

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**Análise prospectiva de tecnologias de energia:
validação e análises de uma consulta Delphi
com especialistas do Brasil**

Autor: **Paulo Henrique de Mello Sant'Ana**
Orientador: **Gilberto De Martino Jannuzzi**

07/05

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS**

**Análise prospectiva de tecnologias de energia:
validação e análises de uma consulta Delphi
com especialistas do Brasil**

Autor: **Paulo Henrique de Mello Sant’Ana**
Orientador: **Gilberto De Martino Jannuzzi**

Curso: Planejamento de Sistemas Energéticos

Dissertação de mestrado acadêmico apresentada à Comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos.

Campinas, 2005
SP – Brasil

NIDADE BC
CHAMADA TITANICAMP
Sa59a
EX
OMBO BC/ 66625
ROC 16.00193.06
REÇO 11.00
DATA 04/01/06
1º CPD

Bib ID 374366

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Sa59a Sant'Ana, Paulo Henrique de Mello
M817g Análise prospectiva de tecnologias de energia:
validação e análises de uma consulta Delphi com
especialistas do Brasil / Paulo Henrique de Mello
Sant'Ana. --Campinas, SP: [s.n.], 2005.

Orientador: Gilberto De Martino Jannuzzi
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Ciência e tecnologia. 2. Prospeção. 3. Delphi,
Método. 4. Processo decisório em grupo. 5.
Planejamento estratégico. I. Jannuzzi, Gilberto De
Martino. II. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Título em Inglês: Energy technology foresight analysis: validation of a Delphi survey
with specialist in Brazil

Palavras-chave em Inglês: R&D, Technology foresight, Delphi, Energy planning

Área de concentração: Planejamento de Sistemas Energéticos

Titulação: Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos

Banca examinadora: Arnaldo César da Silva Walter e Isaías de Carvalho Macedo

Data da defesa: 29/07/2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
Planejamento de Sistemas Energéticos

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO

**Análise prospectiva de tecnologias de energia:
validação e análises de uma consulta Delphi
com especialistas do Brasil**

Autor: **Paulo Henrique de Mello Sant'Ana**
Orientador: **Gilberto De Martino Jannuzzi**

Prof. Dr. Gilberto De Martino Jannuzzi, Presidente
DE - FEM - UNICAMP

Prof. Dr. Arnaldo César da Silva Walter
DE – FEM - UNICAMP

Prof. Dr. Isaías de Carvalho Macedo
NIPE - UNICAMP

Campinas, 29 de Julho de 2005

Agradecimentos

Agradeço ao meu pai, à minha mãe, ao meu irmão e à minha esposa pelo incentivo e apoio que sempre me deram em tudo o que fiz.

Agradeço ao meu filho Gabriel, que com apenas 1 ano me fez enxergar o que eu não via mais, recuperando minha motivação, minha vontade de descobrir, de perguntar e inovar em tudo o que faço. A natureza nos faz cientistas e o mundo ao nosso redor nos transforma em formigas...

Agradeço ao prof. Jannuzzi pela orientação clara e objetiva durante o todo o mestrado, me ensinando como escrever e pensar de forma científica; tenho muito orgulho de dizer que fui seu orientado.

Agradeço ao International Energy Initiative (IEI) e ao CNPq, por me auxiliarem financeiramente em momentos distintos no mestrado. Agradeço também ao Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), por realizar o trabalho de prospecção tecnológica em energia e permitindo que eu desenvolvesse esta dissertação com os dados de seu projeto.

Agradeço à banca de qualificação, composta pelos professores Arnaldo Walter e Isaías Macedo; suas sugestões e correções foram vitais no fechamento deste trabalho.

Por fim, mesmo sendo um agnóstico, agradeço a Deus (ou deuses...), porque creio em algo maior do que a nossa simples existência.

Epígrafes

"Estratégia é a arte ou ciência de saber identificar e empregar meios disponíveis para atingir determinados fins, apesar de a eles se oporem obstáculos e/ou antagonismos conhecidos."
Sun Tzu

“A intuição não é uma opinião, é a própria coisa.”
Schopenhauer

Resumo

SANT'ANA, Paulo Henrique de Mello. *Análise prospectiva de tecnologias de energia: validação e análises de uma consulta Delphi com especialistas do Brasil*. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2005. 144p. Dissertação (Mestrado)

A confecção de uma agenda de C,T&I em energia é atualmente um tópico de grande relevância devido à ainda recente liberalização do mercado energético. Com o intuito de se mapear as tecnologias mais promissoras no desenvolvimento da matriz energética brasileira, o projeto de prospecção tecnológica em energia, realizado pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), teve como finalidade a identificação de alguns conjuntos de tópicos tecnológicos considerados prioritários para investimentos em C,T&I no Brasil para os próximos 20 anos. Esta dissertação, baseada numa das etapas deste projeto, tem como objetivo analisar e validar a consulta Delphi em energia realizada com especialistas da academia, indústria e governo do Brasil. Após a validação desta técnica, um exercício de ranqueamento dos tópicos tecnológicos com as respostas da segunda rodada da consulta é montado para comparar com os resultados do ranqueamento efetuado pelo projeto do CGEE. De acordo com os resultados, a consulta Delphi em energia permite uma mudança de opinião em alguns tópicos tecnológicos, um aumento do consenso (medido através da variação do desvio padrão) e uma convergência dos respondentes menos especializados na direção das médias totais das respostas da primeira rodada; a comparação do ranqueamento com os resultados do CGEE não mostra diferenças significativas, sendo coerente também com os resultados de EuRenDel, 2004.

Palavras Chave: C,T&I, prospecção tecnológica, Delphi, planejamento energético.

Abstract

SANT'ANA, Paulo Henrique de Mello. *Energy technology foresight analysis: validation of a Delphi survey with specialists in Brazil*. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2003. 144p. Dissertation (Masters Degree)

Building a R&D agenda is nowadays an important issue due to the recent liberalization of Brazilian energy market. The challenge now is to identify the most promising technologies in the development of a Brazilian energy matrix. The “Center of Management and Strategic Studies” (CGEE) has coordinated a project to identify some technological topics that are supposed to be the most promising to Brazil in the next 20 years. This thesis, based on the second part of this project, aims to validate and analyse the Delphi survey answered by specialists of academy, industry and government in Brazil. After the validation of the technique, a ranking of the technological topics in Delphi's second round was made to compare the results with the CGEE's ranking. According to the results, Delphi's technique allows a change of opinion in some topics, an increase of the consensus (measured by the standard deviation), and a convergence of answers from the first to the second round from the less specialized participant in the direction of the average of answers in the first round. The comparison with the CGEE's results didn't show any considerable differences, showing coherence with EuRenDel (2004) results.

Key Words: R&D, technology foresight, Delphi, energy planning.

Índice

Capítulo 1: Introdução	1
Capítulo 2: O Método Delphi	7
2.1 Relação entre prospecção tecnológica e planejamento	8
2.2 Técnica Delphi para prospecção tecnológica	10
2.3 Considerações finais	20
Capítulo 3: Metodologia	21
3.1 Pesquisa Delphi realizada com especialistas em energia da academia, indústria e governo do Brasil	22
3.2 Mudança de opinião dos especialistas na pesquisa Delphi em energia	26
3.3 Medição do consenso na pesquisa Delphi em energia	27
3.4 Análise de convergência das respostas na pesquisa Delphi em energia	28
3.5 Análise de variância da primeira rodada na pesquisa Delphi em energia	29
3.6 Ranqueamento dos tópicos tecnológicos na segunda rodada da pesquisa Delphi em energia	32
Capítulo 4: Resultados e análises da pesquisa Delphi em energia	33
4.1 Participação dos especialistas na pesquisa Delphi em energia	34
4.2 Mudança de opinião dos especialistas da primeira para a segunda rodada da pesquisa Delphi em energia	37
4.3 Análise de consenso nas duas rodadas da pesquisa em energia	43
4.4 Análise de convergência da primeira para a segunda rodada na pesquisa Delphi em energia	48
4.5 Considerações finais	51

Capítulo 5: Análise de variância da primeira rodada da pesquisa Delphi em energia	53
5.1 Investigação da influência do grau de especialidade dos respondentes (especialista, conhecedor, familiarizado e não familiarizado) na primeira rodada da pesquisa Delphi em energia	54
<i>Resultados</i>	54
<i>Discussão</i>	58
5.2 Investigação da influência do setor de atuação dos respondentes (academia, empresa e governo) na primeira rodada da pesquisa Delphi	60
<i>Resultados</i>	60
<i>Discussão</i>	64
5.3 Considerações finais	66
Capítulo 6: Ranqueamento dos tópicos tecnológicos da segunda rodada da pesquisa Delphi em energia	68
6.1 Resultados e discussões do ranqueamento	70
<i>Ranking geral</i>	70
<i>Ranking técnico-econômico</i>	76
<i>Ranking estratégico</i>	81
<i>Ranking ambiental</i>	85
<i>Ranking Social</i>	89
6.2 Comparação do ranqueamento desta dissertação com o ranqueamento do CGEE	93
6.3 Considerações finais	95
Capítulo 7: Conclusões	97
Referências Bibliográficas	100
Anexo 1: Lista dos Tópicos Tecnológicos	104
Anexo 2: Questionário Delphi	109
Anexo 3: Critérios e Métricas adotadas no questionário Delphi	115
Anexo 4: Grupo Consultivo do projeto “Prospecção em energia” do CGEE	117
Apêndice: Revisão de estatística básica e análise de variância	118

Lista de figuras

Figura 1: Organograma das etapas I e II do projeto prospecção tecnológica em energia

Figura 2: Modelo de prospecção e planejamento.

Figura 3: Fluxograma do Delphi Clássico

Figura 4: Fluxograma do “Policy Delphi”

Figura 5: Exemplo de como as médias e os desvios padrão podem variar de forma diferente, não indicando uma convergência

Figura 6: Barra de erro (95%) para os tópicos tecnológicos 60 e 23

Figura 7: Participação dos respondentes de acordo com instituições de origem (Academia, Empresa e Governo)

Figura 8: Respondentes convidados por grupos de tecnologias (G1, G2 e G3) segundo sua origem (Academia, Empresa e Governo)

Figura 9 : Participação dos respondentes por grupos de tecnologias (G1, G2 e G3) segundo sua origem (Centros de pesquisa, Empresas e Governo) na 1ª rodada da pesquisa

Figura 10 Participação dos respondentes por grupos de tecnologias (G1, G2 e G3) segundo sua origem (Centros de pesquisa, Empresas e Governo) na 2ª rodada da pesquisa

Figura 11: Distribuição do nível de especialização dos respondentes por grupos tecnológicos

Figura 12: Variação do desvio padrão da primeira para a segunda rodada dos três grupos.

Figura 13: Variação do desvio padrão do conjunto de tópicos do G1

Figura 14: Variação do desvio padrão do conjunto de tópicos do G2 aumento do desvio padrão

Figura 15: Variação do desvio padrão do conjunto de tópicos do G3

Figura 16: Variação do desvio padrão por tópicos do G1

Figura 17: Variação do desvio padrão por tópicos do G2

Figura 18: Variação do desvio padrão por tópicos do G3

Lista de tabelas

Tabela 1: Questões e critérios a da pesquisa Delphi em energia.

Tabela 2: Exemplo da adoção das métricas utilizadas nas questões.

Tabela 3: Exemplo do quadro final de ANOVA do software SPSS 11.5.

Tabela 4: Exemplos do quadro final de ANOVA para um tópico com baixa significância (0,97%) e um outro com alta significância (80,81%).

Tabela 5: Média das respostas variou em mais ou menos do que “1” entre as duas rodadas(em porcentagem).

Tabela 6: Variação das médias da primeira para a segunda rodada dos tópicos com maiores diferenças do G2.

Tabela 7: Variação das médias da primeira para a segunda rodada dos tópicos com maiores diferenças do G3.

Tabela 8: Convergência por grupos de especialidades da primeira para a segunda rodada da pesquisa Delphi em energia em torno da média total das respostas na 1ª rodada.

Tabela 9: Convergência do grupo menos especializado da primeira para a segunda rodada da pesquisa Delphi em energia em torno da média das respostas do grupo mais especializado na 1ª rodada.

Tabela 10: Rejeição da hipótese H_0 para os diferentes graus de especialidade nas questões do G1: geração de energia elétrica.

Tabela 11: Rejeição da hipótese H_0 para os diferentes graus de especialidade nas questões do G2: combustíveis.

Tabela 12: Rejeição da hipótese H_0 para os diferentes graus de especialidade nas questões do G3: transmissão, distribuição, armazenamento e uso final de energia.

Tabela 13: Rejeição da hipótese H_0 para os diferentes graus de especialidade nos tópicos tecnológicos do G1: geração de energia elétrica.

Tabela 14: Rejeição da hipótese H_0 para os diferentes graus de especialidade nos tópicos tecnológicos do G2: combustíveis.

Tabela 15: Rejeição da hipótese H_0 para os diferentes graus de especialidade nos tópicos tecnológicos do G3: transmissão, distribuição, armazenamento e uso final de energia.

Tabela 16: Tópicos tecnológicos do G1 com maior rejeição de H_0 .

Tabela 17: Tópicos tecnológicos do G2 com maior rejeição de H_0 .

Tabela 18: Tópicos tecnológicos do G3 com maior rejeição de H_0 .

Tabela 19: Rejeição da hipótese H_0 para os diferentes graus de especialidade nas questões do G1: geração de energia elétrica.

Tabela 20: Rejeição da hipótese H_0 para os diferentes graus de especialidade nas questões do G2: combustíveis.

Tabela 21: Rejeição da hipótese H_0 para os diferentes setores de atuação dos respondentes nas questões do G3: transmissão, distribuição, armazenamento e uso final de energia.

Tabela 22: Rejeição da hipótese H_0 para os diferentes setores de atuação dos respondentes nos tópicos tecnológicos do G1: geração de energia elétrica.

Tabela 23: Rejeição da hipótese H_0 para os diferentes setores de atuação dos respondentes nos tópicos tecnológicos do G1: combustíveis.

Tabela 24: Rejeição da hipótese H_0 para os diferentes setores de atuação dos respondentes nos tópicos tecnológicos do G3: transmissão, distribuição, armazenamento e uso final de energia.

Tabela 25: Tópicos tecnológicos do G1 com maior rejeição de H_0 .

Tabela 26: Tópicos tecnológicos do G2 com maior rejeição de H_0 .

Tabela 27: Tópicos tecnológicos do G3 com maior rejeição de H_0 .

Tabela 28: Coeficiente de correlação entre o número de rejeições com o número de respostas dos diferentes graus de especialidade dos respondentes.

Tabela 29: Coeficiente de correlação entre o número de rejeições com o número de respostas dos diferentes setores de atuação dos respondentes.

Tabela 30: Ranking geral do G1: Tecnologias para a geração de energia elétrica.

Tabela 31: Ranking geral do G2: Tecnologias para suprimento de combustíveis.

Tabela 32: Ranking geral do G3: Tecnologias de transmissão e distribuição, geração distribuída e armazenamento, planejamento, conservação e uso final.

Tabela 33: Ranking das questões técnico-econômicas do G1.

Tabela 34: Ranking das questões técnico-econômicas do G2.

Tabela 35: Ranking das questões técnico-econômicas do G3.

Tabela 36: Ranking das questões estratégicas do G1.

Tabela 37: Ranking das questões estratégicas do G2.

Tabela 38: Ranking das questões estratégicas do G3.

Tabela 39: Ranking das questões ambientais do G1.

Tabela 40: Ranking das questões ambientais do G2.

Tabela 41: Ranking das questões ambientais do G3.

Tabela 42: Ranking das questões sociais do G1.

Tabela 43: Ranking das questões sociais do G2.

Tabela 44: Ranking das questões sociais do G3.

Tabela 45: Comparação do ranqueamento do G1 desta dissertação com os resultados do CGEE.

Tabela 46: Comparação do ranqueamento do G2 desta dissertação com os resultados do CGEE.

Tabela 47: Comparação do ranqueamento do G3 desta dissertação com os resultados do CGEE.

Nomenclatura

Abreviações

C,T&I – Ciência, Tecnologia e Informação

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

ANOVA – Análise de Variância

Siglas

INT – Instituto Nacional de Tecnologia

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia

MME – Ministério de Minas e Energia

Capítulo 1

Introdução

O financiamento de atividades de P&D no país é centrado no fomento a projetos individuais ou grupos de pesquisadores, e mesmo quando existe um direcionamento temático, isso é freqüentemente descontinuado após alguns anos, sem que se estabeleçam resultados e experiências consolidadas. Um dos maiores desafios que os responsáveis pela orientação de política de C,T&I tem 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 (Jannuzzi *et al*, 2004).

Baseado nesta constatação, o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos em Ciência, Tecnologia e Inovação (CGEE), realizou durante os anos de 2002 e 2003 o projeto “Prospecção Tecnológica em Energia”, com o intuito de construir uma agenda de P&D para identificar prioridades em um conjunto de tópicos tecnológicos prioritários para os investimentos no Brasil para os próximos 20 anos.

Conforme descrito no relatório final do exercício prospectivo em energia do CGEE¹, o projeto deu-se em duas etapas distintas.

¹ Relatório final em http://www.cgee.org.br/arquivos/rel_final_energia.pdf, acesso em 15/01/2005.

Na primeira etapa houve a elaboração de um estudo sobre o estado da arte das principais tendências tecnológicas em energia e a organização de uma lista de tópicos tecnológicos a partir dos elementos obtidos deste estudo, da base Prospector/Energia, da análise do conjunto de cenários relevantes para o planejamento energético na atualidade e de outros exercícios similares conduzidos no Brasil e no exterior. Ao longo desta etapa foram incorporados os resultados parciais dos exercícios de prospecção regional em energia para as regiões Norte e Nordeste², que envolveram levantamentos de oportunidades, identificação preliminar de desafios e problemas e um 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”³. O principal resultado obtido na primeira etapa foi a identificação de 63 tópicos tecnológicos considerados relevantes para o setor de energia (disponíveis no anexo 1), obtidos a partir das informações contidas no referido relatório e consolidados através de debates envolvendo um Grupo Consultivo e outros especialistas do setor. Os tópicos tecnológicos foram divididos em três grandes grupos:

G1: tecnologias para geração de energia elétrica,

G2: tecnologias para suprimento de combustíveis e,

² Realizadas em parceria com a ‘Rede Norte de Energia’ e o ‘Fórum Nordeste de Energia’, estas atividades objetivaram identificar e caracterizar as principais demandas em P&D na área de energia para as regiões norte e nordeste. O trabalho se baseou em um mapeamento que buscou identificar e registrar as atividades de P&D desenvolvidas nas regiões e traçar um panorama da condição atual da infraestrutura e da formação de recursos humanos nos últimos anos. Adicionalmente, envolveu um levantamento de oportunidades, problemas e desafios relacionados ao setor de energia elétrica nas duas regiões e realizou um cruzamento entre as competências e as oportunidades e desafios identificados de modo a explicitar as principais prioridades a serem enfrentadas no curto prazo (CGEE, 2004). (Ver mais em <http://www.cgEE.org.br/prospeccao/>)

³ 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 (CGEE, 2004). (ver mais em <http://www.mct.gov.br/programas/>)

G3: tecnologias de transmissão e distribuição, geração distribuída e armazenamento, planejamento, conservação e uso final.

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 especialistas⁴ usando a técnica Delphi. Deu-se início então à etapa II, cujos tópicos tecnológicos identificados passaram a ser avaliados frente a critérios de hierarquização e por meio de análise de robustez utilizando-se o método multicritérios⁵ de apoio à tomada de decisão.

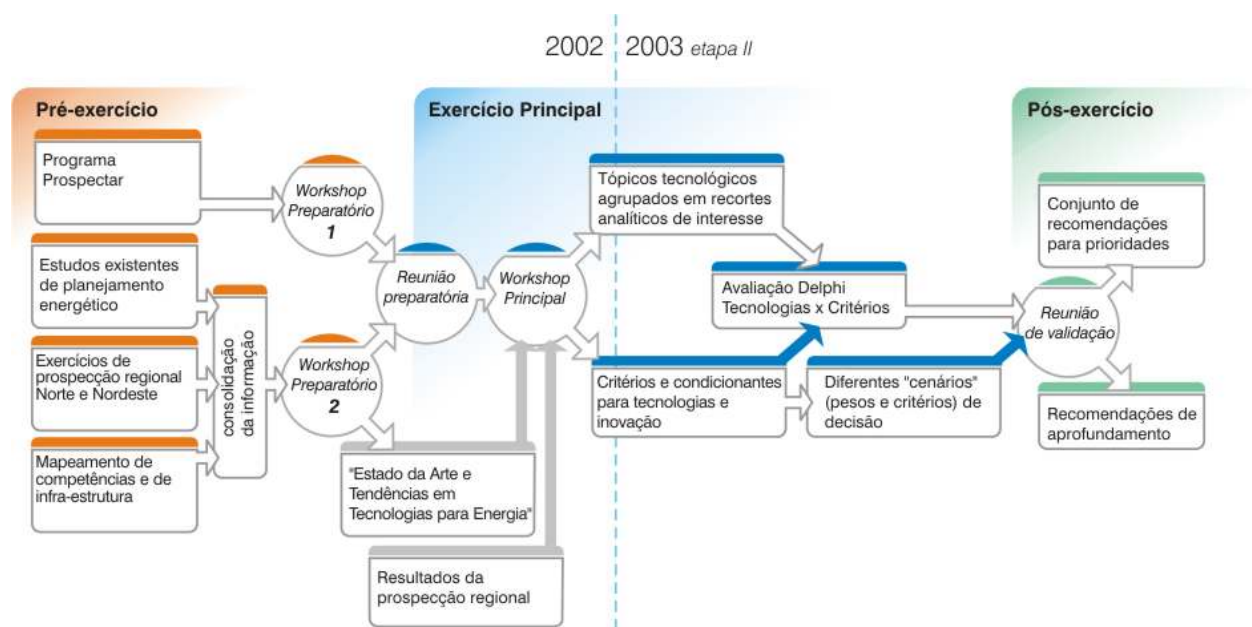


Figura 1: Organograma das etapas I e II do projeto prospecção tecnológica em energia

Fonte: Relatório final em energia (CGEE, 2004)

⁴ A palavra “especialista” é utilizada nesta dissertação como sendo todos os participantes da pesquisa Delphi em energia, sendo sinônimo da palavra “respondente”.

⁵ A análise multicritérios 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.

Com isso, de acordo com CGEE (2004), a metodologia proposta para o projeto levou em conta a definição dos principais elementos de planejamento, que são:

- a) foco estratégico;
- b) horizonte temporal;
- c) abrangência geográfica;
- d) atores envolvidos;
- e) prazos;
- f) organização e gestão do processo;
- g) instrumentos metodológicos;
- h) consultas necessárias (tipo, alcance e frequência);
- i) parcerias para a execução;
- j) relação com as iniciativas já existentes;
- k) previsão para implementação e avaliação;
- l) estratégias de disseminação;
- m) custos e fontes de financiamento.

Os principais pontos considerados na estruturação metodológica foram:

1- 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;

2- o conjunto das tendências relevantes para o planejamento energético na atualidade;

3- a organização de um novo conjunto de tópicos tecnológicos, a partir dos elementos “1” e “2”;

4- a realização de uma consulta estruturada a especialistas utilizando a técnica Delphi;

5- a definição de conjuntos de critérios e pesos frente a visões de futuro;

6- a utilização do método multicritérios de apoio à tomada de decisão para gerar listas de prioridades.

OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação, baseada na consulta Delphi da segunda etapa do projeto Prospecção Tecnológica em Energia do CGEE, tem como objetivo analisar e validar esta consulta Delphi em energia realizada com especialistas da academia, indústria e governo do Brasil. Após a validação desta técnica, um exercício de ranqueamento dos tópicos tecnológicos com as respostas da segunda rodada da consulta é montado para comparar com os resultados do ranqueamento efetuado pelo projeto do CGEE, que se utilizou de ferramentas mais elaboradas como a análise multi-critérios com diferentes visões futuras.

A validação da consulta Delphi como ferramenta prospectiva do projeto do CGEE se baseia nas análises dos resultados das duas rodadas da consulta para verificar a ocorrência de mudanças de opinião⁶, aumento do consenso⁷ e uma convergência⁸ das respostas no decorrer das duas rodadas. Além disso, são realizadas duas análises de variância dos diferentes graus de especialidade⁹ e dos diferentes setores de atuação¹⁰ dos respondentes na primeira rodada da consulta, para verificar se existe a necessidade de pesagem das respostas desses diferentes grupos na confecção do ranqueamento das tecnologias.

⁶ Mudança de opinião é definida nesta dissertação como a variação das médias das respostas no decorrer das 2 rodadas da pesquisa Delphi, cuja metodologia é explicada na seção 3.2 do capítulo 3.

⁷ “Consenso” é definido neste trabalho como a variação do desvio padrão da primeira para a segunda rodada. Se o desvio padrão diminuiu no decorrer das duas rodadas, houve um aumento do consenso; se aumentou, houve uma diminuição do consenso. Este conceito é melhor definido na seção 3.3 do capítulo 3.

⁸ “Convergência” neste trabalho é definido a partir da mudança das médias da primeira para a segunda rodada na direção das respostas de alguns ou todos os respondentes na primeira rodada. Este conceito é melhor definido na seção 3.4 do capítulo 3.

⁹ “Grau de especialidade” neste trabalho são os diferentes níveis de conhecimento que o especialista têm em cada um dos tópicos tecnológicos da consulta Delphi. Esta auto-avaliação dos respondentes é melhor explicada no capítulo 4.

¹⁰ “Setor de atuação” é definido nesta dissertação como os especialistas da academia, empresa e governo do Brasil.

Assim, a presente dissertação dividiu-se em sete capítulos, incluindo este capítulo introdutório. O capítulo 2 é uma revisão bibliográfica sobre a técnica Delphi como método de prospecção tecnológica, e como este método pode ser relacionado com o planejamento energético.

O capítulo 3 detalha a metodologia empregada nesta dissertação, cujas análises são apresentadas nos capítulos 4, 5 e 6.

O capítulo 4 descreve a participação dos especialistas convidados na pesquisa Delphi em energia, mostrando como a consulta foi estruturada, incluindo o questionário que foi utilizado nas duas rodadas da pesquisa e a participação dos diferentes setores de atuação dos respondentes. Posteriormente, no mesmo capítulo, são investigadas as mudanças de opinião e de consenso da primeira para a segunda rodada da pesquisa, bem como a possibilidade de convergência das respostas dos respondentes mais e menos especializados nos tópicos tecnológicos da consulta.

O capítulo 5 tem por objetivo investigar se existem diferenças significativas de opinião entre os diferentes graus de especialidade dos respondentes (especialista, conhecedor, familiarizado e não familiarizado), ou entre os diferentes setores de atuação dos mesmos (academia, indústria e governo), na primeira rodada da pesquisa. Estas análises são importantes para avaliar a necessidade de pesagem das respostas de acordo com a categoria do respondente nos 63 tópicos tecnológicos avaliados.

O capítulo 6 se apóia nas análises e validações dos capítulos anteriores para realizar um exercício de ranqueamento com os dados da segunda rodada da consulta Delphi, ranqueando os tópicos tecnológicos dos três grupos estudados (G1, G2 e G3), para que estes resultados possam ser comparados com o ranqueamento efetuado pelo CGEE.

O capítulo 7 apresenta as conclusões finais e recomendações para futuros trabalhos.

Capítulo 2

O método Delphi

Este capítulo tem como objetivo apresentar uma revisão bibliográfica da técnica Delphi como ferramenta para a prospecção tecnológica, relacionando-a com as atividades de planejamento. Primeiramente é importante definir o que é prospecção tecnológica, e de acordo com Jannuzzi *et al* (2004), 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 às expectativas e demandas futuras de uma sociedade.

Ainda que existam diversos métodos de prospecção tecnológica¹¹, a metodologia que mais se adequou às perguntas e necessidades mapeadas pelo CGEE na segunda etapa do projeto foi a técnica Delphi, que é detalhada no presente capítulo. Conforme elucidado na introdução, o exercício “Ação de Prospecção em Energia” realizado pelo grupo consultivo¹² do projeto do CGEE, teve como objetivo sugerir uma lista de tópicos tecnológicos e indicar uma priorização dos mesmos, para subsidiar as decisões de tomadores de decisão na área de C,T&I.

A seção 2.1 define como é a estrutura das atividades de planejamento e como relacioná-las com a prospecção tecnológica. A seção 2.2 descreve a metodologia Delphi e mostra que esta técnica pode ser aplicada em vários tipos de problemas e áreas de concentração diversas, geralmente quando a opinião dos especialistas é pertinente.

¹¹ Uma revisão bibliográfica de diversos métodos de prospecção tecnológica pode ser visto no projeto tendências do INT através da NT14 (2003) e em Armstrong (2001)

¹² A relação do grupo consultivo da primeira e segunda etapas do projeto está disponível no anexo 4.

2.1 Relação entre prospecção tecnológica e planejamento

Esta seção tem como finalidade estabelecer uma relação entre a prospecção tecnológica e o planejamento, mostrando a íntima relação entre ambos os conceitos na construção de um modelo para a implementação de estratégias.

De acordo com Heijden (2000), todas as pessoas estão acostumadas a prever o futuro, senão não seria possível nem mesmo atravessar a rua porque não saberíamos que um carro poderia nos atingir. Portanto as pessoas prevêem e ajustam suas ações conforme uma dedução lógica desenvolvida durante a vida. Quando algum evento ocorre, tentamos sempre explicá-lo através de uma relação de causa-efeito, e conforme começamos a ver o mundo desta forma, tentamos usar o nosso conhecimento para manipular o mundo ao redor. Na verdade, temos uma tendência em confiar mais em nossa habilidade de manipular os eventos como uma fonte de conhecimento, do que na mera correspondência espaço-tempo.

Armstrong (2001) primeiramente define o conceito de planejamento e previsão¹³, descrevendo o planejamento como um mundo idealizado (como ele deveria ser) e a previsão como a forma que o mundo será. Os planejadores podem utilizar os métodos de prospecção para prever os resultados de planos alternativos; se suas previsões não fornecerem respostas satisfatórias, eles podem revisar os planos para obter novas previsões, repetindo o processo até que os resultados atinjam o objetivo desejado. Com isso os planejadores podem implementar e monitorar os resultados para utilizá-los no próximo período. Muitas organizações revisam as suas previsões, não os seus planos, acreditando que mudando as previsões elas irão mudar o comportamento através da manipulação dos eventos. A figura 2 descreve um fluxograma que ilustra o processo de prospecção e planejamento.

¹³ Ainda que existam algumas diferenças entre os termos “forecast” ou “foresight”, previsão é utilizada como a tradução destes termos e como um sinônimo de prospecção neste trabalho. Maiores detalhes em Zackiewicz (2002)

Neste esquema, o ambiente pode fornecer informações importantes para a escolha da metodologia a ser utilizada no processo de prospecção tecnológica, pois dependendo do tipo e da qualidade dos dados disponíveis, alguns métodos são mais adequados do que outros. Geralmente quando se tem uma disponibilidade grande de dados e problemas bem definidos (objetivos claros do planejamento), os métodos quantitativos são aconselháveis; caso não se tenha uma quantidade razoável de dados disponíveis ou se o problema é muito amplo e complexo, os métodos qualitativos são os mais indicados.

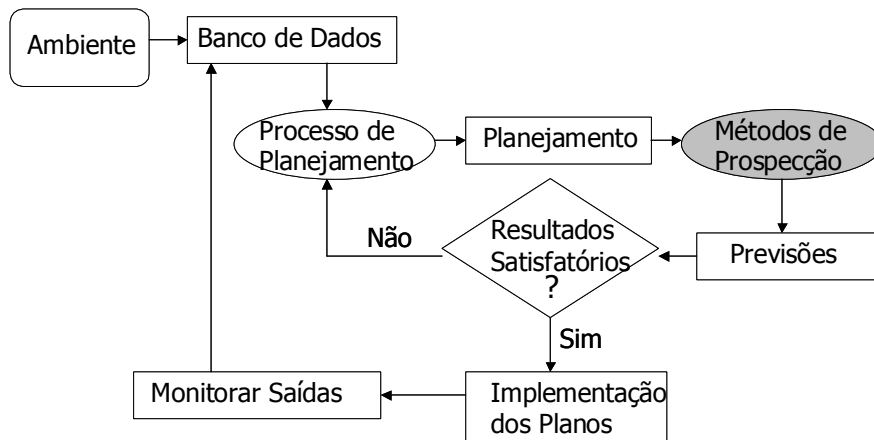


Figura 2: Modelo de prospecção e planejamento.

Fonte: Adaptação de Armstrong (2001)

De acordo com a figura 2, o ambiente fornece um número quase infinito de informações, que podem ser coletadas através de inúmeros métodos (como data mining, inteligência competitiva e benchmarking, por exemplo), e armazenadas em um banco de dados para um posterior planejamento das atividades. Com base neste planejamento, os métodos de prospecção podem ser utilizados para realizar previsões, e se o resultado for satisfatório é necessário apenas um monitoramento contínuo das atividades e a alimentação do banco de dados; se não, todo o processo de planejamento deve ser revisado.

Conforme descrito nesta seção, os conceitos de prospecção e planejamento são intimamente ligados. A prospecção tecnológica pode ajudar pessoas e organizações a planejar o futuro para a tomada de decisões racionais, além de ajudar na elaboração de políticas públicas como uma ferramenta de auxílio para os reguladores na análise de medidas a serem implementadas, como

por exemplo, os possíveis efeitos da eliminação de um imposto, um aumento do salário mínimo por parte do governo, ou como um auxílio na alocação de recursos para P&D.

2.2 Técnica Delphi como método de prospecção tecnológica

A técnica Delphi foi desenvolvida durante a década de 50 pela RAND Corporation em um projeto financiado pela Força Aérea dos EUA, que procurava um método que obtivesse um consenso sobre as opiniões de vários especialistas militares sobre os efeitos de um grande ataque nuclear (Zolingen *et al*, 2002; Graham *et al*, 2003; Rowe *et al*, 1999). A estrutura da técnica visa utilizar os elementos positivos dos grupos de especialistas¹⁴ e minimizar os seus inconvenientes, como os conflitos político-sociais. Os antigos gregos já recorriam ao oráculo de Delphos para tomar as decisões mais importantes do país, como traçar planos de guerra ou encontrar novas colônias¹⁵. Nos dias de hoje não é um oráculo que é consultado, mas sim uma equipe de especialistas previamente selecionados. O método é geralmente recomendado para realizar previsões quando modelos puramente matemáticos não podem ser utilizados e também o julgamento pessoal é pertinente.

Delphi é uma pesquisa iterativa que permite que os respondentes expressem seus pontos de vista anonimamente, com a possibilidade de mudança de opinião tendo como base as respostas dos outros especialistas da pesquisa. De acordo com Rowe e Wright (1996), se conduzida com as perguntas certas e com os especialistas corretos, a metodologia Delphi permite um aumento do consenso das respostas que pode auxiliar na solução de problemas complexos, que não poderiam ser resolvidos apenas por modelos matemáticos. De acordo com Heijden, (2000), um grande problema que o especialista em prospecção tecnológica tem é como encontrar a melhor estrutura para suas previsões; pesquisadores experientes sabem que a maior parte do trabalho é encontrar as perguntas corretas. Se os enunciados não forem construídos de forma clara e concisa, a pesquisa pode não apresentar os resultados desejados.

¹⁴ Grupo de especialistas, sinônimo do método painel de especialistas, funciona como uma conferência em que os especialistas convidados respondem à uma pesquisa e posteriormente uma discussão sobre o assunto é organizada (Armstrong, 2001)

¹⁵ Maiores informações sobre a história e mitologia grega podem ser encontradas no site <http://www.nationmaster.com/encyclopedia/Delphi>. Acesso em 10/12/2003.

Zolingen *et al* (2002) descrevem quatro tipos de modelos Delphi que são detalhados para um maior entendimento da técnica, mas é importante esclarecer que várias pesquisas não seguem fielmente a nenhum dos quatro modelos de Delphi que serão apresentados, e isso acontece porque algumas adaptações são normais devido a grande gama de aplicações em que a técnica pode ser utilizada.

O Delphi clássico é o primeiro dos quatro modelos descrito por Zolingen *et al* (2002). Neste tipo de Delphi os dados são coletados em um certo número de rodadas e em cada estágio os resultados das etapas precedentes são fornecidos até que o procedimento apresente uma certa estabilidade nas respostas, que em geral resulta em um aumento do consenso. Este tipo de Delphi tem cinco características básicas:

- a) O anonimato;
- b) As iterações;
- c) O *feedback* controlado;
- d) O tratamento estatístico das respostas;
- e) A estabilidade das respostas entre os especialistas sobre uma questão específica.

O anonimato é conseguido através da utilização de questionários enviados aos entrevistados, permitindo que eles expressem suas opiniões sem serem influenciados por terceiros. As iterações aliadas ao anonimato permitem que os respondentes possam mudar de opinião ou julgamento sem a perda de credibilidade com os outros participantes. O *feedback* abrange a todos os respondentes, permitindo que todos tenham suas opiniões expressas igualmente, não apenas os membros mais extrovertidos ou com maior influência. O tratamento estatístico (usualmente a média, mediana e desvio padrão) dos julgamentos dos grupos no decorrer das iterações, pode mostrar um aumento do consenso das respostas, e a estabilidade entre os especialistas é freqüentemente expressa pela variação das opiniões deles em torno da média ou mediana¹⁶. A figura 3 descreve os passos do Delphi clássico.

¹⁶ Maiores detalhes sobre as características das diferentes medidas de localização estão disponíveis no anexo 7 , sobre revisão estatística.

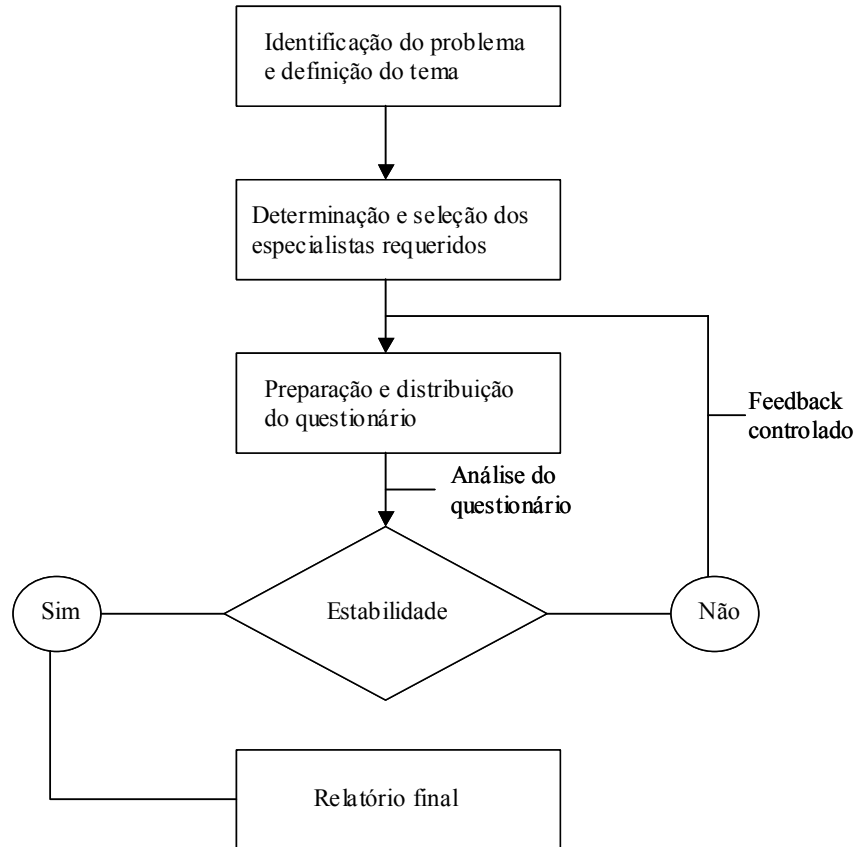


Figura 3: Fluxograma do Delphi Clássico

O segundo tipo é chamado de Policy Delphi¹⁷, que é amplamente utilizado em questões políticas e sociais. A principal diferença entre este e o Delphi clássico, é que neste existe a coleção de informações dos especialistas individualmente no decorrer das iterações. Nele é também utilizado o *feedback* controlado, mas não existe o objetivo de se alcançar uma estabilidade das respostas sobre uma questão específica. O principal objetivo deste tipo de Delphi é gerar alternativas para políticas utilizando um diálogo estruturado. Suas principais características são:

- a) O anonimato seletivo;
- b) As iterações;
- c) O *feedback* controlado;
- d) Respostas polarizadas do grupo de respondentes;

¹⁷ “Policy Delphi” é um Delphi utilizado para a formulação e desenvolvimento de políticas. Não foi feita a tradução pela dificuldade de se achar um termo que represente fielmente o significado desejado.

e) Conflito estruturado

O anonimato seletivo acontece porque inicialmente os especialistas respondem aos questionários individualmente, e posteriormente diferentes pontos de vista são trocados entre eles. As respostas polarizadas dos grupos são fornecidas durante as iterações, isto é, o moderador compila as opiniões dos especialistas e as fornece antes da rodada subsequente. O conflito estruturado é geralmente uma reunião entre os especialistas e os pesquisadores. A figura 4 ilustra as etapas do Policy Delphi. A necessidade das iterações é baseada nas opiniões dos especialistas sobre os tópicos do questionário respondido.

