



**International Energy Initiative**

**Latin America**

**IEI Board of Directors**

**Thomas Johansson**  
University of Lund  
Sweden - Chairman

**Amulya K.N.Reddy**  
Retired Professor  
Indian Institute of Science  
Bangalore - India

**José Goldemberg**  
University of São Paulo  
Brazil

**Robert Williams**  
Princeton University  
USA

**Stephen Karekezi**  
African Energy Policy  
Research Network –  
Kenya

**Wim Turkenburg**  
Utrecht University  
Netherlands

**Eric Larson**  
Princeton University,  
USA – President

**Gilberto M Jannuzzi**  
State University of  
Campinas, Brazil  
Executive Director

**A PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA EM  
ENERGIA E A PESQUISA E  
DESENVOLVIMENTO NO BRASIL:  
ELEMENTOS PARA UMA ESTRATÉGIA**

Gilberto De Martino Jannuzzi  
[jannuzzi@fem.unicamp.br](mailto:jannuzzi@fem.unicamp.br)  
Departamento de Energia  
Universidade Estadual de Campinas.  
C.P. 6122 Campinas 13083-970 SP

Isaiás Macedo  
[isaiasmacedo22@aol.com](mailto:isaiasmacedo22@aol.com)  
Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético- NIPE  
Universidade Estadual de Campinas  
C.P. 6122 Campinas 13083-970 SP

Mauro Zackiewicz  
[maurozac@ige.unicamp.br](mailto:maurozac@ige.unicamp.br)  
Departamento de Política Científica e Tecnológica,  
Instituto de Geociências, UNICAMP  
C.P. 6122 Campinas 13083-970 SP

Paulo Henrique de Mello Sant'Ana  
[santana@iei-la.intranets.com](mailto:santana@iei-la.intranets.com)  
International Energy Initiative -IEI  
C.P. 13084-082 Campinas SP 13084-082

December 2004

**ENERGY DISCUSSION PAPER No. 2.64.2/04**

## Foreword

The **Energy Discussion Paper** series is intended to disseminate pre-prints and research reports organized or authored by members of the **International Energy Initiative** (Latin American Office) and its associates with the purpose to stimulate the debate on current energy topics and sustainable development.

Any comments or suggestions are welcome and should be addressed to the authors for consideration.

**Gilberto M. Jannuzzi**  
Diretor (Latin America)  
International Energy Initiative

## Apresentação

A série **Energy Discussion Paper** tem o objetivo de disseminar os artigos e relatórios preparados pelos membros ou associados do escritório regional da **International Energy Initiative**. A intenção é estimular o debate sobre temas correntes na área de energia e desenvolvimento sustentável.

Comentários e sugestões são bem-vindos e devem ser encaminhados diretamente aos autores, para consideração e eventuais revisões.

**Gilberto M. Jannuzzi**  
Diretor (América Latina)  
International Energy Initiative

Jannuzzi, Gilberto De Martino

A Prospecção Tecnológica em Energia e a Pesquisa e Desenvolvimento no Brasil: Elementos para uma Estratégia / Gilberto De Martino Jannuzzi, Isaías Macedo, Mauro Zackiewicz, Paulo Henrique de Mello Sant'Ana. - Campinas, SP: Energy Discussion Paper nº 2.64.2/04, 2004.

1. Prospecção tecnológica    2. Tecnologias de energia    3. Política científica e tecnológica

The ideas and opinions expressed in the paper do not represent, nor are necessarily endorsed by the International Energy Initiative and its Board of Directors.

Reproduction of the contents is permitted warranted that the source is mentioned accordingly.

### Atenção

As idéias apresentadas neste documento não representam necessariamente as opiniões do International Energy Initiative e seu Conselho de Diretores.

