



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA

THAÍS BREDARIOL GRILO LEME

**PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA A MÉDIO E LONGO PRAZO DO USO
DE FONTES ALTERNATIVAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA**

CAMPINAS

2017

THAÍS BREDARIOL GRILO LEME

**PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA A MÉDIO E LONGO PRAZO DO USO
DE FONTES ALTERNATIVAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Química da
Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos
exigidos para a obtenção do título de Mestra em Engenharia Química

Orientador: PROFESSOR DOUTOR WAGNER DOS SANTOS OLIVEIRA

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO
FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA
ALUNA THAÍS BREDARIOL GRILO LEME, E
ORIENTADA PELO PROF. DOUTOR WAGNER
DOS SANTOS OLIVEIRA

CAMPINAS

2017

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): CAPES

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Luciana Pietrosanto Milla - CRB 8/8129

L542p Leme, Thaís Bredariol Grilo, 1991-
Prospecção tecnológica a médio e longo prazo do uso de fontes
alternativas de geração de energia / Thaís Bredariol Grilo Leme. – Campinas,
SP : [s.n.], 2017.

Orientador: Wagner dos Santos Oliveira.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade
de Engenharia Química.

1. Energia. 2. Energia - Fontes alternativas. 3. Energia renovável. 4.
Delphi, Método. 5. Previsão tecnológica. I. Oliveira, Wagner dos Santos, 1947-
II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Química. III.
Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Technological prospection the medium and long term of the use of
alternative sources of energy generation

Palavras-chave em inglês:

Energy

Energy - Alternative sources

Renewable energy

Delphi, Method

Technological forecasting

Área de concentração: Desenvolvimento de Processos Químicos

Titulação: Mestra em Engenharia Química

Banca examinadora:

Wagner dos Santos Oliveira [Orientador]

Roger Josef Zemp

Afonso Rodrigues de Aquino

Data de defesa: 25-05-2017

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Química

Dissertação de Mestrado defendida por Thaís Bredariol Grilo Leme e aprovada em 25 de Maio de 2017 pela banca examinadora constituída pelos doutores:

Prof. Dr. Wagner dos Santos Oliveira - Orientador

Prof. Dr. Roger Josef Zemp

Prof. Dr. Afonso Rodrigues de Aquino

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, que sempre me ensinaram a importância da educação e me apoiaram durante essa jornada, e ao meu marido por estar sempre me incentivando a evoluir.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Itamar e Cristina, pela educação que me deram, pelo apoio e por serem meu porto seguro sempre. Ao meu irmão Alex, que é minha inspiração acadêmica. Agradeço ao meu marido, por sua paciência, compreensão e por me apoiar nas horas mais difíceis e sempre me incentivar a buscar o meu melhor.

Agradeço ao professor Dr. Wagner dos Santos de Oliveira, pelo incentivo, pelas conversas e aprendizado que esse trabalho proporcionou.

Aos Professores da Banca Examinadora, pelas críticas e sugestões que certamente engrandecem este trabalho.

Agradeço a CAPES pelo financiamento desta pesquisa.

Agradeço ainda aos meus amigos que me acompanharam e se tornaram importantes nessa minha jornada.

Agradeço também a todos os especialistas que participaram deste estudo, pois os resultados são frutos do tempo dedicado por cada um à resposta e sugestões às perguntas contidas nos questionários utilizados na pesquisa.

Acima de tudo agradeço a Deus, pela vida.

PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA A MÉDIO E LONGO PRAZO DO USO DE FONTES ALTERNATIVAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA

RESUMO

A necessidade da substituição das fontes geradoras de energia elétrica atualmente utilizadas é um reflexo da qualidade de vida da população, que inclui desde a questão ambiental até o aumento do consumo energético, da escassez das tradicionais fontes geradoras, os combustíveis fósseis, e do custo.

O propósito deste trabalho foi realizar-se uma prospecção tecnológica a médio e longo prazo sobre a aplicação de fontes alternativas de geração de energia elétrica em grande escala, considerando diversos tipos de fontes geradoras de energia, conhecidas e estudadas, mesmo que atualmente não estejam sendo utilizadas em escala industrial

Utilizou-se a metodologia Delphi, que recorre ao conhecimento de especialistas na área de interesse e o julgamento intuitivo dos mesmos, com a finalidade de delinear e realizar previsões. Esse método explora a experiência coletiva dos membros de um grupo em um processo interativo e estruturado, analisa estatisticamente as opiniões dos especialistas, que são refinadas e repetidas algumas vezes até se alcançar o consenso.

PALAVRAS-CHAVES: Energia, Energia Renovável, Energia Alternativa, Metodologia Delphi, Previsão Tecnológica.

TECHNOLOGICAL PROSPECTION THE MEDIUM AND LONG TERM OF THE USE OF ALTERNATIVE SOURCES OF ENERGY GENERATION

ABSTRACT

The necessity to replace the currently used electricity sources is a reflection of the quality of life of the population, which includes from the environmental issue to the increase in energy consumption and the scarcity of traditional sources of generation, fossil fuels, and cost.

The purpose of this work was to carry out a medium- and long-term technological prospection on the application of large-scale alternative sources of electric power generation, considering several types of known and studied sources of energy, even though they are not currently being used on an industrial scale

We used the Delphi methodology, which uses the knowledge of experts in the area of interest and the intuitive judgment of the same, with the purpose of delineating and making predictions. This method explores the collective experience of group members in an interactive and structured process, statistically analyses the opinions of the experts, which are refined and repeated a few times until consensus is reached.

KEYWORDS: Energy, Renewable Energy, Alternative Energy, Delphi Methodology, Technological Forecasting

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Consumo energético do Brasil.	18
Figura 2. Capacidade de energia renovável instalada.....	21
Figura 3. Consumo total de energia no mundo.....	21
Figura 4. Geração total de eletricidade no Brasil cenário revolução energética para 2050.	22
Figura 5. Geração total de eletricidade mundial cenário para 2060.	22
Figura 6. Diagrama de uma célula a combustível do tipo PEMFC.	23
Figura 7. Tipos de reforma para produção de hidrogênio.	27
Figura 8. Esquema de um gerador eólico.	33
Figura 9. Geração de energia fotovoltaica.....	36
Figura 10. Esquema de fissão nuclear no interior de um reator que opera em cadeia.	39
Figura 11. Esquema de um reator nuclear.	39
Figura 12. Exemplo de utilização de uma fonte geotérmica	44
Figura 13. Tipos de usinas hidrelétricas.	46
Figura 14. Maiores países produtores de energia por meio de hidrelétrica	48
Figura 15. Esquema de funcionamento de um sistema OTEC.....	50
Figura 16. Esquema de uma usina maremotriz.....	52
Figura 17. Sistemas de captação de energia das ondas.....	54
Figura 18. Esquema de funcionamento de uma usina de energia osmótica.	58
Figura 19. Esquema comparativo do sistema de cogeração com o sistema convencional.	60
Figura 20. Cogeração no mundo.	61
Figura 21. Evolução dos sistemas de cogeração no Brasil	62
Figura 22. Sistema híbrido eólico/fotovoltaico.	64
Figura 23. Especialistas por continente.	87
Figura 24. Especialistas por categorias.	87
Figura 25. Nível de conhecimento dos respondentes.	88
Figura 26. Tendência de implantação de fontes alternativas de energia	88
Figura 27. Matriz energética atualmente	89
Figura 28. Importância dos diferentes tipos de pilhas a combustível.....	90
Figura 29. Importância dos diferentes tipos de produção de hidrogênio.....	91
Figura 30. Importância dos diferentes tipos de utilização da biomassa	92
Figura 31. Importância dos diferentes tipos de obtenção de energia eólica.	92
Figura 32. Importância dos diferentes tipos de obtenção de energia solar.....	93

Figura 33. Importância dos diferentes tipos de obtenção de energia geotérmica.....	94
Figura 34. Importância dos diferentes tipos de obtenção de energia do oceano.	94
Figura 35. Importância dos diferentes tipos de obtenção de energia das ondas.....	95
Figura 36. Importância dos diferentes tipos de obtenção de energia do gradiente térmico.	95
Figura 37. Importância dos diferentes tipos de obtenção de energia das marés.....	96
Figura 38. Importância dos diferentes tipos de obtenção de energia das correntes.....	96
Figura 39. Importância dos tipos de obtenção de energia do gradiente de salinidade	97
Figura 40. Importância dos diferentes tipos de obtenção de energia hidrelétrica.	97
Figura 41. Matriz energética em 30-40 anos	98
Figura 42. Fatores da não utilização de uma fonte de geração de energia elétrica.	99
Figura 43. Benefício da implantação de nova fonte de geração de energia elétrica.....	99
Figura 44. Importância da sinergia no cenário de 30-40 anos.....	100
Figura 45. Importância da cogeração	101
Figura 46. Importância dos sistemas híbridos	102
Figura 47. Fatores em desenvolvimento na implantação da fonte de geração de energia.....	103
Figura 48. Uso de novas fontes de geração de energia pela sociedade	103
Figura 49. Desenvolvimento de novas fontes de geração de energia.....	104
Figura 50. Importância da coprodução de água potável.....	104
Figura 51. Importância dos sistemas de coprodução de água potável.....	105
Figura 52. Participação da energia solar na matriz energética	106
Figura 53. Participação da energia hidrelétrica na matriz energética.....	106
Figura 54. Participação da energia eólica na matriz energética	107
Figura 55. Participação do gás natural na matriz energética.	107
Figura 56. Participação da energia eólica na matriz energética	108
Figura 57. Participação da energia nuclear na matriz energética.	109
Figura 58. Classificação das fontes de geração de energia elétrica.....	109
Figura 59. Participação de outras fontes de geração de energia elétrica em 30-40 anos.....	110
Figura 60. Uso de fontes de geração de energia no transporte.	111
Figura 61. Participação da sinergia energia solar/PC na matriz energética.....	111
Figura 62. Importância da cogeração em 30-40 anos.....	112
Figura 63. Sistema híbrido eólico/fotovoltaico/biomassa na matriz energética.....	112
Figura 64. Importância da criação de leis.....	113
Figura 65. Importância da criação de leis tarifárias.....	113
Figura 66. Uso do gradiente de salinidade para coprodução de água potável.....	114

Figura 67. Importância da região geográfica.....	114
Figura 68. Importância da disponibilidade de matéria-prima.....	115
Figura 69. Importância da do custo da fonte de geração de energia elétrica.....	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características dos diferentes tipos de células a combustível.	23
Tabela 2. Classificação dos métodos e técnicas de prospecção tecnológica.....	70
Tabela 3. Vantagens e desvantagens dos principais métodos de prospecção tecnológica.	75

SUMÁRIO

1.Introdução.....	17
1.1.Objetivos.....	19
2.Revisão da literatura	20
2.1. Fontes alternativas de geração de energia	20
2.1.1. Pilhas a combustível	22
2.1.1.1. Cenário atual.....	24
2.1.1.2. Vantagens	25
2.1.1.3. Problemas e limitações	26
2.1.1.4. Métodos de produção de hidrogênio	27
a) Reforma à vapor	27
b) Hidrogênio eletrolítico	28
c) Hidrogênio Termolítico	28
d) Hidrogênio Fitolítico	29
2.1.2. Biomassa.....	29
2.1.2.1. Cenário atual.....	30
2.1.2.2. Vantagens	31
2.1.2.3. Problemas e limitações	31
2.1.3. Eólica.....	32
2.1.3.1. Cenário atual.....	34
2.1.3.2. Vantagens	34
2.1.3.3. Problemas e limitações	34
2.1.4. Solar.....	35
2.1.4.1. Cenário atual.....	36
2.1.4.2. Vantagens	37
2.1.4.3. Problemas e limitações	38
2.1.5. Nuclear.....	38
2.1.5.1. Cenário atual.....	39
2.1.5.2. Vantagens	40
2.1.5.3. Problemas e limitações	40
2.1.6.Gás natural.....	41
2.1.6.1. Cenário atual.....	41

2.1.6.2. Vantagens	42
2.1.6.3. Problemas e limitações	42
2.1.7. Geotérmica.....	43
2.1.7.1. Cenário atual.....	44
2.1.7.2. Vantagens	45
2.1.7.3. Problemas e limitações	45
2.1.8. Hidroelétrica	46
2.1.8.1. Cenário atual.....	47
2.1.8.2. Vantagens	48
2.1.8.3. Problemas e limitações	48
2.1.9. Oceano	49
2.1.9.1. Térmica.....	49
A) Cenário atual.....	50
B) Vantagens	50
C) Problemas e limitações	51
2.1.9.2. Marés	51
A) Cenário atual.....	52
B) Vantagens	52
C) Problemas e limitações	53
2.1.9.3. Ondas	53
A) Cenário atual.....	54
B) Vantagens	55
C) Problemas e limitações	55
2.1.9.4. Correntes.....	55
A) Cenário atual	56
B) Vantagens	57
C) Problemas e limitações	57
2.1.9.5. Gradiente de salinidade	57
A) Cenário atual.....	58
B) Vantagens	59
C) Problemas e limitações	59
2.1.10. Métodos de produção de calor e eletricidade (Cogeração).....	59
2.1.10.1. Cenário atual.....	60
2.1.10.2. Vantagens	62

2.1.10.3. Problemas e limitações	63
2.1.11. Sinergia.....	63
2.1.11.1. Cenário atual.....	65
2.1.11.2. Vantagens	65
2.1.11.3. Problemas e limitações	66
2.2 Prospecção tecnológica	67
2.2.1. Metodologias e técnicas.....	67
2.2.1.1. <i>Brainstorming</i>	71
2.2.1.2. <i>Roadmapping</i>	71
2.2.1.3. <i>Bibliometrics</i>	71
2.2.1.4. <i>Delphi</i>	72
2.2.1.5. <i>Scenarios</i> (Cenários)	72
2.2.1.6. <i>Trend Extrapolation</i> (Curva S e projeção)	73
2.2.1.7. Analytical hierarchy process (AHP).....	73
2.2.1.8. <i>Systems simulation</i> (Simulação de Sistemas)	74
2.2.1.9. Métodos estatísticos.....	74
2.2.1.10. Vantagens e Desvantagens das técnicas de prospecção	74
2.2.2. Metodologia Delphi.....	76
2.2.2.1. Vantagens	78
2.2.2.2. Desvantagens	79
2.2.2.3. Recomendação de uso	79
2.2.2.4. Escolha da metodologia.....	79
2.2.2.4.1. Especialistas	80
2.2.2.4.2. Formulação do questionário	80
2.2.2.4.3. Envio do questionário.....	81
3. Metodologia.....	83
3.1. Escolha dos especialistas	83
3.2. Question Pro	83
4. Resultado e Discussão	85
4.1. Perfil dos participantes	86
4.2. Familiaridade com o assunto	87
4.3. Importância do estudo	88
4.4. Análise das respostas	89
5. Conclusão	116

6. Sugestões para trabalhos futuros	118
7. Referências bibliográficas	119
8. Anexos	132
A. Questionário – Primeira rodada	132
1. Questionário em português	132
2. Questionário enviado aos especialistas, em inglês, com as respectivas respostas.	142
B. Questionário – Segunda rodada	156
1. Questionário em português	156
2. Questionário enviado aos especialistas, em inglês, com as respectivas respostas.	160

1.Introdução

Os fenômenos elétricos têm sido estudados desde a antiguidade, com o peixe-elétrico e a magnetita, mas os primeiros avanços científicos na área remontem aos séculos XVII e XVIII, ganhando força com a revolução industrial. Hoje a geração de energia elétrica é uma atividade humana básica uma vez que está diretamente relacionada com os requerimentos primários da humanidade (GOLDEMBERG, 2003). Nos anos 70, com o aumento do preço do petróleo, a energia tornou-se um fator limitante para o progresso econômico dos países. Na linha histórica de fontes geradoras de energia, encontra-se a lenha, o carvão, o petróleo, a água, o vento, entre tantas outras.

A necessidade da substituição das fontes de energia é consequência do crescimento da população, da escassez das tradicionais fontes geradoras, dos impactos ambientais causados, e dos custos.

Atualmente, a principal fonte geradora de energia recorre aos combustíveis fósseis (petróleo, carvão, gasolina, óleo diesel, gás natural, etc.), mas já há grande contestação quanto ao uso destes combustíveis, devido alguns fatos constatados (KAHIA et al., 2017). Entre eles podem estar o fato de não serem fontes renováveis, ocasionando esgotamento, o uso causa a emissão de dióxido de carbono, um dos grandes responsáveis pelo efeito estufa, além de causar impacto ambiental, provocando mudanças climáticas (SPIEGEL e PRESTON,2003).

A futura escassez desses combustíveis fósseis desencadeou estudos para desenvolver novas fontes geradoras de energia provenientes de fontes renováveis e o aprimoramento das fontes já em uso. Os governos incentivam fortemente esse estudo/aprimoramento, pois consideram a energia como um tema relevante e estratégico e ainda relacionados aos aspectos de segurança nacional (OSSAI,2017; REN21, 2016 e GASPARATOS et al., 2017).

De acordo com dados fornecidos pelo Ministério de Minas e Energia do Brasil o consumo energético nacional está em crescimento contínuo, quase ininterrupto, como indicado na Figura 1. Em 2015 a queda do consumo foi de 1,6% em relação a 2014 quebrando um ciclo de crescimento ininterrupto iniciado em 2001. A perda maior em 2015 ocorreu no setor industrial (-5,6%), que representa 37,5% do total consumido.

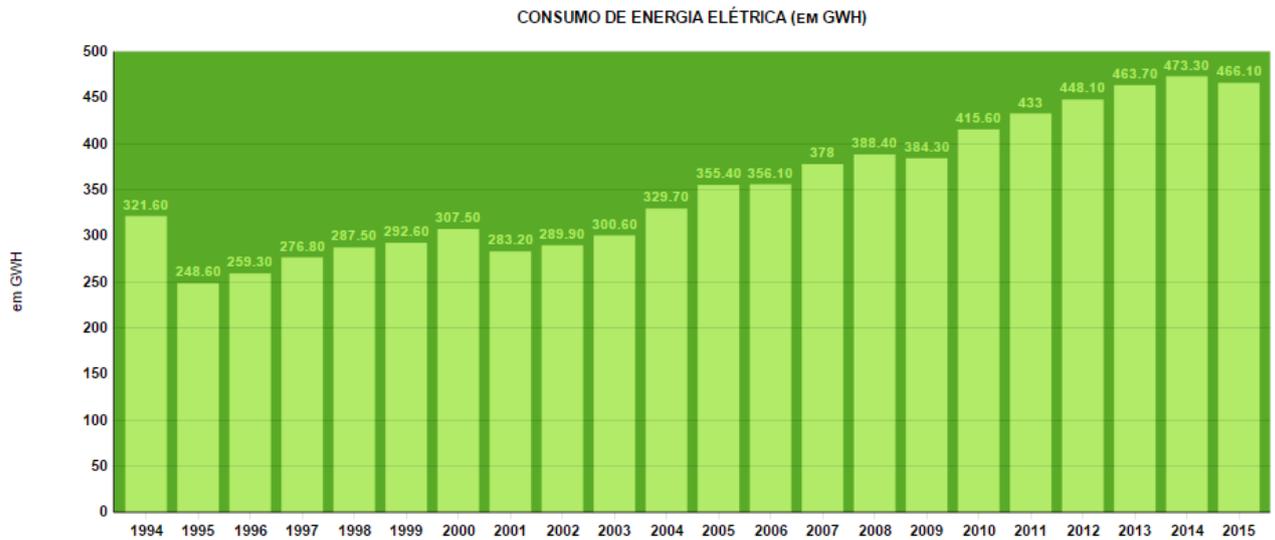


Figura 1. Consumo energético do Brasil. Fonte: Ministério de Minas e Energia do Brasil.

Nesse trabalho iremos considerar diversos tipos de fontes geradoras de energia, conhecidas e estudadas, mesmo que não estejam sendo utilizadas em escala industrial, para estabelecer uma relação entre elas e, assim poder prever o seu uso em 30-40 anos. As fontes geradoras de energia abordadas neste trabalho serão:

- Pilhas a combustível;
- Biomassa;
- Eólica;
- Solar;
- Nuclear;
- Gás natural;
- Geotérmica;
- Oceano-térmica;
- Oceano-ondas;
- Oceano-marés
- Oceano-correntes;
- Oceano-osmótica;
- Hidroelétrica.

O uso da prospecção científico-tecnológica em um trabalho tem por finalidade possibilitar a previsão alicerçada em termos probabilísticos de como estará o mercado em um

futuro tipo probabilístico, e assim estabelecer metas para atender ao novo mercado/situação de modo eficaz. Em geral, empresas e governos recorrem à essas tendências para visualizar um cenário futuro, ou promovendo mudanças ou para controlar o impacto que elas terão ou que trarão à nação (ARNETTE, 2017).

Existem diversas técnicas e métodos de prospecção/previsão, que se enquadram em diversas famílias (Criatividade, Métodos Descritivos e Diretrizes, Métodos Estatísticos, Opiniões de Especialistas, Monitoramento e Sistemas de Inteligência), sendo cada uma mais indicada, dependendo da situação analisada e do objetivo da prospecção. Isso ocorre devido à multidisciplinaridade dos temas, que envolve cada vez mais pesquisadores de diferentes áreas de conhecimento e, com diferentes expectativas, aumentando o número de fatores para a modelagem do problema e, conseqüentemente aumentando o grau de incerteza nos resultados.

O presente trabalho visa determinar a tendência do uso de fontes alternativas de geração de energia e, qual tipo de fonte alternativa será mais relevante no futuro, utilizando a metodologia Delphi, que pertence à família de Opiniões dos Especialistas.

1.1.Objetivos

O objetivo deste trabalho consiste em fazer uma prospecção tecnológica de médio longo prazo, 30 a 40 anos, sobre a aplicação de fontes alternativas de geração de energia, principalmente a elétrica, em escala de produção e quais terão maior importância dentre os segmentos energéticos ao nível mundial.

Nesse estudo, se usará a metodologia Delphi, que tem por base as informações científico-tecnológicas coletadas junto a especialistas dos diversos tipos de fontes geradoras. O trabalho de prospecção tecnológica será realizado com a colaboração de especialistas das áreas governamentais, acadêmicas e industriais.

2.Revisão da literatura

2.1. Fontes alternativas de geração de energia

O processo da produção de energia elétrica pode ser realizado através de diversas tecnologias e fontes primárias, sendo de dois tipos: renováveis e não renováveis. Os padrões atuais de produção e consumo de energia são, em grande parte, baseados nas fontes fósseis, o que gera emissões de poluentes locais, gases de efeito estufa e põem em risco o equilíbrio ambiental a longo prazo no planeta. Tendo em vista as preocupações de segurança energética e alterações climáticas, governos e pesquisadores estão promovendo aumento da disseminação de tecnologias de energias renováveis.

É preciso mudar os padrões atuais de geração de energia, uma vez que o panorama mundial está mudando rapidamente devido à preocupação da população em relação ao meio ambiente, à disponibilidade de energia e à economia global. A resolução do problema ambiental causado pelo uso dos combustíveis fósseis terá que passar por uma mudança radical na matriz energética mundial, que é definida como a descrição de toda a produção e consumo de energia de um país, discriminada por fonte de produção e setores de consumo.

O aumento da participação da energia renovável na matriz energética global dos países ajudaria a causa do desenvolvimento sustentável. Essas fontes somente aumentarão sua participação na matriz energética dos países na medida em que as tecnologias de conversão e uso se tornarem disponíveis e, forem preferidas pelos provedores de serviços de energia e consumidores (RAFIQUE et al, 2017).

Como já ressaltado, em um cenário de crescimento econômico sustentado é de se esperar um grande aumento da demanda de energia. Nessas condições, a estratégia de expansão da oferta de energia deve considerar iniciativas que promovam o uso mais eficiente das fontes. Sabe-se que energia, até chegar ao centro consumidor passa por várias etapas: geração, transmissão, distribuição e a comercialização.

Segundo a literatura especializada, para os próximos anos, as tecnologias que deverão impor-se são: obtenção de materiais com melhor condutividade, compactação dos componentes da rede, segurança no uso final de eletricidade e dispositivos de armazenamento mais eficientes (ATALLA et al, 2017).

Quanto às fontes de geração de energia, dedicaremos nossa atenção às alternativas já implementadas em maior escala (hidrelétrica, nuclear) e outras ainda sendo estudadas em menor escala (ondas do oceano, geotérmica), como pode ser observado na Figura 2. As

energias serão abordadas adiante, mas não iremos detalhar os processos de obtenção de energia, que não é o objetivo deste trabalho, mas sim dar uma ideia de seu funcionamento, demonstrar seu estado de uso atual e apontar suas vantagens e limitações.

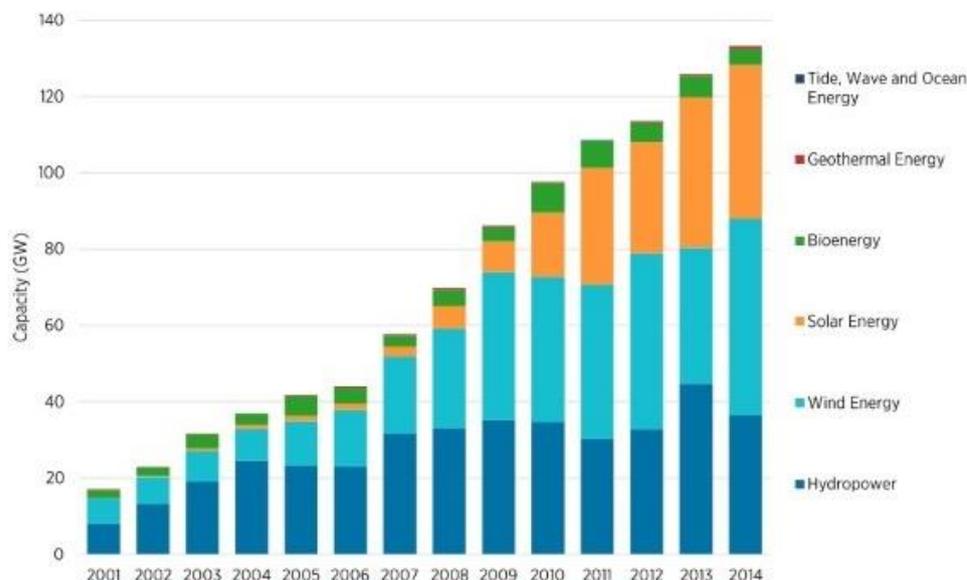


Figura 2. Capacidade de energia renovável instalada. Fonte: International Renewable Energy Agency, baseada em BP Statistical Review of World Energy June 2016 data.

Estudos realizados sobre a aplicação de fontes alternativas de geração de energia elétrica mostram a tendência do aumento do consumo de energia elétrica, como podemos observar na Figura 3, e também o aumento da participação das fontes renováveis no cenário futuro, como nos mostra as Figura 4 e Figura 5. A vantagem de um estudo desse tipo é a possibilidade de governos e empresas se prepararem para o futuro energético com um bom planejamento e, inserir outras fontes de geração de energia na sociedade de forma segura e economicamente viável.

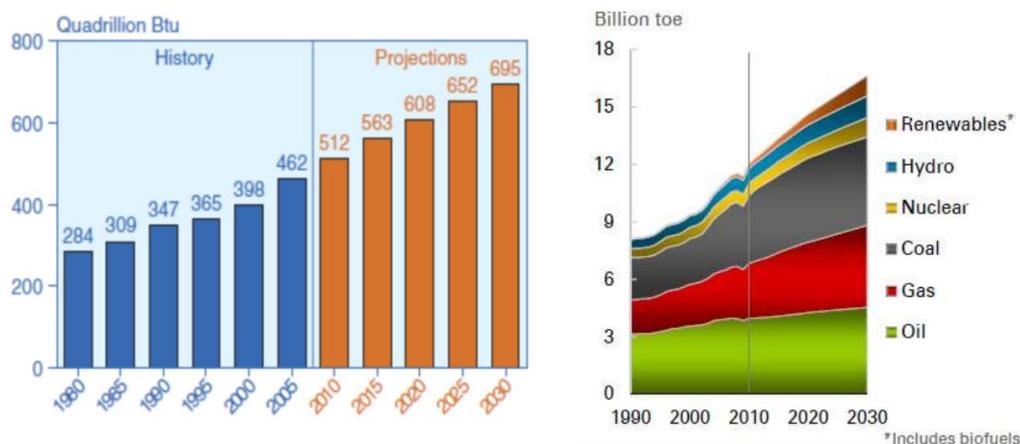


Figura 3. Consumo total de energia no mundo. Fonte: Energy Outlook 2030, BP2012

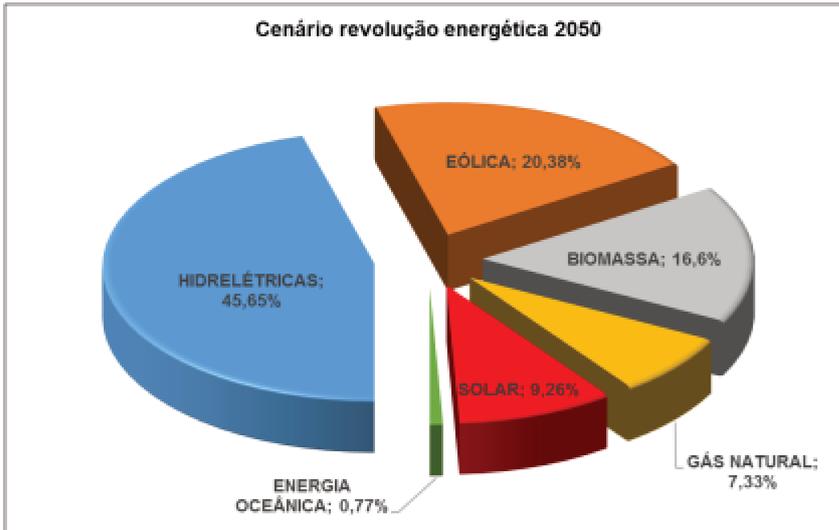


Figura 4. Geração total de eletricidade no Brasil cenário revolução energética para 2050.
Fonte: MME, 2009

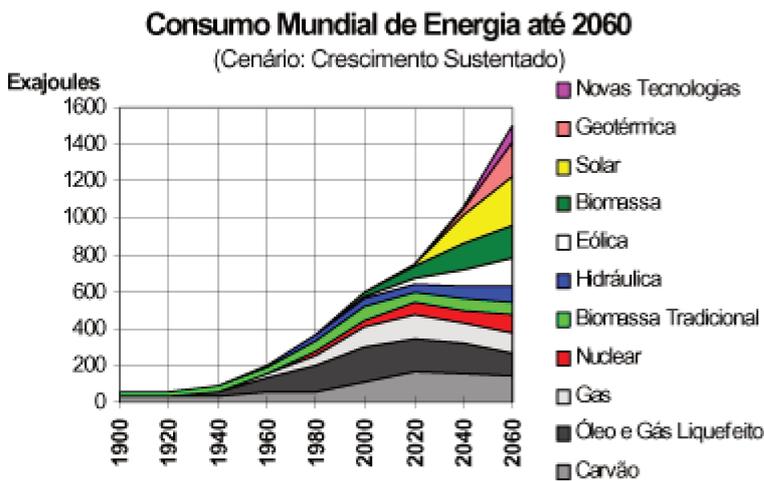


Figura 5. Geração total de eletricidade mundial cenário para 2060. Fonte: DIAS, Mário Sergio Cassoli. Shell Solar: eletrificação rural e desenvolvimento sustentável. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3, 2000, Campinas.

2.1.1. Pilhas a combustível

As pilhas a combustível são dispositivos eletroquímicos que convertem energia química proveniente das ligações químicas entre os componentes em energia elétrica e térmica através da reação eletroquímica entre um combustível (H_2) e um oxidante (O_2).

A descoberta da primeira célula a combustível data de 1839, atribuída a William Grove (1811-1896). Ele foi o primeiro pesquisador que considerou a hipótese da possibilidade de reverter o processo da eletrólise da água e assim gerar eletricidade devido a reação do hidrogênio com o oxigênio.

Todas as células a combustível são constituídas por dois eletrodos, um negativo e outro positivo, designados por ânodo e cátodo, respectivamente. Além disso, todas as células têm um eletrólito, cuja função é transportar os íons produzidos no ânodo para o cátodo, e um catalisador, que acelera as reações químicas nos eletrodos. A Figura 6 ilustra o diagrama de uma célula a combustível.

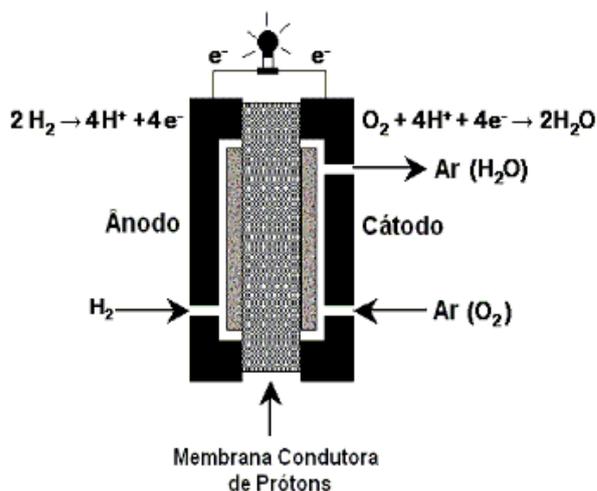


Figura 6. Diagrama de uma célula a combustível do tipo PEMFC. Fonte: Química Nova, 2002.

As pilhas a combustível são um conjunto de células a combustível e, existem seis tipos principais de pilhas a combustível, cada qual possuindo um tipo de eletrólito com temperaturas de operações diferentes, como exemplificado na Tabela 1, fazendo com que tenham aplicações diversificadas, sejam estacionárias ou móveis. Os tipos principais de pilhas a combustível são:

1. Pilhas alcalinas (AFC - *Alkaline Fuel Cell*);
2. Pilhas de membrana polimérica (PEMFC - *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell*);
3. Pilhas com metanol direto (DMFC - *Direct Methanol Fuel Cell*);
4. Pilhas de carbonato fundido (MCFC - *Molten Carbonate Fuel Cell*);
5. Pilhas de ácido fosfórico (PAFC - *Phosphoric Acid Fuel Cell*); e
6. Pilhas de óxido sólido (SOFC - *Solid Oxide Fuel Cell*).

Tabela 1. Características dos diferentes tipos de células a combustível.

Tipo de célula	Eletrólito/ espécie que carrega a carga	Temperatura de operação (°C)
AFC	KOH (30-50%); (OH ⁻)	<100
PEMFC	membrana de Nafion® (H ⁺)	60-120
DMFC	membrana de Nafion® (H ⁺)	60-120
MCFC	Li ₂ CO ₃ / K ₂ CO ₃ ; (CO ₃ ²⁻)	600-800
PAFC	H ₃ PO ₄ (90-100%); (H ⁺)	160-220
SOFC	ZrO ₂ (O ²⁻)	800-1000

Fonte: Química Nova, 2002

A temperatura de funcionamento tem um papel importante no tipo de combustível que pode ser usado para alimentar uma pilha a combustível, pois se a temperatura for suficientemente elevada o hidrogénio pode ser obtido, por exemplo, do gás natural, dentro ou fora da própria pilha. Nas pilhas de baixa temperatura, o combustível que entra em contato com o ânodo no interior da pilha tem de ser o hidrogénio. No caso de o hidrogênio ser proveniente de outro combustível a extração tem de ser feita fora da célula, enquanto que nas pilhas de elevada temperatura, o metano (CH₄) podem ser internamente convertidos em hidrogénio ou até oxidados eletroquimicamente de forma direta (Fuel Cell Handbook, 2004).

2.1.1.1. Cenário atual

O IPHE (*International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy*) foi estabelecido em 2003 como uma instituição internacional com a finalidade de acelerar a transição para uma economia do hidrogênio. Os países parceiros têm o compromisso de colaborar para o avanço do desenvolvimento e comercialização de tecnologias de hidrogênio e pilhas à combustível, num esforço para melhorar a sua oferta de energia e meio ambiente (IPHE, 2013).

Cada país usa a alternativa de produção do H₂ do modo que mais lhes convém, se adequando aos recursos disponíveis em seu território. Os EUA têm como insumo metanol, a energia nuclear, o carvão e gás natural. Embora o carvão e o gás natural sejam combustíveis fósseis, e a produção de hidrogênio através destes insumos resulta em uma redução nas emissões de gases de efeito estufa quando comparado à queima de combustíveis fósseis na produção de energia (CGEE, 2010). Os países da União Europeia priorizam o uso de fontes renováveis de energia elétrica para obterem o hidrogênio, tais como a geração solar fotovoltaica e eólica, associadas aos eletrolisadores para decompor a molécula da água. O modelo brasileiro segue a mesma linha da Europa, onde se busca associar fontes renováveis como a gaseificação da biomassa, reforma do etanol e eletrólise da água.

Inaugurou-se a primeira planta de hidrogênio do Paraná em dezembro de 2014, em uma área de 2 mil metros quadrados dentro do Parque Tecnológico Itaipu (PTI), Foz do Iguaçu. O equipamento permite produzir hidrogênio por meio da eletrólise da água. “Com o hidrogênio, Itaipu evitaria o desperdício de água pelo vertedouro, poderia elevar em até 6% a sua eficiência energética e se tornar referência dentro sistema Eletrobras para a aplicação dessa tecnologia”, disse o coordenador brasileiro da Comissão Interna de Conservação de Energia (Cice), engenheiro Marcelo Miguel (Itaipu Binacional, 2013).

Novos ônibus movidos a hidrogênio entraram em circulação em São Paulo. Em junho de 2015, três ônibus foram entregues ao Estado de São Paulo e postos para circular para teste. No começo do mês de março de 2016, dois deles foram integrados à frota dos ônibus intermunicipais gerenciada pela EMTU/SP. Os trabalhos começaram na Linha 287P Piraporinha a Santo André, em trajeto bastante demandado por usuários. (FINEP, 10 de março de 2016)

2.1.1.2. Vantagens

Entre as vantagens do uso da tecnologia do hidrogênio para produção de energia, citam-se:

- Flexibilidade quanto ao combustível utilizado. Como citado anteriormente, pode-se utilizar energia nuclear, carvão, gás natural, energia solar, energia eólica, hidroelétrica;
- Elevada eficiência na conversão da energia, independentemente do valor da carga, medida pelo quociente gás combustível/ energia elétrica gerada. Por converter energia química diretamente em elétrica, isto é, as pilhas a combustível não usam a combustão como uma etapa térmica intermediária para retirar energia de um combustível fóssil. Assim sua eficiência não está sujeita às limitações dos processos térmicos, que seguem o ciclo de Carnot (WILLIAMS 2002, WENDT et al 2000, MCINTOSH 2004);
- Não exige cursos ou quedas de água;
- Ausência de ruído;
- Baixa emissão de poluentes;
- Geração distribuída (próximo ao consumidor), reduzindo os custos de transporte e de perdas energéticas nas redes de distribuição;
- Facilidade de expansão, devido à sua característica de modularidade, facilmente transportáveis e montadas num determinado local em um intervalo de tempo muito reduzido;
- Possibilidade de utilização do calor residual para cogeração ou aquecimento;

- Baixo custo de manutenção;
- Eliminação da chuva ácida - referente à poluição causadas na atmosfera com o dióxido de enxofre (SO₂) e os óxidos de nitrogênio (NO_x);
- Redução de investimentos em linhas de transmissão, redes de distribuição;
- Operação contínua, pois, gera energia elétrica enquanto houver fornecimento do combustível e do oxidante, sem nunca 'perder a carga', como acontece com as pilhas e baterias comuns;
- O hidrogênio é empregado como elemento principal que, além de matéria prima abundante presente em 90% de todos os átomos do universo, é fonte de energia não poluente.

2.1.1.3. Problemas e limitações

A desvantagem dessa tecnologia é o fato de ser um sistema de alto custo, em comparação com as outras tecnologias de produção de energia elétrica. Isso ocorre devido a uma falta de infraestrutura para a produção, transporte e armazenamento do combustível hidrogênio e também ao uso de platina nos eletrodos das pilhas a combustível. Em relação à etapa de armazenamento, por razões de segurança, evita-se armazenar grandes quantidades do gás gerado nos processos de produção de hidrogênio por meio da dissociação da água, uma vez que nesses processos ocorre a liberação de uma mistura estequiométrica entre hidrogênio e oxigênio, e mistura tem alto poder reativo e produz elevadas temperaturas de chama quando em processo de combustão (HOSSEINE et al, 2016).

Uma outra questão negativa tem a ver com a produção do hidrogênio, que necessita de grandes quantidades de energia e, esta muitas vezes deriva dos combustíveis fósseis. Apesar do baixo custo de manutenção das plantas de hidrogênio, a existência de sistemas auxiliares aumenta a necessidade de elevada manutenção.

Porém, a grande limitação atual do uso das pilhas a combustível está associada aos problemas de custos do transporte e distribuição de novos combustíveis, principalmente o hidrogênio, que precisa de elevada pureza para evitar a contaminação do catalisador nas pilhas. A produção de hidrogênio e a necessidade do uso de metais nobres para a confecção do eletrodo (como a platina) eleva o custo de operação de uma pilha a combustível, se comprado com as fontes convencionais de energia. Salienta-se que a nanotecnologia levou a necessidade de uma menor quantidade de platina nos eletrodos das pilhas.

Neste contexto, ainda segundo Botton (2008), novos materiais e condições de operações estão sendo pesquisados para que sua utilização seja economicamente viável.

Esses fatores, associados aos interesses econômicos das indústrias de combustíveis fósseis e dos países industrializados, dificultam o desenvolvimento tecnológico das pilhas a combustíveis (KREUER,2013).

2.1.1.4. Métodos de produção de hidrogênio

O hidrogênio é o elemento mais abundante da Terra, porém encontra-se naturalmente associado a outros elementos químicos, como: água (H_2O), ácidos (H_3O^+), bases (OH^-), hidretos e compostos orgânicos. A produção de hidrogênio livre necessita que ocorra dissociação das moléculas de compostos.

É importante ressaltar que o hidrogênio não é uma fonte primária de energia, não sendo encontrado em minas ou jazidas, nem produzido, pelo menos em grandes quantidades, através de processos naturais espontâneos (SILVA,1991).

Existem diversos métodos de produção de hidrogênio livre. A definição de qual usar vai variar de acordo com a quantidade que se quer produzir e do seu grau de pureza. As tecnologias de produção do hidrogênio necessitam do fornecimento de energia sobre alguma forma, seja como energia térmica, luz ou eletricidade para que o processo de produção de H_2 se inicie. (SANTOS e SANTOS, 2005). Os métodos mais conhecidos são listados a seguir.

a) Reforma à vapor

Sordi et al (2006), define a reforma como sendo um processo de conversão catalítica de um combustível (líquido, sólido ou gasoso) para um gás que pode ser utilizado como combustível. Os tipos de reforma que podem ocorrer para geração de hidrogênio estão ilustrados na Figura 7. Dentre eles, o método mais utilizado é a reforma à vapor.

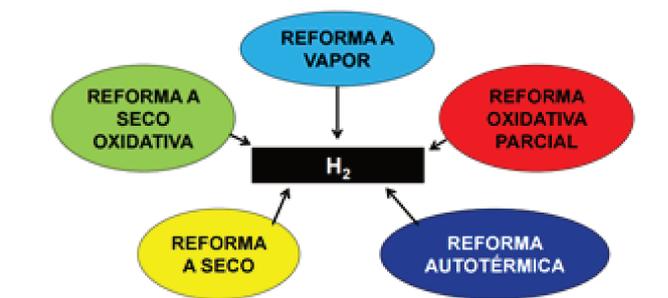


Figura 7. Tipos de reforma para produção de hidrogênio.

Fonte: http://www.unicentro.br/posgraduacao/mestrado/bioenergia/material_didatico/2014/Aula_H2_Prof_Helton_UFPR_538342ca2be3b.pdf

Utiliza-se a reforma à vapor quando não é viável transportar e armazenar o hidrogênio. Esse método se caracteriza por uma reação endotérmica, onde hidrocarbonetos leves são misturados com água e passam por um catalisador de Ni/Al₂O₃ a 800-900°C.

De acordo com Furigo (2007), quando a reforma é realizada a partir do gás natural, constituído basicamente de metano (CH₄), obtém-se a alternativa mais barata e eficiente. Estudos recentes (MANFRO et al, 2013; MAIA et Al, 2007) pretendem substituir o gás natural por etanol, metanol, biomassa, glicerol. Grande parte da produção de hidrogênio hoje é feita a partir da reforma catalítica do gás natural em cerca de 90%.

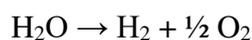
b) Hidrogênio eletrolítico

A eletrólise da água é um processo em que se usa energia elétrica para a decomposição da água na geração de hidrogênio e oxigênio. Esse hidrogênio obtido apresenta-se como uma possibilidade viável para o armazenamento e transporte de energia elétrica, uma vez que pode ser utilizado em pilhas combustíveis para a produção de energia elétrica e térmica, como também pelo fato de poder ser estocado em cilindros, comercializado, ou disponibilizado como vetor energético através de gasodutos (FOSTER et al., 2005 e BOTTON, 2007).

Na eletrólise, a fonte de hidrogênio é a água e o insumo energético é a eletricidade proveniente da rede elétrica de distribuição, cuja origem pode ser de fontes renováveis como, por exemplo, usinas hidrelétricas, painéis fotovoltaicos ou turbinas eólicas, ou de fontes não renováveis, como térmicas a gás natural, carvão ou reatores nucleares.

c) Hidrogênio Termolítico

A molécula da água pode se dissociar gerando hidrogênio e oxigênio, sob condições de elevada temperaturas. Esse processo é chamado de termólise, e é um processo reversível, por isso deve-se controlar o ambiente reativo para que não haja a recombinação dos elementos para a formação de água:



De acordo com Bockris et al (1985), a 2775K apenas 10% da água se dissocia, comprovando o fato da termólise exigir temperaturas muito elevadas para que ocorra a dissociação.