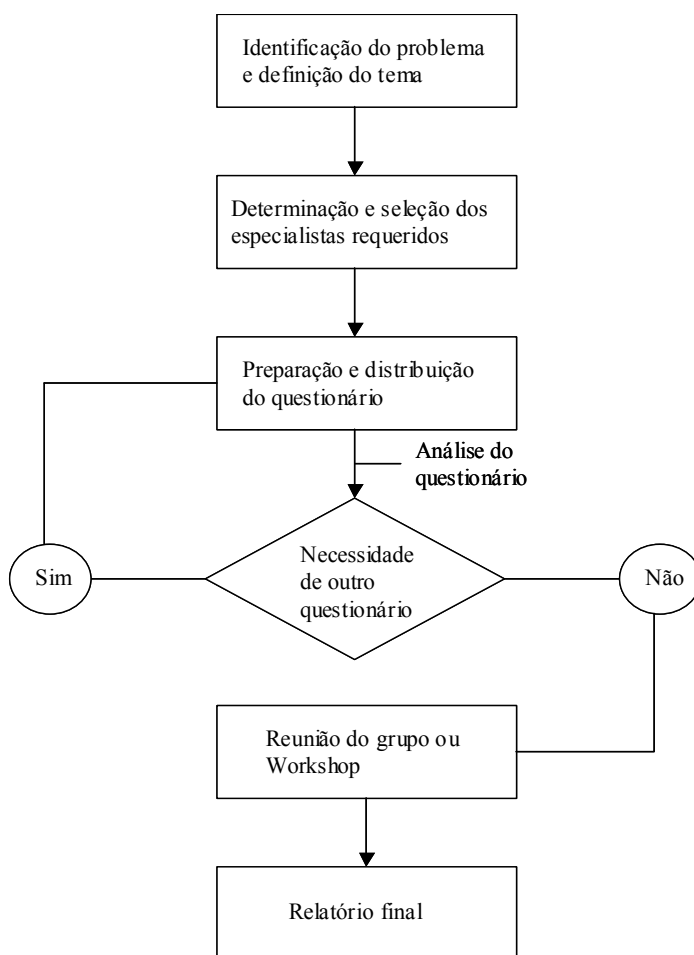


Figura 4: Fluxograma do "Policy Delphi"

O terceiro tipo é chamado de “Decision Delphi”¹⁸. A única diferença deste para o Delphi clássico é que no “Decision Delphi” existe um anonimato parcial, isto é, no começo do estudo os especialistas são mencionados pelos seus nomes e são conhecidos por todos, apesar das respostas do questionário serem mantidas anônimas. Este procedimento tem como objetivo motivar os especialistas a responderem eles mesmos, não deixando para assistentes ou outros.

O quarto tipo chamado de Delphi em grupo, ou ainda pode ser classificado como um painel de especialistas adaptado. A única diferença entre este Delphi e o clássico, é que neste não existe o anonimato. Os trabalhos de um Delphi em grupo são realizados durante um dia com um grupo de especialistas que interagem entre si.

Portanto, de acordo com Zolingen *et al* (2002), existem quatro modelos de Delphi básicos, que apesar de sua aparente rigidez, permitem algumas modificações que ocorrem com certa frequência devido a grande gama de aplicações desta técnica. A seguir são descritos alguns estudos de caso em que é possível observar as aplicações da técnica Delphi em diversas áreas do conhecimento.

O’Loughlin *et al* (2003) realizaram uma pesquisa Delphi com a finalidade de alocar recursos para o serviço público de saúde irlandês. O procedimento utilizado foi bem próximo do Delphi clássico, pois foram utilizadas três rodadas com a primeira não estruturada. Na segunda rodada foi perguntado a 52 especialistas em saúde pública quais dos 111 tópicos advindos da primeira rodada eram desejáveis e factíveis, utilizando-se cinco tipos de respostas para os tópicos (muito desejável, desejável, indesejável, muito indesejável e sem julgamento). O *feedback* que foi fornecido para a terceira rodada foram as medianas, e os respondentes que estivessem fora dos inter-quartis¹⁹ da segunda rodada e quisessem manter suas respostas eram encorajados a escrever o motivo da escolha. Como resultado, houve um grande consenso de que a melhor sugestão é o desenvolvimento e implementação de uma fórmula de alocação de recursos tomando como base a

¹⁸ O nome “Decision Delphi” foi mantido em inglês para não mudar o sentido na tradução.

¹⁹ Os quartis inferior e superior são definidos como os valores abaixo dos quais estão um quarto e três quartos, respectivamente, dos dados.

necessidade, mas houve um baixo consenso em relação à aplicabilidade devido a alguns obstáculos potenciais, como a dificuldade metodológica e recursos insuficientes.

Addison (2003) utilizou a pesquisa Delphi com 32 especialistas para a confecção de um ranking dos maiores riscos no desenvolvimento dos projetos de comércio eletrônico²⁰. Na primeira rodada foi pedido aos especialistas uma listagem de pelo menos seis tópicos de risco para os projetos de comércio eletrônico, sendo que 28 tópicos foram compilados e selecionados para a próxima etapa. Na segunda rodada foi fornecido aos respondentes um *feedback* sobre o consenso dos tópicos identificados na primeira etapa, e os especialistas classificaram a importância de cada tópico em uma escala de 1 a 10. O ranking foi agregado e o maior risco identificado foi a má interpretação das necessidades dos clientes, causada por análises insuficientes e por um não envolvimento com o usuário final.

Sharma *et al* (2002) realizaram uma pesquisa Delphi como uma forma de prospecção e análise das questões críticas que afligem o Estado de Kerala, na Índia, com a finalidade de ajudar a formular e rever estratégias de planejamento para a expansão do setor elétrico da região. Na primeira rodada, um questionário já estruturado foi enviado a 107 especialistas, dos quais 47 efetivamente responderam. Das 25 questões enviadas, 19 atingiram o consenso esperado, e as seis questões em que o consenso não foi atingido foram reformuladas para o envio na segunda etapa. Posteriormente, 44 especialistas responderam à segunda rodada, que incluiu as 6 questões reformuladas. No final da segunda etapa um consenso geral foi obtido, e os participantes da pesquisa concordaram unanimemente com a necessidade de um planejamento integrado²¹ no processo de planejamento do setor elétrico do estado de Kerala.

Shin (1998) resumiu o estudo Delphi na Coreia do Sul, visando realizar uma atividade prospectiva em longo prazo para direcionar o futuro das atividades de P&D no país. Dos 25.000 especialistas convidados, aproximadamente 5.000 participaram e sugeriram em média mais de

²⁰ Comércio eletrônico é um novo canal de vendas que surgiu com a Internet, em que produtos são oferecidos através de uma página Web, o pedido e o acompanhamento da venda é feito pela mesma página e o cliente pode optar por diversas formas de pagamento.

²¹ Planejamento integrado de recursos (PIR) é uma técnica de planejamento que possibilita a inclusão de variáveis ambientais e sociais na sua formulação, não apenas aspectos técnico-econômicos e estratégicos (Swisher, Jannuzzi, et Redlinger, 1997).

cinco idéias. Das 30.000 idéias coletadas, 9.000 foram selecionadas e arranjadas em 15 áreas do conhecimento. Depois desta estruturação, um comitê e 12 sub-comitês divididos em 15 áreas tecnológicas selecionaram 1.127 tópicos dos 9.000 pré-selecionados através de um brain-storming²². Posteriormente o questionário foi montado para o início da pesquisa Delphi. Na primeira rodada, dos 4.905 convidados a participar da pesquisa, 1.590 efetivamente responderam a todas as questões. Eles podiam escolher as áreas que queriam responder, e o cenário proposto era conservador e estável. O tipo de feedback fornecido não foi citado no artigo, mas provavelmente um campo para comentários foi incluído, pois no início da segunda rodada foram incluídos 47 tópicos sugeridos na primeira etapa, e dos 1.590 especialistas, 1.198 responderam a segunda rodada (54% da academia, 30% do governo e 16% da indústria).

Ilbery *et al* (2003) realizaram uma pesquisa Delphi para prever quais fatores influenciam o desenvolvimento e a performance da cadeia de suprimentos (compra, logística e entrega de suprimentos) em regiões rurais sub-desenvolvidas na Grã Bretanha. O estudo foi realizado em três etapas e selecionou 30 especialistas da Grã Bretanha para a pesquisa. O questionário foi testado previamente com 3 especialistas e foi dividido em 3 etapas. Na primeira etapa foi pedido aos 30 especialistas para identificar outros fatores importantes que os pesquisadores não haviam identificado sobre os principais fatores que influenciam a cadeia de suprimentos destas regiões até o consumidor final. Na segunda etapa da pesquisa foi perguntada a probabilidade de que alguns eventos ocorram no futuro em uma escala de 1 a 9; neste procedimento foi pedido aos especialistas uma explicação de suas respostas e a identificação dos impactos na cadeia de suprimentos e no desenvolvimento rural. A terceira etapa avaliou a probabilidade de alguns fatores se tornarem mais ou menos importantes nas regiões rurais atrasadas da Grã Bretanha entre 2004 e 2007. Dos 30 especialistas participantes da primeira rodada, 14 responderam até o final. Como feedback foram fornecidos aos respondentes a mediana das respostas com seus inter-quartis superiores e inferiores.

²² Brain-storming é um "exercício de criatividade" com o propósito de gerar o máximo de soluções possíveis para um determinado problema; os membros de um grupo opinam sobre um problema e tudo é anotado, sem que críticas sobre as inúmeras idéias geradas sejam feitas.

Tolley *et al* (2001) realizaram um estudo Delphi sobre as tendências das caminhadas nos grandes centros urbanos da Europa. Este exercício de prospecção teve a finalidade de desenhar cenários futuros sobre as caminhadas. Este estudo começou através de uma consulta com alguns especialistas, cuja finalidade era identificar as questões-chave, tendências e fatores que afetariam as caminhadas num período de 10 anos (a partir do ano de 2000). Após a estruturação do questionário, 100 perguntas foram enviadas a 300 especialistas convidados; no final da primeira rodada 112 especialistas responderam ao questionário (37%). Os resultados da primeira rodada foram coletados e um *feedback* contendo o valor modal²³ de cada questão foi fornecido aos respondentes. Se o especialista não convergisse na direção da resposta modal na segunda rodada, ele era encorajado a comentar sua opinião. Dos 112 especialistas que deveriam responder a segunda rodada, 72 o fizeram (65% do esperado). Para medir o consenso das respostas foram calculados as médias, medianas e desvios-padrão como forma de análise. No geral houve um aumento do consenso sobre o aumento das caminhadas como forma de lazer, turismo e exercício físico nas grandes cidades européias.

Randall *et al* (2001) utilizaram a pesquisa Delphi para definir áreas que possam ocorrer mudanças na odontologia. Primeiramente eles convidaram nove especialistas para uma reunião de grupo, onde cada um interpretou as tendências e previsões para o futuro baseadas no histórico dos 3 últimos anos. Todas as idéias foram compiladas e circuladas por e-mail para comentários, sugestões e a interpretação das palavras-chave. Quando todos concordaram com as palavras e idéias, um questionário foi formulado contendo as declarações dos especialistas; um total de 23 itens foram obtidos para a avaliação. O próximo passo foi enviar o questionário para os chefes de departamento das 14 faculdades de odontologia do Reino Unido. Dos 407 questionários enviados, 301 retornaram (74%) e 286 foram utilizáveis (70%); este excelente número de respostas foi obtido devido a cartas formais (até 3 vezes) lembrando os participantes da data limite de entrega do questionário. Foi considerado um bom consenso neste estudo quando as respostas similares atingiram 70% ou mais, e como forte consenso 90% ou mais. Dois itens tiveram um forte consenso nesta consulta Delphi: o crescimento de cáries em pacientes idosos e o aumento da erosão dentária devido ao consumo de ácidos e carbonatos.

²³ Valor modal é o valor que aparece com maior frequência em variáveis aleatórias.

EurRenDel (2004) foi a primeira consulta Delphi na Europa com o objetivo de aconselhar as prioridades para P&D em energia até o ano de 2030. Neste estudo, mais de 3.400 especialistas em energia da academia, indústria, governo e ONG's de 48 países foram convidados a participar de um questionário Delphi *on-line*, composto de duas rodadas. 20% dos especialistas convidados responderam as duas rodadas, e os resultados mostraram que a maior prioridade deve ser dada a tecnologias de eficiência energética, uma prioridade alta para as energias renováveis em geral, um aumento da importância de itens como a geração distribuída e armazenamento de energia e o gás natural como uma solução intermediária. A energia nuclear foi considerada um item controverso.

Os estudos de caso acima mostram que não existe uma forma rígida para a pesquisa Delphi, pois a variedade de áreas e temas em que ela pode ser utilizada é muito ampla. Além disso, os resultados esperados, recursos humanos, orçamento e tempo disponíveis para a pesquisa são fatores limitantes na decisão da forma como a técnica é desenvolvida. Estudos sobre saúde pública, P&D, comércio eletrônico, administração rural, odontologia e energia são apenas alguns exemplos da utilização deste método, que se mostra uma ferramenta interessante para a análise e prospecção de temas que seriam dificilmente quantificáveis. É interessante notar que todos os estudos apresentam pelo menos uma iteração com os especialistas, fornecendo o *feedback* das respostas entre as rodadas.

Um dos principais argumentos da utilização do método Delphi é de que o consenso aumenta no decorrer das iterações. Graham *et al* (2003) mostraram que em duas rodadas já existiu um aumento do consenso em uma pesquisa Delphi que eles realizaram. 57 médicos foram convidados a participar da consulta para atingir um consenso de qual seria o melhor diagnóstico para um tipo de síndrome. Na primeira rodada, para cada pergunta, os respondentes analisaram a importância de um determinado item no diagnóstico da síndrome. A média e o desvio padrão de cada membro foram calculados e fornecidos na segunda rodada, e posteriormente os especialistas

responderam novamente às mesmas perguntas. O α de Cronbach²⁴ foi utilizado para quantificar o consenso entre os respondentes. De acordo com o α , quanto mais próximo de 1, maior é o consenso; o índice cresceu de 0,86 na primeira rodada para 0,91 na segunda, indicando aumento do consenso das respostas dos especialistas da primeira para a segunda rodada.

O motivo deste consenso ainda é muito discutível, e poucos estudos tentam entender como as opiniões dos especialistas mudam. Parenté e Anderson-Parenté *apud* Armstrong (2001) têm uma teoria de que as rodadas Delphi aumentam a precisão das respostas porque os respondentes mais especializados mantêm suas opiniões no decorrer das rodadas, enquanto os menos especializados alteram o seu julgamento no sentido da média do grupo. Isto pode parecer intuitivo, mas outras teorias podem ser construídas para explicar o comportamento dos respondentes; por exemplo, talvez os respondentes menos confidentes mudem suas respostas. A seção 4.4 do capítulo 4 procura entender melhor como ocorre a convergência das respostas de acordo com o grau de especialidade dos respondentes nos tópicos tecnológicos da pesquisa Delphi em energia do CGEE.

As principais vantagens da utilização do método Delphi são que ele permite a identificação de muitos modelos e percepções pelos especialistas que não seriam factíveis por métodos matemáticos, e permitem uma componente intuitiva na prospecção. As principais desvantagens são que muitas vezes é difícil identificar os especialistas e as previsões podem ser tendenciosas (Rowe e Wright, 1999; Heijden e Marchau, 1998).

Um ponto importante na técnica Delphi é a seleção dos especialistas, já que é através de suas respostas que os resultados são analisados. Okuli *et al* (2004) descreveram um procedimento para a seleção dos especialistas, que implica basicamente a identificação de especialistas de diversos setores de atuação, como ONG's, academia, empresa e governo, para uma posterior

²⁴ O α de Cronbach é um índice que estima a confiança da soma das respostas dos respondentes, e é encontrado como $\alpha_x = \frac{k}{k - 1(1 - \sum \frac{\sigma_{yi}^2}{\sigma_x^2})}$, onde k é o número de respondentes, σ_{yi}^2 são as variâncias das respostas de cada

respondente e σ_x^2 é a variância da soma das respostas para cada respondente.

categorização destes respondentes baseados em seus níveis de conhecimento. Posteriormente um ranking é montado com os especialistas baseado em suas respostas, e os melhores (de 10 a 18) são selecionados para responder a uma pesquisa ou a uma consulta Delphi. Outros estudos, como Loveridge (2002), realizaram questionários baseados em estudos estatísticos em que um questionário é fornecido aos potenciais especialistas de diversos setores de atuação, e baseado em suas respostas eles são escolhidos para participar da consulta Delphi ou de um painel de especialistas. O que parece ser comum em todos os estudos, incluindo também Burr (2001), Morgall e Moldrup (2001) e Halpern (2001), é que os especialistas são selecionados em vários setores de atuação (como academia, empresa e governo), para que todos tenham uma certa representatividade na pesquisa, permitindo então uma maior credibilidade ao estudo.

2.3 Considerações finais

Conforme visto na seção 2.1, o conceito de planejamento e prospecção é intimamente ligado, já que de acordo com Armstrong (2001), o planejamento é como um mundo idealizado (como ele deveria ser) e a previsão é a forma como o mundo será. A seção 2.2 explicou o método Delphi para a prospecção tecnológica, mostrando que se conduzida com as perguntas certas e com os especialistas corretos, esta metodologia permite um aumento do consenso das respostas que pode auxiliar na solução de problemas complexos, que não poderiam ser resolvidos apenas por modelos matemáticos.

O capítulo 3 detalha a metodologia desta dissertação, que teve como ponto central a consulta Delphi em energia realizada com especialistas da academia, empresa e governo no Brasil. Os capítulos 4 e 5 realizam análises com o objetivo de validar e explicar a metodologia Delphi. O capítulo 6 mostra um exercício de ranqueamento dos tópicos considerados prioritários para uma agenda de P&D.

Capítulo 3

Metodologia

Este capítulo tem como objetivo explicar a metodologia empregada nas análises desta dissertação, iniciando-se com a descrição da pesquisa Delphi em energia na seção 3.1. As seções 3.2, 3.3 e 3.4 descrevem a metodologia empregada para atingir os objetivos principais desta dissertação, que são:

- 1- As análises e validações da técnica Delphi, e;
- 2- Se existem diferenças de opiniões entre os diversos setores de atuação e níveis de conhecimento dos respondentes.

A seção 3.2 descreve a metodologia empregada para as análises de mudança de opinião, a seção 3.3 como foi medido o aumento ou diminuição do consenso e a seção 3.3 a convergência da primeira para a segunda rodada da consulta. A seção 3.4 descreve resumidamente a metodologia da análise de variância realizada na primeira rodada, cuja teoria pode ser estudada com maiores detalhes no anexo 7 deste trabalho. A seção 3.5 descreve como é realizado o exercício de ranqueamento dos tópicos tecnológicos que é efetuado no capítulo 6. Maiores detalhes sobre a metodologia empregada na técnica Delphi pode ser encontrada no relatório final do estudo prospectivo em energia do CGEE (2004)²⁵.

²⁵ Relatório disponível no site http://www.cgee.org.br/prospeccao/index.php?operacao=Exibir&serv=pro_energia . Acesso em 15/01/2005.

3.1 Descrição da pesquisa Delphi realizada com especialistas em energia da academia, indústria e governo do Brasil

Esta seção descreve como a consulta Delphi foi estruturada, incluindo os tópicos tecnológicos, os critérios e métricas adotadas, o questionário, os especialistas selecionados e a interface web que foi utilizada nas duas rodadas da pesquisa Delphi com especialistas da academia, empresa e governo do Brasil.

Conforme descrito na introdução, esta consulta fez parte da segunda etapa do exercício de prospecção tecnológica em energia coordenado pelo CGEE, que teve como objetivo principal auxiliar as decisões sobre o financiamento de atividades de P&D em energia. A explicação da metodologia desta consulta é importante para que as futuras análises desta dissertação sejam compreendidas com maior clareza.

A consulta Delphi em energia realizada possuiu estreita semelhança com o Delphi clássico descrito no capítulo 2. No Delphi clássico os dados são coletados em um certo número de rodadas, e em cada estágio os resultados das etapas precedentes são fornecidos até que o procedimento apresente uma certa estabilidade que, em geral, resulta em um aumento do consenso. As características principais do Delphi clássico são o anonimato, as iterações, o *feedback* controlado, o tratamento estatístico e a estabilidade das respostas entre os especialistas sobre uma questão específica. Assim como o Delphi clássico, a consulta Delphi em energia permitiu o anonimato, pois os respondentes não tinham conhecimento dos outros participantes e suas respostas foram tratadas de forma sigilosa. Ainda se assemelhando, foram realizadas duas iterações na consulta, fornecendo para a segunda rodada um *feedback* na forma de histogramas incluindo a distribuição e a mediana das respostas, juntamente com a resposta do respondente na primeira rodada; desta maneira o especialista poderia manter sua resposta ou mudá-la devido a uma nova leitura ou reflexão sobre a questão, além de incluir comentários em um campo designado para isto se julgasse necessário. O único procedimento que não foi respeitado quando comparado com o Delphi clássico foi a checagem da estabilidade das respostas, que mostraria um

aumento ou diminuição do consenso nas respostas, indicando o fim das iterações (isto é justificado na seção 4.1 do capítulo 4).

Todos os especialistas foram escolhidos pelo grupo consultivo do projeto²⁶ “Prospecção em energia” do CGEE, procurando representar os setores da academia, indústria e governo da mesma forma. No final, 149 especialistas foram convidados a responder à pesquisa Delphi em energia.

Além dos especialistas, 63 tópicos tecnológicos foram escolhidos pelo grupo consultivo da etapa I do projeto, através do documento “Estado da arte e tendências das tecnologias para energia”²⁷. Estes tópicos abrangeram três grupos principais de atuação:

- a) G1: Tecnologias para geração de energia elétrica;
- b) G2: Tecnologias para suprimento de combustíveis;
- c) G3: Tecnologias de transmissão e distribuição, geração distribuída e armazenamento, planejamento, conservação e uso final .

O grupo um (G1) teve um total de 30 tópicos tecnológicos, o grupo dois (G2) 16 tópicos e o grupo três (G3), 17. Conforme já descrito anteriormente, a lista completa destes tópicos pode ser lida integralmente no anexo 1.

O questionário utilizado na consulta foi composto de 16 perguntas, e estas perguntas foram respondidas pelos especialistas para cada um dos 63 tópicos tecnológicos escolhidos. As questões respondidas pelos especialistas foram agrupadas em perguntas do tipo técnico-econômicas, estratégicas, sociais e ambientais, que foram formuladas e apresentadas no documento de Diretrizes Estratégicas do CTEneg e também em Jannuzzi (2000). A tabela 1 ilustra as perguntas do questionário, juntamente com os critérios adotados para a realização do exercício de

²⁶ Os grupos consultivos das duas etapas do projeto estão disponíveis no anexo 4.

²⁷ O documento Estado da arte e tendências das tecnologias para energia foi coordenado pelo prof. Dr. Isaías Macedo na primeira etapa do projeto de “Prospecção em energia” do CGEE.

ranqueamento das tecnologias que é efetuado no capítulo 6 do presente trabalho. Estes critérios procuraram separar e de certa forma pesar as perguntas de acordo com sua relevância geral e área de conhecimento (técnico-econômica, estratégica, social e ambiental). Maiores detalhes sobre estes critérios estão disponíveis no “Relatório final em energia” do CGEE.

Critério	Questões		Dimensões
C1	2	Custos Finais	Técnico-econômica
C2	3	Impactos Balança Comercial	
C3	4 a,b	Riscos	
C4	5	Prazo para Implementação	
C5	6a,c	Capacitação Existente	
C6	6b,d	Capacitação Conseqüente	Estratégica
C7	7	Transbordo	
C8	9a	Qualidade	
C9	10	Impactos no clima global	Ambiental
C10	11	Impactos nos Recursos Naturais	
C11	12	Impactos no ambiente local	
C12	13	Impactos no Emprego	Social
C13	14a,b,c,d	Impactos no Desenvolvimento de Regiões	
C14	15	Impactos na Universalização	
C15	9b	Segurança	Invariantes
C16	8	Impactos na geração e eficiência	

Tabela 1: Questões e critérios a da pesquisa Delphi em energia.

Apesar de não constar na tabela 1, a primeira pergunta a ser respondida no questionário para cada um dos 63 tópicos tecnológicos era sobre o nível de conhecimento do respondente sobre o tópico em questão, cujas opções de respostas eram:

- (1) **Perito:** assinale se você se considerar dentro do grupo de pessoas que atualmente se dedica a este tópico com profundidade.
- (2) **Conhecedor:** use essa classificação nos seguintes casos:
 - a. Se você está se tornando um perito, mas falta alguma experiência para dominar o tópico.
 - b. Se você já foi um perito no tópico há alguns anos, mas se considera no momento pouco atualizado no tópico.
 - c. Se você trabalha em área próxima, mas contribui regularmente com temas relacionados a esse tópico.

(2) 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

(3) Não familiarizado: marque esta opção se você não se enquadra em nenhuma das categorias anteriores

Esta auto-avaliação dos respondentes permitiu que as respostas fossem separadas dependendo do nível de especialidade do respondente, possibilitando análises na investigação de sua influência no decorrer da consulta Delphi. Utilizando a análise de variância, por exemplo, foi possível avaliar se existiu a necessidade da atribuição de pesos de acordo com o grau de especialidade do respondente, auxiliando o exercício de ranqueamento que é efetuado no capítulo 6 desta dissertação.

A 1ª pergunta (auto-avaliação) e a 16ª (avaliação pessoal sobre o futuro do tópico tecnológico em questão) foram respondidas apenas na 1ª rodada da consulta Delphi, porque nestas questões não existe a necessidade de se realizar iterações. Uma outra informação relevante é que as questões 4 e 9 foram sub-divididas em duas sub-questões e as questões 6 e 14 em quatro. Todas as questões e sub-questões podem ser lidas integralmente no anexo 2.

Após a compreensão das questões, um outro ponto importante foi a métrica utilizada nas respostas. Para ilustrar como foi realizada esta quantificação para o tratamento estatístico que subsidiou a 2ª rodada, a questão 10 é utilizada como exemplo; as métricas, bem como os critérios utilizados para todas as questões estão disponíveis no anexo 3.

Questão 10: Em 20 anos, que efeito esta tecnologia provocará nas emissões de CO₂ em relação às emissões provocadas pelo uso de combustível fóssil?

10 - Impactos no clima global	
Grande Redução	3
Redução Moderada	2
Pequena Redução	1
Nível Equivalente às Emissões Atuais	0
Pequeno Aumento	-1
Aumento Moderado	-2
Grande Aumento	-3
Prefiro não responder	

Tabela 2: Exemplo da adoção das métricas utilizadas nas questões

Por exemplo, as respostas da questão 10 foram consideradas como números para os cálculos numa amplitude de “3” à “-3”, ou seja, se um especialista respondesse “grande redução”, sua resposta na questão seria computada como “3”, ou se fosse “nível equivalente às emissões atuais”, seria computada como “0”. Esta métrica é importante para o ranqueamento dos tópicos tecnológicos e também é útil em uma das hipóteses necessárias para a realização da análise de variância (ANOVA), que é de que a amplitude das respostas deve ser a mesma para ser possível eliminar a necessidade de um teste de homogeneidade (maiores detalhes no anexo 7 desta dissertação).

Enfim, as 16 perguntas, juntamente com os 63 tópicos tecnológicos, foram enviados aos 149 especialistas da academia, indústria e governo. Todo o questionário Delphi foi realizado em tempo real através do computador pela internet, os participantes receberam um convite e cada um deles recebeu uma senha e um nome de acesso para acessar o questionário através da página do CGEE (<http://www.cgee.org.br>); além disso eles podiam parar e continuar a responder quando quisessem, pois as respostas eram salvas no servidor em tempo real. Além da comunicação via e-mail, uma secretária foi utilizada para um contato telefônico para lembrar os participantes das datas limite de suas respostas em ambas as rodadas.

3.2 Mudança da opinião dos especialistas na pesquisa Delphi em energia

Talvez a primeira pergunta relevante após uma consulta Delphi seja sobre a mudança de opinião no decorrer das duas rodadas. Uma forma de se avaliar esta mudança é através da variação das médias das respostas da primeira para a segunda rodada. Mas um primeiro problema

surge, pois conforme descrito na seção anterior, que tratou sobre as métricas das respostas, os valores tratados são discretos. Por isso uma mudança da média das respostas de uma questão em um tópico específico pode variar de diversas maneiras, ofuscando assim a realidade dos fatos. Por exemplo, se a média de um tópico em uma questão variar de 1,70 da primeira rodada para 2,45 na segunda rodada, e outra variar de 2,48 para 2,51, não teríamos no primeiro caso uma mudança das respostas, porque ela permaneceria no valor discreto 2,00 mesmo com uma variação de 0,75 na média; já no segundo caso com uma pequena variação de 0,03 a resposta mudaria de 2,00 para 3,00. Uma forma encontrada para eliminar este problema foi considerar uma mudança mínima maior do que 1,00 para poder considerar como uma mudança de opinião. Com esta consideração elimina-se o risco de casos como estes, sendo possível afirmar de forma discreta a mudança de opinião. Para todas estas análises foi utilizado o software Microsoft Excel (v.2000).

3.3 Medição do consenso na pesquisa Delphi em energia

Para saber como a variação do consenso se portou da primeira para a segunda rodada, foi utilizada a variação do desvio padrão das respostas entre elas. Entretanto, é importante salientar que esta análise foi apenas para testar se o consenso no decorrer das rodadas aumentou ou diminuiu; não é possível apenas com a análise do desvio padrão saber se houve uma convergência das respostas, já que as médias podem ter variado de forma diferente (a figura 5 ilustra um exemplo desta situação). Se o desvio padrão diminuiu da primeira para a segunda rodada, este fenômeno foi descrito como a existência de um maior consenso da questão e do tópico analisado.

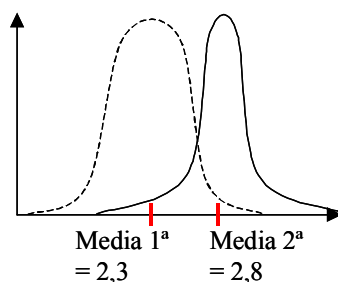


Figura 5: Exemplo de como as médias e os desvios padrão podem variar de forma diferente, não indicando uma convergência

Para se realizar as análises da variação dos desvios padrão, foram utilizadas as respostas válidas das duas rodadas da pesquisa Delphi em energia. A fórmula do desvio padrão amostral é:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \text{ e a equação utilizada para medir a variação do desvio padrão:}$$

$$\text{Variação do desvio padrão} = 1 - \frac{s_2}{s_1}, \text{ onde } s_1 \text{ e } s_2 \text{ são os desvios padrão das respostas da}$$

primeira e segunda rodadas, respectivamente. Valores positivos significam uma diminuição do desvio padrão da primeira para a segunda rodada, indicando um aumento do consenso; valores negativos, o inverso.

Apesar de algumas poucas pessoas terem respondido a mais do que um grupo, a população e as amostras de cada um deles foram considerados diferentes nas análises. Um maior detalhamento teórico pode ser lido no anexo 7 desta dissertação.

3.4 Análise de convergência das respostas na pesquisa Delphi em energia

Esta seção descreve a metodologia adotada para a medição da convergência das respostas da primeira para a segunda rodada em duas situações: na primeira a convergência dos respondentes mais e menos especializados na direção dos histogramas das respostas fornecidas no final da primeira rodada da pesquisa, e a segunda na convergência do grupo menos especializado para o mais especializado.

Na primeira análise, as respostas foram divididas em dois grupos. O primeiro foi o grupo dos respondentes mais especializados, composto pelos especialistas que responderam na 1ª questão que eram “peritos” e “conhecedores” no tópico tecnológico em questão. O segundo grupo foi composto pelos “familiarizados” e “não familiarizados”. O princípio fundamental desta análise foi o de fixar as respostas da primeira rodada da consulta Delphi. Nesta primeira análise, foram fixadas as respostas totais (de todos os respondentes) da primeira rodada da consulta, e isto foi feito para comparar se houve uma convergência ou divergência de respostas da primeira para a segunda rodada na direção das médias destes valores fixados. É importante lembrar aqui que

histogramas de distribuição das respostas totais da primeira rodada foram fornecidos aos respondentes antes que eles respondessem a segunda rodada.

Na segunda análise, foi investigado se as respostas do grupo menos especializado convergiram na direção do grupo mais especializado, ou seja, se as respostas do grupo dos “familiarizados” e “não familiarizados” convergiram na direção das respostas dos “peritos” e “conhecedores” da primeira para a segunda rodada da pesquisa. Esta análise fixou as respostas da primeira rodada dos peritos e conhecedores, para uma posterior comparação com a variação das respostas da primeira para a segunda rodada dos familiarizados e não familiarizados.

Todos estas análises foram realizadas com o auxílio do software Microsoft Excel (v.2000). A análise de convergência pode ser mais bem compreendida na seção 4.4 do capítulo 4.

3.5 Análise de variância da primeira rodada na pesquisa Delphi em energia

A ferramenta estatística análise de variância (ANOVA) foi utilizada para checar se existiram diferenças significativas de opinião entre os diferentes graus de especialidade dos respondentes (especialista, conhecedor, familiarizado e não familiarizado) ou entre os diferentes setores de atuação dos mesmos (academia, empresa e governo) na primeira rodada da pesquisa Delphi em energia. Estas análises foram efetuadas no capítulo 5, e o anexo 7 apresenta a revisão dos conceitos básicos de estatística e da ANOVA para os que não são familiarizados com esta ferramenta.

Através do banco de dados das respostas da primeira rodada da pesquisa, pôde-se separar o grau de especialidade dos respondentes, bem como os diferentes setores de atuação em todas as respostas e em todas as questões dos 63 tópicos tecnológicos analisados. A ANOVA é uma ferramenta que serve para detectar a diferença da variabilidade entre diferentes grupos, mas sempre observando as hipóteses necessárias para a sua correta aplicação:

1- Se as observações forem julgamentos individuais, os respondentes não podem ter a oportunidade de ouvirem, verem ou serem influenciados pelas respostas dos outros participantes.

2- A distribuição das médias dos sub-grupos deve se aproximar de uma distribuição normal.

3- O teste F é baseado na hipótese de que as variâncias das populações são iguais, porque para se realizar uma ANOVA é necessário ter amplitudes de respostas semelhantes entre as populações.

A hipótese 1 só é satisfeita na primeira rodada da pesquisa Delphi em energia, pois os questionários foram enviados individualmente aos respondentes sem que estes pudessem interagir entre si. Na segunda rodada isto não ocorreu porque os dados de todos os respondentes foram resumidos e reenviados para que eles analisassem e mudassem de opinião caso julgassem necessário; no caso de haver um aumento do consenso da primeira para a segunda rodada, a diferença das variâncias dos grupos analisados diminui. A hipótese 2 é satisfeita através do “teorema do limite central”, explicado com maiores detalhes no anexo 7 deste trabalho. A hipótese 3 é válida porque a amplitude das respostas entre as diferentes populações dos respondentes é a mesma, já que as respostas foram quantificadas através de valores discretos para as análises; maiores detalhes na seção 3.1 do presente capítulo, que detalhou como as métricas foram elaboradas.

Todos os cálculos da ANOVA foram efetuados com o auxílio do software SPSS 11.5, por isso faz-se necessário uma breve explicação deste programa. A tabela final fornecida pelo SPSS 11.5, após as análises dos dados importados do Microsoft Excel (v.2000) é conforme a tabela 3:

ANOVA - Questão 2		Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Média quadrada	Razão	Significância
Tópico 6	Entre grupos	10,4426407	3	3,48088023	4,624686	1,53%
	Dentre grupos	12,7954545	17	0,7526738		
	Total	23,2380952	20			

Tabela 3: Exemplo do quadro final de ANOVA do software SPSS 11.5

A “razão” é o valor da média quadrada entre grupos dividida pela “média quadrada” dentro dos grupos, fornecendo então um valor (4,62 no exemplo), que é comparado com o teste de distribuição F com m e n graus de liberdade (3 e 17 no exemplo), resultando em um nível de significância (1,53% no exemplo), que é o valor de α (ou erro do tipo I) que mostra o erro de se rejeitar a hipótese nula H_0 quando ela é correta (H_0 = médias iguais entre os grupos). De acordo com Finn e Andersen (1996), um valor de $\alpha=5\%$ já pode ser considerado confiável, ou seja, se os resultados do valor da significância forem menores do que 5%, pode-se dizer que as respostas dos diferentes grupos de respondentes são diferentes com uma boa confiabilidade (maiores detalhes no anexo 7).

Para uma melhor compreensão do que a ANOVA significa na análise da primeira rodada da pesquisa Delphi em energia, dois exemplos são descritos agora: o tópico 60 e o tópico 8 da questão 2 para os diferentes graus de especialidade dos respondentes (peritos, conhecedores, familiarizados e não familiarizados). No tópico 60 o nível de significância encontrado foi de 0,97%, e no tópico 23 foi de 80,80%. Não é difícil visualizar que, de acordo com os gráficos das barras de erro da figura 6, o tópico 60 aparenta ter diferentes tipos de respostas de acordo com o grau de especialidade do respondente, o que já não ocorre com o tópico 23.

ANOVA - Questão 2		Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Média quadrada	Razão	Significância
Tópico 60	Entre os grupos	9,91666667	3	3,30555556	5,22739	0,97%
	Dentro dos grupos	10,75	17	0,63235294		
	Total	20,6666667	20			
ANOVA - Questão 2		Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Média quadrada	Razão	Significância
Tópico 23	Entre os grupos	1,10984848	3	0,36994949	0,323828	80,81%
	Dentro dos grupos	22,8484848	20	1,14242424		
	Total	23,9583333	23			

Tabela 4: Exemplos do quadro final de ANOVA para um tópico com baixa significância (0,97%) e um outro com alta significância (80,81%)

Apenas lembrando, todas as análises foram realizadas separadamente para os grupos G1: geração de eletricidade, G2: combustíveis e G3: transmissão, distribuição e uso final de eletricidade. Isto porque, em sua maioria, os respondentes dos três grupos não coincidem, sendo

então consideradas amostras diferentes de populações diferentes (além do mais os grupos G1, G2 e G3 correspondem a diferentes áreas do conhecimento).

