

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ALZIRA MARQUES DE OLIVEIRA

**FONTES RENOVÁVEIS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA:
VIABILIDADE DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

SANTOS/SP

2021

ALZIRA MARQUES DE OLIVEIRA

**FONTES RENOVÁVEIS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA:
VIABILIDADE DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

Dissertação apresentada a Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção de título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Dr. Marcos Tadeu Tavares Pacheco e coorientação do Prof. Dr. Maurício Conceição Mario.

SANTOS/SP

2021

Autorizo a reprodução parcial ou total deste trabalho, por qualquer que seja o processo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos.

621.042 Oliveira, Alzira Marques de.
O45f Fontes renováveis de geração de
energia elétrica: viabilidade dos sistemas fotovoltaicos
Alzira Marques de Oliveira. - 2021
72 p.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Tadeu Tavares Pacheco

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Santa Cecília,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos, SP,
2020.

1. Energia renovável. 2. Energia Fotovoltaica. 3. Eficiência
energética. 4. Impactos ambientais. 5. Gases do Efeito Estufa.

I. Pacheco, Marcos Tadeu Tavares. II. Mario, Maurício
Conceição. III. Fontes renováveis de geração de
energia elétrica: viabilidade dos sistemas fotovoltaicos

Elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas – Unisanta

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à todas as pessoas que me apoiaram de diversas maneiras durante esta importante etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus orientadores Prof. Dr. Marcos Tadeu Tavares Pacheco e coorientação do Prof. Dr. Maurício Conceição Mario, pelas recomendações e rápido retorno em todas as dúvidas.

À Universidade Santa Cecília, e a todo o corpo docente. À direção, coordenação do programa de pós-graduação *strictu senso* e às secretárias Sandra e Imaculada, por seu atendimento sempre pontual.

Agradeço aos meus professores que me ajudaram a chegar até aqui e aos meus familiares e amigos que sempre me apoiaram e não me deixaram desistir nos momentos de dificuldades.

RESUMO

A população mundial não para de crescer e suas exigências de conforto e avanços tecnológicos aumentam em velocidade exponencial. Sendo assim, atualmente há uma necessidade de buscar novas alternativas energéticas, uma vez que em breve teremos um cenário de possível escassez de energias fósseis. A combinação de uma crescente dependência mundial por energia e a necessidade da utilização de fontes renováveis, que não sejam prejudiciais ao meio ambiente como tendência mundial para suprir a demanda, são as motivações desta pesquisa, voltada para hipótese de que a energia solar seria a mais adequada para a implementação de usinas de energia renovável sendo também uma alternativa interessante para recuperação de empregos no momento pós pandemia. Neste sentido, o presente estudo teve por objetivo reunir dados sobre as principais fontes de energia renovável, e por meio de uma comparação entre fonte hidrelétrica e fotovoltaica, inferir uma projeção da evolução da oferta de energia por meio dos sistemas fotovoltaicos. Para alcançar o objetivo proposto utilizou-se o método de pesquisa bibliográfica. Por fim, utilizou-se gráficos com projeção de futuro, para inferir sobre a possível evolução da oferta de energia de fonte hidrelétrica e fotovoltaica. Os resultados destacaram o potencial de desenvolvimento dos sistemas fotovoltaicos, onde o gráfico da oferta futura aponta um crescimento exponencial nos próximos 20 anos. Os autores pesquisados confirmam que o ponto de vista econômico, aliado ao benefício ambiental, pode ser visto como um fator relevante para o investimento neste tipo de fonte de geração de energia elétrica.

Palavras-Chave: Energia renovável, Energia Fotovoltaica, Eficiência energética, Impactos ambientais, Gases do Efeito Estufa.

ABSTRACT

The world population continues to grow and its demands for comfort and technological advances increase exponentially. Therefore, there is currently a need to look for new energy alternatives, since soon we will have a scenario of possible shortage of fossil energies. The combination of a growing global dependence on energy and the need to use renewable sources, which are not harmful to the environment as a global trend to supply demand, are the motivations of this research, focused on the hypothesis that solar energy would be the most suitable for the implementation of renewable energy plants and is also an interesting alternative for job recovery in the post pandemic moment. In this sense, the present study aimed to gather data on the main sources of renewable energy, and by means of a comparison between hydroelectric and photovoltaic sources, to infer a projection of the evolution of the energy supply through photovoltaic systems. To achieve the proposed objective used the bibliographic research method and graphs with a projection of the future were used to infer about the possible evolution of the supply of energy from hydroelectric and photovoltaic sources. The results highlighted the development potential of photovoltaic systems, where the graph of future supply points to exponential growth over the next 20 years. The surveyed authors confirm that the economic point of view, combined with the environmental benefit, can be seen as a relevant factor for investment in this type of source of electricity generation.

Keywords: Renewable energy, Photovoltaic energy, Energy efficiency, Environmental impacts, Greenhouse gases.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------|--|----|
| Figura 1. | Oferta de energia no mundo em 2007, discriminada por setores..... | 17 |
| Figura 2. | Evolução da Matriz energética mundial..... | 18 |
| Figura 3. | Placa com rastreamento solar – seguidor solar..... | 37 |
| Figura 4. | Vista aérea da Usina de energia solar em Pirapora, em Minas Gerais | 37 |
| Figura 5. | Passo 1 para criar gráficos | 49 |
| Figura 6. | Passo 2 para criar gráficos | 49 |
| Figura 7. | Passo 3 para criar gráficos | 50 |
| Figura 8. | Passo 4 para criar gráficos | 50 |
| Figura 9. | Passo 5 para criar gráficos | 51 |
| Figura 10. | Passo 6 para criar gráficos | 52 |
| Figura 11. | Passo 7 para criar gráficos | 53 |
| Figura 12. | Passo 8.a para criar gráficos | 53 |
| Figura 13. | Passo 8.b para criar gráficos | 54 |
| Figura 14. | Passo 8.c para criar gráficos | 54 |
| Figura 15. | Passo 9.a para criar gráficos | 55 |
| Figura 16. | Passo 9.b para criar gráficos | 55 |
| Figura 17. | Passo 9.c para criar gráficos | 56 |
| Figura 18. | Passo 9.d para criar gráficos | 56 |
| Figura 19. | Evolução da composição da capacidade instalada total por fonte..... | 63 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | | |
|------------|--|----|
| Gráfico 1. | Gráfico do crescimento da oferta de energia interna no período de 1990 a 2019..... | 60 |
| Gráfico 2. | Gráfico da previsão de crescimento da energia fotovoltaica por ano no período de 2013 a 2050 | 60 |
| Gráfico 3. | Gráfico da previsão de crescimento da energia hidráulica por ano no período de 2013 a 2050 | 61 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabela 1. | Relações de medidas de unidade para energia..... | 17 |
| Tabela 2. | Oferta mássica de biomassa por tipo de resíduo (milhões de toneladas) | 24 |
| Tabela 3. | Maiores Produtores de Energia Elétrica Hidráulica (2016) ... | 28 |
| Tabela 4. | Geração de Energia no Mundo (2007) | 32 |
| Tabela 5. | Distribuição da capacidade instalada de energia eólica no mundo (2003) | 34 |
| Tabela 6. | Oferta Interna de Energia (OIE) (2017/2018) | 45 |
| Tabela 7. | Repartição de outras renováveis (Fontes) | 45 |
| Tabela 8. | Participação na matriz energética | 57 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|-----------|---|
| ANEEL | – Agência Nacional de Energia Elétrica |
| ACR | – Ambiente de Contratação Regulado |
| BEN | – Balanço Energético Nacional |
| BTU | – <i>British thermal unit</i> ("unidade térmica britânica") |
| CCS | – <i>Carbon Capture and Storage</i> |
| CO2 | – Carbono |
| DTE | – Demanda Total de Energia |
| EOL | – Central Geradora Eólica |
| EPE | – Empresa de Pesquisa Energética |
| GEEs | – Gases do Efeito Estufa |
| HDR | – <i>hot dry rock</i> |
| IPCC | – <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> |
| J | – joule |
| kW | – quilowatt |
| kWh | – quilowatt-hora |
| MTCO2 Eq. | – <i>Metric tons of carbon dioxide equivalent</i> |
| MW | – megawatt |
| OCDE | – Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico |
| OIE | – Oferta Interna de Energia |
| PCH | – Pequena Central Hidrelétrica |
| PCHs | – Pequenas centrais hidrelétricas |
| PROINFA | – Programa de Incentivos a Fontes Alternativas de Energia |
| TIR | – Taxa Interna de Retorno |
| tep | – tonelada equivalente de petróleo |
| TW | – terawatt |
| UFV | – Central Geradora Solar Fotovoltaica |
| UHE | – Usina Hidrelétrica de Energia |
| UTE | – Usina Termelétrica |
| UTN | – Usina Termonuclear |
| VPL | – Valor Presente Líquido |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 13 |
| 1.1 Objetivo..... | 15 |
| 1.2 Objetivos Secundários..... | 15 |
| 1.3 Justificativa e Relevância do Tema..... | 15 |
| 1.4 Organização da Dissertação..... | 16 |
| 1.5 Fundamentação Teórica..... | 16 |
| 1.5.1 Matriz Energética..... | 16 |
| 1.5.2 Tipos de Fontes Energia..... | 18 |
| 1.5.3 Geração de energia elétrica..... | 25 |
| 1.5.4 Matriz Energética no Brasil..... | 43 |
| | |
| 2 MATERIAIS E MÉTODOS | 48 |
| | |
| 3 RESULTADOS..... | 59 |
| 3.1 Projeção futura da evolução da oferta de energia..... | 59 |
| | |
| 4 DISCUSSÃO..... | 62 |
| | |
| 5 CONCLUSÃO..... | 64 |
| 5.1 Trabalhos futuros..... | 65 |
| | |
| REFERÊNCIAS | 66 |

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da população mundial e conseqüente aumento da demanda energética, se fazem necessários investimentos pesados nas fontes renováveis de energia. Há atualmente uma preocupação global com inevitável aumento do consumo de combustíveis fósseis, devido a maior utilização desse tipo de energia pela população. Este tipo de comportamento altera a quantidade de emissão de Carbono (CO²) na atmosfera e as reais mudanças climáticas já podem ser percebidas. Sendo assim, a atenção volta-se para o controle da emissão de gases poluentes e preservação dos recursos naturais existentes (GOLDEMBERG e LUCON, 2012; COYLE e SIMONS, 2014; REI *et al.*, 2017).

Uma vez que as alterações climáticas são uma constatação de que alguma ação urgente deve ser pensada pela sociedade e órgãos governamentais, a geração de energia de fonte renovável é uma forma de fugir da possibilidade de escassez de petróleo. Os investimentos para esta modalidade de geração de energia devem ter como prioridade baratear esse produto, de maneira que toda a população tenha condição de usufruir desse tipo de energia. São necessários incentivos fiscais para que órgãos públicos e empresas privadas invistam em tecnologia de geração de um modelo de energia que preserve o meio ambiente (GOLDEMBERG e LUCON, 2012; DUPONT, GRASSI e ROMITTI, 2015).

Podemos definir como energia renovável, toda energia que não acaba, ou seja, toda energia que se renova no planeta de forma natural. A energia elétrica é um mercado de grande potencial e o Brasil está apostando nessa possibilidade de negócios internacionais, pois possui posição favorável devido as condições climáticas e grandeza territorial (RANGEL *et al.*, 2016; REI *et al.*, 2017). A educação ambiental e conscientização da população são instrumentos importantes e devem ser incentivados, de maneira que todos tenham como prioridade a utilização de fontes de energia renováveis (GOLDEMBERG e LUCON, 2012).

Embora as fontes renováveis tragam benefícios ao meio ambiente, estudos recentes já demonstram que todo tipo de energia, renovável ou não, pode afetar o clima. A geração de energia por meio de hidrelétrica apresenta impactos inferiores em comparação às termoelétricas a carvão, embora também provoque impactos ambientais como o alagamento de áreas produtivas e a geração de metano e outros gases por meio da decomposição da matéria orgânica (DUPONT, GRASSI e

ROMITTI, 2015).

Alguns pesquisadores declaram que parques eólicos e fotovoltaicos devem ser construídos de maneira inteligente, em áreas onde haja ambiente favorável, e onde seus efeitos positivos e potencialmente negativos sejam de alguma forma aproveitados pela população local, conseqüentemente beneficiando todo o planeta (LE PAGE e ANANTHASWAMY, 2020).

Ao se fazer uma análise das formas de energia que atualmente são utilizadas para a transformação em energia elétrica, a utilização do urânio como fonte de energia nuclear levanta questionamentos referente à restrição do seu uso. Esta polêmica é devido aos graves acidentes ocasionados pelo vazamento de material radioativo, causador de milhares de mortes em usinas como Fukushima no Japão, e Chernobyl na Ucrânia (TIEPOLO *et al.*, 2012).

A questão das emissões de gases de efeito estufa acabou criando um modelo de negócios: os créditos de carbono. O Brasil tem uma matriz energética onde mais de 70% se origina em fontes renováveis de energia, isto o torna competitivo no mercado de créditos em carbono, podendo exportar para países com déficit como China, Índia e Arábia Saudita (RANGEL *et al.*, 2016; REI *et al.*, 2017).

O artigo 6 do Acordo de Paris trata principalmente do mercado de carbono. Para limitar a alta do aquecimento de 1,5°C, deveria reduzir as emissões de Carbono (CO₂) em quase 50% até 2030, em relação a 2010. O país que emite menos vende seus créditos a outros que emitem mais. O reduzido impacto ambiental produzido pela exploração das fontes de energia limpa é uma das suas principais vantagens. Em contrapartida, custos elevados para sua instalação e manutenção de usinas de energia que utilizem recursos renováveis acabam dificultando a aquisição de investimentos nesse setor (RANGEL *et al.*, 2016; REI *et al.*, 2017).

Uma das exigências do protocolo de Quioto é que os países desenvolvidos assumam a responsabilidade de pensarem em como atingirão suas metas na emissão de CO₂. Esse compromisso incentiva o desenvolvimento de tecnologias inovadoras na exploração e instalação de usinas de energia limpa, responsáveis pela redução das emissões de gases de efeito estufa. Os governos e empresas privadas se organizaram e criaram um comércio de venda de crédito de carbono em que os países próximos a ultrapassar suas quotas de Gases do Efeito Estufa – GEEs – negociam com países que tem excesso de créditos (SOUZA, 2007).

1.1 Objetivo

Reunir dados sobre as principais fontes de energia renovável, e por meio de uma comparação entre fonte hidrelétrica e fotovoltaica, inferir uma projeção da evolução da oferta de energia por meio dos sistemas fotovoltaicos.

1.2 Objetivos Secundários

Explorar mais sobre a energia fotovoltaica no Brasil, buscar informações sobre as principais usinas nesta modalidade, assim como suas particularidades técnicas;

Gerar uma projeção futura de oferta de energia, demonstrando graficamente a evolução da energia fotovoltaica em comparação com a energia de fonte hidráulica.

1.3 Justificativa e Relevância do Tema

O tema se mostra relevante devido ao provável esgotamento das reservas de combustíveis fósseis, o que acelerou as pesquisas voltadas para as fontes renováveis de energia. Além dessa preocupação de escassez futura, há o inconveniente de que as maiores reservas do produto estão em solos onde ocorrem muitos conflitos.

Sendo assim, a exploração desta fonte de energia acaba enfrentando dificuldades ainda maiores, refletindo no preço no momento da comercialização do petróleo. Outra problemática é o aumento da população mundial e aumento da demanda exigida, fazendo com que a alteração da matriz energética por fontes renováveis represente o grande desafio mundial.

Além destas problemáticas, a questão das alterações climáticas está cada vez mais presente nas discussões sobre o futuro do desenvolvimento, levantando a bandeira de aviso da urgência por estratégias voltadas para a geração de energia que não prejudique ainda mais o meio ambiente. Neste sentido, as fontes renováveis de energia apresentam-se como mudança na matriz energética, e uma forma de fugir da possibilidade de escassez de petróleo.

Por esta relevância apresentada, o presente estudo se justifica, uma vez que levantar a discussão sobre o desenvolvimento de tecnologias renováveis e sustentáveis é um caminho para fomentar a exploração e instalação de usinas de energia limpa.

1.4 Organização da Dissertação

Para uma melhor compreensão e exposição do tema abordado, buscou-se organizar esta dissertação da seguinte forma:

O capítulo 1 inicia-se com a Introdução, onde apresentou-se um breve histórico, com principais tópicos da temática apresentada. Neste capítulo também são apresentados os objetivos do trabalho, a justificativa e relevância do tema é feita a fundamentação teórica, apresentado os conceitos de Matriz energética, Fontes de energia, Geração de energia elétrica, Matriz energética no Brasil e o Balanço Energético Nacional (BEN).

O capítulo 2 descreve a metodologia utilizada para o desenvolvimento do presente estudo.

No capítulo 3 apresenta-se os resultados, com a projeção futura de oferta de energia, demonstrando graficamente a evolução da energia fotovoltaica em comparação com a energia de fonte hidráulica.

O capítulo 4 apresenta as discussões sobre a temática da energia fotovoltaica e seu desenvolvimento e perspectivas.

O capítulo 5 é constituído pela conclusão e algumas sugestões para novas pesquisas.