Reprodução no todo ou parte do material apresentado é permitida desde que citada a fonte

# **A PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA E A PESQUISA E DESENVOLVIMENTO NO BRASIL: ELEMENTOS PARA UMA ESTRATÉGIA**

## **RESUMO**

Este artigo apresenta uma proposta de metodologia e uma síntese dos resultados de um exercício de prospecção para auxiliar o processo de decisão de financiamento para atividades de P&D em energia. Primeiramente, um conjunto de 63 tópicos tecnológicos, contendo os grupos de geração de eletricidade, combustíveis, transmissão, distribuição e uso final, foi previamente selecionado; posteriormente, 124 especialistas do governo, empresa e academia foram convidados a responder a uma consulta Delphi em duas rodadas contendo 16 questões de cunho técnico-econômico, estratégico, ambiental e social para cada um dos 63 tópicos selecionados; os especialistas foram divididos em quatro níveis de especialidade para que suas respostas fossem pesadas numa análise multicritério, onde diferentes visões de futuro foram também consideradas. Foi possível demonstrar que existe um conjunto de tecnologias que possuem as características de serem bem avaliadas e de permanecerem em posições de alta prioridade mesmo com fortes variações nas diferentes visões de futuro. Esse conjunto “robusto” de tecnologias apresenta um alto consenso entre os respondentes do Delphi e indica oportunidades de maior atenção para novos investimentos em P&D.

## **1. INTRODUÇÃO**

A tradição de financiamento de atividades de P&D no país é muito centrada no fomento a projetos individuais ou grupos de pesquisadores. Mesmo quando existe direcionamento temático, isso é freqüentemente descontinuado após alguns anos, sem que se estabeleçam resultados e experiências consolidadas. Embora existam exceções, esse tem sido o modelo dominante, dificultado enormemente por uma escassa articulação entre pesquisa básica, formação de recursos humanos, pesquisa aplicada, e setor privado. Na área de energia, uma área essencialmente multidisciplinar, as iniciativas de pesquisa e desenvolvimento têm sido particularmente fragmentadas.

Não obstante os esforços realizados durante a década de noventa e especialmente entre os anos 2000 e 2002, com inovações institucionais importantes criando recursos para áreas de P&D, inúmeros entraves têm se verificado para o exercício pleno de realização orçamentária e legal dos recursos dos Fundos Setoriais, sem contar das definições temáticas de longo prazo que não tiveram tempo ainda de se consolidarem.

Um dos maiores desafios que os responsáveis pela orientação de política de C,T&I têm a enfrentar é a criação de mecanismos para a efetiva exploração do potencial existente no país e a decisão de concentrar recursos em determinadas áreas consideradas prioritárias. A prospecção tecnológica é um instrumento para se conhecer as possibilidades e oportunidades de investimentos em P&D em áreas que podem ser importantes para o desenvolvimento econômico e social do país. Um trabalho de prospecção 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 uma lista de tópicos (uma agenda de P&D)

ordenados por prioridades, segundo a avaliação de um painel de especialistas. Além disso, o próprio processo de consulta a especialistas, coleta de informações, processamento e organização desses dados oferecem subsídios para aqueles tomadores de decisões, e também fazem parte de um estudo prospectivo.

Este artigo apresenta uma proposta de metodologia e a síntese de alguns resultados de um exercício de prospecção para auxiliar o processo de decisão de financiamento para atividades de P&D em energia. O presente exercício teve como objetivo sugerir uma lista de tópicos tecnológicos e indicar uma priorização para subsidiar decisões de tomadores de decisão na área de C,T&I. Este artigo está baseado na experiência desenvolvida pelos autores entre o período de agosto de 2002 a março de 2003 e foi realizada sob os auspícios do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos em Ciência, Tecnologia e Inovação – CGEE (v. Jannuzzi, 2003).

## 2. A PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

A prospecção tecnológica nada mais é que um levantamento de uma relação de tecnologias e atividades de suporte para seu desenvolvimento de maneira a atender a expectativas e demandas de uma sociedade.

Consiste de duas partes: uma capaz de relacionar uma lista de tópicos, temas ou áreas de relevância e interesse para atender às demandas futuras de uma sociedade; outra onde é possível indicar uma hierarquia para priorização dos temas escolhidos.

Um exercício de prospecção tecnológica, portanto tem a finalidade de indicar uma agenda e priorização de atividades de P&D para um determinado horizonte de tempo.

Esse processo implica na explicitação de respostas às perguntas: para que (ou quem) queremos inovações tecnológicas? Quais os problemas (ou desafios) que estamos interessados em resolver? Quais são os critérios que orientam nossas preferências e prioridades?