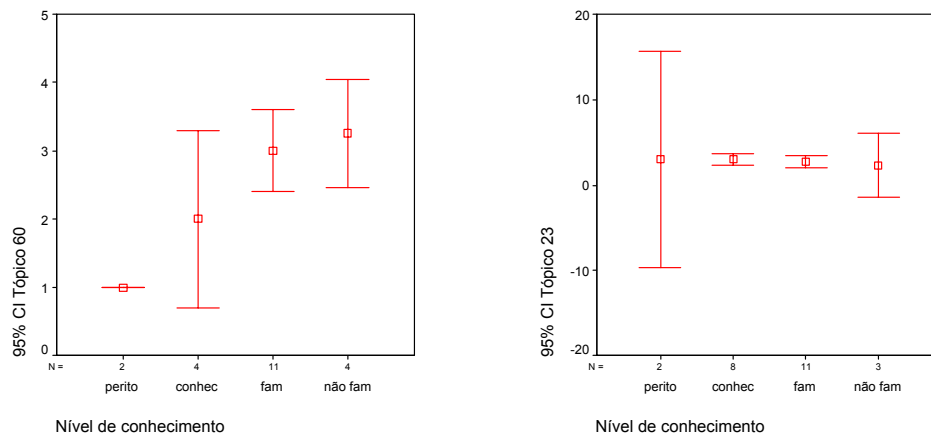


Figura 6: Barra de erro (95%) para os tópicos tecnológicos 60 e 23

3.6 Ranqueamento dos tópicos tecnológicos na segunda rodada da pesquisa Delphi em energia

A forma de ranqueamento realizada no capítulo 6 através das respostas da segunda rodada da pesquisa Delphi em energia, parte do princípio dos critérios e métricas já explicados na seção 3.1 do presente capítulo. Todos os tópicos do G1, G2 e G3 são ranqueados separadamente para cada métrica adotada. Posteriormente é adotado um sistema de pontuação em cada critério para cada um dos tópicos tecnológicos dos três grupos, separadamente. O G1, por exemplo, tem um total de 30 tópicos tecnológicos e, por isso, para cada um dos critérios é adotada uma pontuação de 1 a 30 de acordo com o seu ranking. Se o tópico “tecnologias de combustão avançadas”, por exemplo, ficasse em primeiro lugar no critério C1, ele receberia 30 pontos, se o mesmo ficasse em quinto no critério C2, receberia mais 25 pontos, e se ficasse em último no critério C3, receberia apenas um ponto. No final, para todos os critérios, são somados os pontos de cada um dos tópicos tecnológicos, sendo possível então montar tabelas gerais (incluindo todos os critérios) e separadas (utilizando-se diferentes critérios, como os critérios ambientais e sociais, por exemplo). Após a confecção deste exercício de ranqueamento, os resultados são comparados com o ranqueamento efetuado pelo CGEE (2004), que utilizou outras ferramentas para a sua realização (método multicritérios e diferentes visões de futuro).

Capítulo 4

Resultados e análises da pesquisa Delphi em energia

Após o detalhamento da metodologia desta dissertação, a seção 4.1 do presente capítulo descreve como foi a participação dos especialistas convidados na pesquisa Delphi em energia realizada pelo CGEE, mostrando a estrutura da consulta, o questionário que foi utilizado nas duas rodadas da pesquisa e a participação dos diferentes setores de atuação dos respondentes no decorrer das duas rodadas. Posteriormente, a seção 4.2 investiga como se comportou a variação das médias das respostas no decorrer das duas rodadas, como forma de se mapear a variação das opiniões dos especialistas. A seção 4.3 analisa a variação dos desvios padrão das respostas da primeira para a segunda rodada da pesquisa, para verificar a existência de um aumento ou diminuição do consenso. A seção 4.4 investiga se as respostas convergem ou divergem no decorrer das duas rodadas da consulta.

As análises da variação das médias, dos desvios padrão (consenso) e da convergência visam mostrar a eficácia da técnica Delphi como uma ferramenta que permite a mudança de opinião, um aumento do consenso e que permite a convergência das respostas no decorrer das duas rodadas. Esta validação é importante no exercício de ranqueamento das tecnologias que é realizado no capítulo 6, bem como no estudo “Prospecção tecnológica em energia” realizada pelo CGEE.

4.1 Participação dos especialistas na pesquisa Delphi em energia

Esta seção mostra como as duas rodadas da consulta Delphi em energia foram estruturadas, incluindo a forma de aplicação da pesquisa, os questionários aplicados, os tópicos tecnológicos escolhidos, os especialistas convidados e a participação dos mesmos no decorrer da pesquisa.

Como forma de balizamento, a consulta Delphi em energia é comparada ao Delphi clássico explicado no capítulo 2, já que ambos possuem muitas semelhanças estruturais. Mas é importante relembrar que a técnica Delphi não é imutável, permitindo algumas adaptações devido ao grande número de aplicações em que este método pode ser utilizado.

Conforme explicado na seção 3.1 do capítulo 3, assim como no Delphi clássico, a consulta Delphi em energia permitiu o anonimato, pois os respondentes não tinham conhecimento dos outros participantes e suas respostas foram tratadas de forma sigilosa. Ainda se assemelhando, duas iterações foram realizadas, e antes do início da segunda rodada foi fornecido um *feedback* na forma de um histograma, que incluiu a distribuição e a mediana das respostas de todos os especialistas, juntamente com a resposta individual do respondente na primeira rodada. Desta maneira o respondente poderia manter sua resposta ou mudá-la devido a uma nova leitura ou reflexão sobre a questão, além de incluir comentários em um campo designado para isto se julgasse necessário.

O único procedimento que não foi respeitado quando comparado ao Delphi clássico foi a checagem da estabilidade das respostas, que mostraria um aumento ou diminuição do consenso, indicando o fim das iterações. Isto ocorreu porque a grande profundidade com que os temas foram tratados gerou um número muito extenso de questões a serem respondidas pelos especialistas, e caso o procedimento fosse adotado, o processo se tornaria longo, custoso e trabalhoso tanto para os pesquisadores como para os respondentes.

O consenso e a convergência das respostas, que é o que a técnica Delphi propõe a realizar, são estudadas nas seções 4.3 e 4.4 deste capítulo, além de um estudo sobre a variabilidade entre diferentes grupos de pesquisadores na primeira rodada, que é realizado no capítulo 5 através da ANOVA.

Todos os especialistas foram escolhidos pelo grupo consultivo do projeto, e dos 149 especialistas selecionados para responder a primeira rodada, 49% efetivamente responderam. A figura 7 mostra os diferentes índices de participação entre as três categorias de respondentes. Como pode ser visto, o razoável equilíbrio inicial foi desbalanceado porque no final a maior adesão dos especialistas foi da classe ligada aos centros de pesquisa e universidades (63% do total na 1ª rodada e 32% do total na 2ª rodada). Pode-se notar que houve, portanto, um aumento da participação relativa dos especialistas da academia, uma diminuição dos especialistas do governo (29% do total na 1ª rodada e 13% do total na 2ª) e uma certa constância dos especialistas das empresas (48% do total na 1ª rodada e 25% do total na 2ª); ainda que em números absolutos todos diminuíram. No total, dos 149 convidados, 74 responderam à 1ª rodada (50%) e 36 à 2ª (25%), e que apesar da sensível diminuição estão dentro da normalidade se forem considerados os números encontrados na literatura, como em Shin (1998).

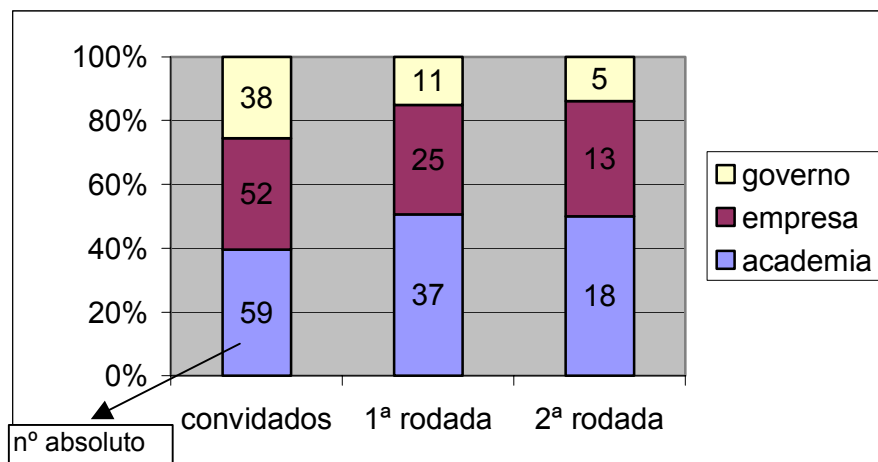


Figura 7: Participação dos respondentes de acordo com instituições de origem (Academia, Empresa e Governo)

Como alguns especialistas responderam a questões em dois ou até mesmo em três grupos, o total de respondentes em cada grupo é maior do que o número de especialistas convidados a participar. Esta situação é mostrada na figura 8 abaixo.

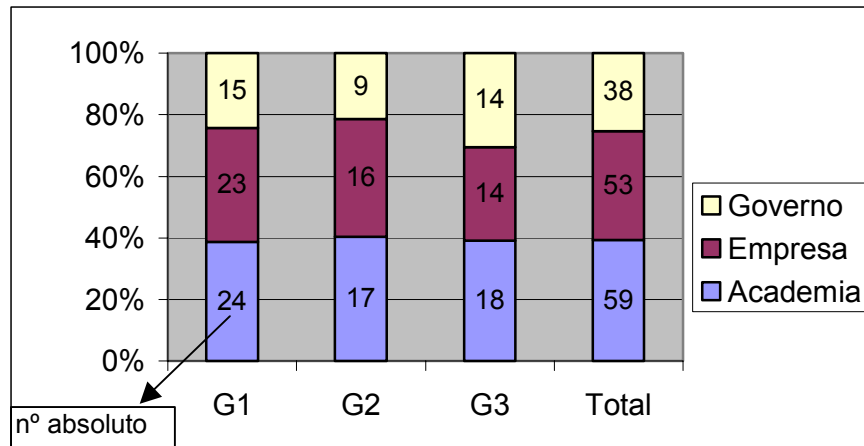


Figura 8: Respondentes convidados por grupos de tecnologias (G1, G2 e G3) segundo sua origem (Academia, Empresa e Governo)

A figura 9 representa o nº de respondentes por grupo da primeira rodada, totalizando 92 respondentes para os 3 grupos (G1, G2 e G3).

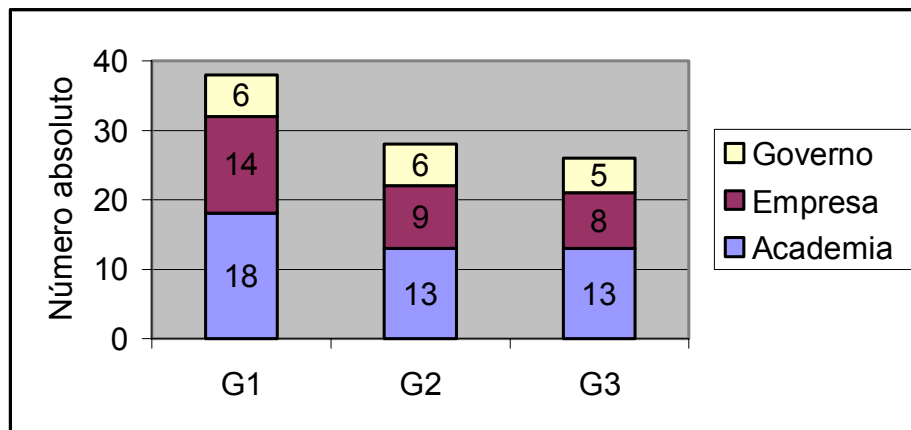


Figura 9 : Participação dos respondentes por grupos de tecnologias (G1, G2 e G3) segundo sua origem (Centros de pesquisa, Empresas e Governo) na 1ª rodada da pesquisa

Conforme ilustrado na figura 7, dos 74 especialistas que iniciaram a segunda rodada, 37 responderam no período determinado (50%), e do mesmo modo alguns especialistas responderam em mais do que um grupo. A figura 10 mostra o nº de respondentes por grupo da primeira rodada, totalizando 43 respondentes para os 3 grupos. É importante mencionar que para a análise dos resultados é assumido que aqueles que não responderam à segunda rodada mantiveram suas avaliações registradas na 1ª rodada. Este procedimento não tem impacto nas análises que incluem as duas rodadas da pesquisa, porque nelas as comparações das respostas entre as duas rodadas são relativas.

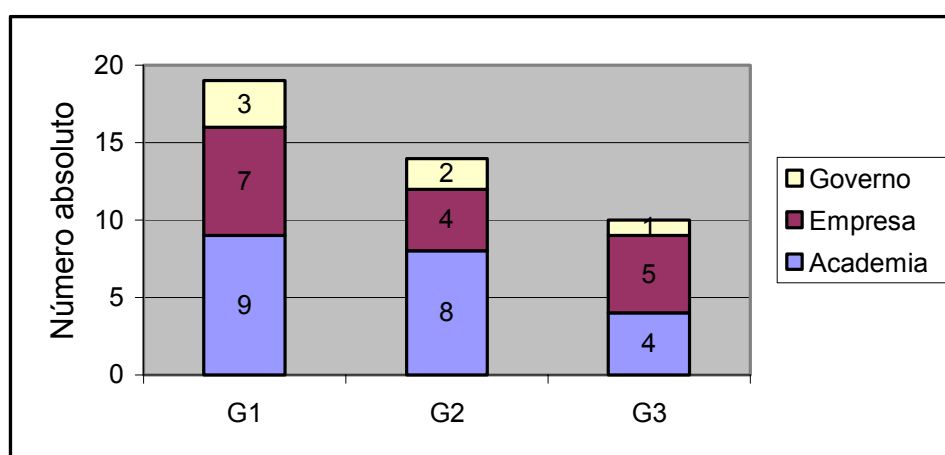


Figura 10 Participação dos respondentes por grupos de tecnologias (G1, G2 e G3) segundo sua origem (Centros de pesquisa, Empresas e Governo) na 2ª rodada da pesquisa

4.2 Mudança de opinião dos especialistas da primeira para a segunda rodada da pesquisa Delphi em energia.

Com relação às questões, que também foram explicadas na seção 3.1 do capítulo 3 e que podem ser lidas integralmente no anexo 2, as de número 4 e 9 foram sub-divididas em duas sub-questões, as questões 6 e 14 em quatro e as questões 1 e 16 só foram respondidas na primeira rodada. Com isso o total de perguntas respondidas (incluindo as sub-questões) foi de 22. A tabela 3 mostra a porcentagem das questões (das 22 consideradas) nos tópicos do G1, G2 e G3 em que a média das respostas variou em mais do que 1,00 entre as duas rodadas. Ou seja, tomando como exemplo o tópico 48 (Automação, supervisão, controle das redes de transmissão e distribuição de

energia elétrica), em que 9,09% das questões variaram mais do que 1,00 na média, isto quer dizer que em 2 das 22 questões (9,09%), isto ocorreu.

Como pode ser notado, o G1 é o grupo que apresenta a menor mudança de opinião (das médias) entre as duas rodadas, e o G2 a maior. Este é um resultado interessante, mostrando que as amostras das populações dos três grupos têm comportamentos diferentes com relação à mudança de opinião. Algumas hipóteses do porquê deste comportamento podem ser lançadas como fatores de influência:

- a) Os respondentes dos grupos 2 e 3 são menos confidentes e/ou mais flexíveis do que os do grupo 1;
- b) Os tópicos tecnológicos perguntados com relação à redação, clareza e grau de dificuldade podem ter permitido interpretações diferentes;
- c) Uma releitura do tópico e/ou questão permitiu a mudança de opinião.

A primeira hipótese não é analisada neste trabalho por se tratar de questões da área de psicologia, e porque os dados disponíveis são insuficientes para este tipo de análise. A segunda hipótese pode ser analisada através das tabelas 4, 5 e 6, que mostram os rankings dos tópicos tecnológicos em que houve a maior mudança das médias das respostas da primeira para a segunda rodada (no G1, G2 e G3). Já a terceira hipótese não pode ser avaliada, por ser um tópico subjetivo e que não foi mapeado na pesquisa.

Antes de se iniciar as discussões sobre os tópicos, é importante lembrar que neste capítulo não são diferenciadas as respostas dos diferentes graus de especialidade nem dos diferentes setores de atuação dos respondentes; esta análise é realizada no capítulo 5 utilizando-se a ferramenta análise de variância, e que é explicada na ocasião.

Conforme é possível notar na tabela 5, no G1 não existe nenhum tópico em que as questões variem mais do que “1” (em módulo), por isso com o critério adotado para a mudança

de opinião, este grupo não apresenta nenhuma variação. Isto pode sugerir que no G1 existam, relativamente, mais especialistas do que nos outros dois grupos. De acordo com a figura 11, isto não ocorre, porque o G1 é o grupo que possui menos respondentes especializados (perito e conhecedores) relativamente.

Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3	
Tópicos	%	Tópicos	%	Tópicos	%
1	0,00%	31	0,00%	47	0,00%
2	0,00%	32	18,18%	48	9,09%
3	0,00%	33	27,27%	49	9,09%
4	0,00%	34	27,27%	50	45,45%
5	0,00%	35	0,00%	51	4,55%
6	0,00%	36	31,82%	52	13,64%
7	0,00%	37	9,09%	53	22,73%
8	0,00%	38	18,18%	54	0,00%
9	0,00%	39	27,27%	55	36,36%
10	0,00%	40	13,64%	56	63,64%
11	0,00%	41	63,64%	57	4,55%
12	0,00%	42	0,00%	58	9,09%
13	0,00%	43	13,64%	59	0,00%
14	0,00%	44	31,82%	60	4,55%
15	0,00%	45	36,36%	61	0,00%
16	0,00%	46	13,64%	62	0,00%
17	0,00%	Média G2	20,74%	63	0,00%
18	0,00%			Média G2	13,10%
19	0,00%				
20	0,00%				
21	0,00%				
22	0,00%				
23	0,00%				
24	0,00%				
25	0,00%				
26	0,00%				
27	0,00%				
28	0,00%				
29	0,00%				
30	0,00%				
Média G1	0,00%				

Tabela 5: Porcentagem das respostas que variaram em mais ou menos do que “1” entre as duas rodadas (em porcentagem)

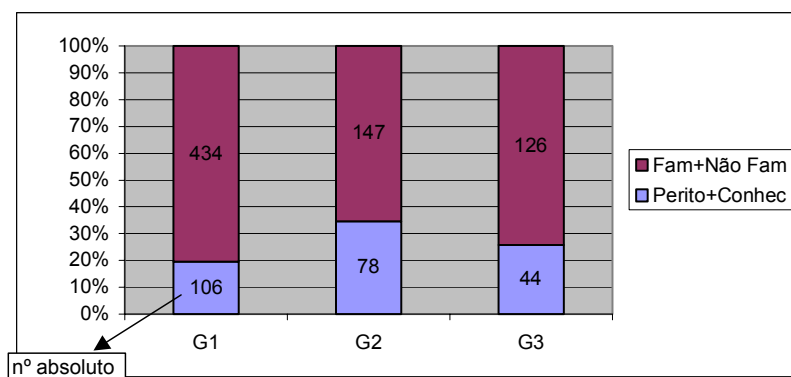


Figura 11: Distribuição do nível de especialização dos respondentes por grupos tecnológicos

No G2, os três tópicos com as maiores mudanças nas médias são os tópicos 41 (Etanol da cana de açúcar: melhoramento genético, inclusive transgênicos; produção da cana; e tecnologias no processamento industrial), 45 (Lixo Urbano: domínio no país das tecnologias de incineração, bio-gás de aterros e compostagem sólida), 44 (Metanol de biomassa: tecnologias de gasificação da biomassa; investigação de rotas alternativas -DME, Hidrogênio-) e 36 (Tecnologias de suporte à produção de gás na Amazônia). A tabela 6 ilustra o comportamento da variação das médias das respostas da primeira para a segunda rodada nos tópicos 41, 45, 44 e 36. Para um melhor entendimento de como se comportou a variação das respostas, o anexo 3, que mostra os critérios e métricas adotados, evidencia em que direção foram as mudanças de opinião. O motivo destas mudanças não pode ser facilmente explicado, pois conforme dito anteriormente, vários fatores podem ter levado à esta variação. Uma hipótese pode ser de que os tópicos 41, 45 e 44 sejam tópicos muito abrangentes. O tópico 41 mistura melhoramento genético com tecnologias no processamento industrial, permitindo diferentes visões e que podem ter se homogeneizado apenas da primeira para a segunda rodada. O tópico 45 também é muito abrangente, misturando tecnologias de incineração com compostagem sólida (talvez deveriam ter sido separados). No tópico 44, o respondente pode ter focado em gasificação de biomassa ou em rotas alternativas, que são opções que causam impactos diferentes no questionário (e que pode ter homogeneizado da primeira para a segunda rodada). Já o tópico 36 é bem complexo, por se tratar tanto de questões técnico-econômicas, estratégicas, sociais e ambientais da atual gestão do governo

federal, e que pode ter permitido uma releitura mais atenta considerando-se outros fatores de influência da primeira para a segunda rodada.

Tópico	41			45			36			44		
Questão	1ª rodada	2ª rodada	Variação	1ª rodada	2ª rodada	Variação	1ª rodada	2ª rodada	Variação	1ª rodada	2ª rodada	Variação
2	2,80	3,30	-0,50	2,82	3,00	-0,18	3,00	3,55	-0,55	3,33	3,70	-0,37
3	6,30	4,64	1,66	4,82	5,10	-0,28	5,00	4,09	0,91	4,44	5,00	-0,56
4a	1,64	2,91	-1,27	2,18	2,00	0,18	2,80	3,00	-0,20	2,89	2,00	0,89
4b	1,45	3,60	-2,15	2,55	2,30	0,25	3,10	4,18	-1,08	3,44	2,40	1,04
5	2,40	3,40	-1,00	2,45	2,11	0,34	2,57	3,36	-0,79	3,25	2,44	0,81
6a	4,30	2,70	1,60	2,82	3,90	-1,08	3,57	2,18	1,39	3,00	3,60	-0,60
6b	4,20	2,60	1,60	2,64	3,50	-0,86	3,50	1,91	1,59	2,67	3,40	-0,73
6c	4,36	3,27	1,09	3,91	4,30	-0,39	3,64	3,25	0,39	3,40	3,80	-0,40
6d	4,45	3,20	1,25	3,91	4,30	-0,39	3,73	3,15	0,57	3,40	4,20	-0,80
7	4,40	3,55	0,85	3,67	4,00	-0,33	3,89	3,62	0,27	3,60	3,40	0,20
8	4,00	3,09	0,91	3,45	3,89	-0,43	3,40	3,17	0,23	3,00	3,50	-0,50
9a	6,17	5,00	1,17	5,25	6,70	-1,45	5,80	5,15	0,65	4,91	6,20	-1,29
9b	6,33	5,00	1,33	5,33	6,80	-1,47	6,10	4,69	1,41	4,64	6,20	-1,56
10	1,91	2,00	-0,09	2,09	3,60	-1,51	3,64	2,83	0,80	2,27	3,80	-1,53
11	2,09	3,25	-1,16	1,91	3,56	-1,65	3,91	3,42	0,49	3,36	3,50	-0,14
12	1,91	2,54	-0,63	1,45	3,44	-1,99	3,45	2,58	0,87	2,64	3,67	-1,03
13	6,17	5,00	1,17	5,25	6,70	-1,45	5,80	5,15	0,65	4,91	6,20	-1,29
14a	1,90	2,50	-0,60	2,18	3,22	-1,04	3,92	1,45	2,46	2,50	3,40	-0,90
14b	3,36	2,36	1,00	2,91	3,11	-0,20	1,42	1,27	0,14	2,27	2,90	-0,63
14c	3,18	2,73	0,45	2,64	3,00	-0,36	2,00	1,18	0,82	2,73	2,90	-0,17
14d	3,73	2,64	1,09	3,36	3,11	0,25	1,33	2,55	-1,21	2,55	2,90	-0,35
15	2,91	2,25	0,66	2,36	3,11	-0,75	2,82	1,17	1,65	2,36	3,70	-1,34

Tabela 6: Variação das médias da primeira para a segunda rodada dos tópicos com maiores diferenças do G2

No G3, as maiores variações das médias foram nos tópicos 56 (Tecnologia para armazenamento de ar comprimido - CAES), 50 (Tecnologias para garantia da qualidade da energia) e 55 (Tecnologia de motores estacionários). A tabela 7 ilustra o comportamento da variação das médias das respostas da primeira para a segunda rodada para os tópicos 56, 50 e 55. Assim como no G2, algumas hipóteses podem ser lançadas aqui; o tópico 56 ainda está em fase de desenvolvimento, e os tópicos 50 e 55 são muito amplos, o que pode ter feito com que os respondentes tivessem diferentes interpretações e/ou enfoques sobre os mesmos na primeira rodada da pesquisa, e que convergiram apenas na segunda rodada.

Tópico	56			50			55		
Questão	1ª rodada	2ª rodada	Variação	1ª rodada	2ª rodada	Variação	1ª rodada	2ª rodada	Variação
2	4,00	2,67	1,33	3,44	2,29	1,16	3,67	2,71	0,95
3	4,67	5,78	-1,11	4,88	4,29	0,59	4,67	5,00	-0,33
4a	3,25	2,10	1,15	2,00	3,50	-1,50	1,83	3,14	-1,31
4b	3,50	2,70	0,80	2,75	4,00	-1,25	2,00	3,00	-1,00
5	3,25	2,25	1,00	2,56	3,14	-0,59	2,43	3,00	-0,57
6a	2,50	3,78	-1,28	3,50	2,29	1,21	3,80	2,88	0,93
6b	1,75	3,44	-1,69	3,00	1,43	1,57	3,40	2,25	1,15
6c	3,17	4,11	-0,94	4,11	4,13	-0,01	4,00	4,25	-0,25
6d	2,80	4,22	-1,42	4,11	3,86	0,25	3,83	4,25	-0,42
7	3,25	4,00	-0,75	3,89	4,25	-0,36	3,00	4,25	-1,25
8	3,50	4,10	-0,60	4,00	3,75	0,25	3,29	3,75	-0,46
9a	5,20	6,30	-1,10	6,67	5,38	1,29	5,00	5,63	-0,63
9b	5,20	5,70	-0,50	6,33	6,00	0,33	4,83	5,63	-0,79
10	2,80	2,30	0,50	3,63	2,33	1,29	3,57	2,13	1,45
11	3,40	2,40	1,00	3,56	2,56	1,00	3,43	2,33	1,10
12	3,25	2,40	0,85	3,75	2,11	1,64	3,33	2,25	1,08
13	5,20	6,30	-1,10	6,67	5,38	1,29	5,00	5,63	-0,63
14a	1,75	3,10	-1,35	2,75	2,80	-0,05	2,88	3,11	-0,24
14b	2,50	3,30	-0,80	3,00	3,00	0,00	2,86	3,22	-0,37
14c	2,00	3,30	-1,30	2,78	2,80	-0,02	2,71	2,89	-0,17
14d	2,00	3,50	-1,50	3,11	3,40	-0,29	2,29	3,44	-1,16
15	2,33	3,70	-1,37	3,00	3,22	-0,22	3,33	4,22	-0,89

Tabela 7: Variação das médias da primeira para a segunda rodada dos tópicos com maiores diferenças do G3

Como é possível notar, no grupo G1 não existiu nenhuma mudança significativa de opinião da primeira para a segunda rodada. Isto pode ser um sinal de que os especialistas que responderam a este grupo são mais confidentes e/ou menos flexíveis do que os outros, ou ainda ao fato de que os tópicos deste grupo possam estar mais claramente explicados, com conceitos já consolidados e com enunciados mais claros e concisos (isto pode ser analisado na leitura dos tópicos tecnológicos do anexo 1). Apesar destas hipóteses, não há elementos suficientes para afirmar quais sejam exatamente os elementos que fizeram com que os respondentes mudassem mais ou menos de opinião. Mas o fato é que, de acordo com o critério adotado para a mudança de opinião, existiram vários tópicos em que isto efetivamente ocorreu, conforme pôde ser verificado nas tabelas e dados apresentados nesta seção.

Uma pergunta que floresce com essas análises é a de que se os respondentes menos especializados mudam ou não de opinião após verem a distribuição de respostas da primeira rodada. Ou seja, as respostas dos diferentes grupos de respondentes convergem ou divergem na direção das respostas da primeira rodada? Esta pergunta é respondida na seção 4.4 do presente capítulo, quando estes grupos são separados para as análises.

4.3 Análise de consenso nas duas rodadas da pesquisa Delphi em energia

Esta seção analisa a existência de um aumento ou diminuição do consenso das respostas da primeira para a segunda rodada, mostrando como foi variação do desvio padrão das respostas entre elas. Entretanto, é importante relembrar os conceitos explicados na seção 3.3 do capítulo 3, que diz que esta análise é apenas para testar se há ou não um aumento do consenso das respostas entre a primeira e segunda rodada, já que não é possível apenas com a análise do desvio padrão saber se houve uma convergência nas respostas da primeira para a segunda rodada da consulta Delphi.

Primeiramente é realizada uma análise agregada através da variação do desvio padrão dos grupos de tecnologias G1 (geração de eletricidade), G2 (combustíveis) e G3 (de tecnologias de interface, conservação de energia e planejamento). Apesar de algumas poucas pessoas terem respondido a mais do que um grupo, a população e as amostras de cada um deles são considerados diferente nas análises.

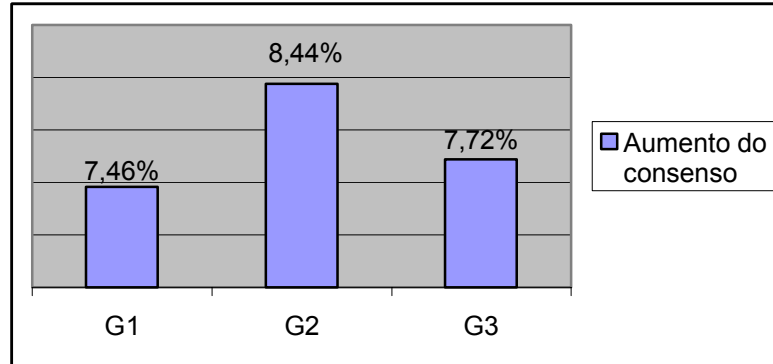


Figura 12: Aumento do consenso da primeira para a segunda rodada dos três grupos.

A figura 12 mostra que em todos os grupos há uma diminuição do desvio padrão entre as duas rodadas, indicando uma maior convergência das respostas em torno das novas médias (médias da segunda rodada).

As figuras 13, 14 e 15 mostram a variação do desvio padrão dos conjuntos de tópicos, que foram divididos desta forma:

Dos 30 tópicos do G1 (geração de eletricidade):

- ✓ 1º ao 6º: combustíveis fósseis;
- ✓ 7º ao 10º: nuclear;
- ✓ 11º ao 16º: hidroeletricidade;
- ✓ 17º ao 22º: biomassa;
- ✓ 23º e 24º: solar fotovoltaica;
- ✓ 25º: solar térmica;
- ✓ 26º e 27º: eólica;
- ✓ 28º e 29º: geotérmica e
- ✓ 30º: ondas e marés.

Os tópicos do G2 (combustíveis):

- ✓ 31º ao 39º: combustíveis fósseis;
- ✓ 40º ao 45º: biomassa e
- ✓ 46º: solar a baixa temperatura.

Os tópicos do G3 (de tecnologias de interface, conservação de energia e planejamento):

- ✓ 47º ao 51º: transmissão e distribuição de eletricidade;
- ✓ 52º ao 56º: geração distribuída e armazenamento de energia;
- ✓ 57º e 58º: hidrogênio;
- ✓ 59º ao 62º: conservação e uso final e
- ✓ 63º: planejamento

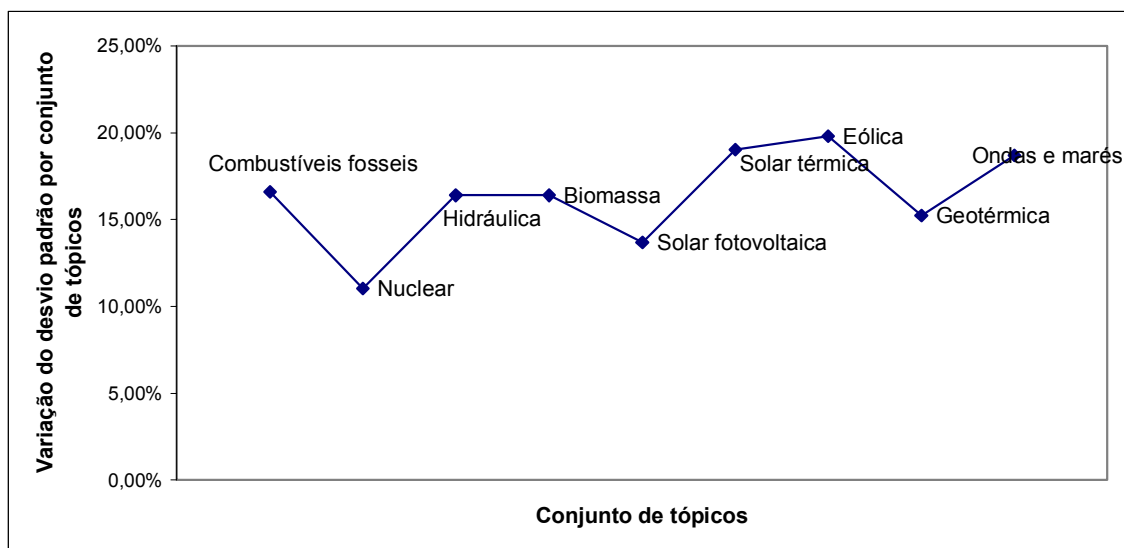


Figura 13 : Variação do desvio padrão do conjunto de tópicos do G1

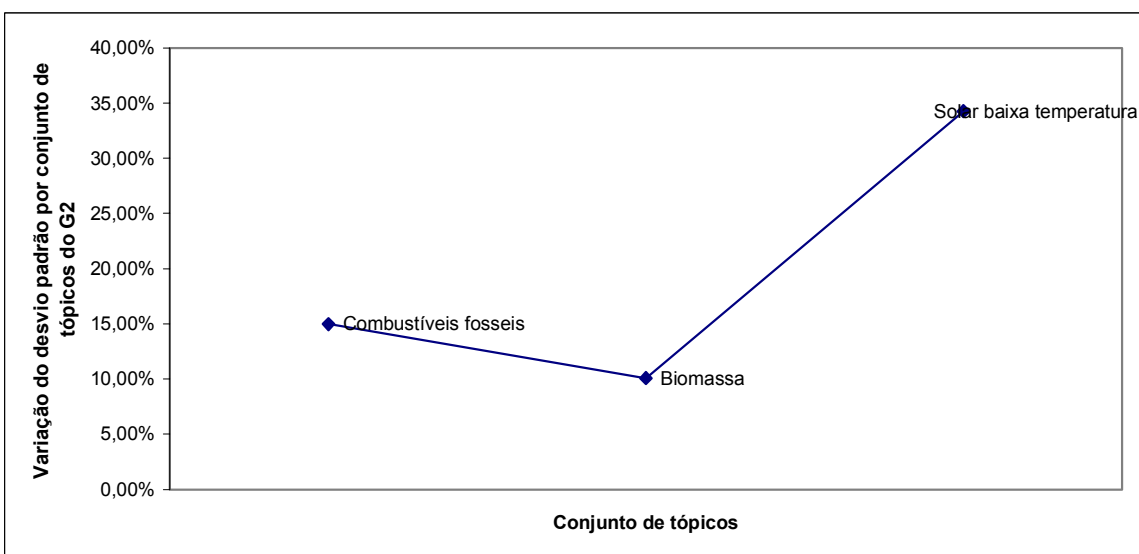


Figura 14: Variação do desvio padrão do conjunto de tópicos do G2

Como pode ser visto, apenas no conjunto de tópicos de transmissão e distribuição há um aumento do desvio padrão da primeira para a segunda rodada. Em todos os outros houve uma diminuição, reforçando a hipótese de que a técnica Delphi permite a diminuição da variabilidade em torno da nova média, indicando então um aumento do consenso entre os especialistas no decorrer das iterações. Desagregando ainda mais os dados, as figuras 16, 17 e 18 mostram a dispersão da variação do desvio padrão entre as duas rodadas da consulta Delphi por tópicos tecnológicos. A lista dos tópicos tecnológicos está no anexo 1, sendo possível ver com

detalhes em quais tópicos ocorre um aumento do desvio padrão da primeira para a segunda rodada.