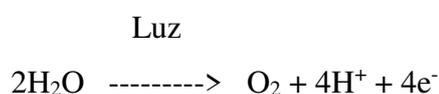
Alternativas têm sido propostas para diminuir a temperatura de trabalho com a utilização de ciclos termoquímicos (BARBOSA et al, 2007). Na literatura podem-se encontrar descritos mais de 200 ciclos termoquímicos, a maioria ainda em fase laboratorial. Desses, três

ciclos estão em estado mais avançado de estudo: ciclo enxofre-iodo, ciclo Westinghouse e ciclo de cálcio-bromo UT-3 (SILVA, 2008).

d) Hidrogênio Fotolítico

Fotólise é o processo de degradação de moléculas orgânicas por meio da radiação luminosa. Esse processo abrange os radicais livres, que dão início ao rompimento das ligações químicas de uma molécula, com a formação de íons. As células fotovoltaicas captam os fótons da luz solar e os utilizam para colocar elétrons em movimento (LEMOS, 2005).

A reação de fotólise da água também é conhecida como reação de Hill, isso porque foi descoberta pelo bioquímico britânico Robert Hill em 1937 e, pode ser escrita, em termos químicos, da seguinte maneira:



Um método derivado da fotólise é a biofotólise, que consiste na ação da luz sobre um sistema biológico para promover a dissociação da água. Nesse processo a conversão da energia solar em hidrogênio ocorre diretamente por microalgas fotossintetizantes (DAS et al, 2008).

2.1.2. Biomassa

No âmbito energético, a biomassa pode ser definida como matéria orgânica, derivada de plantas (resultante da conversão fotossintética) ou de animais, a qual é reservatório temporário de energia química (SIMS, 2002). As principais fontes de biomassa são: lenha, cana-de-açúcar, grãos, frutos oleosos, resíduos vegetais e resíduos orgânicos.

Existe um grande número de tecnologias de conversão energética da biomassa, como a gaseificação, recuperação de energia de resíduos sólidos urbanos e gás de aterros sanitários além dos biocombustíveis para o setor de transportes.

A gaseificação é um processo de conversão termoquímica realizado a altas temperaturas, envolvendo oxidação parcial dos elementos combustíveis de constituição da biomassa. Os gases produzidos na gaseificação são formados por CO, CO₂, H₂, CH₄, traços de hidrocarbonetos pesados, água, nitrogênio e várias outras substâncias, tais como pequenas partículas de coque, cinza, alcatrão e óleos, que são consideradas contaminantes. A composição desse gás de síntese depende do tipo de gaseificador e de suas características. (BAIN et al, 1997)

A tecnologia de gaseificação transforma a biomassa em fonte primária de geração de centrais de geração termelétrica de elevada potência, inclusive naquelas em que há a utilização de gás e vapor, aumentando o rendimento das máquinas.

A tecnologia de recuperação de energia de resíduos sólidos urbanos e gás de aterros sanitários pode ser utilizada na produção de biogás. Segundo Pecora (2006), biogás é uma mistura gasosa combustível, produzida através da digestão anaeróbia, a decomposição de material orgânico. A diversidade dos resíduos orgânicos que podem ser utilizados na produção de biogás torna esse método bastante abrangente e uma alternativa para o aproveitamento do lixo orgânico. Entre os resíduos orgânicos tem-se: esterco de animais, lodo de esgoto, lixo doméstico, resíduos agrícolas, efluentes industriais e plantas aquáticas.

No âmbito dos biocombustíveis, que são produzidos a partir de plantas que absorvem CO₂ e permitem a produção de combustíveis que não emitem gases com efeito de estufa, pode-se citar o biodiesel, que foi definido pela *National Biodiesel Board* dos Estados Unidos como o derivado monoalquil éster de ácidos graxos de cadeia longa, proveniente de fontes renováveis como óleos vegetais ou gordura animal, cuja utilização está associada à substituição de combustíveis fósseis em motores de ignição por compressão (motores do ciclo Diesel). Outro caso de biocombustível é o etanol, que pode ser utilizado puro (em motores adaptados) ou misturado com gasolina. O etanol pode ser obtido através da cana-de-açúcar, milho, beterraba, mandioca, batata. A matéria-prima é submetida a uma fermentação alcoólica, com atuação do micro-organismo *Sacchromyces cerevisiae*.

2.1.2.1. Cenário atual

De todas as opções disponíveis, o etanol da cana-de-açúcar é o maior sucesso comercial dos combustíveis de biomassa em produção atualmente, pois apresenta maior rendimento. O etanol da cana-de-açúcar possui balanço energético positivo e tem sido beneficiado pelo apoio de políticas governamentais em vários países, inclusive no Brasil, que atualmente abastece cerca de 40% do combustível para veículos de passageiros (um terço da sua demanda total de energia para transporte) com etanol (GOLDENBERG, 2009). O etanol é a principal fonte de biocombustíveis no Brasil desde 1970 tanto como único combustível, etanol hidratado (E100), ou misturado à gasolina, neste caso o etanol anidro. O Brasil tornou-se referência mundial em produção sustentável e eficiente do produto, mas é apenas o segundo país que mais produz etanol, sendo os maiores produtores os EUA. Eles, no entanto, fabricam etanol com milho, uma matéria-prima menos eficiente. (GOLDEMBERG et al., 2008).

Em Portugal, uma cadeia de hotéis instalou a primeira rede de energia térmica ligada à biomassa, e a economia com custos energéticos diminuiu cerca de 55% com a utilização dessa fonte de energia. A matéria-prima utilizada para criar a biomassa são os resíduos florestais, que são abundantes na mata do Bom Jesus, local da rede hoteleira. (Revista ANIA, 2014)

2.1.2.2. Vantagens

A vantagem do uso da biomassa como fonte de energia é a possibilidade de ampliar, descentralizar e distribuir a oferta energética, atendendo a regiões que possuem déficit na geração, que possibilitaria aos locais longínquos ou isolados tornarem-se menos dependentes de combustíveis para movimentação de frotas ou como fonte primária de energia (SUZUKI et al 2017). Outras vantagens que podem ser listadas no uso da biomassa para produção de energia são:

- Baixo custo de aquisição;
- Não emite dióxido de enxofre;
- As cinzas são menos agressivas ao meio ambiente que as provenientes de combustíveis fósseis;
- Menor corrosão dos equipamentos (caldeiras, fornos);
- Menor risco ambiental;
- Recurso renovável.

A gaseificação traz impactos positivos ao meio ambiente, onde podemos destacar a absorção do carbono da atmosfera, trazendo um balanço neutro do carbono durante o processo de produção de energia elétrica, contribuindo para redução do efeito estufa.

O biogás pode ser convertido em energia útil de vários modos, incluindo o uso como combustível para motor de combustão interna ou para turbinas de geração de energia elétrica, o uso direto como combustível para queima em fogões e caldeiras, e uma depuração para transporte em gasodutos. Além disso, o uso do biogás substitui o GLP, um derivado de petróleo importado, e não necessita de purificação, removendo-se apenas os líquidos condensados ao longo das vias de captação e distribuição.

Os biocombustíveis reduzem a dependência energética em relação aos combustíveis fósseis, e por isso em março de 2007, os Estados-Membros da UE adotaram o objetivo vinculativo de utilização de, pelo menos, 10% de biocombustíveis, no setor dos transportes até 2020.

2.1.2.3. Problemas e limitações

Os fatores que dificultam o uso da biomassa em grande escala são:

- Possui um menor poder calorífico quando comparado com outros combustíveis;
- Maior possibilidade de lançamento de material particulado para a atmosfera, uma vez que o método de combustão da biomassa não é limpo. Isto significa maior custo de investimento para a caldeira e os equipamentos para remoção de material particulado;
- Os biocombustíveis líquidos contribuem para a formação de chuvas ácidas;
- Dificuldades no estoque, transporte e no armazenamento de biomassa sólida.
- Deflorestação, além da destruição de habitats.

No caso dos biocombustíveis, apesar das vantagens apontadas, sua utilização é um tema controverso. Em primeiro lugar, porque a produção de biocombustíveis consome muita energia e, baseia-se em culturas intensivas, que produzem um gás com efeito de estufa, o óxido de azoto, que também tem efeitos no aquecimento global. Além disso, muitas das terras utilizadas para o cultivo das plantas eram anteriormente regiões com grande capacidade de absorção de CO₂, como é o caso das florestas tropicais. Outras desvantagens apontadas dizem respeito à poluição provocada pelas culturas intensivas, ao elevado consumo de água e à perda da diversidade biológica e dos habitats alimentares. Existe ainda o receio de que a utilização das culturas para produção de biocombustíveis venha a provocar a falta dos produtos agroalimentares e o conseqüente aumento de seus preços (CAMPBELL et al., 2016).

Em relação às desvantagens da energia do biogás, tem-se o fato de que a quantidade de energia gerada não é constante, variando ao longo do período de produção. Considera-se também que os aterros sanitários começaram a receber cada vez menos resíduos como consequência do aumento do uso de técnicas de reciclagem e, tratamento desses resíduos com objetivo dos aterros se tornem desnecessários para as sociedades modernas, e desse modo eliminam uma grande fonte de matéria prima na produção do biogás (CETESB).

2.1.3. Eólica

A energia eólica apresenta constante evolução e com enorme potencial de crescimento, sendo considerada uma das mais promissoras fontes de energia. (LOPES, 2009). Ela é obtida através do movimento das pás do cata-vento (energia cinética) gerado pela movimentação das massas de ar, conforme ilustra a Figura 8.

O deslocamento do ar atmosférico ocorre devido às diferenças de pressão atmosférica, entre duas regiões distintas (gradiente de pressão), influenciadas por efeitos locais, seja por rugosidade da superfície ou pela orografia do local. Isto gera essas diferenças básicas e a distribuição não uniforme da radiação solar pela superfície terrestre, e outros fatores, tais

como, continentalidade, altitude e latitude, que influenciam diretamente os processos de aquecimento das massas de ar atmosférico. Os ventos se deslocam das altas para as baixas pressões e sofrem influências também da rotação da terra. (MUNHOZ, 2008; CARVALHO, 2003)

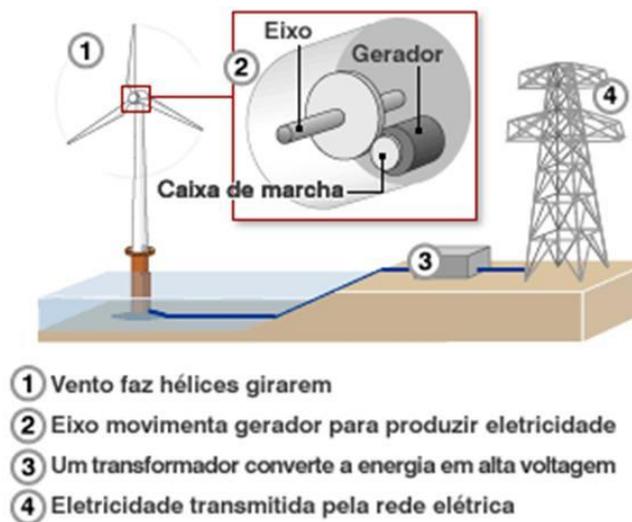


Figura 8. Esquema de um gerador eólico. Fonte: Sciencerocks

As instalações dos parques eólicos (conjunto de turbinas eólicas), atendendo aos requisitos acima mencionados, podem ser construídas tanto *onshore* (terra firme), quanto *offshore* (costa marítima). Podem ser agrupadas como grandes parques eólicos, ou em pequenos modelos, que visam atender as necessidades de abastecimento local.

Os sistemas de geração de energia eólica são divididos em dois grandes grupos, sendo sistemas de alta e baixa potência (TIBOLA, 2009). O que distingue estes dois grupos de geração é a capacidade de produção e a estrutura dos próprios sistemas. Um aproveitamento eólico é constituído fundamentalmente pelos seguintes componentes:

- Turbina Eólica (aerogerador);
- Gerador;
- Eletrônica de potência associada.

Dentre esses, o principal componente é a turbina eólica, que é parte responsável pela conversão da energia cinética dos ventos em energia mecânica e posteriormente em energia elétrica. As turbinas podem ser verticais ou horizontais. As turbinas eólicas verticais são usadas principalmente por ter um melhor comportamento em ventos turbulentos e emitir baixos níveis de ruído em comparação às turbinas eólicas de eixo horizontal. Não existe um

padrão ou formato definido de turbinas eólicas verticais. Enquanto que as turbinas eólicas horizontais são usadas principalmente em regiões agrícolas e com poucos obstáculos, como prédios ou árvores, pois requerem vento mais laminar, ou seja, pouco turbulento.

2.1.3.1. Cenário atual

No Brasil, o Leilão de Energia de Fontes Alternativas 2015 (FA 2015) realizado pela Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) em 27 de abril de 2015 contratou energia de 11 usinas geradoras, sendo oito térmicas e três eólicas. Leilão de energia A-5 de 2016 terá recorde de projetos inscritos 1.055 empreendimentos se cadastraram para leilão que ocorre em fevereiro. Destaque foram os projetos eólicos, que somaram 864 unidades (EPE,2015).

Na Europa, o grupo espanhol Gamesa se fundiu com o fabricante Siemens, criando um gigante global de energia eólica. (AFP, 2016) A Statkraft e a TroenderEnergi juntaram-se com o consórcio ‘Nordic Wind Power DA’ para construir o maior projeto onshore eólico na Europa. (HOVLAND, 2016) Na Escócia, encontra-se o maior parque eólico do Reino Unido, o parque eólico de Whitelee. Na Romênia encontra-se o maior parque eólico em terra da Europa, o de Fântânele-Cogealac (Whitelee Windfarm). Em Portugal, localizado no Alto Minho existe um parque eólico, que foi o maior parque eólico da Europa de 2008 a 2015, perdendo apenas para o da Noruega (EEVM).

2.1.3.2. Vantagens

O vento é um recurso natural e abundante e, por isso essa energia é considerada renovável. Além disso ela não emite poluentes na atmosfera e não gera resíduos, não consome combustível e diminui a emissão de gases de efeito de estufa.

A energia eólica é uma das fontes mais baratas de energia podendo competir em termos de rentabilidade com as fontes das energias tradicionais. Ela pode complementar a rede elétrica, reduzindo a elevada dependência energética do exterior. Salienta-se que as turbinas eólicas não necessitam de abastecimento de combustível e requerem pouca manutenção (HDIDOUAN et al, 2017).

As comunidades onde se inserem os parques eólicos se beneficiam com a possibilidade da utilização do terreno dos parques eólicos para outros fins, como por exemplo a agricultura, criação de gado e turismo, criação de emprego, além da geração de investimento em zonas desfavorecidas.

2.1.3.3. Problemas e limitações

A dificuldade na implementação dessa tecnologia é a necessidade de conhecimento do regime e padrão de vento na área escolhida para o desenvolvimento do projeto. A intermitência do vento dificulta a integração da sua produção no programa de exploração, uma vez que nem sempre o vento sopra quando a eletricidade é necessária. Além disso, o local de instalação do parque eólico precisa ter capacidade de ligação à rede de distribuição de energia elétrica (SUOMALAINEN et al., 2013 e ELLABBAN et al. 2014).

A instalação de um parque eólico modifica a paisagem do local, causa um impacto sonoro constante devido ao embate do vento nas hélices e, pode impactar na fauna local ou migratório, pelo choque das aves nas hélices.

Analisando a questão financeira, o custo inicial das turbinas é muito elevado, quando comparado com outras tecnologias de produção de energia (ELLABBAN et al. 2014).

2.1.4. Solar

A energia solar é o recurso energético mais abundante e contínuo do planeta, e é o responsável indireto por várias outras fontes de energia, como a hidráulica, eólica, biomassa, dos oceanos e dos combustíveis fósseis.

A energia solar pode ser classificada como ativa e passiva. No processo ativo, são utilizados dispositivos para a conversão direta da energia solar em energia elétrica (fotovoltaica) ou em energia térmica (termossolar ou fototérmica). Enquanto que no processo passivo, a energia solar é recolhida e não é transformada em energia elétrica, isso é o caso da construção de projetos para maximizar o uso da luz e da energia térmica solar (TIMILSINA et al., 2011).

No processo ativo, a diferença entre a energia fotovoltaica e a térmica são os equipamentos utilizados para a captação de energia. No primeiro caso são utilizadas células solares, enquanto que no segundo, dois metais semicondutores geram uma diferença de potencial e fluxo de energia elétrica.

A energia fotovoltaica se caracteriza pela conversão de fótons contidos na luz solar em energia elétrica, como na Figura 9, que surge através de uma diferença de potencial em um material semicondutor e, que se caracteriza pela presença de elétrons em duas bandas de energia, denominadas de banda de valência e de banda de condução, separadas por uma banda vazia denominada gap de energia, e esse gap é produzido pela absorção da luz.

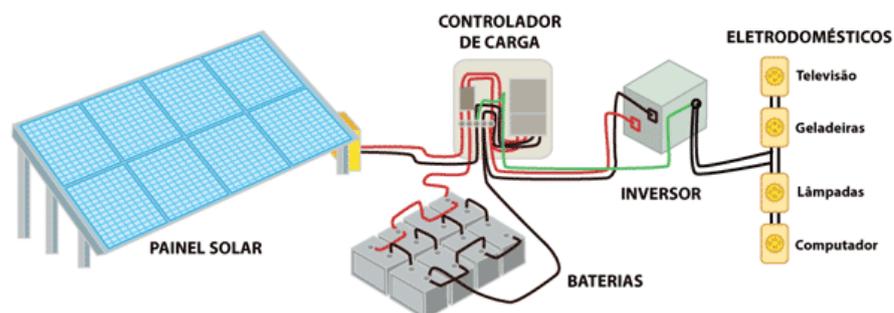


Figura 9. Geração de energia fotovoltaica. Fonte: Atlas da Energia- ANEEL

As células fotovoltaicas são os componentes fundamentais para realizar essa conversão e geralmente são feitas de silício, o segundo material mais abundante da superfície do planeta. A eficiência da conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente sobre a superfície da célula que é convertida em energia elétrica. Atualmente, observa-se um rendimento de 15-18% nas células de silício cristalino (CRESEB, 2006). Entre outros materiais pesquisados para uso na tecnologia fotovoltaica temos o arsênio de gálio e o sulfeto de cádmio (ALDABÓ, 2002).

No caso da energia termossolar, a geração de energia elétrica se dá de forma indireta, através de diversas tecnologias que transformam a energia térmica em elétrica. A aplicação desse sistema ocorre em regiões com alta incidência da radiação solar (REIS dos, 2011).

Diferentemente da energia fotovoltaica, nesse caso utilizam-se coletores solares, que se caracterizam por absorver a radiação solar em forma de energia térmica. A utilização dessa forma de energia implica saber captá-la e armazená-la.

Os coletores solares são aquecedores de fluidos (líquidos ou gasosos) e, são classificados em coletores concentradores, quando há dispositivos de concentração da radiação solar e coletores plano. O fluido aquecido é mantido em reservatórios termicamente isolados. O processo completo é composto por quatro fases: coleta da irradiação, conversão em energia térmica, transporte e armazenamento e conversão em eletricidade (LEMOS, 2005).

2.1.4.1. Cenário atual

Entre os países com maior potência instalada, um grupo formado por China, Estados Unidos, Alemanha, Japão e Itália respondem por 68% do total mundial nesta fonte. Em 2015, a China alcançou o 1º lugar no ranking mundial de geração e os Estados Unidos ficaram em 2º, ambos superando a Alemanha, líder do ranking em 2014 (MME, 2015).

A “indústria solar” tem tido grandes avanços em várias partes do mundo. No Chile, a energia solar está em grande expansão, de tal forma que tem permitido aos chilenos receber eletricidade de forma gratuita. Em 2015, foram 192 dias de eletricidade gratuita em algumas regiões do país (MARCONDES,2016).

Através da Lei das Energias Renováveis o governo da Alemanha estabeleceu um esquema de remuneração fixa para quem instalar painéis solares fotovoltaicos com potencial estipulado por eles e, puder vender a carga excedente para a rede (FIGO, 2016).

A ilha vulcânica de Ta’u, pertencente ao governo dos Estados Unidos, dependia exclusivamente de geradores elétricos e abastecimento de diesel para dispor de eletricidade. Em 2015, a SolarCity e a Tesla desenvolveram uma rede elétrica local baseada principalmente na energia solar. Segundo a SolarCity, essa instalação significará para a ilha uma economia de meio milhão de litros de óleo diesel por ano (PALOU, 2016).

No Brasil, a Finep, juntamente com Petrobras, Eletrosul e Companhia Nacional de Energia Elétrica (CNEE) investiram cerca de R\$ 6 milhões em projeto de desenvolvimento de placas de captação de energia solar, com pesquisadores da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS) (FINEP, 18 de maio de 2015).

De acordo com dados da Agência Internacional de Energia, a energia solar poderá responder por cerca de 11% da oferta mundial de energia elétrica em 2050 (MME,2015).

2.1.4.2. Vantagens

Entre as vantagens do uso da energia solar citam-se:

- Ausência de poluição e de ruídos;
- Não emite dióxido de carbono para a atmosfera, não contribui para a formação da chuva ácida, não resulta na formação de óxidos de nitrogênio.
- As centrais necessitam de manutenção mínima;
- Os painéis solares são a cada dia mais potentes ao mesmo tempo que seu custo vem decaindo. Isso torna cada vez mais a energia solar uma solução economicamente viável;
- A energia solar é excelente em lugares remotos ou de difícil acesso, pois sua instalação em pequena escala não obriga a enormes investimentos em linhas de transmissão;
- Redução de perdas por transmissão e distribuição de energia, já que a eletricidade é consumida onde é produzida (RÜTHER, 2004).

2.1.4.3. Problemas e limitações

Apesar das vantagens acima citadas, a energia solar apresenta algumas limitações para implementação em grande escala. O primeiro fator a ser considerado é o custo inicial muito elevado, na compra e instalação dos equipamentos. Ainda em relação ao custo, os painéis solares têm uma eficiência de cerca 25%, com silício monocristalino (SCHULTZ, 2004), e de até 34% em painéis com configurações mais complexas. (VIAUD, 2004). Considera-se também que as formas de armazenamento da energia solar são pouco eficientes quando comparadas aos combustíveis fósseis e a energia hidroelétrica.

Em relação ao uso dessa fonte de energia, deve-se considerar a variação nas quantidades produzidas de acordo com a situação climática (chuvas, neve, nuvens), além de durante a noite não existe produção alguma (OZOEKWU et al., 2017).

2.1.5. Nuclear

A energia nuclear baseia-se na utilização de uma reação de fissão nuclear do átomo de urânio, geralmente, para a geração de energia elétrica (BROOK et al., 2014). O processo de obtenção de energia se deve ao fato do núcleo do átomo de urânio ser instável e com isso, ao ser bombardeado com nêutrons moderados, rompe-se praticamente ao meio, originando dois núcleos de massa média e liberando 2 ou 3 nêutrons, além de mais energia para realizar a próxima fissão, como ilustrado na Figura 6Figura 10 (SOUZA, 2010). O átomo de urânio pode ser obtido diretamente do minério urânio, encontrado em rochas fosfatadas, ou indiretamente pela desativação de artefatos bélicos, reprocessando o urânio já utilizado e uso da sobra de material de enriquecimento (SILVA,2010).

A fissão nuclear foi descoberta por Otto Hahn e Fritz Straßmann em Berlim-1938 e explicada por Lise Meitner e Otto Frisch (ambos em exílio na Suécia) logo depois, com a observação de uma fissão nuclear depois da irradiação de urânio com nêutrons (ver: projeto de energia nuclear alemão).

A primeira reação em cadeia foi realizada em dezembro de 1942 em um reator de grafite de nome Chicago Pile 1 (CP-1), no contexto do projeto Manhattan, com a finalidade de construir a primeira bomba atômica, sob a supervisão de Enrico Fermi na Universidade de Chicago.

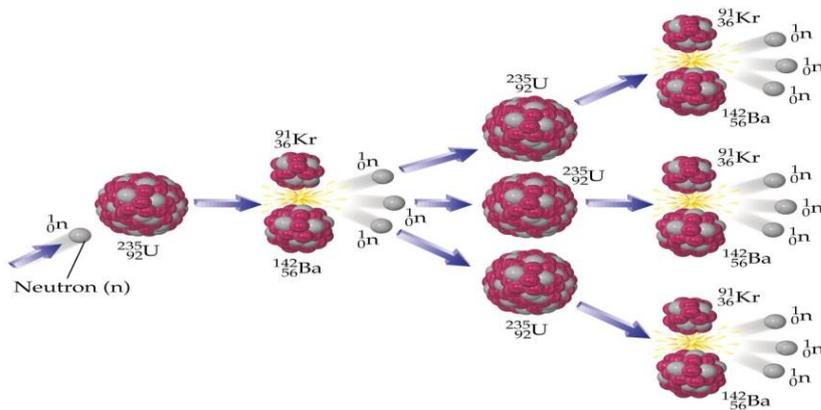


Figura 10. Esquema de fissão nuclear no interior de um reator que opera em cadeia. Fonte: Parque da Ciência.

As usinas funcionam em circuito fechado de água, pressurizada (PWR - *Pressurized Water Reactor*) ou não (LWR- *Light Water Reactor*), para o resfriamento do reator. A água aquecida sob alta pressão passa por um trocador de calor (vaporizador) que a transforma em vapor. Esse vapor movimentava uma turbina que aciona um gerador elétrico. A condensação do vapor que circula pela turbina se faz num trocador de calor (condensador) que é resfriado por outro circuito dotado de uma torre de refrigeração. A energia gerada chega aos consumidores finais através de redes de distribuição. (Figura 11)

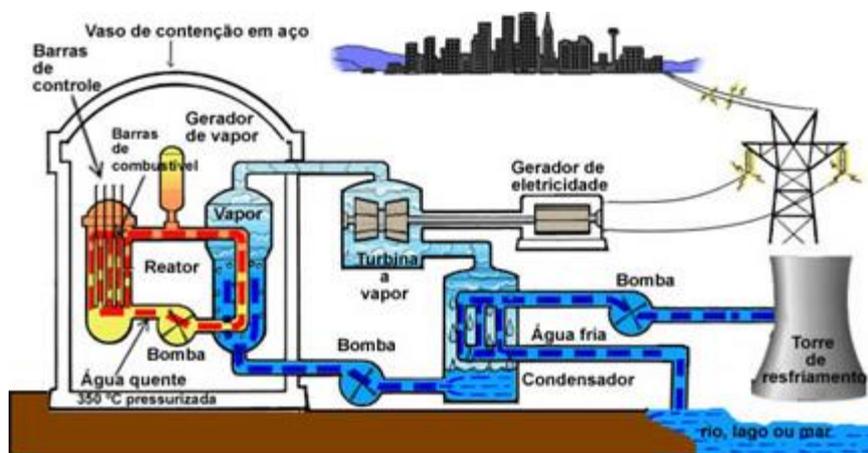


Figura 11. Esquema de um reator nuclear. Fonte: Brasil Escola

2.1.5.1. Cenário atual

Atualmente, no mundo, estão em operação 440 reatores nucleares voltados para a geração de energia em 31 países. Outros 33 estão em construção. Cerca de 17% da geração elétrica mundial é de origem nuclear, a mesma proporção do uso de energia hidroelétrica e da energia produzida por gás (WNA, 2015). No Brasil, cerca de 2,5% da matriz energética

corresponde a geração de energia proveniente das usinas nucleares, dados referentes ao ano de 2014 (MME, 2015).

Em outros países, observa-se que a energia nuclear tem participação significativa na matriz energética, como: França com 78%, a Bélgica 54%, Eslováquia 54%, Ucrânia 48%, Hungria 43%, Eslovênia 43%, o Japão 39%, a Coreia do Sul 35%, a Alemanha 30%, a Suécia 40%, a Suíça 41%, nos Estados Unidos 20% (BARBOSA, 2014).

2.1.5.2. Vantagens

A maior vantagem ambiental da geração elétrica através de usinas nucleares é a não utilização de combustíveis fósseis, evitando o lançamento na atmosfera de poluentes.

Outra vantagem das usinas nucleares é o baixo custo do urânio, uma vez que as quantidades mundiais exploráveis são muito grandes e não oferecem risco de escassez em médio prazo, tornando essa fonte de energia de custo relativamente baixo, se comparado com as outras fontes de geração de energia. É uma das fontes mais concentradas na geração de energia, por exemplo um quilo de madeira produz 2 kWh; de carvão produz 3 kWh e de óleo 4 kWh. No entanto, se usarmos a mesma quantidade de urânio, obtem-se 60 kWh.

Essa fonte de energia possui um fácil transporte de sua matéria-prima; não ocupa grandes áreas e podem ser instaladas próximas aos centros consumidores e não dependem de fatores climáticos para o seu funcionamento (WEHRDEN et al,2012 e DEGUELDRE,2017).

Um ponto controverso da utilização de energia nuclear, é a questão da segurança e da opinião popular. Porém, se considerarmos os acidentes com mortes, ocorreram apenas dois, e por isso é uma fonte de energia segura. Foram realizadas pesquisas de opinião nas regiões de maior produção de energia nuclear (Europa, Estados Unidos e Ásia) e, os habitantes concordam com a necessidade de construção de novas usinas nucleares e, a substituição de plantas antigas por novas. Esse resultado das pesquisas corrobora com a opinião de James Lovelock (autor da “Teoria de Gaia”) e Patrick Moore (fundador do Green Peace), que declararam que a energia nuclear é necessária para reduzir os riscos do aquecimento global (ELETRONUCLEAR).

2.1.5.3. Problemas e limitações

As limitações do uso da energia nuclear estão listadas a seguir, de acordo com Gralla et al (2016):

- O urânio é uma energia não renovável;
- Impacto ambiental causado nos rios pelo descarte da água com elevada temperatura, que é utilizada no arrefecimento dos reatores;

- Dificuldade de descarte do lixo radioativo gerado;
- O risco de acidente, apesar de ser baixo;
- Risco do uso da matéria prima para fins bélicos;
- Custo elevado, tanto no investimento inicial como na manutenção;
- Perda da confiança do público devido às preocupações em torno da segurança, manejo do lixo radiativo e proliferação de armas nucleares, principalmente após os acidentes em Chernobyl, Césio 37 em Goiânia e Fukushima e os ataques com bomba atômica em Hiroshima e Nagasaki

2.1.6. Gás natural

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos leves, predominantemente metano (CH₄), que a temperatura e pressão atmosférica ambiente, permanecem no estado gasoso. Na natureza, ele é originalmente encontrado em acumulações de rochas porosas no subsolo, tanto terrestre como marinho (SANTOS et al, 2007).

Todos os hidrocarbonetos gasosos podem ser obtidos através de processos de refino do petróleo bruto, e também da gaseificação do carvão.

2.1.6.1. Cenário atual

O gás natural é a terceira fonte mais importante na matriz energética mundial, atrás do petróleo e do carvão. A sua participação na oferta de energia primária no mundo apresentou uma tendência crescente a partir da década de 1980, mantendo-se em torno de 21% até os anos 2000. (IEA,2015 e MOUTINHO DOS SANTOS et al, 2002)

O maior produtor mundial de gás natural são os Estados Unidos, seguidos pela Rússia, que juntos correspondem a quase 40% da produção global. Estes países, juntamente com a China são os maiores consumidores de gás natural, e esses três países consumiram 40% do total de energia produzida pelo gás natural, no ano de 2014. (Petrobras)

No Brasil, o gás natural começa a ganhar espaço na matriz energética. O governo federal teve como meta elevar a participação do gás natural de 8,9% (em 2005) para 15% em 2015 (Petrobras). Isso já pode ser observado no 21^a Leilão de Energia Nova (A-5), onde a maior parte da potência habilitada foi proveniente de empreendimentos termelétricos a gás natural, representando 65% (EPE,2015).

2.1.6.2. Vantagens

O gás natural possui menos contaminantes que outras fontes de energia, como o óleo diesel, sua queima produz uma combustão mais limpa (libera cerca de 20 a 23% menos CO₂ do que o óleo combustível e 40 a 50% menos que o carvão), maior facilidade de transporte e manuseio, se comparado com o GLP (gás liquefeito de petróleo), que exige grande infraestrutura. Além de não requer estocagem, eliminando os riscos do armazenamento de combustíveis e, proporciona maior segurança em caso de vazamento, porque é mais leve do que o ar e se dissipa rapidamente pela atmosfera.

Outras vantagens que podem ser citadas a respeito desta forma de geração são os pequenos volumes de investimentos, pequeno prazo de construção, possibilidade de construção das usinas próximas aos centros de consumo, geração de empregos no local, estímulo a investimentos para a região, pequenas áreas ocupadas, flexibilidade operacional e não está sujeita a fenômenos climáticos.

O uso do gás natural possibilita o uso direto da energia térmica, eliminando etapas da transformação da energia, conseqüentemente, a eficiência e o rendimento do processo é elevado às fontes convencionais.

A amplitude de aplicações do gás natural o torna um competidor potencial de quase todas as outras fontes de geração de energia. O gás compete com o carvão, com o óleo combustível, com as hidroelétricas e com a energia nuclear para geração da eletricidade, e ainda com a gasolina, o diesel e o álcool na área veicular (HOLZ et al., 2015).

2.1.6.3. Problemas e limitações

Entre os problemas do uso do gás natural está a questão de que ele é uma fonte não-renovável e não está totalmente isento dos problemas ambientais, visto que sua utilização também contribui, em taxas reduzidas, para a poluição atmosférica e para intensificação do efeito estufa e também podem ocorrer derramamentos de navios petroleiros, vazamentos em plataformas e gasodutos (SHAIKH, et al., 2017).

Além disso, há os problemas gerados por seu uso nas usinas termelétricas, em especial a necessidade de um sistema de resfriamento, causando desperdício de água e elevada emissão de particulado na atmosfera (CAI et al, 2015).

Em relação à parte financeira, a questão principal para a implementação do gás natural é o investimento elevado em infraestrutura para o transporte e distribuição do gás.

2.1.7. Geotérmica

A energia geotérmica é definida pelo European Geothermal Energy Council (EGEC) como a energia armazenada sob a forma de calor abaixo da superfície terrestre. A energia térmica flui continuamente sobre a superfície do planeta Terra, a partir do seu interior, onde temperatura é de cerca de 6 000 °C. O calor do interior da Terra é transferido por meio de fluxos condutivos e convectivos do magma sob a crosta terrestre. A energia geotérmica é baseada no fato que esses fluxos de calor não são distribuídos uniformemente sob a crosta terrestre. Nas regiões próximas às placas tectônicas, a transferência de calor é maior, devido às atividades vulcânicas. (SORENSEN, 2007)

A primeira tentativa de gerar eletricidade de fontes geotérmicas, deu-se com o trabalho em 1904, em Larderello na região da Toscana, na Itália. Contudo, esforços para fabricar uma máquina capaz de aproveitar tais fontes não obtiveram sucesso pois as máquinas utilizadas sofreram destruição devido a presença de substâncias químicas contidas no vapor. Já em 1913, uma estação de 250 kW foi montada com sucesso e por volta da Segunda Guerra Mundial, 100 MW estavam sendo produzidos, mas a usina foi destruída pela guerra.

As fontes geotérmicas podem ser compostas de uma mistura de água e vapor, incluindo o solo e partículas suspensas de rocha. A tecnologia para a conversão de energia geotérmica em calor útil e eletricidade pode ser classificadas como bombas de calor geotérmicas, aplicações de uso direto e usinas de energia geotérmica (FRANCHI, 2004).

A produção de eletricidade pode ocorrer tanto a partir do vapor de água de origem geotérmica (centrais tradicionais), com turbinas a vapor e unidades de condensação, como a partir de fluidos geotérmicos (centrais de vapor de fuga), ou também a partir diretamente das rochas. No caso de operar a partir de fluidos geotérmicos, as turbinas são acionadas pelo vapor de um fluido intermediário e não diretamente pelo vapor geotérmico. O uso do fluido intermediário possibilita a realização do processo de geração de energia em menor temperatura do que no caso do uso direto do vapor geotérmico (CARVALHO, 2004).

A utilização de bombas permite o aproveitamento do calor dos aquíferos para a geração de energia, através de trocadores de calor, conforme Figura 12. Geralmente são realizados dois ou mais furos na região que se pretende explorar, e fragmenta-se a rocha existente entre eles. Em seguida é injetada água num dos furos que circula através das fendas, aumentando a sua temperatura, e que sobe através do outro furo como água quente ou vapor. À superfície existe uma central de vapor ou uma central binária (processo em circuito fechado), que converte a água ou vapor em eletricidade. A água resultante, agora a

temperaturas menos elevadas, é introduzida novamente no furo de injeção iniciando novo ciclo de aquecimento.

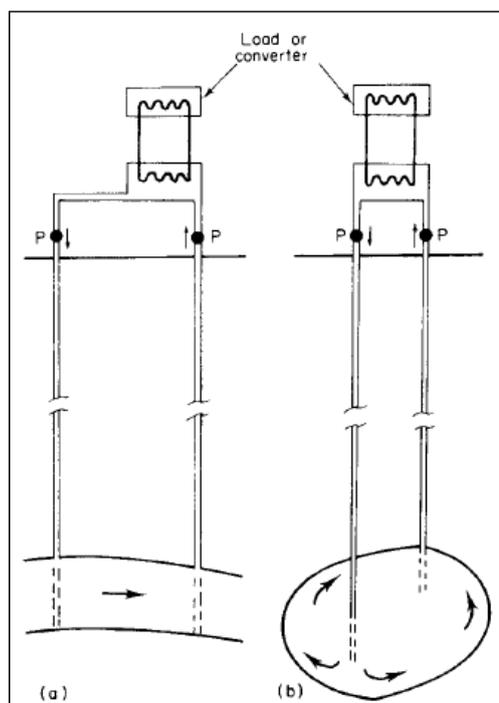


Figura 12. Exemplo de utilização de uma fonte geotérmica, (a) baseada em um aquífero e (b) baseada em uma rocha. Fonte: Sorensen, 2007

2.1.7.1. Cenário atual

Hoje, os poços de petróleo e gás já em produção representam uma grande fonte em potencial de geração de energia geotérmica, pois em muitos reservatórios de petróleo e gás existentes, uma quantidade significativa de água a alta temperatura ou em condições de alta pressão adequadas ao processo, o que permitiria a coprodução de energia elétrica juntamente com a extração de petróleo e gás natural. Em alguns casos, a exploração desses recursos geotérmicos poderia até mesmo aumentar a extração de petróleo e gás. As maiores instalações de produção de energia geotérmica no mundo são os gêiseres na Califórnia e na Islândia (SORENSEN, 2007).

Os Estados Unidos é o líder global em capacidade geotérmica instalada, possuindo centrais geotérmicas em oito estados, sendo o principal deles a Califórnia, que produz cerca de 7% da eletricidade do Estado. Em milhares de casas e edifícios em todo o Estados Unidos, o “calor geotérmico” bombeado também é usado para controle de temperatura, podendo ser usado para aquecer ou refrigerar edifícios (SOBRAL e TELMO, 2014).

Portugal conta com uma moderna central geotérmica em funcionamento na Ilha de São Miguel, Açores, cuja produção contribuiu, em 2008, com cerca de 40% na estrutura de produção daquela ilha. (BROWN, 1999) Em Portugal ainda existem centrais geotérmicas em Chaves e S. Pedro do Sul, em Lisboa (Hospital da Força Aérea do Lumiar).

Na Nova Zelândia, o campo de gases de Wairakei, na Ilha do Norte, foi desenvolvido por volta de 1950. Em 1964, 192 MW estavam sendo produzidos, mas hoje em dia este campo está esgotado. Na Islândia mais de 50 por cento de sua energia primária a partir de fontes geotérmicas. Centrais instaladas próximas de zonas vulcânicas já são responsáveis por suprir cerca de 30% da energia elétrica consumida por El Salvador e 15% das Filipinas.

2.1.7.2. Vantagens

A energia geotérmica tem um custo de produção de eletricidade baixo, se equiparando com a energia hídrica, eólica e até mesmo carvão, petróleo, a gás e energia nuclear. Esse tipo de energia não necessita de armazenamento de combustível, não libera gases tóxicos na atmosfera, uma vez que não ocorre combustão, não prejudica a terra e a área necessária para construção da central geotérmica é pequena, quando comparada com outras fontes de geração de energia.

Outro ponto positivo das centrais geotérmicas é que elas não dependem das condições climáticas e são projetadas para funcionar 24 horas por dia, durante todo o ano. Devido à sua forma modular, o tamanho de cada central é proporcional à área e quantidade de energia que se deseja produzir (ALLIS,2000).

2.1.7.3. Problemas e limitações

O sistema de geração de energia geotérmica tem um investimento inicial elevado, e baixo custo de manutenção da bomba de sucção de calor é contrabalançada pelo elevado custo de manutenção dos canos (onde a água causa corrosão e depósitos minerais). Essa água vinda do interior da Terra contém minérios prejudiciais à saúde, e por isso não pode ser despejada em rios locais sem tratamento prévio.

Ainda em relação a essa água, a grande quantidade que é retirada da Terra pode provocar subsidência na superfície, como ocorreu na usina geotérmica de Wairakei, onde o nível da superfície do solo afundou 14 metros entre 1950 e 1997 (ALLIS,2000).

A grande limitação do uso dessa fonte de energia, na verdade, é a questão geográfica, pois se não for usado nas zonas onde o calor do interior da Terra vem à superfície através de gêiseres e vulcões, então a perfuração dos solos para a introdução de canos é dispendiosa.

2.1.8. Hidroelétrica

A água é o recurso natural mais abundante na Terra com cerca de 2/3 da superfície terrestre se encontrando na forma de oceanos, rios e lagos, aquíferos subterrâneos e nas calotas polares (ANEEL, 2008).

As antigas rodas d'água e moinhos foram os precursores da energia hídrica há 2000 anos atrás, com a utilização da energia cinética dos rios para geração de energia mecânica, esta utilizada para bombeamento da água e moagem dos grãos. Os Estados Unidos foram os pioneiros na construção de usinas hidroelétrica, em 1882, utilizando as quedas da água das cataratas do Niágara.

A conversão da energia hidráulica em elétrica é feita em duas etapas: na primeira, a energia hidráulica é transformada em energia mecânica, e na segunda, ocorre a conversão da energia mecânica em energia elétrica.

As usinas hidroelétricas podem ser de dois tipos. As usinas mais comumente utilizadas, são as usinas com Reservatório de Acumulação (Figura 13a), onde ocorre a construção de barragens, com a colocação de diques interrompendo o curso d'água. O segundo tipo de hidroelétrica são as usinas a Fio d'Água (Figura 13b), que se caracteriza por não haver formação de barragens. As turbinas são colocadas no leito do rio, próximas à superfície e utilizam a velocidade do rio para gerar energia (IEA, 2006).

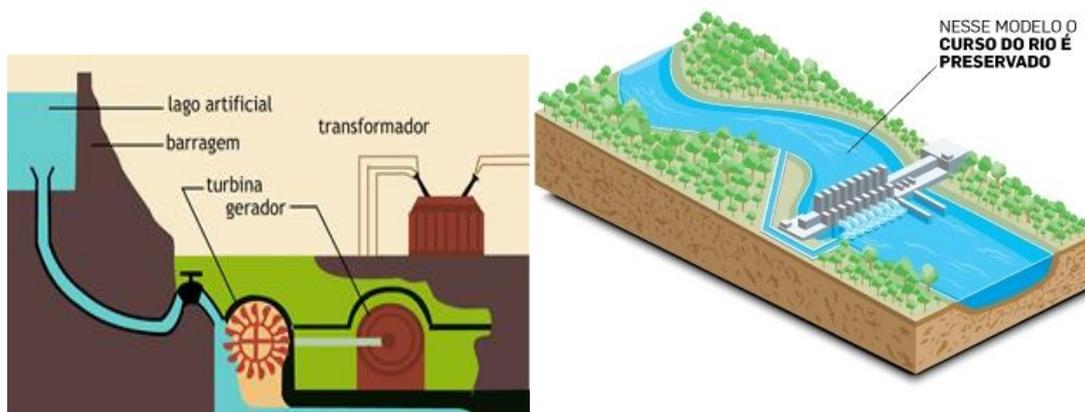


Figura 13. Tipos de usinas hidrelétricas. (a) Usina com Reservatório de Acumulação. Fonte: SóBiologia (b) Usina a fio d'água. Fonte: <http://usinabaixoiguacu.blogspot.com.br/2014/02/usinas-hidreletricas-fio-dagua.html>, acessado dia 19/04/2016

As barragens têm como principal função o armazenamento de água nos períodos de cheias, mas também são utilizadas em casos em que não há um desnível natural acentuado, elevando o nível do leito do rio e formando a queda d'água, e assim permitindo a captação de água em um nível adequado. A água armazenada nas épocas de cheia é utilizada nos períodos

de seca, controlando a vazão natural do rio e possibilitando a geração de energia em todos os períodos. Enquanto que nas usinas a fio d'água não há essa possibilidade de armazenamento de água para os períodos de estiagem, pela inexistência das barragens.

A classificação de uma usina hidrelétrica pode ser realizada considerando diversos fatores interdependentes: altura da queda d'água, vazão, capacidade ou potência instalada, tipo de turbina empregada, localização, tipo de barragem e reservatório. Assim, a altura da queda d'água e a vazão dependem do local de construção, determinará qual será a capacidade instalada, que por sua vez, determina o tipo de turbina, barragem e reservatório.

As usinas hidrelétricas são classificadas de acordo com a potência instalada, segundo a ANEEL como:

- CGH: Centrais Geradoras Hidrelétricas (com até 1 MW de potência instalada);
- PCH: Pequenas Centrais Hidrelétricas (entre 1,1 MW e 30 MW);
- UHE: Usina Hidrelétrica de Energia (com mais de 30 MW).

