e implementação de tecnologias de transesterificação com etanol e metanol de óleos vegetais para utilização como biodiesel,	1	2	11	14	30,3
61	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas utilizados nos setores de comércio e de serviços,	6	3	7	16	4,3

18	Tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos para culturas de grandes volumes: cana, madeira, arroz, milho, soja, etc,	4	4	9	17	8,3
51	Desenvolvimento de sistemas isolados,	7	8	4	19	4,3
59	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas de uso doméstico,	7	5	8	20	2,3
57	Melhorias nas tecnologias de produção,	5	5	10	20	8,3
41	Etanol da cana de açúcar: melhoramento genético (inclusive transgênicos), novas tecnologias para a produção da cana e no processamento industrial,	11	3	6	20	16,3
17	Tecnologias de produção agrícola e melhoramento genético de biomassa energética: cana de açúcar, madeira, dendê etc.,	5	7	10	22	6,3
12	Modelos de gestão de reservatórios das hidrelétricas, com uso múltiplo da água,	8	8	7	23	0,3
1	Tecnologias de micro-turbinas a gás (< 10kW),	4	10	9	23	10,3
53	Tecnologias de células a combustível (PEM, óxido sólido, PEM-etanol), e dos sistemas auxiliares (reformadores, controles); integração à rede,	9	3	11	23	17,3
15	Tecnologias para repotenciação de centrais hidrelétricas pequenas e médias,	13	7	4	24	21,0
54	Tecnologia de sistemas híbridos,	6	8	12	26	9,3
60	Tecnologias para redução de consumo energético a partir da melhor adequação de projetos de construção civil,	10	4	12	26	17,3
58	Tecnologias de armazenamento de energia e distribuição, melhoria da eficiência e segurança,	3	6	18	27	63,0
14	Ferramentas (instrumentação e softwares) para inventário e monitoramento de bacias hidrográficas,	18	8	2	28	65,3



42	Etanol de hidrólise de ligno-celulósicos: tecnologias para hidrólise / fermentação via enzimática, ácida ou com solvente orgânico,	13	3	13	29	33,3
48	Automação, supervisão e controle de transmissão e distribuição,	13	13	5	31	21,3
19	Tecnologias de combustão avançadas de biomassa e resíduos,	12	4	15	31	32,3
13	Metodologias e instrumentação para previsão e prognóstico de afluências,	11	10	12	33	1,0
16	PCH: tecnologia de turbinas para baixas quedas e hidrocinéticas, geradores com rotação variável, controles de carga/frequência,	15	9	9	33	12,0
34	Tecnologias de refino de óleos pesados,	21	11	1	33	100,0
2	Tecnologias para turbinas a gás de média potência (até 100 MW),	9	11	14	34	6,3
52	Tecnologia para obtenção de maior eficiência em pequenas turbinas a gás (1-25 kW),	7	8	19	34	44,3
55	Tecnologia de motores estacionários,	14	9	14	37	8,3
23	Tecnologias para produção de células fotovoltaicas,	8	9	20	37	44,3
50	Tecnologias para garantia da qualidade da energia,	13	14	11	38	2,3
47	Tecnologias de redes: estrutura, materiais, equipamentos e aumento de capacidade,	10	12	16	38	9,3
24	Tecnologias para componentes: sistemas eletrônicos, conversores, conexão, armazenamento de energia e medidores,	14	12	14	40	1,3
46	Desenvolvimento de coletores solares: materiais, manufatura e automação,	21	6	13	40	56,3
32	Tecnologia para produção de óleo em águas profundas: Árvore de Natal molhada, sistemas de produção flutuante, Árvore de Natal na superfície,	20	17	3	40	82,3
49	Tecnologias para medição e tarifação,	19	15	9	43	25,3
33	Tecnologias de recuperação avançada de petróleo,	17	16	11	44	10,3
26	Tecnologia de máquinas para situações específicas no Brasil,	19	9	16	44	26,3