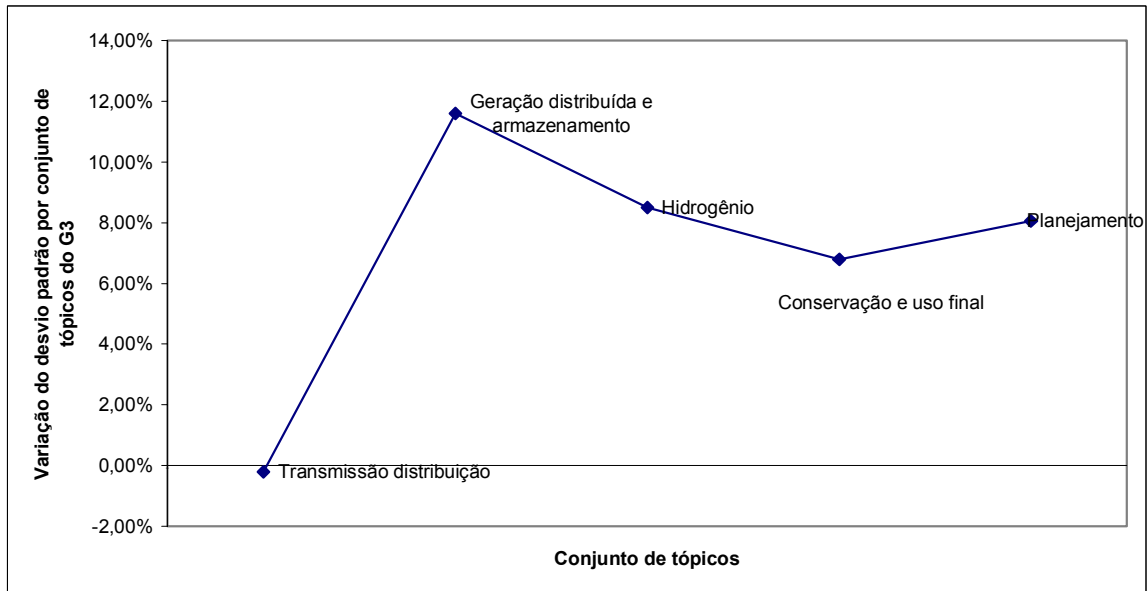


Figura 15: Variação do desvio padrão do conjunto de tópicos do G3

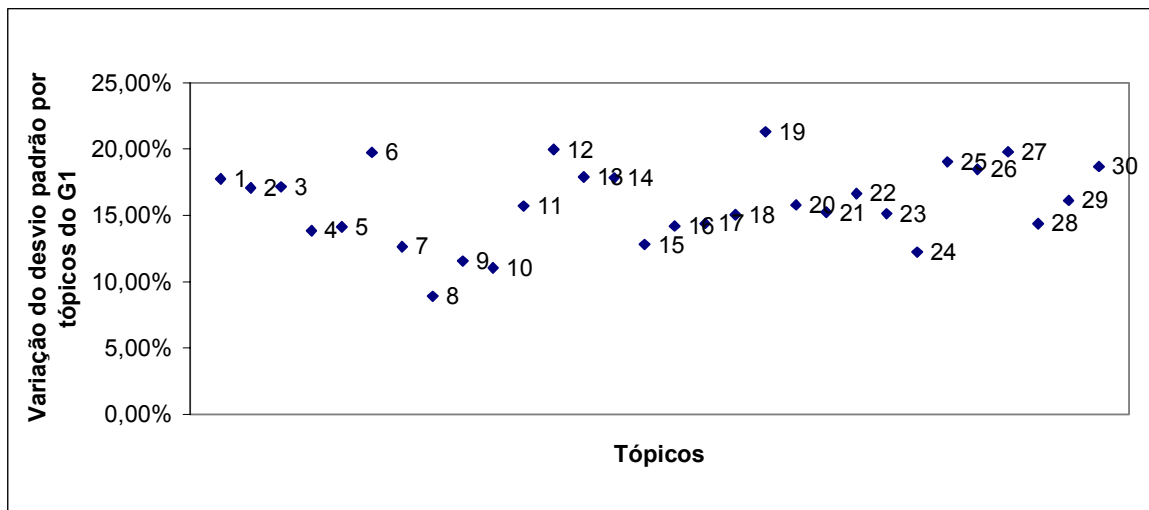


Figura 16: Variação do desvio padrão por tópicos do G1

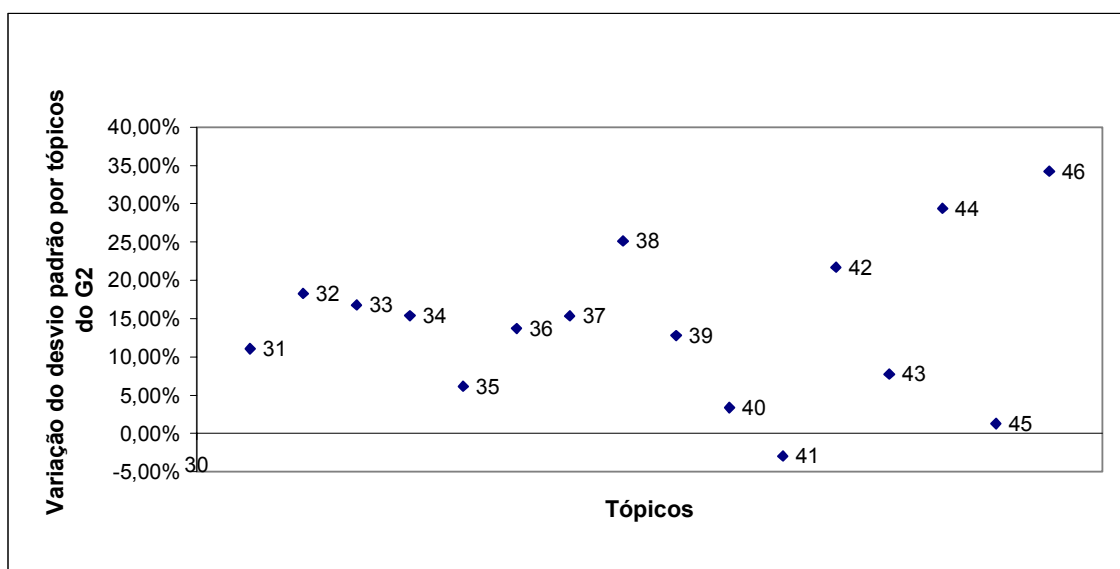


Figura 17: Variação do desvio padrão por tópicos do G2

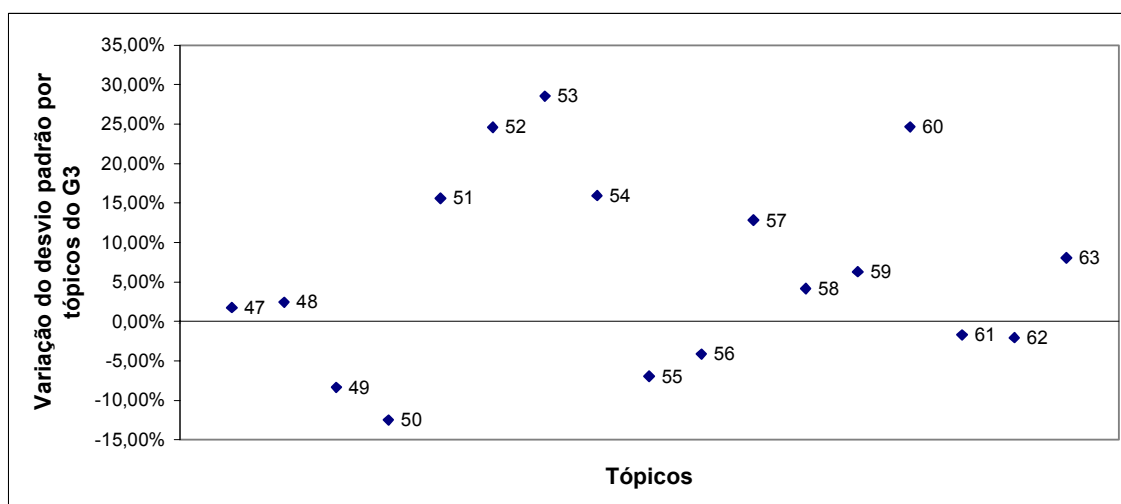


Figura 18: Variação do desvio padrão por tópicos do G3

Uma pergunta que o leitor pode estar imaginando agora, é se existe alguma correlação entre a variação do desvio padrão entre as duas rodadas da consulta Delphi e a variação das médias. Ou seja, será que a variação das opiniões (medido através da variação das médias), de alguma forma se relaciona com o consenso das respostas (medido através da variação do desvio padrão)? O coeficiente de correlação, descrito na seção A1 do anexo 7 deste trabalho, pode facilmente responder à esta questão. Como variáveis neste exercício, “x” é a variação das médias

das respostas entre as duas rodadas e “y” a variação do desvio padrão entre elas. O valor encontrado para o coeficiente “r” foi de $r = -0,10$, indicando uma fraca correlação indireta. Portanto pode-se concluir que não existe correlação entre a variação das médias e do desvio padrão entre as duas rodadas da consulta Delphi, isto é, a variação das médias e dos desvios padrão mudou de forma independente.

Apesar de todas as análises efetuadas, só é possível chegar a uma conclusão agregada em relação a variação do desvio padrão pois, conforme descrito na seção anterior (comportamento da variação das médias entre a primeira e segunda rodada), se torna muito difícil uma análise mais aprofundada porque ela seria sustentada principalmente por especulações. O comportamento das médias mostra uma certa aleatoriedade em sua variação da primeira para a segunda rodada, e por isto existe uma dificuldade em se integrar os dados da variação do desvio padrão e das médias para se chegar a uma conclusão mais aprofundada. Portanto, como já descrito nos parágrafos anteriores, com os dados disponíveis, a única conclusão possível de se chegar é que a técnica Delphi permite, na grande maioria dos casos, um aumento do consenso (através da diminuição do desvio padrão), diminuindo a variabilidade das respostas em torno da nova média (da segunda rodada), que pode ou não ter variado.

4.4 Análise de convergência da primeira para a segunda rodada na pesquisa Delphi em energia

Após as análises de mudança de opinião e de consenso, esta seção efetua duas análises. A primeira investiga se as respostas do grupo mais especializado (perito e conhecedor) e menos especializado (familiarizados e não familiarizados) convergem ou divergem na direção das respostas da primeira rodada. É importante lembrar que antes dos especialistas responderem à segunda rodada, eles receberam um histograma contendo a distribuição das respostas de todos os participantes. Após esta análise, cuja metodologia foi detalhada na seção 3.4 do capítulo 3, é investigado o que geralmente se especula numa consulta Delphi, que é a afirmação de que as respostas dos respondentes menos especializados convergem na direção dos mais especializados. Ou seja, investigar se as respostas do grupo menos especializado (familiarizados e não

familiarizados) convergem ou divergem na direção das respostas do grupo mais especializado (perito e conhecedor).

Conforme descrito no capítulo 3, o princípio fundamental destas análises é o de fixar as respostas da primeira rodada nas duas análises desta seção. Na primeira análise, fixar as respostas da primeira rodada de todos os respondentes, e na segunda análise fixar as respostas dos mais especializados (perito e conhecedor). Isto é feito para comparar se houve uma convergência ou divergência de respostas da primeira para a segunda rodada na direção das médias destes valores fixados.

Após os cálculos da primeira análise, cujas respostas das duas rodadas dos grupos mais especializados (peritos e conhecedores) e menos especializados (familiarizados e não familiarizados) são comparadas às médias totais das respostas da primeira rodada, são encontrados os valores que estão na tabela 8.

	GRUPO		TOTAL
	Peritos + Conhecedores	Familiarizados + Não familiarizados	
% de convergência em torno das médias totais da 1ª rodada	43,36%	80,43%	69,29%

Tabela 8: Convergência por grupos de especialidades da primeira para a segunda rodada da pesquisa Delphi em energia em torno da média total das respostas na 1ª rodada

Os valores da tabela 8 mostram que o grupo menos especializado (familiarizados e não familiarizados) converge 80,43% das respostas da primeira para a segunda rodada na direção das médias das respostas de todos os respondentes na primeira rodada. Já no caso dos mais especializados, 43,36% das respostas convergem (a maioria diverge em 56,64%), mostrando que eles não foram influenciados pelos dados fornecidos no histograma. No total, 69,29% das respostas válidas convergiram, já que o grupo mais especializado (peritos e conhecedores) teve 4.906 respostas válidas e o menos especializado (familiarizados e não familiarizados) 11.416, indicando que, no geral, existiu uma convergência das respostas da primeira para a segunda rodada.

A segunda análise, que visa checar se as respostas do grupo menos especializado (familiarizados e não familiarizados) convergiram ou divergiram da primeira para a segunda rodada na direção das respostas do grupo mais especializado (peritos e conhecedores), mostra que apenas 51,21% das respostas convergiram (conforme ilustra a tabela 9).

	Familiarizados + Não Familiarizados
% Total de convergência em torno da média dos peritos/conhecedores na 1ª rodada	51,21%

Tabela 9: Convergência do grupo menos especializado da primeira para a segunda rodada da pesquisa Delphi em energia em torno da média das respostas do grupo mais especializado na 1ª rodada

Este resultado mostra que praticamente metade das respostas do grupo menos especializado converge e metade diverge quando comparado às respostas do grupo mais especializado na primeira rodada. Isto pode ser facilmente explicado, já que as respostas que foram fornecidas aos respondentes antes da segunda rodada foram as médias das respostas de todos os respondentes (como na primeira análise), e não apenas as respostas do grupo mais especializado.

Com isso, pode-se concluir que as respostas não caminham na direção das respostas do grupo mais especializado, e sim na direção da média total das respostas, pois estes foram os dados fornecidos aos respondentes antes que a segunda rodada fosse respondida.

Esta conclusão mostra que, realmente os respondentes menos especializados são mais suscetíveis às mudanças induzidas pelos dados fornecidos. Os respondentes mais especializados, talvez por já terem mais experiência no assunto, possuem uma opinião mais sólida e não tão volátil quando comparada às opiniões do grupo menos especializado. Mas é importante lembrar que isto não significa dizer que suas opiniões estejam corretas, porque apesar de sua grande experiência, todos os especialistas podem ter também seus preconceitos, influências e/ou personalidades diferentes.

4.5 Considerações finais

Conforme pôde ser visto, a estruturação do questionário buscou o equilíbrio na representatividade dos diferentes setores de atuação ao se convidar especialistas da academia, indústria e governo, mas no final a representatividade dos que efetivamente responderam ao questionário não foi tão equilibrada assim. A maior adesão dos especialistas foi da classe ligada aos centros de pesquisa e universidades, a menor dos respondentes ligados ao governo e uma certa constância nos especialistas ligados às empresas. No total, dos 149 convidados, 74 responderam à 1ª rodada (50%) e 36 a 2ª (25%).

Considerando a variação das médias da primeira para a segunda rodada com o critério adotado (aumento maior do que 1,00), pôde-se notar que nos grupos G2 e G3 houve a mudança de opinião em alguns tópicos (20,74% e 13,10%, respectivamente), o que não aconteceu no G1 (onde ninguém mudou de opinião). Algumas hipóteses podem ajudar a explicar estas diferenças, como a confiança e inflexibilidade dos diferentes respondentes dos grupos G1, G2 e G3, ou ainda que a redação dos tópicos dos três grupos possam não ter tido semelhante clareza, o que parece ser plausível e que pode ser verificado em alguns tópicos tecnológicos do G2 e G3.

Com relação a análise de variação do desvio padrão, a única conclusão possível de se chegar é que a técnica Delphi permite, na grande maioria dos casos, um aumento do consenso na forma de uma diminuição do desvio padrão da primeira para a segunda rodada.

Os dados da tabela 6 mostraram que o grupo menos especializado (familiarizados e não familiarizados) convergiu 80,43% das respostas da primeira para a segunda rodada na direção das médias das respostas de todos os respondentes na primeira rodada; no caso dos mais especializados, 43,36% das respostas convergiram apenas. No total, 69,29% das respostas válidas convergiram, já que o grupo mais especializado (peritos e conhecedores) teve 4.906 respostas válidas e o menos especializado (familiarizados e não familiarizados) 11.416, indicando que no geral existiu uma convergência das respostas da primeira para a segunda rodada. Isto mostra que, no geral houve uma convergência das respostas na direção dos histogramas de distribuição das

respostas da primeira rodada, que foram fornecidos antes que os especialistas respondessem à segunda rodada. Estes dados mostram que os respondentes menos especializados são mais suscetíveis às mudanças induzidas pelos dados fornecidos no final da primeira rodada.

O próximo capítulo esclarece se os respondentes de diferentes graus de especialidade e de diferentes setores de atuação têm opiniões diferenciadas, permitindo a tomada de decisão de se pesar ou não as respostas dos respondentes baseados nas diferentes categorias a que eles pertencem.

Capítulo 5

Análise de variância da primeira rodada da pesquisa Delphi em energia.

Após as análises do capítulo anterior, que mostraram que a pesquisa Delphi em energia apresentou um aumento do consenso entre os especialistas da primeira para a segunda rodada, e que este consenso se mostrou em sua maioria através do grupo menos especializado na direção das médias das respostas dos histogramas da primeira rodada, este capítulo investiga se existem diferenças significativas de opinião entre os diferentes graus de especialidade dos respondentes (especialista, conhecedor, familiarizado e não familiarizado) ou entre os diferentes setores de atuação dos mesmos (academia, empresa e governo) na primeira rodada da pesquisa. Estas análises têm a finalidade de avaliar a necessidade de pesagem das respostas de acordo com a categoria do respondente nos diversos tópicos tecnológicos avaliados, porque se houver diferenças significativas de opiniões entre estes grupos, justifica-se uma diferenciação dos respondentes de acordo com a sua categoria (grau de especialidade e/ou setor de atuação) em futuras análises. A decisão de se pesar ou não os diferentes níveis de especialistas teria impacto no capítulo 6, já que um exercício de ranqueamento dos tópicos tecnológicos é realizado tomando como base as análises deste capítulo. Além disso, os tópicos e questões com as maiores divergências foram investigados, para verificar se existiu alguma relação entre eles e os diferentes graus de especialidade e/ou setores de atuação dos respondentes.

5.1 Investigação da influência do grau de especialidade dos respondentes (especialista, conhecedor, familiarizado e não familiarizado) na primeira rodada da pesquisa Delphi em energia

RESULTADOS

Primeiramente é importante lembrar aqui como foi realizada a separação dos níveis de especialidade dos respondentes. Conforme descrito na seção 3.1 do capítulo 3, a primeira questão a ser respondida pelos especialistas foi sobre o grau de especialidade dos mesmos em cada um dos tópicos tecnológicos; e com o intuito de se eliminar a subjetividade desta questão, o conceito de grau de especialidade foi explicado em um pequeno texto para que os especialistas pudessem se balizar. Relembrando:

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

(2) Conhecedor: use essa classificação nos seguintes casos:

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

(3) 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.

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

Após a análise de variância dos dados da primeira rodada da pesquisa Delphi em energia, considerando o grau de especialidade dos respondentes (especialista, conhecedor, familiarizado e

não familiarizado) como os grupos da ANOVA avaliados, uma tabela contendo o nível de significância de todos os tópicos e questões foi montada para que a partir daí fosse possível extrair informações relevantes para as análises. A partir desta tabela duas análises principais foram realizadas: a primeira sobre as diferentes opiniões dos especialistas com relação às questões, e a segunda com relação aos tópicos tecnológicos, lembrando que as análises foram feitas separando-se os grupos G1, G2 e G3. A hipótese H_0 que foi testada foi a de que as médias dos quatro grupos de especialistas são iguais. Por isto se esta hipótese for aceita com o nível de significância escolhido, isto quer dizer que não existem diferenças de opinião entre os especialistas; se esta hipótese for rejeitada, pode-se considerar que a opinião entre os especialistas diverjam. As tabelas 10, 11 e 12 mostram os resultados das questões, enfatizando a porcentagem de rejeição da hipótese H_0 (médias iguais) com três níveis de significância escolhidos (1%, 5% e 10%). Já as tabelas 13, 14 e 15 mostram os resultados da ANOVA por tópicos, também considerando os três níveis de significância de 1%, 5% e 10%. A lista das questões e dos tópicos tecnológicos estão disponíveis nos anexos 1 e 2, respectivamente, para um melhor acompanhamento dos resultados.

Questão		Significancia = 1%		Significancia = 5%		Significancia = 10%		
		Rejeição de Ho	%	Rejeição de Ho	%	Rejeição de Ho	%	
G1 - Questões	2	Tecnico-economica	0	0,00%	1	3,33%	6	20,00%
	3	Tecnico-economica	0	0,00%	2	6,67%	3	10,00%
	4a	Tecnico-economica	1	3,33%	4	13,33%	8	26,67%
	4b	Tecnico-economica	0	0,00%	4	13,33%	7	23,33%
	5	Tecnico-economica	3	10,00%	5	16,67%	6	20,00%
	6a	Tecnico-economica	5	16,67%	8	26,67%	10	33,33%
	6b	Estratégica	1	3,33%	6	20,00%	8	26,67%
	6c	Tecnico-economica	2	6,67%	4	13,33%	7	23,33%
	6d	Estratégica	1	3,33%	4	13,33%	4	13,33%
	7	Estratégica	0	0,00%	1	3,33%	1	3,33%
	8	Invariante	0	0,00%	4	13,33%	5	16,67%
	9a	Estratégica	0	0,00%	0	0,00%	2	6,67%
	9b	Invariante	1	3,33%	1	3,33%	2	6,67%
	10	Ambiental	0	0,00%	3	10,00%	4	13,33%
	11	Ambiental	0	0,00%	5	16,67%	9	30,00%
	12	Ambiental	1	3,33%	5	16,67%	9	30,00%
	13	Social	1	3,33%	2	6,67%	2	6,67%
	14a	Social	0	0,00%	4	13,33%	6	20,00%
	14b	Social	1	3,33%	2	6,67%	2	6,67%
	14c	Social	0	0,00%	1	3,33%	4	13,33%
	14d	Social	0	0,00%	1	3,33%	4	13,33%
	15	Social	0	0,00%	1	3,33%	2	6,67%
	16	Invariante	1	3,33%	1	3,33%	1	3,33%
		Tecnico-econômica	11	5,24%	28	13,33%	47	39,50%
		Estratégica	2	1,67%	11	9,17%	15	22,06%
		Ambiental	1	1,11%	13	14,44%	22	43,14%
	Social	2	1,11%	11	6,11%	20	19,61%	
	TOTAL G1	18	2,61%	69	10,00%	112	16,23%	

Tabela 10: Rejeição da hipótese H_0 para os diferentes graus de especialidade nas questões do G1: geração de energia elétrica

G2 - Questões	Significancia = 1%		Significancia = 5%		Significancia = 10%			
	Questão	Rejeição de H_0	%	Rejeição de H_0	%	Rejeição de H_0	%	
	2	Tecnico-economica	0	0,00%	0	0,00%	2	12,50%
	3	Tecnico-economica	1	6,25%	2	12,50%	2	12,50%
	4a	Tecnico-economica	0	0,00%	2	12,50%	4	25,00%
	4b	Tecnico-economica	0	0,00%	0	0,00%	2	12,50%
	5	Tecnico-economica	0	0,00%	0	0,00%	1	6,25%
	6a	Tecnico-economica	4	25,00%	6	37,50%	8	50,00%
	6b	Estratégica	0	0,00%	1	6,25%	2	12,50%
	6c	Tecnico-economica	0	0,00%	0	0,00%	3	18,75%
	6d	Estratégica	1	6,25%	1	6,25%	2	12,50%
	7	Estratégica	0	0,00%	1	6,25%	3	18,75%
	8	Invariante	0	0,00%	2	12,50%	4	25,00%
	9a	Estratégica	0	0,00%	1	6,25%	2	12,50%
	9b	Invariante	0	0,00%	4	25,00%	4	25,00%
	10	Ambiental	0	0,00%	1	6,25%	2	12,50%
	11	Ambiental	0	0,00%	2	12,50%	2	12,50%
	12	Ambiental	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	13	Social	0	0,00%	1	6,25%	2	12,50%
	14a	Social	0	0,00%	1	6,25%	1	6,25%
14b	Social	0	0,00%	1	6,25%	2	12,50%	
14c	Social	0	0,00%	0	0,00%	2	12,50%	
14d	Social	0	0,00%	1	6,25%	2	12,50%	
15	Social	0	0,00%	0	0,00%	1	6,25%	
16	Invariante	0	0,00%	2	12,50%	2	12,50%	
	Tecnico-econômica	5	4,46%	10	8,93%	22	19,64%	
	Estratégica	1	1,56%	4	6,25%	9	14,06%	
	Ambiental	0	0,00%	3	6,25%	4	8,33%	
	Social	0	0,00%	4	4,17%	10	10,42%	
	TOTAL G2	6	1,63%	29	7,88%	55	14,95%	

Tabela 11: Rejeição da hipótese H_0 para os diferentes graus de especialidade nas questões do G2: combustíveis

G3 - Questões			Significancia = 1%		Significancia = 5%		Significancia = 10%	
	Questão		Rejeição de H_0	%	Rejeição de H_0	%	Rejeição de H_0	%
	2	Tecnico-economica	1	5,88%	2	11,76%	3	17,65%
	3	Tecnico-economica	1	5,88%	3	17,65%	3	17,65%
	4a	Tecnico-economica	2	11,76%	2	11,76%	3	17,65%
	4b	Tecnico-economica	0	0,00%	0	0,00%	4	23,53%
	5	Tecnico-economica	1	5,88%	3	17,65%	3	17,65%
	6a	Tecnico-economica	1	5,88%	2	11,76%	4	23,53%
	6b	Estratégica	0	0,00%	3	17,65%	4	23,53%
	6c	Tecnico-economica	0	0,00%	1	5,88%	3	17,65%
	6d	Estratégica	1	5,88%	4	23,53%	4	23,53%
	7	Estratégica	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	8	Invariante	0	0,00%	1	5,88%	2	11,76%
	9a	Estratégica	2	11,76%	5	29,41%	5	29,41%
	9b	Invariante	0	0,00%	1	5,88%	1	5,88%
	10	Ambiental	1	5,88%	2	11,76%	4	23,53%
	11	Ambiental	2	11,76%	4	23,53%	6	35,29%
	12	Ambiental	0	0,00%	1	5,88%	1	5,88%
	13	Social	1	5,88%	3	17,65%	4	23,53%
	14a	Social	1	5,88%	2	11,76%	3	17,65%
	14b	Social	1	5,88%	2	11,76%	6	35,29%
	14c	Social	0	0,00%	0	0,00%	5	29,41%
	14d	Social	0	0,00%	2	11,76%	4	23,53%
	15	Social	0	0,00%	2	11,76%	4	23,53%
	16	Invariante	0	0,00%	2	11,76%	3	17,65%
	Tecnico-econômica	6	5,04%	13	10,92%	23	19,33%	
	Estratégica	3	4,41%	12	17,65%	13	19,12%	
	Ambiental	3	5,88%	7	13,73%	11	21,57%	
	Social	3	2,94%	11	10,78%	26	25,49%	
	TOTAL G3	15	3,84%	47	12,02%	79	20,20%	

Tabela 12: Rejeição da hipótese H_0 para os diferentes graus de especialidade nas questões do G3: transmissão, distribuição, armazenamento e uso final de energia

Tópicos tecnológicos		Significancia = 1%		Significancia = 5%		Significancia = 10%	
		Rejeição de H_0	%	Rejeição de H_0	%	Rejeição de H_0	%
G1 - Tópicos	1	2	8,70%	2	8,70%	3	13,04%
	2	0	0,00%	0	0,00%	1	4,35%
	3	1	4,35%	1	4,35%	2	8,70%
	4	0	0,00%	2	8,70%	3	13,04%
	5	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	6	1	4,35%	5	21,74%	6	26,09%
	7	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	8	1	4,35%	3	13,04%	4	17,39%
	9	0	0,00%	1	4,35%	2	8,70%
	10	0	0,00%	1	4,35%	2	8,70%
	11	1	4,35%	2	8,70%	2	8,70%
	12	2	8,70%	3	13,04%	4	17,39%
	13	4	17,39%	6	26,09%	10	43,48%
	14	0	0,00%	0	0,00%	2	8,70%
	15	0	0,00%	0	0,00%	1	4,35%
	16	0	0,00%	3	13,04%	5	21,74%
	17	0	0,00%	4	17,39%	4	17,39%
	18	1	4,35%	2	8,70%	4	17,39%
	19	0	0,00%	4	17,39%	8	34,78%
	20	0	0,00%	0	0,00%	2	8,70%
	21	1	4,35%	2	8,70%	3	13,04%
	22	0	0,00%	2	8,70%	4	17,39%
	23	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	24	1	4,35%	7	30,43%	9	39,13%
	25	1	4,35%	5	21,74%	6	26,09%
	26	0	0,00%	0	0,00%	3	13,04%
	27	0	0,00%	2	8,70%	5	21,74%
	28	1	4,35%	6	26,09%	8	34,78%
	29	1	4,35%	3	13,04%	6	26,09%
	30	0	0,00%	3	13,04%	3	13,04%
	Combustíveis Fósseis	4	2,90%	10	7,25%	15	10,87%
	Nuclear	1	1,09%	5	5,43%	8	8,70%
	Hidráulica	7	5,07%	14	10,14%	24	17,39%
	Biomassa	2	1,45%	14	10,14%	25	18,12%
	Solar Fotovoltaica	1	2,17%	7	15,22%	9	19,57%
	Solar Termelétrica	1	4,35%	5	21,74%	6	26,09%
	Eólica	0	0,00%	2	4,35%	8	17,39%
	Geotérmica	2	4,35%	9	19,57%	14	30,43%
	Ondas e Marés	0	0,00%	0	0,00%	1	4,35%
	TOTAL G1	18	2,61%	69	10,00%	112	16,23%

Tabela 13: Rejeição da hipótese H_0 para os diferentes graus de especialidade nos tópicos tecnológicos do G1: geração de energia elétrica

Tópicos tecnológicos		Significancia = 1%		Significancia = 5%		Significancia = 10%	
		Rejeição de H_0	%	Rejeição de H_0	%	Rejeição de H_0	%
G2 - Tópicos	31	1	4,35%	1	4,35%	4	17,39%
	32	0	0,00%	1	4,35%	3	13,04%
	33	1	4,35%	2	8,70%	3	13,04%
	34	0	0,00%	0	0,00%	2	8,70%
	35	0	0,00%	0	0,00%	2	8,70%
	36	0	0,00%	3	13,04%	4	17,39%
	37	2	8,70%	3	13,04%	4	17,39%
	38	0	0,00%	1	4,35%	2	8,70%
	39	0	0,00%	1	4,35%	3	13,04%
	40	0	0,00%	1	4,35%	2	8,70%
	41	1	4,35%	2	8,70%	2	8,70%
	42	0	0,00%	2	8,70%	6	26,09%
	43	1	4,35%	5	21,74%	7	30,43%
	44	0	0,00%	3	13,04%	4	17,39%
	45	0	0,00%	2	8,70%	5	21,74%
	46	0	0,00%	2	8,70%	2	8,70%
	Combustíveis Fósseis	4	1,93%	12	5,80%	27	13,04%
	Biomassa	2	1,45%	15	10,87%	26	18,84%
	Solar a baixa temp.	0	0,00%	1	4,35%	1	4,35%
	TOTAL G2	6	1,63%	29	7,88%	55	14,95%

Tabela 14: Rejeição da hipótese H_0 para os diferentes graus de especialidade nos tópicos tecnológicos do G2: combustíveis

Tópicos tecnológicos		Significancia = 1%		Significancia = 5%		Significancia = 10%	
		Rejeição de H_0	%	Rejeição de H_0	%	Rejeição de H_0	%
G3 - Tópicos	47	0	0,00%	2	8,70%	3	13,04%
	48	1	4,35%	3	13,04%	4	17,39%
	49	1	4,35%	3	13,04%	4	17,39%
	50	1	4,35%	4	17,39%	6	26,09%
	51	2	8,70%	5	21,74%	9	39,13%
	52	0	0,00%	2	8,70%	2	8,70%
	53	0	0,00%	2	8,70%	3	13,04%
	54	1	4,35%	3	13,04%	7	30,43%
	55	1	4,35%	2	8,70%	3	13,04%
	56	0	0,00%	2	8,70%	5	21,74%
	57	0	0,00%	2	8,70%	5	21,74%
	58	0	0,00%	1	4,35%	1	4,35%
	59	1	4,35%	6	26,09%	8	34,78%
	60	1	4,35%	1	4,35%	3	13,04%
	61	4	17,39%	6	26,09%	8	34,78%
	62	2	8,70%	3	13,04%	7	30,43%
	63	0	0,00%	0	0,00%	1	4,35%
	Transm. e Distr.	5	4,35%	17	14,78%	26	22,61%
	Ger. Dist. / Arm. EE	2	1,74%	11	9,57%	20	17,39%
	Hidrogênio	0	0,00%	3	6,52%	6	13,04%
	Conserv. e Uso final	8	8,70%	16	17,39%	26	28,26%
	Planejamento	0	0,00%	0	0,00%	1	4,35%
	TOTAL G3	15	3,84%	47	12,02%	79	20,20%

Tabela 15: Rejeição da hipótese H_0 para os diferentes graus de especialidade nos tópicos tecnológicos do G3: transmissão, distribuição, armazenamento e uso final de energia

DISCUSSÃO

As discussões são centradas nas análises com 5% de nível de significância, pois conforme descrito na seção A3 do anexo 7 deste trabalho, este pode ser considerado um valor confiável.

Com relação às questões, a única conclusão possível de se extrair é a de que as questões com enfoque social foram as que tiveram as menores divergências de opiniões entre os especialistas, talvez porque o conceito e a importância delas sejam mais homogeneamente entendidas e compartilhadas entre os diversos níveis de especialidade dos respondentes.

Analisando agora os tópicos tecnológicos com 5% de significância, nota-se que de um modo geral não existe uma diferença significativa de opiniões, mas quando um ranking das 3 maiores divergências de opiniões nos 3 grupos é montado, algumas observações podem ser feitas, conforme é ilustrado nas tabelas 16, 17 e 18 abaixo.

G1 - Ranking	Tópico tecnologico	% Rejeição
	SOLAR FOTOVOLTAICA: Tecnologias para componentes (sistemas eletrônicos, conversores, conexão, armazenamento de energia, medidores)	30,43%
	GEOTÉRMICA: Acompanhamento dos desenvolvimentos para sistemas hidrotérmicos no exterior	26,09%
	HIDRÁULICA: Metodologias e instrumentação para previsão e prognóstico de afluências	26,09%

Tabela 16: Tópicos tecnológicos do G1 com maior rejeição de H_0

G2 - Ranking	Tópico tecnologico	% Rejeição
	BIOMASSA: Bio-diesel: desenvolvimento e implementação de tecnologias de transesterificação com etanol e metanol de óleos vegetais; utilização do bio-diesel	21,74%
	BIOMASSA: Metanol de biomassa: tecnologias de gasificação da biomassa; investigação de rotas alternativas (DME, Hidrogênio)	13,04%
	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de suporte à produção de gás na Amazônia	13,04%
	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de uso do gás natural (substituição de óleo combustível)	13,04%

Tabela 17: Tópicos tecnológicos do G2 com maior rejeição de H_0

G3 - Ranking	Tópico tecnologico	% Rejeição
	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas: uso doméstico	26,09%
	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas: setor de comércio e serviços	26,09%
	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Desenvolvimento dos sistemas isolados	21,74%

Tabela 18: Tópicos tecnológicos do G3 com maior rejeição de H_0

No G1, as maiores divergências de opinião foram nos tópicos relacionados com fontes renováveis de energia elétrica. O resultado do ranking no G2 mostra também uma preocupação maior com as fontes renováveis (no caso, a biomassa), e com o desenvolvimento do gás natural em regiões isoladas, talvez por se tratarem também de questões atuais do governo brasileiro com relação ao desenvolvimento social das regiões Norte-Nordeste. No G3, as tecnologias que obtiveram as maiores divergências foram as ligadas a eficiência energética e ao desenvolvimento de sistemas de transmissão e distribuição de sistemas isolados, podendo ser um reflexo ainda do

recente racionamento de energia elétrica em 2001, já que os diferentes especialistas podem ter tido ou não este enfoque.

Apesar de todas estas análises, a conclusão mais concreta e importante deste estudo de ANOVA realizado é de que, no geral, não se faz necessária a distinção de opiniões entre os diferentes graus de especialidade dos respondentes, porque com 5% de nível de significância, é possível notar que as opiniões divergem pouco nos três grupos (10% no G1, 7,88% no G2 e 12,02 no G3). Mesmo se for considerado um nível de significância mais ameno, de 10%, a rejeição de H_0 continua relativamente baixa (16,23% no G1, 14,95% no G2 e 20,20% no G3). Se for considerado um nível de significância mais rígido, aumentando a certeza da diferença de opiniões, a hipótese de que a opinião dos especialistas não diverjam se reforça, porque neste caso a rejeição de H_0 se torna extremamente pequena (2,61% no G1, 1,63 no G2 e 3,84% no G3).

5.2 Investigação da influência do setor de atuação dos respondentes (academia, empresa e governo) na primeira rodada da pesquisa Delphi em energia

Esta seção utiliza as mesmas ferramentas da seção anterior, só que agora analisa a diferença de opinião dos diferentes setores de atuação dos respondentes (academia, indústria e governo).

RESULTADOS

Da mesma forma que na seção 5.1 do presente capítulo, uma tabela contendo o nível de significância de todos os tópicos e questões foi montada. A partir desta tabela duas análises principais foram realizadas, a primeira sobre as diferentes opiniões dos setores de atuação dos especialistas com relação às questões, e a segunda com relação aos tópicos tecnológicos, lembrando novamente que as análises foram feitas separando os grupos G1, G2 e G3. A hipótese H_0 que foi testada foi a de que as médias dos três grupos de atuação dos respondentes (academia, empresa e governo) são iguais. Por isso se esta hipótese for aceita com o nível de significância escolhido, isto quer dizer que não existem diferenças de opiniões entre os diferentes setores de atuação dos respondentes. Mas se esta hipótese for rejeitada, pode ser considerado que a opinião dos respondentes destes setores diverjam. As tabelas 19, 20 e 21 mostram os

resultados das questões, enfatizando a porcentagem de rejeição da hipótese H_0 com os três níveis de significância escolhidos (1%, 5% e 10%).