A abordagem de prospecção tecnológica denominada Foresight é hoje um dos principais mecanismos para estabelecer prioridades de pesquisa e desenvolvimento e alinhar as políticas de C&T às necessidades econômicas e sociais dos países. Por meio da comunicação e cooperação entre pesquisadores, usuários e financiadores, a abordagem procura articular a busca por “visões do futuro”, privilegiando conhecer o entorno e estabelecer uma comunicação mais efetiva entre os atores envolvidos nos processos que influenciam o desenvolvimento da ciência e da tecnologia, levando ao fortalecimento e ampliação das redes técnico-econômicas de que participam.

O termo *Foresight* foi cunhado no início dos anos 1980 com o intuito de ressaltar o caráter de processo e a ênfase na comunicação, aspectos negligenciados até então em estudos prospectivos sobre o futuro da ciência e tecnologia. O estudo sistemático que levou a um melhor entendimento dos mecanismos pelos quais as inovações são geradas mostrou também que quantificações e predições probabilísticas sobre diferentes parâmetros de novas tecnologias não eram suficientes para o planejamento. Era preciso combinar processos de análise e mecanismos de comunicação pelos quais diversos atores participassem dos exercícios de antecipação de futuro, com a criação coletiva de visões e assumindo uma postura pró-ativa para atingi-las. *Foresight* é, portanto “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 tomadas 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. *Foresight* no governo 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. *Foresight*, é portanto, próximo a planejamento. Mas não é planejamento, é apenas uma etapa no planejamento.” (Coates, 1985).

### **3. METODOLOGIA DO EXERCÍCIO**

O trabalho de prospecção tecnológica aqui desenvolvido está baseado em quatro componentes:

- a sugestão de uma agenda de P&D: uma listagem de tópicos tecnológicos relevantes agrupados de maneira mais homogênea possível em três grupos: geração de eletricidade (G1), combustíveis (G2) e transmissão, distribuição e uso final (G3);
- a definição de um conjunto de especialistas em energia nos de agências de governo, indústria e centros de pesquisa;
- os critérios de avaliação dos tópicos tecnológicos;
- visões de futuro: dependendo de expectativas, diferentes critérios podem ter maior relevância que outros e podem influenciar a priorização de tópicos. É necessário estabelecer um conjunto que expectativas futuras para completar a análise.

### **4. A AGENDA DE P&D EM ENERGIA**

Este componente teve como ponto de partida uma análise de alguns estudos internacionais similares de prospecção tecnológica para energia e projeções de médio e longo prazo para suprimento e demanda energética. Além disso, procedeu-se a um levantamento de “estado da arte” de uma seleção de 63 tópicos tecnológicos que apresentam oportunidades para P&D nos próximos 20 anos para o Brasil. Esse material está consolidado no documento “Estado da arte e tendências tecnológicas para energia” (Macedo, 2003). A seleção de 63 tópicos foi feita sob consulta e discutida em dois seminários realizados durante o ano de 2002 de acordo com a metodologia do exercício (Jannuzzi, 2003).

### **5. A CONSULTA DELPHI: O UNIVERSO DOS ESPECIALISTAS**

Foi feito um esforço de reunir um grupo de especialistas nas diversas áreas representadas pelos tópicos tecnológicos selecionados e ao mesmo tempo ter representantes da academia e centros de pesquisa, do governo (ministérios, agências reguladoras, agências de fomento) e de empresas (empresas de energia, empresas de engenharia, associações empresariais, etc). Um total de 124 especialistas foi selecionado e convidado a avaliar os 63 tópicos tecnológicos.

Foi utilizada uma consulta segundo a metodologia 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 2ª. 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.

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 selecionados 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 (<http://www.cgee.org.br>).

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.

## **6. AS DIMENSÕES DE AVALIAÇÃO DAS TECNOLOGIAS**

Os possíveis efeitos da adoção de novas tecnologias para energia são muitos e é alta a complexidade envolvida para sua previsão. Foram estabelecidos quatro grupos de critérios que serviram para estabelecer os indicadores de impactos ou contribuições de cada tópico tecnológico. Para a consulta Delphi aos especialistas foram consideradas as dimensões Técnico-Econômica, Estratégica, Ambiental e Social. Essas dimensões (critérios) foram apresentadas no documento de Diretrizes Estratégicas do CTENERG (MCT, 2002) e também em Jannuzzi (2000). Cada uma delas foi detalhada em diferentes componentes mais específicos.