31	Tecnologias de exploração de petróleo: sismologia e geofísica de poços, uso de imagens de satélites,	20	18	8	46	41,3
3	Tecnologias de ciclos híbridos,	14	10	23	47	44,3
56	Tecnologia para armazenamento em ar comprimido,	18	5	24	47	94,3
21	Gasificação em pequeno porte (< 100 kW),	16	12	20	48	16,0
35	Melhoria da qualidade dos derivados de petróleo,	23	8	17	48	57,0
45	Lixo Urbano: domínio no país das tecnologias de incineração, biogás de aterros e compostagem sólida,	24	3	21	48	129,0
27	Tecnologias de integração de parques eólicos à rede,	22	12	16	50	25,3
40	Carvão Vegetal: tecnologias avançadas de carvoejamento e pirólise, aumento da eficiência, uso dos sub-produtos,	21	7	22	50	70,3
38	Tecnologias de controle da poluição e de segurança na indústria de petróleo (produção, refino, distribuição, uso),	25	9	18	52	64,3
22	Gasificação em grande porte (10 - 100 MW) com ciclo combinado,	17	11	25	53	49,3
11	Hidrogeradores: modelagem, monitoração e diagnóstico,	25	13	17	55	37,3
20	Tecnologias de combustão mista de biomassa com carvão e gás natural,	22	11	22	55	40,3
36	Tecnologias de suporte à produção de gás na Amazônia,	23	17	17	57	12,0
44	Metanol de biomassa: tecnologias de gasificação da biomassa e investigação de rotas alternativas,	24	11	24	59	56,3
39	Tecnologias de gasificação de carvão,	26	13	26	65	56,3
4	Combustão avançada de carvão,	27	16	28	71	44,3
6	Tecnologias para de-sulfurização de carvão, limpeza de gases, uso e disposição de resíduos,	29	15	27	71	57,3
5	Gasificação de carvão e ciclo combinado,	28	19	29	76	30,3
25	Tecnologias para sistemas (concentradores parabólicos, cilindro-parabólicos e torre central) e componentes (materiais, rastreamento, armazenagem térmica),	28	20	30	78	28,0
7	Novas tecnologias nucleares,	31	16	31	78	75,0

8	Tecnologia do ciclo do combustível nuclear, com desenvolvimento nacional,	30	20	29	79	30,3
29	Investigação do potencial hidrotérmico no Brasil,	30	20	29	79	30,3
9	Tecnologias de reatores avançados, com acompanhamento e participação do desenvolvimento no exterior,	31	16	32	79	80,3
30	Avaliação de modelos, sistemas e custos de produção de tecnologias de conversores para as condições marítimas do Brasil,	30	20	30	80	33,3
28	Acompanhamento dos desenvolvimentos para sistemas hidrotérmicos no exterior,	31	20	30	81	37,0
10	Tecnologias para ciclos avançados, com alta queima e conversão de combustível nuclear,	31	20	33	84	49,0

### Super Síntese

Tópicos Tecnológicos Robustos (lista final)		Super-síntese Tópicos Robustos
62	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos de uso industrial,	16
43	Desenvolvimento e implementação de tecnologias de transesterificação com etanol e metanol de óleos vegetais para utilização como biodiesel,	34
61	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas utilizados nos setores de comércio e de serviços,	39
63	Desenvolvimento de modelos de planejamento integrado	42
41	Etanol da cana de açúcar: melhoramento genético (inclusive transgênicos), novas tecnologias para a produção da cana e no processamento industrial,	67
51	Desenvolvimento de sistemas isolados,	68
18	Tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos para culturas de grandes volumes: cana, madeira, arroz, milho, soja, etc,	70
37	Tecnologias de uso do gás natural para substituição de óleo combustível,	71
59	Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas de uso doméstico,	75
57	Melhorias nas tecnologias de produção,	78