G1 - Questões			Significancia = 1%		Significancia = 5%		Significancia = 10%	
	Questão		Rejeição de H_0	%	Rejeição de H_0	%	Rejeição de H_0	%
	2	Tecnico-economica	1	3,33%	3	10,00%	5	16,67%
	3	Tecnico-economica	1	3,33%	8	26,67%	12	40,00%
	4a	Tecnico-economica	0	0,00%	2	6,67%	2	6,67%
	4b	Tecnico-economica	0	0,00%	1	3,33%	2	6,67%
	5	Tecnico-economica	2	6,67%	5	16,67%	5	16,67%
	6a	Tecnico-economica	0	0,00%	4	13,33%	5	16,67%
	6b	Estratégica	0	0,00%	3	10,00%	3	10,00%
	6c	Tecnico-economica	0	0,00%	2	6,67%	3	10,00%
	6d	Estratégica	0	0,00%	0	0,00%	2	6,67%
	7	Estratégica	1	3,33%	4	13,33%	6	20,00%
	8	Invariante	0	0,00%	1	3,33%	3	10,00%
	9a	Estratégica	0	0,00%	1	3,33%	2	6,67%
	9b	Invariante	1	3,33%	2	6,67%	7	23,33%
	10	Ambiental	0	0,00%	1	3,33%	2	6,67%
	11	Ambiental	0	0,00%	2	6,67%	3	10,00%
	12	Ambiental	0	0,00%	1	3,33%	4	13,33%
	13	Social	0	0,00%	1	3,33%	2	6,67%
	14a	Social	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	14b	Social	0	0,00%	0	0,00%	1	3,33%
	14c	Social	0	0,00%	0	0,00%	2	6,67%
	14d	Social	1	3,33%	3	10,00%	3	10,00%
	15	Social	0	0,00%	0	0,00%	1	3,33%
	16	Invariante	0	0,00%	2	6,67%	4	13,33%
		Tecnico-econômica	4	1,90%	25	11,90%	34	28,57%
		Estratégica	1	0,83%	8	6,67%	13	19,12%
		Ambiental	0	0,00%	4	4,44%	9	17,65%
		Social	1	0,56%	4	2,22%	9	8,82%
		TOTAL G1	7	1,01%	46	6,67%	79	11,45%

Tabela 19: Rejeição da hipótese H_0 para os diferentes graus de especialidade nas questões do G1: geração de energia elétrica

G2 - Questões	Questão		Significancia = 1%		Significancia = 5%		Significancia = 10%	
			Rejeição de H_0	%	Rejeição de H_0	%	Rejeição de H_0	%
	2	Tecnico-economica	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	3	Tecnico-economica	1	6,25%	3	18,75%	3	18,75%
	4a	Tecnico-economica	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	4b	Tecnico-economica	1	6,25%	2	12,50%	4	25,00%
	5	Tecnico-economica	0	0,00%	3	18,75%	5	31,25%
	6a	Tecnico-economica	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	6b	Estratégica	0	0,00%	0	0,00%	1	6,25%
	6c	Tecnico-economica	0	0,00%	1	6,25%	2	12,50%
	6d	Estratégica	0	0,00%	1	6,25%	2	12,50%
	7	Estratégica	1	6,25%	2	12,50%	3	18,75%
	8	Invariante	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	9a	Estratégica	0	0,00%	0	0,00%	1	6,25%
	9b	Invariante	0	0,00%	0	0,00%	1	6,25%
	10	Ambiental	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	11	Ambiental	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	12	Ambiental	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	13	Social	1	6,25%	3	18,75%	5	31,25%
	14a	Social	0	0,00%	2	12,50%	5	31,25%
	14b	Social	0	0,00%	1	6,25%	3	18,75%
	14c	Social	0	0,00%	1	6,25%	2	12,50%
	14d	Social	0	0,00%	3	18,75%	4	25,00%
	15	Social	0	0,00%	0	0,00%	1	6,25%
	16	Invariante	0	0,00%	0	0,00%	1	6,25%
		Tecnico-econômica	2	1,79%	9	8,04%	14	12,50%
		Estratégica	1	1,56%	3	4,69%	7	10,94%
		Ambiental	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
		Social	1	1,04%	10	10,42%	20	20,83%
		TOTAL G2	4	1,09%	22	5,98%	43	11,68%

Tabela 20: Rejeição da hipótese H_0 para os diferentes setores de atuação dos respondentes nas questões do G2: combustíveis

G3 - Questões	Questão		Significancia = 1%		Significancia = 5%		Significancia = 10%	
			Rejeição de H_0	%	Rejeição de H_0	%	Rejeição de H_0	%
	2	Tecnico-economica	0	0,00%	1	5,88%	2	11,76%
	3	Tecnico-economica	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	4a	Tecnico-economica	0	0,00%	0	0,00%	2	11,76%
	4b	Tecnico-economica	1	5,88%	1	5,88%	2	11,76%
	5	Tecnico-economica	0	0,00%	0	0,00%	1	5,88%
	6a	Tecnico-economica	1	5,88%	1	5,88%	3	17,65%
	6b	Estratégica	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	6c	Tecnico-economica	0	0,00%	0	0,00%	2	11,76%
	6d	Estratégica	0	0,00%	0	0,00%	1	5,88%
	7	Estratégica	0	0,00%	0	0,00%	1	5,88%
	8	Invariante	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	9a	Estratégica	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	9b	Invariante	0	0,00%	1	5,88%	2	11,76%
	10	Ambiental	0	0,00%	3	17,65%	4	23,53%
	11	Ambiental	0	0,00%	1	5,88%	1	5,88%
	12	Ambiental	0	0,00%	1	5,88%	1	5,88%
	13	Social	0	0,00%	3	17,65%	4	23,53%
	14a	Social	0	0,00%	1	5,88%	1	5,88%
	14b	Social	1	5,88%	2	11,76%	3	17,65%
	14c	Social	0	0,00%	2	11,76%	2	11,76%
	14d	Social	1	5,88%	1	5,88%	2	11,76%
	15	Social	0	0,00%	2	11,76%	6	35,29%
	16	Invariante	1	5,88%	2	11,76%	2	11,76%
		Tecnico-econômica	2	1,68%	3	2,52%	12	10,08%
		Estratégica	0	0,00%	0	0,00%	2	2,94%
		Ambiental	0	0,00%	5	9,80%	6	11,76%
		Social	2	1,96%	11	10,78%	18	17,65%
		TOTAL G3	5	1,28%	22	5,63%	42	10,74%

Tabela 21: Rejeição da hipótese H_0 para os diferentes setores de atuação dos respondentes nas questões do G3: transmissão, distribuição, armazenamento e uso final de energia

G1 - Tópicos	Tópicos tecnológicos		Significancia = 1%		Significancia = 5%		Significancia = 10%	
			Rejeição de H_0	%	Rejeição de H_0	%	Rejeição de H_0	%
	1	Combustíveis Fósseis	0	0,00%	4	17,39%	4	17,39%
	2		0	0,00%	0	0,00%	3	13,04%
	3		2	8,70%	6	26,09%	7	30,43%
	4		0	0,00%	1	4,35%	1	4,35%
	5		0	0,00%	1	4,35%	1	4,35%
	6	Nuclear	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	7		0	0,00%	3	13,04%	4	17,39%
	8		0	0,00%	5	21,74%	7	30,43%
	9		1	4,35%	2	8,70%	7	30,43%
	10	Hidráulica	0	0,00%	0	0,00%	2	8,70%
	11		1	4,35%	4	17,39%	6	26,09%
	12		0	0,00%	2	8,70%	3	13,04%
	13		0	0,00%	1	4,35%	3	13,04%
	14		2	8,70%	6	26,09%	6	26,09%
	15	Biomassa	0	0,00%	1	4,35%	2	8,70%
	16		1	4,35%	2	8,70%	6	26,09%
	17		0	0,00%	1	4,35%	2	8,70%
	18		0	0,00%	1	4,35%	2	8,70%
	19		0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	20		0	0,00%	2	8,70%	2	8,70%
	21		0	0,00%	2	8,70%	4	17,39%
	22	Solar Fotovoltaica	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	23		0	0,00%	0	0,00%	1	4,35%
	24	Solar Termelétrica	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	25		0	0,00%	1	4,35%	2	8,70%
	26	Eólica	0	0,00%	0	0,00%	1	4,35%
	27		0	0,00%	1	4,35%	2	8,70%
	28	Geotérmica	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	29		0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	30	Ondas e Marés	0	0,00%	0	0,00%	1	4,35%
		Combustíveis Fósseis	2	1,45%	12	8,70%	16	11,59%
		Nuclear	1	1,09%	10	10,87%	20	21,74%
		Hidráulica	4	2,90%	16	11,59%	26	18,84%
		Biomassa	0	0,00%	6	4,35%	10	7,25%
		Solar Fotovoltaica	0	0,00%	0	0,00%	1	2,17%
		Solar Termelétrica	0	0,00%	1	4,35%	2	8,70%
		Eólica	0	0,00%	1	2,17%	3	6,52%
		Geotérmica	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
		Ondas e Marés	0	0,00%	0	0,00%	1	4,35%
		TOTAL G1	7	1,01%	46	6,67%	79	11,45%

Tabela 22: Rejeição da hipótese H_0 para os diferentes setores de atuação dos respondentes nos tópicos tecnológicos do G1: geração de energia elétrica

G2 - Tópicos	Tópicos tecnológicos		Significancia = 1%		Significancia = 5%		Significancia = 10%	
			Rejeição de H_0	%	Rejeição de H_0	%	Rejeição de H_0	%
	31	Combustíveis Fósseis	0	0,00%	1	4,35%	1	4,35%
	32		1	4,35%	3	13,04%	3	13,04%
	33		0	0,00%	0	0,00%	3	13,04%
	34		1	4,35%	1	4,35%	2	8,70%
	35		0	0,00%	1	4,35%	2	8,70%
	36		0	0,00%	1	4,35%	4	17,39%
	37		0	0,00%	2	8,70%	6	26,09%
	38		0	0,00%	0	0,00%	2	8,70%
	39	Biomassa	1	4,35%	3	13,04%	4	17,39%
	40		0	0,00%	1	4,35%	1	4,35%
	41		0	0,00%	2	8,70%	3	13,04%
	42		1	4,35%	2	8,70%	3	13,04%
	43		0	0,00%	1	4,35%	1	4,35%
	44		0	0,00%	2	8,70%	4	17,39%
	45		0	0,00%	1	4,35%	3	13,04%
	46		0	0,00%	1	4,35%	1	4,35%
		Solar a baixa temp.	0	0,00%	1	4,35%	1	4,35%
		Combustíveis Fósseis	3	1,45%	12	5,80%	27	13,04%
		Biomassa	1	0,72%	9	6,52%	15	10,87%
		Solar a baixa temp.	0	0,00%	1	4,35%	1	4,35%
		TOTAL G2	4	1,09%	22	5,98%	43	11,68%

Tabela 23: Rejeição da hipótese H_0 para os diferentes setores de atuação dos respondentes nos tópicos tecnológicos do G2: combustíveis

		Significancia = 1%		Significancia = 5%		Significancia = 10%	
Tópicos tecnológicos		Rejeição de H_0	%	Rejeição de H_0	%	Rejeição de H_0	%
G3 - Tópicos	47	0	0,00%	1	4,35%	1	4,35%
	48	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	49	1	4,35%	2	8,70%	2	8,70%
	50	0	0,00%	3	13,04%	4	17,39%
	51	1	4,35%	2	8,70%	2	8,70%
	52	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	53	0	0,00%	0	0,00%	1	4,35%
	54	0	0,00%	0	0,00%	1	4,35%
	55	0	0,00%	0	0,00%	2	8,70%
	56	0	0,00%	1	4,35%	2	8,70%
	57	0	0,00%	1	4,35%	6	26,09%
	58	0	0,00%	1	4,35%	2	8,70%
	59	1	4,35%	4	17,39%	6	26,09%
	60	0	0,00%	0	0,00%	3	13,04%
	61	0	0,00%	1	4,35%	1	4,35%
	62	0	0,00%	2	8,70%	5	21,74%
	63	2	8,70%	4	17,39%	4	17,39%
	Planejamento	2	8,70%	4	17,39%	4	17,39%
	Transm. e Distr.	2	1,74%	8	6,96%	9	7,83%
	Ger. Dist. / Arm. EE	0	0,00%	1	0,87%	6	5,22%
	Hidrogênio	0	0,00%	2	4,35%	8	17,39%
	Conserv. e Uso final	1	1,09%	7	7,61%	15	16,30%
	Planejamento	2	8,70%	4	17,39%	4	17,39%
TOTAL G3		5	1,28%	22	5,63%	42	10,74%

Tabela 24: Rejeição da hipótese H_0 para os diferentes setores de atuação dos respondentes nos tópicos tecnológicos do G3: transmissão, distribuição, armazenamento e uso final de energia

DISCUSSÃO

Assim como na discussão da seção 5.1, a comparação entre os grupos G1, G2 e G3 não é feita por se tratar de populações diferentes de respondentes. Da mesma forma, as discussões são centradas nas análises com 5% de nível de significância.

Com relação às questões, não há evidências que possam levar a alguma conclusão mais concreta. No G1, a questão 3 sobre impactos na balança comercial é a que apresenta as maiores divergências de opiniões, com 26,67%. O mesmo ocorre no G2, mas conjuntamente com as questões 6 (efeitos de transbordamento), 13 (impacto sobre o emprego) e 14d (impacto sobre o desenvolvimento regional do sul e sudeste) que têm 18,75% de rejeição de H_0 (hipótese das médias iguais) cada. No G3 as maiores divergências foram nas questões 10 (impactos no clima global) e 13 (impacto sobre o emprego), com 17,65%. Estes resultados podem ser considerados esporádicos, e qualquer conclusão mais ousada pode ser facilmente refutada porque não há elementos para uma conclusão mais agregada.

Analisando agora os tópicos tecnológicos com 5% de significância, nota-se também que de um modo geral não existem diferenças significativas das opiniões. Os rankings das tabelas 23, 24 e 25 ilustram esta situação.

G1 - Ranking	Tópico tecnologico	% Rejeição
	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Ciclos híbridos (Turbinas a Gás e solar; T. G. e células a combustível) incluindo sistemas de armazenamento (CAES)	26,09%
	HIDRÁULICA: Ferramentas (softwares, instrumentação): inventário e monitoramento de bacias hidrográficas	26,09%
	NUCLEAR: Tecnologia do ciclo do combustível nuclear (continuidade do desenvolvimento nacional)	21,74%

Tabela 25: Tópicos tecnológicos do G1 com maior rejeição de H_0

G2 - Ranking	Tópico tecnologico	% Rejeição
	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologia para produção de óleo em águas profundas (Árvore de Natal molhada, sistemas de produção flutuante, Árvore de Natal na superfície)	13,04%
	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Carvão: tecnologias de gasificação	13,04%

Tabela 26: Tópicos tecnológicos do G2 com maior rejeição de H_0

G3 - Ranking	Tópico tecnologico	% Rejeição
	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas: uso doméstico	17,39%
	PLANEJAMENTO: Desenvolvimento de modelos de planejamento integrado, incluindo diversas fontes de energia, tecnologias para uso eficiente, meio ambiente, etc	13,04%
	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Tecnologias para garantia da qualidade da energia	13,04%

Tabela 27: Tópicos tecnológicos do G3 com maior rejeição de H_0

O ranqueamento acima mostra que os tópicos com as maiores divergências não podem ser agregados de uma maneira que se possa afirmar que existam padrões de rejeição da hipótese H_0 . Assim como na seção 5.1, a única conclusão que pode ser feita é de que, no geral, não se faz necessário a distinção de opiniões entre os diferentes setores de atuação dos respondentes, porque com 5% de nível de significância as opiniões divergem pouco nos três grupos (6,67% no G1; 5,98% no G2 e 5,63 no G3). Mesmo se for considerado um nível de significância mais brando, de

10%, a rejeição de H_0 continua relativamente baixa (11,45% no G1; 11,68% no G2 e 10,74% no G3). Se for considerado um nível de significância mais rígido, aumentando a certeza de que existam diferenças de opiniões ($\alpha = 1\%$), a hipótese de que a opinião dos especialistas não divirja se reforça, pois neste caso a rejeição de H_0 se torna extremamente pequena (1,01% no G1; 1,09 no G2 e 1,28% no G3).

É interessante salientar aqui que as rejeições de H_0 dos setores de atuação dos respondentes são menores do que as rejeições dos diferentes níveis de respondentes mostrados na seção anterior, e isto pode ser explicado principalmente pelos respondentes da academia e governo. Analisando a lista dos participantes da consulta Delphi, os respondentes do governo da consulta Delphi em energia foram em sua maioria oriundos da academia, e que estavam ocupando no momento da pesquisa um cargo no governo. Com isso as opiniões entre estes dois grupos tendem ser mais homogêneas, refletindo em rejeições de H_0 mais baixas se comparadas com as rejeições da seção anterior (dos diferentes graus de especialidade dos respondentes).

5.3 Considerações finais

Conforme ilustrado nas análises de variância das seções 5.1 e 5.2, não se faz necessária a diferenciação dos níveis de especialidade nem dos setores de atuação dos respondentes nas futuras análises dos resultados. No geral, a rejeição da hipótese H_0 (de que as médias são iguais) é bem pequena em ambos os casos, indicando uma certa aleatoriedade das respostas em relação ao grau de especialidade (perito, conhecedor, familiarizado e não familiarizado) e do setor de atuação dos respondentes (academia, empresa e governo).

Talvez o leitor esteja perguntando agora se o número de respostas válidas em cada uma das questões, em cada um dos tópicos, tem alguma correlação com o número de rejeições das hipóteses H_0 . Isto é, será que, por exemplo, se poucas ou muitas pessoas responderam determinado tópico ou questão, isto teria alguma relação com o número de rejeições de H_0 ? Apesar da análise de variância considerar o número de respostas válidas de cada tópico tecnológico para cada questão através dos graus de liberdade (conforme explicado na seção A3

do anexo 7), esta afirmação pode ser confirmada para dar mais confiabilidade aos dados e maior confiança para o leitor.

Baseado nesta pergunta foram feitas duas análises de correlação, a primeira correlacionando o número de rejeições (variável “x”) com o número de respostas dos diferentes graus de especialidade dos respondentes (variável “y”), cujo resultado pode ser visto na tabela 28 abaixo.

Sxy =	0,013
Sx =	0,291
Sy =	4,157
r =	0,011

Tabela 28: Coeficiente de correlação entre o número de rejeições com o número de respostas dos diferentes graus de especialidade dos respondentes

A segunda análise foi feita correlacionando o número de rejeições com o número de respostas dos diferentes setores de atuação dos respondentes, cujo resultado foi de $r = -0,006$, indicando praticamente nenhuma correlação.

Sxy =	-0,007
Sx =	0,289
Sy =	4,184
r =	-0,006

Tabela 29: Coeficiente de correlação entre o número de rejeições com o número de respostas dos diferentes setores de atuação dos respondentes

Estas baixas correlações encontradas indicam que praticamente não existem correlações entre o número de respostas consideradas e o número de rejeições de H_0 , respondendo a pergunta original, validando uma das hipóteses da ANOVA e também as análises de variância realizadas nas seções 5.1 e 5.2 do presente capítulo, que mostram que com $\alpha=5\%$, não se justifica a adoção de pesos para diferenciar as respostas dos diferentes graus de especialidade e dos diferentes setores de atuação dos respondentes. E é com base nesta afirmação que o capítulo 6 se sustenta para a confecção do ranqueamento dos tópicos tecnológicos, ainda que este ranking tenha sido efetuado com as respostas da segunda rodada (isto é justificado no início do próximo capítulo).

Capítulo 6

Ranqueamento dos tópicos tecnológicos da segunda rodada da pesquisa Delphi em energia

No capítulo 4, a consulta Delphi em energia foi analisada, mostrando que realmente existiu uma diminuição do desvio padrão das respostas da primeira para a segunda rodada, indicando então um aumento do consenso. Uma outra análise mostrou que o grupo de respondentes menos especializados (familiarizados e não familiarizados) convergiu suas respostas (da primeira para a segunda rodada) em 80,43% dos casos na direção das médias dos histogramas que foram fornecidos no final da primeira rodada, fato que não aconteceu com o grupo mais especializado (onde isto ocorreu em apenas 43,36% dos casos); no total, 69,29% das respostas convergiram. Estas análises mostraram que a consulta Delphi ajudou no consenso e na convergência entre os especialistas no decorrer das duas rodadas, ainda que o grupo dos mais especializado tenha se mostrado mais irredutível, provavelmente por conhecer mais profundamente o assunto e já ter uma sólida opinião formada a respeito.

No capítulo 5 foram realizadas duas análises de variância, a primeira sobre as respostas da primeira rodada dos diferentes graus de especialidade dos respondentes (perito, conhecedor, familiarizado e não familiarizado), e a segunda sobre os diferentes setores de atuação dos mesmos na economia (academia, empresa e governo). Estas análises mostraram que, no geral, não se faz necessária a diferenciação das respostas pelos diferentes grupos analisados, ou seja, não existe a necessidade de ponderação das respostas para o ranqueamento dos tópicos

tecnológicos, ranqueamento este que é efetuado no presente capítulo utilizando-se as respostas da segunda rodada da pesquisa.

Ainda que a análise de variância não possa ser feita na segunda rodada da consulta Delphi, por violar a hipótese de que os respondentes não possam ser influenciados pelas respostas dos outros participantes, a pesagem das respostas dos diferentes grupos de especialistas não precisa ser realizada também na segunda rodada, isto porque de acordo com a análise de convergência realizada na seção 4.4 do capítulo 4, a maioria das respostas convergiu da primeira para a segunda rodada (69,29%). Com isso, os resultados de uma possível análise de variância na segunda rodada mostrariam que as diferenças de opinião seriam ainda menores do que na primeira rodada. Este fato reforça a não necessidade de uma ponderação das respostas de acordo com o setor de atuação ou grau de especialidade do respondente na segunda rodada da pesquisa Delphi em energia.

Este capítulo se apóia nas análises e validações dos capítulos anteriores para realizar um exercício de ranqueamento dos tópicos tecnológicos dos três grupos estudados (G1, G2 e G3). Conforme elucidado durante a dissertação, este ranking é montado através das respostas da segunda rodada da pesquisa Delphi em energia, já que estas respostas apresentam um maior consenso e refinamento dos resultados. É importante lembrar também que as respostas dos que não responderam à segunda rodada foram consideradas como as mesmas da primeira rodada.

Após a confecção e análise dos rankings, a seção 6.2 compara os resultados deste ranqueamento com o ranqueamento principal do estudo do CGEE. É importante lembrar, entretanto, que o ranqueamento do CGEE possui uma maior sustentação metodológica, com análise multicritério e visões de futuro diferenciadas. Esta comparação tem como objetivo verificar se os resultados encontrados nesta dissertação divergem ou não dos resultados do CGEE²⁸.

²⁸ Maiores detalhes do ranqueamento do CGEE no link do relatório final do projeto “Prospecção em energia” do CGEE. http://www.cgee.org.br/arquivos/rel_final_energia.pdf, acesso em 15/01/2005.

6.1 Resultados e discussões do ranqueamento

Todos os tópicos do G1, G2 e G3 foram ranqueados separadamente para cada métrica adotada, e posteriormente foi adotado um sistema de pontuação em cada critério para cada um dos tópicos tecnológicos dos três grupos. Talvez seja interessante aqui o leitor revisar os critérios e métricas adotadas neste ranqueamento, que estão disponíveis no anexo 3, bem como a seção 3.6 do capítulo 3 que descreve a forma de pontuação adotada.

Os resultados que são apresentados nesta seção mostram tabelas dos três grupos, considerando todos os critérios conjuntamente. Posteriormente apenas os critérios técnico-econômicos, estratégicos, ambientais e sociais são ranqueados. No geral, as cinco maiores pontuações e as três menores são comentadas nas discussões subseqüentes.

RANKING GERAL

De acordo com o ranking geral da tabela 30, no G1 (Tecnologias para a geração de energia elétrica) é possível notar que os cinco primeiros tópicos tecnológicos são de fontes renováveis de energia, seguindo a tendência mundial de outros estudos prospectivos de desenvolvimento sustentável na geração de energia elétrica (ver resultados do estudo Delphi em EurRenDel, 2004). A geração de energia elétrica através de biomassa (os três primeiros tópicos) se mostra atraente no atual contexto nacional, pois atualmente na legislação (Lei 9074/95 e o Decreto 2003/96) existem dois novos agentes, que são os auto-produtores e os produtores independentes de energia elétrica, que com o desenvolvimento de tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos agrícolas, produção e combustão avançada de biomassa encontrarão um grande nicho de mercado regional. Além destes fatores, a lei 10.438/2002 instituiu o PROINFA, cuja biomassa é uma das fontes beneficiadas, além das PCH's e a energia eólica (que teve também um lugar de destaque no ranking - 8º e 9º lugares). A energia hidráulica e as tecnologias para pequenas quedas das PCH's (4º e 5º lugares) também se inserem no contexto da biomassa descrito anteriormente, e provavelmente também porque este tipo de fonte renovável já é uma tradição e possui ainda um enorme potencial a ser explorado no país. A melhoria da tecnologia para componentes da fonte solar fotovoltaica (6º lugar no ranking) é coerente com o

programa de universalização de energia elétrica no Brasil (instituído também na lei 10.438/2002) já que em diversas regiões do país, principalmente em áreas rurais, esta tecnologia se torna viável em detrimento à conexão na rede básica de transmissão e distribuição de energia elétrica (Tolmasquim, 2004). As tecnologias do G1 com menor relevância para o futuro no Brasil, de acordo com os especialistas, são a energia nuclear, geotérmica e ondas/marés. Isto é compreensível e similar também nos resultados de EurRenDel, 2004, já que a energia nuclear é uma energia cara e que pode trazer danos no futuro, como acidentes nucleares e problemas na disposição de lixo atômico. Isto reflete em uma tendência na diminuição dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento do Brasil nesta área²⁹; é importante lembrar, entretanto, que esta fonte de energia não emite dióxido de carbono, sendo então coerente com o objetivo do protocolo de Quioto. Com relação à energia geotérmica, o potencial de aproveitamento no Brasil é praticamente nulo, porque este tipo de fonte primária é comum e aproveitável apenas em países que possuem falhas e/ou formação geológica de origem terciária³⁰. Com relação às marés, o potencial brasileiro também é baixo, excetuando-se algumas regiões o estado do Maranhão, cujas marés variam de 5 a 7 metros, mas a topografia do litoral não favorece a construção econômica de reservatórios, além deste tipo de energia não ser fornecida continuamente³¹.

²⁹ http://www.mct.gov.br/estat/ascavpp/portugues/2_Recursos_Aplicados/tabelas/tab2_1_3.htm. Acesso em 23/02/2005.

³⁰ Mapa mundial do potencial geotérmico mundial em http://geothermal.marin.org/geomap_1.html. Acesso em 22/02/2005

³¹ Maiores informações sobre o potencial das energias maremotrizes no Brasil, no site: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./energia/index.html&conteudo=./energia/mareomotriz.html>. Acesso em 28/02/2005

	Ranking	Tecnologia	Pontuação
Grupo 1	1	BIOMASSA: Tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos para culturas de grandes volumes: cana, madeira, arroz, milho, soja, etc	452
	2	BIOMASSA: Tecnologia de produção agrícola de "biomassa energética": cana de açúcar, madeira, dendê, outras; melhoramento genético e produção	438
	3	BIOMASSA: Tecnologias de combustão avançadas (biomassa, incluindo resíduos)	424
	4	HIDRÁULICA: PCH: tecnologia de turbinas para baixas quedas e hidrocínéticas; periféricos: geradores com rotação variável, controles de carga/ frequência	388
	5	HIDRÁULICA: Tecnologias para aumento de competitividade de centrais hidrelétricas pequenas e médias; re-potenciação de hidrelétricas	380
	6	SOLAR FOTOVOLTAICA: Tecnologias para componentes (sistemas eletrônicos, conversores, conexão, armazenamento de energia, medidores)	373
	7	HIDRÁULICA: Modelos de gestão de reservatórios das hidrelétricas, com uso múltiplo da água	369
	8	EÓLICA: Tecnologias de integração de parques ao sistema interligado (incluindo armazenamento, sistemas híbridos)	369
	9	EÓLICA: Tecnologia de máquinas para situações específicas no Brasil (regimes de vento, sistemas "pequenos" eficientes)	352
	10	BIOMASSA: Gasificação em pequeno porte (< 100 kW)	341
	11	HIDRÁULICA: Metodologias e instrumentação para previsão e prognóstico de aflúências	339
	12	HIDRÁULICA: Ferramentas (softwares, instrumentação): inventário e monitoramento de bacias hidrográficas	336
	13	BIOMASSA: Gasificação em grande porte (10 - 100 MW) com ciclo combinado; diversos conceitos	320
	14	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de micro-turbinas a gás (< 5kW)	313
	15	SOLAR FOTOVOLTAICA: Tecnologias para produção de células fotovoltaicas (diversos conceitos)	308
	16	BIOMASSA: Tecnologias de combustão mista (biomassa com carvão e gás natural)	296
	17	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias para turbinas a gás de média potência (até 30 MW)	281
	18	HIDRÁULICA: Hidrogeradores: modelagem, monitoração e diagnóstico	281
	19	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Ciclos híbridos (Turbinas a Gás e solar; T. G. e células a combustível) incluindo sistemas de armazenamento (CAES)	256
	20	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias para de-sulfurização de carvão; limpeza de gases, uso e disposição de resíduos	197
	21	SOLAR TERMELÉTRICA: Tecnologia dos sistemas e componentes: materiais, rastreamento, armazenagem térmica (concentradores parabólicos, cilindro-parabólicos e torre central)	163
	22	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Gasificação de carvão e ciclo combinado (IGCC)	154
	23	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Combustão avançada de carvão (CAFBC supercrítico; PFBC)	143
	24	NUCLEAR: Tecnologia do ciclo do combustível nuclear (continuidade do desenvolvimento nacional)	137
	25	NUCLEAR: Tecnologias de reatores avançados (acompanhamento, participação; tipo PWR, IRIS)	104
	26	NUCLEAR: Tecnologia mais adequada para implementação até 2040 (acompanhamento e participação em projetos de P&D no exterior)	100
	27	GEOTÉRMICA: Investigação de potenciais no Brasil	78
	28	ONDAS/MARÉS: Tecnologia: avaliação de (modelos) sistemas alternativos, conversores e custos de produção no Brasil	77
	29	GEOTÉRMICA: Acompanhamento dos desenvolvimentos para sistemas hidrotérmicos no exterior	73
	30	NUCLEAR: Ciclos avançados de combustível nuclear (alta queima e conversão)	63

Tabela 30: Ranking geral do G1: Tecnologias para a geração de energia elétrica

No G2 (Tecnologias para suprimento de combustíveis), a tabela 31 mostra que a tecnologia melhor ranqueada foi a do melhoramento genético, produção e processamento industrial da cana de açúcar para a fabricação de etanol, e isto se relaciona ao fato de que o álcool foi o principal combustível no Brasil durante os anos 80 e meados dos anos 90, e se mostra como uma excelente alternativa para o futuro sustentável do Brasil com relação aos combustíveis. Como a biomassa em si corresponde a maior parte dos custos de produção do álcool (IEA, 2004), um melhoramento genético poderia aumentar bastante a sua produtividade, barateando o seu preço. Seguindo a seqüência do ranking, observamos o bio-diesel, cujo desenvolvimento e implementação de tecnologias de produção deste óleo podem diminuir consideravelmente os seus custos, podendo ajudar a viabilizar esta outra opção de combustível renovável na substituição gradual do óleo diesel no futuro (IEA, 2004).

	Ranking	Tecnologia	Pontuação
Grupo 2	1	BIOMASSA: Etanol da cana de açúcar: melhoramento genético, inclusive transgênicos; produção da cana; e tecnologias no processamento industrial	236
	2	BIOMASSA: Bio-diesel: desenvolvimento e implementação de tecnologias de transesterificação com etanol e metanol de óleos vegetais; utilização do bio-diesel	222
	3	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de uso do gás natural (substituição de óleo combustível)	204
	4	BIOMASSA: Etanol de hidrólise de ligno-celulósicos: tecnologias para hidrólise / fermentação via enzimática, ácida ou com solvente orgânico	170
	5	SOLAR: Desenvolvimento de coletores solares: materiais, manufatura, automação	153
	6	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologia para produção de óleo em águas profundas (Árvore de Natal molhada, sistemas de produção flutuante, Árvore de Natal na superfície)	153
	7	BIOMASSA: Lixo Urbano: domínio no país das tecnologias de incineração, bio-gás de aterros e compostagem sólida	147
	8	BIOMASSA: Carvão Vegetal: tecnologias avançadas de carvoejamento (eficiência, uso dos subprodutos); carvão vegetal e pirólise	140
	9	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de refino de óleos pesados	135
	13	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de exploração (petróleo): sismologia e geofísica de poços, uso de imagens de satélites	133
	14	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de controle da poluição e de segurança na indústria de petróleo (produção, refino, distribuição, uso)	131
	15	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de recuperação avançada de petróleo	126
	16	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Melhoria da qualidade dos derivados de petróleo (limites de S na gasolina e diesel)	122
	17	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de suporte à produção de gás na Amazônia	118
	18	BIOMASSA: Metanol de biomassa: tecnologias de gasificação da biomassa; investigação de rotas alternativas (DME, Hidrogênio)	78
	19	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Carvão: tecnologias de gasificação	44

Tabela 31: Ranking geral do G2: Tecnologias para suprimento de combustíveis

A tecnologia de uso do gás natural (substituição de óleo combustível) vem logo em seguida (3º lugar), e isto provavelmente se deve pelo atual contexto nacional, já que este tipo de energético vem se viabilizando através dos queimadores de caldeiras nas indústrias e em usinas termelétricas à gás natural; além de apresentar menores impactos ambientais do que o óleo combustível (IPCC, 2001) e do fato de uma grande reserva de gás ter sido encontrada pela Petrobrás na Baía de Santos. O tópico seguinte (4º lugar) é sobre tecnologias de hidrólise para a produção de combustíveis através de biomassa, evidenciando uma tendência em investimentos de P&D para os próximos 20 anos do governo na busca da viabilidade de fontes renováveis de energia. Em 5º lugar estão os coletores solares, que já têm aplicações comerciais principalmente no aquecimento d'água (na substituição de chuveiros elétricos). No fim do ranqueamento estão as tecnologias de combustíveis fósseis, junto com o metanol de biomassa, já que o Brasil não tem tradição na produção devido ao desenvolvimento do etanol como combustível. Apesar da baixa colocação, o petróleo e o gás natural ainda serão as principais fontes de combustível nos próximos 20 anos (CGEE, 2004), mas países como o Brasil necessitam investir mais em P&D em fontes renováveis, já que de acordo com IPCC (2001), num futuro próximo o petróleo se tornará escasso e sua extração será inviável, necessitando então de políticas públicas claras e eficientes, capazes de desenvolver e a implementar comercialmente tecnologias renováveis que visem a sustentabilidade na área de combustíveis.

	Ranking	Tecnologia	Pontuação
Grupo 3	1	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos: uso industrial (inclusive co-geração e geração distribuída)	253
	2	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas: setor de comércio e serviços	215
	3	PLANEJAMENTO: Desenvolvimento de modelos de planejamento integrado, incluindo diversas fontes de energia, tecnologias para uso eficiente, meio ambiente, etc	201
	4	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas: uso doméstico	195
	5	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Desenvolvimento dos sistemas isolados	173
	6	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Automação, supervisão, controle: FACTS, automação na distribuição, controles eletrônicos de potencia específicos (proteção)	170
	7	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias para redução de consumo energético com projetos adequados de construção civil	167
	8	HIDROGÊNIO: Melhorias nas tecnologias de produção (eletrólise; gasificação; reforma; fotoquímica; outras)	166
	9	HIDROGÊNIO: Tecnologias de armazenamento de energia (hidretos metálicos, tanques) e distribuição; eficiência e segurança	163
	10	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologias de células a combustível (PEM, óxido sólido, PEM-etanol), e dos sistemas auxiliares (reformadores, controles)	154
	11	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologia de sistemas híbridos: PV ou turbinas a gás mais células a combustível	149
	12	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Tecnologias de redes (estrutura, materiais, equipamentos); HTS (supercondutores a alta temperatura), cabos poliméricos com maior resistência;	130
	13	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Tecnologias para garantia da qualidade da energia	120
	14	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologia de motores estacionários	107
	15	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Tecnologias para medição e tarifação	97
	16	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologia para pequenas turbinas a gás (1-25 kW): obtenção de maior eficiência	78
	17	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologia para armazenamento em ar comprimido (CAES)	63

Tabela 32: Ranking geral do G3: Tecnologias de transmissão e distribuição, geração distribuída e armazenamento, planejamento, conservação e uso final

No G3 (Tecnologias de transmissão e distribuição, geração distribuída e armazenamento, planejamento, conservação e uso final), de acordo com a tabela 32, as duas tecnologias que mais se destacam são as tecnologias ligadas ao aumento da eficiência energética de uso industrial e nos setores de comércio e serviços. Dois fatores que ajudam a explicar esta colocação são que com a melhoria da eficiência energética, é possível uma maior economia de energia, que pode ser um diferencial competitivo importante neste mundo cada vez mais globalizado. Sem contar que este tipo de tecnologia proporciona uma diminuição da poluição ambiental. Outro fator que pode ter influenciado no posicionamento destes dois tópicos e dos outros três seguintes foi o racionamento de energia do ano 2001, o chamado “apagão”, que mostrou a necessidade de um uso mais racional de energia elétrica. O terceiro tópico provavelmente também foi influenciado pelo “apagão”, que é o planejamento integrado de recursos, já que de acordo com Lessa (2002) ficou

constatado que um dos principais fatores da ocorrência do racionamento foi a falta de um planejamento no setor, e o planejamento integrado não considera apenas fatores técnico-econômicos e estratégicos em sua formulação, mas também variáveis sociais e ambientais. O quarto tópico também está relacionado aos dois primeiros, que são as tecnologias ligadas ao aumento da eficiência energética para o uso doméstico, podendo então ser explicado da mesma forma. O quinto tópico tecnológico é sobre o desenvolvimento de sistemas isolados, provavelmente por este tópico ter também um rebatimento ambiental, estratégico e social, já que estes sistemas podem ser instalados em qualquer lugar do país e não necessitam linhas de transmissão. Os tópicos que se mostraram menos importantes na opinião dos especialistas, foram os ligados à geração distribuída e armazenamento de energia elétrica que tratam da tecnologia de motores estacionários, tecnologia para pequenas turbinas a gás e armazenamento de ar comprimido. Apesar disto, estes tópicos não podem ser considerados como sem importância no cenário brasileiro, eles apenas foram considerados menos relevantes pelos respondentes do grupo G3, que podem ter considerado que estes tópicos tenham menores impactos do que os outros no horizonte de 20 anos analisado. Os resultados do G3 são coerentes com EurRenDel (2004), cujo resultado priorizou tecnologias de eficiência energética e fontes renováveis de energia.

A partir de agora, as análises desagregam as tabelas gerais apresentadas em questões técnico-econômicas, estratégicas, ambientais e sociais. Aqui talvez o leitor precise reler as questões do questionário Delphi para uma melhor compreensão. O questionário respondido pelos especialistas está disponível no anexo 2.

RANKING TÉCNICO-ECONÔMICO

No caso das questões técnico-econômicas, as questões abordadas foram sobre os custos finais, impactos na balança comercial, riscos, prazo para implementação e capacitação nacional existente para P&D no Brasil. A tabela 33 indica que, para o G1, os maiores potenciais na opinião dos especialistas, considerando apenas as questões técnico-econômicas para a geração de eletricidade, são as usinas hidráulicas e a biomassa. O aumento de competitividade das pequenas e médias centrais, incluindo a re-potenciação de hidrelétricas (1º lugar), as usinas hidrelétricas PCH's (4º lugar) e as ferramentas de gestão de reservatórios (5º lugar) mostram ainda o potencial

de expansão existente deste tipo de fonte de geração de eletricidade, que é responsável no Brasil pela geração de 74,7% de toda a energia elétrica produzida (BEN, 2003). As tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos agrícolas e a produção agrícola avançada de biomassa tiveram também lugar de destaque (2º e 3º lugares), já que elas apresentam um grande potencial técnico-econômico no país devido a possibilidade de auto-produção e produção independente de energia elétrica já comentado no ranking geral da sub-seção anterior. Também como no ranking geral, as tecnologias consideradas menos promissoras nos próximos 20 anos no Brasil para investimentos em P&D foram as energias nuclear, ondas/marés e geotérmica.

	Ranking	Tecnologia	Pontuação
Grupo 1	1	HIDRÁULICA: Tecnologias para aumento de competitividade de centrais hidrelétricas pequenas e médias; re-potenciação de hidrelétricas	138
	2	BIOMASSA: Tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos para culturas de grandes volumes: cana, madeira, arroz, milho, soja, etc	133
	3	BIOMASSA: Tecnologia de produção agrícola de "biomassa energética": cana de açúcar, madeira, dendê, outras; melhoramento genético e produção	130
	4	HIDRÁULICA: PCH: tecnologia de turbinas para baixas quedas e hidrocínéticas; periféricos: geradores com rotação variável, controles de carga/ frequência	128
	5	HIDRÁULICA: Ferramentas (softwares, instrumentação): inventário e monitoramento de bacias hidrográficas	123
	6	SOLAR FOTOVOLTAICA: Tecnologias para componentes (sistemas eletrônicos, conversores, conexão, armazenamento de energia, medidores)	118
	7	BIOMASSA: Tecnologias de combustão avançadas (biomassa, incluindo resíduos)	112
	8	HIDRÁULICA: Modelos de gestão de reservatórios das hidrelétricas, com uso múltiplo da água	110
	9	EÓLICA: Tecnologias de integração de parques ao sistema interligado (incluindo armazenamento, sistemas híbridos)	110
	10	HIDRÁULICA: Hidrogeradores: modelagem, monitoração e diagnóstico	109
	11	HIDRÁULICA: Metodologias e instrumentação para previsão e prognóstico de aflúências	107
	12	BIOMASSA: Gasificação em pequeno porte (< 100 kW)	101
	13	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de micro-turbinas a gás (< 5kW)	89
	14	BIOMASSA: Tecnologias de combustão mista (biomassa com carvão e gás natural)	87
	15	EÓLICA: Tecnologia de máquinas para situações específicas no Brasil (regimes de vento, sistemas "pequenos" eficientes)	85
	16	SOLAR FOTOVOLTAICA: Tecnologias para produção de células fotovoltaicas (diversos conceitos)	80
	17	BIOMASSA: Gasificação em grande porte (10 - 100 MW) com ciclo combinado; diversos conceitos	72
	18	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias para turbinas a gás de média potência (até 30 MW)	69
	19	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Ciclos híbridos (Turbinas a Gás e solar; T. G. e células a combustível) incluindo sistemas de armazenamento (CAES)	67
	20	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias para de-sulfurização de carvão; limpeza de gases, uso e disposição de resíduos	61
	21	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Gasificação de carvão e ciclo combinado (IGCC)	47
	22	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Combustão avançada de carvão (CAFBC supercrítico; PFBC)	45
	23	NUCLEAR: Tecnologia do ciclo do combustível nuclear (continuidade do desenvolvimento nacional)	44
	24	GEOTÉRMICA: Investigação de potenciais no Brasil	36
	25	SOLAR TERMELÉTRICA: Tecnologia dos sistemas e componentes: materiais, rastreamento, armazenagem térmica (concentradores parabólicos, cilindro-parabólicos e torre central)	30
	26	GEOTÉRMICA: Acompanhamento dos desenvolvimentos para sistemas hidrotérmicos no exterior	26
	27	NUCLEAR: Tecnologias de reatores avançados (acompanhamento, participação; tipo PWR, IRIS)	24
	28	ONDAS/MARÉS: Tecnologia: avaliação de (modelos) sistemas alternativos, conversores e custos de produção no Brasil	20
	29	NUCLEAR: Tecnologia mais adequada para implementação até 2040 (acompanhamento e participação em projetos de P&D no exterior)	15
	30	NUCLEAR: Ciclos avançados de combustível nuclear (alta queima e conversão)	9

Tabela 33: Ranking das questões técnico-econômicas do G1

	Ranking	Tecnologia	Pontuação
Grupo 2	1	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de uso do gás natural (substituição de óleo combustível)	68
	2	BIOMASSA: Etanol da cana de açúcar: melhoramento genético, inclusive transgênicos; produção da cana; e tecnologias no processamento industrial	64
	3	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologia para produção de óleo em águas profundas (Árvore de Natal molhada, sistemas de produção flutuante, Árvore de Natal na superfície)	63
	4	BIOMASSA: Bio-diesel: desenvolvimento e implementação de tecnologias de transesterificação com etanol e metanol de óleos vegetais; utilização do bio-diesel	58
	5	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de refino de óleos pesados	52
	6	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de exploração (petróleo): sismologia e geofísica de poços, uso de imagens de satélites	51
	7	SOLAR: Desenvolvimento de coletores solares: materiais, manufatura, automação	43
	8	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Melhoria da qualidade dos derivados de petróleo (limites de S na gasolina e diesel)	40
	9	BIOMASSA: Carvão Vegetal: tecnologias avançadas de carvoejamento (eficiência, uso dos subprodutos); carvão vegetal e pirólise	39
	10	BIOMASSA: Lixo Urbano: domínio no país das tecnologias de incineração, bio-gás de aterros e compostagem sólida	38
	11	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de controle da poluição e de segurança na indústria de petróleo (produção, refino, distribuição, uso)	38
	12	BIOMASSA: Etanol de hidrólise de ligno-celulósicos: tecnologias para hidrólise / fermentação via enzimática, ácida ou com solvente orgânico	37
	13	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de recuperação avançada de petróleo	36
	14	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de suporte à produção de gás na Amazônia	34
	15	BIOMASSA: Metanol de biomassa: tecnologias de gasificação da biomassa; investigação de rotas alternativas (DME, Hidrogênio)	13
	16	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Carvão: tecnologias de gasificação	6

Tabela 34: Ranking das questões técnico-econômicas do G2

No caso do G2, a tabela 34 mostra que o etanol da cana de açúcar aparece em segundo lugar como o melhor potencial técnico-econômico, já que o seu desenvolvimento proporcionaria impacto positivo nos custos, permitindo ainda que o país passasse a exportar este combustível. Outra tecnologia de combustível de biomassa que está em destaque é o bio-diesel (3º), que é uma tecnologia com potencial técnico-econômico e que possivelmente ajudará o Brasil a prover uma fonte de combustível sustentável na substituição gradual do óleo diesel (IEA, 2004). É interessante notar neste ranking a posição de destaque das tecnologias provenientes de combustíveis fósseis, como o uso do gás natural (1º lugar) e a produção de óleo em águas profundas (3º), já que são tecnologias importantes para os próximos 20 anos se analisadas com um enfoque técnico-econômico. Uma prospecção viável em águas ultra-profundas, por exemplo, teria um grande impacto positivo na economia do país, e o consumo do gás natural tende a crescer nos próximos 20 anos, principalmente nas indústrias. As últimas posições do ranking de acordo com os especialistas, são relacionadas com o metanol de biomassa (penúltimo lugar), pelos mesmos motivos explicados no ranking geral; a última posição é a geração de energia

através do carvão mineral, já que esta fonte de combustível fóssil está concentrada apenas na região sul do Brasil (BEN, 2003), e por ser também mais poluidor do que o petróleo (IPCC, 2001), podendo sofrer barreiras ambientais que reflitam em sua viabilidade econômica.