2.1.8.1. Cenário atual

Atualmente tem-se aumentado a instalação das PCHs, devido fato de causarem menor impacto ambiental quem as UHE e de serem mais facilmente introduzidas em infraestruturas urbanas já existentes. Além disso, podem ser construídas em rios com baixa vazão, e contribuem para a geração de eletricidade descentralizada e levam um tempo menor para sua construção (SETANI et al, 2014).

A hidrelétrica é a principal fonte de energia renovável, fornecendo 71% de toda a eletricidade renovável no mundo. Considerando todas as fontes de geração de energia, e não apenas as renováveis, gerou 16,4% da eletricidade mundial.

A China tem 26% da capacidade global instalada em 2015, à frente dos EUA (8,4%), do Brasil (7,6%) e Canadá (6,5%). Novos desenvolvimentos significativos concentram-se na China, América Latina e África (World Energy Resources 2016).

O Brasil é o segundo maior produtor de energia por meio da hidrelétrica (Figura 14), e no último leilão de energia (Leilão A-5), dos 29 empreendimentos contratados, 20 correspondem as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e 1 nova usina hidrelétrica (EPE,2015).

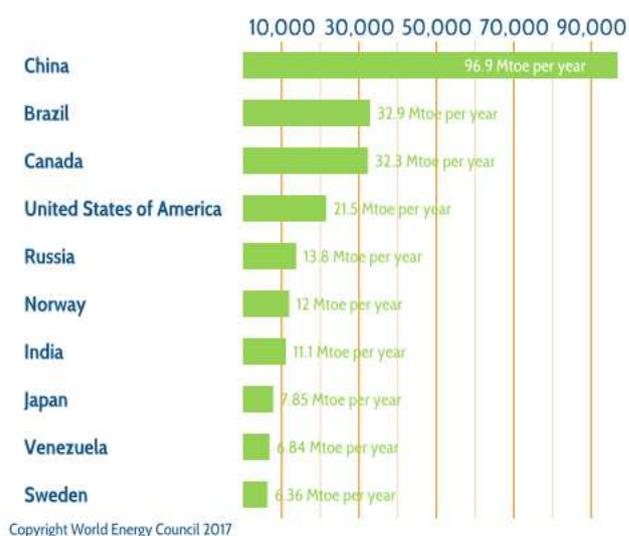


Figura 14. Maiores países produtores de energia por meio de hidrelétrica. Fonte: World Energy Council 2017

2.1.8.2. Vantagens

A água é um recurso renovável, além de ser uma das fontes de geração de energia mais limpas. O custo de geração de energia é baixo, não gera resíduos e não libera gases tóxicos.

Além da geração de energia elétrica, o aproveitamento hidrelétrico proporciona o desenvolvimento local, e o uso dos reservatórios pode ser usado para o consumo, a irrigação, navegação e amortecimentos de cheias (PELLIZZONE et al. 2017).

Estudos recentes comprovam que os reservatórios das hidrelétricas podem absorver gases de efeito estufa, amenizando o aquecimento global (ELETROBRAS).

2.1.8.3. Problemas e limitações

A construção de usinas hidrelétricas exige a formação de grandes reservatórios de água que acabam por provocar profundas alterações nos ecossistemas. Pode provocar a erosão de solos, os quais consequentemente afetam a vegetação local e também pode provocar o deslocamento de populações ribeirinhas.

A necessidade de construção dessas usinas hidrelétricas em leitos de rio faz com que as construções sejam, geralmente, afastadas dos grandes centros consumidores de energia. E por isso a corrente e a voltagem geradas devem ser transmitidas e distribuídas por sistemas constituídos por grandes extensões de cabos, suportados por altas torres. As hidrelétricas têm elevados custos de instalação e de desativação. O transporte dessa energia tem perdas e é de alto custo (BRAVI et al, 2014 e ATLASON et al., 2017).

2.1.9. Oceano

A energia de “fontes oceânicas” vem ganhando cada vez mais espaço entre as renováveis, é definida como energia derivada de tecnologias que utilizam como força motriz, as características químicas ou o gradiente térmico da água do mar. O desenvolvimento mais lento frente às outras fontes renováveis, como a eólica, solar e biomassa, se deve principalmente às grandes dificuldades técnicas de geradores que resistam a corrosão (KHAN et al., 2017).

Há diversos tipos de obtenção de energia pelo oceano, cada uma com diferentes origens e com forças motrizes variadas nas regiões do planeta, são elas: ondas, correntes, marés, diferença de salinidade (osmose) e diferença de temperatura (térmica). A seguir são explicadas as especificidades de cada tipo.

2.1.9.1. Térmica

A energia obtida da diferença de temperatura do oceano (*OTEC - Ocean Thermal Energy Conversion*) se baseia no fato do aquecimento solar desigual das superfícies do oceano, gerando um gradiente descendente da temperatura na maioria dos oceanos. Nas áreas tropicais do planeta, pode-se observar esse gradiente de temperatura e também, devido às correntes, uma grande capacidade de transporte de energia térmica (BANEJEE et al, 2017).

Em 1881, Jacques Arsene d'Arsonval, físico francês, foi o primeiro a propor a exploração da energia térmica do oceano. Georges Claude, um estudante de d'Arsonval, construiu um sistema de ciclo aberto OTEC experimental na Baía de Matanzas, Cuba, em 1930. O sistema produzia 22 quilowatts (kW) de eletricidade através de uma turbina de baixa pressão.

De acordo com Etemadi et al. (2011), uma planta OTEC trabalha com a diferença de temperatura entre a água da superfície do oceano e a água localizada em um ponto a 1.000 m de profundidade. Em áreas tropicais, este gradiente de temperatura é em torno de 20 °C. Essa diferença ocorre porque a água do mar se torna fria conforme a profundidade aumenta (REIS; SOUZA, 2007).

O princípio de funcionamento desse sistema, de acordo com Silva (2004), se baseia na expansão de uma turbina a vapor. No processo ocorre a captação da água quente da superfície e água fria do fundo do oceano, e em uma máquina térmica com um fluido de baixo ponto de ebulição (geralmente amônia), esse fluido se vaporiza e aciona as turbinas de geração elétrica, conforme ilustrado na Figura 15

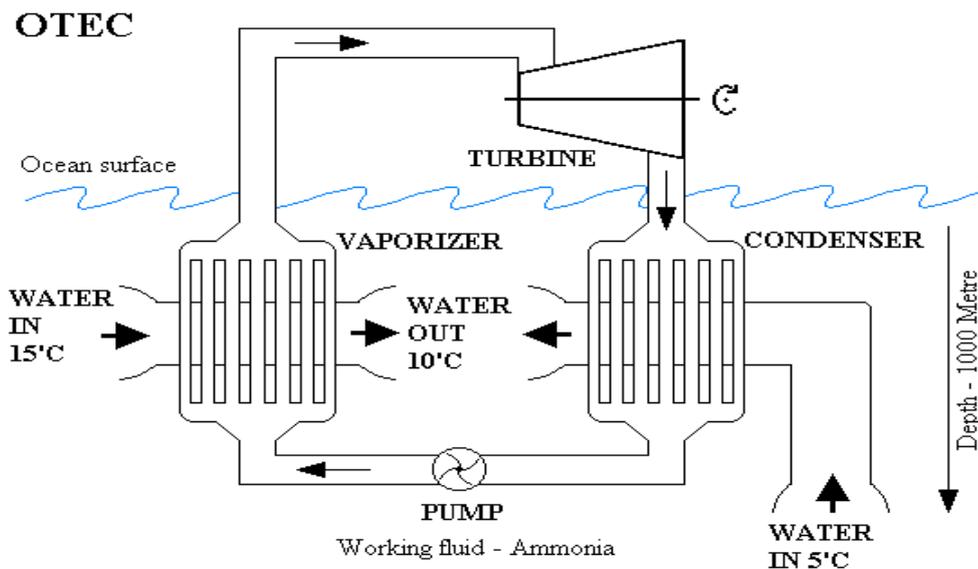


Figura 15. Esquema de funcionamento de um sistema OTEC. Fonte: Adaptado de Tidal Energy Today.

Três tipos de sistemas OTEC são reconhecidos: centrais de ciclo fechado, centrais de ciclo aberto e plantas híbridas. Um sistema OTEC pode ser construído em terra perto uma costa, instalado perto da costa em uma plataforma continental, ou montado em estruturas flutuantes para uso offshore.

A) Cenário atual

O governo dos Estados Unidos junto com empresas privadas, construiu um sistema pequeno de OTEC em um navio no Havaí. O sistema é capaz de alimentar a iluminação do navio e manter os computadores funcionando.

A Lockheed Martin, empresa norte-americana do setor aeroespacial, e a Reignwood Group, conglomerado empresarial com sede em Hong Kong, firmaram uma parceria para construir uma usina-piloto OTEC na costa sul da China para fornecer a energia necessária para um grande resort ecológico.

B) Vantagens

As vantagens dessa tecnologia para a geração de energia elétrica são:

- Impacto ambiental praticamente nulo;
- Produção constante, podendo produzir energia 24 horas por dia, 7 dias por semana;
- Independe das condições climáticas;
- Não necessita de armazenamento;

- Fonte de produção de água dessalinizada, que serve como água potável;

Pode ser usada para produzir metanol, amônia, hidrogênio, alumínio, cloro e outros produtos químicos (REIS; SOUZA, 2007).

C) Problemas e limitações

O alto investimento inicial necessário para construção de uma planta OTEC é uma das dificuldades para sua implementação. A questão geográfica também é um fator limitante, uma vez que as usinas são limitadas a áreas em que há, pelo menos, 40 graus na diferença da temperatura da água durante o ano inteiro e/ou a áreas onde a água profunda está bem perto da costa.

Esse sistema é somente 6% eficiente em condições ideais (a maior parte dos projetos de OTECs ficam entre 2% e 3% de eficiência). Esse tipo de fonte de energia não é totalmente limpo, pois libera de dióxido de carbono na atmosfera (BANEJEE et al, 2017).

2.1.9.2. Marés

A energia das marés, também chamada de energia maremotriz, é consequência da atuação das forças gravitacionais e centrífugas entre a Terra, a Lua e o Sol (ROURKE, BOYLE, et al., 2010). Uma das vantagens desse processo, frente às outras formas de geração de energia renovável, é a possibilidade de prever o comportamento das marés em um grande espaço de tempo (DENNY, 2009).

A força das marés tem sido aproveitada desde o século XI, quando franceses e ingleses utilizavam esse artifício para a movimentação de pequenos moinhos. Porém, o primeiro grande projeto para a geração de eletricidade através das marés foi realizado em 1967. Nesse ano, franceses construíram uma barragem de 710 metros no Rio Rance, aproveitando o potencial energético das marés.

A energia maremotriz pode ser obtida tanto pela movimentação das correntes (energia cinética) como pela diferença de altura entre a maré alta e a maré baixa (energia potencial), nesse último caso recomenda-se que haja uma diferença de altura de pelo menos 5 metros. (DENNY, 2009).

O aproveitamento energético é obtido através da construção de uma barragem, contendo uma turbina e um gerador. A comporta da barragem é aberta quando a maré sobe, fazendo com que a água entre, em seguida, essa mesma comporta é fechada, e a água que entrou fica armazenada (ROURKE et al., 2010). Após o armazenamento da água outra comporta é aberta, formando uma queda d'água que faz com que os moinhos comecem a girar. Esses moinhos são ligados a transformadores e geradores de eletricidade (vide Figura

16), tal como ocorre em uma usina de geração de energia eólica. As turbinas podem ter um eixo horizontal de rotação ou de um eixo de rotação vertical.

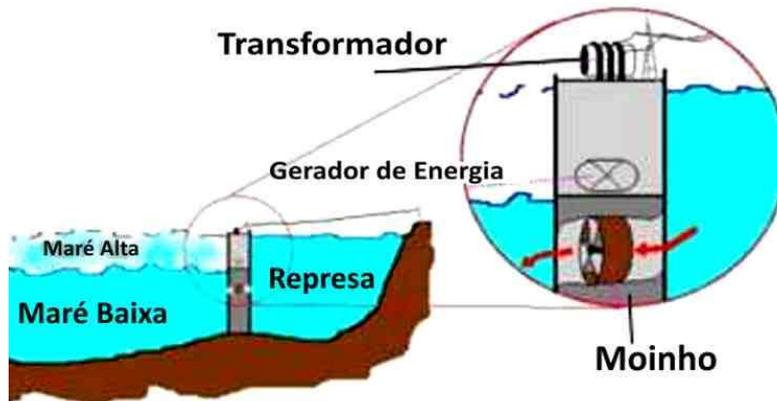


Figura 16. Esquema de uma usina maremotriz. Fonte: camieea.wordpress.com

A) Cenário atual

As usinas existentes no mundo, tanto de caráter experimental e comercial, são La Rance, na França, Annapolis no Canadá, Jiangxia na China e Kislaya na Rússia (Charlier, 2003).

A tecnologia *offshore* SeaGen S da *Marine Current Turbines Ltd*, foi utilizada na primeira aplicação deste gênero no mundo (conectada à rede e em escala comercial) em 2008 na Irlanda do Norte, atendendo 1500 famílias.

No Brasil temos grande amplitude de marés, por exemplo, em São Luís, na Baía de São Marcos (6,8m), mas a topografia do litoral inviabiliza economicamente a construção de reservatórios.

Entre os locais com potencial para a produção de energia das marés estão a baía de Fundy (Canadá) e a baía Mont-Saint-Michel (França), ambas com mais de 15 metros de desnível. No Brasil, podemos destacar o estuário do Rio Bacanga, em São Luís (MA), com marés de até 7 metros, e, principalmente, a ilha de Macapá (AP), com marés que atingem até 11 metros.

B) Vantagens

As vantagens da utilização da energia maremotriz são:

- A constância e previsibilidade da ocorrência das marés;
- O fato de as marés serem uma fonte inesgotável de energia;
- Confiabilidade;
- Fonte de energia não poluente (KISHORE et al., 2013).

C) Problemas e limitações

A instalação de estações de captação de energia das marés são necessários altos investimentos, sendo sua eficiência baixa (aproximadamente 20%). Com relação aos impactos ambientais, muda o regime da maré e afeta a vida marinha, impactos esses bem inferiores se comparados aos causados por hidrelétricas (KISHORE et al., 2013).

Outro agravante é a possibilidade do rompimento das estruturas por furacões, terremotos ou qualquer razão que leva a uma inundação da região costeira. Aumentaria o espaçamento de temperatura entre os dias e as noites, tendo como consequências o aumento dos movimentos atmosféricos (KISHORE et al., 2013).

Tal como no caso das OTECs, poucas localidades apresentam características propícias para a obtenção desse tipo de energia, visto que o desnível das marés deve ser superior a 7 metros (DRAPER et al., 2014).

2.1.9.3. Ondas

As ondas são geradas a partir dos ventos que sopram sobre a superfície do oceano, e possuem energia cinética e energia potencial, devido ao seu movimento oscilatório e à sua altura, respectivamente (KHAN et al, 2017).

O aproveitamento da energia das ondas para a produção de energia elétrica se baseia no aproveitamento dos movimentos verticais, horizontais e de rotação presentes na superfície da água. E pode ser feito nos dois sentidos: na maré alta a água enche o reservatório, passando através da turbina, e produzindo energia elétrica, na maré baixa a água esvazia o reservatório, passando novamente através da turbina, agora em sentido contrário ao do enchimento, e produzindo energia elétrica (TASCA).

O movimento das ondas dos oceanos pode ser convertido em energia mecânica e utilizada para conduzir um gerador de eletricidade. A energia das ondas pode ser capturada por diferentes modos de operação, divididos em duas categorias principais:

- Dispositivos fixos – Tem uma base sólida. Esta fundação pode ser no litoral, em uma estrutura de quebra-mar, ou em uma plataforma off-shore que é fixa no fundo do mar.
- Dispositivos flutuantes – Estrutura completamente flutuante, como um navio, que pode ser ligado à terra por meio de uma alta tensão cabo de energia

Além dessa classificação, pode-se classificar os sistemas de energia de onda quanto ao princípio de funcionamento, e nesse caso são divididos entre colunas de água oscilante, corpos oscilantes e galgamento (FALCÃO, 2010). Os sistemas mais comumente encontrados

em teste são os flutuadores ou dispositivos como os remos e coluna de água oscilante, conforme Figura 17.

A tecnologia de captação das ondas para geração de energia por meio de flutuadores é baseada no princípio de armazenamento de água sob alta pressão em uma câmara hiperbárica, obtida pelo bombeamento realizado pela ação das ondas nos flutuadores. A câmara, que libera jato d'água, com pressão e vazão controlados, aciona turbina acoplada a gerador produzindo eletricidade. No caso da coluna de água oscilante, ocorre a transformação da energia mecânica gerada pelo movimento de ar dentro do cilindro, provocada pela ascensão e queda de água, em energia elétrica. (FRANCHI, 2004)

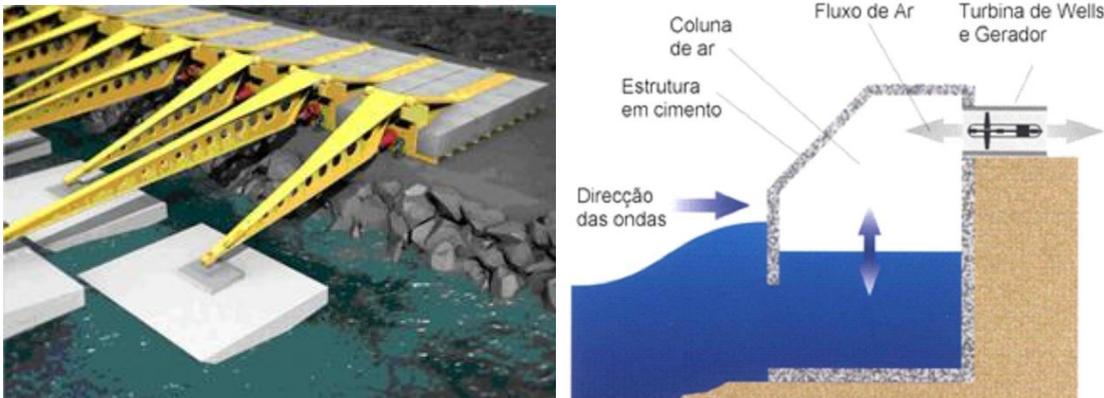


Figura 17. Sistemas de captação de energia das ondas. (a) Flutuadores e bombas hidráulicas. Fonte: COPPE/UFRJ; (b) Coluna de água oscilante, Fonte. Site Efacec

A) Cenário atual

Em novembro de 2012, funcionou em caráter experimental, a Usina de Pecém, instalada no quebra-mar no Ceará. A usina utiliza tecnologia brasileira desenvolvida pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) na Universidade Federal do Rio de Janeiro, sendo a primeira desse tipo na América Latina. Considerada uma planta de sucesso, deve retomar a produção no ano de 2017, porém em outro local no Ceará.

O Pelamis é um dispositivo de conversão de energia das ondas do tipo progressivo, desenvolvido pela Ocean Power Delivery Ltd (Escócia), empresa fundada em 1998 com o intuito de desenvolvê-lo e explorá-lo comercialmente. Está previsto que um quilômetro quadrado de oceano seja ocupado com os geradores Pelamis podendo alimentar aproximadamente 20.000 habitações.

A Eneólica, empresa dedicada à promoção de projetos de energias renováveis do Grupo Lena, oficializou a parceria com a AW-Energy, empresa finlandesa que está a

desenvolver uma tecnologia exclusiva e patenteada de energia das ondas, sob a marca de WaveRoller.

B) Vantagens

As vantagens da utilização das ondas para obtenção de energia elétrica são:

- É uma energia renovável;
- Não produz qualquer tipo de poluição, não emite de CO₂ e não libera resíduos sólidos na atmosfera;
- Os equipamentos incentivam o aumento da vida marinha (KISHORE et al. 2013).

C) Problemas e limitações

De acordo com Kishore et al. (2013), as limitações do uso das ondas para produção de energia elétrica em grande escala, vão desde questões geográficas até dificuldades técnicas, as principais estão listadas a seguir:

- Depende da localização;
- Requer uma geometria da costa especial e com ondas de grande amplitude;
- Impossibilita a navegação (na maior parte dos casos);
- Elevado custo de manutenção;
- Instalações de potência reduzida;
- Deterioração dos materiais pela exposição à água salgada do mar;
- Irregularidade da amplitude de onda, fase e direção;
- Altera o clima marítimo da região;
- Equipamentos de difícil manutenção.

2.1.9.4. Correntes

As correntes oceânicas (ou marítimas) são consequência da ação da rotação da Terra, a ação dos ventos sobre os oceanos (marés), a diferença de densidade e térmica entre a água quente e fria. E por isso estão fortemente associadas a fatores climáticos e possuem uma variabilidade relativamente conhecida de acordo com a época do ano.

As correntes oceânicas são, usualmente, as correntes de larga escala, tais quais as correntes quentes que partem das zonas próximas da linha Equador para os polos e as correntes frias que fazem o percurso contrário (MAGAGNA et al, 2015).

Seu aproveitamento energético se dá prioritariamente com tecnologias semelhantes àquelas utilizadas para o aproveitamento de correntes de maré. Porém, segundo Silva (2012) não há a necessidade de construções grandes como as usinas maremotrizes.

Tal como no caso das marés, é possível prever as correntes oceânicas com grande precisão. Isso ocorre devido ao fato das condições climáticas, que geram as correntes, são previsíveis e periódicas. Cunha e Onofrei (2013) afirmam que as turbinas geradoras de energia a partir das correntes marinhas são semelhantes às turbinas eólicas, podendo ser de três tipos: eixo vertical, eixo horizontal e hidrofólios oscilantes.

O possível uso das correntes marítimas como fontes de energia começou a chamar a atenção em meados da década de 1970 após a primeira crise do petróleo. Em 1974 vários modelos conceituais foram apresentados na Oficina MacArthur sobre Energia, e em 1976 a British General Electric Co. empreendeu um estudo parcialmente financiado pelo governo, que concluiu que a energia das correntes marítimas merecia uma pesquisa mais detalhada.

A) Cenário atual

O aproveitamento das correntes de água é ainda uma tecnologia em estado embrionário. Contudo, existem já desenvolvimentos recentes que permitem pensar em aplicações comerciais num futuro próximo. Presentemente, a maioria destes protótipos estão instalados no continente europeu e baseiam-se em turbinas de eixo horizontal ou vertical, apesar de terem sido desenvolvidos também projetos nos EUA.

As correntes marítimas possuem potencial para suprir uma parte substancial das necessidades energéticas futuras dos EUA (PONTA et al, 2008): Um estudo indicou que 106 localidades são possíveis para instalação desse tipo de produção de energia (BAHAJ, 2003). Um desses casos é no canal leste do East River, em Nova York, onde a FERC (Federal Energy Regulatory Commission), entidade reguladora de energia dos Estados Unidos, concedeu uma licença comercial/ piloto de 10 anos para o desenvolvimento de um projeto que aproveitasse a corrente para produção de energia elétrica.

A empresa sueca de tecnologia limpa Minesto já explora uma das maiores fontes de energia do futuro. Atualmente, suas premiadas usinas de corrente marítima que estão sendo testadas nas profundezas do oceano próximo à costa da Irlanda do Norte. Em 2007, a Minesto desenvolveu um novo conceito para captar energia das correntes marítimas, chamado *Deep Green*. A *Deep Green* é uma usina de energia relativamente pequena que pode produzir energia elétrica marítima, mesmo em correntes marítimas de baixa velocidade, o que a torna muito mais rentável, e com possível data de lançamento em tamanho real para 2017.

No Reino Unido, estima-se que a capacidade total de energia que pode ser gerada através das correntes marítimas seja de 19% da demanda de eletricidade. Outros projetos que se destacam pelo sucesso obtido até o momento são na costa de Anglesey e na costa da

Pembrokshire, ambas no País de Gales, e no rio Campbell ou na costa que rodeia British Columbia, no Canadá. (MOORE, 2014)

No Brasil, em 2014 ocorreram discussões no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica sobre a criação de um projeto para geração de energia elétrica a partir de correntes marinhas (ELETROBRAS CEPTEL).

B) Vantagens

As correntes marinhas têm como característica importante a regularidade, principalmente em relação à direção do fluxo. Além disso, apresentam natureza cíclica (SINGH e EPHRAIM, 2016).

C) Problemas e limitações

Com a tecnologia atual não é conveniente converter energia das correntes marinhas em energia elétrica, pois as correntes só exibem velocidade adequada para o aproveitamento direto da energia cinética distante das costas e a profundidades consideráveis. Isso implica em dificuldades de posicionamento das turbinas e em altos custos de transmissão. (CRUZ, 2004)

A grande variedade de ambientes onde são instalados, os geradores a diferentes profundidades e velocidade de fluxo, faz com que alguns dispositivos sejam desenvolvidos para ambientes específicos. Necessita de uma velocidade mínima da corrente, cerca de 1 m/s variando com a tecnologia.

O custo de construção da respectiva instalação é elevado e também tem elevados custos de transmissão, devido ao posicionamento das turbinas (SINGH e EPHRAIM, 2016).

2.1.9.5. Gradiente de salinidade

O processo de osmose para geração de energia se baseia na difusão das moléculas do solvente da solução menos concentrada através de uma barreira semipermeável (barreira seletiva, só permite a passagem do solvente e não do soluto) para a solução mais concentrada. Devido à diferença de pressão osmótica, as moléculas de água doce (solução menos concentrada) passam para o reservatório de água salgada (solução mais concentrada), aumentando o volume de água da solução mais concentrada, criando uma coluna de água que pode ser aproveitada para geração de energia (BRAUNS, 2008). A direção do fluxo total do escoamento concorda com a tendência natural das moléculas de sofrerem difusão de uma região de maior potencial químico para a região de menor potencial químico (NETTO, 2009).

A geração de energia elétrica por esse método deriva de diferenças de salinidade entre água doce e salgada nas desembocaduras dos rios e pode ser realizada por dois métodos (CUNHA; ONOFREI, 2013):

- Eletrodialise Reversa (RED - *Reverse Electro-dialysis*) – É um processo de separação eletroquímico, com base na diferença de potencial elétrico, através de uma membrana semipermeável aos íons de sal, gerando uma corrente elétrica de baixa voltagem.
- Osmose à Pressão Retardada (PRO – *Pressure Retarded Osmosis*) – Nesse caso utiliza-se uma membrana semipermeável à água, e não aos íons de sal. As moléculas de água são forçadas a passar através da membrana para o lado da água salgada. Dessa forma, a pressão hidrostática do lado da água salgada aumenta e, então, é liberada para acionar uma turbina hidráulica



Figura 18. (a) Esquema de funcionamento de uma usina de energia osmótica. (b) Planta PRO da empresa Statkraft da Noruega. Fonte: engquimicasantosp.com.br

Pode-se utilizar essa tecnologia nas regiões em que há encontro de águas oceânicas com águas fluviais, como ilustrado na Figura 18, uma vez que ocorre naturalmente o escoamento de uma solução menos concentrada para uma mais concentrada.

A) Cenário atual

Em novembro de 2009, a Statkraft inaugurou-se a primeira planta de energia osmótica a usar PRO, na Noruega (Statkraft Press Centre, 2009 - Figura 18b).

Estima-se que a nível global, o potencial energético de Osmose à Pressão Retardada nos estuários dos rios ronda os 2.000 TWh por ano (AABERG, 2003), sendo que a energia total mundial proveniente de fontes renováveis está a aproximar-se dos 10.000 TWh anuais (U.S. Energy Information Administration).

B) Vantagens

Considera-se essa energia como limpa, com pequenos impactos ambientais, podendo ainda auxiliar nas reduções de emissões de carbono, pois não geram gases estufa durante a operação (ESTEFEN, 2012).

Não há impacto ambiental, a não ser o decorrente da própria construção, uma vez que o sistema não consome água ou sais, e não interfere no fluxo natural de água doce para o mar (REIS, 2003). Uma grande vantagem da PRO, quando comparada com outras fontes importantes de energia renovável é sua elevada previsibilidade e estabilidade.

C) Problemas e limitações

A limitação da produção de energia, através de sistemas que aproveitam a diferença do gradiente de salinidade, são as membranas. É necessário o desenvolvimento e otimização das membranas semipermeáveis, como o acréscimo na densidade de potência, redução no custo e aumento do tempo médio de vida dessas membranas (MCCUTCHEON e ELIMELECH, 2006 e 2007). Entre os demais métodos de extração de energia dos oceanos, é o mais caro e menos eficaz (REIS, 2003), de um modo geral.

2.1.10. Métodos de produção de calor e eletricidade (Cogeração)

Na Resolução ANEEL n.º 21, de 20 de Janeiro de 2000, que estabelece os requisitos necessários a qualificação de centrais cogeneradoras de energia está definido como “A cogeração de energia é definida como o processo de produção combinada de calor útil e energia mecânica, geralmente convertida total ou parcialmente em energia elétrica, a partir da energia química disponibilizada por um ou mais combustíveis. ”

A cogeração é a geração simultânea de energia térmica e mecânica, a partir de uma mesma fonte de energia primária. A energia térmica pode ser utilizada como forma de trabalho ou na geração de energia elétrica, enquanto que a energia mecânica é utilizada como fonte de calor para o processo (COELHO, 1999).

O processo de cogeração é a utilização racional de energia, uma vez que tem a geração de energia com rendimento aumentado devido à combinação dos processos térmicos e mecânicos, com o mesmo combustível básico. A Figura 19 ilustra o sistema de cogeração de

vapor e energia elétrica e o rendimento médio obtido em comparação com o sistema de geração de energia convencional.

No setor industrial observa-se uma maior utilização da biomassa nos setores de açúcar e álcool, papel e celulose e alimentos, devido à disponibilidade de subprodutos como bagaço de cana e resíduos e cascas de madeira (BEN, 2014).



Figura 19. Esquema comparativo do sistema de cogeração de vapor e eletricidade com o sistema convencional. Fonte: Cogen Europe

2.1.10.1. Cenário atual

Os sistemas de cogeração vêm sendo utilizados nos mais diversos tipos de indústrias (refinarias, siderúrgicas, petroquímicas, alumínio, cimento, mineração, cerâmicas, cervejarias, fertilizantes, têxteis, farmacêuticas, papel e papelão, usinas de cana, etc.) e, encontram também ampla aplicação no setor terciário (hotéis, shoppings, edifícios comerciais, hipermercados, hospitais, etc.). Nesses locais, a geração de energia elétrica destina-se ao fornecimento de força motriz e iluminação (CUNHA, 2000).

Na Dinamarca a cogeração já representa mais de 50% da potência instalada, enquanto na Finlândia, está próximo aos 40%, estes sendo os maiores produtores de energia por cogeração. São seguidos por Rússia, Letônia e Holanda, como pode se ver na Figura 20.

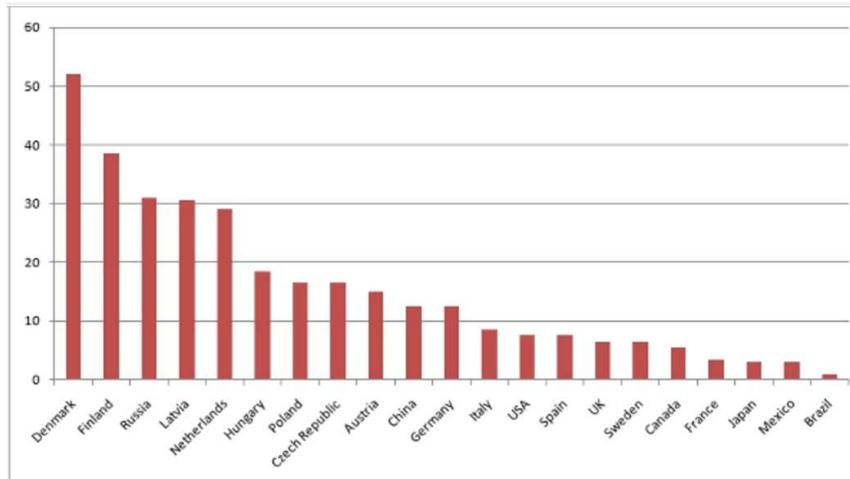


Figura 20. Cogeração no mundo. Fonte: <http://large.stanford.edu/courses/2010/ph240/askarov1/>

No Brasil, conforme ilustrado na Figura 21, os sistemas de cogeração estão em crescimento desde os anos 70, indicando sua importância na sociedade atual. Segundo o Banco de Informações da Geração, da Aneel, em 2014, sistemas de cogeração tinham participação em 1,91% da capacidade total de geração de energia elétrica.

Em sistemas de cogeração de energia é possível se adotar vários tipos de arranjos de equipamentos. Existe a possibilidade de se configurar sistemas mais simples, formados por caldeiras convencionais e turbinas a vapor de contrapressão, ou sistemas mais complexos, compostos por turbinas a gás e gaseificadores. O gás natural, quando usado para fins de cogeração, tem se apresentado como uma das melhores alternativas. O balanço da eficiência energética de uma turbina a gás para 100% de energia primária é de 30% de energia elétrica, 50% de energia térmica e 20% de perdas. A cogeração com gás natural também reduz bastante a emissão de resíduos contaminantes, se comparada, por exemplo, à cogeração com outros combustíveis (BALESTIERI, 2002).

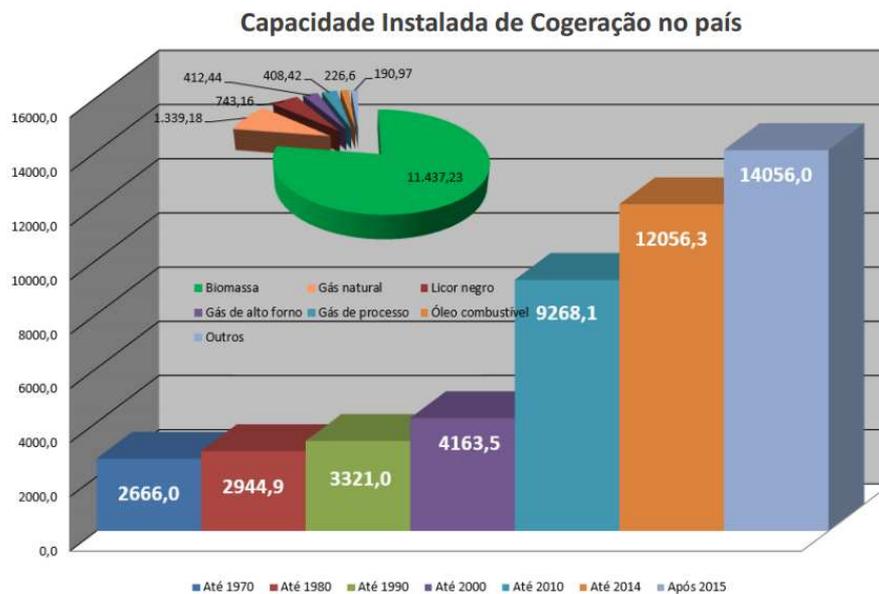


Figura 21. Evolução dos sistemas de cogeração no Brasil Fonte: DataCogen – Evolução da Cogeração no Brasil

2.1.10.2. Vantagens

A cogeração tem sido considerada uma solução energética com menor impacto ambiental, uma vez menos combustível fóssil é queimado para produzir a mesma quantidade de energia, reduzindo as emissões de CO₂, e quando o combustível fóssil utilizado é o gás natural, a combustão é mais limpa e produz menos resíduos tóxicos. Resíduos que seriam descartados, e prejudiciais ao meio ambiente, podem ser utilizados nesse processo reduzindo o lixo ambiental ao mesmo tempo que produz energia (LA ROVERE, 2000).

A principal vantagem econômica da cogeração está na possibilidade de uma empresa atender à sua demanda de energia elétrica com um sistema que lhe dê autossuficiência, devido ao aumento da eficiência no aproveitamento da energia. Outra vantagem está no custo de autoprodução de energia elétrica menor do que o obtido através da compra à concessionária.

A nível nacional possibilita a produção descentralizada, reduzindo a necessidade de instalação de grandes centrais termoeletricas, e aumenta a estabilidade da rede elétrica do país. Contribui também para o aumento do emprego a nível local e aumento da estabilidade do sistema elétrico.

No momento atual em que o setor elétrico sofre os efeitos de um período de poucos investimentos na geração e na transmissão e, portanto, com tendências de déficit de geração e problemas de transporte, a cogeração, como geração distribuída, se apresenta com grande atratividade tanto para os consumidores quanto para a sociedade em geral.

2.1.10.3. Problemas e limitações

As dificuldades na implementação em grande escala de sistemas de cogeração estão na necessidade de efetuar estudos de viabilidade econômica de modo a determinar até que ponto o investimento é rentável economicamente ou não, no elevado investimento inicial, nos lucros dependentes do preço da eletricidade e do combustível utilizado, que estão em constante alteração, e nos problemas com poluição sonora, poluição local e poluição da água.

Outro problema é que um turbo-gerador tem seu rendimento reduzido se operar a uma carga menor do que a nominal. Isso significa que, quanto mais estáveis forem as demandas de energia (térmica e elétrica) da planta, melhor para a cogeração. Além disso as duas (energia mecânica e térmica) precisam apresentar alguma coincidência no tempo, para não haver excedente não aproveitado. A limitação da cogeração é que a energia térmica só pode ser usada perto do equipamento, o que limita estas instalações a unidades relativamente pequenas se comparadas com os geradores das concessionárias.

2.1.11. Sinergia

Define-se como um sistema híbrido (sinergia) de energia aquele que utiliza mais de uma fonte de energia, dependendo da disponibilidade dos recursos para gerar e distribuir energia elétrica de forma otimizada e com custos mínimos, dada a capacidade de uma fonte suprir a falta temporária de outra, permitindo assim que os mesmos operem com o mínimo de interrupções (MCGOWAN e MANWELL, 1999; WICHERT, 1997).

Um sistema de energia híbrido geralmente consiste de duas ou mais fontes de energia, renováveis ou não, utilizadas em conjunto para proporcionar uma maior eficiência no sistema, bem como um maior equilíbrio no fornecimento de energia.

É mais comum que os sistemas híbridos de energia conduzam a maiores rendimentos e retornos econômicos e ambientais do que sistemas independentes de geração de energia eólica, solar, hídrica ou biomassa. A configuração ótima de sistemas híbridos está condicionada à escolha correta dos recursos energéticos no local da instalação do sistema. As fontes de energia renováveis mais comumente utilizadas nesse tipo de sistema são a solar e a eólica (HAUSCHILD, 2006).

- Sistema híbrido de energia eólica/fotovoltaica

Os sistemas híbridos solar-eólicos incluem módulos fotovoltaicos, uma pequena turbina elétrica, sistemas de controle elétrico e, para além de outras pequenas componentes, um sistema de baterias e um gerador elétrico a diesel, no caso de sistemas autónomos, não ligadas às redes elétricas, como pode ser observado na Figura 22.

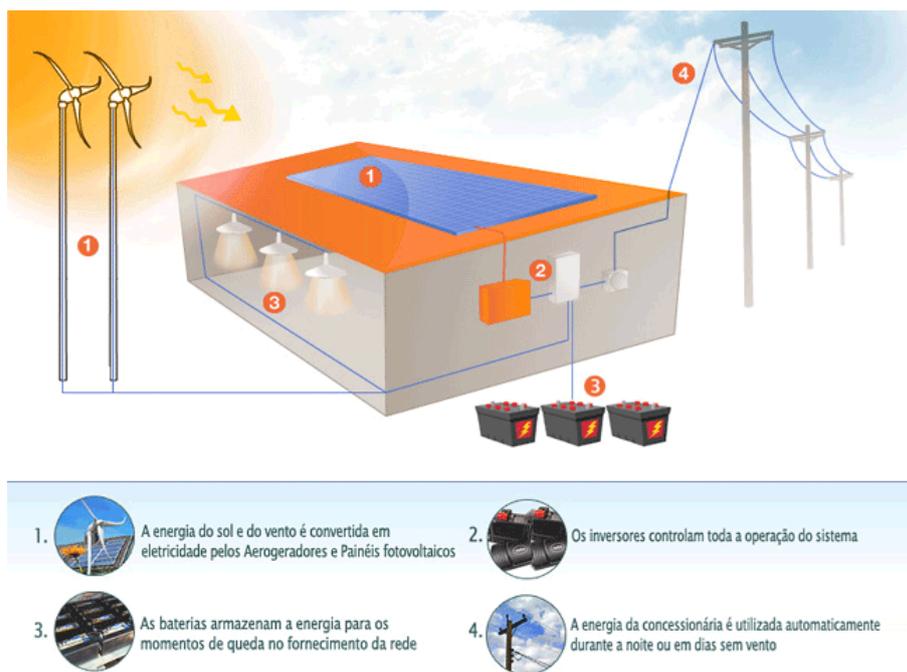


Figura 22. Sistema híbrido eólico/fotovoltaico. Fonte: <https://www.energiapura.com/content/sistema-h%C3%ADbrido-solare%C3%B3lico-air40>, acessado dia 19/04/2016

- Sistema híbrido de energia fotovoltaica/biomassa

O sistema formado pela combinação de um módulo de gaseificação de biomassa, um sistema de limpeza de gás e geradores à motor juntamente com outro de captação de energia solar fotovoltaica, formado por um campo de painéis e um sistema de armazenamento.

- Sistema híbrido de energia eólica/hidrelétrica

Um sistema usando a combinação de diferentes fontes de energia tem a vantagem da estabilidade, por exemplo, o vento é usualmente relativamente fraco no outono e o período de maior estiagem encontra-se no verão. Um sistema balanceado pode prover as diferenças de características sazonais das disponibilidades energéticas, além disso este tipo de sistema otimiza a utilização de recursos renováveis J.J.Ding et al.(2000)

- Sistema híbrido de energia fotovoltaica/pilhas a combustível

Ao associar a célula combustível a baterias de alta densidade de corrente e a módulos fotovoltaicos pode-se obter energia elétrica de qualidade e confiável. Células a combustível podem ser integradas de duas formas aos sistemas fotovoltaicos: como uma fonte independente de energia ou como parte de um sistema de armazenamento de energia conectado a um eletrizador. O armazenamento de energia sob a forma de hidrogênio vem

sendo estudado como uma forma limpa de aproveitamento energético. O uso de célula a combustível, convertendo o H₂ em energia elétrica, vem sendo estudada como forma de substituir os geradores a diesel no futuro (SILVA, 2010).

2.1.11.1. Cenário atual

O primeiro projeto de exploração de energia solar em lagos de centrais hidroelétricas, com recurso de flutuadores foi inaugurado em março de 2016 na Hidroelétrica de Balbina, no Amazonas. Posteriormente foi lançado na central hidroelétrica de Sobradinho, na Bahia um protótipo solar flutuante semelhante, ambos os projetos no Brasil (PAIVA, 2016). Essas estruturas permitem aproveitar as subestações e as linhas de transmissão das hidroelétricas e a área sobre a água dos reservatórios, evitando a expropriação de terras.

Outros sistemas híbridos em funcionamento no mundo são:

- Sistema Híbrido para alimentação de uma central de telecomunicações na costa do Mar Negro na Bulgária (VILSAN et al., 1997). Este exemplo de sistema consiste em uma turbina eólica e um sistema fotovoltaico.
- Sistema fotovoltaico-eólico de Joanes PA, Brasil (BARBOSA, et al, 2004).
- Sistema híbrido fotovoltaico – biomassa em Torrão, Portugal (ALENTEJO, 2012): Sistema híbrido instalado em uma piscina pública que utiliza energia solar térmica para aquecer a piscina através uma caldeira a biomassa, onde são utilizadas escamas de pinho.
- Sistema híbrido fotovoltaico-célula a combustível em Centro Canguçu, TO (ANDRADE et al, 2008).

2.1.11.2. Vantagens

A principal vantagem dos sistemas híbridos é a possibilidade do aproveitamento conjugado e otimizado dos recursos disponíveis, podendo garantir os níveis de qualidade e confiabilidade necessários com redução de custos de investimento e operacionais e minimizando o problema da intermitência de algumas fontes de energia renovável, como a eólica e solar. A utilização de fontes de energia renováveis na configuração de sistemas híbridos de energia, mostra-se tecnicamente viável, flexível e atrativa economicamente para o atendimento das pequenas e médias demandas em áreas remotas (BARBOSA; PINHO, 2008).

A utilização do sistema híbrido eólico-fotovoltaico, apesar de não serem atrativos comerciais, é uma solução para a de geração de energia em residências ou pequenas propriedades isoladas, reduzindo a necessidade do consumo da energia proveniente das empresas concessionárias de energia e também favorece a descentralização da energia.

A combinação da energia solar e eólica em um sistema híbrido pode atenuar as flutuações individuais destas formas de energia, aumentando a produção de energia global e reduzindo a necessidade de armazenamento de energia (CANEPPELE; SERAPHIM, 2010).

2.1.11.3. Problemas e limitações

Os sistemas híbridos são em geral mais caros em cerca de 20 ou 30% do que os sistemas fotovoltaicos ou em relação aos pequenos sistemas eólicos separados, para a mesma capacidade nominal. Os sistemas híbridos apenas são vantajosos em regiões onde os padrões de vento e os recursos solares se complementam.

Considerados mais complexos, os sistemas híbridos exigem um controle capaz de permitir a integração das diferentes formas de energia associadas. Estes sistemas podem estar isolados ou conectados à rede. Geralmente, um sistema híbrido conta com a utilização de um motor à diesel para garantir a regularidade e estabilidade no fornecimento de energia elétrica (BOLAÑOS, 2007).

2.2 Prospecção tecnológica

A prospecção tecnológica é um processo contínuo, agindo de forma conjunta com os processos de gestão das organizações públicas e privadas, voltado para melhorar a compreensão dos prováveis desenvolvimentos e das tecnologias disponíveis no futuro para determinada área do conhecimento (DREJER e RIIS, 1999).