53	Tecnologias de células a combustível (PEM, óxido sólido, PEM-etanol), e dos sistemas auxiliares (reformadores, controles); integração à rede,	83
48	Automação, supervisão e controle de transmissão e distribuição,	101
58	Tecnologias de armazenamento de energia e distribuição, melhoria da eficiência e segurança,	102
17	Tecnologias de produção agrícola e melhoramento genético de biomassa energética: cana de açúcar, madeira, dendê etc.,	107
13	Metodologias e instrumentação para previsão e prognóstico de afluências,	110
12	Modelos de gestão de reservatórios das hidrelétricas, com uso múltiplo da água,	114
1	Tecnologias de micro-turbinas a gás (< 10kW),	114
60	Tecnologias para redução de consumo energético a partir da melhor adequação de projetos de construção civil,	116
42	Etanol de hidrólise de ligno-celulósicos: tecnologias para hidrólise / fermentação via enzimática, ácida ou com solvente orgânico,	116
54	Tecnologia de sistemas híbridos,	119
32	Tecnologia para produção de óleo em águas profundas: Árvore de Natal molhada, sistemas de produção flutuante, Árvore de Natal na superfície,	121
19	Tecnologias de combustão avançadas de biomassa e resíduos,	148
15	Tecnologias para repotenciação de centrais hidrelétricas pequenas e médias,	150
14	Ferramentas (instrumentação e softwares) para inventário e monitoramento de bacias hidrográficas,	154
24	Tecnologias para componentes: sistemas eletrônicos, conversores, conexão, armazenamento de energia e medidores,	160
16	PCH: tecnologia de turbinas para baixas quedas e hidrocínéticas, geradores com rotação variável, controles de carga/freqüência,	164
34	Tecnologias de refino de óleos pesados,	169
52	Tecnologia para obtenção de maior eficiência em pequenas turbinas a gás (1-25 kW),	175
2	Tecnologias para turbinas a gás de média potência (até 100 MW),	176
50	Tecnologias para garantia da qualidade da energia,	179
46	Desenvolvimento de coletores solares: materiais, manufatura e automação,	179
33	Tecnologias de recuperação avançada de petróleo,	182
23	Tecnologias para produção de células fotovoltaicas,	184
47	Tecnologias de redes: estrutura, materiais, equipamentos e aumento de capacidade,	196
26	Tecnologia de máquinas para situações específicas no Brasil,	205
55	Tecnologia de motores estacionários,	206
38	Tecnologias de controle da poluição e de segurança na indústria de petróleo (produção, refino, distribuição, uso),	210
45	Lixo Urbano: domínio no país das tecnologias de incineração, biogás de aterros e compostagem sólida,	213
40	Carvão Vegetal: tecnologias avançadas de carvoejamento e pirólise, aumento da eficiência, uso dos sub-produtos,	216
31	Tecnologias de exploração de petróleo: sismologia e geofísica de poços, uso de imagens de satélites,	217

35	Melhoria da qualidade dos derivados de petróleo,	220
22	Gasificação em grande porte (10 - 100 MW) com ciclo combinado,	222
21	Gasificação em pequeno porte (< 100 kW),	223
3	Tecnologias de ciclos híbridos,	231
49	Tecnologias para medição e tarifação,	233
56	Tecnologia para armazenamento em ar comprimido,	238
27	Tecnologias de integração de parques eólicos à rede,	244
36	Tecnologias de suporte à produção de gás na Amazônia,	253
20	Tecnologias de combustão mista de biomassa com carvão e gás natural,	259
11	Hidrogeradores: modelagem, monitoração e diagnóstico,	266
44	Metanol de biomassa: tecnologias de gasificação da biomassa e investigação de rotas alternativas,	270
39	Tecnologias de gasificação de carvão,	292
6	Tecnologias para de-sulfurização de carvão, limpeza de gases, uso e disposição de resíduos,	308
5	Gasificação de carvão e ciclo combinado,	314
4	Combustão avançada de carvão,	316
25	Tecnologias para sistemas (concentradores parabólicos, cilindro-parabólicos e torre central) e componentes (materiais, rastreamento, armazenagem térmica),	318
8	Tecnologia do ciclo do combustível nuclear, com desenvolvimento nacional,	339
9	Tecnologias de reatores avançados, com acompanhamento e participação do desenvolvimento no exterior,	344
7	Novas tecnologias nucleares,	346
29	Investigação do potencial hidrotérmico no Brasil,	361
30	Avaliação de modelos, sistemas e custos de produção de tecnologias de conversores para as condições marítimas do Brasil,	362
28	Acompanhamento dos desenvolvimentos para sistemas hidrotérmicos no exterior,	366
10	Tecnologias para ciclos avançados, com alta queima e conversão de combustível nuclear,	367