1.5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para basear teoricamente este estudo, buscaram-se conceitos sobre a Matriz energética e seus setores. A revisão bibliográfica reúne conceitos de fontes de energia e a geração de energia elétrica por meio destas fontes. Por fim, buscou-se compreender a situação da matriz energética no Brasil, mostrando como está o Balanço Energético Nacional (BEN). Este capítulo aborda estes eixos teóricos, com o intuito de esclarecer e simplificar alguns conceitos desta temática.

1.5.1 Matriz Energética

Matriz energética é a representação quantitativa da oferta de recursos energéticos medida em tep (tonelada equivalente de petróleo). Divide-se os recursos disponíveis em dois tipos: os primários (fontes energéticas que não passam por

processos de transformação, geradas pela natureza) e os secundários (gerados a partir de matéria-prima que sofre transformações) (VICHI e MANSOR, 2009; LIMA e GONÇALVES, 2016; BRASIL-MME, 2020a).

Outro indicador que pode ser utilizado é a matriz elétrica, que abrange apenas o uso das fontes de energia para geração de energia elétrica, diferente da energética, que considera todas as destinações, como o uso de recursos pelo setor de transportes e industrial (LIMA e GONÇALVES, 2016). A Oferta Interna de Energia – OIE é a descrição de toda a produção e consumo de energia de um país, ou a energia necessária para movimentar a economia de uma região, num espaço de tempo, discriminada quanto às fontes e setores de consumo. A Figura 1 mostra a oferta de energia no mundo, discriminada por setores (VICHI e MANSOR, 2009; LIMA e GONÇALVES, 2016; BRASIL-MME, 2020a).

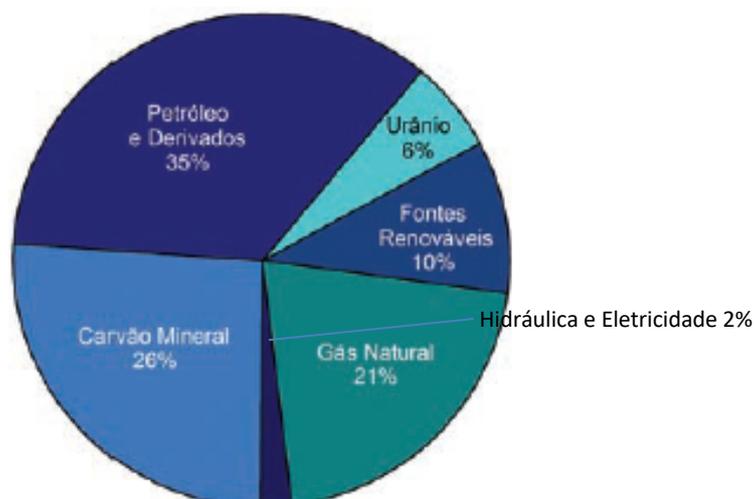


Figura 1 – Oferta de energia no mundo em 2007, discriminada por setores
Fonte: (VICHI e MANSOR, 2009).

A OIE pode ser chamada de Demanda Total de Energia (DTE). Para expressar essa demanda utiliza-se as seguintes unidades: o joule (J) para caloria; o BTU para o poder calorífico; e quilowatt-hora (kWh) para eletricidade; a tonelada equivalente de petróleo (tep) para a energia consumida (em termos de uma massa equivalente de petróleo) (*Vide* Tabela 1) (VICHI e MANSOR, 2009).

Tabela 1: Relações de medidas de unidade para energia

| Unidades | Valores em kJ |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| 1 kg de petróleo (10.000 kcal) | Aproximadamente 42.000 kJ |
| 1 kWh | Aproximadamente $3,6 \times 10^6$ J |

Fonte: Adaptado pelo autor de VICHI e MANSOR, 2009.

Ao verificar a matriz energética mundial, pode-se constatar que toda a energia precisou ser extraída e transformada a partir de recursos naturais. Porém para acompanhar o atual ritmo de crescimento populacional e a demanda por energia, é essencial que exista uma preocupação com a capacidade de renovação dos recursos. Ou seja, os países devem buscar matrizes energéticas adequadas às necessidades e aos recursos disponíveis (DUPONT, GRASSI e ROMITTI, 2015).

Caminhando nesta direção, a comunidade científica tem sido instigada a pesquisar e desenvolver novas tecnologias no uso de fontes alternativas de energia. As novas fontes precisam ser menos poluentes e renováveis, produzindo menor impacto ambiental. A figura 2 ilustra um crescimento da participação das fontes renováveis na matriz energética mundial. Embora esta tendência seja bem recente, ainda se destaca uma dependência das fontes térmicas (como o carvão, por exemplo) para a geração de energia (DUPONT, GRASSI e ROMITTI, 2015).

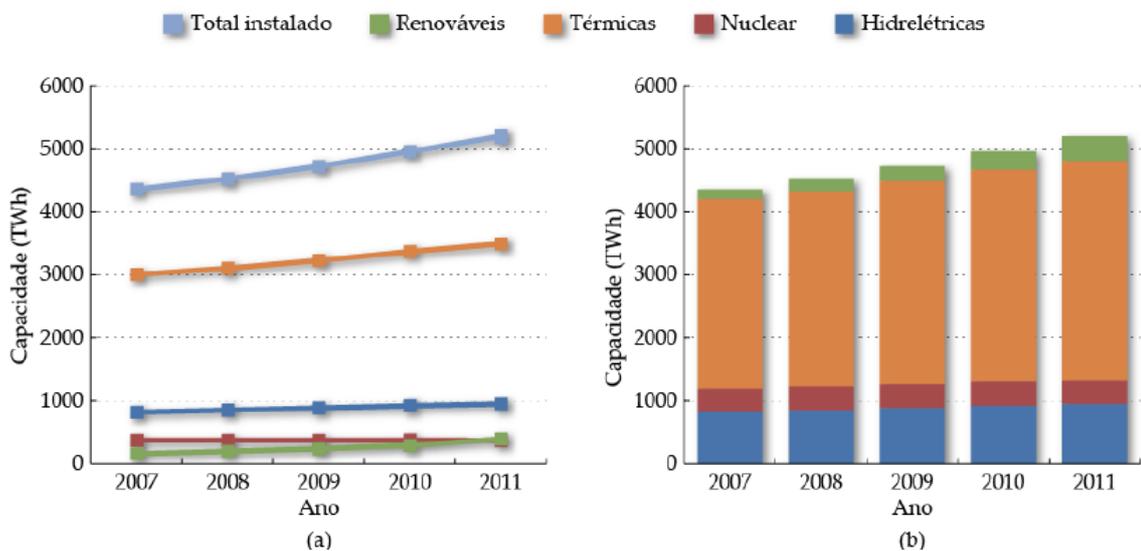


Figura 2 – Evolução da Matriz energética mundial
Fonte: DUPONT, GRASSI e ROMITTI, 2015.

1.5.2 Tipos de Fontes Energia

1.5.2.1 Fontes Não Renováveis

Define-se como fontes não renováveis de energia aquelas que são fontes

finitas ou esgotáveis, ou sua reposição na natureza é muito lenta. Estas fontes de energia também são denominadas fontes de energia convencionais, e formam a base de fornecimento de energia. Elas podem ser oriundas de combustíveis fósseis, como petróleo, carvão mineral, xisto e gás natural; ou de Energia Nuclear, obtidas a partir de elementos como o urânio e tório (BRASIL-EPE, 2020b).

A Energia Nuclear é considerada uma energia limpa, pois não emite gases do efeito estufa - GEE, não impactando na mudança climática. Porém não é renovável, e seu uso é muito questionado devido a acidentes de vazamento de radiação na usina, de grandes proporções. O rejeito das usinas continua radioativo por longo tempo, por isso deve ser armazenado cuidadosamente para evitar contaminação (BRASIL-EPE, 2020b).

1.5.2.2 Fontes Renováveis

Define-se como fontes renováveis aquelas que são consideradas inesgotáveis ou que se regeneram constantemente na natureza. Estas fontes são consideradas limpas, pois a maioria emite menos gases de efeito estufa (GEE) do que as fontes fósseis. Sendo assim são mais aconselhadas e estão conseguindo uma boa inserção no mercado de energia (BRASIL-EPE, 2020b).

São elas:

Energia Hidráulica: obtida pela força da água dos rios.

Energia Solar: obtida pela energia do sol.

Energia Eólica: obtida pela força dos ventos.

Energia Geotérmica: obtida pelo calor do interior da terra.

Biomassa: obtida de matérias orgânicas.

Energia Gravitacional: obtida pela força das ondas dos oceanos.

Estas fontes podem apresentar variação na geração de energia elétrica. Por exemplo, a energia eólica, não é gerada quando não há ventos, assim como a energia solar, não pode ser gerada à noite, ou o caso da fonte hídrica, que pode sofrer com estiagens (secas), a energia oceânica sofre influência lunar (BRASIL-EPE, 2020b).

1.5.2.2.1 Energia Hidráulica

A energia hidráulica utiliza a água como fonte de energia, utilizando a força das

massas de águas dos rios, lagos e mares. Pode-se dizer que energia hidráulica provêm de fatores como a condensação, precipitação e evaporação das águas, os quais são causados pela irradiação solar e pela energia gravitacional, que são responsáveis pela geração de energia hidráulica. As usinas hidrelétricas transformam a energia potencial em energia mecânica e, por fim, em elétrica, a partir do movimento das águas nas turbinas (QUEIROZ *et al.*, 2013; BRASIL-EPE, 2020b).

Embora seja uma fonte renovável, a energia hidráulica pode gerar impactos socioambientais. Como exemplo, pode ser citado o alagamento de territórios onde existem comunidades ribeirinhas, assim como o alagamento de áreas de matas, interferindo no fluxo de rios, destruindo espécies vegetais, prejudicando a fauna, e afetando a biodiversidade local. Além disso as inundações das florestas fazem com que as plantas de cobertura do solo entrem em processo de decomposição, liberando metano na atmosfera, um dos gases responsáveis pelo efeito estufa (QUEIROZ *et al.*, 2013).

Atualmente o Brasil é terceiro maior potencial hidráulico do mundo, devido suas características físicas, geográficas e grande disponibilidade de recursos hídricos. Em termos absolutos, os cinco maiores produtores desse tipo de energia são Canadá, China, Brasil, Estados Unidos e Rússia (QUEIROZ *et al.*, 2013).

1.5.2.2.2 Energia dos Oceanos

Além da energia hidráulica dos rios e lagos, a partir da força das águas do mar tem-se a chamada força da maremotriz. Esse tipo de energia é proveniente da força das correntes marítimas (marés, ondas), gerando a energia elétrica. A força cinética das ondas impulsionadas pelos ventos e pelas marés (gerados pela atração gravitacional do Sol e da Lua na Terra), gera energia mecânica, que move as turbinas submersas. A energia maremotriz ainda é intermitente, pois está relacionada aos fenômenos gravitacionais da lua e do sol exercidas sobre a terra, uma vez que um astro auxilia o outro na movimentação das marés (BAHAJ, 2011; TOLMASQUIM, 2016; ALCOVER, 2017).

A energia dos oceanos é considerada uma fonte de energia limpa, por agredir minimamente o meio ambiente. A energia marinha tem muitas formas: marés, ondas, corrente marinhas, gradiente de salinidade e gradiente térmico. Há um crescimento no interesse mundial com relação a utilização da energia oceânica para geração de

energia elétrica. A estimativa global da dissipação de energia dos mares nos continentes é de aproximadamente 2,5 TW, sendo que a Noruega é um dos países que já utiliza a força das ondas para produzir eletricidade (BAHAJ, 2011).

1.5.2.2.3 Energia Solar

Esta fonte de energia é proveniente do sol, sendo atualmente considerada uma alternativa muito promissora para enfrentar os desafios da oferta de energia com menor impacto ambiental. Pode-se dizer que outras fontes de energia são formas indiretas de energia solar, como por exemplo, a hidráulica, a biomassa, a eólica, os combustíveis fósseis e a energia dos oceanos. A radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, aquecendo fluidos e ambientes, e para geração de potência mecânica ou elétrica. A energia solar pode ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico. Dentre as aplicações práticas desta fonte de energia, destacam-se duas principais tecnologias: os **Sistemas Fotovoltaicos** (FV) (transformam luz solar em eletricidade, por meio de painéis fotovoltaicos, isolados ou integrados à rede) e os **Sistemas Heliotérmicos** (usam o calor do sol para gerar eletricidade em plantas de geração térmica) (BRASIL - ANEEL, 2005; SILVA e CARMO, 2017).

Entre os pontos positivos desta fonte de energia, destaca-se que é uma energia obtida a partir de uma grande fonte inesgotável de energia, pois utiliza a luz e a radiação emitida pelo sol, sendo totalmente renovável. Outra vantagem de utilização da energia solar, é que possui baixo impacto socioambiental, em termos químicos, térmicos e, inclusive, acústicos. A energia solar não gera resíduos e a vida média de cada aparelho corresponde a 30 anos (VIEIRA e SANTOS, 2012).

1.5.2.2.4 Energia Eólica

Pode-se definir energia eólica como sendo a energia dos ventos e ela pode ser entendida como a energia cinética existente nas massas de ar em movimento. Essa energia para ser aproveitada deve-se fazer a conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação. A origem da energia elétrica acontece quando são empregadas turbinas eólicas conhecidas como aerogeradores

conectadas a esse sistema. Nos dias atuais, o Brasil tem um total de capacidade instalada de 26.800 kW, mas conforme dados do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, o potencial nacional é de 143 GW, onde já estão autorizadas 7,69 GW (BRASIL - ANEEL, 2005; ALVES, 2010).

A Energia eólica é a transformação da energia do vento em energia útil, sendo ela uma energia renovável, pois está permanentemente disponível, com disponibilidade para ser produzida em qualquer região. Também é considerada uma energia limpa, pois não produz gases de efeito de estufa durante a produção e requer menos terreno, por estes motivos muitos países estão escolhendo a energia eólica, por ser uma fonte limpa e de fácil implementação (LAGE e PROCESSI, 2013).

Destaca-se que a energia eólica possui um menor impacto ambiental, quando comparado ao dos combustíveis fósseis e outras fontes de energias renováveis, pois as turbinas eólicas possuem um dos menores potenciais de aquecimento global por unidade de energia elétrica gerada. Mesmo tendo tantos pontos positivos, as fazendas eólicas podem causar danos socioambientais de pequena escala, como na fragmentação e perda de habitat de pássaros e morcegos, assim como as turbinas eólicas geram poluição sonora, impactando nas comunidades que vivem muito próximo (LAGE e PROCESSI, 2013).

1.5.2.2.5 Biomassa

Entre todas as formas de energia renovável, pode-se classificar a biomassa como uma das mais importantes na matriz energética mundial. Ela pode ser definida como qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em outra forma de energia. A biomassa como fonte de energia, pode ser classificada como biomassa energética florestal (seus produtos e subprodutos ou resíduos); biomassa energética agrícola (as culturas agroenergéticas e os resíduos e subprodutos das atividades agrícolas, agroindustriais e da produção animal); e resíduos urbanos (poda e varrição) (MORAES *et al.*, 2017; SANTOS, NASCIMENTO e ALVES, 2017).

De acordo com os estudos de Moraes *et al.* (2017) a obtenção da energia da biomassa é classificada em duas categorias: tradicional (aquela obtida por meio de combustão direta de madeira, lenha, resíduos agrícolas, resíduos de animais e urbanos, para cocção, secagem e produção de carvão) ou moderna, (aquela obtida por meio de tecnologias avançadas de conversão, como na geração de eletricidade

ou na produção de biocombustíveis).

Pode-se dizer que a questão ambiental é a principal justificativa para o uso desta tecnologia, sendo assim, a produção de eletricidade a partir da biomassa precisa ser sustentável do ponto de vista ambiental, social e econômico. Destaca-se que os benefícios ambientais precisam ser evidenciados em todas as etapas de produção da biomassa/eletricidade. Os rejeitos urbanos e industriais, sólidos e líquidos podem ser transformados em aterros energéticos. Estes podem produzir biogás, para se tornar combustível na geração de eletricidade. Além de gerar energia, a outra parte pode ser utilizada como fertilizante (SANTOS, NASCIMENTO e ALVES, 2017).

Atualmente considera-se a biomassa como uma alternativa para a diversificação da matriz energética, com o objetivo de reduzir a dependência de combustíveis fósseis, com maior potencial de crescimento nos próximos anos. Ainda é pouco expressiva na matriz mundial, participando com 13% do consumo mundial de energia primária. Em muitos países, a biomassa é vista como fonte de considerável parcela da energia térmica e elétrica, por meio do uso da madeira (lenha e carvão) e dos resíduos agrícolas (MORAES *et al.*, 2017; SANTOS, NASCIMENTO e ALVES, 2017).

O Brasil possui um excelente potencial energético de aproveitamento da biomassa, além de que suas características geográficas e climáticas, fazem do país um expoente no que se refere a agricultura de energia. O setor agrícola brasileiro ocupa posição de destaque mundial, como consequência de suas ótimas safras, existe a produção considerável de resíduos. As agroindústrias ao utilizarem seu próprio resíduo em um processo de cogeração, transformando esse subproduto em energia elétrica, colaborará de forma sustentável para suprir parte de sua demanda energética (MORAES *et al.*, 2017; SANTOS, NASCIMENTO e ALVES, 2017).