	Ranking	Tecnologia	Pontuação
Grupo 3	1	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos: uso industrial (inclusive co-geração e geração distribuída)	72
	2	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas: setor de comércio e serviços	69
	3	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Automação, supervisão, controle: FACTS, automação na distribuição, controles eletrônicos de potencia específicos (proteção)	67
	4	PLANEJAMENTO: Desenvolvimento de modelos de planejamento integrado, incluindo diversas fontes de energia, tecnologias para uso eficiente, meio ambiente, etc	62
	5	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas: uso doméstico	58
	6	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Tecnologias para medição e tarifação	53
	7	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias para redução de consumo energético com projetos adequados de construção civil	52
	8	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Desenvolvimento dos sistemas isolados	49
	9	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Tecnologias de redes (estrutura, materiais, equipamentos); HTS (supercondutores a alta temperatura), cabos poliméricos com maior resistência;	47
	10	HIDROGÊNIO: Melhorias nas tecnologias de produção (eletrolise; gasificação; reforma; fotoquímica; outras)	44
	11	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologia de motores estacionários	42
	12	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Tecnologias para garantia da qualidade da energia	38
	13	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologia de sistemas híbridos: PV ou turbinas a gás mais células a combustível	29
	14	HIDROGÊNIO: Tecnologias de armazenamento de energia (hidretos metálicos, tanques) e distribuição; eficiência e segurança	28
	15	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologias de células a combustível (PEM, óxido sólido, PEM-etanol), e dos sistemas auxiliares (reformadores, controles);	23
	16	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologia para pequenas turbinas a gás (1-25 kW): obtenção de maior eficiência	21
	17	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologia para armazenamento em ar comprimido (CAES)	11

Tabela 35: Ranking das questões técnico-econômicas do G3

No G3, a tabela 35 mostra o ranking das questões técnico-econômicas, que continua a dar grande relevância ao aumento da eficiência energética de uso industrial e nos setores de comércio e serviços (1ª e 2ª posições). O desenvolvimento de tecnologias mais eficientes têm impactos positivos diretos nos custos de produção, comércio e serviços, podendo viabilizar novos projetos e tornar estas atividades mais competitivas. O terceiro lugar ficou com a automação, supervisão e controle das linhas de transmissão e distribuição, mostrando a importância que os especialistas deram a tecnologias de proteção e otimização de energia. O quarto lugar ficou com o planejamento integrado de recursos, provavelmente porque o desenvolvimento deste tipo de

planejamento minimizaria os custos ocasionados por erros de planejamento. Os tópicos que se mostraram menos importantes na opinião dos especialistas foram os mesmos tópicos da tabela 30 do ranking geral do G3, que são os tópicos ligados a geração distribuída e armazenamento de energia elétrica.

RANKING ESTRATÉGICO

Olhando agora as questões estratégicas que lidam com efeitos de transbordamento em outras áreas, importância estratégica qualidade e segurança do suprimento de energia, é possível notar na tabela 36 que no G1, assim como no ranking geral, que a maior importância foi dada a tecnologias ligadas a geração de energia elétrica através da biomassa. As três primeiras posições que são ligadas ao desenvolvimento de tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos agrícolas, produção e combustão avançada de biomassa apresentaram excelente potencial estratégico na opinião dos especialistas. A tecnologia para componentes solar fotovoltaico aparece em 4º lugar, mostrando a importância desta fonte alternativa com relação à universalização de energia elétrica nas regiões rurais do Brasil, onde esta alternativa seria economicamente viável em detrimento da conexão com a rede básica de energia elétrica (Tolmasquim, 2004). O desenvolvimento de modelos de gestão de reservatórios de energia elétrica ficou em 5º lugar, mostrando a preocupação dos especialistas com relação a futuros racionamentos de energia e uma melhor eficiência na utilização dos recursos hídricos disponíveis, que são itens fundamentalmente estratégicos com rebatimento em outras áreas, já que a confiabilidade do suprimento de energia é de fundamental importância para os investidores externos que desejam instalar indústrias no país.

	Ranking	Tecnologia	Pontuação
Grupo 1	1	BIOMASSA: Tecnologia de produção agrícola de "biomassa energética": cana de açúcar, madeira, dendê, outras; melhoramento genético e produção	80
	2	BIOMASSA: Tecnologias de combustão avançadas (biomassa, incluindo resíduos)	75
	3	BIOMASSA: Tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos para culturas de grandes volumes: cana, madeira, arroz, milho, soja, etc	73
	4	SOLAR FOTOVOLTAICA: Tecnologias para componentes (sistemas eletrônicos, conversores, conexão, armazenamento de energia, medidores)	72
	5	HIDRÁULICA: Modelos de gestão de reservatórios das hidrelétricas, com uso múltiplo da água	71
	6	HIDRÁULICA: PCH: tecnologia de turbinas para baixas quedas e hidrocinéticas; periféricos: geradores com rotação variável, controles de carga/ frequência	68
	7	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias para turbinas a gás de média potência (até 30 MW)	66
	8	HIDRÁULICA: Metodologias e instrumentação para previsão e prognóstico de afluentes	66
	9	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de micro-turbinas a gás (< 5kW)	64
	10	HIDRÁULICA: Tecnologias para aumento de competitividade de centrais hidrelétricas pequenas e médias; re-potenciação de hidrelétricas	64
	11	HIDRÁULICA: Ferramentas (softwares, instrumentação): inventário e monitoramento de bacias hidrográficas	59
	12	BIOMASSA: Gasificação em grande porte (10 - 100 MW) com ciclo combinado; diversos conceitos	58
	13	EÓLICA: Tecnologias de integração de parques ao sistema interligado (incluindo armazenamento, sistemas híbridos)	55
	14	BIOMASSA: Tecnologias de combustão mista (biomassa com carvão e gás natural)	53
	15	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Ciclos híbridos (Turbinas a Gás e solar; T. G. e células a combustível) incluindo sistemas de armazenamento (CAES)	50
	16	BIOMASSA: Gasificação em pequeno porte (< 100 kW)	50
	17	SOLAR FOTOVOLTAICA: Tecnologias para produção de células fotovoltaicas (diversos conceitos)	50
	18	EÓLICA: Tecnologia de máquinas para situações específicas no Brasil (regimes de vento, sistemas "pequenos" eficientes)	49
	19	HIDRÁULICA: Hidrogeradores: modelagem, monitoração e diagnóstico	46
	20	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Gasificação de carvão e ciclo combinado (IGCC)	34
	21	NUCLEAR: Tecnologia mais adequada para implementação até 2040 (acompanhamento e participação em projetos de P&D no exterior)	30
	22	NUCLEAR: Tecnologia do ciclo do combustível nuclear (continuidade do desenvolvimento nacional)	30
	23	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias para de-sulfurização de carvão; limpeza de gases, uso e disposição de resíduos	28
	24	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Combustão avançada de carvão (CAFBC supercrítico; PFBC)	26
	25	SOLAR TERMELÉTRICA: Tecnologia dos sistemas e componentes: materiais, rastreamento, armazenagem térmica (concentradores parabólicos, cilindro-parabólicos e torre central)	23
	26	NUCLEAR: Tecnologias de reatores avançados (acompanhamento, participação; tipo PWR, IRIS)	21
	27	NUCLEAR: Ciclos avançados de combustível nuclear (alta queima e conversão)	12
	28	ONDAS/MARÉS: Tecnologia: avaliação de (modelos) sistemas alternativos, conversores e custos de produção no Brasil	11
	29	GEOTÉRMICA: Acompanhamento dos desenvolvimentos para sistemas hidrotérmicos no exterior	6
	30	GEOTÉRMICA: Investigação de potenciais no Brasil	5

Tabela 36: Ranking das questões estratégicas do G1

	Ranking	Tecnologia	Pontuação
Grupo 2	1	BIOMASSA: Etanol da cana de açúcar: melhoramento genético, inclusive transgênicos; produção da cana; e tecnologias no processamento industrial	45
	2	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de uso do gás natural (substituição de óleo combustível)	37
	3	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologia para produção de óleo em águas profundas (Árvore de Natal molhada, sistemas de produção flutuante, Árvore de Natal na superfície)	36
	4	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Melhoria da qualidade dos derivados de petróleo (limites de S na gasolina e diesel)	34
	5	BIOMASSA: Bio-diesel: desenvolvimento e implementação de tecnologias de transesterificação com etanol e metanol de óleos vegetais; utilização do bio-diesel	34
	6	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de exploração (petróleo): sismologia e geofísica de poços, uso de imagens de satélites	32
	7	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de refino de óleos pesados	29
	8	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de controle da poluição e de segurança na indústria de petróleo (produção, refino, distribuição, uso)	29
	9	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de recuperação avançada de petróleo	26
	10	BIOMASSA: Etanol de hidrólise de ligno-celulósicos: tecnologias para hidrólise / fermentação via enzimática, ácida ou com solvente orgânico	25
	11	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de suporte à produção de gás na Amazônia	23
	12	BIOMASSA: Carvão Vegetal: tecnologias avançadas de carvoejamento (eficiência, uso dos subprodutos); carvão vegetal e pirólise	20
	13	BIOMASSA: Lixo Urbano: domínio no país das tecnologias de incineração, bio-gás de aterros e compostagem sólida	13
	14	SOLAR: Desenvolvimento de coletores solares: materiais, manufatura, automação	13
	15	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Carvão: tecnologias de gasificação	7
	16	BIOMASSA: Metanol de biomassa: tecnologias de gasificação da biomassa; investigação de rotas alternativas (DME, Hidrogênio)	5

Tabela 37: Ranking das questões estratégicas do G2

No G2, assim como no ranking geral, a tabela 37 mostra que o etanol de cana de açúcar permanece em primeiro lugar, provavelmente devido a sua enorme importância estratégica no futuro do Brasil, já que este é o substituto mais direto da gasolina que o país possui, e isto terá um rebatimento positivo num futuro próximo quando os combustíveis fósseis não forem mais viáveis economicamente devido à sua rápida depleção (IPCC, 2001). Este raciocínio se encaixa também na substituição do óleo diesel pelo biodiesel, que está na 5ª posição. Mas de acordo com CGEE (2004), paralelamente nos próximos 20 anos, os combustíveis fósseis terão um papel fundamental na estratégia do Brasil, provavelmente seja por isso que eles estejam nos 2º, 3º e 4º lugares do ranking estratégico. As últimas posições pertencem novamente as tecnologias de carvão mineral e metanol, provavelmente por motivos semelhantes aos do ranking geral.

	Ranking	Tecnologia	Pontuação
Grupo 3	1	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos: uso industrial (inclusive co-geração e geração distribuída)	49
	2	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas: uso doméstico	41
	3	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Automação, supervisão, controle: FACTS, automação na distribuição, controles eletrônicos de potencia específicos (proteção)	40
	4	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas: setor de comércio e serviços	37
	5	PLANEJAMENTO: Desenvolvimento de modelos de planejamento integrado, incluindo diversas fontes de energia, tecnologias para uso eficiente, meio ambiente, etc	35
	6	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Tecnologias para garantia da qualidade da energia	29
	7	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Desenvolvimento dos sistemas isolados	29
	8	HIDROGÊNIO: Tecnologias de armazenamento de energia (hidretos metálicos, tanques) e distribuição; eficiência e segurança	28
	9	HIDROGÊNIO: Melhorias nas tecnologias de produção (eletrólise; gasificação; reforma; fotoquímica; outras)	27
	10	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Tecnologias de redes (estrutura, materiais, equipamentos); HTS (supercondutores a alta temperatura), cabos poliméricos com maior resistência;	25
	11	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologias de células a combustível (PEM, óxido sólido, PEM-etanol), e dos sistemas auxiliares (reformadores, controles);	25
	12	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias para redução de consumo energético com projetos adequados de construção civil	24
	13	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Tecnologias para medição e tarifação	20
	14	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologia de sistemas híbridos: PV ou turbinas a gás mais células a combustível	19
	15	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologia de motores estacionários	18
	16	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologia para armazenamento em ar comprimido (CAES)	8
	17	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologia para pequenas turbinas a gás (1-25 kW): obtenção de maior eficiência	5

Tabela 38: Ranking das questões estratégicas do G3

De acordo com a tabela 38, no G3 as principais tecnologias estratégicas são as ligadas ao aumento da eficiência energética no setor industrial (1º), nos setores de comércio e serviços (2º) e doméstico (4º), provavelmente porque elas proporcionam uma maior competitividade das indústrias e no setor terciário. Em terceiro lugar aparece a tecnologia de automação, supervisão e controle da transmissão e distribuição de energia elétrica, e em sexto a garantia da qualidade desta energia, isto pode ser explicado pela importância destes tópicos na confiabilidade e segurança no fornecimento de energia, significando uma importância estratégica muito importante para o Brasil, já que, como explicado no ranqueamento do G1, investidores não instalariam indústrias se o local não permitisse um fornecimento seguro de energia para suas atividades. Assim como no caso geral e técnico-econômico, os respondentes não acreditam que as tecnologias de geração distribuída e armazenamento de energia elétrica apresentem um

potencial relativamente importante nos próximos 20 anos no Brasil, este resultado é coerente com o estudo EurRenDel (2004), em que estes itens são considerados como tecnologias de importância intermediária (mas crescente), quando comparados a outros tópicos relacionados, como a eficiência energética por exemplo.

RANKING AMBIENTAL

No caso do ranking ambiental, as questões que foram abordadas trataram dos impactos no clima global, no ambiente local e nos recursos naturais. De acordo com a tabela 39, o G1 apresentou como os dois primeiros colocados a geração de energia elétrica através da biomassa, com as tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos em primeiro e as tecnologias de combustão avançadas em segundo. A tecnologia de produção agrícola de biomassa energética também obteve um lugar de destaque, ficando em quinto lugar. Estes resultados indicam a consciência de que os resíduos de biomassa devam ser aproveitados na geração de energia, e não desperdiçados, como por exemplo, na queima dos canaviais, que emitem gases poluentes na atmosfera sem que nenhuma energia útil seja gerada. Os tópicos tecnológicos relacionados com energia eólica ficaram em 2º e 3º lugares, já que esta fonte renovável é uma das menos poluentes considerando todo o ciclo de vida desta fonte. As últimas posições são em sua maioria relacionadas com os combustíveis fósseis (carvão mineral e petróleo), que são tradicionalmente mais poluentes. Pode parecer estranho a localização da tecnologia de ondas/marés na 28ª posição, mas a tecnologia das usinas maremotrizes causam enormes impactos no ambiente local, como a inundação de mangues (berçários naturais da vida marinha) e a interrupção da migração de algumas espécies de peixes para a desova (Baker, C. 1991).

	Ranking	Tecnologia	Pontuação
Grupo 1	1	BIOMASSA: Tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos para culturas de grandes volumes: cana, madeira, arroz, milho, soja, etc	89
	2	BIOMASSA: Tecnologias de combustão avançadas (biomassa, incluindo resíduos)	85
	3	EÓLICA: Tecnologia de máquinas para situações específicas no Brasil (regimes de vento, sistemas "pequenos" eficientes)	85
	4	EÓLICA: Tecnologias de integração de parques ao sistema interligado (incluindo armazenamento, sistemas híbridos)	80
	5	BIOMASSA: Tecnologia de produção agrícola de "biomassa energética": cana de açúcar, madeira, dendê, outras; melhoramento genético e produção	78
	6	BIOMASSA: Gasificação em grande porte (10 - 100 MW) com ciclo combinado; diversos conceitos	73
	7	BIOMASSA: Gasificação em pequeno porte (< 100 kW)	66
	8	SOLAR FOTOVOLTAICA: Tecnologias para produção de células fotovoltaicas (diversos conceitos)	65
	9	HIDRÁULICA: Tecnologias para aumento de competitividade de centrais hidrelétricas pequenas e médias; re-potenciação de hidrelétricas	62
	10	HIDRÁULICA: Modelos de gestão de reservatórios das hidrelétricas, com uso múltiplo da água	58
	11	SOLAR FOTOVOLTAICA: Tecnologias para componentes (sistemas eletrônicos, conversores, conexão, armazenamento de energia, medidores)	56
	12	HIDRÁULICA: PCH: tecnologia de turbinas para baixas quedas e hidrocinéticas; periféricos: geradores com rotação variável, controles de carga/ frequência	55
	13	HIDRÁULICA: Metodologias e instrumentação para previsão e prognóstico de aflúncias	52
	14	BIOMASSA: Tecnologias de combustão mista (biomassa com carvão e gás natural)	51
	15	SOLAR TERMELÉTRICA: Tecnologia dos sistemas e componentes: materiais, rastreamento, armazenagem térmica (concentradores parabólicos, cilindro-parabólicos e torre central)	50
	16	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias para de-sulfurização de carvão; limpeza de gases, uso e disposição de resíduos	49
	17	HIDRÁULICA: Ferramentas (softwares, instrumentação): inventário e monitoramento de bacias hidrográficas	46
	18	HIDRÁULICA: Hidrogeradores: modelagem, monitoração e diagnóstico	40
	19	NUCLEAR: Tecnologias de reatores avançados (acompanhamento, participação; tipo PWR, IRIS)	30
	20	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Ciclos híbridos (Turbinas a Gás e solar; T. G. e células a combustível) incluindo sistemas de armazenamento (CAES)	27
	21	GEOTÉRMICA: Acompanhamento dos desenvolvimentos para sistemas hidrotérmicos no exterior	27
	22	GEOTÉRMICA: Investigação de potenciais no Brasil	27
	23	NUCLEAR: Tecnologia mais adequada para implementação até 2040 (acompanhamento e participação em projetos de P&D no exterior)	26
	24	NUCLEAR: Ciclos avançados de combustível nuclear (alta queima e conversão)	26
	25	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de micro-turbinas a gás (< 5kW)	25
	26	NUCLEAR: Tecnologia do ciclo do combustível nuclear (continuidade do desenvolvimento nacional)	20
	27	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias para turbinas a gás de média potência (até 30 MW)	19
	28	ONDAS/MARÉS: Tecnologia: avaliação de (modelos) sistemas alternativos, conversores e custos de produção no Brasil	15
	29	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Gasificação de carvão e ciclo combinado (IGCC)	7
	30	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Combustão avançada de carvão (CAFBC supercrítico; PFBC)	6

Tabela 39: Ranking das questões ambientais do G1

	Ranking	Tecnologia	Pontuação
Grupo 2	1	BIOMASSA: Lixo Urbano: domínio no país das tecnologias de incineração, bio-gás de aterros e compostagem sólida	47
	2	SOLAR: Desenvolvimento de coletores solares: materiais, manufatura, automação	42
	3	BIOMASSA: Bio-diesel: desenvolvimento e implementação de tecnologias de transesterificação com etanol e metanol de óleos vegetais; utilização do bio-diesel	40
	4	BIOMASSA: Etanol da cana de açúcar: melhoramento genético, inclusive transgênicos; produção da cana; e tecnologias no processamento industrial	38
	5	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de uso do gás natural (substituição de óleo combustível)	32
	6	BIOMASSA: Carvão Vegetal: tecnologias avançadas de carvoejamento (eficiência, uso dos subprodutos); carvão vegetal e pirólise	32
	7	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de controle da poluição e de segurança na indústria de petróleo (produção, refino, distribuição, uso)	30
	8	BIOMASSA: Etanol de hidrólise de ligno-celulósicos: tecnologias para hidrólise / fermentação via enzimática, ácida ou com solvente orgânico	29
	9	BIOMASSA: Metanol de biomassa: tecnologias de gasificação da biomassa; investigação de rotas alternativas (DME, Hidrogênio)	28
	10	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Melhoria da qualidade dos derivados de petróleo (limites de S na gasolina e diesel)	27
	11	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Carvão: tecnologias de gasificação	17
	12	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de refino de óleos pesados	14
	13	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de suporte à produção de gás na Amazônia	13
	14	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de recuperação avançada de petróleo	10
	15	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de exploração (petróleo): sismologia e geofísica de poços, uso de imagens de satélites)	6
	16	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologia para produção de óleo em águas profundas (Árvore de Natal molhada, sistemas de produção flutuante, Árvore de Natal na superfície)	3

Tabela 40: Ranking das questões ambientais do G2

No G2, como pode ser visto na tabela 40, as tecnologias de incineração de lixo urbano ficaram em primeiro lugar, já que de acordo com (IPCC, 2001), o lixo urbano é uma das principais causas de emissões de gás metano na atmosfera e que poderia ser aproveitado na geração de energia. Em seguida estão os coletores solares, que possibilitam o aproveitamento da energia solar para o aquecimento de água, esta é uma opção que causa praticamente nenhum impacto ambiental (excluindo-se é claro a construção dos equipamentos). Em 3º e 4º lugares estão o bio-diesel e o álcool, que são duas opções menos poluentes e renováveis quando comparados aos seus substitutos fósseis (diesel e gasolina). O quinto lugar ficou com a tecnologia de uso do gás natural (substituição de óleo combustível), já que esta tecnologia permite a troca de óleo combustível por gás, que é uma opção menos poluente (IPCC, 2001). Nas últimas duas posições estão as tecnologias para produção de óleo em águas profundas e as tecnologias de exploração de petróleo. Estes avanços causariam grandes impactos ambientais, já que mais petróleo seria extraído e utilizado.

	Ranking	Tecnologia	Pontuação
Grupo 3	1	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos: uso industrial (inclusive co-geração e geração distribuída)	51
	2	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas: setor de comércio e serviços	48
	3	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias para redução de consumo energético com projetos adequados de construção civil	42
	4	PLANEJAMENTO: Desenvolvimento de modelos de planejamento integrado, incluindo diversas fontes de energia, tecnologias para uso eficiente, meio ambiente, etc	39
	5	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologias de células a combustível (PEM, óxido sólido, PEM-etanol), e dos sistemas auxiliares (reformadores, controles);	36
	6	HIDROGÊNIO: Tecnologias de armazenamento de energia (hidretos metálicos, tanques) e distribuição; eficiência e segurança	36
	7	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas: uso doméstico	36
	8	HIDROGÊNIO: Melhorias nas tecnologias de produção (eletrolise; gasificação; reforma; fotoquímica; outras)	34
	9	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologia para armazenamento em ar comprimido (CAES)	27
	10	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologia de sistemas híbridos: PV ou turbinas a gás mais células a combustível	24
	11	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Desenvolvimento dos sistemas isolados	22
	12	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologia de motores estacionários	18
	13	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologia para pequenas turbinas a gás (1-25 kW): obtenção de maior eficiência	16
	14	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Tecnologias de redes (estrutura, materiais, equipamentos); HTS (supercondutores a alta temperatura), cabos poliméricos com maior resistência	12
	15	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Automação, supervisão, controle: FACTS, automação na distribuição, controles eletrônicos de potencia específicos (proteção)	7
	16	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Tecnologias para garantia da qualidade da energia	7
	17	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Tecnologias para medição e tarifação	4

Tabela 41: Ranking das questões ambientais do G3

De acordo com a tabela 41 do G3, as tecnologias que proporcionam menores impactos ambientais de acordo com os especialistas são as ligadas à eficiência energética industrial, comercial e na construção civil. Isto se explica porque uma melhor eficiência implicaria numa diminuição do uso de energia, e conseqüentemente uma queda na sua produção minimizando os impactos ambientais. O planejamento integrado de recursos inclui em uma de suas variáveis os impactos ambientais na viabilização de projetos de geração de energia, por isso este tópico tem uma posição de destaque (4º lugar). Empatados em 5º, 6º e 7º lugares estão as tecnologias de células a combustível, armazenamento de hidrogênio e na melhoria da eficiência energética no uso doméstico, que são tecnologias que minimizam impactos ambientais. Nas últimas posições estão as tecnologias de transmissão e distribuição de energia, como as tecnologias para a medição e tarifação, garantia de qualidade e automação, supervisão e controle. Estas tecnologias têm

pouca relevância nos impactos ambientais se comparadas com os outros tópicos tecnológicos abordados na pesquisa.

RANKING SOCIAL

Na abordagem das questões sociais com relação ao impacto sobre o emprego, no desenvolvimento econômico regional e universalização do uso da energia, é possível notar que na tabela 42, os tópicos tecnológicos que mais se destacaram no G1 foram novamente os relacionados à biomassa, como o desenvolvimento de tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos agrícolas, a produção, a gasificação de pequeno porte e a combustão avançada de biomassa. Estes tópicos ficaram com as quatro primeiras posições. A tecnologia para componentes solar fotovoltaico ficou em 5º lugar, sendo coerente com os programas PRODEEM³² e a universalização de energia. Estas tecnologias têm impactos sociais positivos na medida em que atualmente elas são tecnologias de nichos de mercado regionais, de pequeno e médio porte e que atendem o objetivo da universalização da energia elétrica, já que estas tecnologias não necessitam estar conectadas à rede básica de energia, permitindo o acesso em áreas rurais e isoladas do país (Tolmasquim, 2004). Os tópicos que ficaram nos últimos lugares foram as energias geotérmica e nuclear, que podem ser compreendidas por se tratarem de tecnologias que o Brasil não possui potencial de aproveitamento (geotérmica) ou que não existam perspectivas futuras por serem tecnologias caras e não renováveis (nuclear).

³² PRODEEM (Programa de Desenvolvimento Energéticos de Estados e Municípios) tem como objetivo viabilizar o suprimento de energia às populações que habitam o meio rural (principalmente os municípios com baixo IDH – Índice de Desenvolvimento Humano)

	Ranking	Tecnologia	Pontuação
Grupo 1	1	BIOMASSA: Tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos para culturas de grandes volumes: cana, madeira, arroz, milho, soja, etc	83
	2	BIOMASSA: Tecnologia de produção agrícola de "biomassa energética": cana de açúcar, madeira, dendê, outras; melhoramento genético e produção	77
	3	BIOMASSA: Gasificação em pequeno porte (< 100 kW)	76
	4	BIOMASSA: Tecnologias de combustão avançadas (biomassa, incluindo resíduos)	73
	5	SOLAR FOTOVOLTAICA: Tecnologias para componentes (sistemas eletrônicos, conversores, conexão, armazenamento de energia, medidores)	71
	6	EÓLICA: Tecnologia de máquinas para situações específicas no Brasil (regimes de vento, sistemas "pequenos" eficientes)	70
	7	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de micro-turbinas a gás (< 5kW)	69
	8	EÓLICA: Tecnologias de integração de parques ao sistema interligado (incluindo armazenamento, sistemas híbridos)	63
	9	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias para turbinas a gás de média potência (até 30 MW)	62
	10	HIDRÁULICA: PCH: tecnologia de turbinas para baixas quedas e hidrocínéticas; periféricos: geradores com rotação variável, controles de carga/ frequência	62
	11	BIOMASSA: Gasificação em grande porte (10 - 100 MW) com ciclo combinado; diversos conceitos	62
	12	BIOMASSA: Tecnologias de combustão mista (biomassa com carvão e gás natural)	60
	13	SOLAR FOTOVOLTAICA: Tecnologias para produção de células fotovoltaicas (diversos conceitos)	59
	14	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Ciclos híbridos (Turbinas a Gás e solar; T. G. e células a combustível) incluindo sistemas de armazenamento (CAES)	57
	15	HIDRÁULICA: Modelos de gestão de reservatórios das hidrelétricas, com uso múltiplo da água	55
	16	HIDRÁULICA: Metodologias e instrumentação para previsão e prognóstico de aflúências	46
	17	HIDRÁULICA: Ferramentas (softwares, instrumentação): inventário e monitoramento de bacias hidrográficas	45
	18	HIDRÁULICA: Tecnologias para aumento de competitividade de centrais hidrelétricas pequenas e médias; re-potenciação de hidrelétricas	44
	19	HIDRÁULICA: Hidrogeradores: modelagem, monitoração e diagnóstico	38
	20	SOLAR TERMELÉTRICA: Tecnologia dos sistemas e componentes: materiais, rastreamento, armazenagem térmica (concentradores parabólicos, cilindro-parabólicos e torre central)	37
	21	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Combustão avançada de carvão (CAFBC supercrítico; PFBC)	36
	22	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Gasificação de carvão e ciclo combinado (IGCC)	35
	23	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias para de-sulfurização de carvão; limpeza de gases, uso e disposição de resíduos	28
	24	NUCLEAR: Tecnologia do ciclo do combustível nuclear (continuidade do desenvolvimento nacional)	24
	25	ONDAS/MARÉS: Tecnologia: avaliação de (modelos) sistemas alternativos, conversores e custos de produção no Brasil	17
	26	NUCLEAR: Tecnologias de reatores avançados (acompanhamento, participação; tipo PWR, IRIS)	15
	27	NUCLEAR: Tecnologia mais adequada para implementação até 2040 (acompanhamento e participação em projetos de P&D no exterior)	11
	28	GEOTÉRMICA: Acompanhamento dos desenvolvimentos para sistemas hidrotérmicos no exterior	8
	29	NUCLEAR: Ciclos avançados de combustível nuclear (alta queima e conversão)	7
	30	GEOTÉRMICA: Investigação de potenciais no Brasil	5

Tabela 42: Ranking das questões sociais do G1

	Ranking	Tecnologia	Pontuação
Grupo 2	1	BIOMASSA: Bio-diesel: desenvolvimento e implementação de tecnologias de transesterificação com etanol e metanol de óleos vegetais; utilização do bio-diesel	48
	2	BIOMASSA: Etanol da cana de açúcar: melhoramento genético, inclusive transgênicos; produção da cana; e tecnologias no processamento industrial	43
	3	BIOMASSA: Etanol de hidrólise de ligno-celulósicos: tecnologias para hidrólise / fermentação via enzimática, ácida ou com solvente orgânico	38
	4	SOLAR: Desenvolvimento de coletores solares: materiais, manufatura, automação	37
	5	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de uso do gás natural (substituição de óleo combustível)	35
	6	BIOMASSA: Carvão Vegetal: tecnologias avançadas de carvoejamento (eficiência, uso dos subprodutos); carvão vegetal e pirólise	30
	7	BIOMASSA: Lixo Urbano: domínio no país das tecnologias de incineração, bio-gás de aterros e compostagem sólida	30
	8	BIOMASSA: Metanol de biomassa: tecnologias de gasificação da biomassa; investigação de rotas alternativas (DME, Hidrogênio)	25
	9	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de suporte à produção de gás na Amazônia	22
	10	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de controle da poluição e de segurança na indústria de petróleo (produção, refino, distribuição, uso)	19
	11	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de exploração (petróleo): sismologia e geofísica de poços, uso de imagens de satélites)	18
	12	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de recuperação avançada de petróleo	18
	13	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologia para produção de óleo em águas profundas (Árvore de Natal molhada, sistemas de produção flutuante, Árvore de Natal na superfície)	13
	14	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de refino de óleos pesados	12
	15	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Melhoria da qualidade dos derivados de petróleo (limites de S na gasolina e diesel)	12
	16	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Carvão: tecnologias de gasificação	8

Tabela 43: Ranking das questões sociais do G2

A tabela 43 mostra que no G2 a tecnologia mais promissora em questões sociais é a do desenvolvimento e implementação do bio-diesel, que é coerente com o programa social do governo federal que incentiva a produção de bio-diesel através da mamona em regiões menos favorecidas do Brasil (Norte e Nordeste), indicando que o bio-diesel pode gerar impactos positivos na criação de empregos e no desenvolvimento regional do país³³. As tecnologias de etanol ficaram com o segundo e terceiro lugares, já que o álcool se mostrou um grande gerador de empregos (ainda que no início nem sempre bem regulados, como o caso dos cortadores de cana, por exemplo) e possui um enorme potencial para os próximos 20 anos no Brasil. As últimas posições estão com os combustíveis fósseis, como o carvão mineral, melhoria da qualidade dos derivados de petróleo e refino de óleos pesados. Estas tecnologias podem até ter um rebatimento positivo com relação a algumas questões sociais, mas elas foram consideradas menos relevantes

³³ <http://www.energiabrasil.gov.br/noticias.asp?url=Noticias/2004/dezembro/05.12.2004.htm>. Acesso em 23/02/2005.

pelos participantes da pesquisa, talvez por não serem tecnologias que tenham impactos sustentáveis em questões sociais.

	Ranking	Tecnologia	Pontuação
Grupo 3	1	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologia de sistemas híbridos: PV ou turbinas a gás mais células a combustível	42
	2	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos: uso industrial (inclusive co-geração e geração distribuída)	39
	3	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Desenvolvimento dos sistemas isolados	38
	4	HIDROGÊNIO: Tecnologias de armazenamento de energia (hidretos metálicos, tanques) e distribuição; eficiência e segurança	38
	5	PLANEJAMENTO: Desenvolvimento de modelos de planejamento integrado, incluindo diversas fontes de energia, tecnologias para uso eficiente, meio ambiente, etc	35
	6	HIDROGÊNIO: Melhorias nas tecnologias de produção (eletrolise; gasificação; reforma; fotoquímica; outras)	33
	7	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologias de células a combustível (PEM, óxido sólido, PEM-etanol), e dos sistemas auxiliares (reformadores, controles);	32
	8	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas: setor de comércio e serviços	31
	9	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas: uso doméstico	29
	10	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Tecnologias de redes (estrutura, materiais, equipamentos); HTS (supercondutores a alta temperatura), cabos poliméricos com maior resistência;	24
	11	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologia para pequenas turbinas a gás (1-25 kW): obtenção de maior eficiência	24
	12	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias para redução de consumo energético com projetos adequados de construção civil	24
	13	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologia de motores estacionários	20
	14	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Automação, supervisão, controle: FACTS, automação na distribuição, controles eletrônicos de potencia específicos (proteção)	14
	15	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Tecnologias para garantia da qualidade da energia	14
	16	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologia para armazenamento em ar comprimido (CAES)	14
	17	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Tecnologias para medição e tarifação	8

Tabela 44: Ranking das questões sociais do G3

Na tabela 44 do G3, os tópicos mais promissores foram bastante heterogêneos, com a tecnologia de sistemas híbridos fotovoltaicos ou turbinas a gás mais células a combustível em primeiro (possivelmente por sua importância na universalização). Com a eficiência energética na indústria em segundo, já que a competitividade industrial poderia gerar novos postos de trabalho. Com o desenvolvimento de sistemas isolados em terceiro, sendo coerente também com a universalização da energia e desenvolvimento regional. Com as tecnologias de armazenamento de energia (através do hidrogênio) em quarto, possivelmente para viabilizar a tecnologia de sistemas híbridos que está na primeira posição. E com o planejamento integrado de recursos em quinto, provavelmente porque esta ferramenta inclui a variável social na sua formulação. As

últimas posições ficaram com tecnologias que não têm grandes impactos sociais quando comparadas aos outros tópicos, como as tecnologias de medição, tarifação e garantia da qualidade de energia.

6.2 Comparação do ranqueamento desta dissertação com o ranqueamento do CGEE

Esta seção compara os ranking realizados por esta dissertação com os resultados do CGEE³⁴. Antes de mostrar as comparações, é interessante descrever rapidamente como foi o ranqueamento “base” do projeto de CGEE.

Após a consulta Delphi, que foi extensamente explicada durante esta dissertação, a opção escolhida pelo CGEE 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 (detalhes no anexo 5).

Para os ranqueamentos foram também utilizadas diferentes visões futuras. O procedimento que foi adotado 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. Maiores detalhes no anexo 6 ou no relatório final do projeto “prospecção em energia” do CGEE.

As tabelas 45, 46 e 47 ilustram as semelhanças e diferenças entre o ranqueamento do CGEE e o ranqueamento efetuado nesta dissertação. As cores iguais significam que os tópicos

³⁴ Os rankings do CGEE podem ser vistos em http://www.cgge.org.br/arquivos/rel_final_energia.pdf, acesso em 15/01/2005. Para comparação foram utilizados os rankings do caso base do relatório

são os mesmos, a cor branca que não existe equivalência nas dez primeiras posições que são comparadas.