Os componentes das dimensões prospectivas deram origem a 14 questões para a consulta Delphi. 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.

## 7. AS VISÕES DE FUTURO: ORIENTAÇÕES PARA ALOCAÇÃO DE PRIORIDADES

O procedimento que foi adotado para o tratamento de visões do futuro está baseado em abordagem similar empregada em um estudo prospectivo (European Energy Delphi), realizado pelo European Commission, Research DG (Energy Programme).

A metodologia consiste em considerar algumas “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. Para o exercício realizado foram escolhidos três conjuntos de valores: (a) Escolha individual; (b) Equilíbrio ecológico; e (c) Igualdade social.

A priorização de temas para o desenvolvimento tecnológico nas áreas de geração e uso de energia depende da orientação estratégica para o desenvolvimento do país nos próximos anos (Jannuzzi, 2003). Esta orientação é a base para a definição dos pesos relativos dos conjuntos de critérios (econômicos, sociais, ambientais ou estratégicos) usados nas análises das diversas opções tecnológicas que foram utilizados para priorizar os tópicos tecnológicos.

## 8. HIERARQUIZAÇÃO MULTICRITÉRIO

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, a chamada metodologia de otimização multicritério (v. por exemplo Roy e Bouyssou, 1993). Entre os algoritmos existentes, optou-se por uma versão simplificada do método multicritério ELECTRE<sup>1</sup> 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.

Para os critérios foi adotado

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

---

<sup>1</sup> *EL*imination *Et* *Choix* *Traduisant* la *RE*alité.

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.

## 9. TÓPICOS ROBUSTOS

A orientação metodológica adotada para a prospecção em energia consistiu em ao invés de tentar obter uma estrutura de pesos e orientações ótimas, partir da constituição de combinações de pesos e orientações plausíveis e representativas de diferentes posicionamentos estratégicos, denominados Visões de Futuro. As listas de hierarquização resultantes para cada Visão uma vez sobrepostas e comparadas evidenciaram claramente quais são tópicos robustos e quais são tópicos sensíveis nessas hierarquias.

Para se ter ainda mais garantia da robustez da hierarquização, dois recursos metodológicos complementares foram utilizados, tendo como referência a hierarquia gerada com as Visões de Futuro:

- a) Visões de Futuro Extremadas: a partir dos vetores de pesos construídos para as três Visões de Futuro consideradas, cada uma delas foi deliberadamente "exagerada", mantendo-se apenas os critérios característicos de cada visão. As três hierarquias "exageradas" foram geradas e sintetizadas em uma só hierarquia robusta, somando-se as pontuações obtidas nas diversas simulações.
- b) Ponderações por especialidade: a forma utilizada para valorizar mais as repostas dadas pelos especialistas foi alterar a contagem de suas avaliações na consulta Delphi. Desta forma, se no modo sem ponderação (B, na Ilustração 1) os histogramas contém as respostas de cada participante contada apenas uma vez, numa ponderação que teve como objetivo assinalar maior peso aos especialistas "conhecedor" e "perito" e familiarizados atribuímos peso 2, (P, na Ilustração 1) mantendo-se



unitária para "não-familiarizado" e "familiarizado". Na ponderação P2 (Ilustração 1), "perito" é contado 4 vezes, "conhecedor" 3, "familiarizado" 2 e "não-conhecedor" 1 vez. Cada uma das ponderações descritas foi utilizada, foram geradas hierarquias para as três Visões de Futuro (de referência) e sintetizadas.

As quatro hierarquias robustas obtidas: a hierarquia de referência, a hierarquia das visões "exagerada" e as hierarquias com ponderação por especialidade P e P2 foram então comparadas e sintetizadas. Os resultados obtidos confirmaram repetidas vezes a robustez das soluções encontradas, e as variações observadas auxiliaram a percepção de aspectos importantes relacionados à seleção de tópicos de energia.