Segundo Moraes *et al.* (2017) o Brasil se destaca como um grande gerador de biomassa. Os autores apresentam na Tabela 2, a oferta mássica de biomassa em 2005, que foi de 558 milhões de toneladas, com uma projeção de crescimento para 1402 milhões de toneladas em 2030.

Tabela 2. Oferta mássica de biomassa por tipo de resíduo (milhões de toneladas)

| | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2030 |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|
| Total | 558 | 731 | 898 | 1058 | 1402 |
| Resíduos agrícolas | 478 | 633 | 768 | 904 | 1196 |
| Soja | 185 | 251 | 302 | 359 | 482 |
| Milho | 176 | 251 | 304 | 361 | 485 |
| Arroz (palha) | 57 | 59 | 62 | 66 | 69 |
| Cana-de-açúcar | 60 | 73 | 100 | 119 | 160 |
| Resíduos agroindustriais | 80 | 98 | 130 | 154 | 207 |
| Cana-de-açúcar (bagaço) | 58 | 70 | 97 | 115 | 154 |
| Arroz (casca) | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| Lixívia | 13 | 17 | 21 | 25 | 34 |
| Madeira | 6 | 8 | 10 | 12 | 16 |
| Florestas energéticas | 13 | 30 | 31 | 43 | 46 |
| Madeira excedente | 13 | 30 | 31 | 43 | 46 |

Fonte: Adaptado pelo autor de Ministério de Minas e Energia (2007) *apud* Moraes *et al.* (2017)

1.5.2.2.6 Energia Geotérmica

A energia geotérmica ou geotermal provém do calor existente no interior do planeta Terra, é considerada uma fonte de energia alternativa, que produz eletricidade através das centrais geotérmicas que perfuram o solo até atingir o interior da Terra. Também pode ser extraída através da água existente nas bacias subterrâneas, que absorvem o calor proveniente das camadas inferiores da crosta terrestre, atingindo grandes temperaturas. Este tipo de fonte de energia é muito antigo, a energia geotermal já era utilizada por povos da antiguidade em atividades como cozinhar ou aquecer casas. Como fonte de eletricidade, a energia geotérmica é utilizada no mundo inteiro, e os países com maior capacidade instalada são Estados Unidos, Filipinas, Indonésia, México e Nova Zelândia. Na Islândia, a energia geotérmica representa mais de 10% da geração de eletricidade do país (ARBOIT *et al.*, 2013; BERTANI, 2016; ANJOS, 2018).

Alguns estudos classificam os recursos geotermiais como de baixa entalpia, média e alta entalpia. Os sistemas geotermiais podem ser classificados em três grupos: **Baixa entalpia ou sistemas por domínio de água quente** (com temperaturas que variam de 50 a 150°C, em que a água subterrânea, quente, é utilizada como fonte de calor); **Alta entalpia ou sistema por domínio de vapor** (com temperaturas na faixa de 150 a 300°C, em que o vapor é extraído do líquido, que é utilizado para mover turbinas de geração de eletricidade); **Sistemas de rochas secas e quentes** (ou *hot dry rock* – HDR, com temperaturas entre 50 e 300°C, em que a

água é circulada para níveis mais profundos em fraturas, onde é aquecida, desse modo a água quente e o vapor movem-se para a superfície para serem utilizados como fontes de energia geotermal) (ARBOIT *et al.*, 2013).

Existem regiões onde a libertação deste calor é mais intensa, normalmente coincidente com zonas ativas das fronteiras das placas tectônicas do globo. No entanto, muitos países vêm realizando estudos do potencial de utilização de energia geotérmica, e os resultados apontam que esta pode ser desenvolvida praticamente em qualquer lugar. Mesmo em países com ausência de atividade vulcânica, os recursos geotérmicos de temperatura baixa ou moderada também podem ser executados através de uso direto, os quais estão demonstrando boa eficiência (ARBOIT *et al.*, 2013; ANJOS, 2018).

Alguns autores defendem que a energia geotérmica pode ser capaz de solucionar problemas atuais de energia, e se tornar um recurso fundamental para tornar a sociedade mais sustentável. Porém, mesmo que a energia geotérmica seja uma energia limpa (ou energia renovável), pois não gera emissões, nem resíduos, se esta for utilizada de maneira inadequada, poderá trazer diversos impactos ambientais, tal qual a alteração geológica (ARBOIT *et al.*, 2013; ANJOS, 2018).

1.5.3 Geração de energia elétrica

A indústria de produção de eletricidade compreende diversos setores e entre eles destaca-se a geração, que tem por preocupação transmitir, através de suas linhas de transmissão e distribuir, através de suas subestações, energia elétrica, entregando ao consumidor final o produto para ser utilizado. A unidade de potência instalada e envolvida no processo de geração é o Watt, em homenagem a James Watt, mas devido a sua magnitude usa-se o quilowatt (kW), o megawatt (MW) ou o terawatt (TW). A Aneel adota como unidade de energia elétrica, que é definida como potência por unidade de tempo, o quilowatt-hora (kWh) ou para grandes valores o megawatt-hora (MWh). Existem inúmeras fontes produtoras de energia elétrica, entre elas podemos salientar as fotovoltaicas, as hidrelétricas, as eólicas, as geotérmicas, as termelétricas, nucleares e as pequenas centrais elétricas (BRASIL-ANEEL, 2020).

1.5.3.1 Hidrelétrica

A geração de energia por fonte hidráulica tem grande participação na matriz energética brasileira. Ela é dividida em três tipos: Usina Hidrelétrica de Energia (UHE), Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e as Centrais Geradoras Hidrelétricas com Capacidade Reduzida (CGH) (BRASIL-ANEEL, 2020).

As CGHs são empreendimentos destinados a autoprodução de menor escala, com menores impactos ambientais, os quais possuem aproveitamentos hidrelétricos com potência igual ou inferior a 3.000 KW de acordo com a resolução normativa nº 673/2015 (BRASIL-ANEEL, 2015). Embora existam algumas diferenças nas classificações, segundo a potência, o presente estudo se baseará nesta resolução e terá maior enfoque nas UHEs e PCHs, devido sua relevância na matriz energética (BRASIL-ANEEL, 2020).

Usina Hidrelétrica de Energia (UHE): A Resolução Normativa nº 412 de 05/10/2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), estipula que Usina Hidrelétrica de Energia é aquela que opera em uma potência maior que 1MW e menor que 50MW, sendo permitida que ela tenha produção independente ou autoprodução (BRASIL-ANEEL, 2020).

Tendo como foco o desenvolvimento econômico e a crise do petróleo, as hidrelétricas passaram a ser consideradas como uma fonte interessante e lucrativa de geração de energia elétrica, tendo lugar de destaque na matriz energética brasileira. A existência de abundante recurso hídrico e competitividade no setor econômico, fizeram das hidrelétricas uma fonte geradora de energia altamente rentável. A ANEEL em seu informe anual mostra que atualmente existem 219 usinas hidrelétricas em operação, com um total de 101,06 GW de potência instalada (FIORI, 2016).

As hidrelétricas construídas em rios caudalosos e terrenos acidentados, ou planaltos, são mais viáveis economicamente. Embora as planícies também possam abrigar hidrelétricas os custos econômicos e ambientais são muito maiores. Sendo assim, a morfologia do relevo e a quantidade de chuvas influenciará no potencial hidrelétrico de um país ou região. A relação entre a energia gerada e a área inundada é dependente da altura de crista da barragem e das condições topográficas locais, sendo considerada ideal a relação de 10W por metro quadrado de área inundada. Por exemplo, na Região Norte do Brasil, embora possua riqueza hídrica, por ser de característica topográfica plana, não possuem potencial para abrigar grandes usinas

(PERIUS e CARREGARO, 2012).

Como benefícios as hidrelétricas tornam os rios navegáveis, criam parques e lagos para recreação e lazer, além de controle de cheias, controle de tensão e frequência. Mas em contrapartida as grandes usinas devido a problemas ambientais estão tendo dificuldade de expansão. Os impactos causados pelos grandes alagamentos dos reservatórios e as alterações das vidas da população ribeirinha são fatores que estão modificando a velocidade implantação de novos projetos de grandes hidrelétricas (FIORI, 2016).

Mesmo sendo consideradas uma energia limpa, a energia proveniente das hidrelétricas gera grande impacto socioambiental. As hidrelétricas são reconhecidas como fontes renováveis de energia, podendo contribuir para a regularização da vazão (evitando enchentes). Mas seja devido à necessidade de alagamento de grandes parcelas de floresta nativa, ou pelo desvio e alteração do curso de rios, ou pela emissão de metano na atmosfera, estes empreendimentos trazem impactos ao ecossistema e à biodiversidade regional (PERIUS e CARREGARO, 2012; FONSECA, 2013).

Com relação ao impacto social das hidrelétricas, pode-se destacar o deslocamento e/ou impacto nos meios de subsistência de populações tradicionais (como indígenas, quilombolas e ribeirinhos). Além disso, o fluxo migratório intenso para suprir mão de obra para a construção de uma hidrelétrica, pode trazer consequências negativas no planejamento urbano e territorial da região, assim como nos serviços públicos básicos, como saúde, educação e segurança pública (PERIUS e CARREGARO, 2012; FONSECA, 2013).

Os impactos ambientais, assim como os benefícios da construção das usinas hidrelétricas devem ser adequadamente contabilizados de maneira que o resultado não afete diretamente a disponibilidade desses recursos naturais e o bem-estar da população do entorno. Como instrumento de compensação, destacam-se os royalties, que aparecem como política econômica de países que produzem expressiva utilização de recursos hídricos na geração de energia elétrica, a Tabela 3 ilustra um *ranking* dos países que juntos representam mais de 50% da produção global (MARTINS, COSTA e SANTOS, 2018).

Tabela 3. Maiores Produtores de Energia Elétrica Hidráulica – 2016

| Ranking | Produtores | Geração - TWh | Participação mundial (%) |
|---------|----------------|---------------|--------------------------|
| 1 | China | 1.130 | 28,4 |
| 2 | Canadá | 381 | 9,6 |
| 3 | Brasil | 360 | 9,0 |
| 4 | Estados Unidos | 271 | 6,8 |
| 5 | Rússia | 170 | 4,3 |
| 6 | Noruega | 139 | 3,5 |
| 7 | Índia | 138 | 3,5 |
| 8 | Japão | 91 | 2,3 |
| 9 | Suécia | 75 | 1,9 |
| 10 | Venezuela | 75 | 1,9 |
| 11 | Demais países | 1.148 | 28,9 |
| | Mundo | 3.978 | 100% |

Fonte: Adaptado pelo autor de MARTINS, COSTA e SANTOS, 2018.

Pequena Central Hidrelétrica (PCH): Conforme dados da ANEEL, as Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCHs - são construções de menor escala, conseqüentemente menor impacto no ambiente. De acordo com a Lei nº 9.648/98 e Resolução ANEEL nº 394/98, as potências das PCHs são superiores a 1MW e inferiores a 30MW, o reservatório deve ter uma área total inferior a 3,0 km quadrado (BRASIL-ANEEL, 1998; LATINI e PEDLOWSKI, 2016). A implantação das PCHs surgiu como uma necessidade devido à crise no setor elétrico, motivada pela escassez de oferta, para atender a demanda que se apresentava em amplo crescimento (LATINI e PEDLOWSKI, 2016).

Com o aumento da demanda de energia elétrica no país, a alternativa mais rápida encontrada para solucionar o problema foi a construção de PCHs. Essas fontes geradoras de pequenas proporções facilitam a implantação, devido principalmente ao seu baixo custo de investimento e velocidade de término das obras, entregando rapidamente ao mercado consumidor a energia elétrica necessária. As PCHs eliminam os altos custos da construção de linhas de transmissão, pois sua energia é destinada a consumidores da região do entorno, além do que, conseguem obter créditos de carbono, pois sua construção envolve baixo impacto ambiental e sua produção e manutenção possuem tecnologia conhecida nos meios técnico e industrial (MONTAÑO *et al.*, 2014).

As mudanças no processo de licenciamento ambiental para construção de pequenas fontes geradoras de eletricidade passaram a ser prioridade e diversas facilidades foram sugeridas para facilitar e estimular a construção de PCH's. São poucas as pesquisas a respeito dos impactos causados por várias PCHs em um mesmo rio, mas apesar de serem irrelevantes os impactos causados por uma única

PCH, a somatória da construção de inúmeras resultam em alterações significativas nas comunidades ribeirinhas, na flora e fauna do entorno e nas características físicas dos rios, afetando de maneira efetiva sua ictiofauna. Estudos demonstram que os impactos das PCHs por unidade de energia gerada são proporcionais aos impactos oriundos das grandes usinas hidrelétricas (LATINI e PEDLOWSKI, 2016).

Analisando os aspectos jurídicos das PCHs, é importante ressaltar que embora seus impactos quando analisados individualmente são irrelevantes, quando se instalam diversas usinas no mesmo rio, os efeitos se somam. Essa deve ser uma preocupação com relação as facilidades oferecidas pela atual legislação, pois pelo fato de não necessitarem da emissão de parecer de EIA-RIMA, muitos investidores optem por esse tipo de empreendimento, principalmente pela velocidade de construção e aprovação. Por estas e outras facilidades, observa-se muitos rios que têm seu canal e biodiversidade modificados pela construção de inúmeras PCHs, sem efetivo estudo do impacto em cascata dessas pequenas usinas (BORGES e MEIRA, 2009).

É importante que órgãos fiscalizadores fiquem atentos a respeito de instalação de grande número de PCHs na mesma bacia hidrográfica, pois os impactos acumulativos podem ser até superiores das hidrelétricas, também importante avaliar se outra forma de energia renovável poderia ser utilizada na região, diminuindo assim o número dessas pequenas centrais geradoras de eletricidade. Apesar desse quadro negativo, as PCHs podem ser benéficas para a população local, gerando empregos, bens e serviços, assim como áreas de lazer e entretenimento com a possibilidade de exploração do turismo local (LATINI e PEDLOWSKI, 2016).

Evidências confirmam que a construção de PCHs são interessantes para suprir a necessidade de pequenas localidades afastadas de centros urbanos, normalmente situadas em área rural. O aproveitamento de rios de pequeno porte tornou-se alternativa viável pois os investimentos nesse modelo de geração são bem inferiores se comparado com as grandes hidrelétricas do mundo. As PCHs podem ser construídas utilizando a tecnologia de fio d'água, onde a vazão de estiagem do rio é igual ou maior que a descarga necessária à potência prevista a ser instalada. Outro modelo utilizado é aquele em que o reservatório de água deve ser observado diariamente devido ao rio não possuir a mesma vazão no período de estiagem do que no período de chuvas. Os reservatórios criados pela barragem devem suprir a demanda máxima, fornecendo o volume de água necessário para essa finalidade.

Esse modelo recebe o nome de PCH de acumulação. Quando o reservatório tem necessidade de um controle das médias das vazões mensais, recebe o nome de PCH de acumulação com regularização mensal do reservatório (PERIUS e CARREGARO, 2012).

As PCHs são fontes energia elétrica consideradas renováveis e como tal conseguem participar do mercado de créditos de carbono. Além disso, tornam aproveitáveis rios de pequenas dimensões e resolvem o problema da demanda localizada de energia elétrica. Outra vantagem a ser analisada das PCHs é que elas conseguem suprir com mais eficiência, o lugar das termelétricas que aparecem na matriz energética como fonte não renovável que contribuem para emissão de gases efeito estufa (LATINI e PEDLOWSKI, 2016).

1.5.3.2 Usina Termelétrica (UTE)

A usina termelétrica necessita de calor gerado por combustíveis das mais variadas fontes para produzir energia elétrica. Sendo assim, pode-se classificar a origem dos combustíveis em “Fósseis” ou “Biomassa”, simplificando em subclassificações denominadas de “Fonte Nível 1” e “Fonte Nível 2”. Para a biomassa, a Fonte Nível 1 foi classificada em “Agroindustriais”, “Biocombustíveis Líquidos”, “Floresta”, “Resíduos Animais”, e “Resíduos Sólidos Urbanos” (Fonte Nível 2). Para os combustíveis fósseis, a Fonte Nível 1 foi classificada em “Carvão Mineral”, “Gás natural”, “Petróleo” e “Outros Fósseis” (Fonte Nível 2). “Outros Fósseis” serviu para agrupar demais subprodutos de origem fóssil que não tem relevância estatística, como por exemplo, o Enxofre (ANEEL, 2020).

O calor proveniente da incineração de combustíveis como bagaço de diversos tipos de plantas, restos de madeira, óleo combustível, óleo diesel, gás natural, urânio enriquecido e carvão natural, aquece uma caldeira com água. A água aquecida percorre dutos pela caldeira, produzindo vapor em alta pressão. A alta pressão do vapor gerado na caldeira produz o movimento das pás da turbina que faz parte do sistema da termelétrica. A geração da eletricidade acontece porque as pás da turbina estão acopladas a um gerador que transforma a energia mecânica em energia elétrica. Finalmente o vapor de água é enviado a um condensador com o propósito de ser resfriado e liquefeito e em seguida retorna aos dutos para assim fechar o ciclo da geração (ANEEL, 2020).