A prospecção tecnológica é utilizada na criação e na organização de sistemas de inovação que respondam aos interesses da sociedade e/ou da indústria. A partir de intervenções planejadas em sistemas de inovações, fazer prospecção significa identificar quais são as oportunidades e necessidades mais importantes para a pesquisa e desenvolvimento no futuro (SANTOS et al., 2004).

Em uma sociedade onde a concorrência altamente competitiva, a realização da prospecção tecnológica é a chave para muitos setores saírem à frente de seus concorrentes. Uma vez que esse procedimento visa a fazer previsões no futuro, possibilita que seu idealizador possa promover mudanças ou controlar os impactos antes que seus concorrentes, de modo que estará em vantagem frente aos seus adversários tecnológicos/ industriais.

Essa é uma ferramenta muito utilizada para fornecer uma visão de futuro, seja ele determinista ou probabilístico, sobre um dado evento, em relação às atividades científico-tecnológicas das diversas áreas do conhecimento humano (ZACKIEWICZ et al., 2001). Está diretamente relacionada com a prospecção econômica e social. A prospecção econômica é extremamente importante para a gestão tecnológica, pois é necessário que se conheçam os custos da tecnologia e do capital humano, bem como os recursos, preço e infraestrutura exigida, assim como as forças que orientam o mercado. A prospecção social é necessária, pois mesmo a tecnologia mais poderosa tem valor limitado se o ambiente social, político ou regulatório impedir que ela seja produzida com lucro (COELHO, 2003 e e HOSSAIN et al., 2017).

2.2.1. Metodologias e técnicas

Existem vários tipos de métodos e técnicas para realizar uma prospecção tecnológica, para a escolha de qual é o mais indicado para o estudo em questão deve-se levar em conta o objetivo da prospecção, a área de conhecimento, o tipo de abordagem, abrangência da pesquisa, a época de previsão, a importância do estudo, o tempo para realização, o custo disponível para realizar o estudo, entre outros fatores (HANKE et al, 2001). É importante ressaltar que todos os modelos têm ambiguidades, e nenhum será completamente satisfatório (GODET & ROUBELAT, 2000).

Há diversos tipos de classificação e divisão das técnicas e métodos de prospecção tecnológica, segundo Porter et al (2004). Podem ser classificados em métodos quantitativos, quando requerem séries históricas confiáveis ou dados padronizados, ou métodos qualitativos, no caso de envolver opinião de especialistas. Também podem ser classificadas como *hard*, se as metodologias trabalham com dados, sejam quantitativas, empíricas ou numéricas; ou *soft*, quando as metodologias são qualitativas, baseados em julgamentos ou refletindo conhecimentos tácitos. Enquanto as metodologias *hard* dependem da qualidade dos dados e da adequação do modelo, as *soft* têm como fator crítico para o seu desempenho os participantes e o processo.

As metodologias classificam-se, também, de acordo com a forma como definem o futuro. Nesse caso, podem ser exploratórias, quando fazem a extrapolação do futuro, a partir das capacidades tecnológicas atuais e futuras; ou normativas, quando orientam ações que determinarão o futuro pela análise dos valores, necessidades e condicionantes do ambiente que está relacionado com a meta prevista. Porém, essas classificações gerais não são definitivas, e algumas metodologias podem ser utilizadas de forma normativa ou exploratória, *hard* ou *soft*, dependendo do caso.

Pode-se classificar os métodos de prospecção em nove famílias:

- Criatividade: deve estar presente nos estudos futuros, pois busca eliminar as visões pré-concebidas de problemas ou situações, encorajando um novo padrão de percepção;
- Métodos Descritivos e Matrizes: podem ser usados para ampliar a criatividade, quer seja de forma individual, quer seja coletiva, para possibilitar a identificação de futuros alternativos;
- Métodos Estatísticos: referem-se aos modelos que procuram identificar e medir o efeito de uma ou mais variáveis independentes importantes sobre o comportamento futuro de uma variável dependente. O procedimento padrão é testar modelos simples de ajuste (linear, exponencial, quadrado ou cúbico) para a variável dependente, procurando definir os parâmetros do modelo de modo que o erro residual seja mínimo. Já os modelos econométricos e os não-lineares lançam mão de equações mais complexas, fundamentadas em relações de causalidade previstas em teoria e na determinação em conjunto de parâmetros para uma ou mais equações simultâneas;
- Monitoramento e Sistemas de Inteligência: identificar ameaças potenciais, oportunidades possíveis e direção de tendências relativas à tecnologia em foco. Manter a base de informação de interesse da organização;

- Opinião de Especialistas: construir uma visão de futuro baseada em informações qualitativas, utilizando-se da lógica subjetiva e do julgamento de pessoas com grande conhecimento e familiaridade com o tema;
- Cenários: ordenar sistematicamente percepções sobre ambientes futuros alternativos, com base em combinações de condicionamentos e variáveis;
- Análise de Tendências: construir um cenário possível baseado na hipótese de que os padrões do passado serão mantidos em momentos futuros, particularmente de curto prazo;
- Sistemas de Avaliação e Decisão: incluem o tratamento de múltiplos pontos de vista e sua aplicação permite priorizar ou reduzir os vários fatores que devem ser levados em consideração;
- Modelagem e Simulação: incorporar diversos eventos (sociais, políticos, tecnológicos e econômicos) em modelos de análise, permitindo tratamento analítico a uma grande quantidade de informações.

A Tabela 2 mostra um resumo das principais técnicas e métodos pertencentes às famílias e sua classificação quanto a *hard/soft* e exploratória/normativa, segundo Porter et al (2004).

Tabela 2. Classificação dos métodos e técnicas de prospecção tecnológica

Família	Método ou Técnica	Hard/Soft	Exploratório/normativo
Criatividade	<i>Brainstorming</i>	<i>Soft</i>	Exploratório/normativo
	<i>Creativity Workshop</i>	<i>Soft</i>	Exploratório/normativo
	<i>Science Fiction</i>	<i>Soft</i>	Normativo
	<i>Analysis</i>		
Métodos Descritivos e Matrizes	<i>Analogies</i>	<i>Hard/Soft</i>	Exploratório
	<i>Backcasting</i>	<i>Soft</i>	Normativo
	<i>Morphological Analysis</i>	<i>Soft</i>	Normativo/exploratório
	<i>Roadmapping</i>	<i>Hard/soft</i>	Normativo/exploratório
Métodos Estatísticos	<i>Correlation Analysis</i>	<i>Hard</i>	Exploratório
	<i>Demographics</i>	<i>Hard</i>	Exploratório
Monitoramento e Sistemas de Inteligência	<i>Bibliometrics</i>	<i>Hard/soft</i>	Exploratório
	<i>Monitoring</i>	<i>Soft</i>	Exploratório
Opinião de Especialistas	<i>Delphi</i>	<i>Soft</i>	Normativo/exploratório
	<i>Interviews</i>	<i>Soft</i>	Normativo/exploratório
Cenários	<i>Scenarios</i>	<i>Hard/soft</i>	Normativo/exploratório
	<i>Scenarios-Simulation</i>	<i>Soft</i>	Normativo/exploratório
Análise de Tendências	<i>Long Wave Analysis</i>	<i>Hard</i>	Exploratório
	<i>Trend Extrapolation</i>	<i>Hard</i>	Exploratório
Sistemas de Avaliação e Decisão	<i>Analytical hierarchy process (AHP)</i>	<i>Hard</i>	Normativo
	<i>Decision analysis</i>	<i>Soft</i>	Normativo/exploratório
Modelagem e Simulação	<i>Agent modeling</i>	<i>Hard</i>	Exploratório
	<i>Systems simulation</i>	<i>Hard</i>	Exploratório

A classificação por famílias não é rígida, sendo que, algumas metodologias foram classificadas pelos autores em mais de uma família. Pode-se considerar que quanto mais complementares forem as formas das prospecções realizadas, mais confiáveis são seus resultados.

Descrevem-se de modo resumido, algumas das técnicas de prospecção mais conhecidas e mais utilizadas.

2.2.1.1. *Brainstorming*

É uma técnica de prospecção desenvolvida na década de 1940, e até hoje, muito utilizada, principalmente em indústrias. Essa técnica consiste na reunião de um grupo de pessoas com o objetivo de solucionar um problema pré-determinado, sugerindo ideias.

Desse modo, espera-se reunir o maior número possível de ideias, propostas, visões e possibilidades que levem a um denominador comum e eficaz para solucionar o problema em questão. Durante o *brainstorming*, as críticas são proibidas, para não inibir o processo criativo. (BAER,2012 e OLDHAM et al., 2015)

2.2.1.2. *Roadmapping*

É uma técnica, criada pela Motorola na década de 1970, para o planejamento de capacidades tecnológicas de uma organização para garantir que atendam seus objetivos comerciais ou estratégicos. É uma abordagem flexível que pode ser personalizada para atender às necessidades estratégicas específicas e problemas enfrentados por empresas, agências governamentais e outras organizações (ALIZADEH et al., 2016).

Eles reúnem um grupo de especialistas e utilizam um conjunto de modelos gráficos para ajudar a visualizar e desenvolver estratégias na resolução do problema.

2.2.1.3. *Bibliometrics*

Essa técnica também pode ser classificada na família de métodos estatísticos. A *bibliometrics* é a análise estatística das publicações escritas, tais como livros, artigos e patentes.

Essa metodologia é frequentemente utilizada para fornecer uma análise quantitativa da literatura acadêmica, na análise de citação e, análise de conteúdo, na exploração do impacto de um campo de pesquisa, entre outros.

A recente digitalização das publicações científicas possibilita o uso de sistemas automáticos de busca e a avaliação de uma grande quantidade de registros, analisando palavras-

chaves ou sequências de palavras dentro de textos de publicações ou nos dados associados à publicação (MOTHE, 2006).

2.2.1.4. Delphi

Essa metodologia foi aplicada por Olaf Helmer e N. Rescher, na RAND Corporation durante um projeto para o ministério da defesa dos EUA, na década de 1950, para obter consenso em um grupo de especialistas. Posteriormente, foi apresentado de forma estruturada por Helmer, em 1968. Utiliza as diversas informações identificadas e obtidas pelo julgamento intuitivo de especialistas, com a finalidade de delinear e realizar previsões. (OLIVEIRA, 2001)

Esse método procura a efetiva utilização do julgamento intuitivo, com base nas opiniões de especialistas, que são refinadas em um processo iterativo e repetido algumas vezes até se alcançar o consenso interdisciplinar e correspondente à redução do viés individual, idiossincrasias e situações de respostas que evidenciem ignorância sobre o assunto abordado. (HELMER, apud Oliveira, 2001).

Essa metodologia explora a experiência coletiva dos membros de um grupo em um processo iterativo e estruturado. Atualmente é reconhecido que as razões discordantes apresentadas por alguns dos participantes também trazem informações importantes. Assim, opiniões dissidentes também são levadas em consideração, em detrimento ao imperativo do consenso (SZARKA et al., 2017 e WANG et al., 2017)

Linstone (2002) considera que a escolha da metodologia Delphi é realizada pelas características do problema, e não pelo problema ou tarefa em si. O seu uso é bastante abrangente, com emprego em diversas áreas e com objetivos variados, como a busca de dados não totalmente disponíveis ou a avaliação de significância. Sua utilização é recomendada quando não existem dados históricos a respeito do problema que se investiga ou, em outros termos, quando faltam dados quantitativos referentes ao mesmo (ROWE e WRIGHT, 1999).

Essa foi a metodologia escolhida para esse trabalho, e por isso, será mais detalhada adiante.

2.2.1.5. Scenarios (Cenários)

Essa técnica representa uma descrição de uma situação futura e do conjunto de eventos que permitirão que se passe da situação original para a situação futura. O futuro é múltiplo e diversos futuros potenciais são possíveis: o caminho que leva a um futuro ou outro não é necessariamente único. A descrição de um futuro potencial e a progressão em direção a ele representam um cenário. Os principais objetivos deste método são: detectar as questões

principais para o estudo; determinar os principais atores, suas estratégias e meios para que as questões obtenham uma conclusão bem-sucedida (GODET & ROUBELAT, 1996).

Para Godet & Roubelat (1996), os cenários podem ser classificados em possíveis (tudo o que se pode imaginar), realizáveis (tudo o que se pode conseguir) e desejáveis (todos os imagináveis, mas não realizáveis).

Segundo Rattner (1979), a construção de cenários visa a um procedimento sistemático para detectar as tendências prováveis da evolução, numa sequência de intervalos temporais, e procura identificar os limites da tensão social nos quais as forças sociais poderiam alterar essas tendências.

Os cenários auxiliam a construção da visão qualitativa de futuro, geram elementos para o levantamento de dados, enquanto as estimativas quantitativas possuem probabilidades de ocorrência associadas. As estimativas consideram, normalmente, as séries históricas e podem traçar paralelos com mercados e tecnologias similares. Segundo alguns autores, a avaliação quantitativa e projeção não seriam adequadamente classificadas como cenários, mas sim projeções (GLENN, 2009; SZARKA et al., 2017 e WANG et al., 2017).

2.2.1.6. *Trend Extrapolation* (Curva S e projeção)

A Curva S baseia-se no princípio de que há um estágio de introdução lento, seguido por um crescimento acentuado e por uma saturação à medida que o parâmetro em estudo se aproxima do limite. Esta técnica descreve muitos fenômenos naturais e também tem sido utilizada para descrever processos de evolução tecnológica.

A base da modelagem é o princípio da disponibilidade e limitação de recursos para o crescimento, condição presente em todos os processos. O processo de planejamento estratégico necessita prever o tempo e as condições para a substituição tecnológica.

Os exemplos apresentados na literatura para a curva “S” normalmente retratam situações passadas. Os avanços da tecnologia trazem exemplos em que essa técnica não consegue ser retratada perfeitamente (LI et al, 2016)

2.2.1.7. Analytical hierarchy process (AHP)

É baseado no foco onde nada ocorre de maneira totalmente espontânea, mas devido às posições, comportamento ou decisões de múltiplos atores, que convergem na direção do futuro. Essa técnica dá uma perspectiva de causalidade dos processos que fazem parte da construção de cenários.

Esse método foi criado por Thomas Saatu, que se especializou na modelagem de problemas de decisão não estruturada. Executa essa tarefa em quatro estágios básicos (PORTER et al, 1991):

- Sistematizar o julgamento em hierarquia ou árvore;
- Fazer comparações elementares de pares;
- Sintetizar esses julgamentos de pares para chegar a julgamentos gerais;
- Checar se os julgamentos combinados são razoavelmente consistentes entre si.

Embora o AHP tenha sido criado fundamentalmente para auxiliar o processo decisório, seu autor também o aplicou a questões relacionadas à visualização do futuro.

2.2.1.8. *Systems simulation* (Simulação de Sistemas)

Simulação de sistemas é um conjunto de técnicas que usam computadores para imitar as operações de várias tarefas ou processos do mundo real através de simulação.

Os computadores são utilizados para gerar modelos numéricos para a finalidade de descrever e visualizar interação complexa entre múltiplas variáveis dentro de um sistema. A complexidade do sistema é resultado da probabilidade de eventos, as regras para a interação dos elementos e a dificuldade de entender o comportamento do sistema como um todo ao longo do tempo .

2.2.1.9. Métodos estatísticos

A modelagem estatística engloba uma série de técnicas que utilizam métodos numéricos e estatísticos para previsões ou projeções baseadas em análise de dados históricos, através de correlações matemáticas que consideram a influência dos fatores relevantes para a qualidade dos resultados.

Cada processo de previsão envolve um número de variáveis que são individualmente estimadas com base em modelo próprio e valores associados a um intervalo de confiança. Quanto maior a complexidade do modelo, maior será o número de fatores que influenciam o resultado, aumentando a sua incerteza combinada. Essas metodologias assumem, em geral, a manutenção da importância desses fatores no futuro (GLENN, 2009).

2.2.1.10. Vantagens e Desvantagens das técnicas de prospecção

A prospecção tecnológica, de modo geral, é uma área de conhecimento muito recente, sendo que a metodologia mais antiga é da década de 1940, e por isso não há um consenso sobre a melhor técnica/metodologia para a realização de um estudo de prospecção. A escolha

da melhor metodologia é realizada com base nos dados que se possui sobre o tema e qual questão se quer levantar.

É importante ressaltar que nenhum método de prospecção tecnológica é completamente satisfatório se utilizado sozinho, uma vez que eles não podem atender a todas as questões envolvidas no processo. De modo que muitos autores consideram que a utilização de mais de um método para o mesmo trabalho, fornecendo um resultado de prospecção mais confiável (MARTINO,2003; du TOIT, 2016 e TOIVONEN et al.,2016).

Todas as técnicas apresentam vantagens e desvantagens. Na Tabela 3, é apresentado um breve resumo das principais vantagens e desvantagens dos métodos e técnicas existentes de prospecção tecnológica.

Tabela 3. Vantagens e desvantagens dos principais métodos de prospecção tecnológica.

Método	Vantagem	Desvantagem
Criatividade	<ul style="list-style-type: none"> -Aumenta a possibilidade de se avaliar futuros possíveis; -Diminui visões pré-concebidas; -Encoraja um novo padrão de percepção; -Ideal para o início de processos. 	<ul style="list-style-type: none"> - O coordenador ou líder do grupo deve ser capaz de conduzir o grupo para evitar a perda do foco do tema debatido; - Se mal conduzido, pode gerar descrédito à prospecção.
Métodos descritivos e Matrizes; Métodos Estatísticos; Modelagem e Simulação	<ul style="list-style-type: none"> - Exibem o comportamento de sistemas complexos; - Oferecem possibilidade de julgamento humano; - Possibilitam o tratamento analítico de vários dados; - Facilidade e rapidez na obtenção dos resultados pelo uso de modelos computacionais. 	<ul style="list-style-type: none"> - Podem camuflar falsos pressupostos, gerando resultados de qualidade duvidosa; - Requerem adaptações antes de ser validados; - Contêm pressupostos que devem ser verificados antes de aplicados.
Monitoramento e Sistemas de Inteligência	<ul style="list-style-type: none"> - Fornecem uma grande quantidade de informações; - Usados na contextualização inicial do tema ou como forma de manter os temas críticos atualizados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Podem resultar no excesso de informações; - Deve ser complementado com outro método de prospecção.

Opinião de Especialistas	<ul style="list-style-type: none"> - Identifica modelos e percepções internalizados pelos especialistas; - Permite que a intuição encontre espaço na prospecção; - Incorpora à prospecção quem realmente entende da área. 	<ul style="list-style-type: none"> - É difícil identificar o especialista; - Muitas vezes as projeções são erradas ou preconceituosas; - Pode ser ambíguo e divergente para os Especialistas
Cenários	<ul style="list-style-type: none"> - Apresenta dados consistentes sobre o futuro em questão; - Junta informações quantitativas e qualitativas por meio de outras técnicas de prospecção; - Incorpora dados que possibilitam definir a ação a ser tomada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Algumas vezes são mais fantasias do que prospecção, principalmente quando se identifica o futuro desejado sem considerar as restrições e barreiras a serem ultrapassadas; - Pode ser difícil obter as informações desejadas
Análise de Tendências	<ul style="list-style-type: none"> - Previsões substanciais, baseadas em parâmetro bem quantificado; - Preciso em um curto prazo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requer dados históricos sólidos e coletados por um longo período; - Só funciona para parâmetros quantitativos; - É vulnerável a mudanças bruscas; - Não recomendado para prospecções em longo prazo.
Sistemas de Avaliação e Decisão	<ul style="list-style-type: none"> - Ajudam a reduzir a incerteza no processo decisório; - Auxiliam no estabelecimento de prioridades quando há grande quantidade de variáveis a serem analisadas. 	<ul style="list-style-type: none"> - É necessário ter a consciência de que os métodos reduzem, mas não eliminam a incerteza no processo de decisão.

Fonte. adaptado de Coelho e Coelho, 2003

2.2.2. Metodologia Delphi

O objetivo desta técnica tem como fundamento maximizar os benefícios do conhecimento do grupo de especialistas, fazendo uma troca de opinião entre os correspondentes, que entrarão em um acordo sobre certo ponto de vista. O princípio do método é baseado no meio intuitivo e interativo. É necessário formar-se um grupo de especialistas na área do conhecimento da qual se quer fazer a prospecção. Os mesmos

respondem a uma série de questões, previamente elaboradas pelo pesquisador. Os resultados obtidos com as respostas dos questionários são analisados através de métodos estatísticos.

Esse método é recomendado para a realização de prospecção tecnológica quando modelos puramente matemáticos não podem ser utilizados e quando é necessário que se exista um julgamento pessoal do indivíduo que trabalha com o tema a ser investigado. Martino (2003) definiu alguns critérios para preferir a utilização da metodologia Delphi em detrimento a outras técnicas de pesquisa:

- a) O problema não permite uma avaliação precisa por técnicas analíticas, mas necessita de opiniões subjetivas de forma coletiva;
- b) Não há histórico de que os indivíduos a serem consultados para avaliação do problema tenham comunicação eficiente entre si e/ou de que representam diversos níveis de conhecimento e experiências;
- c) Mais indivíduos são necessários do que o eficientemente factível para uma reunião coletiva;
- d) Disponibilidade de tempo e os custos tornam impossíveis reuniões frequentes;
- e) A divergência de opiniões entre os indivíduos faz com que as discussões precisem ser mediadas e/ou o anonimato garantido;
- f) A heterogeneidade do grupo de indivíduos deve ser preservada para garantir a autenticidade das respostas.

A metodologia Delphi, assim como a entrevista ou as pesquisas, consiste na coleta de opiniões e avaliação dos dados. Os diferenciais da metodologia Delphi são:

- O anonimato;
- *Feedback* aos participantes;
- Tratamento estatístico das respostas.

O anonimato é fundamental para a realização da pesquisa, evitando ao máximo que um participante seja influenciado pela opinião de outro participante.

O *feedback* aos respondentes é feito ao término de cada etapa da pesquisa, e com essas estatísticas em mãos, poderão refazer o questionário. São realizadas tantas etapas quanto forem necessárias para que as respostas não sofram mais alteração. A quantidade de etapas realizadas também depende do tempo disponível para a elaboração da pesquisa, de tempo dos participantes e do custo da elaboração da pesquisa.

O tratamento estatístico é realizado para determinar o ponto de convergência dos resultados e assim determinar com maior probabilidade o futuro.

A metodologia Delphi é trabalhosa e demorada, apresentando altas taxas de desistência dos participantes, e inclui a tarefa nem sempre eficaz de convencê-los a preencher questionários sucessivos. Além dessas dificuldades, existe a necessidade de se elaborar um questionário que não cause dúvidas aos respondentes (GEORGHIUS, et al, 2008). No primeiro contato com os participantes, se deve explicar claramente os objetivos do estudo e as informações necessárias para responder aos questionários.

De acordo com Linstone e Turoff (1975), existem dois tipos de pesquisas conduzidas sob o método Delphi:

- Tipo convencional: os questionários são enviados aos respondentes em papel ou por meio eletrônico, e posteriormente devolvidos com as respostas. Desvantagens desse tipo: tempo excessivo entre envio e retorno (tempo de resposta), custo de impressão e postagem dos questionários, sendo que os dois últimos no caso do envio em papel.
- Tipo tempo real: utilização de computadores em rede para que a resposta seja imediata. Desvantagem: reunião de especialistas ao mesmo tempo.

Nesse estudo foi avaliada a tendência do uso de fontes alternativas de geração energia em futuro de 20 a 30 anos de um modo geral, utilizando a metodologia Delphi do tipo convencional por meio eletrônico.

2.2.2.1. Vantagens

Entre as vantagens da utilização da metodologia Delphi para a realização de pesquisas de prospecção de âmbito internacional e planejamento de decisões, pode-se citar:

- Pode ser utilizada em situações com escassez de dados históricos;
- Anonimato dos participantes;
- Ausência de influência entre os participantes;
- Permite a consulta a um grande número de especialistas, a custos baixos;
- Minimiza problemas de disponibilidade de tempo do participante, de fuso horário, de deslocamento.

A metodologia permite estruturar a comunicação entre os participantes, com a possibilidade de estabelecer novos parâmetros e inter-relações perante os modelos usuais de previsão. Os participantes possuem influência direta sobre o resultado, o qual será o reflexo do conhecimento e da avaliação objetiva, subjetiva e intuitiva deles (WEBLER, 2000; WILSON e GILLIGAN, 2012 e STRAND et al.,2017).

2.2.2.2. Desvantagens

A metodologia Delphi apresenta os seguintes fatores como ponto críticos para o sucesso da pesquisa:

- Escolha dos especialistas: deve-se escolher um grupo representativo e com conhecimento do tema, evitando que as respostas sejam tendenciosas
- Elaboração do questionário: evitar que um questionário ambíguo e confuso, que direciona as respostas;
- Tempo elevado para a realização da pesquisa e tratamento dos dados;
- Tratamento estatístico: análise das respostas discrepantes.

Em certos meios, o método Delphi é considerado, antes de tudo, como uma ferramenta de comunicação em que seu sucesso pode ser medido qualitativamente em termos da satisfação dos participantes (WOUDENBERG, 1991). Sob este ponto de vista, as desvantagens citadas podem ser minimizadas buscando proporcionar aos respondentes a possibilidade de usufruir dos resultados da pesquisa (WRIGHT et al, 2000).

2.2.2.3. Recomendação de uso

A decisão pelo uso da metodologia Delphi está relacionada com as circunstâncias da pesquisa. Linstone (2002) lista uma série de características que quando presentes indicam o uso preferencialmente da metodologia Delphi. São elas:

- O problema não pode ser avaliado por técnicas analíticas, mas pode se beneficiar de julgamentos subjetivos numa base coletiva;
- Mais indivíduos são necessários do que possam interagir de forma adequada e efetiva em uma técnica presencial;
- Tempo e custo tornam inviável a realização de reuniões frequentes;
- Discordâncias entre os membros são tão grandes ou politicamente insuportáveis que o processo de comunicação deve ser arbitrado e o anonimato assegurado;
- A heterogeneidade dos participantes deve ser preservada de forma a assegurar a validade dos resultados. Evitar domínio pela quantidade ou persuasão.

2.2.2.4. Escolha da metodologia

Escolheu-se a metodologia Delphi para a realização desse trabalho de prospecção tecnológica levando em consideração os seguintes fatores: aplicação técnica, abrangência geográfica, custo, horizonte de tempo e prazo de conclusão do trabalho.

Porém, além dessa metodologia também foram utilizados os métodos descritivos, cenários, métodos estatísticos e métodos de monitoramento para a conclusão do trabalho. A

técnica de bibliometria foi utilizada durante a revisão bibliográfica e elaboração do questionário do presente trabalho.

A execução da metodologia Delphi foi dividida em quatro etapas: levantamento dos especialistas, formulação do questionário, envio dos questionários e análise dos resultados.

2.2.2.4.1. Especialistas

A seleção dos especialistas é importante, pois um grupo que não seja necessariamente especialista no assunto pode comprometer o resultado com respostas distorcidas. Para atingir um resultado próximo da realidade é necessário garantir a diversidade do grupo, e gerar vários interpretações e tipos de pontos de vista sobre o tema. É igualmente necessário a diversidade dos setores de atuação dos especialistas, isto é, buscar especialistas no meio acadêmico, industrial e governamental para que sejam analisados pontos de vistas diferenciados, dando credibilidade maior ao estudo (OKOLI e PAWLOWSKI, 2004; SANT'ANA, 2005).

Outra consideração importante na escolha dos participantes da pesquisa é o nível de conhecimento na área. Parâmetros como anos de experiência na área, número de publicações e participação em congressos podem ser boas referências.

O número de respondentes a ser contatado também deve ser avaliado com cuidado pois o histórico mostra que há uma abstenção entre 30% e 50% na primeira rodada do questionário e entre 20% a 30% na segunda rodada (WRIGHT e GIOVINAZZO, 2000). Caso o número de respondentes contatado e selecionado seja pequeno, a qualidade das respostas pode ficar comprometida.

Entre os motivos que causam essa grande abstenção dos participantes da pesquisa, Landeta (2006) cita alguns fatores, os principais são:

- Desconhecimento, por parte dos respondentes, do método e seus detalhes de funcionamento;
- Cansaço dos especialistas, caso haja um número de rodadas do questionário elevado;
- Desmotivação do participante por não haver interação com os demais, tendo ele apenas o benefício da informação relativa aos dados estatísticos;
- A falta de um *feedback* efetivo. Os respondentes devem saber exatamente o *status* do estudo e o momento em que sua participação não é mais necessária.

2.2.2.4.2. Formulação do questionário

O meio de comunicação com os respondentes é o questionário, por isso deve-se atentar fortemente em sua elaboração.

As informações e os objetivos do estudo devem ser claramente expostos, para que as respostas compartilhem de um mesmo contexto. Publicações como Jones (1986) e Wright

(2000) trazem recomendações para a elaboração do questionário. As principais recomendações listadas por Wright (2000), para a elaboração do questionário, são:

- Evitar eventos compostos, de forma que o respondente não fique em dúvida por concordar apenas com uma parte do texto;
- Evitar colocações ambíguas, com o uso de jargão técnico e expressões como “comum”, “normal” etc., pois os respondentes podem ter concepções diferentes para o termo;
- As questões devem ser curtas e simples de se responder;
- Ter um número adequado de perguntas, normalmente não passando de 20 a 25. De modo que o questionário não seja muito extenso e os respondentes cansem ou que não seja curto a ponto de não abranger todo o tema;
- Esclarecer previsões contraditórias, caso existam eventos excludentes;
- Evitar ordenamento de proposições, como determinar uma ordem de prioridade entre listas grandes de itens demanda muito tempo e esforço;
- Permitir complementação, incluir na lista uma opção que possa ser preenchida pelo respondente, caso a lista não possa cobrir todas as opções possíveis;
- Não fazer declarações condicionais;
- Temos científicos devem ser corretos;
- Parâmetros devem ter definições claras.

É importante ressaltar que, a cada rodada do questionário, podem ser realizadas pequenas alterações para facilitar ou esclarecer pontos antes não entendidos integrando o *feedback* enviado aos especialistas, a cada rodada, para que tenham conhecimento das opiniões dos restantes, podendo compará-las com as suas.

2.2.2.4.3. Envio do questionário

Pelo fato de que os respondentes do questionário sejam anônimos entre eles, um excelente meio de se conduzir a pesquisa é através de correio. Com o uso da internet, foi possível fazer com que pesquisas utilizando a metodologia Delphi fossem conduzidas eletronicamente. No presente trabalho utilizou-se o site QuestionPro para a confecção do questionário e seu envio aos especialistas. Juntamente com o link para a página da pesquisa, foi enviada uma carta de apresentação aos respondentes explicando a motivação do presente trabalho e seu funcionamento.

As versões, em inglês e português, dos questionários enviados na primeira rodada estão no Anexo A, e as versões da segunda rodada no Anexo B.

3. Metodologia

Conforme mencionado, utilizar-se-á a metodologia Delphi para a prospecção tecnológica sobre o uso de fontes alternativas de geração de energia. A questão energética depende de questões políticas, sociais e ambientais e por isso é difícil a simulação computacional de médio e longo prazo do uso de fontes alternativas. Nesse caso, opta-se pelo estudo do consenso dos especialistas nas diversas fontes de energia.

3.1. Escolha dos especialistas

Os especialistas foram escolhidos de modo a abranger os setores acadêmico, governamental e industrial. A seleção do setor acadêmico foi realizada utilizando bancos de dados de revistas científicas, no portal *Science Direct*, com a procura pelas palavras-chave: Energy, Renewable Energy, Solar Energy, Ocean Energy, Wind Energy, Fuel Cell, Biomass, Nuclear Energy. O resultado dessas buscas foi analisado quanto ao título e abstract, e nos casos em que se enquadrou ao objetivo deste trabalho foi selecionado o nome e email do autor.

Na área governamental, buscou-se especialistas através dos sites governamentais. Enquanto que no setor industrial, os especialistas foram selecionados por meio de sites de empresas do ramo e artigos e publicações com finalidade comercial.

Como este trabalho trata de diversos tipos de fonte de energia, atentou-se para que os números de especialistas em cada fonte fossem equilibrados, para evitar que resultado fosse tendencioso. A quantidade de especialistas em cada área não foi afetada pelo número de publicações que essa área possui, de modo a eliminar a influência da produtividade.

3.2. Question Pro

Neste trabalho utilizou-se, o *QuestionPro*, que é um programa de internet que possibilita a criação de um questionário e também sua distribuição e levantamento das respostas. Esse site permite a criação de perguntas de múltipla escolha, de quantificação e livre para escrita.

Criou-se um banco de dados dos respondentes dentro da plataforma, e o programa enviou um e-mail com o link da pesquisa e uma carta de apresentação, no caso específico deste projeto, convidando os especialistas a contribuírem para a pesquisa.

O sistema *QuestionPro* possui ferramentas que fazem o levantamento estatístico e a visualização das respostas, e disponibiliza essas respostas instantaneamente após a conclusão do questionário por parte do respondente. O sistema armazena todas as informações recebidas. Além disso, os resultados podem ser exportados para outros Softwares, como o

Microsoft Excel e Minitab, individualmente ou um resumo. Através do site, também é possível determinar quem já respondeu e os que não acessaram o questionário.

A primeira rodada foi realizada no período de 23 de maio de 2016 a 23 de junho de 2016. Por ser uma pesquisa de âmbito internacional o questionário foi desenvolvido em inglês. A segunda rodada foi realizada entre os dias 06 de outubro de 2016 e 06 de novembro de 2016.

4. Resultado e Discussão

A primeira rodada do questionário foi elaborada utilizando perguntas sobre todos os tipos de energia desse estudo. Primeiramente, as perguntas foram para conhecimento do respondente e depois as perguntas foram específicas sobre os tipos de energia e formas de geração de energia elétrica. Considerando especialistas em todas as fontes de geração de energia e que atuam em diversas áreas, foram selecionadas 1125 pessoas para participarem deste trabalho. Ao final da primeira rodada, 21 não receberam as comunicações para participação na pesquisa devido a problemas com seus correios eletrônicos (nestes casos foi retornada uma mensagem de erro); 64 viram a pesquisa; 51 iniciaram, mas não completaram; e 30 especialistas responderam por completo o questionário.

Considerando apenas aqueles que receberam o email (1104 especialistas), a porcentagem de conclusão da primeira rodada foi de 2,71%. Se considerarmos apenas aqueles que viram a pesquisa, a razão de conclusão foi de 46,88%, o que pode ser resultado da complexidade e do tamanho do questionário, um texto muito extenso ou cansativo ao participante, ou ainda a abordagem de diferentes tipos de energia em que a pessoa não tem grande conhecimento.

Na segunda rodada, dos 1104 especialistas contatados, 11 estavam ausentes do escritório no período de realização da pesquisa. Destes 1093 especialistas, 72 viram a pesquisa, 48 iniciaram, mas não completaram e 33 responderam o questionário todo. Nessa segunda rodada a porcentagem de conclusão foi de 3,02% (em relação ao total) e de 45,83% (em relação apenas aos que viram a pesquisa).

Landeta (2006) mostra que a abstenção neste tipo de pesquisa é consideravelmente alta, ficando em torno de 50% na primeira rodada e de 20% a 30% na segunda rodada, por três grandes motivos:

1. Não conhecimento do método pelo respondente;
2. Cansaço dos especialistas, caso haja um número elevado de perguntas e/ou rodadas;
3. Desmotivação do participante por não haver interação com os demais respondentes, tendo ele apenas o benefício da informação relativa aos dados estatísticos.

Segundo Wright e Giovinazzo (2000), pode-se esperar uma abstenção de até 65%, quando há contato pessoal entre os administradores da pesquisa e os especialistas ou quando há algum relacionamento entre estes. Como neste trabalho não foi realizado contato pessoal e os respondentes não possuem nenhum relacionamento com os administradores da pesquisa, a abstenção de 97% obtida nessa pesquisa foi considerada coerente com as expectativas e

adequadas para apresentar conclusões. De acordo com Graham et al. (2003) já ocorreram estudos Delphi com número menor de respondentes e com resultados conclusivos.

O baixo número de respondentes nesse projeto pode ser explicado pelo elevado número de questões sobre fontes de energia variadas. Recomenda-se até 25 questões, mas, devido à abrangência desse estudo, na primeira rodada foram enviadas 30 questões para os especialistas responderem sobre todas as energias abordadas nesse trabalho. A maioria dos respondentes pertencem à academia e, por isso conhecem muito bem sua área de pesquisa, mas pode acontecer não terem uma visão global das demais técnicas e processos de obtenção de energia elétrica abordadas no questionário. Por isso não se sentiram seguros para comentar sobre essas energias. Outra situação que pode ter ocasionado o baixo número de respondentes é a falta de conhecimento dos respondentes em relação à matriz energética de seu país e sobre a aplicação em grande escala das pesquisas que desenvolvem em laboratório.

As respostas da primeira rodada foram avaliadas individualmente e ajustes ao questionário foram introduzidos para a segunda rodada, considerando os resultados e as contribuições dos participantes. Por não haver grandes alterações na pesquisa, não foi necessário a realização de uma terceira rodada. Serão apresentados, a seguir, os dados tratados estatisticamente e a análise dos resultados obtidos tanto na primeira rodada (Anexo A) como na segunda rodada (Anexo B) do questionário.

4.1. Perfil dos participantes

Os especialistas foram classificados de acordo com os continentes, para que as respostas levem em consideração as diferenças culturais e geográficas, como pode ser visto na Figura 23.

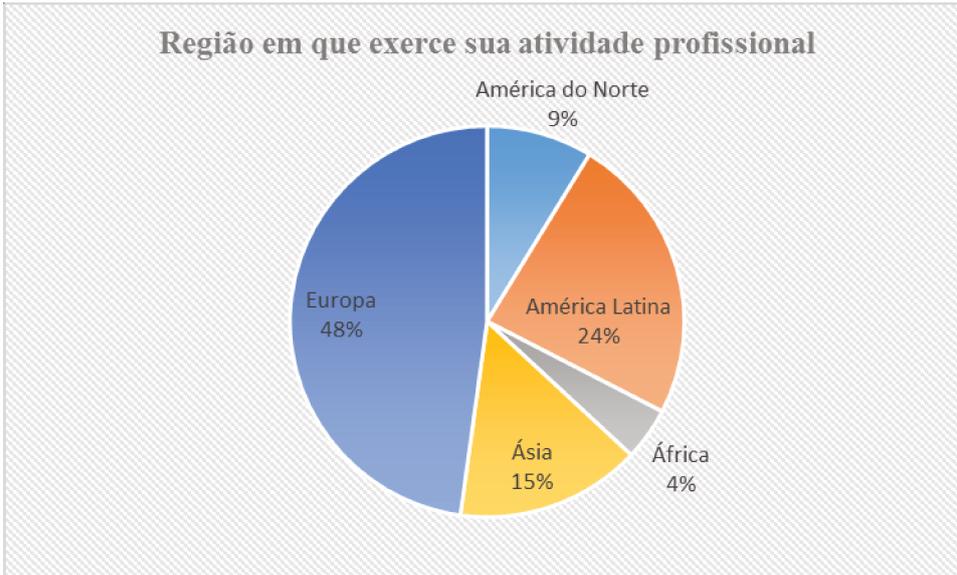


Figura 23. Especialistas por continente.

Em seguida os respondentes foram classificados de acordo com a área em que trabalham, que pode ser acadêmica, industrial, governamental, e alguma combinação dessas ou ainda, na área de Consultoria, como apresentados na Figura 24.

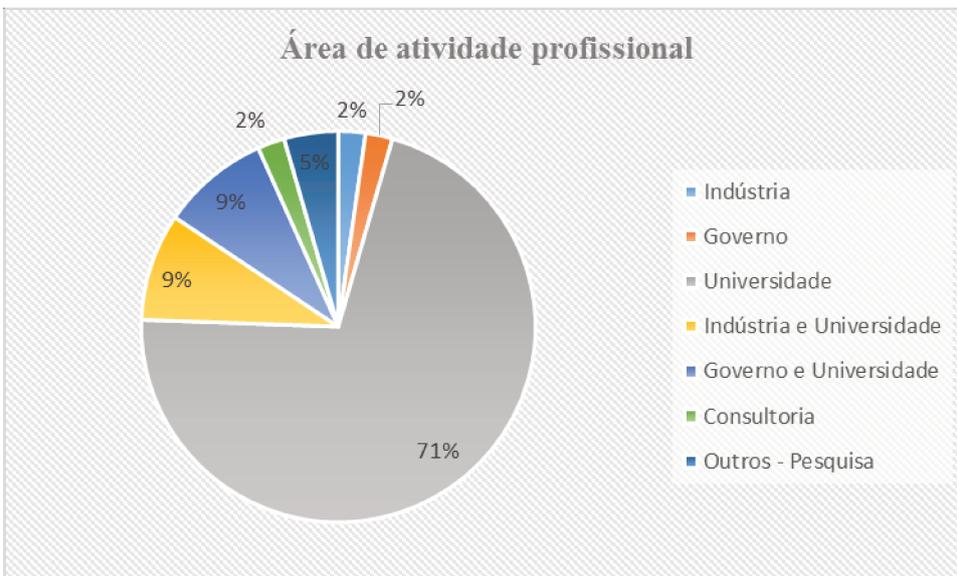


Figura 24. Especialistas por categorias.

4.2. Familiaridade com o assunto

A informação sobre o nível de conhecimento em energias alternativas é necessária para ter credibilidade nos resultados obtidos, uma vez que pessoas conhecedoras do tema

podem opinar algum critério e pessoas sem o conhecimento do tema opinam pela emoção. Na Figura 25 pode-se observar que a maioria dos respondentes se consideram especialistas ou com grande conhecimento do tema, de modo que os resultados obtidos podem ser considerados aceitáveis.

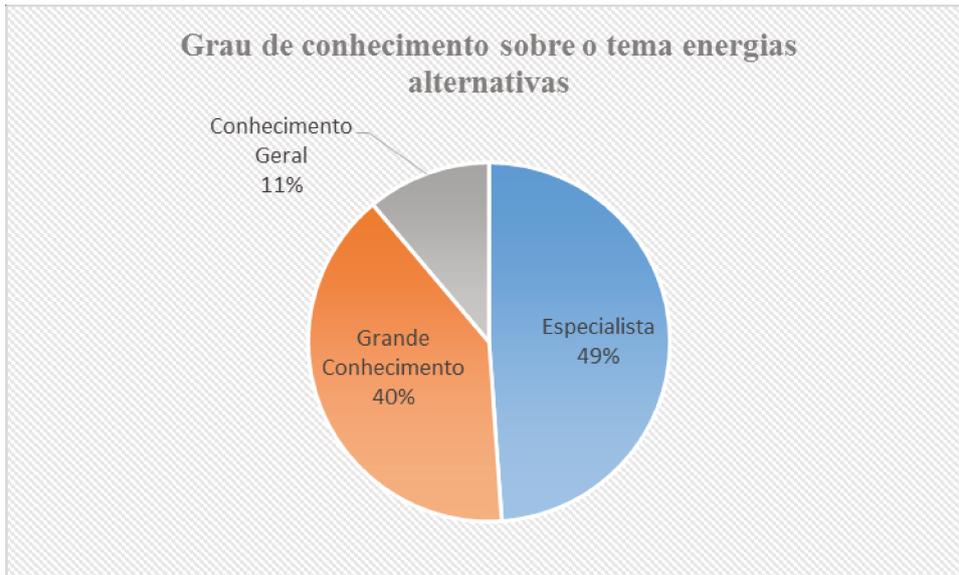


Figura 25. Nível de conhecimento dos respondentes.

4.3. Importância do estudo

Em seguida analisou-se a tendência de implantação de fontes alternativas de geração de energia, de acordo com as diretrizes governamentais de cada país (Figura 26).

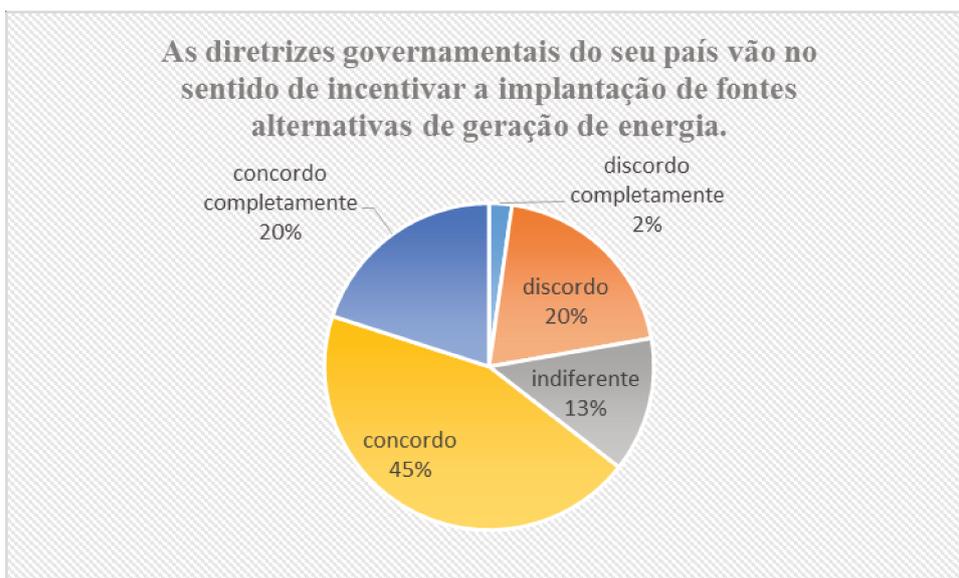


Figura 26. Tendência de implantação de fontes alternativas de energia

Nota-se que a maioria dos especialistas considera que a tendência é a implantação e utilização de fontes alternativas, às utilizadas atualmente. Mas observa-se também que em alguns casos não é essa tendência, possivelmente em países em que há abundância de matéria prima geradora de energia, e em outros casos o especialista considera que as diretrizes governamentais não influenciam na tendência de utilização de fontes alternativas de energia.