## 10. RESULTADOS

### *A priorização de tópicos tecnológicos: análise multicritério*

Apesar deste artigo ser mais metodológico, um pequeno resumo dos resultados será apresentado nesta seção para que os conceitos acima apresentados possam ser visualizados. O processo de hierarquização dos tópicos tecnológicos foi realizado através de uma combinação de conjuntos de pesos associados a critérios utilizados para avaliação dos 63 citados. Foram utilizados quatro tipos de critérios (sociais, técnico-econômicos, ambientais e estratégicos), lembrando que a avaliação foi realizada em duas oportunidades, seguindo a metodologia Delphi. Os diferentes conjuntos de pesos estão associados a três visões de futuro que serviram para orientar as escolhas dos tópicos tecnológicos em energia que foram descritos anteriormente. Portanto, a consulta Delphi proporciona a avaliação dos tópicos considerados de acordo com os critérios e as visões de futuro ponderam cada quesito da avaliação. Para as análises posteriores os respondentes dos três grupos são considerados amostras pertencentes de populações distintas, apesar de alguns especialistas terem respondido a mais de um grupo. Portanto para a priorização dos tópicos as tecnologias foram comparadas dentro de cada grupo, mas não entre eles.

Como resultados desse processo obtivemos listas dos tópicos ordenadas de acordo com as preferências ponderadas através das três visões de futuro. Esta ordenação, rigorosamente, é feita entre os tópicos de um mesmo grupo de tecnologias porque é utilizado o mesmo conjunto de consultados, para cada grupo. No entanto, houve a preocupação de manter vários consultados em dois dos grupos, para obter respostas dentro de uma visão mais geral.

Na ilustração abaixo apresentamos o posicionamento de cada tecnologia nas diversas simulações realizadas. As simulações B, P e P2 representam conjuntos de pesos diferentes atribuídos de acordo com o grau de especialidade de cada respondente, considerando o mesmo valor de pesos atribuídos aos critérios de avaliação, segundo cada visão de futuro. A simulação E representa uma radicalização nos valores de pesos atribuídos aos critérios de acordo com cada visão de futuro. Procuramos combinar os resultados obtidos para cada uma das três Visões de Futuro fazendo corresponder um único valor de prioridade para cada simulação (B, P, P2, E e Síntese). Fizemos análises de variância também para identificar aqueles tópicos que mais mudaram de ordem de prioridade entre as três visões de futuro (Jannuzzi et Sant'Ana, 2003).

Com estes resultados estamos interessados em apresentar conjuntos de tecnologias que se mostraram mais robustas nas várias simulações efetuadas. Procuramos destacar essas

tecnologias uma vez que elas possuem a propriedade de ocuparem posições relevantes nas diversas combinações de pesos que fizemos procurando representar preferências descritas nas três visões de futuro. A relação dos tópicos que apresentaram essa propriedade está na Tabela 1.

É possível verificar que alguns grupos de tecnologias aparecem como prioritárias e variam pouco nas simulações efetuadas. Outras apresentam grandes variações.