O processo de resfriamento pode ser obtido utilizando as águas do mar ou rios, porém em qualquer das opções, esse resfriamento aquece as águas ao redor dos dutos e conseqüentemente, provocando danos ao meio ambiente, diminuindo a concentração de O₂ dissolvido na água. Outra opção de resfriamento desse vapor é através de torres como sendo reservatórios de água, mas esse sistema também acaba produzindo efeitos secundários ao meio ambiente, através da alteração do regime de chuvas da localidade entorno. Outro impacto ambiental consiste na emissão de gases na atmosfera contribuindo para o aquecimento global além disso, podendo provocar chuva ácida (LIMA E SOUZA, 2015; MARTINS e FREITAS, 2015).

Estudos mostram que os pontos positivos encontrados nas termelétricas são a rapidez de construção, menor valor de implantação, disponibilidade de combustíveis e proximidade dos centros urbanos, evitando com isso os gastos em linhas de transmissão. As termelétricas vieram como complemento para períodos de escassez de chuvas e conseqüente diminuição do fornecimento de energia elétrica pelas hidrelétricas, pois sua produção não tem correlação com as variações de vazão dos rios (LIMA E SOUZA, 2015; MARTINS e FREITAS, 2015).

1.5.3.3 Usina Termonuclear (UTN)

Uma fonte nuclear gera energia elétrica a partir do calor resultante da reação do urânio beneficiado. A fissão do núcleo dos átomos do urânio libera grande quantidade de energia, produzindo calor suficiente para ferver a água de uma caldeira e transformá-la em vapor. Esse vapor movimentando as pás de uma turbina que aciona um gerador que produz eletricidade. Dentro do panorama mundial, o Brasil possui uma condição favorável que garante autonomia no suprimento de combustível nuclear. As usinas nucleares brasileiras Angra I e Angra II em 2006, produziram juntas 100.000 GWh. A usina Angra III, teria condição de oferecer ao mercado consumidor 10.000 GWh/ano (CERCONI, MELQUIADES e TOMINAGA, 2009).

No que diz respeito ao consumo de eletricidade no mundo, as usinas nucleares ocupam uma posição considerável na produção de energia elétrica. Elas são uma das principais fontes de energia limpa, perdendo somente para as hidrelétricas. Sua característica mais vantajosa é que ela não emite gases poluentes como dióxido de carbono, metano e óxido nitroso nem gases que provoquem chuva ácida. Outro benefício das usinas nucleares é que não produzem metais carcinogênicos como

Mercúrio, Chumbo, Cádmiio e outros. Pesquisas comprovam que a energia nuclear aparece no mundo como responsável por 15% do total de energia elétrica e a energia hidrelétrica colabora com 16% conforme Tabela 4. (CERCONI, MELQUIADES e TOMINAGA, 2009).

Tabela 4. Geração de Energia no Mundo (2007)

| Fontes de geração de energia | Participação na geração (%) |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| Centrais Hidrelétricas | 16% |
| Centrais a Gás Natural | 20% |
| Centrais a Carvão Mineral | 41% |
| Centrais de Derivados de Petróleo | 6% |
| Centrais de Fonte Nuclear | 15% |
| Outras fontes | 2% |

Fonte: Adaptado pelo autor de CERCONI, MELQUIADES e TOMINAGA, 2009.

Uma grande vantagem das usinas nucleares é a grande potência elétrica gerada utilizando pouco urânio. Comparando com carvão, para se obter a mesma quantidade de energia elétrica seria necessário 10g de urânio beneficiado contra 1.200 kg de carvão (CARDOSO, 2012).

O processo de geração de energia elétrica em um reator nuclear, é obtido de maneira que não existe o perigo desse reator explodir como uma bomba nuclear, e essa ideia é o que torna as usinas nucleares alvo de protestos de povos de diversos países. No caso dos reatores, a concentração de urânio é muito baixa, não permitindo que haja reação em cadeia com velocidade elevada, resultando em explosão. Além disso, dentro do reator nuclear existem materiais que inibem a reação em cadeia no caso de parada do Reator (CARDOSO, 2012).

Segundo Cardoso (2012), os acidentes de *Three Miles Island* e *Chernobyl* serviram para que se aprimorassem os sistemas de segurança, e os tornassem mais eficientes. As equipes que trabalham em usinas nucleares forem treinadas para tomadas de decisão sobre forte tensão. As usinas de Angra I, Angra II e Angra III foram construídas observando todos esses novos critérios de segurança, que foram criadas a partir desses acidentes nucleares.

1.5.3.4 Central Geradora Eólica (EOL)

A energia existente nos ventos pode ser definida como energia cinética,

provocada pelo ar em movimento e denominada energia eólica. Através de turbinas eólicas, é possível aproveitar a energia cinética de translação e convertê-la em energia cinética de rotação, podendo ser empregadas turbinas eólicas, ou aerogeradores, para a gerar eletricidade (ANEEL, 2005).

Embora a energia eólica tenha sido utilizada por milhares de anos em aplicações que envolvem energia mecânica, as primeiras tentativas para geração de eletricidade se deram no final do século XIX, e a primeira turbina eólica comercial ligada à rede elétrica pública foi instalada em 1976, na Dinamarca (ANEEL, 2005).

O maior impedimento da instalação de parques eólicos no mundo eram os valores dos equipamentos, mas com os avanços tecnológicos, os custos das torres foram reduzidos, além disso o desempenho e confiabilidade dos equipamentos foram aprimorados, viabilizando investimentos e consequente crescimento desse setor energético. As turbinas eólicas avançaram com a tecnologia e evoluíram de uma capacidade de geração elétrica de 10kW e 50kW, para turbinas classificadas em Pequeno porte - com potência nominal menor que 500kW, médio porte - com potência nominal entre 500kW e 1000kW, e de Grande porte - com potência nominal maior que 1MW (ANEEL, 2005).

Com a comercialização da energia eólica pode-se observar um crescimento substancial, passando de 2GW em 1990 para 32GW no final de 2002. Os países que mais investiram em energia eólica foram Alemanha, Estados Unidos, Dinamarca e Espanha. As alterações no clima e a preocupação com a redução de Gases de Efeito Estufa, aumentaram os investimentos nas fontes de energia renováveis e a partir disso, a energia eólica aparece como uma alternativa com grande potencial na produção mundial de energia elétrica. Os incentivos adotados na implantação de parques eólicos, aumentaram os países investidores e interessados na exploração de energia eólica. Europa e Estados Unidos tornaram-se grandes investidores em energia eólica a partir de 2004, mas com a crise de 2008, os investidores buscaram países que pudessem ocupar lugar de destaque na produção dessa energia e a partir daí, o Brasil passou a fazer parte desse mercado (ANEEL, 2005; SIMAS e PACCA, 2013).

Neste contexto, Associação Europeia de Energia passou a ter como objetivo tentar suprir para 2020 pelo menos 10% de toda a necessidade de energia elétrica do planeta. Os países responsáveis nos dias de hoje em 80% da capacidade instalada são Alemanha, Estados Unidos, Dinamarca e Espanha (Tabela 5).

Tabela 5. Distribuição da capacidade instalada de energia eólica no mundo (2003)

| Países | Capacidade instalada (%) |
|----------------|---------------------------------|
| Alemanha | 35% |
| Estados Unidos | 19% |
| Espanha | 15% |
| Dinamarca | 9% |
| Outros Países | 22% |

Fonte: Adaptado pelo autor de ANEEL, 2005.

A energia elétrica oriunda de fontes eólicas no Brasil, ainda não possui representatividade no mercado mundial. Atualmente a capacidade instalada é de 15GW, distribuídos por 600 parques eólicos, o equivalente a 9,2% da potência energética instalada no país (BRASIL – MME, 2020b).

No Brasil, a exploração da energia eólica ainda está abaixo da sua capacidade de instalação, contudo esse setor está em ampla ascensão, contando com uma estimativa de aumento de 450% em cinco anos aproximadamente. As empresas fabricantes de aerogeradores estão com expectativa de aumento de produção significativa a partir de 2013 e com isso a economia brasileira passa a oferecer maiores oportunidades na geração de empregos, contribuindo e oferecendo dados para que haja políticas energéticas favoráveis ao setor eólico (SIMAS e PACCA, 2013).

De acordo com os estudos de Simas e Pacca (2013) os parques eólicos geram empregos permanentes e em menor quantidade para a população local. São postos de trabalho criados motivados pela construção da usina, mas que se mantem por tempo mínimo de 20 anos que é quanto dura o acordo de comercialização de energia vigente. Os empregos gerados com a implantação de projetos eólicos em determinada região podem ser separados em 3 modelos: vagas no mercado de trabalho em desenvolvimento tecnológico; vagas no setor de planejamento, gestão de projetor, transporte e construção de usinas; e vagas no setor de operação e manutenção.

Neste sentido, Simas e Pacca (2013) afirmam que o treinamento de trabalhadores locais é fundamental para desenvolvimento da região, diminuindo a contratação de mão de obra de outras localidades, impedindo inclusive alterações que possam modificar a infraestrutura já instalada no local, pois com a vinda de pessoas de outras regiões, e por serem empregos de caráter temporário, após o término das

obras o número de pessoas que passam a fazer parte da comunidade e a ficarem ociosas causam grande problema na região, inclusive com aumento de índices de violência devido ao desemprego.

1.5.3.5 Usina Geotérmica

Os recursos geotérmicos do planeta, aparecem aos olhos do mundo como uma fonte de energia com grandes possibilidades de crescimento no mercado da energia elétrica. A geração de energia elétrica pode ser realizada das seguintes formas: sistemas de vapor seco, sistemas de vapor úmido, ou ciclo binário. A utilização do calor geotérmico possui muitas vantagens, uma vez que está disponível diariamente e em todas as estações do ano, ela não é dependente de fatores climáticos para sua utilização e por reaproveitar o fluido residual, devolvendo-o a costa terrestre de onde foi extraído, ela passa a ser uma fonte também renovável. Este fato torna a energia geotérmica uma opção atraente para fornecimento de energia sustentável, pois além disso não emite gases nocivos na atmosfera. Outra grande vantagem com relação as demais fontes de energia renovável é a capacidade de produzir até 98% da sua capacidade instalada (ARBOIT *et al.*, 2013; CAMPOS *et al.*, 2017)

A Austrália assim como Islândia, USA, Filipinas, Itália, França, Alemanha e mais países, estão disponibilizando robustos investimentos em estudos do subsolo, perfuração e testes que demonstrem a viabilidade da utilização da energia geotérmica na produção de eletricidade. Uma das características que tornam a energia geotérmica de interesse mundial é o fator de carga, pois cada MW de capacidade instalada anual, produz mais do que a mesma capacidade instalada de fontes eólicas ou fotovoltaicas (ARBOIT *et al.*, 2013).

O impedimento da exploração advém da necessidade de melhora na tecnologia dos equipamentos de perfuração de grandes profundidades e estudo e pesquisa que alterem os ciclos de geração de potência utilizando fontes geotérmicas de baixa entalpia. Entalpia é uma propriedade classificatória que rotula as fontes geotérmicas em três faixas de temperatura: baixa e média entalpia quando a temperatura for inferior a 150°C e alta entalpia, com temperatura acima de 150°C. Na geração de eletricidade, as mais adequadas são as fontes geotérmicas de alta entalpia (ARBOIT *et al.*, 2013).

Como desvantagem, destaca-se que as usinas geotérmicas só podem ser

construídas em zonas geológicas específicas, que não aparecem em qualquer lugar do planeta, menos de 10% de regiões do mundo oferecem condições de exploração. Outras condições desfavoráveis é o ruído, e o aumento da temperatura no entorno da usina e os gases liberados no momento de perfuração do poço, durante aproximadamente 30 minutos, quando da extração do fluido e vapor (CAMPOS *et al.*, 2017).

1.5.3.6 Central Geradora Solar Fotovoltaica (UFV)

As usinas fotovoltaicas, ou sistemas de energia fotovoltaico, são aqueles que transformam a energia do sol em energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico. O efeito fotovoltaico é a criação de tensão elétrica ou de uma corrente elétrica correspondente num material, após a sua exposição à luz (BRASIL-ANEEL, 2020). Segundo Shayani, Oliveira e Camargo (2006) o processo de geração de eletricidade a partir de fontes de energia de origem solar é mais simples do que a geração de energia por meio de combustíveis fósseis ou nucleares, sendo assim permite que os consumidores domésticos gerem sua própria energia elétrica (RELLA, 2017).

Uma vez que o sol é uma fonte de energia inesgotável e consegue produzir energia suficiente para suprir toda demanda energética diária que o planeta Terra necessita. O sol consegue produzir 95.000TW por ano e o planeta tem uma estimativa de consumo até 2050 na ordem de 30TW, valor esse infinitamente menor. Muitas são as vantagens da instalação do sistema fotovoltaico e a que se destaca é a utilização de forma distribuída, possibilitando desenvolvimento social, econômico e ambiental, pois não necessita de instalação de torres de linhas de transmissão (MACHADO e MIRANDA, 2015; RELLA, 2017).

Diante destas vantagens, surgiram diferentes ideias propostas por empresas e pesquisadores, para utilizar sistemas fotovoltaicos em larga escala. Dentre elas está a sugestão de um satélite de energia solar, onde uma plataforma mantida em órbita ao redor da Terra, com superfície de 50 km², captaria energia solar durante 24 horas por dia, com a possibilidade de gerar até 10.000 MW de eletricidade, a qual seria transmitida via micro-ondas para a Terra (ALDABÓ, 2002).

Posicionamento da placa fotovoltaica com relação ao movimento do sol

Com o objetivo de alcançar maior eficiência das placas fotovoltaicas de geração de energia elétrica, empresas de tecnologia desenvolveram um sistema aprimorado de rastreamento solar, em que a placa está constantemente posicionada de maneira que receba incidência solar máxima por todo o período de exposição solar (CANTONI, 2017).

O rastreador solar, quando utilizado na placa fotovoltaica, garante que ela se mantenha em ângulo perpendicular à intensidade de luz incidente, o que garante maior eficiência e rendimento na transformação da energia solar em energia elétrica. Essa tecnologia com a utilização de seguidores solares, acrescenta um ganho de rendimento, em regiões de grande incidência solar entre 30% e 40% e em regiões de alta nebulosidade, um ganho de 20%. Considerando que as placas que utilizem seguidores solares são em média 20% mais caras, mesmo assim esse investimento se torna rentável, se compararmos com o ganho em geração que elas propiciam. (CANTONI, 2017)

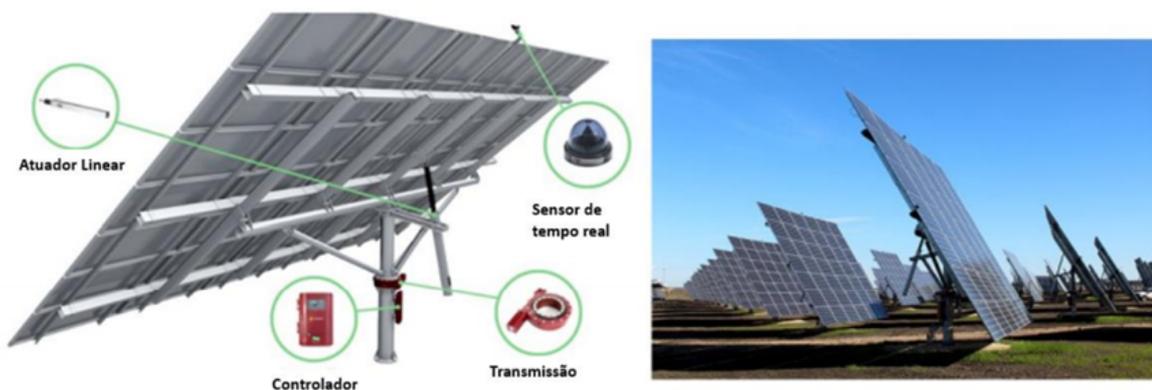


Figura 3. Placa com rastreamento solar – seguidor solar
Fonte: CANTONI, 2017

1. Linear Atuador – Para controlar o ângulo vertical (elevação) do rastreador (CANTONI, 2017)
2. Sensor em Tempo real – os sensores fornecem valores de referência que são avaliados por um algoritmo para rastrear a superfície do módulo ao longo do dia e isso otimiza a precisão. O sensor garante que a placa esteja em posição otimizada em relação à incidência solar o tempo todo, propiciando até 40% anuais de ganhos na geração de energia elétrica. Sensor E/W, detectando o Leste e Oeste do Sol; Sensor

S/N, detectando o Norte e o Sul do Sol. (CANTONI, 2017)

3. Controlador – O controlador mede continuamente intensidade e ângulo de luz recebida e move a instalação do módulo solar para a posição mais vantajosa. (CANTONI, 2017)

As placas fotovoltaicas com rastreador solar mesmo em condições desfavoráveis de clima fornecem o máximo de eficiência (CANTONI, 2017).

A geração de energia por meio da instalação de sistemas fotovoltaicos

A Alemanha se adiantou na implantação de painéis fotovoltaicos no período entre 1990 e 1995, com o programa de instalação de painéis solares em 1000 telhados conectados à rede pública de distribuição, conseguindo uma potência média de 2,6kW por telhado e abrangendo mais de 40 cidades. O sucesso desse programa foi de tal proporção que possibilitou o lançamento de um outro programa ainda maior, interligando 100.000 telhados equipados com painéis solares e possibilitando ao consumidor vender o excedente de energia a concessionária. Esses programas envolvendo grandes quantidades do mesmo produto, colaboram para a redução do preço das placas fotovoltaicas modificando seu valor no mercado (SHAYANI, OLIVEIRA e CAMARGO, 2006)

Alemanha, Itália, Japão, Espanha e USA são países que incentivam com programas governamentais a instalação de sistemas fotovoltaicos. A base desses programas é a inclusão da instalação por pessoas físicas no sistema interligado de energia, podendo o excesso ser comprado pela concessionária. O pequeno consumidor por gerar energia renovável, conseguia um preço maior que a distribuída pela rede pública, o que gerava lucro a seu favor (MACHADO e MIRANDA, 2015).