4.4. Análise das respostas

A fim de conhecer o perfil energético do país em que o especialista reside, questionou-se sobre a matriz energética de seu país (Figura 27).

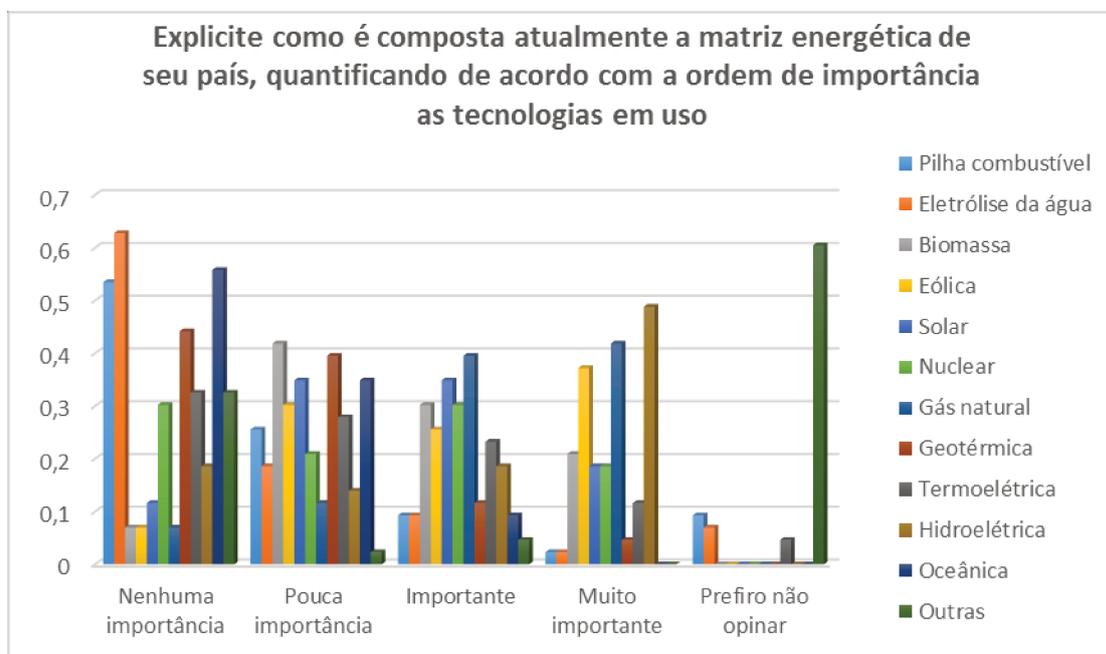


Figura 27. Matriz energética atualmente

Observa-se que das onze energias citadas nesse trabalho, as energias mais utilizadas de modo sistemático e contínuo atualmente são: hidroelétrica, gás natural, eólica, biomassa, solar e nuclear.

As energias das pilhas a combustível, eletrólise da água, geotérmica e termoelétrica são consideradas pouco importantes ou de nenhuma importância para composição da matriz energética atual.

As questões seguintes consideraram as energias em separado, a fim analisar a expectativa dos respondentes para a utilização de cada fonte de geração de energia.

Analisando a Figura 28 nota-se que das respostas válidas (desconsiderando as respostas do “Prefiro não opinar”, acima de 47,5% em cada tipo de pilha), a maioria dos especialistas (em torno de 32,5%) consideram os tipos de pilhas a combustível de pouca ou nenhuma importância na produção de energia elétrica em uso atual pela sociedade. Resultado esse compatível com o observado na Figura 27. Há muitas pesquisas envolvendo as pilhas a combustível. Nos últimos 3 anos foram publicados um número elevado de artigos sobre esse tema, são 72,958 na Science Direct, porém essas pesquisas ainda não resultaram em uso rotineiro pela sociedade.

Observa-se na Figura 28 que um elevado número (acima de 47%) de especialistas responderam que “Não Preferem Opinar” sobre esse assunto. Esse resultado pode ser explicado pelo alto número de respondentes da academia, que não são especialistas em pilhas a combustível e não tem o conhecimento desse tipo de energia à escala industrial, e por isso preferiram não opinar sobre um tema que não se sentem seguros.

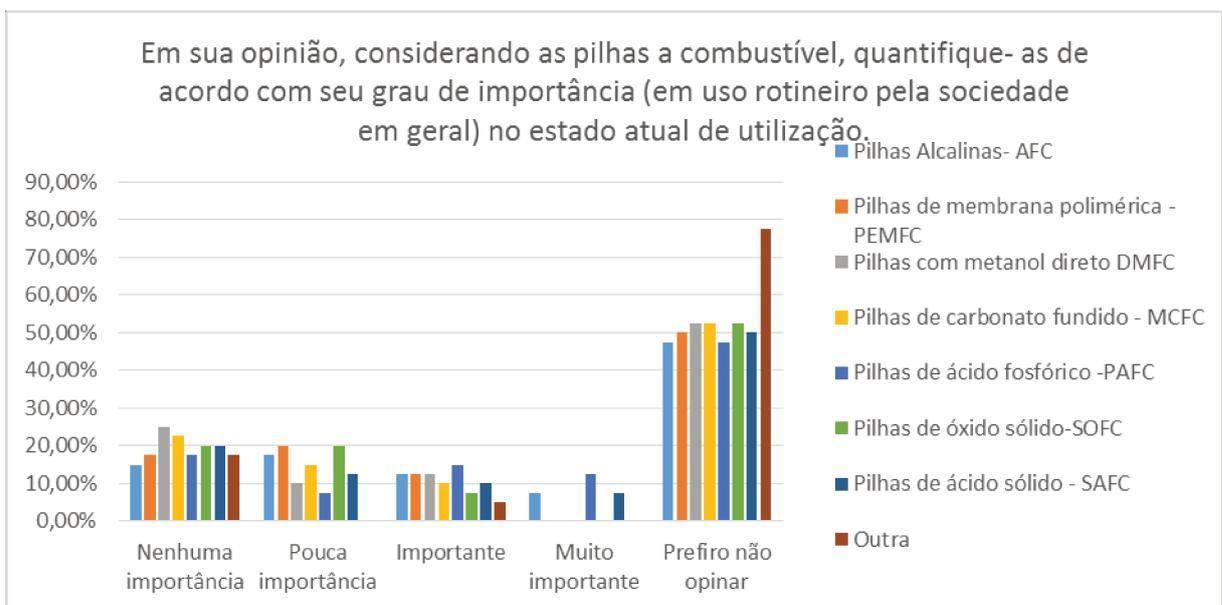


Figura 28. Importância dos diferentes tipos de pilhas a combustível.

No caso da produção de hidrogênio (Figura 29), analisando apenas as respostas válidas, a reforma à vapor é o processo considerado mais importante (41,7%), seguido do eletrolítico (41,4%). Os métodos biológico, fotolítico e termolítico são considerados de pouca ou nenhuma importância (52,8%, 47,22% e 52,8% respectivamente).

Esse resultado indica que as pilhas a combustível são poucos utilizadas devido à sua dependência de matéria prima de fonte não-renovável e do elevado custo de obtenção do H₂, e por isso não é vista como uma alternativa viável financeiramente até hoje.

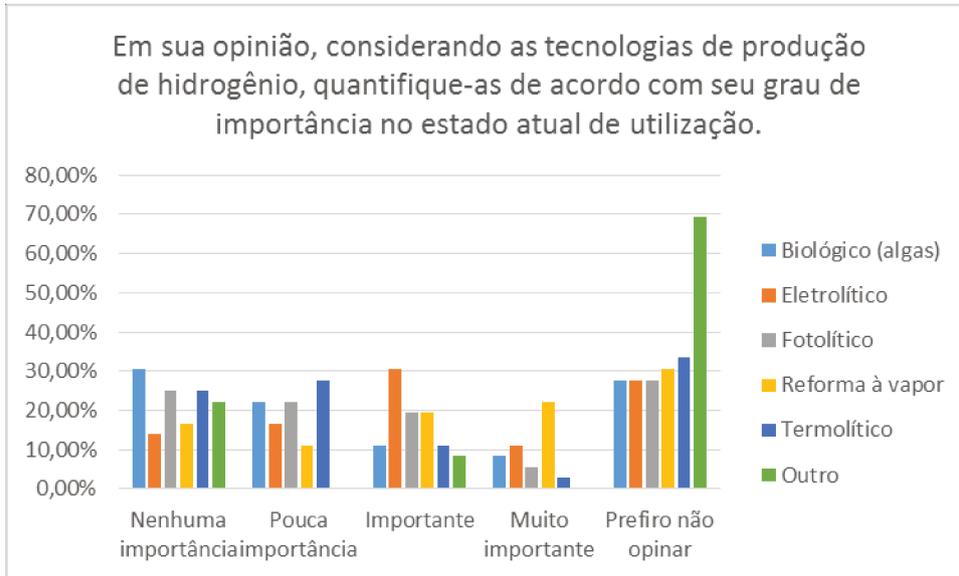


Figura 29. Importância dos diferentes tipos de produção de hidrogênio.

Avaliando os resultados obtidos sobre as diferentes tecnologias para conversão da biomassa (Figura 30), nota-se que todas são consideradas importantes. Nessa questão, um dos especialistas sugeriu como importante o uso da biomassa para combustão direta do lixo animal e/ou da madeira.

Observa-se nesse gráfico, o elevado número (60%) de respondentes que “Preferiram não opinar” sobre outro tipo de conversão energética pela biomassa, além dos citados na questão. Isso pode ser consequência, novamente, do fato do respondente não ser especialista nessa área e, por isso não conhecer outra alternativa de conversão a partir da biomassa. Esse fato se repete ao longo do questionário todo, fato este dos respondentes se especializarem em determinada tecnologia e não terem uma visão sobre as outras alternativas.

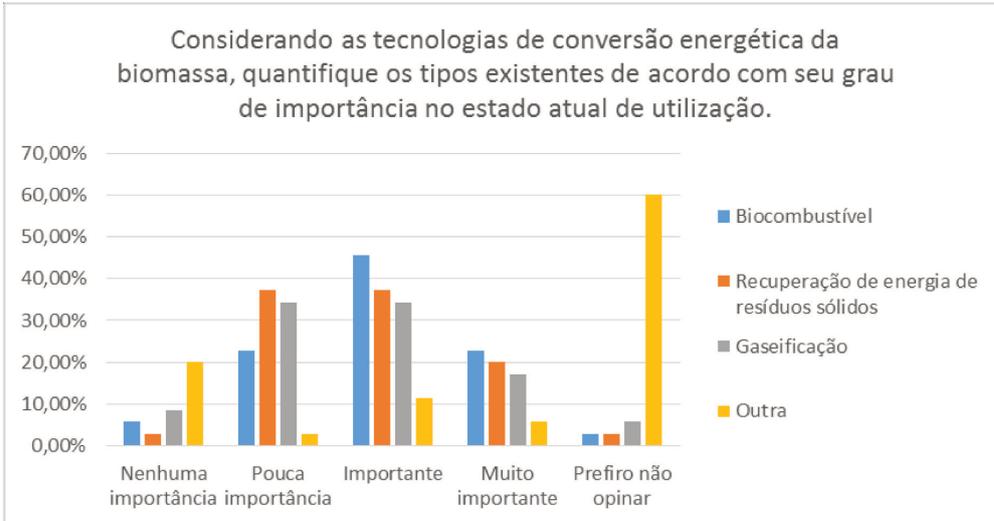


Figura 30. Importância dos diferentes tipos de utilização da biomassa

Os resultados obtidos considerando as diferentes formas de geração de energia elétrica a partir da energia eólica (Figura 31) nos mostram que a mais importante são as turbinas do tipo elevatória com eixo horizontal, seguida pelo mesmo tipo de turbina, porém com eixo vertical.

As turbinas eólicas horizontais são o tipo de turbinas mais comuns, tanto entre as turbinas eólicas de grande como as de baixo porte, devido à sua alta eficiência, investimento tecnológico e custo benefício. (Eólica Fácil)

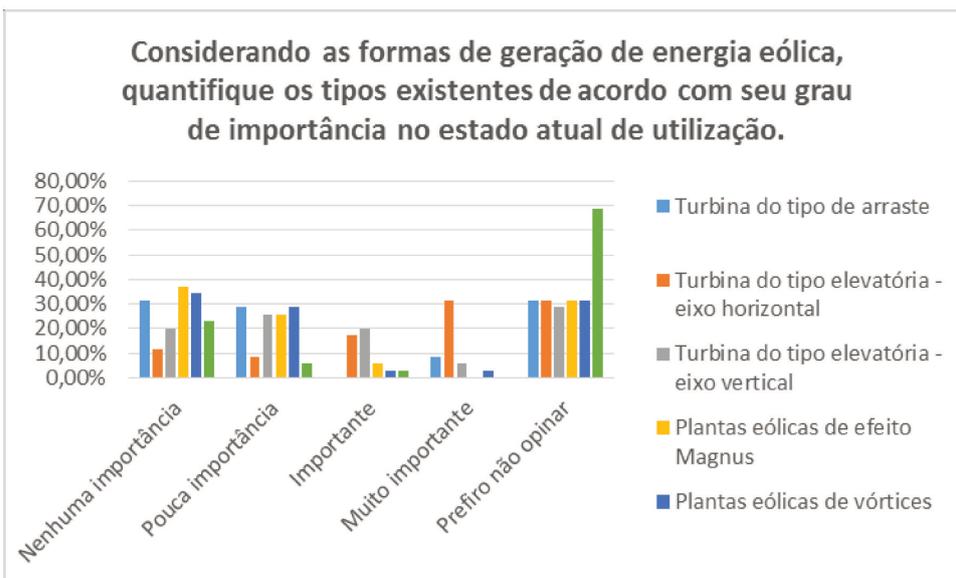


Figura 31. Importância dos diferentes tipos de obtenção de energia eólica.

Analisando as diferentes formas de geração de energia elétrica a partir da energia solar (Figura 32), a energia fotovoltaica é considerada muito importante, enquanto que a fototérmica é considerada de pouca importância. No caso do coletor solar, houve um equilíbrio nas respostas dos especialistas, variando desde muito importante até pouco importante.

Essas respostas refletem as etapas necessárias para a conversão da energia solar em elétrica, sendo que no caso do coletor solar é necessário captar e armazenar a energia, o que não corre com a energia fotovoltaica. Saliente-se que a energia fototérmica é mais utilizada para aquecimento de residências, e por isso demonstra pouca importância na geração de energia elétrica.

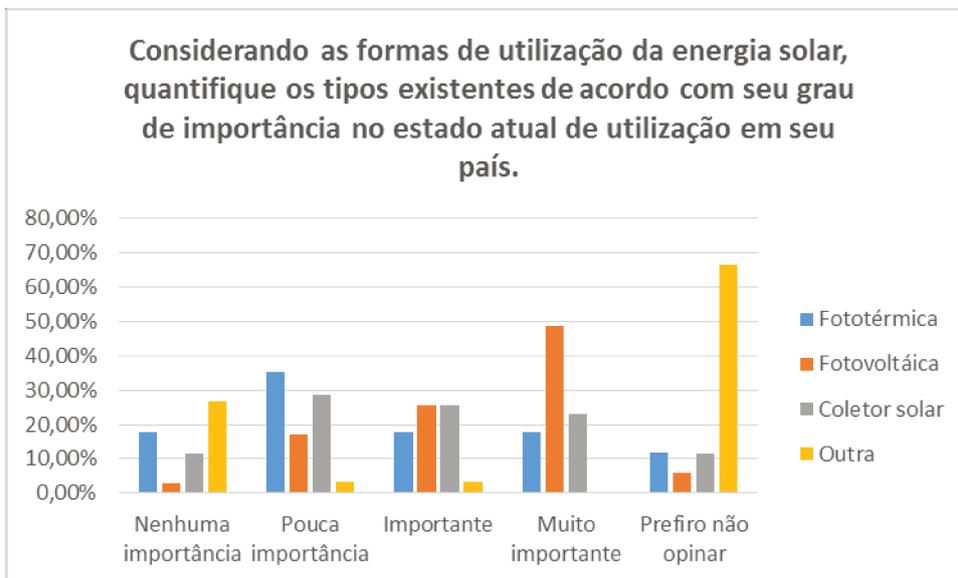


Figura 32. Importância dos diferentes tipos de obtenção de energia solar.

Os especialistas em fontes alternativas de energia consideram que nenhuma das formas de obtenção de energia elétrica a partir da energia geotérmica tem alguma importância. (Figura 33), confirmando o resultado obtido na questão inicial (Figura 27).

Esse resultado parece ser levado em conta por questões geográficas, uma vez que são em pequenas áreas do planeta Terra, regiões próximas às placas tectônicas, em que o acesso a esse tipo de energia é viável.

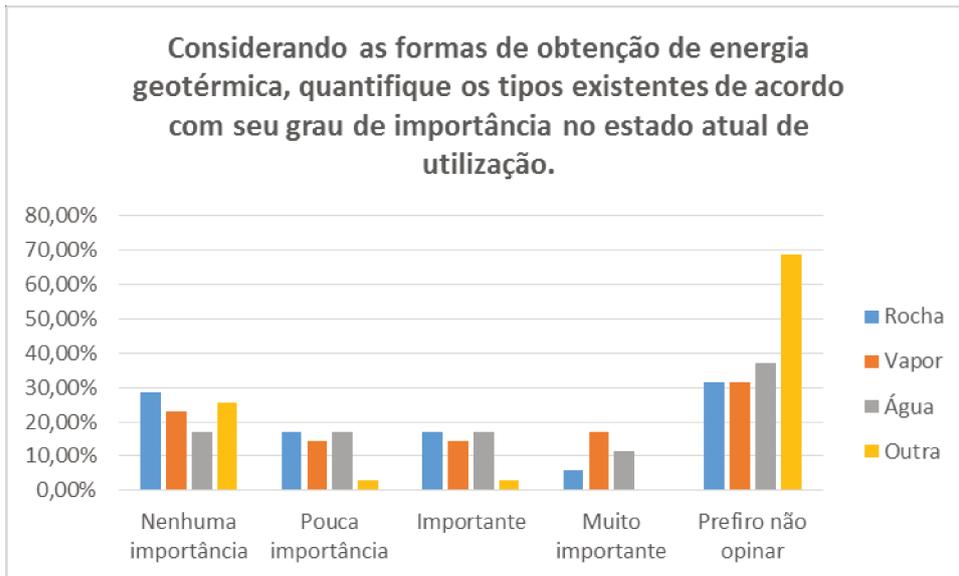


Figura 33. Importância dos diferentes tipos de obtenção de energia geotérmica

As questões sobre a importância dos oceanos na geração de energia elétrica, considerando os diversos tipos de obtenção (ondas, correntes, marés, diferença de salinidade e diferença de temperatura) e também analisando esses tipos de obtenção de energia isoladamente, estão representadas nas Figura 34, Figura 35, Figura 36, Figura 37, Figura 38, Figura 39 e confirmam o resultado obtido na questão inicial (Figura 27).

Esse resultado é consequência da dificuldade técnica atual para exploração desses recursos oceânicos, que inclui desde questões geográficas e variabilidade climática, até equipamentos pouco resistentes à corrosão e de difícil manutenção, e em ambientes marinhos desenvolvendo altas taxas de corrosão e elevada manutenção.

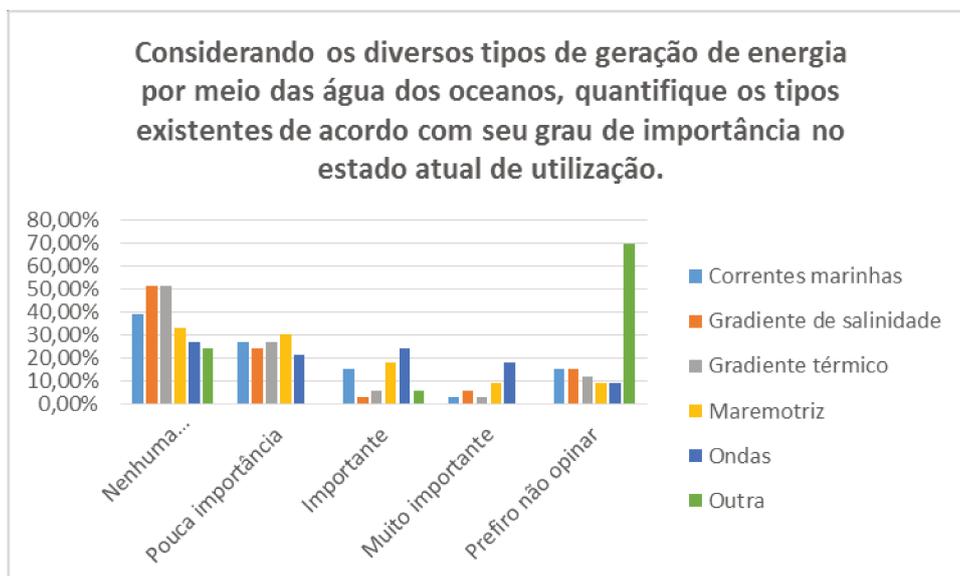


Figura 34. Importância dos diferentes tipos de obtenção de energia do oceano.

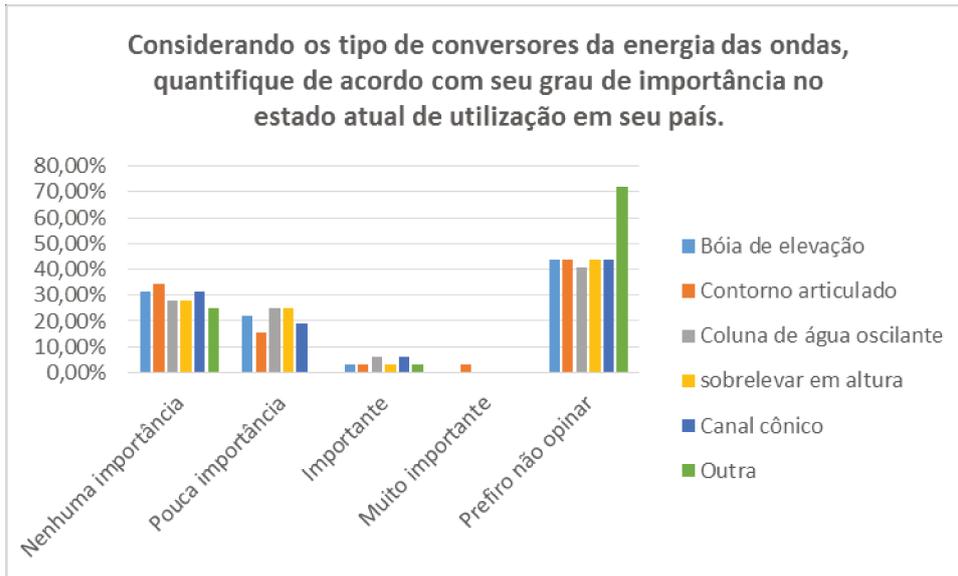


Figura 35. Importância dos diferentes tipos de obtenção de energia das ondas.

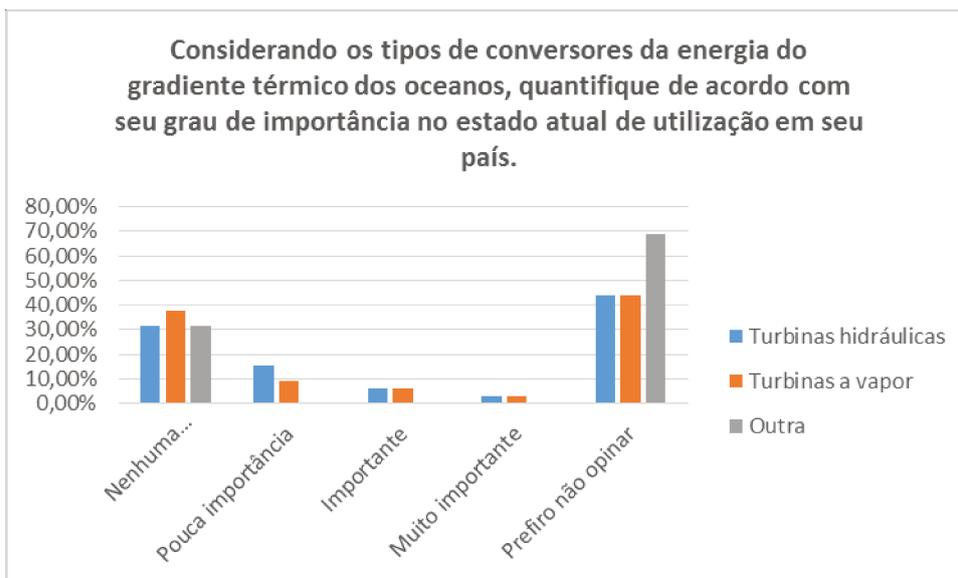


Figura 36. Importância dos diferentes tipos de obtenção de energia do gradiente térmico.

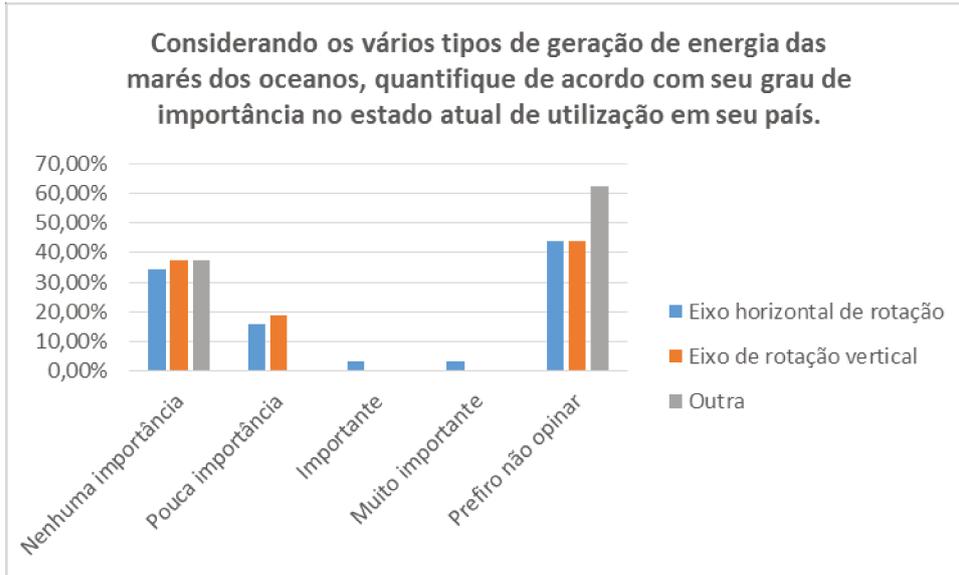


Figura 37. Importância dos diferentes tipos de obtenção de energia das marés.

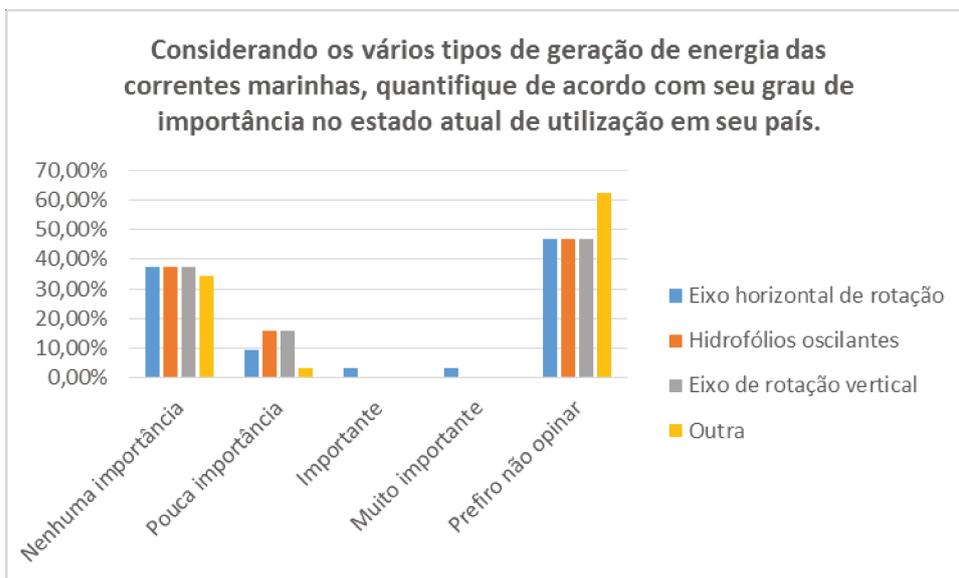


Figura 38. Importância dos diferentes tipos de obtenção de energia das correntes

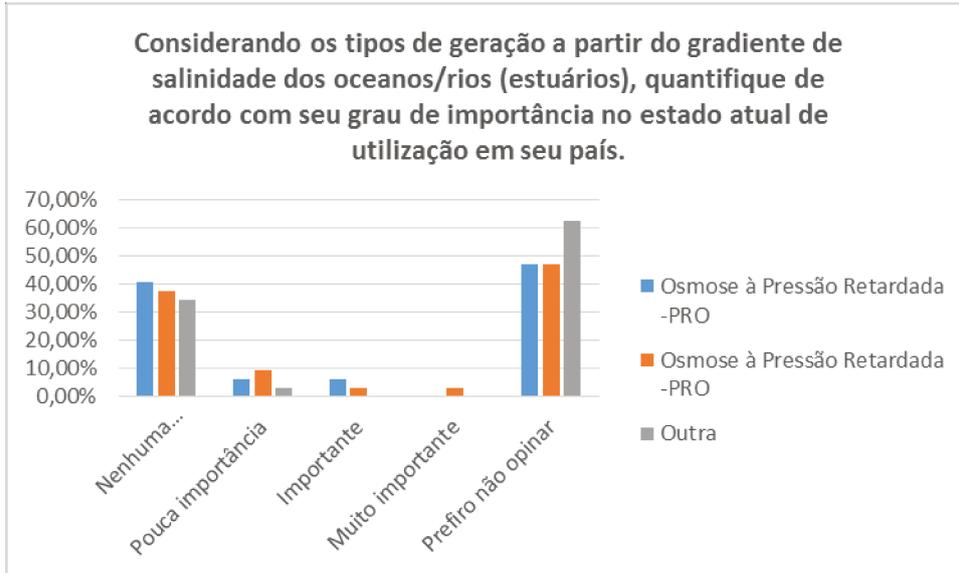


Figura 39. Importância dos diferentes tipos de obtenção de energia do gradiente de salinidade

Certificando as respostas obtidas na questão inicial (Figura 27), os especialistas consideram as grandes centrais hídrica de produção de energia elétrica muito importantes e as pequenas centrais importantes. (Figura 40)

Esse resultado pode ser consequência da grande participação de especialistas da América Latina (Figura 23), como também pelo fato de ser um dos tipos de geração de energia elétrica mais consolidado atualmente, e tecnologicamente bem definido.

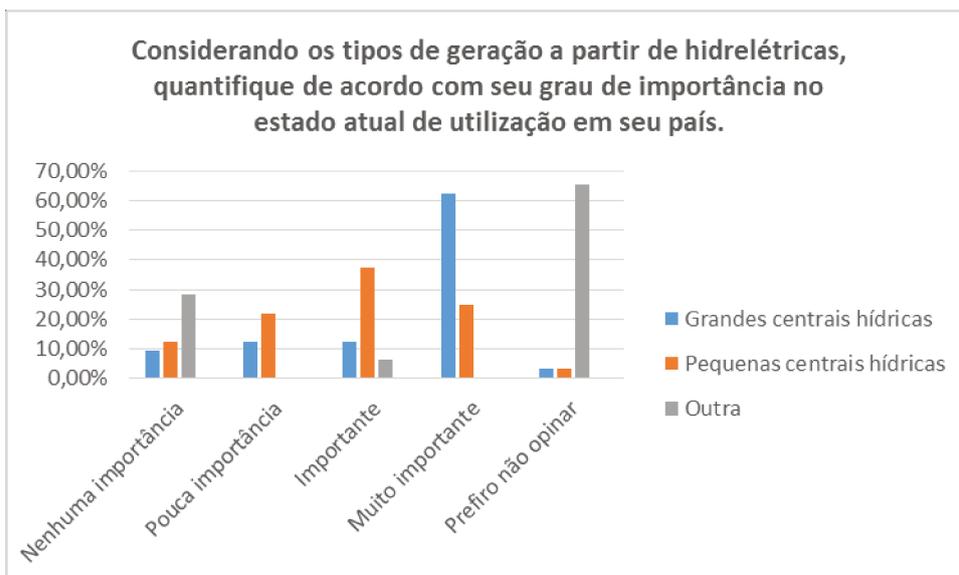


Figura 40. Importância dos diferentes tipos de obtenção de energia hidrelétrica.

Pensando agora no cenário futuro de 30-40 anos, questionou-se os especialistas quais fontes de geração de energia elétrica poderão estar compondo a matriz energética de seus

países (Figura 41). A diferença observada nesse cenário, quando comparado com o cenário atual (Figura 27), é a ausência da energia nuclear como sendo considerada muito importante. Para um cenário de longo prazo, observa-se a seguinte sequência quanto a importância dos processos de geração de energia: hidroelétrica, gás natural, eólica, biomassa e solar são consideradas muito importantes na geração de energia elétrica.

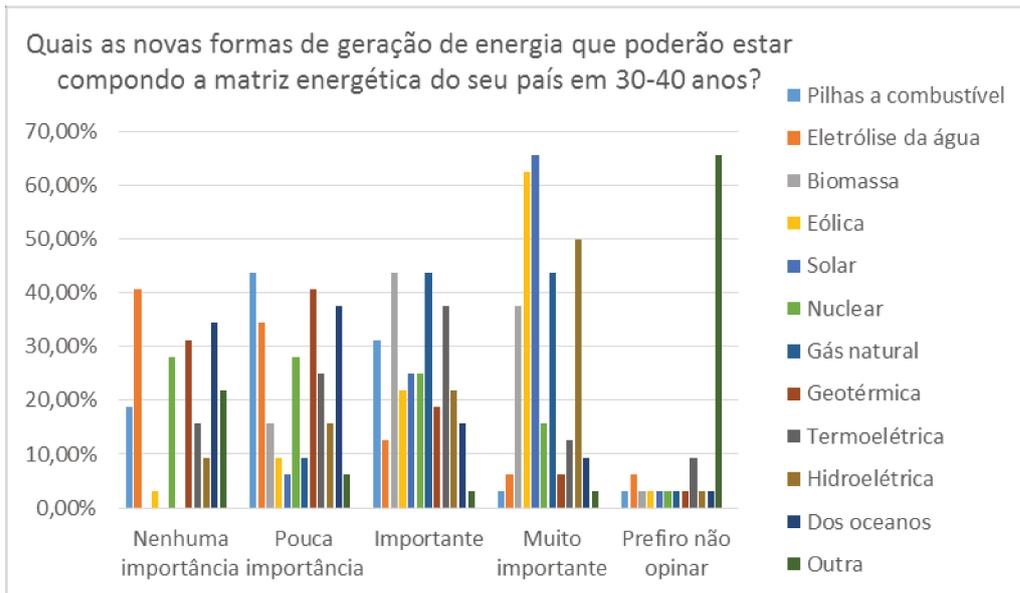


Figura 41. Matriz energética em 30-40 anos

As energias que foram consideradas como não sendo importantes na constituição da matriz energética em 30-40 anos são: pilhas a combustível, nuclear, geotérmica, dos oceanos, eletrólise da água e termoelétrica. Essas energias, com exceção da energia nuclear, também são consideradas pouco importantes na matriz energética da atualidade (Figura 27).

Em relação a essas energias, os respondentes foram questionados sobre quais fatores os levaram a essa decisão, por ordem de importância (Figura 42). Segundo eles, a incompatibilidade geográfica, o custo da matéria prima, a inviabilidade tecnológica e estágio da pesquisa, são os fatores mais importantes nessa decisão.

A indisponibilidade de matéria prima não é considerada explicitamente como um fator importante para a não utilização de uma determinada fonte de geração de energia, mas pode estar sendo considerada no item de inviabilidade tecnológica.

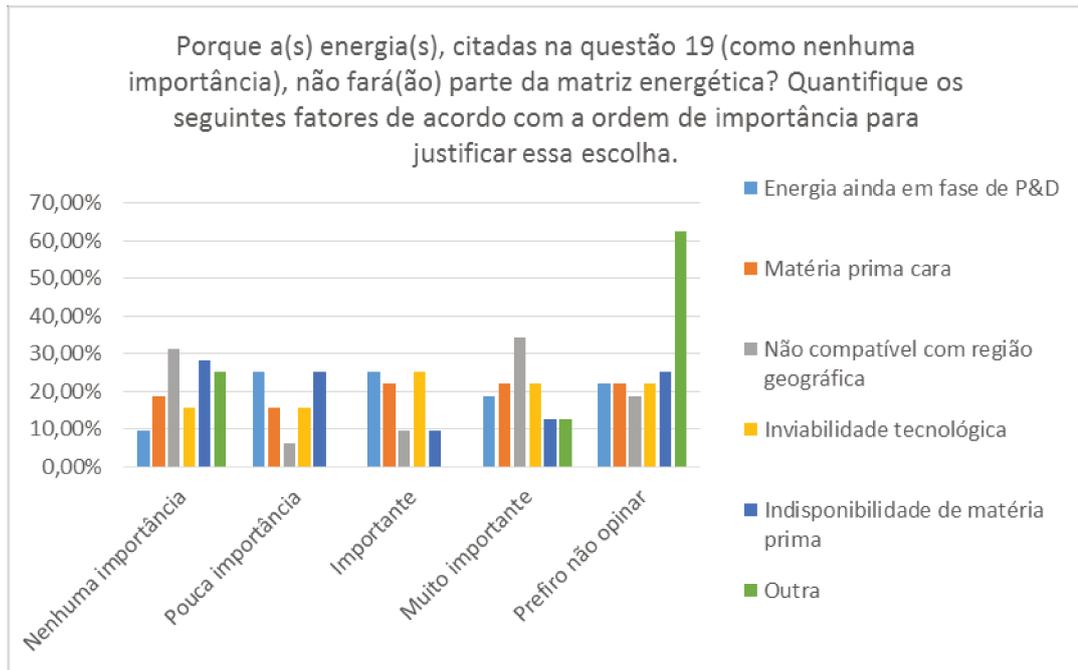


Figura 42. Importância dos fatores para não utilização de uma fonte de geração de energia elétrica.

Em seguida, questionou-se os especialistas sobre os benefícios da implantação de uma nova fonte de geração de energia elétrica, conforme ilustrado na Figura 43. Nota-se que o maior benefício é a questão ambiental, seguido por independência energética, custo e descentralização da produção de energia.

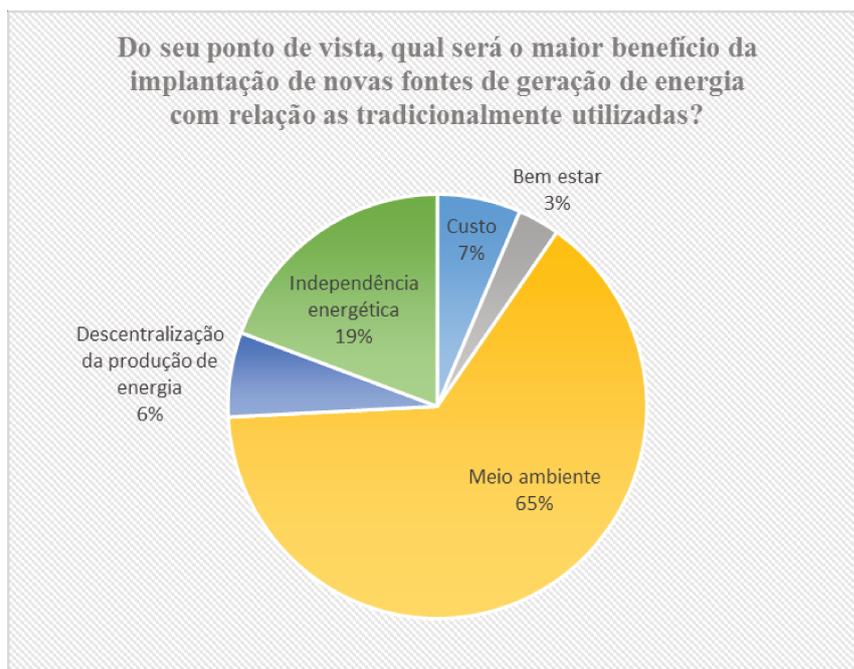


Figura 43. Benefício da implantação de nova fonte de geração de energia elétrica

Na questão sobre sinergia (Figura 44), a maioria dos respondentes considera que os sistemas híbridos de energia solar/pilhas a combustível (43,7%) e energia eólica/pilhas a combustível (40,6%) serão muito importantes em 30-40 anos, ao passo que a energia das hidrelétricas/pilhas a combustível (31,2%) será importante. Houve também o consenso de que o sistema híbrido energia nuclear/pilhas a combustível será pouco ou nada importantes para produção de energia elétrica. Isto se justifica por considerarem pouco importante a geração termonuclear num cenário futuro.

Nota-se que quando utilizada a pilha a combustível isolada, elas não são consideradas importantes (Figura 28), mas quando está associada à alguma outra fonte de geração de energia (solar, hídrica, eólica), ela é considerada importante. Isso pode ser visto como uma contradição por parte dos especialistas, mas também pode ser explicado pelo fato de um sistema híbrido ser mais vantajoso economicamente de que esses sistemas isolados.

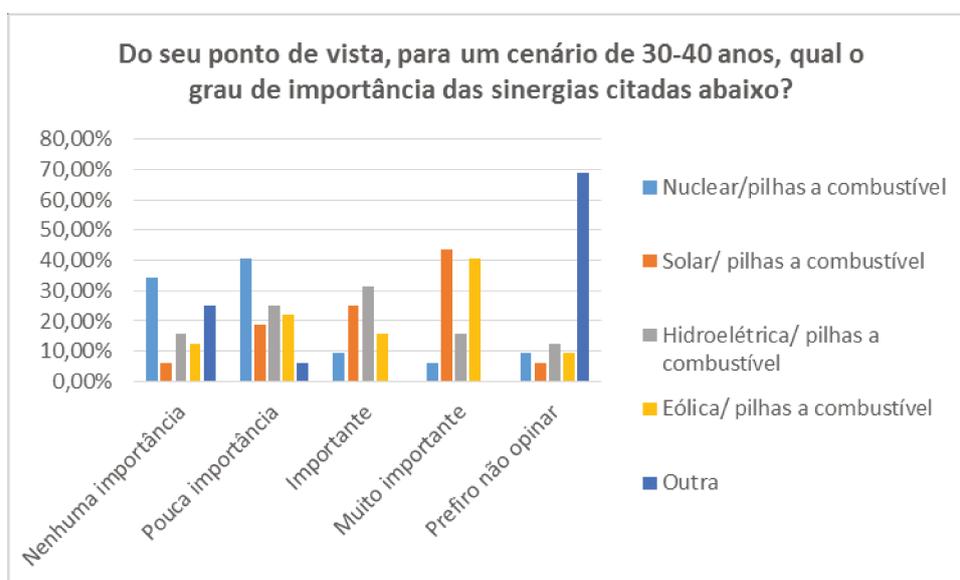


Figura 44. Importância da sinergia no cenário de 30-40 anos.

Considerando os sistemas de cogeração de energia (Figura 45), houve um consenso de que os métodos de produção de energia térmica e eletricidade serão importantes no cenário de 30-40 anos. Esse resultado reflete o fato de que a cogeração aumenta o rendimento do processo, diminuindo as perdas e, conseqüentemente, diminuindo o custo do processo.

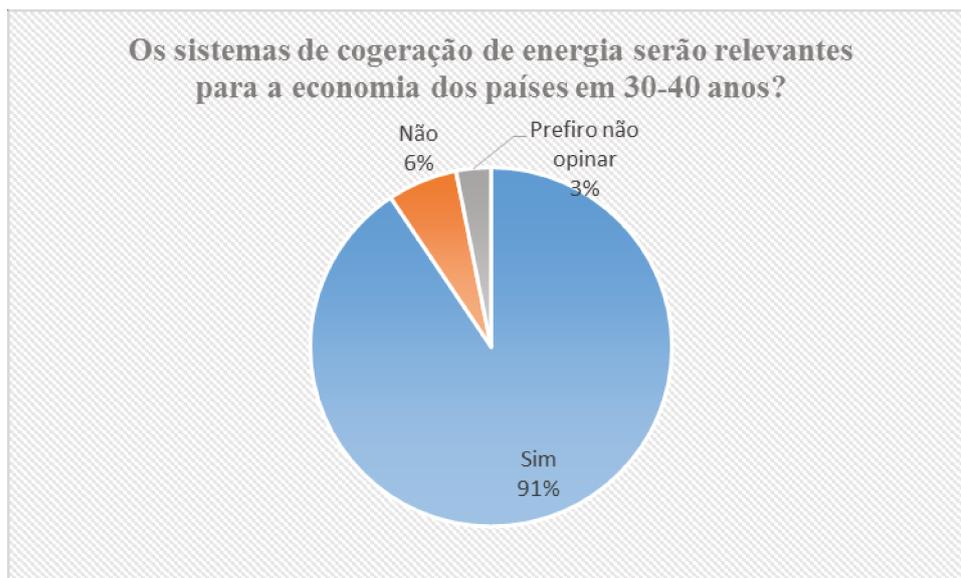


Figura 45. Importância da cogeração

Na questão sobre a importância dos sistemas híbridos de energia (Figura 46) no cenário de 30-40 anos, os especialistas sugerem que os sistemas eólico/fotovoltaico (32,2%) e eólico/fotovoltaico/biomassa (45,1%) serão muito importantes enquanto que o sistema eólico/hidroelétrica (38,7%) será apenas importante na geração de energia elétrica. Apenas o sistema fotovoltaico/biomassa foi considerado pouco importante (35,4%).