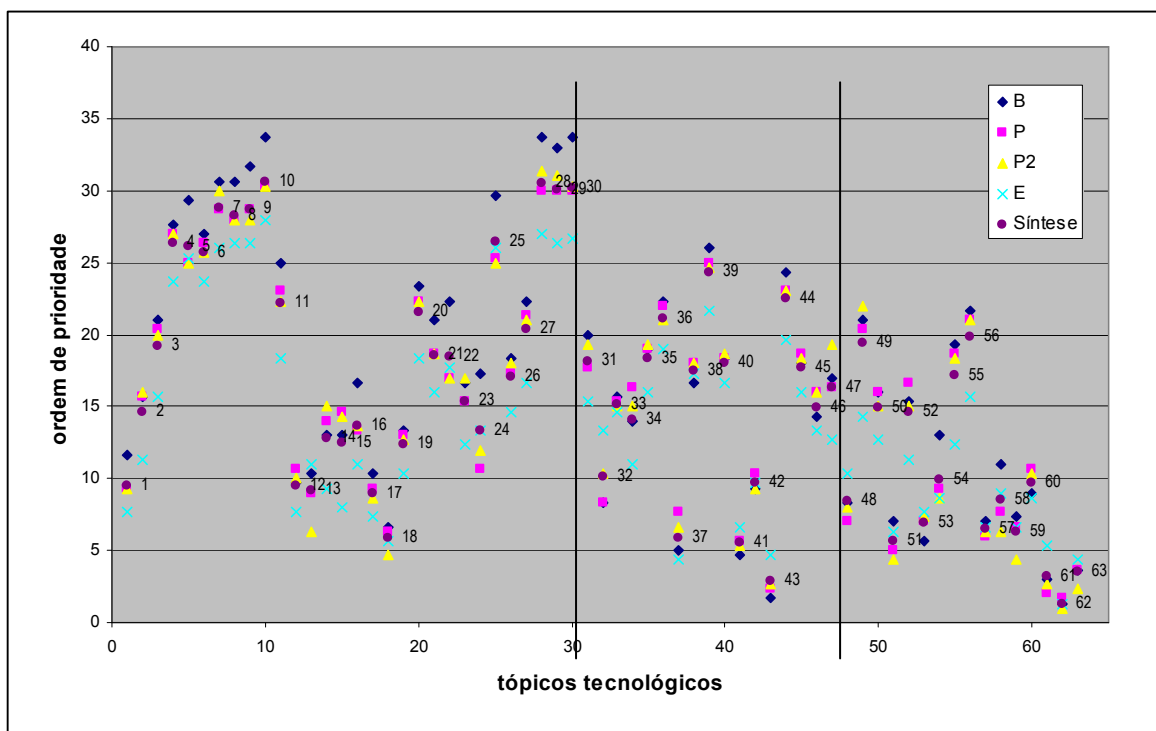


Ilustração 1: Resultados da hierarquização de acordo com cada simulação para o conjunto total dos tópicos tecnológicos

No.	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.

Tabela 1: Os tópicos tecnológicos prioritários mais “robustos” no conjunto dos três grupos

Dentre os itens “mais robustos” vemos 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*”.

Devemos ainda notar que obviamente nenhum planejamento poderá utilizar apenas os itens “mais robustos”; a análise das prioridades completas (e também das prioridades internas, nos grupos de tecnologias) é indispensável. Essa análise é apresentada mais adiante.

De uma maneira geral, podemos observar que existe uma pequena tendência de melhorar a prioridade das tecnologias ao se atribuir maior peso aos especialistas, mas para a maior parte dos tópicos considerados essa influência altera em 1 ou 2 pontos para cima ou para baixo na ordem de prioridade das tecnologias para as duas simulações, ou seja, não consideramos que exista uma alteração significativa em decorrência do nível de conhecimento do respondente. A nosso ver isso pode ser atribuído ao fato de que o universo de respondentes já ser familiarizado com a área de energia de uma maneira geral.

Para alguns grupos de tecnologias, no entanto, essa influência se apresenta de maneira mais significativa, como é o caso das tecnologias nucleares (8, 9 e 10), para o tópico 13 (Metodologias e instrumentação para prognóstico de afluências), tópico 22 (Gasificação de grande porte), 24 (componentes para sistemas fotovoltaicos), 54 (Sistemas híbridos) e 58 (Armazenagem de hidrogênio). Para esses tópicos o especialista contribuiu aumentando sua prioridade.

#### *Os tópicos menos robustos*

Investigamos também aquelas tecnologias que alteram muito seu posicionamento na ordem de prioridades ao variarmos os pesos atribuídos aos critérios e o grau de especialização dos respondentes.

Algumas tecnologias mostram grandes variações no seu posicionamento de prioridade, representadas no gráfico por altos valores do desvio padrão. Os desvios padrões representam unidades de variações em relação à média da posição ocupada por cada tecnologia para cada simulação. Assim, por exemplo o tópico 45 (Lixo urbano) apresenta 11 pontos de desvio em relação à posição média (16º. posição) encontrada na simulação E entre as três visões de futuro.

Alguns grupos de tecnologias mostram grande variabilidade em seu posicionamento quando variamos os pesos dos critérios de avaliação. Algumas tecnologias de energia da biomassa apresentam essa característica (18-19 e 41-45); tecnologias relacionadas com energia hidráulica (13-15); tecnologias relacionadas a exploração, refino e uso de petróleo e derivados (31-38). Isso não significa que essas tecnologias apresentam baixa priorização, apenas que são mais suscetíveis a variações na valoração de seus atributos, segundo cada uma das visões apresentadas.

#### *As prioridades por grupos de tecnologias*

Todas estas prioridades consideram o conjunto dos três grupos (G1, G2 e G3) de tecnologias; eles devem co-existir em qualquer planejamento. É útil considerar também

como foi a prioridade “interna”, em cada grupo. Ela está sujeita, também, a variações devidas ao uso de diferentes ponderações para os critérios em cada visão do futuro, e ao peso dado à especialização.