Com a falta de chuva dos últimos anos, as Usinas Hidrelétricas sofreram uma queda na geração, isso acarretou a necessidade da utilização das Usinas Térmicas para compensar o fornecimento de energia, encarecendo o produto e aumentando as emissões de CO₂. As fontes fotovoltaicas de energia vieram para tentar minimizar essa necessidade, suprimindo essa carência, pois são sistemas que não estão vinculados as variações de chuva (RELLA, 2017).

O Brasil conta com um total de capacidade de energia elétrica instalada na ordem de 132GW e os sistemas de energia solar ocupam nessa totalidade um percentual da ordem de 0,0008%. Esses dados levam a inquirir qual seria o motivo da

falta de interesse em se instalar esse modelo de sistema, já que o Brasil ostenta uma característica de insolação privilegiada. A região do nordeste brasileiro aparece com uma incidência média diária entre 4,5 a 6 kWh e esses dados colocam o Brasil numa posição destacada no mapa de potencial solar (MACHADO e MIRANDA, 2015; RELLA, 2017).

Segundo Machado e Miranda (2015) o alto preço para ter um sistema fotovoltaico é dos motivos pela baixa procura, uma vez que ainda é muito caro instalar esse sistema em casa, pois os módulos são importados. Além disso, os incentivos fiscais no Brasil ainda não são atrativos para investidores, nem para o pequeno consumidor.

De acordo com a política de preço da Resolução Normativa nº 482 de 2012, o pequeno produtor ao vender a energia gerada excedente de sua instalação, está sujeito ao mesmo valor de sua energia renovável ao da rede pública, sendo assim ele não recebe pelo excesso produzido, mas sim créditos que expiram em 60 meses. A maior procura pela instalação de sistemas de energia solar está em áreas afastadas, onde a rede de distribuição não consegue atingir (MACHADO e MIRANDA, 2015; RELLA, 2017).

Segundo Lagrimante *et al.* (2018), apesar de ser o maior emissor mundial de poluentes e gases de efeito estufa, a China é o maior produtor de energia fotovoltaica da atualidade, por acreditar que esse sistema de geração de energia elétrica é o que menos impacta o meio ambiente.

Neste sentido, a ANEEL propôs como meta para o Brasil, dobrar sua capacidade de painéis fotovoltaicos instalados até 2017, e continuar a ter investimentos nesse segmento promissor por muito tempo, como investem diversos países do mundo (LAGRIMANTE *et al.*, 2018).

A energia fotovoltaica pode ser implementada conectando o usuário à rede pública (*On Grid*), que é o modelo mais comum hoje em dia, onde o consumidor consegue créditos para utilizar quando necessário com a fornecedora de energia da região ou o modelo onde o usuário é independente da rede fornecedora (*Off Grid*). Nesse caso, o consumidor deve ter baterias para acumular a energia captada, pois a noite não existe radiação solar e nesse caso o suprimento de energia ficaria comprometido (LAGRIMANTE *et al.*, 2018).

A construção de uma usina fotovoltaica pode promover desenvolvimento socioeconômico, estudos apontam que por MW instalado são estabelecidos 30

empregos diretos e indiretos, em todo o tempo de vida de uma usina fotovoltaica. Em contrapartida, com o aumento da renda, aumenta a população, assim como o número de veículos que podem ocasionar acidentes ou afastamento de animais de seu habitat natural. Sendo assim, os impactos e alterações causadas por influência do homem ocorrem de maneira contínua, com mudanças nos ciclos de desenvolvimento dos animais e na vegetação (BARBOSA FILHO *et al.*, 2015).

A Usina Fotovoltaica de Pirapora já foi considerada a maior Usina solar da América Latina. Ela está situada no interior de Minas Gerais, a uma distância de 350 Km de Belo Horizonte. O projeto conta com mais de 1 milhão de painéis, instalados no terreno de 800 hectares, plano e de pouca vegetação, colaborando para que os impactos ambientais sejam os menores possíveis (Figura 3) (BRASIL – BNDES, 2020; MOURA, BARBOSA E LOPES, 2019).



Figura 4. Vista aérea da Usina de energia solar em Pirapora, em Minas Gerais.
Fonte: BIOSAR, 2020

Esta usina tem capacidade 400MW de potência e consegue fornecer energia para 420 mil casas durante um ano. Segundo Martins (2017), a empresa contratada pelo Consórcio Pirapora para realizar o projeto de construção da usina foi a Biosar. Durante a divulgação do projeto foi previsto que o empreendimento poderia gerar por volta de 1.381 empregos diretos e indiretos.

A Usina Solar de Pirapora possui cinco Usinas Fotovoltaicas, denominadas Pirapora V, VI, VII, IX e X, cada uma operando com potência instalada de 30MW e sistema associado de transmissão. O empreendimento ampliou a oferta de energia elétrica brasileira, utilizando uma fonte renovável de energia equivalente a

aproximadamente 190 mil residências (BRASIL – BNDES, 2020; MOURA, BARBOSA E LOPES, 2019).

O objetivo na época da elaboração do projeto era de proporcionar a oportunidade de recuperação do país na indústria da energia fotovoltaica. O investimento para implementação do projeto da usina ficou sob a responsabilidade da empresa de origem francesa EDF *Energies Nouvelles*, com 80% do total investido para implantação do parque. Os 20% restantes, foi incorporado pela *Canadian Solar*, líder em fabricação de painéis solares (MOURA, BARBOSA E LOPES, 2019).

O Complexo Solar Pirapora em Minas Gerais foi o primeiro projeto aprovado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), pela sua representatividade no desenvolvimento em projetos com efeitos colaterais positivos no meio ambiente, e está em conformidade com os objetivos do país em estar envolvido assim como a comunidade do mundo, no que diz respeito a geração de energia através de fontes renováveis (BRASIL – BNDES, 2020).

O Brasil avança nesse setor de energia com a preocupação de estar presente no compromisso assumido no Acordo de Paris em diminuir a emissão de gases de efeito estufa. O país fez uso de instrumentos importantes de promoção da demanda para mobilizar a implantação da energia solar, seja por meio da geração distribuída ou centralizada. Para que os leilões públicos da venda de energia sejam efetivamente consolidados, é importante o suporte do BNDES, apoiando a iniciativa no setor energético (BRASIL – BNDES, 2019).

O empreendimento teve início em meados de setembro de 2017. A vantagem do parque solar de Pirapora, além da sua metragem, é que ocupa uma região plana de vegetação esparsa, ensolarada a maior parte do ano, que está perto de uma linha de alta tensão. Os painéis de alta tecnologia foram construídos para acompanhar o movimento do sol, com dispositivo alimentado pela energia solar por ela produzida. Os painéis ficam dispostos a um metro e vinte do solo, e ao meio-dia, ficam posicionados horizontalmente para captarem o maior índice de luminosidade possível (MOURA, BARBOSA E LOPES, 2019).

Em dias nublados a geração de energia diminui por volta de 30%, mas esse fato não diminui a importância de investimentos em energia solar, porque para o Brasil, produzir energias através de fontes renováveis é prioridade para que se cumpra o Acordo de Paris, em que o país está comprometido em elevar seu patamar de geração de energia utilizando fontes alternativas em 45% até 2030 (MOURA, BARBOSA E

LOPES, 2019)

De acordo com os estudos de Moura, Barbosa e Lopes (2019), o projeto de construção Projeto do parque solar de Pirapora utilizou como ferramentas e técnicas de gestão o Ciclo de Vida e Cronograma de projetos, assim como a Estrutura Analítica do Projeto e as Estruturas de riscos e retornos de investimento. Entretanto os autores destacam que a técnica utilizada para o retorno do investimento não ficou muito clara, embora seja demonstrado que há retorno, divulgado por meio de leilões de lotes da usina fotovoltaica.

Na visão de Moura, Barbosa e Lopes (2019) o projeto de construção Projeto do parque solar de Pirapora demonstrou uma gestão de projetos generalizada, os autores sugerem que os futuros projetos devam analisar melhor as ferramentas e técnicas com foco na gestão de projetos de usinas fotovoltaicas.

Segundo Moura, Barbosa e Lopes (2019), o objetivo principal da maioria dos empreendimentos é alcançar um retorno financeiro, os quais podem ser medidos pelo Valor Presente Líquido (VPL), ou pela Taxa Interna de Retorno (TIR) ou pelo Payback. Neste caso, pode-se dizer que o projeto de construção Projeto do parque solar de Pirapora trouxe retorno de seu investimento, uma vez que as usinas de Pirapora venceram o 7º Leilão para Contratação de Energia de Reserva, onde a energia do Complexo Solar de Pirapora foi comercializada, dentro do Ambiente de Contratação Regulado (ACR), embora não seja possível ainda analisar claramente qual é a técnica utilizada para valorar o retorno do investimento (MOURA, BARBOSA E LOPES, 2019; BRASIL – BNDES, 2020).

Com relação aos impactos ambientais decorrentes da construção de uma usina fotovoltaica, Martins (2017) verificou que estes seriam ínfimos ao comparar com impactos ambientais de fontes tradicionais de geração de energia, o que não significa que estes impactos ambientais devem ser negligenciados, o que não exime o Estado de manter ações periódicas de fiscalização.

De acordo com Barbosa Filho *et al.* (2015) a expansão da exploração da geração de energia elétrica, através de energia solar, ocasiona impactos sobre o meio físico, socioeconômico e biótico. Pode-se observar que no meio físico existem alterações e muitas vezes degradação na paisagem, devido à construção da usina. Em situação mais extrema, é necessário medidas de controle e monitoramento pelos órgãos responsáveis na tentativa de evitar riscos de contaminação do solo com o manejo inadequado de materiais terrosos e emissão de materiais particulados no ar

que se depositam sobre a vegetação e sobre rios, causando modificações no ciclo de alimentação de animais nativos. Com o desmatamento da região, pode ocorrer erosão e assoreamento de riachos, alterando o comportamento hídrico da localidade.

Já para Vieira e Santos (2012) os impactos causados pela instalação das usinas fotovoltaicas são mínimos se comparados à constante emissão de gases e outros poluentes, que por séculos tem fragilizado o meio ambiente. Na visão de Silva e Carmo (2017) o Brasil possui altas oportunidades para desenvolver a indústria de energia fotovoltaica, assim como ampliar a participação desta fonte na matriz elétrica brasileira.

Segundo Martins (2017), os resultados obtidos em seus estudos reafirmam a relevância da presença das usinas fotovoltaicas em curto prazo. Ele levantou possíveis impactos da usina durante seu ciclo de vida, que pode ser dividido em 4 (quatro) momentos principais: planejamento, instalação, operação e desativação. Para o autor na questão socioeconômica, o que mais se destacou foi a geração de empregos, pois permaneceu concentrada na etapa de instalação do empreendimento, e durante os outros períodos de seu ciclo de vida (planejamento, operação e desativação), o número de postos de trabalho foi reduzido.

1.5.4 Matriz Energética no Brasil

Segundo Mandelman (2011), atualmente o Brasil encontra-se bastante dependente dos sistemas de geração de energia que utilizam nossos rios como fonte para as hidrelétricas e de combustíveis fósseis como gás natural para fornecer energia para as termelétricas. Esse quadro preocupa e houve necessidade de o governo criar incentivos para que aumentasse investimentos em fontes renováveis de energia.

Os incentivos criados pelo governo são essenciais para que empresários decidam fazer investimentos nessa área, colaborando com a inovação do sistema energético brasileiro. Com esse objetivo, o governo em 2002 criou o PROINFA (Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia) que trabalha em incentivar projetos de PCH (Pequenas Centrais Hidrelétricas), Biomassa, Eólica e Fotovoltaica (LIMA e GONÇALVES, 2016).

Nesse sentido, o governo brasileiro estabeleceu que em 20 anos, as fontes alternativas de energia devem estar presentes em 10% na matriz energética brasileira. O compromisso assumido pelo Brasil com a COP21 é o de incentivar a participação

das energias renováveis em 45% até 2030, sendo que a energia das hidrelétricas (recursos hídricos) fique restritas a um aumento de 12% e deixando para as outras fontes os 33% restantes (LIMA e GONÇALVES, 2016).

Essa prática de incentivo já é muito comum em outros países, embora ainda seja incipiente no Brasil. Em países como Estados Unidos, Canadá e França, os governos apresentam incentivos reais para aumentar a participação das fontes renováveis na capacidade total de geração (DUPONT, GRASSI e ROMITTI, 2015).

Neste contexto, Dupont, Grassi e Romitti (2015) citam alguns exemplos, como o da cidade de Palo Alto, na Califórnia, que instituiu novas regulamentações para as construções, e regulamentou que casas novas deverão ter espaço em seus telhados para acomodar pouco mais de 45 m² de módulos fotovoltaicos, além de disponibilizar um circuito de pelo menos 50 A para a carga de veículos elétricos. Na França, o parlamento regulamentou que novos edifícios comerciais possuam telhados parcialmente cobertos por painéis fotovoltaicos ou implementem "telhados verdes". Na cidade de Toronto, Canadá, em 200 a prefeitura solicitou um estudo para a possível implementação de "telhados verdes". Foram considerados no estudo os telhados planos com mais de 350 m², e que aproximadamente 75% da área do telhado fosse coberta, o que resultou em uma área total de aproximadamente 5000 ha. (DUPONT, GRASSI e ROMITTI, 2015).

No ano de 2018 a matriz energética brasileira apresentou uma taxa negativa, em comparação ao ano de 2017 (Tabela 6). A oferta Interna de energia (OIE) em 2018 apresentou um decréscimo de 1,7% em relação a 2017 e 5,6% em relação a 2014. Ou seja, houve uma queda acentuada devido ao consumo industrial de energia ter sofrido uma redução (BRASIL-EPE, 2020a; BRASIL-MME, 2020a).

Analisando a Tabela 6 observa-se que a segunda maior alta foi da energia hidráulica, que cresceu 4,1%. Pode-se concluir que em um ano, as fontes renováveis de energia conseguiram saltar de 43,0% para 45,3%, já o petróleo e seus derivados tiveram taxa negativa de 6,5%. A energia elétrica oriunda das hidrelétricas ainda ocupa lugar preponderante na Matriz Energética Brasileira e tiveram um aumento de 1,4% em 2018, comparando com 2017 (BRASIL-EPE, 2020a; BRASIL-MME, 2020a, BRASIL-EPE, 2020c).

Tabela 6: Oferta Interna de Energia (OIE) (2017/2018)

| | Produção em mil tep | | Razão | Participação na Estrutura (%) | |
|-----------------------------|---------------------|----------------|-------------|-------------------------------|--------------|
| | 2017 | 2018 | 18/17 | 2017 | 2018 |
| NÃO-RENOVÁVEL | 167.028 | 157.859 | -5,5 | 57,0 | 54,7 |
| Petróleo e derivados | 106.276 | 99.320 | -6,5 | 36,2 | 34,4 |
| Gás natural | 37.938 | 35.905 | -5,4 | 12,9 | 12,5 |
| Carvão mineral e derivados | 16.790 | 16.632 | -0,9 | 5,7 | 5,8 |
| Urânio e derivados | 4.193 | 4.174 | -0,5 | 1,4 | 1,4 |
| Outras não-renováveis (a) | 1.831 | 1.828 | -0,1 | 0,6 | 0,6 |
| RENOVÁVEIS | 126.240 | 130.533 | 3,4 | 43,0 | 45,3 |
| Hidrelétrica e eletricidade | 35.023 | 36.460 | 4,1 | 11,9 | 12,6 |
| Lenha e Carvão vegetal | 23.992 | 24.146 | 0,6 | 8,2 | 8,4 |
| Derivados da Cana-de-açúcar | 49.758 | 50.090 | 0,7 | 17,0 | 17,4 |
| Outras renováveis (b) | 17.467 | 19.837 | 13,6 | 6,0 | 6,9 |
| TOTAL | 293.268 | 288.392 | -1,7 | 100,0 | 100,0 |
| <i>Dos quais fósseis</i> | 162.835 | 153.685 | -5,6 | 55,5 | 53,3 |

(a) Gás de alto-forno, de aciaria e de enxofre; (b) lixívia, biodiesel, eólica, casca de arroz, biogás, resíduos de madeira, gás de carvão vegetal e capim elefante.

Fonte: BRASIL-MME, 2020a

Porém, neste contexto, as energias renováveis tiveram um aporte considerável e resultaram em uma alta de 3,4% (Tabela 6), considerando que o maior aumento se deu no tópico ‘outras renováveis’, provocado pelo crescimento da energia eólica e da produção de biodiesel (Tabela 7) devido aos incentivos e investimentos das políticas públicas nesse ramo de geração de energia limpa (BRASIL-MME, 2020a; BRASIL-EPE, 2020c).