Esses resultados podem ser explicados analisando a região e a complementaridade dos recursos solares, eólicos e hídricos. Observa-se que os sistemas híbridos considerados mais importantes envolvem a energia eólica e solar (fotovoltaica), que são os recursos intermitentes e quando instalados isoladamente podem ficar por períodos sem operarem. No caso da biomassa, que não é um recurso intermitente, a sua utilização em sistemas híbridos não é tão vantajosa pelo elevado custo de instalação.

O sistema híbrido eólico-fotovoltaico pode ter sido considerado importante pela sua utilização em residências ou pequenas propriedades isoladas, e desse modo, diminuir a necessidade da compra de energia das concessionárias.

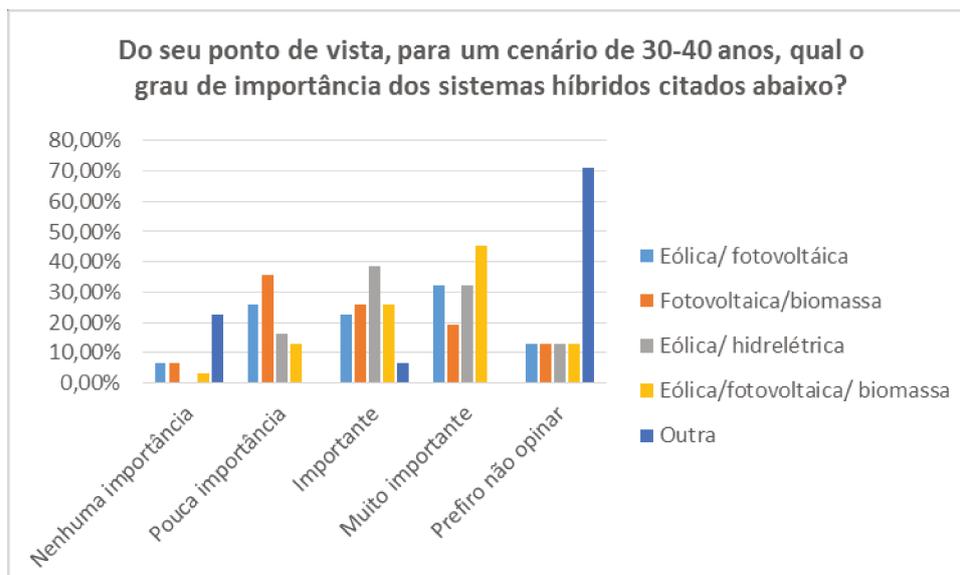


Figura 46. Importância dos sistemas híbridos

Na questão seguinte, referente aos fatores que precisam de uma etapa de Pesquisa e Desenvolvimento para a implantação da nova fonte de geração de energia (Figura 47), os respondentes foram convidados a opinar apenas sobre a geração de energia em que se consideram especialistas.

Primeiramente analisou-se a quantidade de respondentes especialistas em cada tecnologia estudada, e observou-se a participação de especialistas de todas as áreas analisadas, de modo que o consenso obtido nas questões anteriores não foi tendencioso.

Além disso, nessa questão pode-se concluir que a energia da hidrelétrica é a de mais fácil implantação, pois os materiais, sistemas eletrônicos e software não precisam ser desenvolvidos. É necessário apenas a adequação/criação das leis tarifárias e normas, fator observado como necessário em todas as fontes de energia citadas.

No caso da energia eólica, apenas não é necessário o desenvolvimento de um software para a implantação dessa fonte de energia, sendo todas as outras necessárias.

Para a energia geotérmica a dificuldade é o desenvolvimento de materiais que suportem as elevadas temperaturas e as taxas de corrosão desse processo.

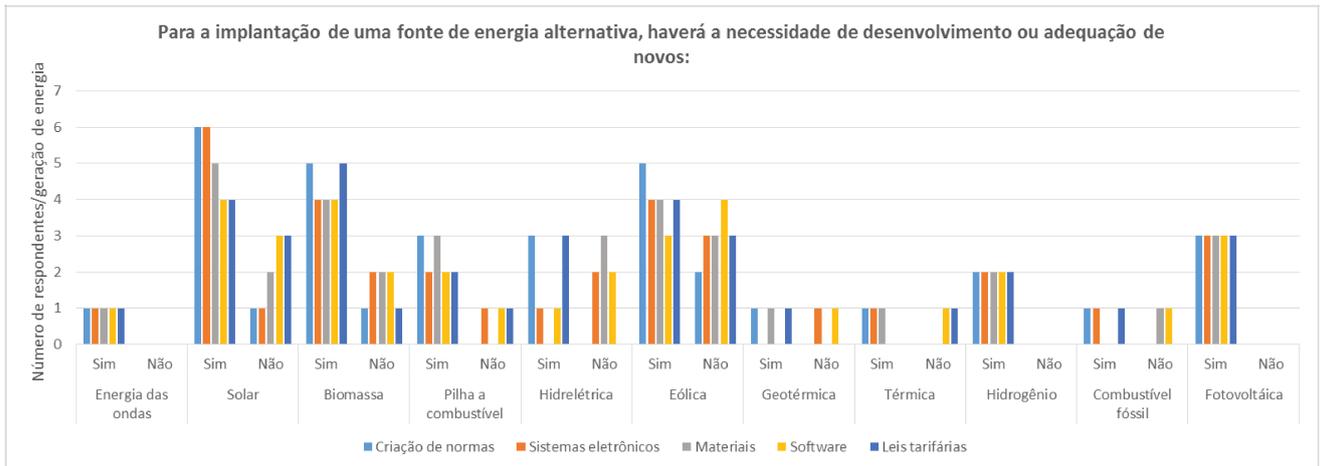


Figura 47. Fatores que precisam de desenvolvimento para implantação de nova fonte de geração de energia

Em sequência, os respondentes foram questionados sobre o uso de novas tecnologias de produção de energia pela sociedade (Figura 48), e chegaram a um consenso que em 30-40 anos a sociedade usará novas fontes de geração de energia.

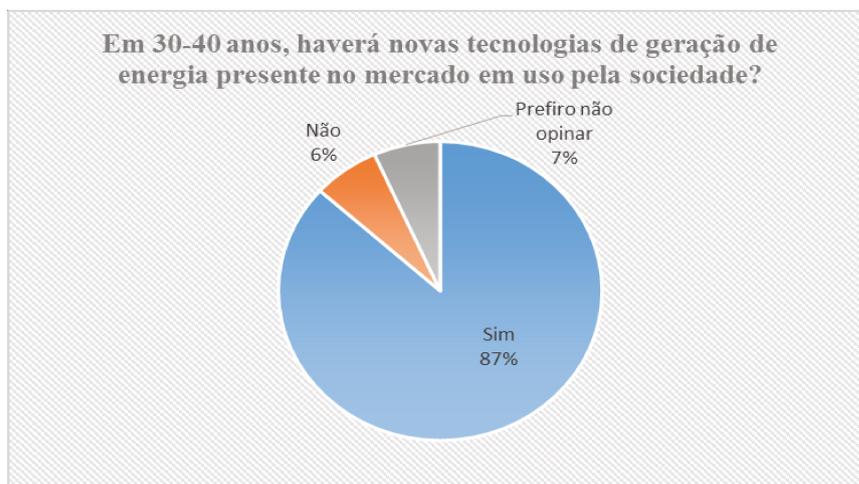


Figura 48. Uso de novas fontes de geração de energia pela sociedade

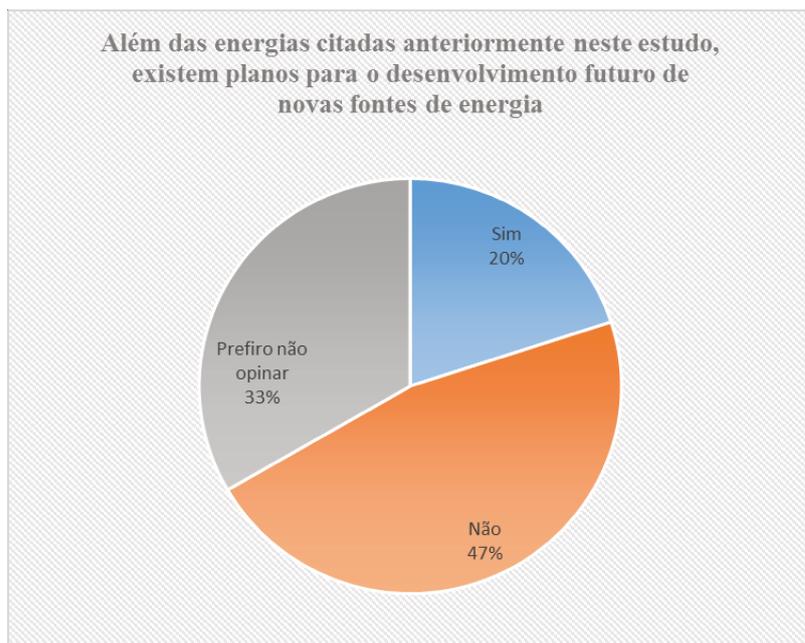


Figura 49. Desenvolvimento de novas fontes de geração de energia.

Na questão sobre a importância da coprodução de água potável (Figura 50), a maioria dos respondentes (53%) consideram que esse fator será determinante para escolha da fonte de geração de energia. Porém alguns consideram que esse fator não é determinante. Estes devem viver em regiões onde não há escassez de água doce e, por isso desconhecem essa necessidade da população local.

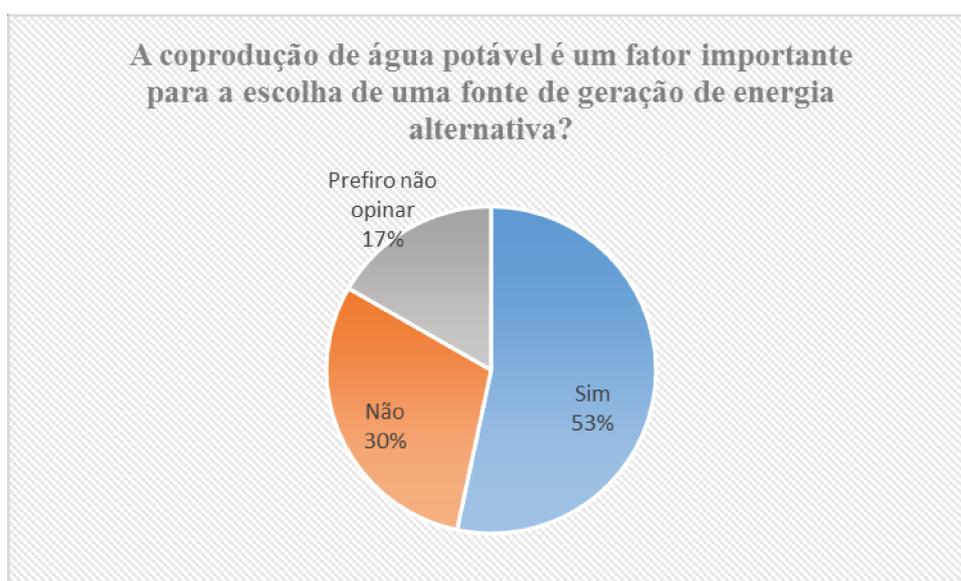


Figura 50. Importância da coprodução de água potável.

Analisando ainda a coprodução de água potável (Figura 51), os respondentes consideram que o sistema de geração de energia elétrica pelo gradiente de salinidade como sendo o mais importante quando o objetivo é, também, produzir água doce.

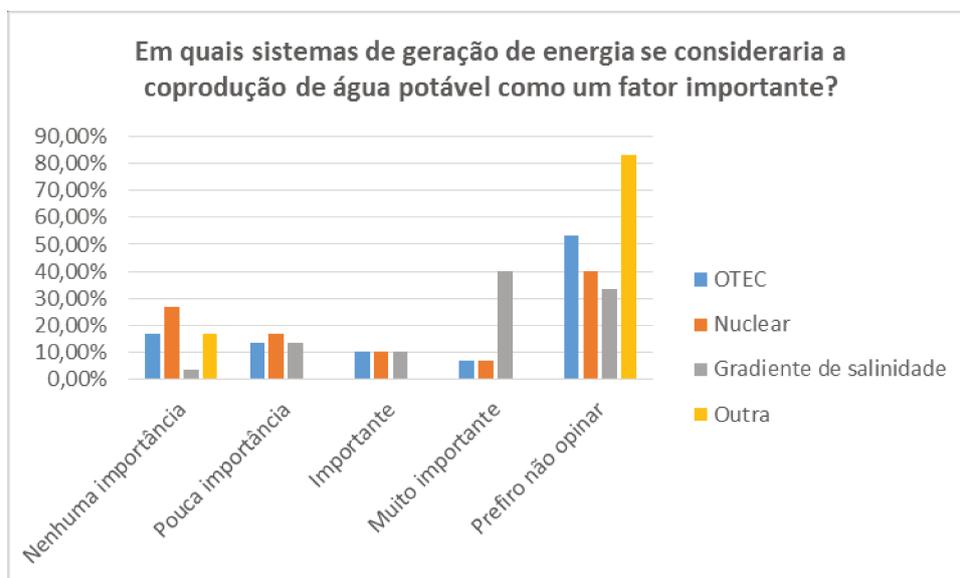


Figura 51. Importância dos sistemas de coprodução de água potável.

Questionário- 2ª rodada

Com base nas respostas obtidas na primeira rodada do questionário, anteriormente analisado detalhadamente, a segunda rodada do questionário foi enviada aos respondentes, incluindo aqueles que não participaram da primeira etapa.

Nesta segunda rodada trabalhou-se apenas com as energias consideradas como muito importantes ou importantes. As questões elaboradas foram mais simples e objetivas, com o intuito de confirmar o resultado obtido na primeira rodada.

Em relação à participação da energia solar na matriz energética do país, a maioria dos respondentes (58%) concordam fortemente que ela fará parte, conforme Figura 52.

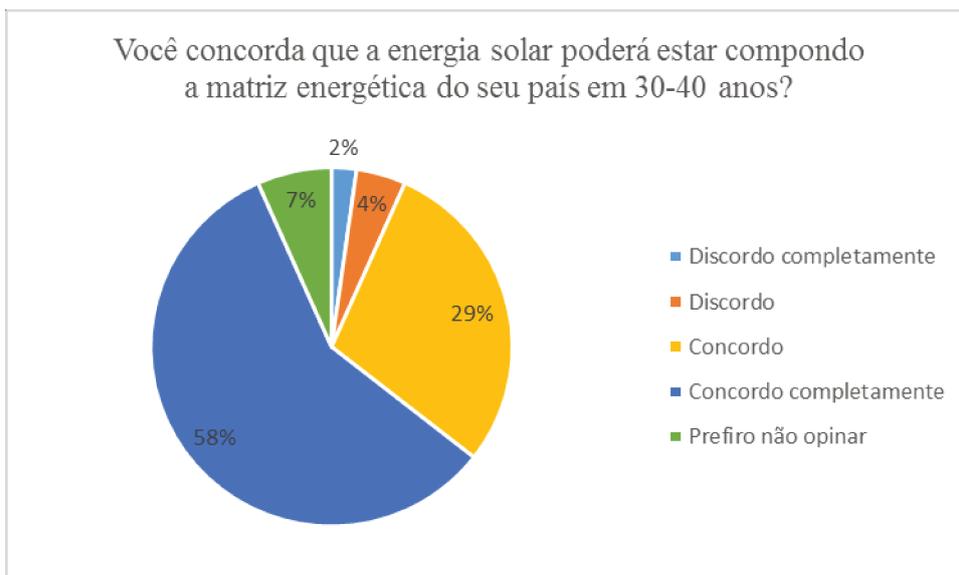


Figura 52. Participação da energia solar na matriz energética

Já em relação à hidrelétrica, os respondentes também acreditam que esse tipo de fonte de geração de energia elétrica estará compondo a matriz energética de seu país. Porém, nesse caso, as respostas foram menos enfáticas e, houve maior número de especialistas que acredita que esse tipo de fonte de energia não estará compondo a matriz energética (18% contra 6% da energia solar), vide Figura 53. Esse resultado pode ser reflexo do alto número (48%) de respondentes residentes na Europa, região em que há maior dificuldade de construção de grandes reservatórios de água devido ao fato de grandes centros populacionais serem próximos aos rios.

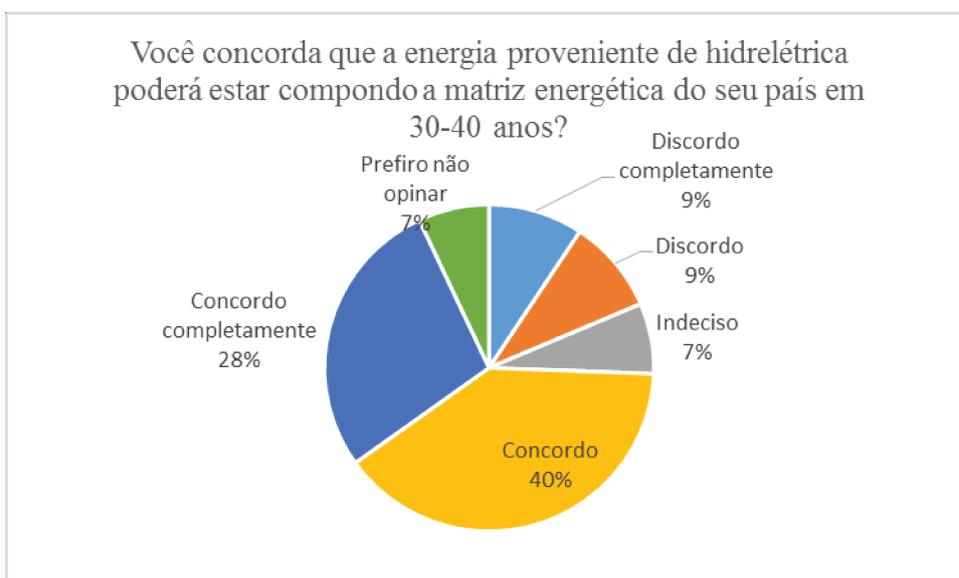


Figura 53. Participação da energia hidrelétrica na matriz energética

Analisando a questão da participação da energia eólica, os respondentes concordam que essa fonte de geração de energia elétrica estará presente na matriz energética dos seus países. Nessa questão houve equilíbrio entre os especialistas que concordam (35%) e concordam completamente (39%) com essa afirmação (Figura 54).

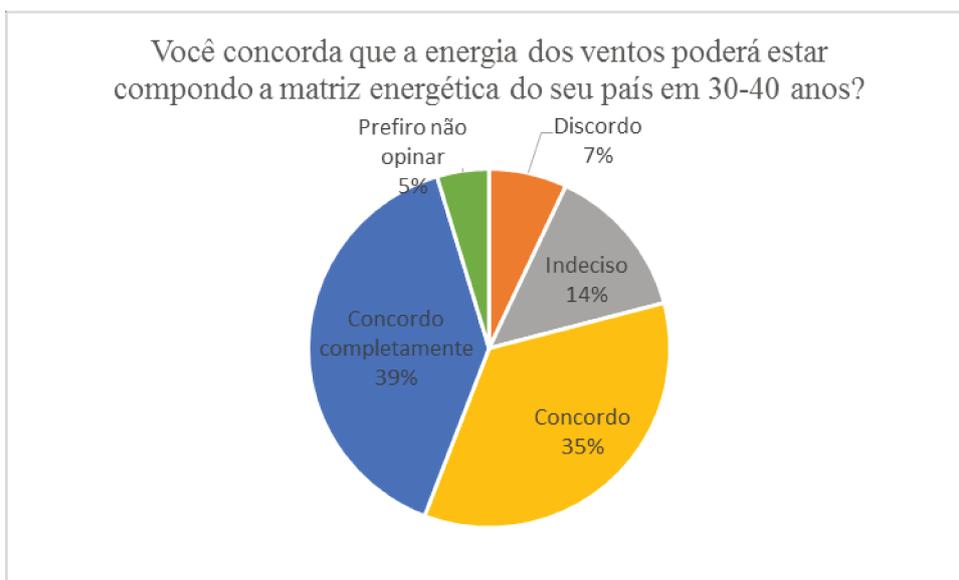


Figura 54. Participação da energia eólica na matriz energética

A mesma pergunta foi realizada em relação ao gás natural, e nesse caso os especialistas em sua maioria concordam (42%) que essa fonte de geração de energia estará compondo a matriz energética do país em 30-40 anos. Porém uma pequena parte dos respondentes discorda desse cenário (14%) (Figura 55).

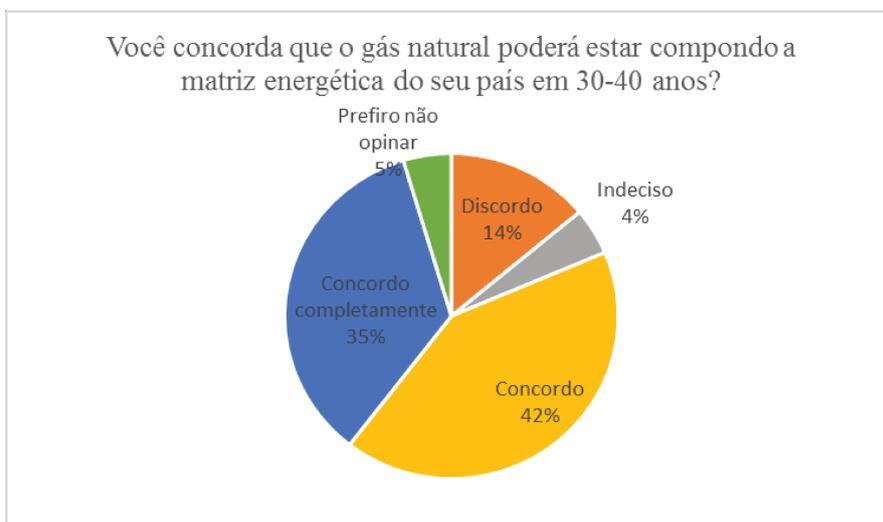


Figura 55. Participação do gás natural na matriz energética.

Os respondentes se mostraram bastante indecisos quando questionados sobre a participação da biomassa na matriz energética, conforme ilustrado na Figura 56, apesar da maioria (44%) dos respondentes considerar que a biomassa fará parte da matriz energética dos países.

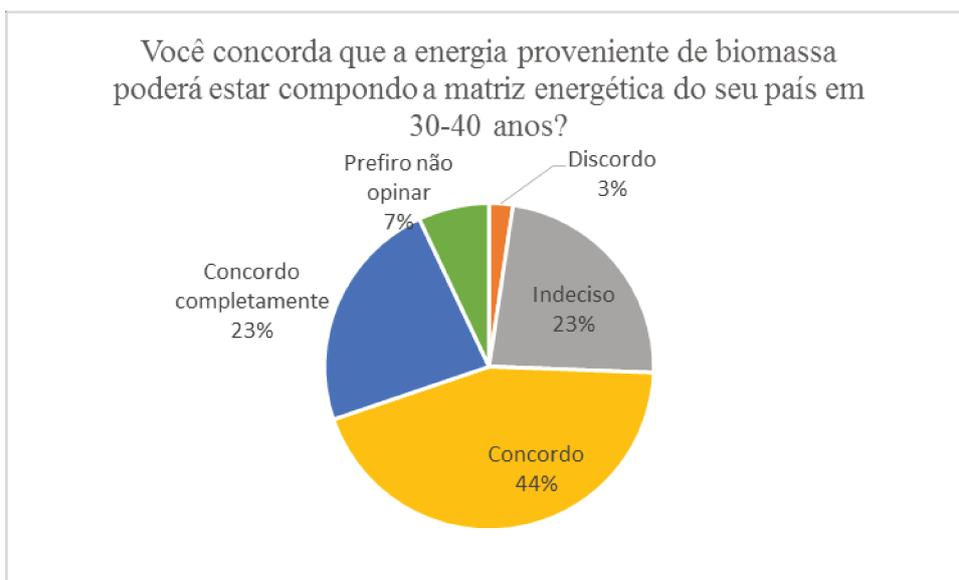


Figura 56. Participação da energia eólica na matriz energética

Na questão sobre a utilização da energia nuclear em 30-40 anos (Figura 57), os especialistas consideram que esse tipo de energia não estará compondo a matriz energética. Esse resultado comprova o resultado obtido na primeira rodada do questionário, conforme ilustra Figura 41. A energia nuclear, vista como importante na matriz energética atual (Figura 27) e apesar de todas suas vantagens na geração de energia elétrica, não é considerada importante no cenário futuro principalmente pelo receio da população que ocorram acidentes nucleares, e isso desencoraja os governos a investirem nessa fonte energética.

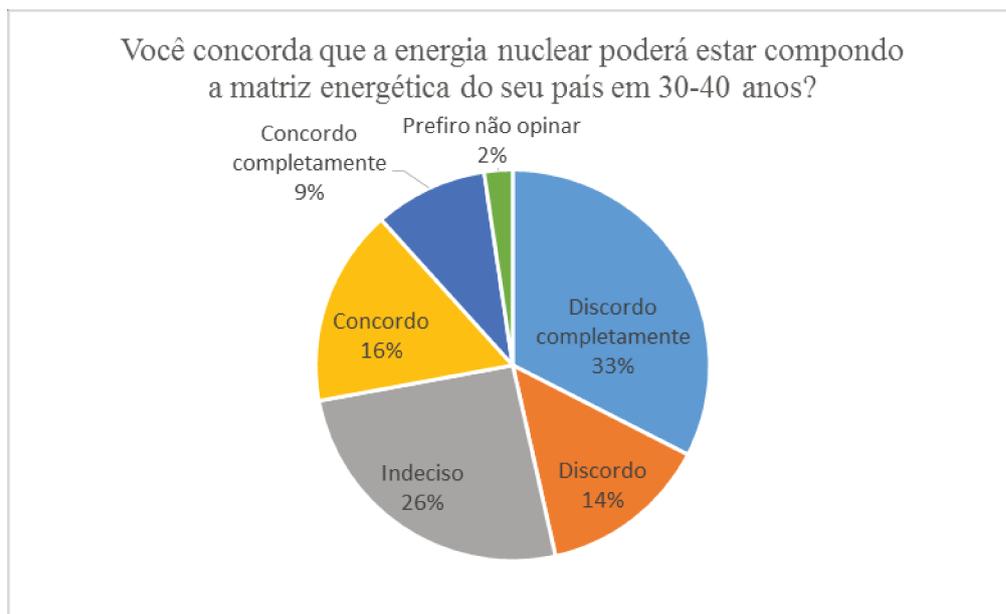


Figura 57. Participação da energia nuclear na matriz energética.

Em seguida, os respondentes classificaram as fontes de geração de energia elétrica de acordo com o grau de importância de cada uma na participação na matriz energética do seu país em 30-40 anos. O resultado observado na Figura 58 apresenta a seguinte ordem de importância: energia solar, hidrelétrica, gás natural, energia eólica, biomassa e nuclear. Esse resultado confirma os dados obtidos nas questões anteriores (Figura 52, Figura 53, Figura 54, Figura 55, Figura 56, Figura 57).

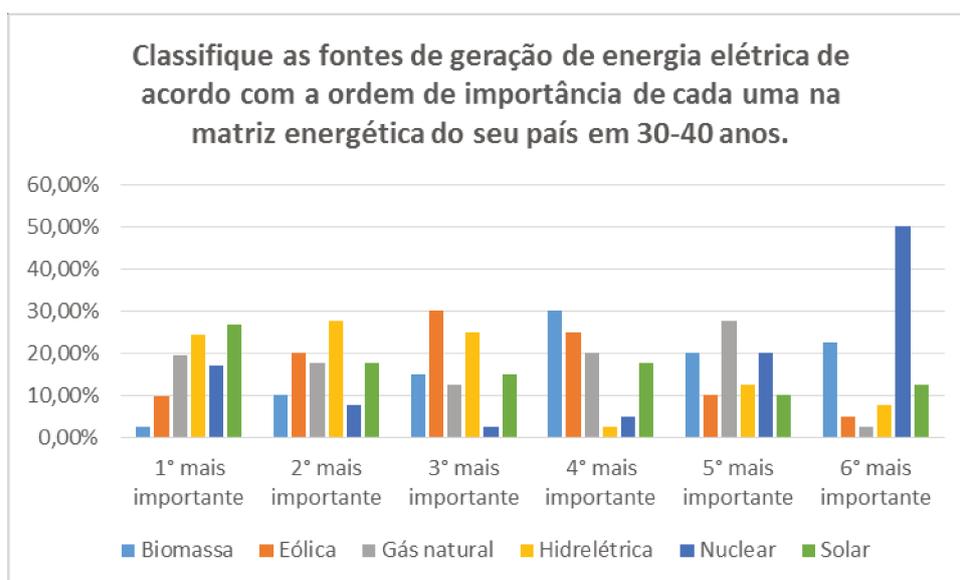


Figura 58. Classificação das fontes de geração de energia elétrica

Quando questionados sobre as demais fontes de geração de energia elétrica, e não só as mais bem classificadas na primeira rodada da pesquisa (Figura 59), os especialistas consideraram a fonte geotérmica como importante, e as demais como pouco importantes na composição da matriz energética do país em 30-40 anos. Este resultado é similar ao obtido na primeira rodada do questionário (Figura 41), com exceção que, naquela situação, a energia geotérmica também foi considerada pouco importante.

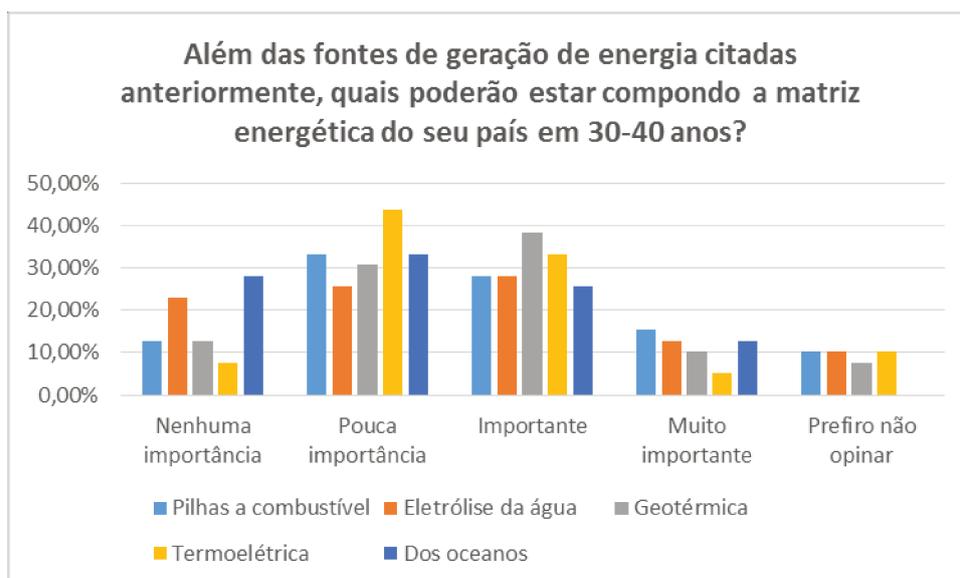


Figura 59. Participação de outras fontes de geração de energia elétrica em 30-40 anos.

Pensando apenas no uso comercial de fontes de energia nos sistemas de transporte, os respondentes consideraram que em 30-40 anos apenas o etanol será pouco importante (52,63%). A soma dos respondentes que opinaram como importante e muito importante nas demais fontes de energia é: combustível fóssil 65,79%, gás natural 60,52%, pilha a combustível 55,27% e biocombustível 52,63%, e que representa a maioria dos respondentes. Esse resultado pode ser observado pelo fato da maioria das plantações de cana-de-açúcar, principal cultura de onde se extrai o álcool, é feita com a queima do canavial antes da colheita, liberando uma grande quantidade de material particulado e CO₂. O que acaba tornando o ciclo de produção do etanol mais poluente que o biodiesel, que pode ser produzido inclusive a partir de óleo de cozinha usado.

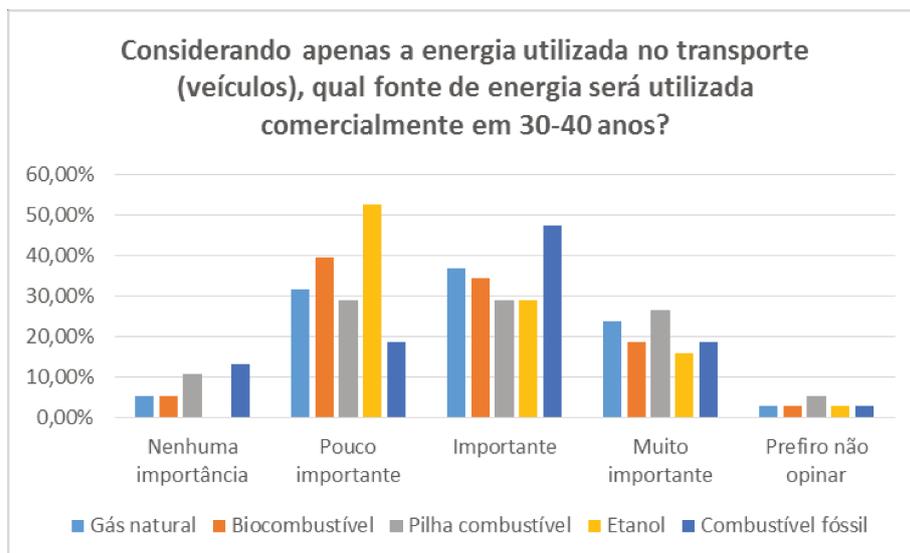


Figura 60. Uso de fontes de geração de energia no transporte.

Considerando a sinergia das fontes de geração de energia solar e das pilhas a combustível, a maioria dos respondentes concordam que esse sistema estará compondo a matriz energética do país em 30-40 anos. No entanto uma parte dos respondentes se mostrou indecisa (16%) e uma parte discorda da utilização desse sistema sinérgico (21%), conforme Figura 61.

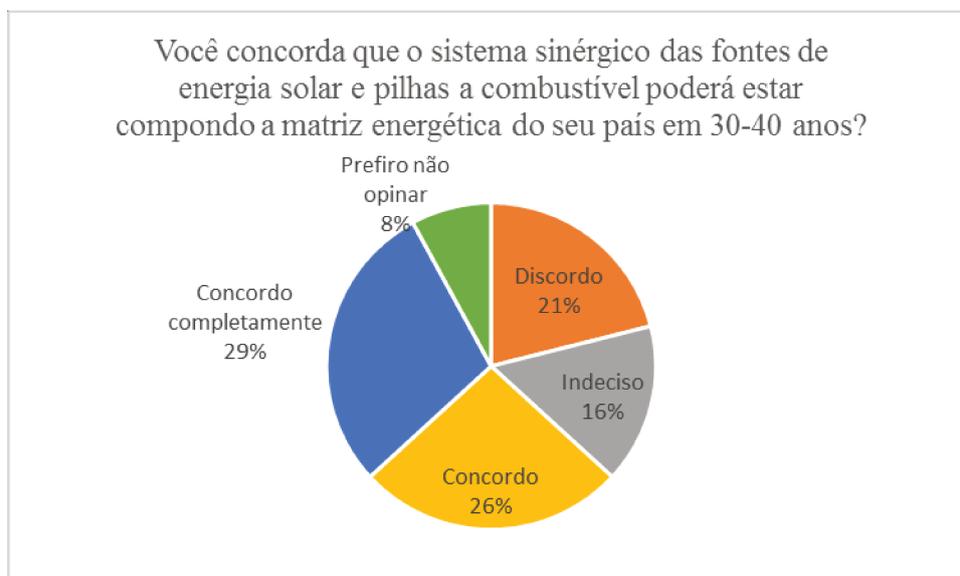


Figura 61. Participação da sinergia energia solar/ pilhas a combustível na matriz energética.

O consenso dos respondentes em relação aos sistemas de cogeração de energia é de que esse tipo de utilização de energia relevante para a economia dos países, vide Figura 62.

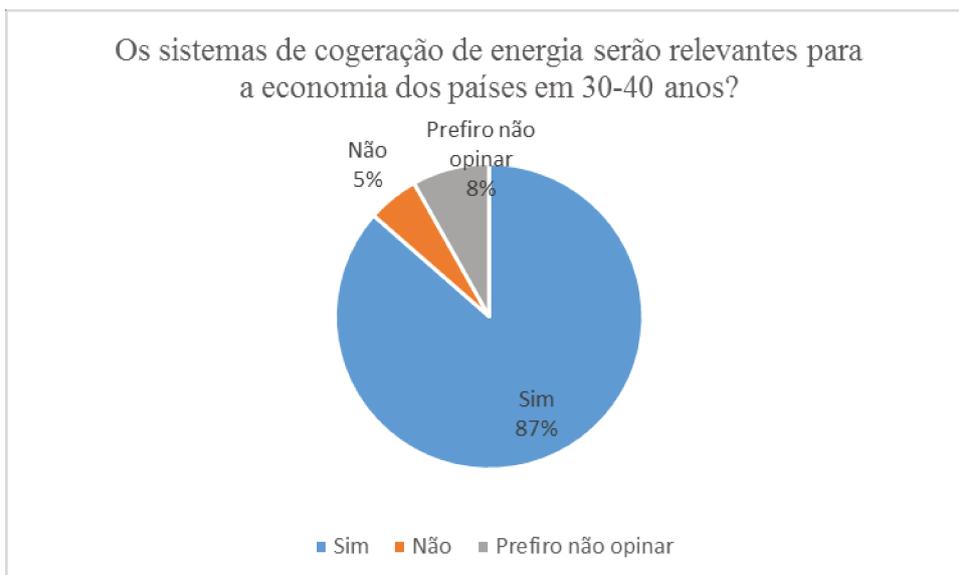


Figura 62. Importância da cogeração em 30-40 anos.

Na questão sobre a participação do sistema híbrido utilizando energia eólica/fotovoltaica/biomassa, os respondentes concordam (72%) que esse sistema estará compondo a matriz energética do país (Figura 63).

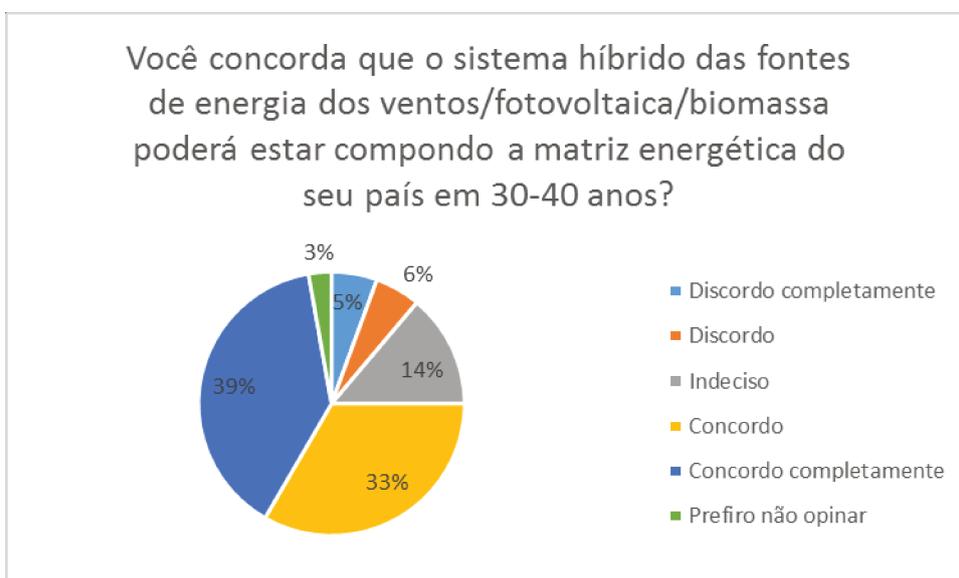


Figura 63. Participação do sistema híbrido eólico/fotovoltaico/biomassa na matriz energética.

Estudando os fatores necessários para a implantação de novas fontes de geração de energia elétrica, há um consenso dos especialistas que é necessária a criação de leis em geral (Figura 64) e leis tarifárias (Figura 65) para que essas novas fontes de energia possam entrar no mercado de maneira competitiva com as tecnologias usadas atualmente.

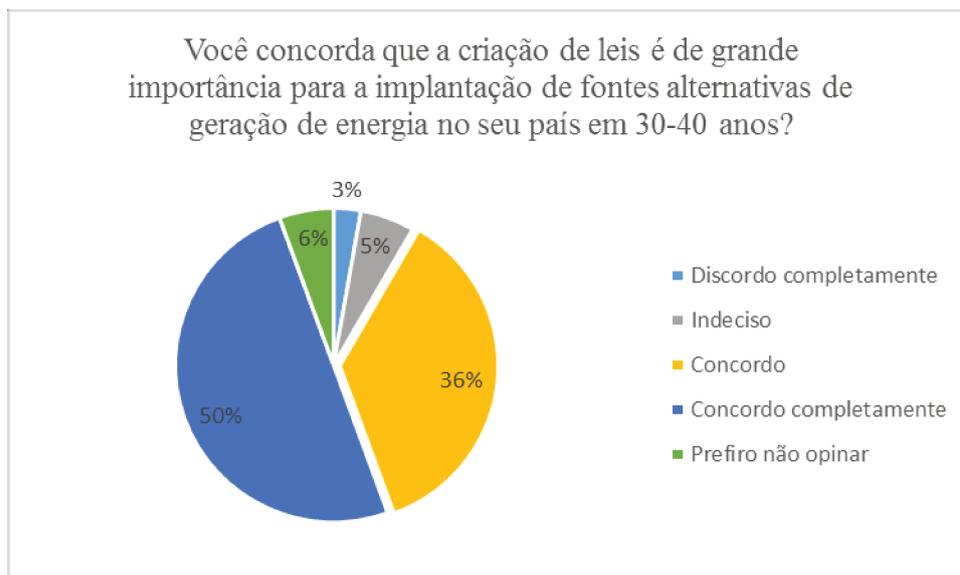


Figura 64. Importância da criação de leis

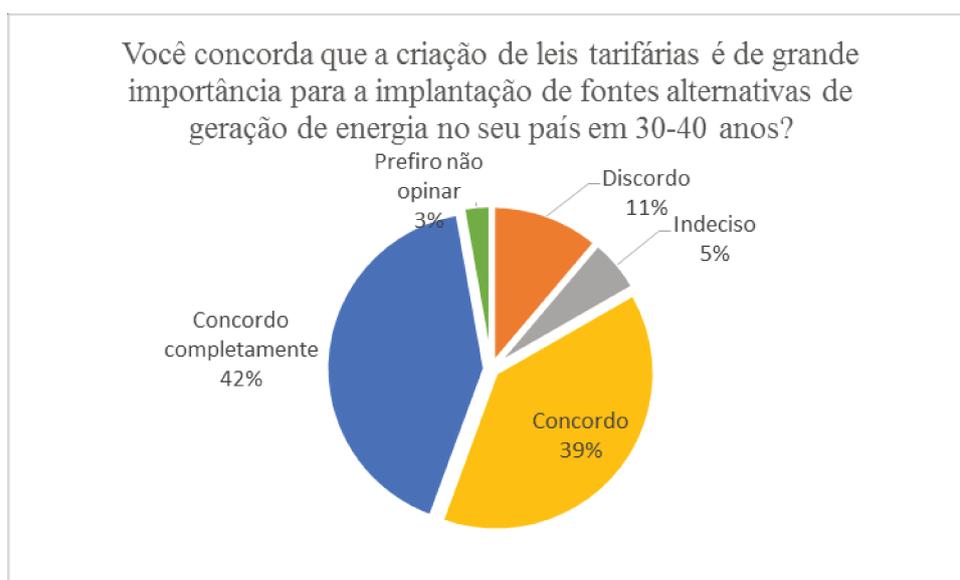


Figura 65. Importância da criação de leis tarifárias

Na questão sobre a coprodução de água potável, aliada a técnica de geração de energia pelo gradiente de salinidade formado no encontro do oceano com o rio, os respondentes se mostraram indecisos (39%), conforme Figura 66. Considerando as respostas válidas (excluindo indecisos e quem não opinou, totalizando 56%), o consenso foi de que esse método de produção de água potável poderá ser realizado em grande escala em 30-40 anos.

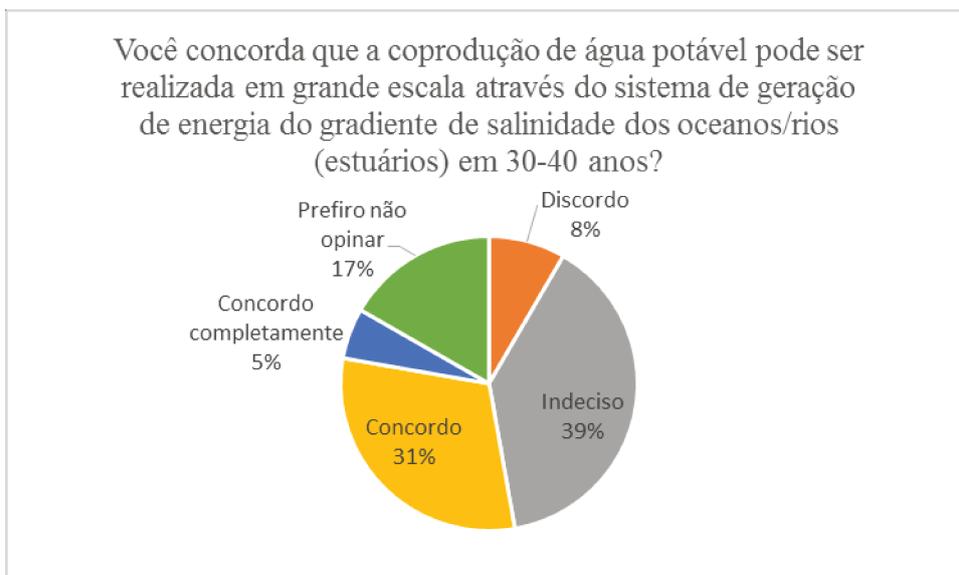


Figura 66. Uso do gradiente de salinidade para coprodução de água potável

Em seguida, perguntou-se aos especialistas em relação aos fatores limitantes na escolha de uma fonte de geração de energia elétrica. Primeiramente analisou-se a questão geográfica (Figura 67), em que os especialistas concordam que esse fator é limitante na hora de escolher qual fonte de geração de energia elétrica a ser utilizada em grande escala para compor a matriz energética do país. Isso pode ser explicado com o exemplo da geração de energia elétrica maremotriz, onde é necessário que o país seja de uma região costeira e que haja um desnível das marés de pelo menos 7 metros.