Considerando a situação “base” para a ponderação das visões do futuro e “peso” moderado para diferenciar a especialização do consultado (simulação P), isto pode ser substituído, se ficar mais claro, por: considerando a simulação P os resultados abaixo indicam os dez itens tecnológicos mais importantes em cada grupo.

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

Nota: Essa priorização leva em conta a combinação das posições dos tópicos segundo as três visões de futuro.

*Tabela 2: Hierarquização de tópicos tecnológicos por grupos de tecnologias (tecnologias para geração de eletricidade G1). Ponderação base (B)*

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

*Tabela 3: Hierarquização de tópicos tecnológicos por grupos de tecnologias (tecnologias para suprimento de combustíveis – transporte e calor G2) Ponderação Base (Simulação B)*

No.	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,

*Tabela 4: Hierarquização de tópicos tecnológicos por grupos de tecnologias (tecnologias de transmissão e distribuição, geração distribuída e armazenamento, planejamento, conservação e uso final G3) Ponderação base (Simulação B)*

## 11. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho mostrou um procedimento para captar as diferentes percepções que os especialistas possuem com relação às quatro dimensões de avaliação de tecnologias consideradas (técnico-econômica, social, ambiental e estratégica) e como podemos utilizar essa informação para realizar um ordenamento de prioridades considerando diferentes expectativas futuras sobre o desempenho e papel das tecnologias de energia na sociedade. A metodologia empregada permite:

- discutir objetivamente a priorização de tecnologias
- recomendar aprofundamentos para grupos específicos de tecnologias

Foi possível obter um conjunto bem qualificado de profissionais especializados pertencentes a setores de governo, indústria e centros de pesquisa para participar da consulta. Esse conjunto de respondentes procurou contar com participantes balanceando suas origens bem como área tecnológica.

Foi possível demonstrar que existe um conjunto de tecnologias que possuem características de serem bem avaliadas e de permanecerem em posições de alta prioridade mesmo com fortes variações nas diferentes visões de futuro. Esse conjunto “robusto” de tecnologias apresenta um alto consenso entre os respondentes do Delphi e indicam oportunidades de maior atenção para novos investimentos em P&D.

Considerando a abrangência dos tópicos analisados e as dimensões de avaliação, é prematuro inferir desses resultados indicações de atividades direcionadas para Programas Temáticos de P&D. No entanto, é possível indicar áreas onde se necessita maior aprofundamento para que posteriormente se possam elaborar tais programas. O

exercício auxilia na medida em que oferece um filtro para indicar uma seqüência de atividades de acordo com prioridades.

É possível, a partir da priorização obtida entre os 63 tópicos, sugerir a seguinte lista de temas que deverão ser objeto de um novo exercício prospectivo:

- a) tecnologias de biomassa;
- b) tecnologias relacionadas com gás natural;
- c) tecnologias para transmissão de eletricidade;
- d) modelos de gestão de reservatórios, previsão de afluências e outros tópicos relacionados com melhorias para o aproveitamento da geração hidroelétrica;
- e) tecnologias para geração distribuída;
- f) tecnologias de armazenamento de energia;
- g) produção, uso e armazenamento de hidrogênio e Células a combustível.

## 12. REFERÊNCIAS

MACEDO, I.C. **Estado da arte e tendências tecnológicas para energia**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2003. 50p.

JANNUZZI, G.M. **Políticas públicas para eficiência energética e energia renovável no novo contexto de mercado**. Campinas: Editora Autores Associados, 2000.

JANNUZZI, G.M. **Prospecção Tecnológica em Energia**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2003. 40 p. Documento de Referência para a Etapa 2.

JANNUZZI, G.M.; SANT'ANA, P.H.M. Avaliação prospectiva de tecnologias de energia: uma análise de variância das repostas na 1ª rodada da consulta delphi. 2003.

COATES, J.F. Foresight in Federal Government Policy Making. **Futures Research Quarterly**, v. 1, p. 29-53, 1985.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Diretrizes estratégicas para o Fundo Setorial de Energia - CTENERG**. Brasília: CGEE, 2002.

ROY, B.; BOUYSSOU, D. **Aide multicritère à la décision: méthodes et cas**. Paris: Economica, 1993. 695 p.