Grupo 1	CGEE	EXERCÍCIO
	BIOMASSA: Tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos para culturas de grandes volumes: cana, madeira, arroz, milho, soja, etc.	BIOMASSA: Tecnologias de recuperação e pré-processamento de resíduos para culturas de grandes volumes: cana, madeira, arroz, milho, soja, etc.
	HIDRÁULICA: Modelos de gestão de reservatórios das hidrelétricas, com uso múltiplo da água	BIOMASSA: Tecnologia de produção agrícola de "biomassa energética": cana de açúcar, madeira, dendê, outras; melhoramento genético e produção
	HIDRÁULICA: Metodologias e instrumentação para previsão e prognóstico de afluências	BIOMASSA: Tecnologias de combustão avançadas (biomassa, incluindo resíduos)
	BIOMASSA: Tecnologias de produção agrícola e melhoramento genético de biomassa energética: cana de açúcar, madeira, dendê etc.	HIDRÁULICA: PCH: tecnologia de turbinas para baixas quedas e hidrocínéticas; periféricos: geradores com rotação variável, controles de carga/ frequência
	BIOMASSA: Tecnologias de micro-turbinas a gás (< 10kW)	HIDRÁULICA: Tecnologias para re-potenciação de centrais hidrelétricas pequenas e médias
	HIDRÁULICA: Ferramentas (instrumentação e softwares) para inventário e monitoramento de bacias hidrográficas	SOLAR FOTOVOLTAICA: Tecnologias para componentes (sistemas eletrônicos, conversores, conexão, armazenamento de energia, medidores)
	HIDRÁULICA: Tecnologias para repotenciação de centrais hidrelétricas pequenas e médias	HIDRÁULICA: Modelos de gestão de reservatórios das hidrelétricas, com uso múltiplo da água
	BIOMASSA: Tecnologias de combustão avançadas de biomassa e resíduos	EÓLICA: Tecnologias de integração de parques ao sistema interligado (incluindo armazenamento, sistemas híbridos)
	BIOMASSA: Tecnologias para turbinas a gás de média potência (até 100 MW)	EÓLICA: Tecnologia de máquinas para situações específicas no Brasil (regimes de vento, sistemas "pequenos" eficientes)
	HIDRÁULICA: PCH: tecnologia de turbinas para baixas quedas e hidrocínéticas, geradores com rotação variável, controles de carga/frequência	BIOMASSA: Gasificação em pequeno porte (< 100 kW)

Tabela 45: Comparação do ranqueamento do G1 desta dissertação com os resultados do CGEE

Grupo 2	CGEE	EXERCÍCIO
	BIOMASSA: Desenvolvimento e implementação de tecnologias de transesterificação com etanol e metanol de óleos vegetais para utilização como biodiesel	BIOMASSA: Etanol da cana de açúcar: melhoramento genético, inclusive transgênicos; produção da cana; e tecnologias no processamento industrial
	BIOMASSA: Etanol da cana de açúcar: melhoramento genético (inclusive transgênicos), novas tecnologias para a produção da cana e no processamento industrial	BIOMASSA: Desenvolvimento e implementação de tecnologias de transesterificação com etanol e metanol de óleos vegetais; utilização do bio-diesel
	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de uso do gás natural para substituição de óleo combustível	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de uso do gás natural (substituição de óleo combustível)
	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologia para produção de óleo em águas profundas: Árvore de Natal molhada, sistemas de produção flutuante, Árvore de Natal na superfície	BIOMASSA: Etanol de hidrólise de ligno-celulósicos: tecnologias para hidrólise / fermentação via enzimática, ácida ou com solvente orgânico
	BIOMASSA: Etanol de hidrólise de ligno-celulósicos: tecnologias para hidrólise/fermentação via enzimática, ácida ou com solvente orgânico	SOLAR: Desenvolvimento de coletores solares: materiais, manufatura, automação
	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de refino de óleos pesados	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologia para produção de óleo em águas profundas (Árvore de Natal molhada, sistemas de produção flutuante, Árvore de Natal na superfície)
	SOLAR: Desenvolvimento de coletores solares: materiais, manufatura e automação	BIOMASSA: Lixo Urbano: domínio no país das tecnologias de incineração, bio-gás de aterros e compostagem sólida
	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de recuperação avançada de petróleo	BIOMASSA: Carvão Vegetal: tecnologias avançadas de carvoejamento (eficiência, uso dos sub-produtos); carvão vegetal e pirólise
	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de controle da poluição e de segurança na indústria de petróleo (produção, refino, distribuição, uso)	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de refino de óleos pesados
	BIOMASSA: Lixo Urbano: domínio no país das tecnologias de incineração, biogás de aterros e compostagem sólida	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: Tecnologias de exploração (petróleo): sismologia e geofísica de poços, uso de imagens de satélites

Tabela 46: Comparação do ranqueamento do G2 desta dissertação com os resultados do CGEE

Grupo 3	CGEE	EXERCÍCIO
	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos de uso industrial	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos: uso industrial (inclusive co-geração e geração distribuída)
	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas utilizados nos setores de comércio e de serviços	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas: setor de comércio e serviços
	PLANEJAMENTO: Desenvolvimento de modelos de planejamento integrado	PLANEJAMENTO: Desenvolvimento de modelos de planejamento integrado,
	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologias de células a combustível (PEM, óxido sólido, PEM-etanol), e dos sistemas auxiliares (reformadores, controles); integração à rede	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas: uso doméstico
	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Desenvolvimento de sistemas isolados	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Desenvolvimento dos sistemas isolados
	HIDROGÊNIO: Melhorias nas tecnologias de produção de hidrogênio	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Automação, supervisão e controle de transmissão e distribuição
	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias e materiais para aumento da eficiência energética em equipamentos e sistemas de uso doméstico	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias para redução de consumo energético a partir da melhor adequação de projetos de construção civil
	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Automação, supervisão e controle de transmissão e distribuição	HIDROGÊNIO: Melhorias nas tecnologias de produção (eletrolise; gasificação; reforma; fotoquímica; outras)
	CONSERVAÇÃO E USO FINAL: Tecnologias para redução de consumo energético a partir da melhor adequação de projetos de construção civil	HIDROGÊNIO: Tecnologias de armazenamento de energia (hidretos metálicos, tanques) e distribuição; eficiência e segurança
	TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO: Tecnologias de armazenamento de energia e distribuição, melhoria da eficiência e segurança	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA/ ARMAZENAMENTO DE EE: Tecnologias de células a combustível (PEM, óxido sólido, PEM-etanol), e dos sistemas auxiliares (reformadores, controles)

Tabela 47: Comparação do ranqueamento do G3 desta dissertação com os resultados do CGEE

Como é possível visualizar, os rankings do G1 apresentam as menores semelhanças, auxiliados pelo fato deste grupo possuir o maior número de tópicos tecnológicos (30 tópicos). No geral, os resultados não divergem muito, e o G3 apresenta uma grande semelhança com o ranking do CGEE. Esta comparação não tem grandes aspirações, já que esta seção é meramente um exercício ilustrativo e que procurou apenas identificar algumas tecnologias que aparecerem melhores ou piores ranqueadas nos dois ranqueamentos. Mas é interessante notar as semelhanças existentes, que permite dizer que o exercício de ranqueamento efetuado neste capítulo tem uma certa credibilidade, já que os resultados não divergem muito com os resultados do CGEE.

6.3 Considerações finais

As tecnologias melhores ranqueadas dos grupos G1, G2 e G3 para investimentos em P&D nos próximos 20 anos, de acordo com o exercício realizado neste capítulo, e o ranqueamento efetuado pelo CGEE, mostraram uma preocupação com tecnologias renováveis e/ou que proporcionem uma economia de energia para o país, e isto reflete uma tendência mundial na busca de fontes alternativas aos combustíveis fósseis (ver EurRenDel 2004).

Os respondentes do G1 provavelmente foram também influenciados pela lei 9074/95 e o Decreto 2003/96, que configurou dois novos agentes no setor energético, que são os auto-produtores e os produtores independentes de energia. A lei 10.438/2002, que instituiu o PROINFA (incentivo as fontes eólica, biomassa e as PCH's na geração de energia elétrica), pode também ter influenciado no ranking, como pode ser notado nas tecnologias de biomassa, PCH's e até mesmo a eólica, que tiveram posições de destaque em praticamente todos os rankings da pesquisa. Outro fator é a universalização de energia elétrica, que também auxiliou no melhor ranqueamento destas fontes, incluindo também a tecnologia solar fotovoltaica neste cenário.

Os resultados do G2 refletem ainda a tradição do Brasil com relação a algumas fontes, como o álcool, por exemplo, e com questões atuais do governo federal, como o programa de desenvolvimento do bio-diesel, que visa melhorar as condições sociais das regiões menos favorecidas do Brasil (Norte e Nordeste) e iniciar a inserção deste combustível renovável na

matriz energética nacional³⁵. A única fonte de combustível fóssil melhor ranqueada foi a substituição do óleo combustível pelo gás natural, já que o gás apresenta uma vantagem econômica e ambiental na substituição do óleo combustível.

Questões como o racionamento de energia em 2001 podem também ter influenciado os tópicos que lidam com eficiência energética e planejamento integrado no G3, já que estes itens combatem diretamente este tipo de problema. Além disso, problemas ambientais, estratégicos e sócio-econômicos que podem ser minimizados com a adoção destas políticas.

No geral, quando o ranqueamento deste exercício é comparado com o ranqueamento efetuado pelo CGEE, os resultados não divergem significativamente, com o G3 apresentando uma maior semelhança do que os grupos G1 e G2.

Esses resultados, que são visões dos especialistas participantes, não visam categorizar quais os tópicos devam receber maiores investimentos. As opiniões ou ranqueamentos não podem ser consideradas verdades absolutas, mas representam visões importantes de especialistas que vivem no contexto energético nacional e que podem contribuir com suas opiniões. Além disso, o trabalho é sustentado por uma metodologia de pesquisa que dá credibilidade aos resultados (questionário Delphi e análises estatísticas), permitindo com que os respondentes possam realizar uma releitura dos tópicos e avaliar como a distribuição das respostas dos outros participantes da pesquisa. A mensagem principal deste exercício de ranqueamento foi mostrar que não existem grandes diferenças entre este ranqueamento, o ranqueamento efetuado pelo CGEE e os resultados de EurRenDel (2004), mostrando que os tópicos mais bem ranqueados são robustos, merecendo uma atenção especial e um estudo mais detalhado de seus potenciais e desdobramentos futuros, para que decisões de investimento em P&D possam ser realizadas com um maior critério científico.

³⁵ <http://www.energiabrasil.gov.br/noticias.asp?url=Noticias/2004/dezembro/05.12.2004.htm> acesso em 23/02/2005

Capítulo 7

Conclusões

Conforme descrito na introdução, a tradição de financiamento de atividades de P&D no país é muito centrada no fomento a projetos individuais ou grupos de pesquisadores, e mesmo quando existe um direcionamento temático isso é freqüentemente descontinuado após alguns anos, sem que se estabeleçam resultados e experiências consolidadas.

Esta dissertação analisou os resultados da técnica Delphi aplicada na segunda etapa do projeto “Prospecção Tecnológica em Energia” realizado pelo CGEE, visando validar esta técnica que foi utilizada para ranquear os tópicos tecnológicos mais promissores para investimentos em P&D para os próximos 20 anos no Brasil.

A partir das análises do capítulo 4, foi possível mostrar que na maioria dos casos existiu um aumento do consenso e uma convergência das respostas da primeira para a segunda rodada da pesquisa, e também que os grupos G2 e G3 apresentaram mudanças de opiniões em alguns tópicos de acordo com o critério adotado para as análises.

O capítulo 5, através da análise de variância, mostrou que não se faz necessário a pesagem das respostas de acordo com grau de especialidade ou com o setor de atuação do respondente, indicando que as opiniões em sua maioria foram homogêneas no decorrer da consulta Delphi.

O capítulo 6 realizou um exercício de ranqueamento dos tópicos tecnológicos dos grupos G1, G2 e G3, e comparou os resultados com o ranqueamento efetuado pelo CGEE. Ambos os rankings não mostraram diferenças significativas, evidenciando uma preocupação com tecnologias renováveis e/ou que proporcionem uma economia de energia para o país. Estes resultados refletem uma tendência mundial, conforme evidenciado em EurRenDel, 2004.

Depois de todas as análises e validações já comentadas, é possível sugerir algumas melhorias em futuras consultas Delphi que venham a ser elaboradas. A primeira sugestão é dobrar a atenção na confecção dos tópicos e do questionário a serem respondidos, tópicos ou questões muito amplas e dúbias podem permitir interpretações diferentes, conforme foi evidenciado na seção 4.2 do capítulo 4. Respondentes com diferentes formações acadêmicas ou oriundos de diferentes regiões do país podem ter também diferentes interpretações, fato que foi notado no decorrer da pesquisa pelo grupo executivo do projeto, em que alguns conceitos foram diferentemente entendidos pelos especialistas (como o de cogeração, por exemplo). Ainda que no questionário Delphi em energia tenha sido montado um campo específico para explicar e detalhar os tópicos tecnológicos, alguns deles foram muito amplos ou não ficaram tão claros. O questionário poderia também ter sido formulado de uma forma a se padronizar todas as respostas (deixa-las iguais, facilitando o trabalho dos respondentes).

Outra sugestão, que converge com a opinião de Martino (1983), é de que a técnica Delphi deve ser realizada com um número reduzido de especialistas (entre 5 e 20, de acordo com Martino). A análise de variância realizada no capítulo 5 mostrou que os respondentes tiveram visões bem homogêneas, indicando que um número menor de especialistas poderia ter sido convidado, permitindo um maior controle da consulta e com menores custos. Uma comunicação prévia perguntando sobre o interesse do especialista convidado também pode melhorar a relação convidados/respondentes, que no final ficou em 25% nas duas rodadas da consulta. Ainda que este número esteja dentro da normalidade, conforme descrito em alguns estudos de caso do capítulo 2, ele pode ser melhorado.

A comparação do exercício de ranqueamento do capítulo 6 com o ranking efetuado pelo CGEE e com os resultados do estudo EurRenDel (2004) não mostrou diferenças significativas.

Pode-se dizer então com certa confiabilidade que os tópicos mais bem ranqueados merecem uma atenção especial e um estudo mais detalhado de seus potenciais e desdobramentos futuros, para que decisões de investimento em P&D possam ser realizadas com um maior critério científico. Isto pode auxiliar o agente público a formular políticas de P&D baseadas em análises científicas, focando em tecnologias que tenham um potencial de crescimento futuro, considerando sempre as variáveis técnico-econômicas, estratégicas, ambientais e sociais em suas análises.

Referências Bibliográficas

ADISSON, T. **E-commerce project development risks: evidence from a Delphi survey**. International Journal of Information Management, v.23, pp25-40, 2003

ANDERSON, T.; FINN, J. **The new statistical analysis of data**. 1. ed. New York: Spring-Verlag, 1996.

Expert opinions in forecasting. In: ARMSTRONG, J (Ed). **Principles of forecasting: a handbook for researchers and practitioners**. 1. ed. Boston: MA Kluwer Academic Publishers, 2001. Chapter 4, p. 15-30.

AYTON , P & FERRELL, W ; STEWART **Commentaries on: The Delphi technique as a forecasting tool: issues and analysis**. International Journal of Forecasting, v.15, pp.377–381, 1999.

BAKER, C. **Tidal power**. Energy Policy, v. 19 (8), pp. 792-797, 1991.

BURR, G. **Using the Delphi technique to design a self-reporting triage survey tool**. Accident and Emergency Nursing, v. 9, pp. 235-241, 2001.

COELHO, G. M., **Prospecção Tecnológica: Metodologias e Experiência Nacionais e Internacionais**. Nota Técnica 14, Projeto CTPETRO: Tendências Tecnológicas, 2003.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). **Prospecção tecnológica em energia.** Relatório Final. Brasília, 2003. http://www.cgee.org.br/prospeccao/index.php?operacao=Exibir&serv=pro_energia .Acesso em 15/01/2005.

EURENDEL, FINAL REPORT. **Technology and Social Visions for Europe's Energy Future, a Europe-Wide Delphi Study.** 2004 http://www.izt.de/pdfs/EurRenDel/results/EurRenDel_final.pdf . Acesso em 18/01/2005.

GRAHAM, B. ; REGEHR, G. ; WRIGHT, J. G. **Delphi as a method to establish consensus for diagnostic criteria.** Journal of Clinical Epidemiology, v. 56, 1150-1156, 2003.

GRAHAM, M. **The development of indicators for sustainable tourism: results of a Delphi survey of tourism researchers.** Tourism Management, v.22, pp.351-362, 2001.

GUPTA, U. G. ; CLARKE, R. E. **Theory and Applications of the Delphi Technique: A Bibliography (1975-1994).** Technological Forecasting and Social Change, v.53, pp.185-211. 1996.

HALPERN, R. **Indicators of organizational readiness for clinical information technology/systems innovation: a Delphi study.** International Journal of Medical Informatics, v. 63, pp. 179-204, 2001.

HENNING DRANSFELD, H ; PEMBERTON, J ; JACOBS, G **Quantifying Weighted Expert Opinion: The Future of Interactive Television and Retailing.** Technological Forecasting and Social Change, v. 63, pp.81–90, 2000.

HEIDJEN, V. D. **Policy aspects of driver support system implementation: results of an international Delphi study.** Transport Policy, v. 5, pp.249-258, 1998.

HOLZMÜLLER, H. H. ; SCHLÜCHTER, J. **Delphi study about the future of B2B marketplaces in Germany.** Electronic Commerce Research and Applications, v. 1, pp. 2-19, 2002.

IIBERY, B.; MAYE, D ; KNEAFSEY, M ; JENKINS, T ; WALKLEY, C. **Forecasting food supply chain developments in lagging rural regions: evidence from the UK.** Journal of Rural Studies, *In press*, 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA, Nota Técnica 14. **Prospecção Tecnológica: Metodologias e Experiências Internacionais.** 2003
<http://www.tendencias.int.gov.br/arquivos/textos/NT14.pdf> Acesso em 15/03/2004.

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. ; MACEDO, I. C. ; ZACKIEWICZ, M. ; SANT'ANA, P. H. M. **A Prospecção Tecnológica em Energia e a Pesquisa e Desenvolvimento no Brasil: Elementos para uma Estratégia.** X Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, 2004.

JANNUZZI, G. M. ; SANT'ANA, P. H. M. **Avaliação prospectiva de tecnologias de energia: Investigação da influência do grau de especialidade dos respondentes em uma consulta Delphi.** X Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, 2004.

IPCC. **Climate change 2001: mitigation. A report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Bonn: IPCC, 2001c.

LESSA, C. **O Brasil à luz do “apagão”.** Rio de Janeiro: Palavra e Imagem, 1ª edição, 2002, 282 p.

O' LOUGHLIN, R. ; KEELY, A. **Equity in resource allocation in the Irish health service: A policy Delphi study.** Health Policy, *In Press*, 2003.

LUDLOW, J **Delphi Inquiries and Knowledge Utilization** pp.97-118. Artigo do livro de LINSTONE, H TUROFF, M **The Delphi Method : techniques and application**, 2002 <http://www.is.njit.edu/pubs/delphibook/>.

MARTINO, J. **Technological Forecasting for Decision Making**. New York, American Elsevier, 2^a edição, 1983.

MARTINO, J. P. **A review of selected recent advances in technological forecasting**. Technological Forecasting and Social Change v.70, pp.719-733, 2003.

MOLDRUP, C ; MORGALL, J. M. **Risks of future Drugs: a Danish Expert Delphi**. Technological Forecasting and Social Change, v.67, pp.273-289, 2001.

PARAMESWARA SHARMA, D. ; P.S. CHANDRAMOHANAN NAIRB, P.S ; BALASUBRAMANIANC, R. **Analytical search of problems and prospects of power sector through Delphi study: case study of Kerala State, India**. Energy policy, v.31, pp.1245–1255, 2003.

RANDALL, R. C. ; VRIJHOEF, M. M. A. ; WILSON N. H. F. **Current trends in restorative dentistry in the UK: a Delphi approach**. Journal of Dentistry, v.30, pp.177-187, 2002.

ROWE,G ; WRIGHT,G **The Delphi technique as a forecasting tool: issues and analysis** .International Journal of Forecasting. v.15, pp.353–375. 1999.

ROWE, G. ; WRIGHT, G. **Expert opinion in forecasting: the role of the Delphi technique**. pp.25-144. Artigo do livro de ARMSTRONG, J.S. (2001) **Principles of forecasting: a handbook for researchers and practitioners**, 2001.

SHIN, T **Using Delphi for a Long-Range Technology Forecasting, and Assessing Directions of Future R&D Activities The Korean Exercise** Technological Forecasting and Social Change. v.58, pp.125-154, 1998.

SNYDER-HALPERN, R. **Indicators of organizational readiness for clinical information technology/systems innovation: a Delphi study.** International Journal of Medical Informatics, v.63, pp. 179-204, 2001

SWISHER, J.; JANNUZZI, G. M.; REDLINGER, R. **Tools and methods for integrated resource planning.** United Nations Environmental Programme. Denmark, Riso National Laboratory, 1997.

TOLLEY, R. ; LUMSDON, L. ; BICKERSTAFF, K. **The future of walking in Europe: a Delphi project to identify expert opinion on future walking scenarios.** Transport Policy, v. 8, pp. 307-315, 2001.

TOLMASQUIM, M. T. **Alternativas energéticas sustentáveis no Brasil,** Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1ª edição, 2004.

ZACKIEWICZ, M. ; SALLES-FILHO, S. **Technological Foresight: um instrumento para política científica e tecnológica.** Parcerias estratégicas, v. 10, pp. 144-161, 2001.

ZOLINGEN, S. J. ; KLAASSEN, C. A. **Selection processes in a Delphi study about key qualification in Senior Secondary Vocational Education.** Technological Forecasting and Social Change. v.70, pp. 317-340, 2003.

Anexos

Anexo 1: Lista dos tópicos tecnológicos

Grupo 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/ frequência.

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.

Grupo 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 biodiesel;
- 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, bio-gás de aterros e compostagem sólida;

Solar (baixa temperatura)

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

Grupo 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 potencia 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 (eletrolise; 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: 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
a) Risco Tecnológico						
b) 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	Muita Alta	Prefiro não responder
<i>Capacitação existente no Brasil</i>						
a) P&D						
b) Manufatura, comercialização, suporte, manutenção						
<i>Importância estratégica da capacitação nesta tecnologia para o desenvolvimento sócio-econômico brasileiro</i>						
c) P&D						
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?

a) QUALIDADE	
Grande Redução	
Redução Moderada	
Pequena Redução	
Nível equivalente ao atual	
Pequeno Aumento	
Aumento Moderado	
Grande Aumento	
Prefiro não responder	

b) 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 CO₂ 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 da pressão sobre recursos naturais (incluindo perda de biodiversidade e degradação ambiental, dentre outros efeitos)?

Grande Redução	
Redução Moderada	
Pequena Redução	
Manutenção dos padrões 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	
Manutenção dos padrões 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	
Manutenção dos padrões atuais	
Pequeno Aumento	
Aumento Moderado	
Grande Aumento	
Prefiro não responder	

14. Impacto sobre o desenvolvimento econômico regional

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

	a) Norte	b) Nordeste	c) Centro-Oeste	d) Sul e Sudeste
Nenhum				
Pequeno ganho				
Médio ganho				
Grande ganho				
Prefiro não responder				

15. Impacto 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 ou técnica)	
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 3 – Critérios e Métricas adotadas no questionário Delphi

CRITÉRIO	QUESTÕES							
	1-Especialidade							
		Perito	Conhecedor	Familiarizado	Não Familiarizado			
		3	2	1	0			
C1	2-Impactos na Balança Comercial							
		Grande perda no saldo	Média perda do saldo	Pequena perda do saldo	Sem alteração	Pequeno ganho no saldo	Médio ganho no saldo	Grande ganho no saldo
		-3	-2	-1	0	1	2	3
C2	3-Custos Finais							
		Redução Muito Alta	Redução Alta	Redução Média	Redução Baixa	Nenhuma Redução		
		4	3	2	1	0		
C3	4-Riscos							
	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		
C4	5-Prazo para implementação							
		Nenhum	Menos de 3 anos	Entre 3 e 10 anos	Entre 10 e 25 anos	Mais de 25 anos		
		4	3	2	1	0		
C5	6a-Capacitação existente							
	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		
C6	6b-Capacitação consequente							
	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		
C7	7-Transbordo							
		Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto		
		4	3	2	1	0		
C17	8-Impacto na geração e eficiência							
		Muito baixa ou nenhuma	Baixa	Média	Alta	Muito Alta		
		0	1	2	3	4		
C8	9a-Qualidade							
		Grande redução	Redução moderada	Pequena redução	Nível equivalente ao atual	Pequeno aumento	Aumento moderado	Grande aumento
		-3	-2	-1	0	1	2	3
C16	9b-Segurança							
		Grande redução	Redução moderada	Pequena redução	Nível equivalente ao atual	Pequeno aumento	Aumento moderado	Grande aumento
		-3	-2	-1	0	1	2	3

C9	10-Impactos no clima global							
		Grande redução	Redução moderada	Pequena redução	Nível equivalente ao atual	Pequeno aumento	Aumento moderado	Grande aumento
		-3	-2	-1	0	1	2	3
C10	11-Impactos nos recursos naturais							
		Grande redução	Redução moderada	Pequena redução	Nível equivalente ao atual	Pequeno aumento	Aumento moderado	Grande aumento
		-3	-2	-1	0	1	2	3
C11	12-Impactos no ambiente local							
		Grande redução	Redução moderada	Pequena redução	Nível equivalente ao atual	Pequeno aumento	Aumento moderado	Grande aumento
		-3	-2	-1	0	1	2	3
C12	13-Impactos no emprego							
		Grande redução	Redução moderada	Pequena redução	Nível equivalente ao atual	Pequeno aumento	Aumento moderado	Grande aumento
		-3	-2	-1	0	1	2	3
C13	14a- Impacto no desenvolvimento 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			
C15	15-Impacto na universalização							
		Muito baixa ou nenhuma	Baixa	Média	Alta	Muito Alta		
		0	1	2	3	4		
	16-Opinião síntese							
		Sem futuro	Pouco promissor	Promissor	Muito promissor	Revolução		
		0	1	2	3	4		

Anexo 4 - Grupo consultivo do projeto “Prospecção em energia” do CGEE

1ª ETAPA

Agostinho Pereira Ferreira - Consultor Independente
Dalci Maria dos Santos - CGEE
Gilberto De Martino Jannuzzi - Unicamp
Hélio Guedes de Campos Barros - Prospector/MCT
Isaías de Carvalho Macedo - Unicamp
Marcio de Miranda Santos - CGEE
Marcos José Marques - INEE
Maria Aparecida Stallivieri Neves - Projeto Tendências
Mauro Zackiewicz – CGEE/GEOPI/Unicamp
Wellington dos Santos Mota – UFPB

2ª ETAPA

Carlos Eduardo Morelli Tucci - UFRGS
Dalci Maria dos Santos - CGEE
Gilberto De Martino Jannuzzi - Unicamp
Isaías de Carvalho Macedo - Unicamp
Marcelo Khaled Poppe - MME
Marcio de Miranda Santos - CGEE
Marcos José Marques - INEE
Maria Aparecida Stallivieri Neves - Finep
Mauro Zackiewicz – CGEE/GEOPI/Unicamp
Nelson Fontes Siffert Filho - BNDES

Anexo 5: Método Multicritérios de Apoio à Decisão do Projeto “Prospecção em Energia do CGEE.

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 ELECTRE1 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.

		critérios				
		1	2			
		k_1	k_2	.	.	k_i
alternativas	a	$g_1(a)$	$g_2(a)$	.	.	$g_i(a)$
	b	$g_1(b)$	$g_2(b)$	.	.	$g_i(b)$
	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.
	n	$g_1(n)$	$g_2(n)$	.	.	$g_i(n)$

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 $[g_1(a), g_2(a), \dots, g_i(a)]$ tal que qualquer que seja $g_i(a) \geq g_i(b)$ 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 6: Visões de Futuro do Projeto “Prospecção em Energia do CGEE.

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.

Consequências 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 (frequentemente 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.

Consequências 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.

Consequências 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.

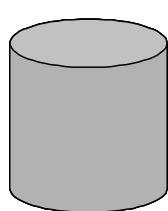
Anexo 7: Revisão de Estatística Básica e Análise de Variância

Este anexo tem como objetivo revisar os principais conceitos de estatística básica e descrever o método da análise de variância, que foi utilizado nesta dissertação para verificar se o nível de conhecimento (perito, conhecedor, familiarizado e não-familiarizado) e a categoria (academia, empresa ou governo) dos especialistas se comportaram de maneira diferenciada.

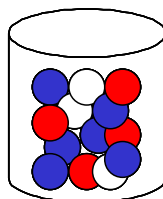
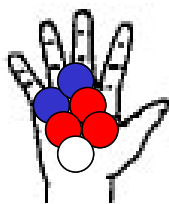
A revisão se inicia com conceitos básicos de estatística, abrangendo a definição de variáveis, medidas de localização, variabilidade e teste de hipóteses; posteriormente com a descrição da inferência estatística básica, é possível explicar a análise de variância e entender como ela pôde servir como ferramenta de auxílio nas análises dos dados da primeira rodada da pesquisa Delphi em energia. Esta revisão é baseada no livro de Finn et Anderson, 1996.

Conceitos básicos em estatística

Iniciando a revisão, é importante saber qual é a diferença entre probabilidade e estatística, que são conceitos intimamente ligados mas que possuem uma diferença fundamental. A estatística lida com amostras, onde o que se busca são informações sobre a população “pai” dos dados que a originou. A probabilidade, inversamente, busca inferir informações de amostras sabendo todas as informações de sua população ou gama de dados possíveis. A figura 1 ilustra este conceito.



Estatística: dada a informação na sua mão, o que está no recipiente



Probabilidade: dada a informação do recipiente, o que está na sua mão



Figura 1 – Diferença conceitual entre estatística e probabilidade

Um dos primeiros conceitos importantes é o de variável. As variáveis podem ser classificadas como qualitativas ou numéricas.

Variáveis qualitativas são aquelas que não são diretamente quantificáveis. As pessoas podem ser descritas como brancas, negras ou pardas; ou ainda classificadas como pertencentes à classe baixa, média ou alta. A organização das variáveis qualitativas é feita na forma de frequência, conforme demonstra a tabela 1.

Categoria	Frequência	Frequência Relativa	Porcentagem
empresa	4	0,5	50%
academia	3	0,375	30%
governo	1	0,125	20%
Soma	8	1	100%

Tabela 1 – Organização dos dados qualitativos

Variáveis quantitativas são variáveis numéricas e que podem ser classificadas como discretas ou contínuas. As variáveis discretas são variáveis cujos valores possíveis são números contáveis: 1, 2, 3, 4...; ou números inteiros: 0, 1, 2, 3, 4... Variáveis como comprimento, peso, altura ou temperatura podem ser medidas, em princípio, com precisão arbitrária, por isso estas variáveis são chamadas de variáveis numéricas contínuas. A organização das variáveis discretas é de certa forma similar a das variáveis qualitativas, conforme ilustra a tabela 2 numa situação hipotética do número de vezes que um grupo de respondentes participou de uma consulta Delphi.

Nº de pesquisas Delphi respondidas	Frequência	Frequência Relativa	Frequência Cumulativa	Frequência Cumulativa Relativa
0	3	0,375	3	0,375
1	2	0,25	5	0,625
2	2	0,25	7	0,875
3	1	0,125	8	1
Soma	8	1		

Tabela 2 – Organização dos dados quantitativos

MEDIDAS DE LOCALIZAÇÃO

As três principais medidas de localização são a moda, mediana e a média. A moda de uma variável discreta ou categórica é o valor (ou categoria) que aparece com maior frequência.

A mediana é o valor que divide os valores na metade, isto é, 50% das variáveis estão acima da mediana e 50% estão abaixo. A primeira coisa que se deve fazer para achar a mediana de um conjunto de variáveis é ordenar os valores em ordem crescente. Se o número total for ímpar, a mediana é simplesmente o valor do meio; no caso hipotético dos valores 11, 12, 12,5, 14 e 15 anos da figura 2, a mediana vale 12,5. Se o total for par, a mediana é a soma dos dois valores centrais divididos por dois; no exemplo dos valores 11, 12, 12,5, 13,5, 14 e 15 da figura 3 a mediana vale $\frac{12,5+13,5}{2} = 13$.

Se uma amostra contém um mesmo valor várias vezes, é preciso ordenar os valores mesmo assim. Por exemplo, 7 crianças de uma escola têm as idades de 10, 10, 11, 11, 11, 12, 14 anos. A mediana destes valores vale 11, pois este é o valor do meio.

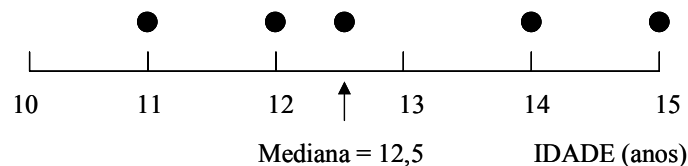


Figura 2 – Idades de um grupo de 5 crianças

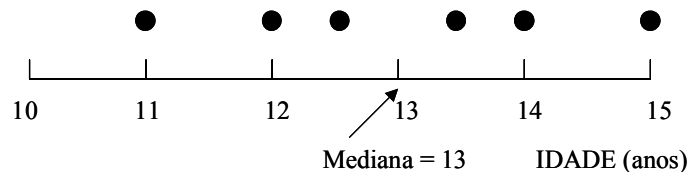


Figura 3 – Idades de um grupo de 6 crianças

A mediana divide os valores em *metades*, e os quartis dividem em *quartos*. Suponha que agora eu tenha um grupo de 8 crianças com as idades de 10, 10, 11, 11, 12, 12, 13, 15 anos. O

primeiro quartil vale $\frac{10+11}{2} = 10,5$, o segundo vale $\frac{11+12}{2} = 11,5$ (que é a mediana) e o terceiro $\frac{12+13}{2} = 12,5$. Conforme o exemplo da figura 4, 25% dos valores estão abaixo do primeiro quartil e 25% acima do 3º quartil.

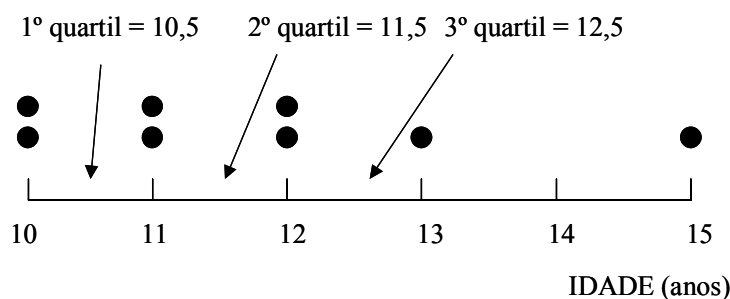


Figura 4 – Quartis de um conjunto de dados

Média é a soma das observações dividida pelo número de observações. Por exemplo, para os dados da figura 2 a média vale: $\frac{11+12+12,5+14+15}{5} = 12,9$. A média resume todos os valores da amostra, ao contrário da moda que só indica o valor mais freqüente e a mediana, que considera apenas um ou dois valores centrais. A média é como o centro de gravidade do conjunto de dados, se considerarmos cada valor como tendo o peso de uma unidade, a média seria o ponto onde obteríamos o equilíbrio. A figura 5 ilustra este princípio, onde o conjunto de valores 2, 2, 3, 4, 4, 4, 5, 8, 9, 9 são considerados. A média neste caso vale 5.

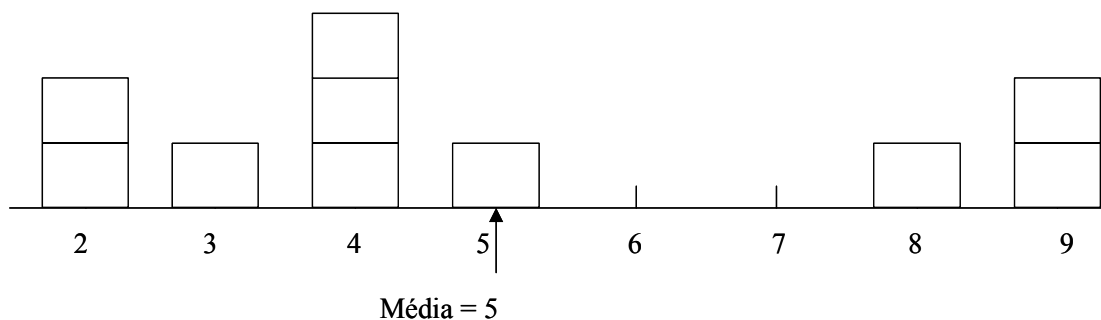


Figura 5 – Média de um conjunto de dados

Apesar da vantagem da média resumir todos os valores da amostra, é possível notar na figura 5 que os valores extremos afetam significativamente o valor dela, em contraste com a mediana, cujo valor não é afetado.

A fórmula da média pode ser escrita como na equação 1.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}, \text{ onde } i \text{ vai de } 1 \text{ até } n \text{ observações}$$

Equação 1: média de um conjunto de dados numéricos

Um ponto importante que é abordado agora é de como escolher as medidas de localização. A primeira coisa a se fazer para a escolha entre as medidas é perguntar o que se necessita saber dos dados. Fazer a pergunta correta faz com que a escolha seja feita com foco na necessidade real do problema. A moda, média e mediana tem particularidades que devem ser levadas em conta nas análises.

A forma da distribuição pode também auxiliar na escolha da medida de localização. Se os valores forem distorcidos, geralmente a mediana é mais indicada. Por exemplo, considere o rendimento mensal de quatro famílias R\$800,00, R\$1.000,00, R\$1.200,00 e R\$12.000,00; a média é R\$3.750,00 e não é próxima de nenhum dos valores, já a mediana vale R\$1.100,00, que é um valor mais próximo da amostra apresentada. Um outro exemplo de curva distorcida é apresentado na figura 6, neste exemplo de distribuição a moda ou a mediana são também mais indicados do que a média.

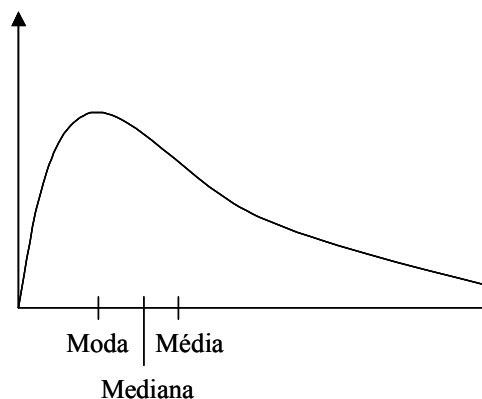


Figura 6 – Distribuição distorcida para a direita

VARIABILIDADE

A variabilidade mostra o quanto as medidas diferem de indivíduo para indivíduo, ela é uma medida de dispersão. Este conceito é importante porque às vezes são necessárias mais informações além da moda, média ou mediana. As principais medidas de variabilidade são a amplitude, o desvio médio, o desvio padrão e a variância.

A amplitude dos valores é um exemplo de variabilidade; em um time de futebol, por exemplo, a amplitude das alturas dos jogadores é a diferença de altura entre o mais alto e o mais baixo. Um problema deste tipo de medida de variabilidade é que duas medidas extremas podem dar uma visão exagerada da dispersão. A tabela 3 mostra que a altura dos jogadores, em sua maioria, varia em aproximadamente 5cm, mas devido a dois jogadores que estão nos extremos a amplitude não reflete a realidade da situação.

Jogador	Altura
Marcio	1,68m
Marco	1,70m
Junior	1,72m
Mário	1,71m
Sandro	1,70m
Rodrigo	1,52m
Luis	1,88m
Fabiano	1,69m
Amplitude	37cm

Tabela 3 – Amplitude de um conjunto de valores

Uma forma de evitar este tipo de situação é a chamada amplitude interquartil, cuja diferença é entre o primeiro e o terceiro interquartis. Colocando os dados da tabela 6 ordenadamente temos os valores 1,52m, 1,68m, 1,69m, 1,70m, 1,70m, 1,71m, 1,72m, 1,88m. A amplitude interquartil tem o valor de: $1,715\text{m} - 1,685\text{m} = 3\text{cm}$.

Outra medida muito utilizada para medir a variabilidade de um conjunto de valores é o desvio médio; a partir do exemplo hipotético da tabela 7 é possível entender esta, que é uma forma intuitiva de variabilidade.

Nome	Idade	Desvio	Desvio absoluto
Marcio	45	4	4
Ana	40	-1	1
Carlos	39	-2	2
Mariana	41	0	0
Claudio	40	-1	1
Total	205	0	8
Média	41	0	1,6

Tabela 4 – Desvio médio de um conjunto de valores hipotéticos

O desvio médio é então a média aritmética da soma dos desvios absolutos, em notação:

$$D_m = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n}$$

Equação 2 – Equação do desvio médio

Na situação hipotética da tabela 7, o desvio médio das idades é:

$$D_m = \frac{|4| + |-1| + |-2| + |0| + |-1|}{5} = 1,6 \text{ anos}^2$$

O principal problema do desvio médio é que o seu valor final tem como unidade a unidade quadrada dos dados analisados. Isto já não ocorre com o desvio padrão, que é a medida de variabilidade utilizada com maior frequência e que é bastante utilizada em comparações. Como o desvio médio, o desvio padrão é um tipo de média das distâncias entre os valores observados e a média. Ao invés de se utilizar o módulo dos valores, estes são elevados ao quadrado para a obtenção de números não negativos. Os valores são divididos por “ $n-1$ ” e depois a raiz quadrada é extraída para que os valores retornem em suas dimensões originais.

O desvio padrão amostral é definido por

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Equação 3 – Equação do desvio padrão

No exemplo da tabela 4 o desvio padrão vale

$$s = \sqrt{\frac{16+1+4+0+1}{5-1}} = 2,345 \text{ anos}$$

O desvio padrão ao quadrado é chamado de variância dos dados $Var = s^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$.

Esta também é uma medida de dispersão, mas em unidades quadradas dos dados em análise.

Uma maneira intuitiva de se saber porque a divisão é feita por $n-1$ e não por n no desvio padrão ou variância amostral, é tomar uma observação única (x_1). Este valor contém o mínimo de informação sobre a localização; poderíamos inclusive calcular a média $\frac{x_1}{1} = \bar{x}$, mas um único valor não fornece informações sobre a dispersão porque não há outro valor para se comparar; com dois valores já é possível a comparação:

$$s = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2}{2-1}}. \text{ Já com três observações existem duas peças de informação}$$

sobre a dispersão, e assim por diante.

COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO

O coeficiente de correlação indica o grau de associação linear entre duas variáveis numéricas. Esta correlação tem o alcance de -1 a 1 , e o sinal indica se a associação é direta (+) ou indireta (-). Estatísticos geralmente se referem ao valor 0 como “sem correlação”, entre 0 e $0,3$ como uma correlação fraca, entre $0,3$ e $0,6$ como moderada, $0,6$ e $1,0$ como forte e 1 como perfeita.