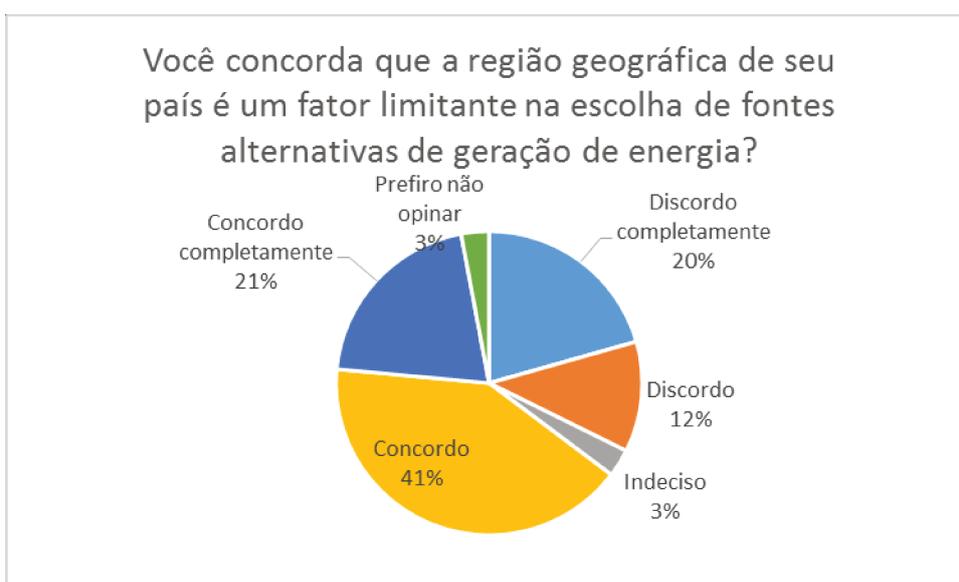


Figura 67. Importância da região geográfica.

Em seguida analisou-se a questão da disponibilidade de matéria prima, apesar de a maioria opinar que concorda (40%) que esse fator é limitante na escolha de uma fonte de geração de energia elétrica, pela Figura 68, nota-se que somando aqueles que concordam e concordam completamente, tem-se 46% dos especialistas, enquanto que aqueles que discordam e discordam completamente dessa afirmação, soma-se 43%, que são valores próximos e, por isso não se pode concluir que se chegou a um consenso sobre a importância desse fator sobre a escolha de uma fonte de geração e energia.

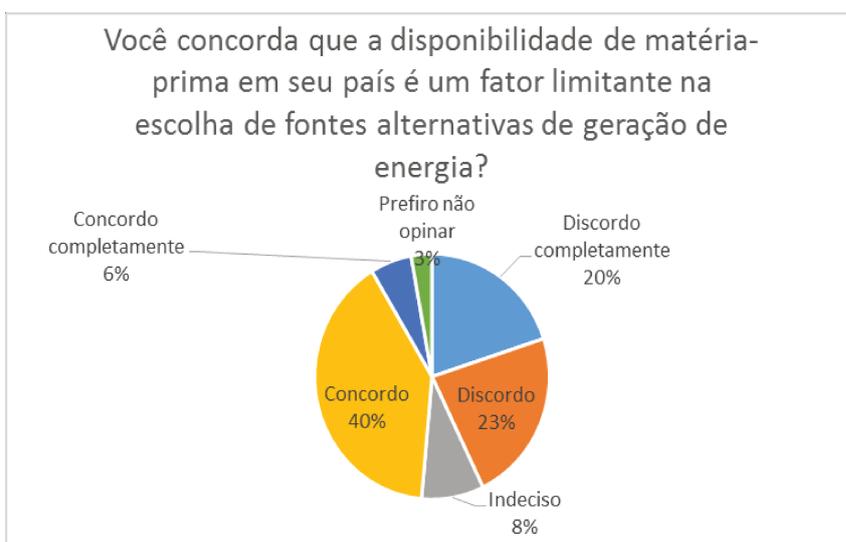


Figura 68. Importância da disponibilidade de matéria-prima

O último fator limitante estudado é a questão do custo, e os especialistas concordam que esse fator é determinante na escolha de uma fonte de geração de energia (Figura 69). O custo inclui desde a compra dos equipamentos, instalação e manutenção até questões jurídicas e burocráticas da inserção da fonte de geração de energia no mercado.

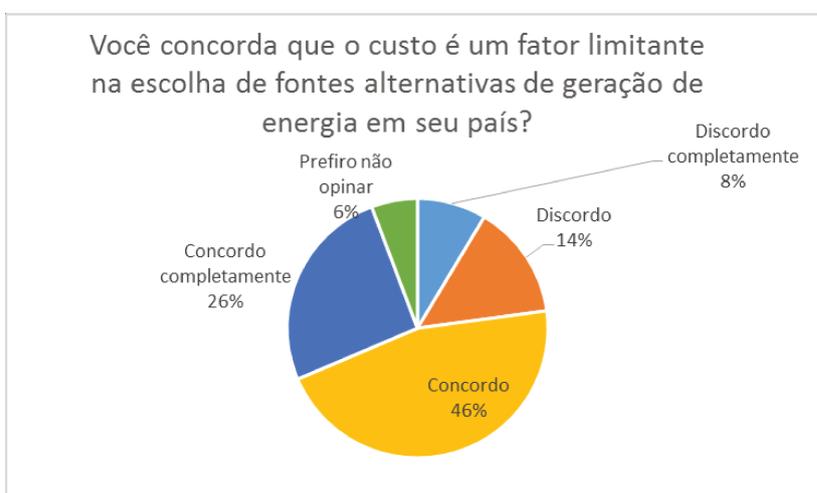


Figura 69. Importância da do custo da fonte de geração de energia elétrica.

5. Conclusão

Este trabalho utilizou a metodologia Delphi para fazer uma prospecção tecnológica de médio longo prazo, 30 a 40 anos, sobre a aplicação de fontes alternativas de geração de energia elétrica. Essa prospecção incluiu diversas fontes renováveis e algumas não-renováveis.

A vantagem de um estudo desse tipo é a possibilidade de governos e empresas se prepararem para o futuro energético com um bom planejamento e inserir outras fontes de geração de energia na sociedade de forma segura e economicamente viável.

Na metodologia Delphi, especialistas são convidados a responderem perguntas na área do conhecimento da qual se quer fazer a prospecção, e a partir do consenso obtido elabora-se a prospecção. Ao todo, 1125 especialistas foram convidados a participar dessa pesquisa. Na primeira rodada obtivemos 30 questionários preenchidos completamente, e na segunda rodada foram 33 questionários completos, de modo que a taxa de conclusão foi de 2,7% e 3,0% respectivamente. O baixo número de respondentes nesse projeto pode ser explicado pelo fato de ter se elaborado questionário longo, com uma grande abrangência das fontes de energia e perguntas fora do conhecimento dos respondentes. Apesar da baixa participação dos especialistas, foi possível obter um consenso e assim elaborar uma prospecção tecnológica do uso de fontes alternativas de energia.

Pode-se concluir a maioria dos respondentes trabalham e/ou residem da Europa, seguido por América do Latina e Ásia. A maioria dos respondentes pertencem à academia, porém há uma parcela do governo e da indústria e, também respondentes que fazem trabalho em conjunto com 2 dessas atividades. Desta forma pode-se dizer que as respostas foram tendenciosas com relação a área acadêmica. Porém deve-se destacar que os resultados serão também de grande importância para a indústria, sendo que a evolução tecnológica acontece pela necessidade da indústria tem que se adequar à sociedade atual.

O nível de conhecimento dos participantes desta pesquisa, em sua maioria especialistas e, com grande conhecimento das áreas específicas em que trabalham, os qualifica para observar e desenhar cenários sobre mudanças prováveis no setor energético.

As conclusões obtidas nesse estudo, quanto ao cenário futuro da energia, são:

- A implementação de fontes alternativas de geração de energia é uma questão que os governos já estão estudando e trabalhando e em 30-40 anos será realidade;
- As energias: hidroelétrica, gás natural, eólica, biomassa e solar são consideradas muito importantes na geração de energia elétrica para o futuro de 30-40 anos;

- Os fatores limitantes na implementação em grande escala das fontes de geração de energia são: incompatibilidade geográfica, o custo da matéria prima, a inviabilidade tecnológica e se encontrarem em estágio da pesquisa;
- A necessidade de criação de leis e leis tarifárias para a implementação de novas fontes de geração de energia elétrica;
- A questão ambiental é considerada fator importante na escolha de uma fonte de geração de energia;
- Sistemas híbridos e de cogeração são fatores importantes no processo de produção de energia elétrica;
- O sistema híbrido de energia dos ventos, energia solar e biomassa será o mais importante tipo de sinergia, seguido pelo formado por energia solar e pilhas a combustível;
- A coprodução de água potável é um fator importante na escolha de uma fonte de geração de energia elétrica, principalmente pelo processo baseado no gradiente de salinidade de oceanos e rios;
- A matriz energética dos países será composta, em escala significativa, pela energia solar, hidrelétrica, gás natural, energia eólica e biomassa;
- No setor de transportes, ainda serão importantes para o cenário futuro de 30-40 anos o combustível fóssil e o gás natural, além da pilha a combustível e biocombustível.

6. Sugestões para trabalhos futuros

São apresentadas neste item sugestões para trabalhos futuros considerando a evolução do mercado energético.

- São interessantes pesquisas que estudem especificamente as necessidades de desenvolvimento das fontes de energia estudadas neste trabalho.
 - Estudos de métodos para produção de hidrogênio a baixo custo, de modo a viabilizar o uso das pilhas de combustíveis em larga escala;
 - Estudos para uso de outras fontes de energia da biomassa, com elevado rendimento, e sem uso de culturas intensivas;
 - Estudos de prospecção tecnológica junto da população sobre a segurança do uso de energia nuclear;
 - Estudos de desenvolvimento de materiais mais resistentes à corrosão marinha, de tal modo a incrementar o uso de geradores “marinhos”;
 - Desenvolvimento de painéis solares mais eficientes
- Seria relevante uma pesquisa aprofundada sobre os impactos ambientais causados pela implementação de uma nova fonte de energia:
 - Estudos comparando a influência da formação de chuvas ácidas entre biocombustíveis e a gasolina;
 - Estudos comprando ruídos sonoros de grandes centros comerciais com o ruído sonoro das hélices nos parques eólicos;
- Estudos que comparem sistemas isolados de produção de energia elétrica com sistemas híbridos.
- Estudos comparando sistemas de cogeração com sistemas isolados.
- Estudo de prospecção tecnológica sobre qual questão ambiental é considerada mais relevante na escolha de uma fonte de geração de energia, entre eles a poluição atmosférica (gases e particulados), impacto nos rios, impacto nos oceanos, impacto na fauna, impacto na flora, erosão do solo, alteração do clima.
- Desenvolvimento de sistemas de transporte de energia mais eficaz e de menor custo.
- Desenvolvimento e otimização das membranas semipermeáveis par o processo de coprodução de água potável.
- Estudos de reatores nucleares de alta temperatura associados à pilhas de combustível.

7. Referências bibliográficas

AABERG, R.J. - "Osmotic power. A new and powerful renewable energy source?". *Refocus* 4 (2003) 48–50.

AFP, Agence France-Presse, Acionistas da Gamesa aprovam fusão com Siemens para criar gigante eólica, outubro de 2016.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, ANEEL. Atlas de energia elétrica do Brasil. 3ª ed. Brasília: ANEEL 2008. 236 p.

ALDABÓ, R. Energia Eólica. São Paulo: Editora Artliber Ltda Brasil, 2002.

ALENTEJO Litoral. Disponível em:

<http://www.alentejolitoral.pt/PortalRegional/Paginas/homepage.aspx>. Acessado em 15/01/2017.

ALIZADEH R., LUND P.D., BEYNAGHI A., ABOLGHASEMI M., MAKNOON R., An integrated scenario-based robust planning approach for foresight and strategic management with application to energy industry, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol 104, 2016, Pag 162–171

ALLIS, R. G. (2000). Review of subsidence at Wairakei Field, New Zealand, *Geothermics* 29, 455-478.

ALVARENGA, Carlos Alberto. ENERGIA SOLAR, Lavras: Gráfica Universitária/UFLA/FAEPE, 2001.

ANDRADE, H.C.L.; PEREIRA, A.L.; ROSAS, P.A.C.; ARAUJO, A.M.; MEDEIROS, A.L.R.; PRIMO, A.R.M. Análise econômica de sistemas híbridos eólicosolar-diesel. Anais do V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Salvador – BA. Agosto/2008.

ANDRES A., MACGILLIVRAY A., ROBERTS O., GUANCHE R., JEFFRE H., BEYOND LCOE: A study of ocean energy technology development and deployment attractiveness, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Vol 19, 2017, Pag 1–16

ARNETTE A.N., Renewable energy and carbon capture and sequestration for a reduced carbon energy plan: An optimization model, *Renew Sustain Energy Rev*, Vol 70, 2017, Pag 254–265

ATALLA, T., BEAN, P. Determinants of energy productivity in 39 countries: An empirical investigation, *Energy Economics*, Vol 62, 2017, Pag 217–229

ATLASON R.S., UNNTHORSSON R., Calculations of environmental benefits from using geothermal energy must include the rebound effect, *Geothermics*, Vol. 66, 2017, Pages 151–155

- BAER M., Putting creativity to work: the implementation of creative ideas in organizations, *Academy of Management Journal*, 55 (5) (2012), pp. 1102–1119
- BAHAJ, A.S.; MYERS, L.E. Fundamentals applicable to the utilisation of marine current turbines for energy production. *Renewable Energy* [S.l.: s.n.] 28 (14): 2205–2211, 2003
- BAIN, R., CRAIG, K., COMER, K., 1997, *Renewable Energy Technology Characterizations*. In: Biomass EPRI Topical Report No. TR-109496, U.S. Department of Energy, Washington, D.C., EPRI, Palo Alto, California, Dec.
- BAIN, R., OVEREND, R., CRAIG, K., 1997, Biomass-fired power generation. In: *Fuel Processing Technology* 54 1998. 1–16
- BALESTIERI, J. A. P. Cogeração – geração combinada de eletricidade e calor. Florianópolis: editora da UFSC, 2002.
- BANERJEE S., MUSA M.N., JAAFAR A.B., Economic assessment and prospect of hydrogen generated by OTEC as future fuel, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 42, Issue 1, 2017, Pag 26-37
- BARBOSA, C. F. O; PINHO, J. T. Avaliação econômica de sistemas híbridos fotovoltaicoeólico-diesel para geração de eletricidade na Amazônia. In: II Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência Regional Latinoamericana da ISES, 2008 – Florianópolis.
- BARBOSA, C.F.O.; PINHO, J.T.; PEREIRA, E.J.S.; GALHARDO, M.A.B.; VALE, S.B.; MARANHÃO, W.M.A. Situação da geração elétrica através de sistemas híbridos no estado do Pará e perspectivas frente à universalização da energia elétrica. *Scielo Proceedings*. 2004.
- BARBOSA, V. Os 10 países no mundo mais dependentes de energia nuclear, *Revista Exame*, publicado 09 de janeiro de 2014, disponível em <http://exame.abril.com.br/economia/os-10-paises-no-mundo-mais-dependentes-de-energia-nuclear/> acessado em 16/01/2016
- BEN, Balanço Energético Nacional, Relatório Final 2014. Disponível em www.ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal.aspx?anoColeta=2014&anoFimColeta=2013, acessado 17/02/2016
- BOLAÑOS, J. R. M, Controlador supervisor inteligente para sistemas híbridos eólicodiesel-bateria de pequeno porte. 2007. 132p. Dissertação de Mestrado em Engenharia – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- BOTTON, J. P. Líquidos iônicos como Eletrólitos para Reações Eletroquímicas. 2007, 174 pag. TESE (Ciências dos Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Abril de 2007.
- BRAUNS, E., 2008, “Salinity gradient power by reverse electrodialysis: effect of model parameters on electrical power output”, *Desalination*, Vol. 237 p. 378–391.

BRAVI M., BASOSI R., Environmental impact of electricity from selected geothermal power plants in Italy, *J. Clean. Prod.*, 66 (2014), pp. 301–308

BROOK B.W., A. ALONSO, D.A. MENELEY, J. MISAK, BLEES, T., van ERP, J.B, Why nuclear energy is sustainable and has to be part of the energy mix, *Sustain Mater Technol*, 1–2 (2014), pp. 8–16

BROWN, D.W.; DUCHANE, D.V. (1999). Scientific progress on the Fenton Hill HDR project since 1983, *Geothermics* 28(4-5), 591-601.

CAMPBELL, R.M., VENN, T.J., ANDERSON, N.M., Social preferences toward energy generation with woody biomass from public forests in Montana, USA, *Forest Policy and Economics*, Vol 73, 2016, Pag 58–67

CANEPPELE, F. L.; SERAPHIM, O. J. Aplicação da teoria Fuzzi no controle de sistemas de geração de energias alternativas. *Revista Energia na Agricultura*, Botucatu, v. 25, n.3, p.24-41, 2010.

CARVALHO, M.J., CARVALHO, M.R., Recursos geotérmicos e seu aproveitamento em Portugal, *Caderno Lab. Xeolóxico de Laxe Coruña*. 2004. Vol. 29, pp. 97-117

CARVALHO, P., Geração Eólica. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2003.

CENEH, Centro Nacional de Referencia em Energia do Hidrogênio, encarte de 2004

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Energéticos. Hidrogênio energético no Brasil: Subsídios para políticas de competitividade 2010-2015.

CHARLIER, R. H., “Sustainable co-generation from the tides: A review” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 7, publicada por Elsevier Science Ltd, 2003.

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

COELHO, G. M.; COELHO, D. M. de S. Prospecção tecnológica: Metodologias e Experiências Nacionais e Internacionais. Projeto CTPETRO – Tendências Tecnológicas, Instituto de Nacional de Tecnologia. 2003

COELHO, S. T.; Mecanismo para Implementação da Cogeração de Eletricidade a partir de Biomassa. Um Modelo para o Estado de São Paulo. 1999. Tese (Doutorado em Energia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1999.

COGEN EUROPE. Disponível em <http://www.cogeneurope.eu/>, acessado em 17/02/2016

CRESEB, Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, Energia Solar. Princípios e Aplicações, 2006.

CRUZ, J. M.; SARMENTO, A. J. “Energia das ondas: introdução aos aspectos tecnológicos, económicos e ambientais.” Portugal: Instituto do Ambiente Alfragide, 2004.

- CUNHA, J. F.; ONOFREI, R. Energia oceânica. Rio de Janeiro: Instituto Nacional da Propriedade Industrial, 2013. Disponível em:
http://www.marcasepatentes.pt/files/collections/pt_PT/1/300/302/Energia%20Oce%C3%A2nica.pdf, Acessado em: 15/03/2016.
- DEGUELDRE, C., Uranium as a renewable for nuclear energy, *Progress in Nuclear Energy*, Vol 94, 2017, Pag 174–186
- DENNY, E. The economics of the tidal energy. *Energy Policy*, v.37, p.1914-1924, 2009.
- DRAPER S., T.A.A. ADCOCK, A.G.L. BORTHWICK, G.T. HOULSBY, Estimate of the tidal stream power resource of the Pentland Firth, *Renew Energy*, 63 (2014), pp. 650–657
- DREJER, A., RIIS, J. O. Competence development and technology – how learning and technology can be meaningfully integrated. *Technovation*. Denmark: v.19, n.10. p.631-644. 1999.
- du TOIT A.S.A., Using environmental scanning to collect strategic information: A South African survey, *International Journal of Information Management*, Vol 36, Issue 1, 2016, Pag 16–24
- ELETROBRAS, Geração de energia em correntes marinhas é nova alternativa, publicado no *Ambiente Energia* em 10 de setembro de 2015, disponível em
<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2015/09/geracao-de-energia-em-correntes-marinhas-e-nova-alternativa/27028>, acessado em 17/01/2017
- ELETRONUCLEAR, disponível em
<http://www.eletronuclear.gov.br/Saibamais/Espa%C3%A7odoConhecimento/Pesquisaescolar/EnergiaNuclear.aspx> acessado dia 16/01/2016
- ELLABBAN, O., ABU-RUB, H., BLAABJERG, F., Renewable energy resources: current status, future prospects and their enabling technology, *Renew Sustain Energy Rev*, 39 (2014), pp. 748–764
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética, Leilão de Energia de Fontes Alternativas 2015, publicado em 27-04-2015. Acesso online em 03/11/2016
<http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/Leil%C3%A3o%20de%20Energia%20de%20Fontes%20Alternativas%202015/Leil%C3%A3oFA2015negociaenergiade11usinascomdes%C3%A1giode1,96.aspx>
- ETEMADI, A.; EMDADI, A.; ASEFAFSHAR, O.; EMAMI, Y. Electricity generation by the ocean thermal energy. *Energy Procedia*, *Energy Procedia*, Amsterdam, v. 12, n. 12, p. 936–944, 2011
- ETT, Gerhard, JANOLIO, Gilberto, ETT, Volkmar et al. Geração de energia elétrica distribuída a partir de célula a combustível.. In: *ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL*, 4., 2002, Campinas. Disponível em:

http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022002000200007&lng=en&nrm=abn. Acessado em 26 Outubro 2016.

FALCÃO, A., F., O., 2010, “Wave energy utilization: A review of the technologies”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14, p. 899–918.

FIGO, A. Como a Alemanha quer se tornar um país totalmente verde até 2050, *Revista exame.com*, publicado 12 de dezembro de 2016, disponível <http://exame.abril.com.br/mundo/como-a-alemanha-quer-se-tornar-um-pais-totalmente-verde-ate-2050/> acessado em 15/01/2017

FOSTER, M. G. S.; ARAÚJO, S. C. S.; SILVA, M. J. Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil. *Anais: 3ª Conferência Nacional de C, T & I*. Brasília. 2005.

FRANCHI, J, *Energy: Technology and directions for the future*, Elsevier Academic press, 2004.

GASPARATOS A., DOLL C.N.H., ESTEBAN M., AHMED A., OLANG T.A., *Renewable energy and biodiversity: Implications for transitioning to a Green Economy*, *Ren. and Sus. Ener. Rev.*, Vol 70, 2017, Pag 161–184

GEORGHIOUS, L.; et al. *The Handbook of Technology Foresight – Concepts and Practice*. Northampton: Edward Elgar Publishing Limited, 2008. 433 p.

GODET, M.; ROUBELAT, F. *Scenario Planning: an Open Future*. *Technological Forecasting & Social Change*, New York, v. 65, n.1, p. 1 – 2, 2000.

GOLDEMBERG J, COELHO ST, GUARDABASSI P. The sustainability of ethanol production from sugarcane., *Energy Policy* 2008, v.36, p. 2086-2097.

GOLDEMBERG, K.; *Meio Ambiente no século 21: Especialistas Falam da questão Ambiental nas suas áreas de conhecimento*, Sextante, Rio de Janeiro, 2003.

GOLDENBERG, J. *Biomassa e energia*, *Química Nova* 2009, 32, 4, 582-587.

GORDON, T. J.; HELMER, O. *Report on a long-range forecasting study*. Santa Monica, California, The RAND Corporation, September (Relatório Interno P-2982), 1964.

GRALLA, F., JOHN, B., ABSON, D.J., MØLLER, A.P., BICKEI, M., LANG, D.J., von WEHRDEN, H., *The role of sustainability in nuclear energy plans—What do national energy strategies tell us?*, *Energy Research & Social Science*, Vol. 22, 2016, Pages 94–106

HANKE, E.J.; REITSH, A.G.; WICHERN, D. W. – *Business Forecasting*. 7. Ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001. 498 p.

HAUSCHILD, L. *Avaliação de estratégias de operação de Sistemas Híbridos Fotovoltaico-Eólico-Diesel*. 2006, 117p. Dissertação de Mestrado em Energia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006

HDIDOUAN, D., STAFFELL, I., The impact of climate change on the levelised cost of wind energy, *Ren. En.*, vol 101, 2017, Pag 575–592

HOLZ F., P.M. RICHTER, R. EGGING, A global perspective on the future of natural gas: resources, trade, and climate constraints, *Rev. Environ. Econ. Policy*, 9 (2015), pp. 85–106

HOSSAIN M.F., HOSSAIN S., UDDIN M.J. Renewable energy: Prospects and trends in Bangladesh, *Renew Sustain Energy Rev*, Vol 70, 2017, Pag 44–49

HOSSEINI, S.E., WAHID M.A., Hydrogen production from renewable and sustainable energy resources: promising green energy carrier for clean development, *Renew Sustain Energy Rev*, 57 (2016), pp. 850–866

HOVLAND, K. M., Norway's Statkraft to Build \$1.2 Billion Onshore Wind Farm Project, *The Wall Street Journal*, 23 de fevereiro de 2016

HYBRID SYSTEM (biomass and solar termal). Disponível em: http://www.cres.gr/mednet/case_studies/adene1.files/frame.htm. Acessado em: 15/01/2017.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico ano base 2008, publicado em 2010. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf, acessado 17/02/2016

IEA, International Energy Agency, *Renewable Energy: RD&D Priorities*, 2006

IEA, International Energy Agency, *Tracking Clean Energy Process 2016*, disponível em <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TrackingCleanEnergyProgress2016.pdf>

IHA, International Hydropower Association, *Technical Potential*, 2016. Disponível em <https://www.hydropower.org/world-hydropower-statistics>, acessado dia 03/02/2017

IPHE, International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy", disponível em www.iphe.net. Acesso em: 28/09/2016

ISAACS, J.D. & SCHMITT, W.R. "Ocean energy: forms and prospects". *Science*, Vol. 207, no. 4428, pp.265-273. 1980.

ITAIPU BINACIONAL, Com apoio da Itaipu, Paraná ganha 1 planta de hidrogênio, disponível em <https://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/noticia/com-o-apoio-da-itaipu-parana-ganha-1-planta-de-hidrogenio?page=78> acessada em 13/01/2017

JONES, H.; TWISS, B.C. *Previsão Tecnológica para Decisões de Planejamento*. Tradução: Azevedo, J.R.B. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1986.

KAHIA M., AÏSSA M.S.B., LANOUAR C., Renewable and non-renewable energy use - economic growth nexus: The case of MENA Net Oil Importing Countries, *Renew Sustain Energy Rev*, Vol 71, 2017, Pag 127–140

KERR, T. "Combined Heat and Power - Evaluating the Benefits of Greater Global Investment," International Energy Agency, OECD/IEA, 2008.

KHAN N., KALAIR A., ABAS N., HAIDER A., Review of ocean tidal, wave and thermal energy technologies, *Renew Sustain Energy Rev*, Vol 72, 2017, Pag 590–604

KISHORE S., L. SNYDER, P. PRADHAN, Electricity from ocean wave energy: technologies, opportunities and challenges, *IEEE Smart Grid Newsletter* (February) (2013)

KREUER, K.D., Fuel Cells, Selected Entries from the Encyclopedia of Sustainability Science and Technology Springer, New York (2013)

LA ROVERE, E. L., Política Ambiental e Planejamento Energético, PPE/COPPE/UFRJ, ago 2000

LANDETA, J. Current validity of the Delphi method in social sciences. *Technological Forecasting and Social Change*. v. 73, n. 5, p. 467-482, 2006.

LEMOS, I., Fontes Alternativas de Energia na geração de eletricidade e aplicações e perspectivas das células fotovoltaicas e outras fontes de energia. Monografia (Especialista em Fontes Alternativas de Energia.). Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2005.

LI B., JACOBS Z., ROBERTS R.G., Investigation of the applicability of standardised growth curves for OSL dating of quartz from Haua Fteah cave, Libya, *Quat. Geoch.*, Vol 35, 2016, Pages 1–15

LOEB, S.; NORMAN R.S. - "Osmotic power plants". *Science* 189 Issue 4203, (1975) pg. 654–655.

LÖFMARK A., MÅRTENSSON G., Validation of the tool assessment of clinical education (AssCE): A study using Delphi method and clinical experts, *Nurse Education Today*, Vol 50, 2017, Pag 82–86

LOPES, A., Produção Eólica e Enquadramento Técnico-Económico em Portugal. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.

LUIZ, M. A.; Energia Solar e Preservação do meio ambiente. São Paulo: Editora LF, 1ª ed. 2013. 255p

MAGAGNA D., UIHLEIN A., Ocean energy development in Europe: Current status and future perspectives, *International Journal of Marine Energy*, Vol 11, 2015, Pag 84–104

MAIA, T.A. , BELLIDO, J. D. A., ASSAF, E. M. e ASSAF, J.M, Produção de Hidrogênio a partir da reforma a vapor de etanol utilizando catalisadores Cu/Ni/ γ -Al₂O₃, *Quim. Nova*, Vol. 30, No. 2, 339-345, 2007

MANFRO, R. L., RIBEIRO, N. F.P., SOUZA, M. M.V.M., Produção de Hidrogênio a partir da reforma a vapor do gliverol utilizando catalisadores de NiCu obtidos a partir de precursores tipo-hidrotalcitaengevista, V. 15, n. 3. p. 226-234, dezembro de 2013

MARCONDES, R. Chile tem energia elétrica gratuita devido à elevada produção de energia fotovoltaica, EcoSist Engenharia, Publicado em 29 de julho de 2016 disponível <http://ecosist.com.br/2016/07/29/chile-tem-energia-eletrica-gratuita-devido-a-elevada-producao-de-energia-fotovoltaica/> acessado em 15/01/2017

MARTINO, J. P., A review of selected recent advances in technological forecasting. In: Technological Forecasting and Social Change, n. 30 p. 719 – 733, 2003.

MATOS, M. B, SILVA, E.P., VARELLA, F.KO.M., Análise Energética do Projeto de um Sistema Híbrido eólico-fotovoltaico com Armazenamento de Energia Elétrica através do Hidrogênio e Banco de Baterias, Sociedade Brasileira de Planejamento Energético, Revista Brasileira de Energia Vol. 21 | Nº 1 | 1º Sem. 2015

MCINTOSH, S.; GORTE, R. J.; Chem. Rev. 2004, 104, 4845.

MME, boletim “Energia Solar no Brasil e no Mundo – Ano de Referência – 2015”, publicado pelo Ministério de Minas e Energia.

MOORE, Jennifer, Canada to Harvest the Power of Tides, Rivers and Oceans Using New Marine Energy Technology, Greener Ideal, 2014

MOUTINHO DOS SANTOS, E. et al. Gás natural: estratégias para uma energia nova no Brasil. São Paulo: Annablume, 2002. v.1, p.360.

MUNHOZ, F.C.;GARCIA, A. Caracterização da velocidade e direção predominante dos ventos para a localidade de Ituverava SP. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 23: p. 30-34, 2008.

NAGAOKA, M. P.T. et al. Análise de viabilidade econômica em co-geração de energia elétrica. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal, Garça, Ano V, n. 9, p. 1-15, fev. 2007.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. Ocean thermal energy conversion site

NETTO, D. B. A água do oceano queima ? ou O mar como fonte de energia. In: SEMINÁRIO DE COMBUSTÃO E ENERGIA, 2009, Rio de Janeiro. Seminário... Rio de Janeiro: COPPE UFRJ, 2009. Disponível em: [http://www.oceanica.ufrj.br/labeco/combustao/materiais/Mar_Energia2009a%20\[Compatibilidady%20Mode\].pdf](http://www.oceanica.ufrj.br/labeco/combustao/materiais/Mar_Energia2009a%20[Compatibilidady%20Mode].pdf), Acessado em: 15/03/2016.

OECD/IEA(Organisation for Economic Co-operation and Development/ International Energy Agency), RENEWABLE ENERGY: RD&D Priorities. Insights from IEA Technology Programmes, 2006

OKOLI, C., PAWLOWSKI, S. D. The Delphi method as a research tool: an example design considerations and applications. *Information & Management*. v.42, p.15-19, 2004.

OLDHAM, G. R., & Da SILVA, N. The impact of digital technology on the generation and implementation of creative ideas in the workplace. *Computers in Human Behavior*, 42, 5–11 (2015)

OSSAI C.I, Optimal renewable energy generation – Approaches for managing ageing assets mechanisms, *Renew Sustain Energy Rev*, Vol 72, 2017, Pag 269–280

OZOEGWU, C.G., MGBEMENE, C.A., OZOR P.A. The status of solar energy integration and policy in Nigeria, *Renew Sustain Energy Rev*, Vol. 70, 2017, Pages 457–471

PAIVA, B. Brasil inaugura primeira usina solar flutuante do mundo em lago de hidrelétrica, EBC Agência Brasil, 05 de Março de 2016 disponível em <http://agenciabrasil.ebc.com.br/pesquisa-e-inovacao/noticia/2016-03/brasil-inaugura-primeira-usina-solar-flutuante-do-mundo-em-lago>, acessado dia 10/11/2016

PALOU, N. Tesla cobre demanda total de eletricidade de uma ilha do Pacífico com energia solar, *Jornal El País*, publicado em 23 de novembro de 2016, disponível http://brasil.elpais.com/brasil/2016/11/23/tecnologia/1479903649_828123.html acessado em 15/01/2017, acessado em 10/01/2017

PECORA, V. Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP- Estudo de Caso. Dissertação (Mestre em Energia). Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, 2006.

PELLIZZONE, A., ALLANSDOTTIR, A., FRANCO, R., MUTTONI, G., MANZELLA, A., Geothermal energy and the public: A case study on deliberative citizens' engagement in central Italy, *Energy Policy*, Vol 101, 2017, Pages 561–570

PINHO, J.T, BLASQUES, L.C., GALHARDO, M.A.B., Vale, S.B., Operation Strategies of Wind-diesel systems for electricity generation using intelligent systems. *Proceedings. Global Wind Power*. Chicago, EUA, 2004a.

PONTA, F.L., JACOVKIS, P.M. Marine-current power generation by diffuser-augmented floating hydro-turbines, *Renewable Energy* Volume 33, Issue 4, April 2008, Pages 665–673

PORTER, Alan L. et al. Technology futures analysis: towards integration of the field and new methods. *Technological Forecasting and Social Change*, n.49, 2004.

QUÍMICA NOVA NA ESCOLA, n o. 15, maio de 2002, páginas 28 a 34.

RAFIQUE M.M., REHMANB, S., National energy scenario of Pakistan – Current status, future alternatives, and institutional infrastructure: An overview, *Renew Sustain Energy Rev*, Vol 69, 2017, Pag 156–167

REIS dos, L., *Matrizes energéticas: conceitos e usos em gestão e planejamento*. Barueri, SP: Manole, 2011.

- REIS dos, L.B., “Geração de Energia Elétrica”, Manole, São Paulo, 2003
- REIS, R. A. N.; SOUZA, R. B. Climatologia da estrutura termal do oceano Atlântico sudoeste a partir de dados observacionais de XBTS. Santa Maria: CRS/INPE – MCTI, 2007. 7 p. Relatório Final de Iniciação Científica.
- REN21. Renewable Energy global status report (2016) <http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/05/GSR_2016_Full_Report_lowres.pdf> [Accessed 4.11.16]
- Revista ANIA, nº6, julho, agosto e setembro 2014. Página 12.
- ROURKE, F., O., BOYLE, F., REYNOLDS, A., 2010, “Tidal energy update 2009”, Applied Energy, Vol. 87, p. 398–409
- ROWE, G.; WRIGHT, G. The Delphi technique as a forecasting tool: issues and analysis. International Journal of Forecasting v.15, p. 353-375, 1999.
- RÜTHER, Ricardo. Edifícios Solares Fotovoltaicos. Florianópolis: LABSOLAR, 2004.
- SALIBA-SILVA, M. A; Linardi, M. Hidrogênio Nuclear – Possibilidades para o Brasil. Centro de células a combustível e hidrogênio, instituto de Pesquisa e Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN/SP) São Paulo, 2009.
- SANT’ANA, P. H. Análise prospectiva de tecnologias de energia: validação e análise de uma consulta Delphi com especialistas no Brasil. 2005. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2005.
- SANTOS dos, F. M. S. M. e dos SANTOS ,F. A. C. M., COMBUSTÍVEL "HIDROGÊNIO", Millenium - Revista do Instituto Politécnico de Viseu, número 31, maio 2005
- SANTOS, E., FAGÀ, M., BARUFIC., POULALLION, P., ESTUDOS AVANÇADOS 21(59), 2007
- SANTOS, M. M., COELHO, G. M., SANTOS, D. M., FILHO, L. F., Prospecção de tecnologias de futuro: métodos, técnicas e abordagens. In: Parcerias Estratégicas, n. 19, Dezembro/2004.
- SCHULTZ, O., GLUNZ, S. W. and WILEKE G. P., “Multicrystalline Silicon Solar Cells Exceeding 20% Efficiency”, Progress in Photovoltaics: Research and Applications 12 (2004) 553.
- SEGEN Farid Estefen Parc., Energia renovável dos oceanos – Relatório IPCC & Atividades no Brasil , Estrat. Brasília-DF v. 17, n. 35, p. 89-104, jul-dez 2012
- SETANI,M. , BRAUN, J.C., Impactos Ambientais de Centrais Geradoras Hidrelétricas e Pequenas Centrais Hidrelétricas, disponível em [http://www.ciclusambiental.net.br/blog/impactosambientaisdecentraisgeradorashidreletricasep](http://www.ciclusambiental.net.br/blog/impactosambientaisdecentraisgeradorashidreletricasepequenascentraishidreletricas) equenascentraishidreletricas acessado em 17/01/2017

- SHAIKH,F., JI,Q., FAN,Y., An ecological network analysis of the structure, development and sustainability of China's natural gas supply system security, *Ecological Indicators*, Vol. 73, 2017, Pages 235–246
- SILVA, B. J. A Primeira Conferência Sobre Usos Pacíficos da Energia Atômica, Rio de Janeiro, UERJ. (monografia de curso de graduação), 2010
- SILVA, E.P., Introdução à Economia de Hidrogênio, 1a Ed., Editora da Unicamp, 204 p., 1991.
- SILVA, P. C. M. Usos do mar. Publicação do Instituto de Pesquisas da Marinha, 38p. 1978.
- SILVA, R. G. A geração de energia maremotriz e suas oportunidades no Brasil. *Revista Ciências do Ambiente*, Campinas, v. 8, n. 2, p. 82-87, 2012.
- SILVA, S.B. Sistema Híbrido Solar Fotovoltaico, célula a combustível e baterias aplicados a comunidades isoladas na região da Amazônia brasileira. Anais do III Congresso Brasileiro de Energia Solar. Belém – PA. Setembro, 2010
- SIMS, REH. The brilliance of bioenergy: in business and in practice. London: Earthscan, 2002. 316 p.
- SINGH A., EPHRAIM J., Ocean energy: The new energy frontier for the Eastern Caribbean Small Island Developing States, *Energy Policy*, Vol 99, 2016, Pages 1–3
- SORENSEN, B., *Renewable Energy Conversion, Transmission and Storage*, 2007
- SOUZA, M. A. M. E DANTAS, J. D. *Cad. Bras. Ens. 136 Fís.*, v. 27, n. 1: p. 136-158, abr. 2010.
- SOUZA, S. N. M.; Aproveitamento da Energia Hidroelétrica Secundária para a Produção de Hidrogênio Eletrolítico. 1998. 0 f. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.
- SPIEGEL, J.; PRESTON, J. Technical assessment of fuel cell operation on anaerobic digester gas at the Yonkers, NY, waste treatment plant. *Waste Management*. s.n. p.1-9, 2003
- STATKRAFT Presscentre news (2012), Statkraft considering osmotic power pilot facility at Sunndalsøra – Statkraft, disponível em <http://www.statkraft.com/presscentre/news/2012-/statkraft-considering-osmotic-power-pilot-facility-at-sunndalsora.aspx>. acessado em 5/07/2016
- STRAND J., CARSON R.T., Navrud S., ORTIZ-BOBEA A., VINCENT J.R, Using the Delphi method to value protection of the Amazon rainforest, *Ecological Economics*, Vol 131, 2017, Pag 475–484
- SUOMALAINEN,K., SILVA,C., FERRÃO, P., CONNORS, S., Wind power design in isolated energy systems: impacts of daily wind patterns, *Appl. Energy*, 101 (2013), pp. 533–54

SUZUKI,K., TSUJI,N., SHIRAI,Y., HASSAN, M.A., OSAKI,M., Evaluation of biomass energy potential towards achieving sustainability in biomass energy utilization in Sabah, Malaysia, *Biomass and Bioenergy* Vol 97, 2017, Pag 149–154

SZARKA N., EICHHORN M., KITTLER R., BEZAMA A., THRÄN D., Interpreting long-term energy scenarios and the role of bioenergy in Germany, *Renew Sustain Energy Rev*, Vol 68, Part 2, 2017, Pages 1222–1233

TASCA, R. Potencial das Fontes de Energias Renováveis e Eficiência Energética, IFANGER - Assessoria, Consultoria e Treinamento Empresarial, site: <http://www.ifangerconsultoria.com.br/potencial.pdf>, acessado em 15/03/2016.

TAYLOR, R.H. Alternative Energy sources for the centralised generation of electricitry ,dam Hilger Ltd, Techno House, Redcliffe Way, Bristol.

THORSEN, T.; HOLT, T. - "Finding hidden energy in membrane processes". *Filtration & Separation* 42 (2005) 28–30.

TIBOLA, G., Sistema Eólico de Pequeno porte para geração de energia elétrica com rastreamento de máxima potência. Dissertação (Mestre em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

TIMILSINA, G.R; KURDEGELASHVILI, L.; NARBEL, P.A. Solar energy: Markets, economics and policies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.16, p.449-465, Out. 2011.

TOIVONEN S., VIITANEN K., Environmental scanning and futures wheels as tools to analyze the possible future themes of the commercial real estate market, *Land Use Policy*, Vol 52, 2016, Pag 51–61

TOLMASQUIM, M.T. Geração de energia elétrica no Brasil. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: Interciência, 2005. 198 p.

TUROFF, M., LINSTONE H. A., *The Delphi Method – Techniques and Applications*, 2002, Portland State University

VIAUD, M., HOFFMAN, W. and AULICH H., “European PV Industry roadmap”, *Proceedings 19th EPVSEC* (2004)

VILSAN, M.; IRINA, N. A Hybrid Wind-Photovoltaic Power Supply for a Telecommunication System Research Institute for Electrical Engineering. P-18.p. 589- 591. 1997.

WANG Z., WENNERSTEN R., SUN Q., Outline of principles for building scenarios – Transition toward more sustainable energy systems, *Appl. Energy*, Vol 185, Part 2, 1 2017, Pages 1890–1898

WEC, World Energy Council, <http://www.worldenergy.org/data/resources/resource/>

WEHRDEN H. von, J. FISCHER, P. BRANDT, V. WAGNER, K. KÜMMERER, T. KUEMMERLE, et al., Consequences of nuclear accidents for biodiversity and ecosystem services *Conserv. Lett.*, 5 (2) (2012), pp. 81–89

WENDT, H.; GÖTZ, M.; LINARDI, M.; *Química Nova* 2000, 23, 4.

WHITELEE Windfarm, disponível em http://www.whiteleewindfarm.com/about_windfarm?nav, acessado em 13/01/2016

WILLIAMS, M. C.; *Fuel Cell Handbook*, 7th ed., U. S. Department of Energy: West Virginia, EG&G Technical Services, Inc.; 2004.

WILSON R.M.S., GILLIGAN C., *Strategic Marketing Management: Planning, Implementation and Control*, Routledge, London and New York (2012)

WNA – WORLD NUCLEAR ASSOCIATION. Site contendo dados sobre o uso da energia nuclear, inclusive do mercado de urânio. Disponível em <<http://www.world-nuclear.org>>. Acesso em junho de 2006.

WRIGHT, J. T.C., GIOVINAZZO, R. A. WEBLER, T. et al. Delphi - Uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo. *Caderno de Pesquisas em Administração*, v. 01, n. 12, p. 54-65, 2000

YIRKA, B. Partnership to build world's largest OTEC plant off China coast, publicado em PHYS.ORG em 24 de abril de 2013, disponível em <http://phys.org/news/2013-04-partnership-world-largest-otec-china.html> acessado em 03/10/2016

ZACKIEWICZ, M.; SALLES-FILHO, S.; *Tecnological Foresight: Um Instrumento para a Política Científica e Tecnológica*. Parcerias Tecnológicas, Brasília, n.10, p-144-161, março 2001.

8. Anexos

A. Questionário – Primeira rodada

1. Questionário em português

Nesta primeira etapa do estudo das fontes de energia alternativa, para um cenário de médio e longo prazo (30-40 anos), por meio da metodologia Delphi, algumas questões iniciais estão formuladas no sentido de conhecer o perfil do respondente. Outras questões entrarão no mérito tecnológico-econômico do trabalho.

Nesse estudo, iremos fazer algumas perguntas específicas sobre o país em que exerce suas atividades profissionais e, que terão como objetivo conhecer o atual estado da arte da pesquisa e do desenvolvimento e de implantação das várias formas de geração de energia alternativas.