Tabela 7: Repartição de outras renováveis (Fontes)

| Lixívia e outras renováveis (mil tep) | 2017 | 2018 | Δ18/17 (%) |
|---------------------------------------|---------------|---------------|--------------|
| Lixívia | 8.892 | 9.553 | 7,4 |
| Biodiesel | 3.312 | 4.174 | 26,0 |
| Outras biomassas ¹ | 1.280 | 1.351 | 5,5 |
| Biogás | 191 | 204 | 6,7 |
| Gás industrial de carvão vegetal | 74 | 88 | 18,7 |
| Eólica | 3.644 | 4.169 | 14,4 |
| Solar | 72 | 298 | 316,2 |
| Total | 17.467 | 19.837 | 13,6% |

¹ Casca de arroz, capim elefante e óleos vegetais.

Fonte: BRASIL-EPE, 2020c

As emissões de gases de efeito estufa tem sido um tema constante em todas as convenções sobre as alterações climáticas. Essa problemática é o atual desafio para cientistas e políticos. Tendo por base o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), as emissões de gases de efeito estufa provocadas pelas ações do homem sobre o meio ambiente, tem como principal causa o uso de combustíveis fósseis. A solução para minimizar as emissões de GEE seria a redução da produção de combustíveis fósseis e estímulos à geração de energia por fontes renováveis (MENDES e RODRIGUES FILHO, 2012).

O Brasil tem o perfil de desenvolvimento sustentável, mas com a exploração das grandes reservas do pré sal, as instituições governamentais, os cientistas e investidores deverão estar atentos para uma geração de energia elétrica alternativa, que tenha os impactos sobre emissões de CO₂ e GEE mínimos (MENDES e RODRIGUES FILHO, 2012).

Estudos indicam que as usinas hidrelétricas, conceituadas como energia limpa, também contribuem para o aquecimento global por meio da emissão de gás metano (CH₄) provocadas pelos seus vertedouros, com a intenção de oxigenação das águas e diminuição de morte de peixes, assim como pelas turbinas instaladas na parte mais profunda das barragens para movimentar os geradores de energia (FEARNSIDE, 2015).

O metano se forma no fundo das barragens, quando a matéria orgânica se decompõe sem a presença de oxigênio (O₂). A bacia do rio Amazonas é uma região onde em que se observa essa condição de emissão de gases, impactando o aquecimento global, com a construção do complexo da Usina de Belo Monte no Rio Xingu (FEARNSIDE, 2015).

Com o intuito de atender esta problemática, existem iniciativas concretas para atenuar as mudanças no clima sendo realizadas. Dentre elas, estimular as iniciativas na pesquisa de fontes alternativas e renováveis de energia são medidas necessárias para que aconteça uma mudança cultural onde exista a certeza da necessidade da alteração de uma economia tradicional em uma economia de baixa emissão de carbono e outros gases que produzam efeito estufa (ROVERE e BUSTAMANTE, 2014).

Entre algumas opções relacionadas à eficiência energética, temos as PCH's, a redução do desmatamento, investimentos na pesquisa em novas tecnologias como CCS (*Carbon Capture and Storage*) e a geração de energia elétrica tendo como fonte

renováveis a fotovoltaica e a eólica. Além disso, a criação de incentivos fiscais de maneira que aumente a competitividade com relação a outras fontes tradicionais de energia (ROVERE e BUSTAMANTE, 2014).

O potencial brasileiro de energia renováveis para geração de energia é extraordinário, mas segundo pesquisas, as emissões do setor energético devem sofrer uma alteração passando de 30 MtCO₂eq, em 2011 para 69 MtCO₂eq em 2021, principalmente devido as termoelétricas a carvão, com recente anúncio de leilão, na tentativa de suprir as hidrelétricas em períodos de seca (ROVERE e BUSTAMANTE, 2014).

Entre outras medidas no setor elétrico temos a combate as desperdício por parte do consumidor, desenvolvimento de sistemas de redes inteligentes, geração distribuída e utilização de tecnologias atualizadas de controle e automação. Para se alcançar um desenvolvimento sustentável necessita-se de investimentos robustos em tecnologias que emitam menos gases de efeito estufa e para que haja legítima implantação, os instrumentos financeiros devem ser assertivos (ROVERE e BUSTAMANTE, 2014).

Uma vez que este setor está iniciando a difusão tecnológica no país, é relevante que os avanços em redução de custos e preços e os ganhos de rendimento. sejam incorporados. Nesse sentido, pode-se dizer que os instrumentos de promoção da demanda são relevantes para mobilizar a inserção da energia fotovoltaica na matriz brasileira, seja por meio da geração distribuída, seja por meio da geração centralizada, atualmente contratada em leilões públicos (BRASIL – BNDES, 2020).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo apresenta-se como uma pesquisa exploratória, que buscou levantar informações sobre a temática abordada. A pesquisa iniciou-se utilizando a pesquisa bibliográfica para levantar dados, que foram compilados de forma informativa e didática.

A pesquisa bibliográfica focou nas fontes de energia, a produção e distribuição de energia elétrica, assim como os impactos socioambientais das diferentes fontes e formas de fornecimento energético. Organizou-se os dados por fonte de geração (solar, hidráulica, biomassa, eólica, petróleo, carvão, gás natural, energia nuclear) e apresentou-se informações sobre a matriz energética brasileira.

A revisão bibliográfica teve por critério de exclusão dados com mais de vinte anos. Sendo assim, buscou-se apresentar as informações mais atualizadas e abrangentes encontradas na pesquisa. Mesmo assim, devido a uma certa defasagem na periodicidade com que os dados são coletados, algumas informações utilizadas não são recentes ou não cobrem a totalidade do território brasileiro.

Além dos métodos bibliográficos e teóricos, foi gerada uma projeção da evolução da oferta de energia por meio dos sistemas fotovoltaicos até 2050. Neste momento da pesquisa utilizou-se o software Excel do Office 365, a partir da ferramenta Planilha de previsão, dentro da aba “Dados”, para gerar os gráficos apresentados no presente estudo (MICROSOFT – SUPORTE, 2020).

Por meio desta projeção realizou-se uma comparação entre fonte hidrelétrica e fotovoltaica, onde os cenários de futuro permitiram ratificar a viabilidade da implantação da energia fotovoltaica no Brasil.

2.1 Elaboração dos gráficos

Para facilitar a compreensão, elaborou-se a descrição do processo de elaboração dos gráficos. A seguir segue detalhado:

1. Entrar no site do EPE:

<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas>

Publicações

epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas

BRASIL CORONAVIRUS (COVID-19) Simplifique! Participe Acesso à Informação Legislação Canais

Ir para o conteúdo Ir para o menu Ir para a busca Ir para o rodapé ALTO CONTRASTE MAPA DO SITE

English

15 anos Empresa de Pesquisa Energética

Pesquisar... Acesso Restrito

A EPE | ÁREAS DE ATUAÇÃO | LEILÕES | PUBLICAÇÕES / DADOS ABERTOS | IMPRENSA

Principal > Publicações / Dados Abertos > Publicações > BEN - Séries Históricas Completas

Publicações

- Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis
- Anuário Estatístico de Energia Elétrica
- Balanco Energético Nacional
- Caderno de Estudos
- Consumo de Energia Elétrica
- Plano Decenal de Expansão de Energia
- Plano Nacional de Energia
- Programa de Expansão da Transmissão / Plano de Expansão de

BEN - Séries Históricas Completas

A seguir são disponibilizadas as Séries Históricas Completas a partir do ano de 1970.

Obs.: As tabelas em formato Excel são as mesmas apresentadas no volume impresso do Balanço Energético Nacional.

Tabelas

Arquivos

Twitter Compartilhar

Figura 5. Passo 1 para criar gráficos
Fonte: Elaborado pela autora

- Consultar o Balanço Energético Nacional (BEN) > series históricas > Arquivo: Capítulo 2 (Oferta e Demanda de Energia por Fonte) 1970-2019

Publicações

epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas

A EPE | ÁREAS DE ATUAÇÃO | LEILÕES | PUBLICAÇÕES / DADOS ABERTOS | IMPRENSA

Principal > Publicações / Dados Abertos > Publicações > BEN - Séries Históricas Completas

Publicações

- Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis
- Anuário Estatístico de Energia Elétrica
- Balanco Energético Nacional
- Caderno de Estudos
- Consumo de Energia Elétrica
- Plano Decenal de Expansão de Energia
- Plano Nacional de Energia
- Programa de Expansão da Transmissão / Plano de Expansão de Longo Prazo (PET/PELP)
- Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica
- Revisões Quadrimestrais da Carga
- Sistemas Isolados

BEN - Séries Históricas Completas

A seguir são disponibilizadas as Séries Históricas Completas a partir do ano de 1970.

Obs.: As tabelas em formato Excel são as mesmas apresentadas no volume impresso do Balanço Energético Nacional.

Tabelas

| Arquivos | | |
|----------|---|--------------------|
| Tipo | Documento | Tamanho do arquivo |
| | Capítulo 1 (Análise Energética e Dados Agregados) 1970-2019 | 1206 KB |
| | Capítulo 2 (Oferta e Demanda de Energia por Fonte) 1970-2019 | 1361 KB |
| | Capítulo 3 (Consumo de Energia por Setor) 1970 - 2019 | 502 KB |
| | Capítulo 4 (Comércio Externo de Energia) 1970 - 2019 | 89 KB |
| | Capítulo 5 (Balanço dos Centros de Transformação) 1970 - 2019 | 191 KB |
| | Capítulo 6 (Recursos e Reservas Energéticas) 1970-2019 | 298 KB |
| | Capítulo 7 (Energia e Socioeconomia) 1970-2019 | 476 KB |
| | Capítulo 8 - (Dados Estaduais) | 825 KB |
| | Matrizes Consolidadas (em tep) 1970-2019 | 489 KB |

epe.gov.br/sites-pt/.../Capitulo 1 (Análise Energética e Dados Agregados) 1970-2019.xls

Figura 6. Passo 2 para criar gráficos
Fonte: Elaborado pela autora

- Consultar Tabela 1.3.a : OFERTA INTERNA DE ENERGIA (em 10^3 tep)

TABELA 1.3.a
OFERTA INTERNA DE ENERGIA

Wt (tep (10⁶))

| | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 |
|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| IDENTIFICAÇÃO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ENERGIA NÃO RENOVÁVEL | 27.938 | 30.782 | 34.253 | 40.410 | 44.676 | 47.543 | 52.080 | 54.031 | 53.235 | 63.676 | 62.541 | 57.866 | 58.504 | 56.832 | 58.536 | 63.350 | 67.393 | 70.446 | 71.940 | 73.262 | 72.672 | 75.317 | 76.896 | 73.534 | 83.471 |
| PETRÓLEO E DERIVADOS | 25.251 | 28.008 | 31.302 | 37.475 | 41.413 | 43.778 | 47.365 | 48.881 | 53.333 | 56.612 | 55.419 | 50.842 | 50.823 | 47.638 | 48.535 | 49.239 | 54.004 | 55.223 | 56.520 | 57.510 | 57.749 | 59.115 | 60.869 | 63.042 | 66.682 |
| GÁS NATURAL | 170 | 263 | 235 | 338 | 513 | 571 | 637 | 704 | 326 | 371 | 1.032 | 1.044 | 1.400 | 1.305 | 2.406 | 2.346 | 3.475 | 3.369 | 4.050 | 4.253 | 4.337 | 4.305 | 4.035 | 4.326 | 5.120 |
| CARVÃO MINERAL E COQUE | 2.437 | 2.453 | 2.503 | 2.538 | 2.632 | 3.201 | 3.436 | 4.332 | 4.362 | 5.411 | 5.302 | 5.775 | 6.104 | 6.805 | 6.477 | 10.021 | 10.166 | 10.624 | 10.957 | 10.773 | 9.588 | 10.003 | 10.678 | 11.001 | 11.232 |
| URÂNIO (SUJ) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| OUTRAS NÃO RENOVÁVEIS | 40 | 57 | 63 | 95 | 57 | 53 | 62 | 53 | 95 | 63 | 123 | 206 | 241 | 204 | 320 | 227 | 228 | 300 | 345 | 244 | 281 | 422 | 407 | 422 | 397 |
| ENERGIA RENOVÁVEL | 39.029 | 33.516 | 41.654 | 41.347 | 43.134 | 43.843 | 44.850 | 45.622 | 46.271 | 43.259 | 52.877 | 62.366 | 53.547 | 58.754 | 64.740 | 67.656 | 68.387 | 72.256 | 72.415 | 73.558 | 63.360 | 63.676 | 63.034 | 70.125 | 73.510 |
| BIOMASSA* | 3.420 | 3.792 | 4.355 | 4.375 | 5.850 | 6.219 | 7.102 | 8.026 | 8.322 | 10.018 | 10.683 | 11.219 | 12.161 | 13.005 | 14.316 | 15.489 | 16.567 | 17.480 | 18.659 | 19.497 | 20.051 | 21.050 | 21.204 | 22.576 | 23.595 |
| LENHA E CARVÃO VEGETAL | 31.662 | 31.687 | 32.143 | 31.897 | 32.599 | 33.354 | 31.682 | 30.622 | 29.734 | 30.375 | 31.083 | 30.415 | 29.109 | 30.223 | 33.340 | 32.325 | 32.366 | 32.771 | 32.505 | 32.363 | 33.517 | 26.701 | 25.089 | 24.733 | 24.954 |
| DERIVADOS DA CANA | 3.559 | 3.821 | 4.238 | 4.619 | 4.504 | 4.481 | 4.695 | 6.357 | 7.149 | 8.170 | 9.123 | 9.643 | 11.403 | 14.500 | 15.369 | 11.677 | 10.343 | 20.577 | 19.535 | 19.346 | 18.368 | 19.343 | 20.342 | 20.244 | 22.773 |
| OUTRAS RENOVÁVEIS | 63 | 176 | 238 | 256 | 282 | 310 | 350 | 417 | 506 | 739 | 881 | 888 | 928 | 970 | 1.105 | 1.356 | 1.512 | 1.542 | 1.657 | 1.754 | 1.793 | 1.902 | 2.338 | 2.562 | 2.680 |
| TOTAL | 66.966 | 70.298 | 75.307 | 82.157 | 87.810 | 91.386 | 96.930 | 99.653 | 100.565 | 112.376 | 114.638 | 110.832 | 112.131 | 115.386 | 123.344 | 131.006 | 136.387 | 142.741 | 144.354 | 146.812 | 142.041 | 144.933 | 145.929 | 143.659 | 157.382 |

Figura 7. Passo 3 para criar gráficos
Fonte: Elaborado pela autora

4. Consultar Tabela 1.3.a : OFERTA INTERNA DE ENERGIA (em % do total)

TABELA 1.3.b
OFERTA INTERNA DE ENERGIA

| | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| FONTES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ENERGIA NÃO RENOVÁVEL | 41,7 | 43,8 | 45,5 | 49,2 | 50,9 | 52,0 | 54,2 | 56,2 | 56,1 | 54,5 | 52,6 | 52,2 | 49,1 | 41,5 | 48,4 | 49,6 | 49,4 | 49,8 | 49,9 | 51,2 | 51,9 | 52,7 | 53,1 | 53,6 | 53,6 |
| PETRÓLEO E DERIVADOS | 37,7 | 39,8 | 41,6 | 45,6 | 47,2 | 47,8 | 49,3 | 49,1 | 50,5 | 50,4 | 48,3 | 46,2 | 45,3 | 41,3 | 37,7 | 37,6 | 39,5 | 39,7 | 39,2 | 39,2 | 40,7 | 40,8 | 41,7 | 42,1 | 42,4 |
| GÁS NATURAL | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 1,2 | 1,7 | 2,0 | 2,2 | 2,5 | 2,8 | 2,9 | 3,1 | 3,0 | 3,1 | 3,3 | 3,3 | 3,3 |
| CARVÃO MINERAL E COQUE | 3,6 | 3,5 | 3,4 | 3,1 | 3,1 | 3,5 | 3,6 | 4,3 | 4,7 | 4,8 | 5,1 | 5,2 | 5,4 | 5,9 | 6,9 | 7,6 | 7,4 | 7,5 | 7,3 | 6,8 | 7,6 | 7,3 | 7,4 | 7,2 | |
| URÂNIO (SUJ) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |
| OUTRAS NÃO RENOVÁVEIS | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| ENERGIA RENOVÁVEL | 58,3 | 56,2 | 54,5 | 50,8 | 49,1 | 48,0 | 45,8 | 43,8 | 43,9 | 45,5 | 47,4 | 47,8 | 50,9 | 52,5 | 51,6 | 50,4 | 50,6 | 50,2 | 50,1 | 48,8 | 48,1 | 47,3 | 46,9 | 47,0 | |
| BIOMASSA* | 5,1 | 5,3 | 5,8 | 6,1 | 6,4 | 6,6 | 7,4 | 8,1 | 6,4 | 8,9 | 9,6 | 10,2 | 10,8 | 11,3 | 11,6 | 11,0 | 12,1 | 12,2 | 13,3 | 14,1 | 14,5 | 14,6 | 15,1 | 15,0 | |
| LENHA E CARVÃO VEGETAL | 47,6 | 45,2 | 42,7 | 38,8 | 37,1 | 36,3 | 33,2 | 30,9 | 28,2 | 27,0 | 27,1 | 27,6 | 26,0 | 26,2 | 27,0 | 25,1 | 23,9 | 23,0 | 22,8 | 22,4 | 20,1 | 19,4 | 17,2 | 16,8 | 16,8 |
| DERIVADOS DA CANA | 5,4 | 5,4 | 5,7 | 5,6 | 5,2 | 4,6 | 6,4 | 6,8 | 7,3 | 8,0 | 8,8 | 10,2 | 12,6 | 13,0 | 13,6 | 13,2 | 14,4 | 13,5 | 13,2 | 13,4 | 13,8 | 13,9 | 13,5 | 14,5 | |
| OUTRAS RENOVÁVEIS | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,6 | 1,7 | |
| TOTAL | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | |