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x s_y}, \text{ onde } s_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, s_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}$$

Equação 4 – Coeficiente de correlação

$$e s_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n-1} \text{ que é a covariância simples entre } x \text{ e } y.$$

A tabela abaixo mostra uma situação hipotética da correlação entre o nível de especialidade dos respondentes e a resposta a uma pergunta.

Respondente	Especialidade 1=não familiarizado 2=familiarizado 3=conhecedor 4=perito	Crescimento do PIB do Brasil em 2004 (em%)?	$x_i - \bar{x}$	$y_i - \bar{y}$	$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$
Marcio	3	2	0	0,5	0
Luis	4	0,5	1	-1	-1
Claudio	2	1,5	-1	0	0
Maria	4	0,5	1	-1	-1
Gabriela	4	1	1	-0,5	-0,5
Cesar	3	2,5	0	1	0
Alexandra	1	2,5	-2	1	-2
Media	3	1,50			

Tabela 5 – Exemplo do coeficiente de correlação

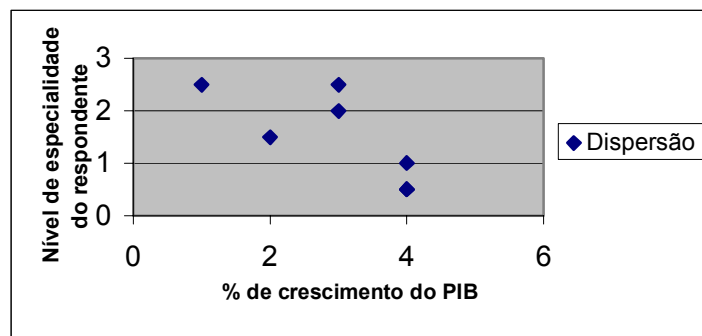


Figura 7 – Dispersão dos dados da tabela 5

O coeficiente de correlação neste caso é: $r = \frac{-0,75}{1,33 \cdot 0,75} \approx -0,75$, o que implica em uma

forte correlação indireta. Quanto mais especialista é a pessoa, menor ela acha que será o crescimento do PIB em 2004.

Inferência estatística

A inferência estatística é utilizada para estimar as características de uma população baseada em dados de amostras desta população. Este conceito de inferência é necessário para que se possa compreender a análise de variância, que será o método utilizado para as análises da primeira rodada da pesquisa Delphi em energia.

ESTIMATIVA PONTUAL

A estimação pontual é a base do que será explanado posteriormente, e antes disto é importante lembrar um importante teorema em estatística, que é o *teorema do limite central*, que diz que se uma variável “x” é composta de vários fatores determinantes, ou seja, se existem inúmeras variáveis que possam influir no seu valor (temperatura, gravidade, força, vento, umidade, genética, humor, por exemplo), a distribuição pode ser considerada como uma distribuição normal.

Considerando que uma variável cuja população finita de N indivíduos tenha os valores $y_1, y_2, \dots, y_N$, a média da população μ é definida pela média aritmética de acordo com a fórmula

$$\mu = \frac{\sum y_k}{N}.$$

Dadas amostras de n indivíduos com $x_1, x_2, \dots, x_n$ observações, a estimativa de μ é

$$\bar{x} = \frac{\sum x_k}{n},$$

que é a média aritmética das amostras. Então $\bar{x}$ é a estimativa pontual de μ .

A média aritmética irá variar de amostra para amostra, mas a distribuição amostral de $\bar{x}$ é centrada em torno de μ ; esta propriedade é chamada de imparcialidade, e é expressa como $E(\bar{x}) = \mu$.

A variância da distribuição amostral de $\bar{x}$ é $\sigma_{\bar{x}}^2$, que é relacionada com a variância da população de que ela foi retirada por $\sigma_{\bar{x}}^2 = \frac{\sigma^2}{n}$. O desvio padrão desta amostra, também

chamado de erro padrão da média, vale $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$. O erro padrão é uma medida de precisão, porque quanto maior for a amostra, menor será o seu valor, ou seja, mais perto das características da população ele estará. Resumindo, quanto maior for a amostra, mais precisa será a estimativa de μ , já que $\sigma_{\bar{x}}$ é o erro padrão da média.

A variância e do desvio padrão também podem ser estimados através de uma distribuição amostral de uma população.

Considerando de novo que uma variável cuja população finita de tenha N indivíduos e valores $y_1, y_2, \dots, y_N$. A variância desta população σ^2 desta variável é definida pela média aritmética de acordo com a fórmula $\sigma^2 = \frac{\sum (y_k - \mu)^2}{N}$, onde a média da população μ já foi definida nos dois parágrafos anteriores. O resultado é ainda a média da população ou o “valor esperado” dos desvios quadrados de μ . Dadas amostras de n indivíduos com $x_1, x_2, \dots, x_N$ observações, e como a média da população não é sabida, $s^2 = \frac{\sum (x_k - \bar{x})^2}{n-1}$; onde “n-1” é o número de graus de liberdade da amostra. Como pode ser notado, o erro padrão da média da amostra seria $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ se σ fosse uma informação disponível, mas senão ele pode ser estimado através da fórmula $s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$, onde $s_{\bar{x}}$ é utilizado para indicar que a amostra é uma aproximação de $\sigma_{\bar{x}}$.

ESTIMATIVA ATRAVÉS DE INTERVALOS

Normalmente a estimativa pontual não é exatamente correta, isto é, se alguém perguntar qual é a certeza de acerto de uma estimativa pontual, uma precisão é necessária para esta estimativa. Uma maneira de se fazer isto é através da estimativa por intervalos. Dois exemplos

serão descritos para a estimativa de valores plausíveis para a média, o primeiro é quando o desvio padrão da população em questão é sabido, e o segundo quando desvio padrão não é sabido.

Suponha que o desvio padrão de uma população seja de $\sigma = 12,6$ unidades, que a distribuição em torno de μ seja aproximadamente normal e que valores muito acima ou muito abaixo da média não são desejados; uma amostra de 3 elementos tem uma distribuição cuja média é μ , e erro padrão de $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{12,6}{1,73} = 7,28$. Através de uma tabela de distribuição normal³⁶, é

possível notar que a probabilidade da média da amostra ($\bar{x}$) estar a um erro padrão ($\sigma_{\bar{x}} = 1$) de μ é de 0,6826; na mesma tabela é também possível notar que para uma probabilidade de 95%, $z =$

$$1,96 \left(z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \right). \text{ Nas unidades do exemplo, } \Pr(\bar{x} - 14,3 < \mu < \bar{x} + 14,3) = 0,95; \text{ o valor de } 14,3$$

advém de $1,96 \times 7,28$. Portanto, se uma amostra de n elementos é retirada da população com desvio padrão σ , com 95% nível de confiança a média da população está no intervalo

$$\left(\bar{x} - 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; \bar{x} + 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right). \text{ A figura 8 ilustra graficamente esta situação, em que tanto os}$$

extremos inferiores quanto os superiores não são desejados.

Suponha agora uma situação mais plausível cujo desvio padrão da população não é sabido: uma amostra de $n = 10$ indivíduos cujas alturas sejam normalmente distribuídas, suponha que $\bar{x} = 172$ centímetros e que $s = 7,3$ centímetros; considerando 95% de nível de confiança e que

valores muito acima ou abaixo da média não são desejados, $s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{7,3}{\sqrt{10}} = 2,31$. Conforme

descrito no parágrafo anterior, $\Pr\left(\bar{x} - 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; \bar{x} + 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) = 0,95$. Se não é possível obtermos

um valor correto para σ , substituímos por s , e chamamos a função de “ t ” ao invés de “ z ”, onde

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s / \sqrt{n}}; \text{ esta é a conhecida função t-Student.}$$

³⁶ Tabelas de distribuições normais são disponíveis em inúmeros livros de estatística e em diversos sites na internet, como <http://www.statsoft.com/textbook/sttable.html>, acesso em 10/05/2004.

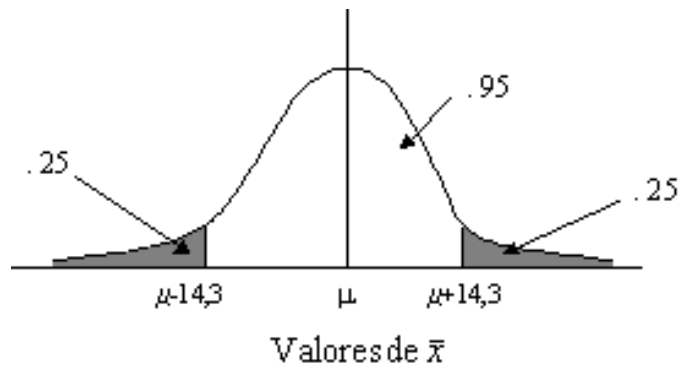


Figura 8-Distribuição amostral de $\bar{x}$

As condições para a função t-Student são as mesmas do teorema do limite central, de que a distribuição é aproximadamente normal. A distribuição depende da quantidade de informação sobre σ^2 que está contida em s^2 , este é o número de graus de liberdade (o denominador vale $n-1$), ou seja, quanto maior a amostra, mais próxima a distribuição será de uma distribuição normal. A figura 9 ilustra as distribuições normal (z) e t-Student com 1 e 5 graus de liberdade.

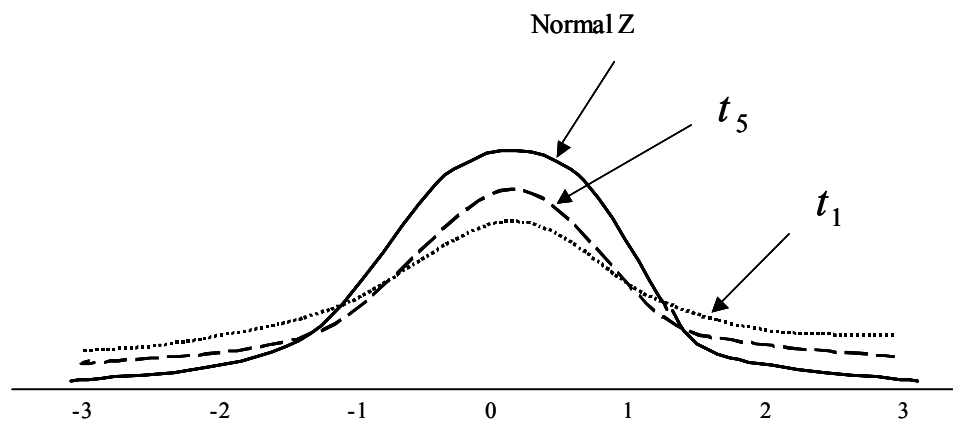


Figura 9-Distribuições de probabilidades de z, t_1 e t_5

TESTE DE HIPÓTESES

Freqüentemente são requeridas respostas do tipo “sim” ou “não” sobre uma investigação estatística. O teste de hipóteses responde a estas perguntas com base no nível de confiança

desejado e nas características da amostra da população a ser estudada. Apenas lembrando, o teorema do limite central diz que se uma variável x é composta de vários componentes separados (fatores que influenciam no resultado), pode-se dizer que a distribuição desta população é aproximadamente normal.

A melhor forma de entender o teste de hipóteses é através de exemplos, e o primeiro exemplo real foi extraído do livro de Finn et Anderson (1996), cuja pergunta a ser respondida era: Bebês de mães fumantes nascem abaixo do peso? A média da população de bebês considerada é de $\mu = 3.300$ gramas e o desvio padrão de 516 gramas. A hipótese a ser testada é $H_0 \geq 3.300$ gramas contra $H_1 < 3.300$ gramas. Se uma amostra de 100 bebês foi analisada, a distribuição da amostra da média será aproximadamente normal com um erro padrão de

$\sigma_{\bar{x}} = \frac{516}{\sqrt{100}} = 51,6$. A hipótese foi testada com nível de confiança de 10% ($\alpha=10\%$), e a figura 10 mostra a distribuição centrada em 3.300 gramas. $z(0,10) = 1,28$, mas como estamos considerando apenas o limite inferior, $-z = -1,28$. Suponha agora que da amostra de 100 bebês retirada de diversos hospitais e em várias localizações de mães fumantes tenha a média

$\bar{x} = 3.207$ gramas. O teste estatístico $z = \frac{(\bar{x} - \mu)}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{(3207 - 3300)}{51,6} = -1,80$, caindo na região

além do nível de significância escolhido de 10%. Portanto a hipótese H_0 é rejeitada em favor da conclusão de que bebês de mães fumantes nascem abaixo do peso médio. Se em algum caso o desvio padrão não for sabido, o uso da função t-Student é necessário, pois conforme visto anteriormente, esta distribuição depende da quantidade de informação sobre σ^2 que está contida em s^2 .

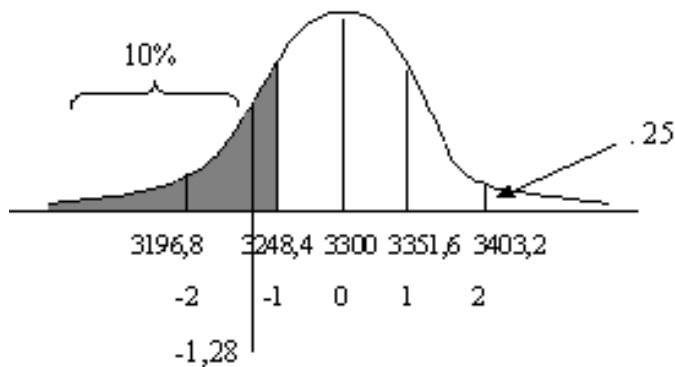


Figura 10- Distribuição amostral da média com $\mu = 3.300$ gramas e $\sigma = 516$ gramas.

DIFERENÇA ENTRE POPULAÇÕES

A análise de variância verifica que a variabilidade de três ou mais populações diferem sobre algum aspecto, por isto é importante saber primeiro a diferença entre populações, para que possamos analisar a variabilidade de uma e de duas populações.

Um primeiro exemplo real foi extraído do livro de Finn et Anderson (1996) para ilustrar como funciona a comparação da média de duas amostras independentes quando o desvio padrão da população é sabido. Suponha que existam duas populações de estudantes, uma cuja criação e educação foi conduzida pelo pai e pela mãe ($x_1 = 22$ estudantes) e a outra somente pelo pai ou pela mãe ($x_2 = 7$ alunos). Estes estudantes foram submetidos a testes e o desempenho comparado. As médias encontradas nos testes foram de $n_1 = 98,7$ e $n_2 = 91,7$ e o desvio padrão dos testes é sabido ser de $\sigma = 12$. Com um nível de confiança de $\alpha = 10\%$, existe diferença de desempenho nos testes? Para respondermos esta pergunta, basta achar

$$z = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{n_1} + \frac{\sigma^2}{n_2}}} = \frac{98,7 - 91,7}{\sqrt{\frac{144}{22} + \frac{144}{7}}} = 1,34. \text{ Como para } \alpha = 10\%, z = 1,28, \text{ é possível afirmar que}$$

existam diferenças de desempenho entre os estudantes.

Quando os desvios padrões das duas amostras não são sabidos, mas são tratados igualmente, a função t-Student entra em cena novamente, mas agora é necessário introduzir um

novo conceito, que é a soma dos desvios quadrados. Assim como o exemplo anterior supõe-se que a distribuição é aproximadamente normal. Por exemplo, deseja-se saber se existe alguma diferença no desempenho de um curso numa universidade que tenha alunos da graduação e pós-graduação. Por isto uma amostra de 39 estudantes da graduação e 29 da pós-graduação foi retirada; o desvio padrão das duas populações (estudantes de graduação fazendo o curso e estudantes de pós) não é sabido, mas serão tratados igualmente. Os dados extraídos das amostras podem ser vistos na tabela 6.

$\bar{x}_1 = 136,44$	$\bar{x}_2 = 127,00$
$\sum (x_{1i} - \bar{x}_1)^2 = 15.551$	$\sum (x_{2i} - \bar{x}_2)^2 = 13.388$
$s_1^2 = 409,2$	$s_2^2 = 478,1$
$s_1 = 20,2$	$s_2 = 21,9$

Tabela 6 – Dados de desempenho das duas amostras de estudantes que fizeram o curso

A soma dos desvios quadrados das duas amostras é $SQ = 15.551 + 13.388 = 28.939$. Dividindo este total pela soma dos graus de liberdade associados a eles $(n_1 - 1 = 38) + (n_2 - 1 = 28) = 66$, obtemos $s_p^2 = \frac{SQ}{gl_1 + gl_2} = \frac{28.939}{66} = 438,5$. O função t-Student

vale então $t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_p^2}{n_1} + \frac{s_p^2}{n_2}}} = \frac{136,44 - 127}{5,13} = 1,83$. Para um nível de significância de $\alpha = 5\%$, e

considerando os dois extremos como parte da hipótese H_1 , é possível notar que não existe evidências de que a população da graduação e da pós graduação tenham desempenhos diferentes, pois na tabela da função t-Student com 60 graus de liberdade, para $\alpha = 5\%$ vale 2.00, ou seja, para 66 este valor será ainda maior, distanciando ainda mais os $t = 1,83$ encontrados

Análise de Variância

Finalmente, após a introdução de todos os conceitos desenvolvidos ao longo do capítulo, é possível descrever com total compreensão a análise de variância, que será utilizada posteriormente para as análises da primeira rodada da consulta Delphi em energia. Análise de

variância (ANOVA) são técnicas estatísticas que estudam a variabilidade de diferentes fontes, comparando-as para entender a importância relativa entre elas. Ela é também usada para fazer inferências sobre a população através dos testes de significância, incluindo a comparação das médias de duas ou mais populações.

ANOVA é a melhor forma de se examinar a associação entre uma variável categórica (grupos) e variáveis numéricas (medidas em que as médias são baseadas).

Suponha que queiramos comparar as médias de três populações sobre algumas variáveis dependentes. As médias são μ_1, μ_2, μ_3 e a hipótese a ser testada é $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$. Se de alguma forma as médias forem diferentes, a hipótese é rejeitada. Isto quer dizer que se o teste estatístico refletir uma variação significativa entre as amostras analisadas, como por exemplo exceder o ponto de significância correspondente, então a hipótese H_0 é rejeitada.

Quando apenas dois grupos são comparados, é óbvio que pelo simples conhecimento das médias dos dois grupos é possível saber qual deles tem uma média significativamente maior que o outro. Quando existem mais grupos, a rejeição de H_0 somente significa que ao menos uma população tem a média diferente das outras. É necessário realizar o teste de significância da ANOVA para determinar “qual” das médias da população é diferentes das outras.

Para ilustrar este conceito suponhamos uma situação hipotética, em que um grupo de pesquisa queira saber se o nível de especialidade do respondente influencia nas respostas de uma pergunta (“Daqui a quantos anos o Brasil conseguirá a viabilidade econômica necessária para produzir energia eólica, sem levar em conta os custos de transmissão?”). No exemplo será considerado três níveis de especialidade e duas situações:

Situação 1

- ✓ Peritos, com média das respostas de 30 anos.
- ✓ Conhecedores, com média das respostas de 28 anos.

- ✓ Familiarizados, com média das respostas de 32 anos.

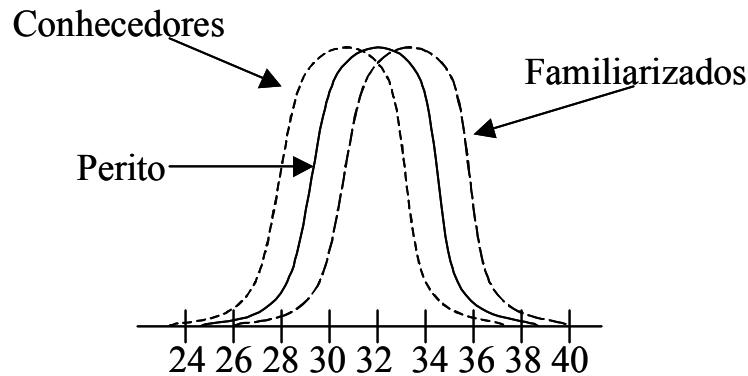


Figura 11 – Variância não suficiente

Conforme a figura 11 pode ilustrar, a variabilidade dentro de cada grupo é tão grande que as pequenas diferenças na média dos valores dos grupos não justifica afirmar que o nível de especialidade dos respondentes influencie nas respostas.

Situação 2

- ✓ Peritos, com média das respostas de 30 anos.
- ✓ Conhecedores, com média das respostas de 24 anos.
- ✓ Familiarizados, com média de das respostas 36 anos.

A figura 12 mostra que a especialidade do respondente influencia nas respostas obtidas.

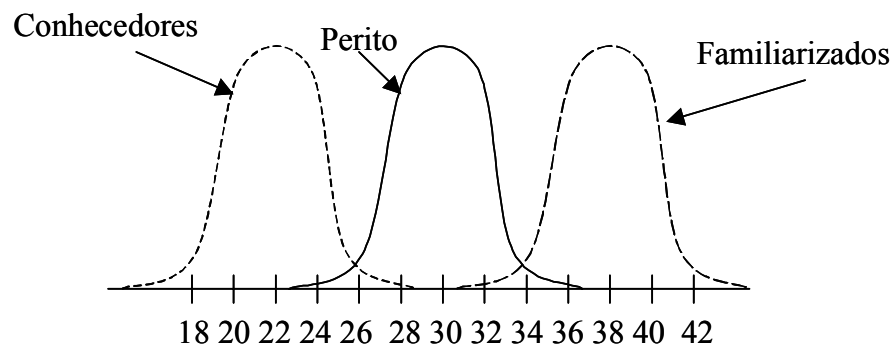


Figura 12 – Variância suficiente

A análise de variância responde as questões de variabilidade comparando os valores *entre* os grupos e *dentro* deles.

Exemplo:

A análise de variância indica se as médias das populações são diferentes, comparando a variabilidade entre as médias das amostras com a variabilidade entre as observações individuais dentro dos grupos.

Suponha que alguém queira realizar uma ANOVA sobre uma pesquisa realizada com três grupos distintos. A tabela ilustra esta situação.

Em uma escala de 0 a 10, qual é a importância que o investimento em segurança deve ter no governo brasileiro?			
	Classe Média	Classe Alta	Classe Baixa
	2	9	4
	4	10	5
	3	10	6
	4	7	3
	5	8	7
	6	10	5
Soma	24	54	30
Média das amostras	4	9	5
Total das amostras:108; média das 3 amostras: 6			

Tabela 7 – Situação hipotética para uma ANOVA

VARIABILIDADE DENTRO DOS GRUPOS

Primeiramente a variabilidade dentro dos grupos será computada. A medida da variabilidade entre as observações dentro dos grupos é chamada de média quadrada dentro dos grupos, MQ_D , ela é a variância de todos os valores, mas computados separadamente para cada uma das três amostras.

$$MQ_D = \frac{SQ_D}{gl_D}, \text{ onde } SQ_D \text{ é a soma dos desvios quadrados dentro dos grupos e } gl_D \text{ é o}$$

número de graus de liberdade dos desvios dentro os grupos.

	Classe Média	Classe Alta	Classe Baixa
	$(2-4)^2 = 4$	$(9-9)^2 = 0$	$(4-5)^2 = 1$
	$(4-4)^2 = 0$	$(10-9)^2 = 1$	$(5-5)^2 = 0$
	$(3-4)^2 = 1$	$(10-9)^2 = 1$	$(6-5)^2 = 1$
	$(4-4)^2 = 0$	$(7-9)^2 = 4$	$(3-5)^2 = 1$
	$(5-4)^2 = 1$	$(8-9)^2 = 1$	$(7-5)^2 = 1$
	$(6-4)^2 = 4$	$(10-9)^2 = 1$	$(5-5)^2 = 0$
Soma	10	8	10

Tabela 8 – Soma dos desvios quadrados dentro dos grupos

Com os dados da tabela 8, $SQ_D = 10 + 8 + 10 = 28$; a soma é feita da soma de três amostras. Cada uma envolve 6 desvios quadrados, por isso cada uma tem $6-1=5$ graus de liberdade, portanto $gl_D = 5 + 5 + 5 = 15$ *graus de liberdade*. Temos então que a média quadrada dentro dos dos grupos vale $MQ_D = \frac{28}{15} = 1,867$.

VARIABILIDADE ENTRE OS GRUPOS

A medida da variabilidade das observações entre os grupos é chamada de média quadrada entre os grupos, MQ_E . Esta média é calculada das médias dos três subgrupos, 4, 9 e 5. A média quadrada entre grupos também tem uma soma de desvios quadrados no numerador e um número correspondente aos graus de liberdade no denominador. O numerador é chamado de soma dos quadrados entre os grupos, SQ_E , que é a soma dos desvios quadrados das médias dos subgrupos extraídos da média total. O número de graus de liberdade entre os grupos gl_E é o número dos desvios independentes resumidos em SQ_E .

A média total das observações vale “6”, que é também é a média dos valores 4, 9 e 5 (pois as amostras têm tamanhos iguais). A soma dos desvios quadrados das médias dos subgrupos extraídos da média total é $(4-6)^2 = 4$, $(9-6)^2 = 9$, $(5-6)^2 = 1$. A soma portanto vale

$4+9+5=14$. Esta soma não é a soma final, pois um ajuste final é necessário. Para colocar SQ_E em escala comparável à SQ_D (soma quadrada dentro dos grupos), é necessário multiplicar o valor 14 pelo número de observações em cada subgrupo, isto ocorre pois SQ_E reflete a variabilidade entre as médias dos grupos enquanto SQ_D reflete a variabilidade entre as medidas individuais. Por isso $SQ_E = 6.14 = 84$.

A soma dos quadrados entre os grupos é compreendida de três desvios da média total, por isso o número dos graus de liberdade é $gl_E = 3 - 1 = 2$ e a média quadrada entre grupos $MQ_E = \frac{84}{2} = 42$.

O teste estatístico para testar $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ é chamado de razão “F”, que é a razão de $\frac{MQ_E}{MQ_D} = \frac{42}{1,867} = 22,50$. Isto significa que a variabilidade entre grupos é bem maior que dentro eles. Entretanto, sabe-se que amostras diferentes nos dariam valores diferentes da taxa mesmo se a média das três populações fossem iguais. Então ao valor de 22,50 é comparado com valores da *distribuição-F* para ver se o teste estatístico das 3 amostras e 18 observações é grande o suficiente para rejeitar H_0 .

Os números de graus de liberdade valem $gl_D = 15$ e $gl_E = 2$. Se for usado um nível de significância de 1%, o ponto de significância da tabela da *distribuição-F* com 2 e 15 graus de liberdade vale 6,36. O valor de 22,50 é bem significativo, por isso pode-se concluir que existam diferenças reais nas respostas da pesquisa se analisadas as diferentes classes sociais.

Conforme descrito anteriormente, a escolha da probabilidade “p” é muito importante, pois ela é a probabilidade de erro tipo I ou II da análise.

O erro tipo I, conhecido também por α , é o erro de se rejeitar a hipótese nula (H_0) quando ela é correta; o erro tipo II, também conhecido por β , é o erro de se aceitar a hipótese nula (H_0) quando ela é falsa. Portanto devemos ter muito cuidado com a escolha de p (α ou β),

levando em conta os custos potenciais de um erro estatístico na magnitude do problema em questão. Posteriormente será descrito um exemplo de como esta escolha pode influenciar na decisão da rejeição de H_0 .

ANOVA EM NOTAÇÕES ALGÉBRICAS

A tabela 9 ilustra as notações utilizadas. A hipótese nula é $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$, que significa que as médias de k (grupos) populações são iguais.

		Grupo			
		1	2	...	k
População	Média	μ_1	μ_2	...	μ_k
	Variância	σ_1^2	σ_2^2	...	σ_k^2
Amostras	Observações	x_{11}	x_{21}	...	x_{k1}
		x_{12}	x_{22}	...	x_{k2}
		.	.	...	.
		.	.	...	.
		.	.	...	.
	Tamanho da amostra	n_1	n_2	...	n_k
	Média	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	...	$\bar{x}_k$
	Variância	s_1^2	s_2^2	...	s_k^2

Tabela 9: notações utilizadas para a ANOVA

O número das amostras observadas em um grupo típico (grupo g) é denominado n_g , e o número total de observações de $n = n_1 + n_2 + \dots + n_k$. Cada observação tem dois subscritos, onde o primeiro indica o grupo no qual a observação pertence e o segundo indica o número de observações dentro de cada grupo (x_{gi}). A média de um grupo típico (grupo g) é a soma das observações no grupo g dividido pelo número de observações no grupo g $\bar{x}_g = \frac{1}{n_g} \sum_i x_{gi}$. A

média de todas as observações é $\bar{x} = \frac{\sum_g \sum_i x_{gi}}{n}$.

Para testar a hipótese H_0 , a variabilidade entre a média dos grupos é comparada com a variabilidade entre as observações dentro dos grupos, que é a explicação do porque os valores observados sobre uma variável medida difere uma da outra, ou equivalentemente, porque os valores diferem da média total $\bar{x}$. Estas duas explicações podem ser juntadas em uma única expressão $(x_{gi} - \bar{x}) = (\bar{x}_g - \bar{x}) + (x_{gi} - \bar{x}_g)$. Esta expressão mostra que o desvio de valor da média total $\bar{x}$ pode ser decomposto como uma soma de duas partes; o desvio da média dos grupos da média total e o desvio de uma observação da média do seu grupo. Estes são os elementos fundamentais dos conceitos “entre os grupos” e “dentro dos grupos”, respectivamente. Elevando os termos ao quadrado, obtemos exatamente as somas quadradas que são essenciais para a análise de variância, por isso $SQ_T = SQ_E + SQ_D$, onde SQ_T é a soma dos quadrados totais.

Grupo 1:	$\sum_i (x_{1i} - \bar{x})^2 = n_1 (\bar{x}_1 - \bar{x})^2 + \sum_i (x_{1i} - \bar{x}_1)^2$
Grupo 2:	$\sum_i (x_{2i} - \bar{x})^2 = n_2 (\bar{x}_2 - \bar{x})^2 + \sum_i (x_{2i} - \bar{x}_2)^2$
...	
...	
Grupo k:	$\sum_i (x_{ki} - \bar{x})^2 = n_k (\bar{x}_k - \bar{x})^2 + \sum_i (x_{ki} - \bar{x}_k)^2$
TOTAL:	$\sum_g \sum_i (x_{gi} - \bar{x})^2 = \sum_g n_g (\bar{x}_g - \bar{x})^2 + \sum_g \sum_i (x_{gi} - \bar{x}_g)^2$

Tabela 10 - Soma dos quadrados totais

Estes componentes mais os respectivos graus de liberdade e *distribuição-F* são geralmente resumidos em uma tabela.

Fonte da Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Médias Quadradas	Razão-F
Entre grupos	SQ_E	gl_E	$MQ_E = SQ_E / gl_E$	$F = MS_E / MS_D$
Dentro dos grupos	SQ_D	gl_D	$MQ_D = SQ_D / gl_D$	
TOTAL	SQ_T	gl_T		

Tabela 11 – Tabela da Análise de Variância

Exemplo com diferentes tamanhos de amostras

Suponha que uma pesquisa queira saber se o nível de escolaridade do respondente influi na resposta de uma determinada pergunta.

Quanto tempo por dia, em média, o senhor(a) gasta com algum tipo de leitura?				
	G1	G2	G3	G4
	Pós-Graduação Completa	Superior Completo	2º Grau Completo	1º Grau Completo
$x_{11} = 3,5$		$x_{21} = 3,5$	$x_{31} = 2,5$	$x_{41} = 2,0$
$x_{12} = 4,0$		$x_{22} = 3,0$	$x_{32} = 3,0$	$x_{42} = 1,0$
$x_{13} = 3,0$		$x_{23} = 2,5$	$x_{33} = 2,0$	
		$x_{24} = 3,0$		
$\sum_i x_{gi} :$	$\sum_i x_{1i} = 10,5$	$\sum_i x_{2i} = 12,0$	$\sum_i x_{3i} = 7,5$	$\sum_i x_{4i} = 3,0$
$n_g :$	3	4	3	2
$\bar{x}_g :$	3,5	3	2,5	1,5

Tabela 12 – Exemplo hipotético com diferentes tamanhos de amostras

A média total de todas as observações vale:

$$\bar{x} = \frac{\sum_g \sum_i x_{gi}}{n} = \frac{10,5 + 12 + 7,5 + 3}{3 + 4 + 3 + 2} = 2,75.$$

As médias das amostras, 3,5; 3,0; 2,5 e 1,5 são diferentes umas das outras e decrescem sistematicamente conforme o nível de escolaridade decresce. O teste de H_0 , entretanto, irá determinar se as médias das amostras são suficientemente diferentes para que se possa concluir que existe uma diferença entre as médias das respectivas populações. Conforme visto anteriormente,

$$SQ_E = \sum_g n_g (\bar{x}_g - \bar{x})^2, \quad \text{por} \quad \text{isso}$$

$$SQ_E = 3.(3,5 - 2,75)^2 + 4.(3 - 2,75)^2 + 3.(2,5 - 2,75)^2 + 2.(1,5 - 2,75)^2 = 5,25 \quad \text{e}$$

$$SQ_D = \sum_g \sum_i (x_{gi} - \bar{x}_g)^2, \text{ por isso}$$

$$SQ_D = (3,5 - 3,5)^2 + (4 - 3,5)^2 + (3 - 3,5)^2 + (3,5 - 3)^2 + (3 - 3)^2 + (2,5 - 3)^2 + (3 - 3)^2 + (2,5 - 2,5)^2 + (3 - 2,5)^2 + (2 - 2,5)^2 + (2 - 1,5)^2 + (1 - 1,5)^2 = 2,00$$

$$gl_E = k - 1 = 4 - 1 = 3, \quad \text{e} \quad gl_D = 2 + 3 + 2 + 1 = 8. \quad \text{Portanto} \quad MQ_E = \frac{5,25}{3} = 1,75 \quad \text{e}$$

$$MQ_D = \frac{2,00}{8} = 0,25. \quad \text{Portanto a razão-}F: \quad F = \frac{MQ_E}{MQ_D} = \frac{1,75}{0,25} = 7,00, \quad \text{sugerindo que exista uma}$$

diferença substancial na variação entre os grupos. Para decidir formalmente se H_0 é rejeitado ou não, a *razão-F* é comparado ao valor da *distribuição-F* com 3 e 8 graus de liberdade. Com um nível de significância de 5%, o ponto de significância $F_{3,8}(.05) = 4,07$. O teste estatístico rejeita H_0 , pois $7,00 > 4,07$. Com o nível de significância de 5%, conclui-se que o nível de escolaridade do respondente influi nas horas de leituras diárias.

Se tivéssemos escolhido trabalhar com um nível de significância de 1%, o ponto seria $F_{3,8}(.01) = 7,59$, e neste caso o teste estatístico $F = 7,00$ não seria grande o suficiente para rejeitar H_0 , por isso o nível de escolaridade não seria relacionado com as horas diárias de leitura.

Obviamente a escolha de α pode ter um efeito importante no resultado de uma análise estatística, onde α é a probabilidade de ocorrência do erro tipo I, que é o erro de se rejeitar a hipótese nula (H_0) quando ela é correta. Portanto, deve-se ter muito cuidado na escolha de α , levando em conta os custos potenciais de um erro estatístico.

Resumindo, na ANOVA, o teste F oferece a decisão sobre a diferença entre as médias. As figuras 13, 14 e 15 ilustram graficamente que quanto maior for o valor da razão-F, maior é sua significância estatística na rejeição da hipótese H_0 .

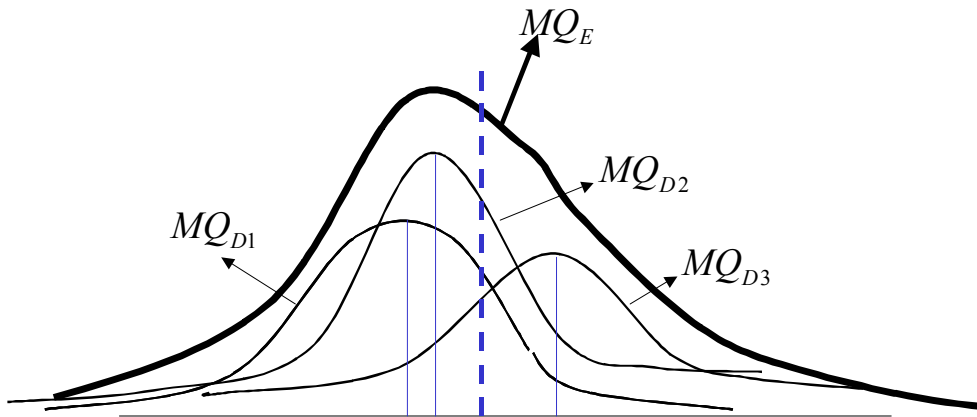


Figura 13: Gráfico de três distribuições amostrais hipotéticas

Como pode ser visto na figura 13, cada amostra tem suas médias (linhas verticais) e medidas de dispersão (MQ_{D1} , MQ_{D2} e MQ_{D3}). Tomando as três amostras conjuntamente, existe então uma média geral dispersão geral (MQ_E).

Caso a dispersão MQ_D (dentro dos grupos) seja mantida, mas as médias de cada amostra sejam mais distantes entre si, a dispersão (MQ_E) aumentada (figura 14). Como o teste $F = \frac{MQ_E}{MQ_D}$, neste caso o valor de F aumenta, aumentando a sua significância estatística.

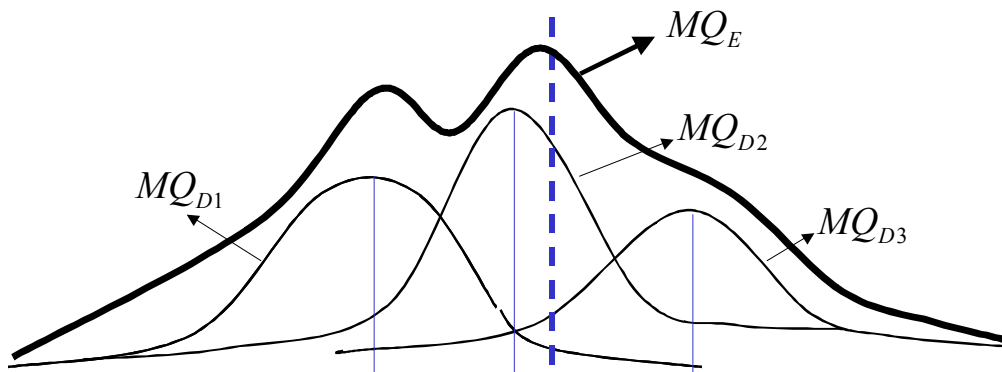


Figura 14: Aumento da razão-F devido ao aumento da diferença entre as médias, mantendo-se as dispersões constantes

Mantendo agora as médias da figura 13, mas diminuindo a dispersão entre os grupos (MQ_D), o que sofre maior redução no teste F é o denominador, levando então a um aumento de F .

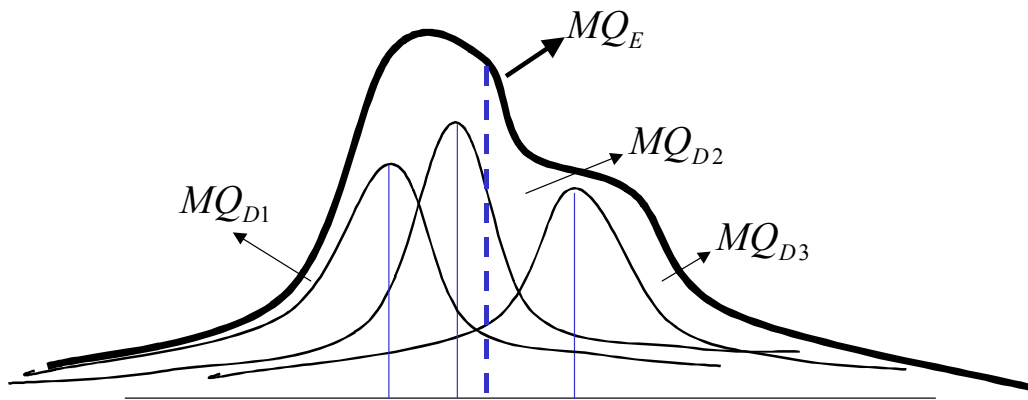


Figura 15: Aumento da razão-F devido a diminuição da dispersão das amostras, mantendo-se as médias constantes