1. Região em que exerce sua atividade profissional

América do Norte América Latina África Ásia Europa Oceania

2. Área de atividade profissional

Indústria Governo Universidade Indústria e Governo
 Indústria e Universidade Governo e Universidade Consultoria outras

3. Grau de conhecimento sobre o tema energias alternativas

Especialista Grande Conhecimento Conhecimento Geral

4. As diretrizes governamentais do seu país vão no sentido de incentivar a implantação de fontes alternativas de geração de energia.

1(discordo completamente) 2(discordo) 3(indiferente) 4(concordo)
 5(concordo completamente)

5. Explícite como é composta atualmente a matriz energética de seu país, quantificando de acordo com a ordem de importância as tecnologias em uso.

Fonte de energia	1(nenhuma importância)	2(pouca importância)	3(importante)	4(muito importante)	5(prefiro não opinar)
Pilhas a combustível					
Eletrólise da água					
Biomassa					
Eólica					
Solar					
Nuclear					
Gás natural					
Geotérmica					
Termoelétrica					
Hidroelétrica					
Dos oceanos					
Outra? cite					
COMENTÁRIOS:					

6. Em sua opinião, considerando as pilhas a combustível, quantifique- as de acordo com seu grau de importância (em uso rotineiro pela sociedade em geral) no estado atual de utilização.

Tipos de pilhas a combustível	1(nenhuma importância)	2(pouca importância)	3(importante)	4(muito importante)	5(prefiro não opinar)
Pilhas Alcalinas-AFC					
Pilhas de membrana polimérica - PEMFC					
Pilhas com metanol direto DMFC					
Pilhas de carbonato fundido - MCFC					
Pilhas de ácido fosfórico -PAFC					
Pilhas de óxido sólido-SOFC					
Pilhas de ácido sólido - SAFC					
Outra? cite					
COMENTÁRIOS:					

7. Em sua opinião, considerando as tecnologias de produção de hidrogênio, quantifique-as de acordo com seu grau de importância no estado atual de utilização.

Tipos de produção de hidrogênio	1(nenhuma importância)	2(pouca importância)	3(importante)	4(muito importante)	5(prefiro não opinar)
Eletrolítico					
Termolítico					
Fotolítico					
Biológico (algas)					
Reforma à vapor					
Outra? cite					
COMENTÁRIOS:					

8. Considerando as tecnologias de conversão energética da biomassa, quantifique os tipos existentes de acordo com seu grau de importância no estado atual de utilização.

Tipos de tecnologia de biomassa	1(nenhuma importância)	2(pouca importância)	3(importante)	4(muito importante)	5(prefiro não opinar)
Gaseificação					
Recuperação de energia de resíduos sólidos					
Biocombustível					
Outra? cite					
COMENTÁRIOS:					

9. Considerando as formas de geração de energia eólica, quantifique os tipos existentes de acordo com seu grau de importância no estado atual de utilização.

	1(nenhuma importância)	2(pouca importância)	3(importante)	4(muito importante)	5(prefiro não opinar)
drag-type turbines					
lift-type turbines – vertical axes					
lift-type turbines – horizontal axes					
Magnus effect wind plants					
vortex wind plants					
Outra? cite					
COMENTÁRIOS:					

10. Considerando as formas de utilização da energia solar, quantifique os tipos existentes de acordo com seu grau de importância no estado atual de utilização em seu país.

Tipos de utilização de energia solar	1(nenhuma importância)	2(pouca importância)	3(importante)	4(muito importante)	5(prefiro não opinar)
Fotovoltaica					
Fototérmica					
Coletores solar					
Outra? cite					
COMENTÁRIOS:					

11. Considerando as formas de obtenção de energia geotérmica, quantifique os tipos existentes de acordo com seu grau de importância no estado atual de utilização.

Tipos de obtenção de energia geotérmica	1(nenhuma importância)	2(pouca importância)	3(importante)	4(muito importante)	5(prefiro não opinar)
Das rochas					
Da água					
Do vapor					
Outra? cite					
COMENTÁRIOS:					

12. Considerando os diversos tipos de geração de energia por meio das águas dos oceanos, quantifique os tipos existentes de acordo com seu grau de importância no estado atual de utilização.

Tipos de geração de energia das águas	1(nenhuma importância)	2(pouca importância)	3(importante)	4(muito importante)	5(prefiro não opinar)
Ondas					
Maremotriz					
Correntes marinhas					
Gradiente de salinidade					
Gradiente térmico					
Outra? cite					
COMENTÁRIOS:					

13. Considerando os tipos de conversores da energia das ondas, quantifique de acordo com seu grau de importância no estado atual de utilização em seu país.

Tipos de conversores de energia das ondas	1(nenhuma importância)	2(pouca importância)	3(importante)	4(muito importante)	5(prefiro não opinar)
Heaving buoy					
Hinged contour					
Overtopping					
Oscillating water column					
Tapered channel					
Outra? cite					
COMENTÁRIOS:					

14. Considerando os tipos de conversores da energia do gradiente térmico dos oceanos, quantifique de acordo com seu grau de importância no estado atual de utilização em seu país.

Tipos de conversores de energia térmica	1(nenhuma importância)	2(pouca importância)	3(importante)	4(muito importante)	5(prefiro não opinar)
Turbinas hidráulicas					
Turbinas a vapor					
Outra? cite					
COMENTÁRIOS:					

15. Considerando os vários tipos de geração de energia das marés dos oceanos, quantifique de acordo com seu grau de importância no estado atual de utilização em seu país.

Tipos de turbinas de energia das marés	1(nenhuma importância)	2(pouca importância)	3(importante)	4(muito importante)	5(prefiro não opinar)
Eixo horizontal de rotação					
Eixo de rotação vertical					
Outra? cite					
COMENTÁRIOS:					

16. Considerando os vários tipos de geração de energia das correntes marinhas, quantifique de acordo com seu grau de importância no estado atual de utilização em seu país.

Tipos de turbinas de energia das correntes	1(nenhuma importância)	2(pouca importância)	3(importante)	4(muito importante)	5(prefiro não opinar)
Eixo horizontal de rotação					
Eixo de rotação vertical					
Hidrofólios oscilantes					
Outra? cite					
COMENTÁRIOS:					

17. Considerando os tipos de geração a partir do gradiente de salinidade dos oceanos/rios (estuários), quantifique de acordo com seu grau de importância no estado atual de utilização em seu país.

Tipos de geração	1(nenhuma importância)	2(pouca importância)	3(importante)	4(muito importante)	5(prefiro não opinar)
Eletrodiálise Reversa- RED					
Osiose à Pressão Retardada -PRO					
Outra? cite					
COMENTÁRIOS:					

18. Considerando os tipos de geração a partir de hidrelétricas, quantifique de acordo com seu grau de importância no estado atual de utilização em seu país.

Tipos de geração	1(nenhuma importância)	2(pouca importância)	3(importante)	4(muito importante)	5(prefiro não opinar)
Grandes centrais					
Pequenas centrais					
Outra? cite					
COMENTÁRIOS:					

19. Quais as novas formas de geração de energia que poderão estar compondo a matriz energética do seu país em 30-40 anos?

Fonte de energia	1(nenhuma importância)	2(pouca importância)	3(importante)	4(muito importante)	5(prefiro não opinar)
Pilhas a combustível					
Eletrólise da água					
Biomassa					
Eólica					
Solar					
Nuclear					
Gás natural					
Geotérmica					
Termoelétrica					
Hidroelétrica					
Dos oceanos					
Outra? cite					
COMENTÁRIOS:					

20. Porque a(s) energia(s), citadas na questão 19 (como nenhuma importância), não fará(ão) parte da matriz energética? Quantifique os seguintes fatores de acordo com a ordem de importância para justificar essa escolha.

Fator	1(nenhuma importância)	2(pouca importância)	3(importante)	4(muito importante)	5(prefiro não opinar)
Indisponibilidade de matéria prima					
Energia ainda em fase de P&D					
Matéria prima cara					
Inviabilidade tecnológica					
Não compatível com região geográfica					
Outra? cite					
COMENTÁRIOS:					

21. Do seu ponto de vista, qual será o maior benefício da implantação de novas fontes de geração de energia com relação as tradicionalmente utilizadas?

- Custo Rendimento Bem estar Meio ambiente
Descentralização da produção de energia Independência energética

22. Do seu ponto de vista, para um cenário de 30-40 anos, qual o grau de importância das sinergias citadas abaixo?

Sinergias	1(nenhuma importância)	2(pouca importância)	3(importante)	4(muito importante)	5(prefiro não opinar)
Nuclear/pilhas a combustível					
Solar/ pilhas a combustível					
Hidroelétrica/ pilhas a combustível					
Eólica/ pilhas a combustível					
Outra? cite					
COMENTÁRIOS:					

23. Os sistemas de cogeração de energia serão relevantes para a economia dos países em 30-40 anos?

Sim Não Prefiro não opinar

24. Do seu ponto de vista, para um cenário de 30-40 anos, qual o grau de importância dos sistemas híbridos citados abaixo?

Sistemas Híbridos	1(nenhuma importância)	2(pouca importância)	3(importante)	4(muito importante)	5(prefiro não opinar)
Eólica/ fotovoltaica					
Fotovoltaica/ biomassa					
Eólica/ hidrelétrica					
Eólica/fotovoltaica/ biomassa					
Nuclear/pilhas a combustível					
Solar/ pilhas a combustível					
Hidroelétrica/ pilhas a combustível					
Outra? cite					
COMENTÁRIOS:					

25. Para responder essa questão, considere a fonte de geração de energia na qual é especialista, citando-a no campo indicado.

Para a implantação de uma fonte de energia alternativa, haverá a necessidade de desenvolvimento ou adequação de novos:

FONTE DE ENERGIA EM QUE É ESPECIALISTA:		
Parâmetro	Sim	Não
Materiais		
Software		
Sistemas eletrônicos		
Leis tarifárias		
Criação de normas		
Outra? cite		
COMENTÁRIOS:		

26. Em 30-40 anos, haverá novas tecnologias de geração de energia presente no mercado em uso pela sociedade?

Sim Não Não sei

27. Além das energias citadas anteriormente neste estudo, existem planos para o desenvolvimento futuro de novas fontes de energia, considerando um cenário de médio e longo prazo, em fase de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico e que não foram citadas nesse questionário?

Sim. Quais?

Não

28. Cite a(s) tecnologia(s) futura(s) que estará(ão) em estudo e qual (is) sua(s) etapa(s) do desenvolvimento.

Etapa do desenvolvimento	Fonte de energia
Pesquisa – escala de laboratório	
Pesquisa e Desenvolvimento – planta piloto	
Pesquisa, Desenvolvimento e Demonstração – planta semi industrial	

29. A coprodução de água potável é um fator importante para a escolha de uma fonte de geração de energia alternativa?

Sim Não Não sei

30. Em quais sistemas de geração de energia se consideraria a coprodução de água potável como um fator importante?

Sistema geração de energia	1(nenhuma importância)	2(pouca importância)	3(importante)	4(muito importante)	5(prefiro não opinar)
OTEC					
Nuclear					
Gradiente de salinidade					
Outra? cite					
COMENTÁRIOS:					

2. Questionário enviado aos especialistas, em inglês, com as respectivas respostas.

In this first stage of the study of alternative energy sources for a medium and long-term scenario (30-40 years) through the Delphi methodology, some initial questions were formulated in order to know the respondent's profile. Other questions enter the technological-economic merit of the work.

In this study, we will ask some specific questions about the country where you perform your professional activities, and that will aim to evaluate the current state of art's research and the development and implementation of various forms of alternative energy generation.

1. Region where exercise your professional activity – 46 respostas

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> North America – 8,7% | <input type="checkbox"/> Latin America 23,91% |
| <input type="checkbox"/> Africa - 4,35% | <input type="checkbox"/> Asia - 15,22% |
| <input type="checkbox"/> Europe - 47,83% | <input type="checkbox"/> Oceania 0 % |

2. Professional activity area - 45 respostas

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Industry – 2,22% | <input type="checkbox"/> Government - 2,22% |
| <input type="checkbox"/> University – 71,11% | <input type="checkbox"/> Industry and Government- 0% |
| <input type="checkbox"/> Industry and University – 8,89% | <input type="checkbox"/> Government and University – 8,89% |
| <input type="checkbox"/> Consulting – 2,22% | <input type="checkbox"/> Others – Research – 2,22% |
| <input type="checkbox"/> Others – Research NGO– 2,22% | |

3. Degree of knowledge on the subject alternative energy - 45 respostas

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Specialist – 48,89% | <input type="checkbox"/> High knowledge – 40,00% |
| <input type="checkbox"/> General knowledge- 11,11% | |

4. Government guidelines of your country will to encourage the deployment of alternative sources of power generation. - 45 respostas

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> 1(completely disagree) - 2,22% | <input type="checkbox"/> 2(disagree) – 20,00% |
| <input type="checkbox"/> 3(indifferent) - 13,33% | <input type="checkbox"/> 4(agree) – 44,44% |
| <input type="checkbox"/> 5(completely agree) – 20,00% | |

5. Explain how it is currently composed the energy matrix of your country, quantifying according to the order of importance of the technologies in use. - 43 respostas

Energy Source	1(no importance)	2(little importance)	3(important)	4(very important)	5(I prefer not to give an opinion)
Fuel Cell	53,49%	25,58%	9,30%	2,33%	9,30%
Water Electrolysis	62,79%	18,60%	9,30%	2,33%	6,98%
Biomass	6,98%	41,86%	30,23%	20,93%	0,00%
Wind	6,98%	30,23%	25,58%	37,21%	0,00%
Solar	11,63%	34,88%	34,88%	18,60%	0,00%
Nuclear	30,23%	20,93%	30,23%	18,60%	0,00%
Natural gas	6,98%	11,63%	39,53%	41,86%	0,00%
Geothermal	44,19%	39,53%	11,63%	4,65%	0,00%
Thermoelectric	32,56%	27,91%	23,26%	11,63%	4,65%
Hydropower	18,60%	13,95%	18,60%	48,84%	0,00%
Ocean	55,81%	34,88%	9,30%	0,00%	0,00%
Other? Mention: Coal - important	32,56%	2,33%	4,65%	0,00%	60,47%
COMMENTS:					

6. In your opinion, considering the fuel cells, quantify according to their degree of importance (in routine use by society in general) in the current state of use. - 40 respostas

Fuel cells types	1(no importance)	2(little importance)	3(important)	4(very important)	5(I prefer not to give an opinion)
Alkaline Fuel Cell – AFC	15,00%	17,50%	12,50%	7,50%	47,50%
Direct Methanol Fuel Cell –DMFC	17,50%	20,00%	12,50%	0,00%	50,00%
Molten Carbonate Fuel Cell – MCFC	25,00%	10,00%	12,50%	0,00%	52,50%
Phosphoric Acid Fuel Cell –PAFC	22,50%	15,00%	10,00%	0,00%	52,50%
Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell - PEMFC	17,50%	7,50%	15,00%	12,50%	47,50%
Solid Acid Fuel Cell - SAFC	20,00%	20,00%	7,50%	0,00%	52,50%
Solid Oxide Fuel Cell- -SOFC	20,00%	12,50%	10,00%	7,50%	50,00%
Other? Mention:	17,50%	0,00%	5,00%	0,00%	77,50%
COMMENTS:					

7. In your opinion, considering the hydrogen production technologies, quantify them according to their degree of importance in the current state of use. - 36 respostas

Hydrogen production types	1(no importance)	2(little importance)	3(important)	4(very important)	5(I prefer not to give an opinion)
Biological (algae)	30,56%	22,22%	11,11%	8,33%	27,78%
Electrolytic	13,89%	16,67%	30,56%	11,11%	27,78%
Photolytic	25,00%	22,22%	19,44%	5,56%	27,78%
Steam reform	16,67%	11,11%	19,44%	22,22%	30,56%
Thermolytic	25,00%	27,78%	11,11%	2,78%	33,33%
Other? Mention: Gasification of solid fuels. (3)	22,22%	0,00%	8,33%	0,00%	69,44%
COMMENTS: I DON'T HAVE ENOUGH KNOWLEDGE ON THE SUBJECT TO SAY. (VOTOU 5 EM TODAS AS OPÇÕES)					

8. Considering the technologies of energy conversion from biomass, quantify existing types according to their degree of importance in the current state of use. – 35 respostas

Types of energy conversion from biomass	1(no importance)	2(little importance)	3(important)	4(very important)	5(I prefer not to give an opinion)
Biofuel	5,71%	22,86%	45,71%	22,86%	2,86%
Energy recovery from waste	2,86%	37,14%	37,14%	20,00%	2,86%
Gasification	8,57%	34,29%	34,29%	17,14%	5,71%
Other? Mention: 1)CHP by combustion should be the major technology. Even energy from waste should be conducted large scale high efficiency plant bu co-combustion. (4) 2) direct combustion (3) 3) forestry (3) 4) Wood/Animal waste to Energy (4)	20,00%	2,86%	11,43%	5,71%	60,00%
COMMENTS: I DON'T HAVE ENOUGH KNOWLEDGE ON THE SUBJECT TO SAY. (5)					

9. Considering the forms of wind power generation, quantify existing types according to their degree of importance in the current state of use. – 35 respostas

Types of wind power	1(no importance)	2(little importance)	3(important)	4(very important)	5(I prefer not to give an opinion)
Drag-type turbines	31,43%	28,57%	0,00%	8,57%	31,43%
Lift-type turbines – horizontal axes	11,43%	8,57%	17,14%	31,43%	31,43%
Lift-type turbines – vertical axes	20,00%	25,71%	20,00%	5,71%	28,57%
Magnus effect wind plants	37,14%	25,71%	5,71%	0,00%	31,43%
Vortex wind plants	34,29%	28,57%	2,86%	2,86%	31,43%
Other? Mention:	22,86%	5,71%	2,86%	0,00%	68,57%
COMMENTS: I DON'T HAVE ENOUGH KNOWLEDGE ON THE SUBJECT TO SAY. (5) I DON'T UNDERSTAND THESE TECHNOLOGIES (5)					

10. Considering solar energy, quantify existing types according to their degree of importance in the current state of use in your country. – 34 respostas

Forms of use solar energy	1(no importance)	2(little importance)	3(important)	4(very important)	5(I prefer not to give an opinion)
Photothermal	17,65%	35,29%	17,65%	17,65%	11,76%
Photovoltaics	2,86%	17,14%	25,71%	48,57%	5,71%
Solar collectors	11,43%	28,57%	25,71%	22,86%	11,43%
Other? Mention:	26,67%	3,33%	3,33%	0,00%	66,67%
COMMENTS: TIS IS THE MOST IMPORTANT ALTERNATIVE SOURCE OF ENERGY AND IT IS A SHAME BRAZILIAN DEVELOPMNTS IN SUCH AREA (1)					

11. Considering the ways of obtaining geothermal energy, quantify existing types according to their degree of importance in the current state of use. 35 respostas

Types of obtaining geothermal energy	1(no importance)	2(little importance)	3(important)	4(very important)	5(I prefer not to give an opinion)
Rocks	28,57%	17,14%	17,14%	5,71%	31,43%
Steam	22,86%	14,29%	14,29%	17,14%	31,43%
Water	17,14%	17,14%	17,14%	11,43%	37,14%
Other? Mention:	25,71%	2,86%	2,86%	0,00%	68,57%
COMMENTS: THESE ARE NOT GOOD DEFINITIONS OF GEOTHERMAL (5)					

12. Considering the different types of power generation through the water of the oceans, quantify existing types according to their degree of importance in the current state of use. 33 respuestas

Types of power generation from oceans	1(no importance)	2(little importance)	3(important)	4(very important)	5(I prefer not to give an opinion)
Currents	39,39%	27,27%	15,15%	3,03%	15,15%
Salination	51,52%	24,24%	3,03%	6,06%	15,15%
Thermal gradient	51,52%	27,27%	6,06%	3,03%	12,12%
Tidal	33,33%	30,30%	18,18%	9,09%	9,09%
Wave	27,27%	21,21%	24,24%	18,18%	9,09%
Other? Mention:	24,24%	0,00%	6,06%	0,00%	69,70%
COMMENTS:					

13. Considering the types of wave energy converters, identify according to their degree of importance in the current state of use in your country. 33 respuestas

Types of wave energy converters	1(no importance)	2(little importance)	3(important)	4(very important)	5(I prefer not to give an opinion)
Heaving buoy	31,25%	21,88%	3,13%	0,00%	43,75%
Hinged contour	34,38%	15,63%	3,13%	3,13%	43,75%
Oscillating water column	28,13%	25,00%	6,25%	0,00%	40,63%
Overtopping	28,13%	25,00%	3,13%	0,00%	43,75%
Tapered channel	31,25%	18,75%	6,25%	0,00%	43,75%
Other? Mention:	25,00%	0,00%	3,13%	0,00%	71,88%
COMMENTS: I REALLY HAVE NO IDEA ABOUT THIS. (5)					

14. Considering the types of ocean thermal energy converters, quantify according to their degree of importance in the current state of use in your country. 32 respuestas

Types of ocean thermal energy converters	1(no importance)	2(little importance)	3(important)	4(very important)	5(I prefer not to give an opinion)
Hydraulic turbines	31,25%	15,63%	6,25%	3,13%	43,75%
Vapor turbines	37,50%	9,38%	6,25%	3,13%	43,75%
Other? Mention:	31,25%	0,00%	0,00%	0,00%	68,75%
COMMENTS:					

15. Considering the various types of tidal energy generation, quantify according to their degree of importance in the current state of use in your country. 32 respostas

Types of tidal energy generation	1(no importance)	2(little importance)	3(important)	4(very important)	5(I prefer not to give an opinion)
Horizontal axis of rotation	34,38%	15,63%	3,13%	3,13%	43,75%
Vertical axis of rotation	37,50%	18,75%	0,00%	0,00%	43,75%
Other? Mention:	37,50%	0,00%	0,00%	0,00%	62,50%
COMMENTS: I REALLY HAVE NO IDEA ABOUT THIS. (5)					

16. Considering the various types of power generation of ocean currents, quantify according to their degree of importance in the current state of use in your country. 32 respostas

Types of power generation of ocean currents	1(no importance)	2(little importance)	3(important)	4(very important)	5(I prefer not to give an opinion)
Horizontal axis of rotation	37,50%	9,38%	3,13%	3,13%	46,88%
Oscillating hydrofoils	37,50%	15,63%	0,00%	0,00%	46,88%
Vertical axis of rotation	37,50%	15,63%	0,00%	0,00%	46,88%
Other? Mention:	34,38%	3,13%	0,00%	0,00%	62,50%
COMMENTS: I REALLY HAVE NO IDEA ABOUT THIS. (5)					

17. Considering the types of generation from salinity gradient of the oceans / rivers (estuaries), quantify according to their degree of importance in the current state of use in your country. 32 respostas

Tipos de geração	1(no importance)	2(little importance)	3(important)	4(very important)	5(I prefer not to give an opinion)
Pressure-retarded osmosis –PRO	40,63%	6,25%	6,25%	0,00%	46,88%
Reverse electrodialysis,- RED	37,50%	9,38%	3,13%	3,13%	46,88%
Other? Mention:	34,38%	3,13%	0,00%	0,00%	62,50%
COMMENTS:					

18. Considering the types of generation from hydropower, identify according to their degree of importance in the current state of use in your country. 32 respuestas

Types of generation	1(no importance)	2(little importance)	3(important)	4(very important)	5(I prefer not to give an opinion)
Large plants	9,38%	12,50%	12,50%	62,50%	3,13%
Small plants	12,50%	21,88%	37,50%	25,00%	3,13%
Other? Mention: Plants of medium size and some water storage capacity. (3)	28,13%	0,00%	6,25%	0,00%	65,63%
COMMENTS:					

19. What new forms of energy generation that could be compounding the energy matrix of your country in 30-40 years? 32 respuestas

Energy Source	1(no importance)	2(little importance)	3(important)	4(very important)	5(I prefer not to give an opinion)
Fuel Cell	18,75%	43,75%	31,25%	3,13%	3,13%
Water Electrolysis	40,63%	34,38%	12,50%	6,25%	6,25%
Biomass	0,00%	15,63%	43,75%	37,50%	3,13%
Wind	3,13%	9,38%	21,88%	62,50%	3,13%
Solar	0,00%	6,25%	25,00%	65,63%	3,13%
Nuclear	28,13%	28,13%	25,00%	15,63%	3,13%
Natural gas	0,00%	9,38%	43,75%	43,75%	3,13%
Geothermal	31,25%	40,63%	18,75%	6,25%	3,13%
Thermoelectric	15,63%	25,00%	37,50%	12,50%	9,38%
Hydropower	9,38%	15,63%	21,88%	50,00%	3,13%
Ocean	34,38%	37,50%	15,63%	9,38%	3,13%
Other? Mention: Tides energy. (2)	21,88%	6,25%	3,13%	3,13%	65,63%
COMMENTS: ACTUALLY, THESE TECHNICAL ISSUES WOULD NOT BE THE MAJOR ISSUES. MORE CONCERN SHOULD BE FOCUSED ON SOCIAL ASPECTS. (4)					

20. Why the energy, cited in question 19 (as no importance), will not be part of the energy matrix? Quantify the following factors according to the order of importance to justify that choice. 32 respuestas

Factor	1(no importance)	2(little importance)	3(important)	4(very important)	5(I prefer not to give an opinion)
Energy on R&D phase	9,38%	25,00%	25,00%	18,75%	21,88%
High-cost raw materials	18,75%	15,63%	21,88%	21,88%	21,88%
Not compatible with geographic region	31,25%	6,25%	9,38%	34,38%	18,75%
technological infeasibility	15,63%	15,63%	25,00%	21,88%	21,88%
Unavailability of raw materials	28,13%	25,00%	9,38%	12,50%	25,00%
Other? Mention: 1) Lack of public policies focus regarding to finance and regulation (4) 2) Why not provide a answer branch for waste issues. Nuclear wastes, HLWs have to be controlled perfectly for more than ten thousand years, which is indeed socially impossible. (4) 3) FC and WE are not energy sources. (4) 4) Political decision to shut down power plants (4)	25,00%	0,00%	0,00%	12,50%	62,50%
COMMENTS: POLITICIANS CONCERN WITH SOCIAL REPERCUSSION					

21. From your point of view, what is the greatest benefit of deploying new sources of power generation about the traditional use? 32 respuestas

- Cost 6,25%
- Yield 0,00%
- Welfare 3,13%
- Environment 62,50%
- Energy production decentralization 6,25%
- Energy independence 18,75%
- Other 3,13%

Coments: True cost of energy and environmental impact

22. From your point of view, for a 30-40 year scenario, the degree of importance of the synergies mentioned below? 32 respuestas

Synergies	1(no importance)	2(little importance)	3(important)	4(very important)	5(I prefer not to give an opinion)
Nuclear/fuel cell	34,38%	40,63%	9,38%	6,25%	9,38%
Solar/ fuel cell	6,25%	18,75%	25,00%	43,75%	6,25%
Hydropower / fuel cell	15,63%	25,00%	31,25%	15,63%	12,50%
Wind/ fuel cell	12,50%	21,88%	15,63%	40,63%	9,38%
Other? Mention:	25,00%	6,25%	0,00%	0,00%	68,75%
COMMENTS: FUEL CELL WOULD NOT SOLVE THE GLOBAL WARMING ISSUES. (1)					

23. Cogeneration systems will be important for the economies of the countries in 30-40 years? 32 respuestas

- Yes 90,63%
- No 6,25%
- I prefer not to give an opinion 3,13%

24. From your point of view, for a 30-40 year scenario, the degree of importance of hybrid systems listed below? 31 respuestas

Hybrid systems	1(no importance)	2(little importance)	3(important)	4(very important)	5(I prefer not to give an opinion)
Wind/ Photovoltaic	6,45%	25,81%	22,58%	32,26%	12,90%
Photovoltaic / biomass	6,45%	35,48%	25,81%	19,35%	12,90%
Wind/ Hydropower	0,00%	16,13%	38,71%	32,26%	12,90%
Wind/ photovoltaic / biomass	3,23%	12,90%	25,81%	45,16%	12,90%
Other? Mention: CSP/biomass (3)	22,58%	0,00%	6,45%	0,00%	70,97%
COMMENTS:					

25. To answer this question, consider the source of power generation in which you are specialist, citing it in the field provided. 30 respostas

For the implementation of an alternative source of energy, there will be the need for development or adaptation of new:

ENERGY SOURCE IN WHICH SPECIALIST:			Wave energy
Parameter	Yes	No	
Creating rules	1		
Electronic systems	1		
Materials	1		
Software	1		
Tariff laws	1		
Other? Mention:		1	
COMMENTS:			

ENERGY SOURCE IN WHICH SPECIALIST:			SOLAR
Parameter	Yes	No	
Creating rules	6	1	
Electronic systems	6	1	
Materials	5	2	
Software	4	3	
Tariff laws	4	3	
Other? Mention:	3	4	
COMMENTS:			

ENERGY SOURCE IN WHICH SPECIALIST:			BIOMASS
Parameter	Yes	No	
Creating rules	5	1	
Electronic systems	4	2	
Materials	4	2	
Software	4	2	
Tariff laws	5	1	
Other? Mention:	2	4	
COMMENTS:			

ENERGY SOURCE IN WHICH SPECIALIST:			FUEL CELL
Parameter	Yes	No	
Creating rules	3		
Electronic systems	2	1	
Materials	3		
Software	2	1	
Tariff laws	2	1	
Other? Mention:		3	
COMMENTS:			

ENERGY SOURCE IN WHICH SPECIALIST:			HIDROPOWER
Parameter	Yes	No	
Creating rules	3		
Electronic systems	1	2	
Materials		3	
Software	1	2	
Tariff laws	3		
Other? Mention:		3	
COMMENTS:			

ENERGY SOURCE IN WHICH SPECIALIST:			WIND
Parameter	Yes	No	
Creating rules	5	2	
Electronic systems	4	3	
Materials	4	3	
Software	3	4	
Tariff laws	4	3	
Other? Mention:	2	5	
COMMENTS:			
More wind power is already being installed than any other type of power plant. Clearly no new developments are necessary for its implementation. (no)			

ENERGY SOURCE IN WHICH SPECIALIST:			ELECTRICITY
Parameter	Yes	No	
Creating rules	1		
Electronic systems		1	
Materials		1	
Software	1		
Tariff laws	1		
Other? Mention:		1	
COMMENTS:			

ENERGY SOURCE IN WHICH SPECIALIST:			GEOHERMAL ENERGY
Parameter	Yes	No	
Creating rules	1		
Electronic systems		1	
Materials	1		
Software		1	
Tariff laws	1		
Other? Mention:		1	
COMMENTS:			

ENERGY SOURCE IN WHICH SPECIALIST:		THERMAL POWER
Parameter	Yes	No
Creating rules	1	
Electronic systems	1	
Materials	1	
Software		1
Tariff laws		1
Other? Mention:		1
COMMENTS:		

ENERGY SOURCE IN WHICH SPECIALIST:		HYDROGEN
Parameter	Yes	No
Creating rules	2	
Electronic systems	2	
Materials	2	
Software	2	
Tariff laws	2	
Other? Mention:		2
COMMENTS:		

ENERGY SOURCE IN WHICH SPECIALIST:		FOSSIL FUELS
Parameter	Yes	No
Creating rules	1	
Electronic systems	1	
Materials		1
Software		1
Tariff laws	1	
Other? Mention:		1
COMMENTS:		

ENERGY SOURCE IN WHICH SPECIALIST:		PHOTOVOLTAIC
Parameter	Yes	No
Creating rules	3	
Electronic systems	3	
Materials	3	
Software	3	
Tariff laws	3	
Other? Mention:		3
COMMENTS:		

26. In 30-40 years, there will be new technologies of power generation present on market in use by society? 30 respostas

Yes 86,67%

No 6,67%

I prefer not to give an opinion 6,67%

27. In addition to the energy mentioned earlier in this study, there are plans for the future development of new sources of energy, considering a scenario of medium and long term, in the process of technological research and development and which were not mentioned in this questionnaire? 30 respostas

Yes. 20,00%

Which are?

possibly thorium, Nuclear fusion. Nuclear. cold fusion, zero point energy.
fusion; thorium cycles; I'm not sure if you mentioned photolytic or bio-produced
Hydrogen

No 46,67%

I prefer not to give an opinion 33,33%

28. Cite the future technology that will be studied and what their stage of development. 30 respostas

Stage of development	Energy source
Reserch – laboratory scale	Electroactive polymer Biomass energy geothermal, wave, hydrogen from algae Nuclear fusion biomass and biogas from organic water Nuclear fusion. energy storage Zero point energy All Enhanced Geothermal Systems
Research and Development – pilot plant	Photovoltaics hydrogen, vertical axis wind turbines Fuelcels Don't know safe wind power for taiphoon attack; technology to avoid bird strikes Cold fusion, zero point energy Tidal/wave
Research, Development and Demonstration – semi industrial plant	Nuclear fuel cells, photovoltaic, Wind Photovoltaic Don't know Nuclear plant cold fusion safe wind power for taiphoon attack; technology to avoid bird strikes Off-shore wind (U.S.), micro-hydro

29. The coproduction of drinking water is an important factor in the choice of an alternative source of power generation? 30 respostas

Yes 53,33%

No 30,00%

I prefer not to give an opinion 16,67%

30. In which power generation systems is considered the co-production of drinking water as an important factor? 30 respostas

System power generation	1(no importance)	2(little importance)	3(important)	4(very important)	5(I prefer not to give an opinion)
OTEC	16,67%	13,33%	10,00%	6,67%	53,33%
Nuclear	26,67%	16,67%	10,00%	6,67%	40,00%
Salination	3,33%	13,33%	10,00%	40,00%	33,33%
Other? Mention:	16,67%	0,00%	0,00%	0,00%	83,33%
COMMENTS:					

B. Questionário – Segunda rodada**1. Questionário em português**

1- Você concorda que a energia solar poderá estar compondo a matriz energética do seu país em 30-40 anos?

- Concordo completamente Concordo Discordo
 Discordo completamente Prefiro não opinar

2- Você concorda que a energia dos ventos poderá estar compondo a matriz energética do seu país em 30-40 anos?

- Concordo completamente Concordo Discordo
 Discordo completamente Prefiro não opinar

3- Você concorda que a energia proveniente de hidrelétrica poderá estar compondo a matriz energética do seu país em 30-40 anos?

- Concordo completamente Concordo Discordo
 Discordo completamente Prefiro não opinar

4- Você concorda que o gás natural poderá estar compondo a matriz energética do seu país em 30-40 anos?

- Concordo completamente Concordo Discordo
 Discordo completamente Prefiro não opinar

5- Você concorda que a energia proveniente de biomassa poderá estar compondo a matriz energética do seu país em 30-40 anos?

- Concordo completamente Concordo Discordo
 Discordo completamente Prefiro não opinar

6- Você concorda que a energia nuclear poderá estar compondo a matriz energética do seu país em 30-40 anos?

- Concordo completamente Concordo Discordo
 Discordo completamente Prefiro não opinar

7- Classifique as fontes de geração de energia elétrica de acordo com a ordem de importância de cada uma na matriz energética do seu país em 30-40 anos. Sendo 1 a mais importante e 6 a menos importante.

Fonte de Energia	1º mais importante	2º mais importante	3º mais importante	4º mais importante	5º mais importante	6º mais importante
Biomassa						
Eólica						
Gás natural						
Hidrelétrica						
Nuclear						
Solar						

8- Além das fontes de geração de energia citadas anteriormente, quais poderão estar compondo a matriz energética do seu país em 30-40 anos?

Fonte de energia	1(nenhuma importância)	2(pouca importância)	3(importante)	4(muito importante)	5(prefiro não opinar)
Pilhas a combustível					
Eletrólise da água					
Geotérmica					
Termoelétrica					
Dos oceanos					
Outra? cite					
COMENTÁRIOS:					

9- Considerando apenas a energia utilizada no transporte (veículos), qual fonte de energia será utilizada comercialmente em 30-40 anos?

	Sem importância	Pouco importante	Importante	Muito importante	Prefiro não opinar
Gás natural					
Biocombustível					
Pilha combustível					
Etanol					
Combustível fóssil					

10- Você concorda que o sistema sinérgico das fontes de energia solar e pilhas a combustível poderá estar compondo a matriz energética do seu país em 30-40 anos?

- Concordo completamente Concordo Discordo
 Discordo completamente Prefiro não opinar

11- Os sistemas de cogeração de energia serão relevantes para a economia dos países em 30-40 anos?

- Sim Não Prefiro não opinar

12- Você concorda que o sistema híbrido das fontes de energia dos ventos/fotovoltaica/biomassa poderá estar compondo a matriz energética do seu país em 30-40 anos?

- Concordo completamente Concordo Discordo
 Discordo completamente Prefiro não opinar

13- Você concorda que o sistema híbrido das fontes de energia dos ventos/fotovoltaica/biomassa poderá estar compondo a matriz energética do seu país em 30-40 anos?

- Concordo completamente Concordo Discordo
 Discordo completamente Prefiro não opinar

14- Você concorda que a criação de leis é de grande importância para a implantação de fontes alternativas de geração de energia no seu país em 30-40 anos?

- Concordo completamente Concordo Discordo
 Discordo completamente Prefiro não opinar

15 -Você concorda que a coprodução de água potável pode ser realizada em grande escala através do sistema de geração de energia do gradiente de salinidade dos oceanos/rios (estuários) em 30-40 anos?

- Concordo completamente Concordo Discordo
 Discordo completamente Prefiro não opinar

16- Você concorda que a região geográfica de seu país é um fator limitante na escolha de fontes alternativas de geração de energia?

- Concordo completamente Concordo Discordo
 Discordo completamente Prefiro não opinar

17- Você concorda que a disponibilidade de matéria-prima em seu país é um fator limitante na escolha de fontes alternativas de geração de energia?

- Concordo completamente Concordo Discordo
 Discordo completamente Prefiro não opinar

19- Você concorda que o custo é um fator limitante na escolha de fontes alternativas de geração de energia em seu país?

- Concordo completamente Concordo Discordo
 Discordo completamente Prefiro não opinar

20- Caso haja alguma outra fonte de geração de energia elétrica que você considere importante e não foi incluída nesse questionário. Cite-a abaixo e justifique sua opinião.

2. Questionário enviado aos especialistas, em inglês, com as respectivas respostas.

1- Do you agree that solar energy could be compounding the energy matrix of your country in 30-40 years? – 45 respostas

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Completely agree 57,78% | <input type="checkbox"/> Agree 28,89% |
| <input type="checkbox"/> Undecided 0,00% | <input type="checkbox"/> Disagree 4,44% |
| <input type="checkbox"/> Completely disagree 2,22% | <input type="checkbox"/> I prefer not to give an opinion 6,67% |

2- Do you agree that hydroelectric could be compounding the energy matrix of your country in 30-40 years? – 43 respostas

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Completely agree 27,91% | <input type="checkbox"/> Agree 39,53% |
| <input type="checkbox"/> Undecided 6,98% | <input type="checkbox"/> Disagree 9,3% |
| <input type="checkbox"/> Completely disagree 9,3% | <input type="checkbox"/> I prefer not to give an opinion 6,98% |

3- Do you agree that wind power could be compounding the energy matrix of your country in 30-40 years? – 43 respostas

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Completely agree 39,53% | <input type="checkbox"/> Agree 34,88% |
| <input type="checkbox"/> Undecided 13,95% | <input type="checkbox"/> Disagree 6,98% |
| <input type="checkbox"/> Completely disagree 0,00% | <input type="checkbox"/> I prefer not to give an opinion 4,65% |

4- Do you agree that natural gas could be compounding the energy matrix of your country in 30-40 years? – 43 respostas

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Completely agree 34,88% | <input type="checkbox"/> Agree 41,86% |
| <input type="checkbox"/> Undecided 5,65% | <input type="checkbox"/> Disagree 13,95% |
| <input type="checkbox"/> Completely disagree 0,00% | <input type="checkbox"/> I prefer not to give an opinion 4,65% |

5- Do you agree that energy from biomass could be compounding the energy matrix of your country in 30-40 years? – 43 respostas

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Completely agree 23,26% | <input type="checkbox"/> Agree 44,19% |
| <input type="checkbox"/> Undecided 23,26% | <input type="checkbox"/> Disagree 2,33% |
| <input type="checkbox"/> Completely disagree 0,00% | <input type="checkbox"/> I prefer not to give an opinion 6,98% |

6- Do you agree that nuclear energy could be compounding the energy matrix of your country in 30-40 years? – 43 respuestas

- Completely agree 9,30% Agree 16,28%
 Undecided 25,58% Disagree 13,95%
 Completely disagree 32,56% I prefer not to give an opinion 2,33%

7- Rate the sources of power generation according to the order of importance of each in the energy matrix of your country in 30-40 years. 1 being the most important and 6 less important. – 41 respuestas

Power supply	1° Most important					
Biomass	2,44%	10,00%	15,00%	30,00%	20,00%	22,50%
Wind	9,76%	20,00%	30,00%	25,00%	10,00%	5,00%
Natural gas	19,51%	17,50%	12,50%	20,00%	27,50%	2,50%
Hydroelectric	24,39%	27,50%	25,00%	2,50%	12,50%	7,50%
Nuclear	17,07%	7,50%	2,50%	5,00%	20,00%	50,00%
Solar	26,83%	17,50%	15,00%	17,50%	10,00%	12,50%

8- In addition to the sources of power generation mentioned above, which may be compounding the energy matrix of their country in 30-40 years? – 39 respuestas

Energy source	No importance	Little importance	Important	Very important	I prefer not to give an opinion
Fuel cell	12,82%	33,33%	28,21%	15,38%	10,26%
Water Electrolysis	23,08%	25,64%	28,21%	12,82%	10,26%
geothermal	12,82%	30,77%	38,46%	10,26%	7,69%
thermoelectric	7,69%	43,59%	33,33%	5,13%	10,26%
Ocean	28,21%	33,33%	25,64%	12,82%	0,00%
Other? cite					
COMMENTS:					

9- Considering only the energy used in transport (vehicles), which energy source will be used commercially in 30-40 years? – 38 respostas

Energy source	No importance	Little importance	Important	Very important	I prefer not to give an opinion
Natural gas	5,26%	31,58%	36,84%	23,68%	2,63%
biofuel	5,26%	39,47%	34,21%	18,42%	2,63%
Fuel cell	10,53%	28,95%	28,95%	26,32%	5,26%
Ethanol	0,00%	52,63%	28,95%	15,79%	2,63%
Fossil fuel	13,16%	18,42%	47,37%	18,42%	2,63%
Other? cite					
COMMENTS:					

10- Do you agree that the synergistic system of sources of solar energy and fuel cells may be compounding the energy matrix of your country in 30-40 years? – 38 respostas

- Completely agree 26,95% Agree 26,32%
 Undecided 15,79% Disagree 21,05%
 Completely disagree 0,00% I prefer not to give an opinion 7,89%

11- Will be the cogeneration systems important for the economies of the countries in 30-40 years? – 37 respostas

- Yes 86,49% No 5,41% I prefer not to give an opinion 8,11%

12- Do you agree that the hybrid system of energy sources of wind / photovoltaic / biomass may be compounding the energy matrix of your country in 30-40 years? – 36 respostas

- Completely agree 38,89% Agree 33,33%
 Undecided 13,89% Disagree 5,56%
 Completely disagree 5,56% I prefer not to give an opinion 2,78%

13- Do you agree that the creation of laws is of great importance to the implementation of alternative sources of power generation in your country in 30-40 years? – 36 respostas

- Completely agree 50,00% Agree 36,11%
 Undecided 5,56% Disagree 0,00%
 Completely disagree 2,78% I prefer not to give an opinion 5,56%

14- Do you agree that the creation of tariff laws is of great importance to the implementation of alternative sources of power generation in your country in 30-40 years? – 36 respostas

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Completely agree 41,67% | <input type="checkbox"/> Agree 38,89% |
| <input type="checkbox"/> Undecided 5,56% | <input type="checkbox"/> Disagree 11,11% |
| <input type="checkbox"/> Completely disagree 0,00% | <input type="checkbox"/> I prefer not to give an opinion 2,78% |

15- Do you agree that drinking water coproduction can be performed on a large scale through the power generation system of the salinity gradient of the oceans / rivers (estuaries) in 30-40 years? – 36 respostas

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Completely agree 5,56% | <input type="checkbox"/> Agree 30,56% |
| <input type="checkbox"/> Undecided 38,89% | <input type="checkbox"/> Disagree 8,33% |
| <input type="checkbox"/> Completely disagree 0,00% | <input type="checkbox"/> I prefer not to give an opinion 16,67% |

16- Do you agree that the geographic region of your country is a limiting factor in the choice of alternative sources of power generation? – 36 respostas

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Completely agree 20,59% | <input type="checkbox"/> Agree 41,18% |
| <input type="checkbox"/> Undecided 2,94% | <input type="checkbox"/> Disagree 11,76% |
| <input type="checkbox"/> Completely disagree 20,59% | <input type="checkbox"/> I prefer not to give an opinion 2,94% |

17- Do you agree that the availability of raw material in your country is a limiting factor in the choice of alternative sources of power generation? – 35 respostas

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Completely agree 5,71% | <input type="checkbox"/> Agree 40,00% |
| <input type="checkbox"/> Undecided 8,57% | <input type="checkbox"/> Disagree 22,86% |
| <input type="checkbox"/> Completely disagree 20,00% | <input type="checkbox"/> I prefer not to give an opinion 2,86% |

18- Do you agree that the cost is a limiting factor in the choice of alternative sources of power generation in your country? – 43 respostas

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Completely agree 25,71% | <input type="checkbox"/> Agree 45,71% |
| <input type="checkbox"/> Undecided 0,00% | <input type="checkbox"/> Disagree 14,29% |
| <input type="checkbox"/> Completely disagree 8,57% | <input type="checkbox"/> I prefer not to give an opinion 5,71% |

19- If there is some other source of power generation that you consider important and was not included in this questionnaire. Cite it below and justify your opinion.

No answers.