Figura 8. Passo 4 para criar gráficos
Fonte: Elaborado pela autora

5. Criar a Tabela 1.3.c tendo como base a tabela 1.3.a: OFERTA INTERNA DE ENERGIA (em % das energias renováveis)

a. Para cada célula (ano) da tabela 1.3.a aplicar a fórmula: $\frac{OEF * 100}{OERT}$. Na qual:

OEF: Oferta de Energia da Fonte Renovável analisada

OERT: Oferta de Energia Renovável Total daquele ano

Exemplo:

Para a energia Hidráulica no ano de 1970, temos na tabela 1.3.a o valor 3420 10³tep, que será o nosso OEF da fórmula, enquanto o total de energia renovável daquele ano (OERT) é de 39.028 10³tep. Logo a porcentagem da oferta de energia interna da Hidráulica em relação ao total de energia renovável daquele ano será de:

$$\frac{3420 * 100}{39.028} \cong 8,8\%$$

Figura 9. Passo 5 para criar gráficos
Fonte: Elaborado pela autora

6. Criar a Tabela 1.3.d tendo como base a tabela 1.3.a: CRESCIMENTO DA OFERTA INTERNA DE ENERGIA (em %)

a. Para cada célula (ano) da tabela 1.3.a aplicar a fórmula:

$$\frac{(OEFA_t - OEFA_{nt}) * 100}{OEFA_{nt}}$$

OEFA_t: Oferta de Energia da Fonte Renovável do ano Atual
OEFA_{nt}: Oferta de Energia da Fonte Renovável do ano Anterior

Exemplo:

Para a energia Hidráulica no ano de 1971, temos na tabela 1.3.a o valor 3712 10³tep, que será o nosso *OEFA_t* da fórmula, no ano anterior (1970), o valor é de 3420 10³tep, que será o *OEFA_{nt}*. Logo a porcentagem do crescimento da oferta de energia interna da Hidráulica em 1971 em relação ao ano anterior será de:

$$\frac{(3712 - 3420) * 100}{3420} \cong 8,5\%$$

Figura 10. Passo 6 para criar gráficos
Fonte: Elaborado pela autora

7. Criar a Tabela 1.3.e tendo como base a tabela 1.3.a: CRESCIMENTO DA OFERTA INTERNA DE ENERGIA (em 10³ tep)

a. Para cada célula (ano) da tabela 1.3.a aplicar a fórmula: $OEFA_t - OEFA_{nt}$. Na qual:

$OEFA_t$: Oferta de Energia da Fonte Renovável do ano Atual

$OEFA_{nt}$: Oferta de Energia da Fonte Renovável do ano Anterior

Exemplo:

Para a energia Hidráulica no ano de 1971, temos na tabela 1.3.a o valor 3712 10³tep, que será o nosso $OEFA_t$ da fórmula, no ano anterior (1970), o valor é de 3420 10³tep, que será o $OEFA_{nt}$. Logo o crescimento da oferta de energia interna em 10³tep da Hidráulica em 1971 em relação ao ano anterior será de:

$$3712 - 3420 = 292 \text{ } 10^3 \text{ tep}$$

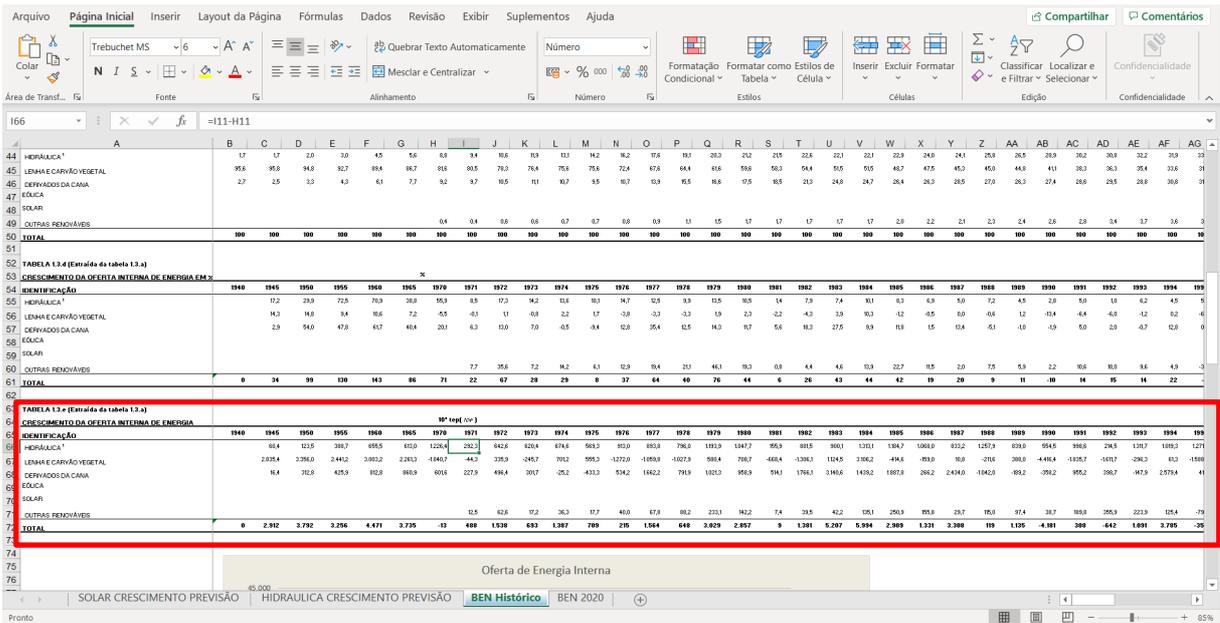


Figura 11. Passo 7 para criar gráficos
Fonte: Elaborado pela autora

8. Com as tabelas montadas, criar os gráficos (os passos são os mesmos para os gráficos montados a partir de valores pré-definidos):

a. Selecionar os dados desejados

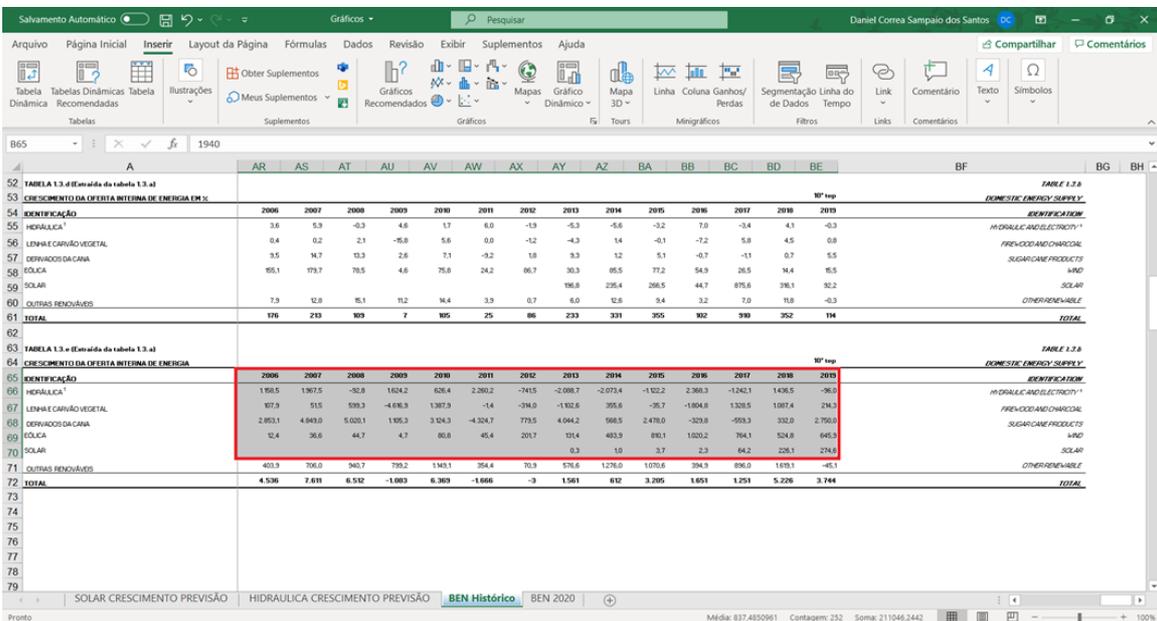


Figura 12. Passo 8.a para criar gráficos
Fonte: Elaborado pela autora

b. Vá em Inserir > Gráficos > Gráfico de Linha

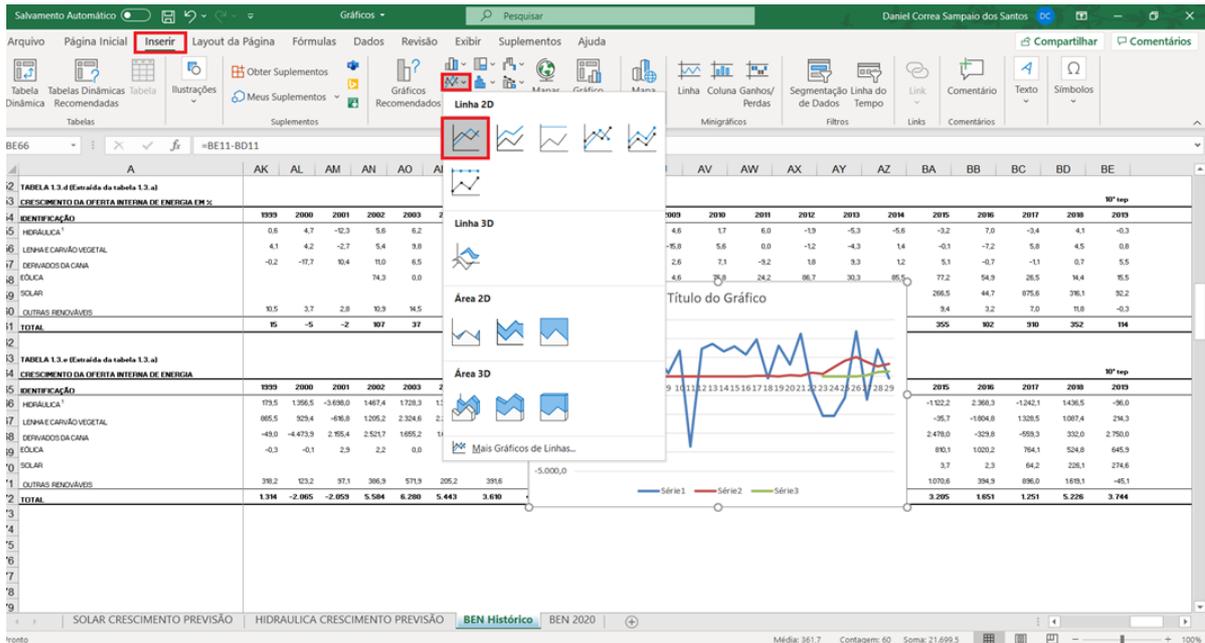


Figura 13. Passo 8.b para criar gráficos
Fonte: Elaborado pela autora

- c. Formate o gráfico para ficar do jeito que preferir (com legendas, títulos, mudar cor, etc) acessando a aba Design do Gráfico

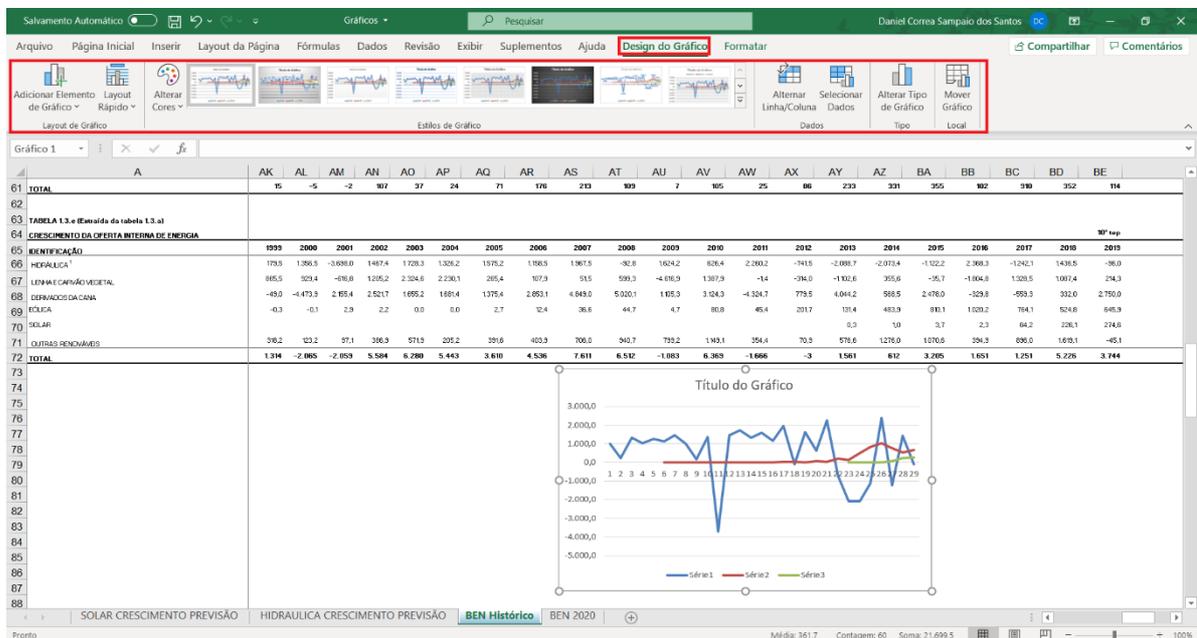


Figura 14. Passo 8.c para criar gráficos
Fonte: Elaborado pela autora

9. Para criar gráficos de tendência, siga os seguintes passos:

- a. Vá na Aba Dados e clique em Planilha de Previsão:

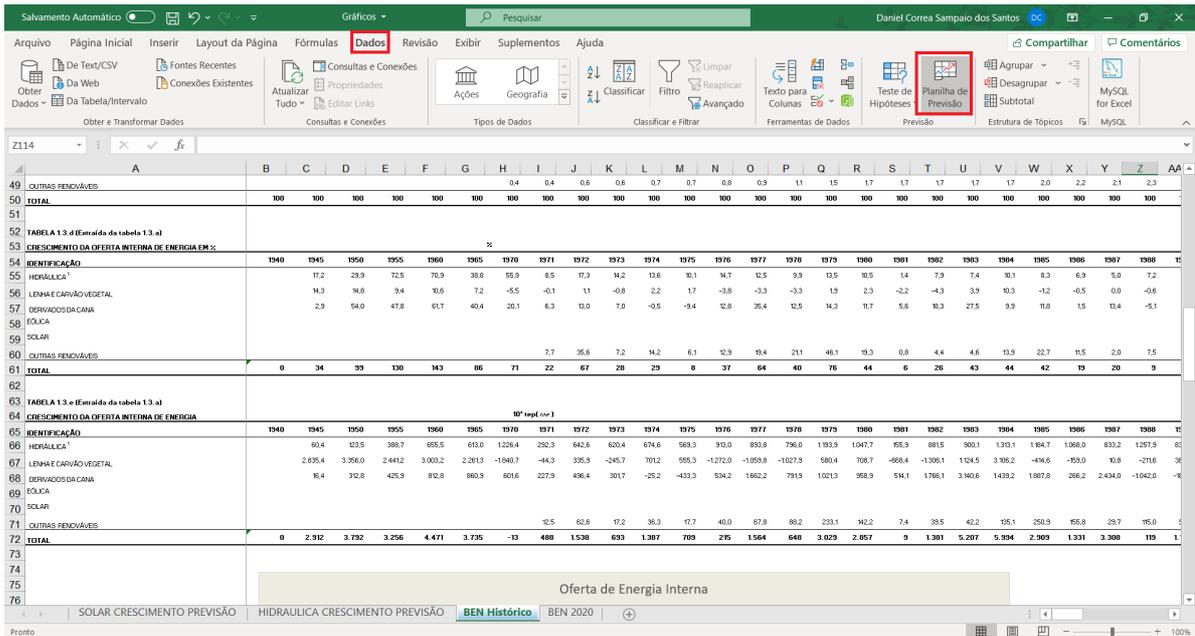


Figura 15. Passo 9.a para criar gráficos
Fonte: Elaborado pela autora

b. Irá abrir uma janela, clique em Opções nesta janela:

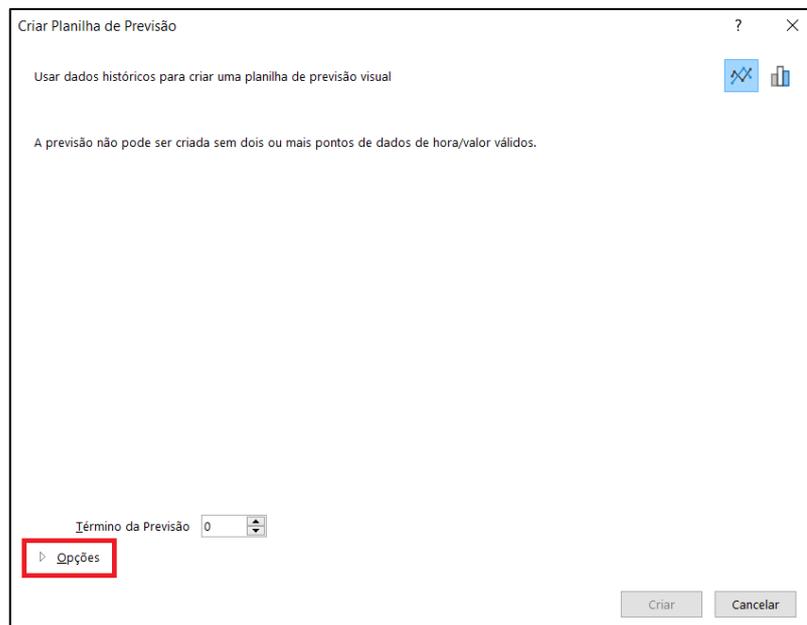


Figura 16. Passo 9.b para criar gráficos
Fonte: Elaborado pela autora

c. Edite os parâmetros e os valores dos dados conforme o gráfico a ser gerado:

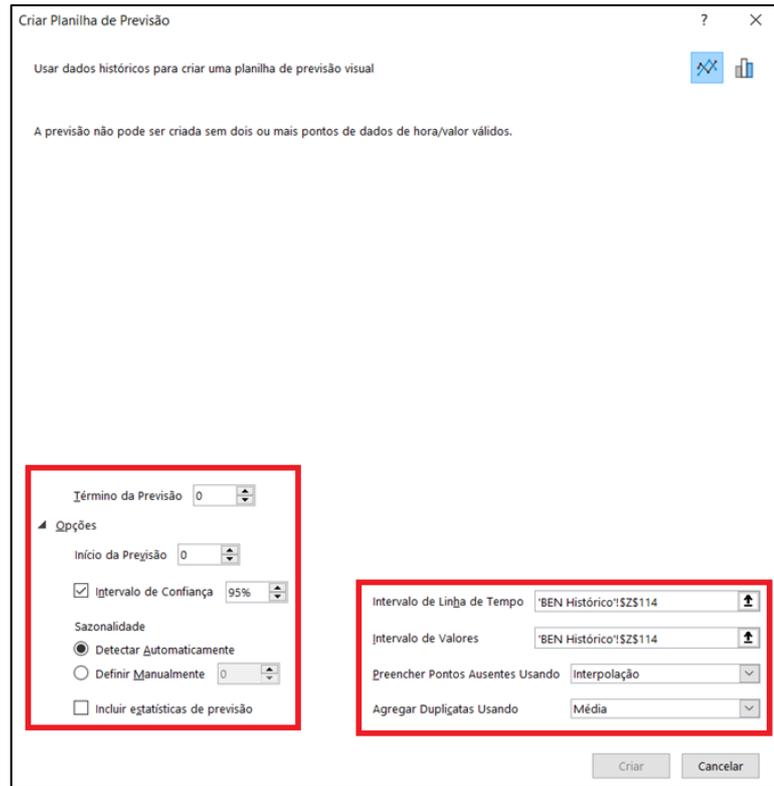


Figura 17. Passo 9.c para criar gráficos
Fonte: Elaborado pela autora

- d. Para o gráfico de previsão da hidráulica, a linha do tempo foi de 1970 até 2019 e os dados correspondentes de cada ano, além disso, foi selecionado o ano 2000 como ano de início da previsão:

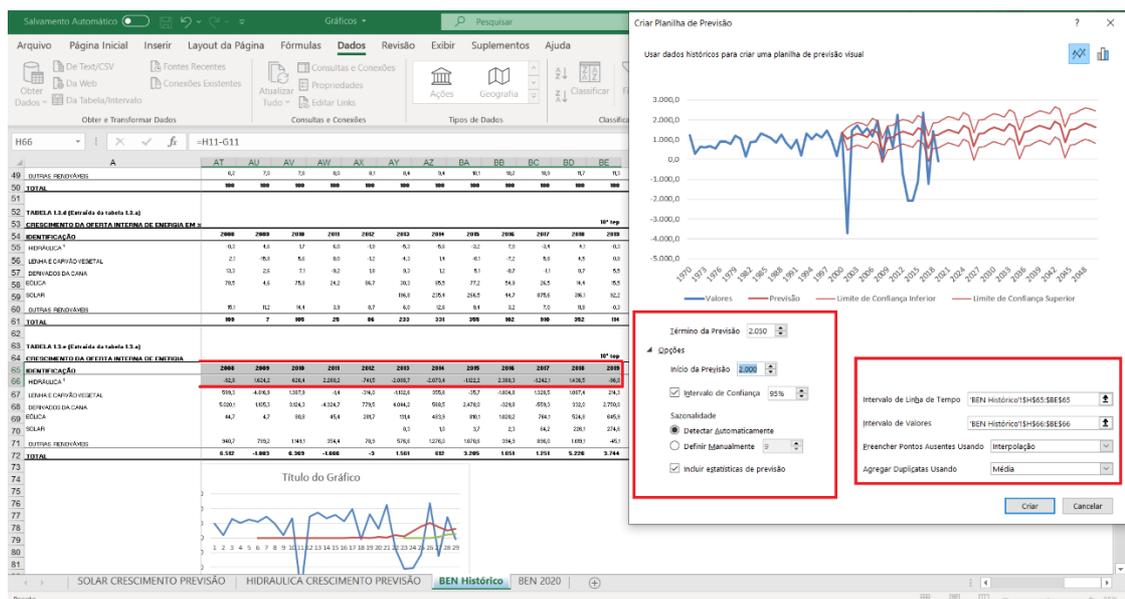


Figura 18. Passo 9.d para criar gráficos
Fonte: Elaborado pela autora

10. Por fim, formate os gráficos criados pela planilha de previsão inserindo os títulos, eixos, cores, etc.

11. Para o gráfico da Participação da energia Fotovoltaica na matriz energética (%) os dados foram baseados no Plano Decenal de Energia até 2030. Na tabela XX estão as previsões, decorrentes de curvas exponenciais, que dependem dos parâmetros elencados que interferem na utilização da energia fotovoltaica.

Tabela 8: Participação na matriz energética

| | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 | 2034 | 2035 |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Parâmetros | 0,09 | 1,1 | 2,11 | 2,12 | 3,13 | 4,14 | 5,15 | 6,16 | 7,17 | 8,18 | 9,19 | 9,2 | 9,21 | 10,2 | 10,2 | 10,2 |
| Evolução | 0,2 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Queda | 0,0 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Meio ambiente. | 0,1 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Governo | 1,0 | 0,8 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,0 |
| Simulação1 | 1,6 | 2,3 | 2,7 | 3,0 | 3,1 | 3,3 | 3,4 | 3,4 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,6 | 3,6 | 3,6 | 3,6 |
| Simulação2 | 1,7 | 2,5 | 3,1 | 3,6 | 4,0 | 4,4 | 4,7 | 4,9 | 5,1 | 5,2 | 5,4 | 5,5 | 5,6 | 5,6 | 5,7 | 5,7 |
| Simulação3 | 1,7 | 2,2 | 2,6 | 2,8 | 3,0 | 3,2 | 3,4 | 3,5 | 3,6 | 3,7 | 3,8 | 3,9 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,1 |

Fonte: Elaborado pela autora a partir de BRASIL – EPE, 2020.

Parâmetros que impactam na instalação de sistema fotovoltaico:

- ✓ evolução dos preços em função da potência em kWp;
- ✓ queda do preço das fontes fotovoltaicas nos leilões;
- ✓ benefícios ambientais;
- ✓ os incentivos governamentais (cada vez menores).

Linha 1: correspondem aos anos de 2020 a 2035 (Plano PDE do Brasil até 2035)

Linha 2: valores crescentes ao ano que têm um pequeno percentual aleatório

Linha 3: evolução dos preços em função da potência em kWp

Linha 4: queda do preço das fontes fotovoltaicas nos leilões

Linha 5: taxa de benefícios ambientais

Linha 6: taxa de incentivos governamentais

Linha 7: Simulação 1

Linha 8: Simulação 2

Linha 9: Simulação 3

PARTICIPAÇÃO NA MATRIZ ENERGÉTICA = PME

$$PME = 1,15 + 1 / \{1 + \exp[-(a * eppkw + b * qpfl + c * txba - d * txig)]\}$$

a, b e c são constantes atribuídas a cada versão da previsão gráfica, gerando inclinações diferentes.

1,15 é um valor inicial que contempla a participação atual da energia fotovoltaica na matriz elétrica

3 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados do presente estudo. Apresenta-se a projeção futura da evolução da oferta de energia, demonstrada por meio de gráficos, com o intuito de alcançar o objetivo proposto inicialmente, de realizar uma comparação entre fonte hidrelétrica e fotovoltaica com relação ao crescimento da oferta de energia, até o ano de 2050.

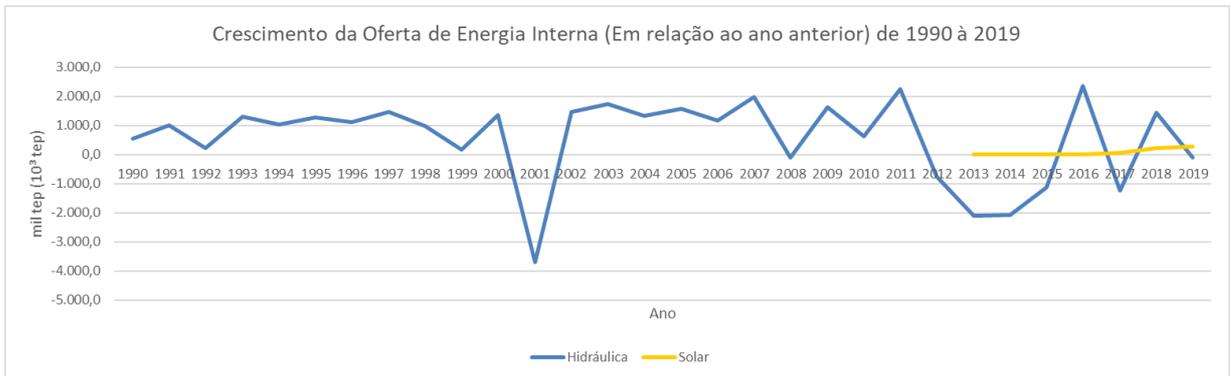
3.1 PROJEÇÃO FUTURA DA EVOLUÇÃO DA OFERTA DE ENERGIA

Diante das discussões apresentadas, e depois de reunir tantas informações, chegou-se ao questionamento de como o presente estudo poderia somar ao lado de tantos trabalhos relevantes na temática. Ficou evidente que apenas olhar para o passado e presente não eram suficientes para confirmar o potencial dos sistemas fotovoltaicos no cenário energético brasileiro.

Sendo assim, buscou-se elaborar uma projeção, para que houvesse uma comparação entre fonte hidrelétrica e fotovoltaica. Para alcançar este objetivo, utilizou-se o software Excel do Office 365, a partir da ferramenta Planilha de previsão, dentro da aba “Dados”, para gerar os gráficos apresentados no presente estudo (MICROSOFT – SUPORTE, 2020).

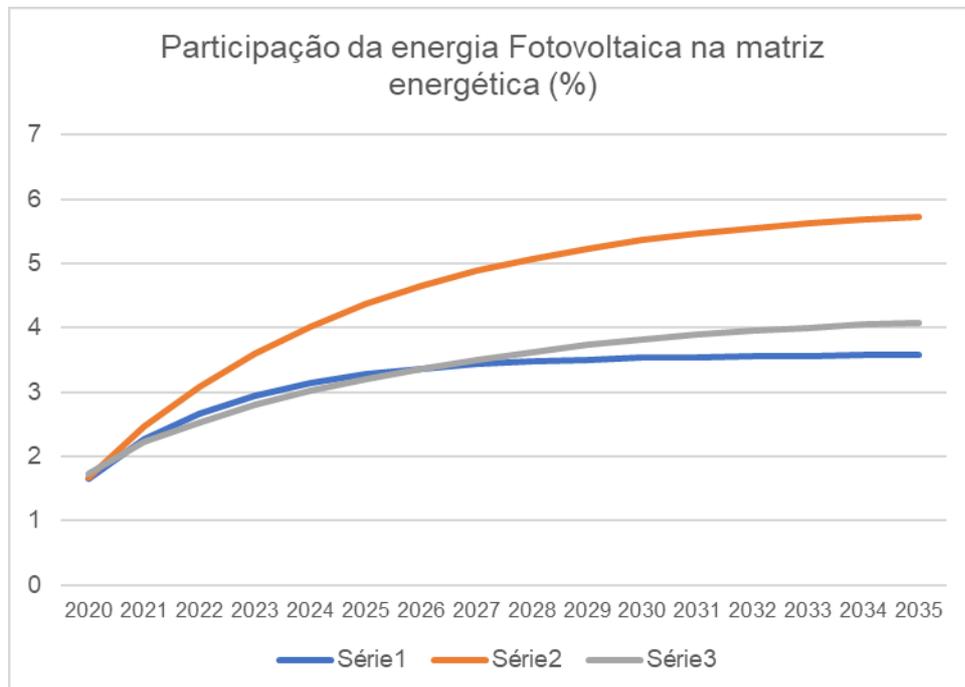
Com base nos dados disponibilizados pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE, elaborou-se três gráficos, sendo que o primeiro demonstra o crescimento da oferta de energia interna no período de 1990 a 2019 (Gráfico 1), o segundo demonstra a participação da energia Fotovoltaica na matriz energética (%) (Gráfico 2) e o terceiro ilustra a da previsão de crescimento da energia hidráulica por ano no período de 2013 a 2050 (Gráfico 3).

Analisando o Gráfico 1, pode-se observar que a variação da oferta de Energia Interna está relacionada diretamente com a sazonalidade das chuvas e conseqüentemente com o regime dos rios. Todas essas variações trazem instabilidade ao sistema brasileiro de energia elétrica o que ocasiona preocupações no que diz respeito a projeção da criação e utilização de outra forma de energia abundante em nosso país e que possa auxiliar na expansão do nosso sistema energético (GOMES, 2007).

Gráfico 1. Gráfico do crescimento da oferta de energia interna no período de 1990 a 2019

Fonte: Elaborado pela autora a partir de BRASIL – EPE, 2020.

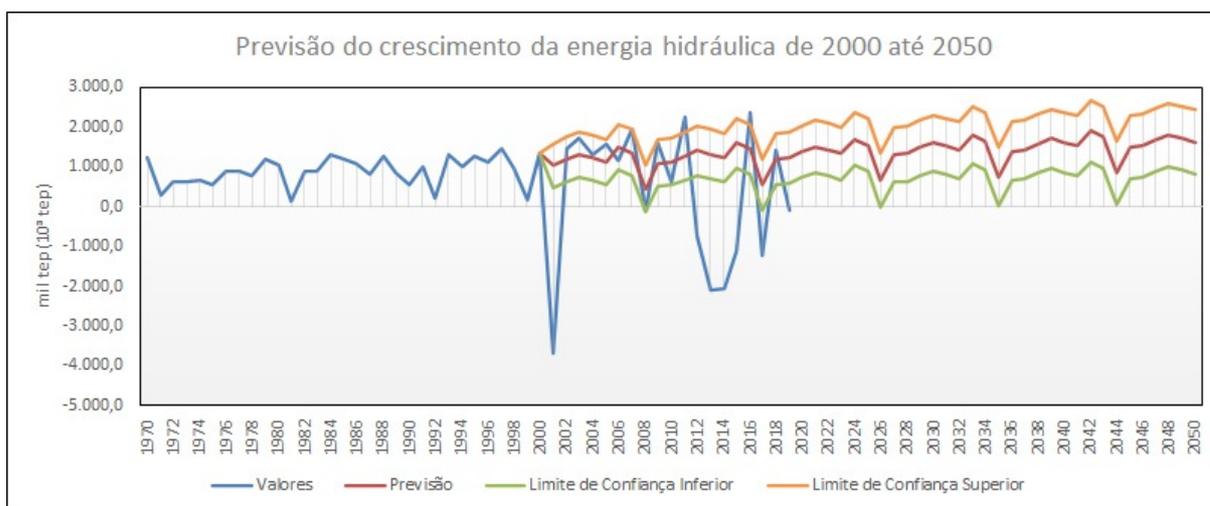
O gráfico 2, referente à Participação da energia Fotovoltaica na matriz energética inicia no ano de 2020 e vai até 2035. A previsão se inicia após a implantação de duas grandes usinas no país. Devido ao seu crescimento dos últimos 3 anos, como pode ser observado na Tabela 7, apresentada anteriormente, houve uma projeção bastante positiva. Nesta projeção, mesmo o cenário de futuro mais cético permitiria ratificar a viabilidade da implantação da energia fotovoltaica no Brasil, como um empreendimento lucrativo e eficiente a longo prazo.

Gráfico 2. Participação da energia Fotovoltaica na matriz energética (%)

Fonte: Elaborado pela autora a partir de BRASIL – EPE, 2020.

O gráfico da previsão de crescimento da energia hidráulica foi elaborado a partir de 1970, porém a previsão inicia no ano 2000, pois devido as crises energéticas de 2001 e 2013, a previsão ficaria impactada e com muitas instabilidades (Gráfico 3).

Gráfico 3. Gráfico da previsão de crescimento da energia hidráulica por ano no período de 2013 a 2050



Observação: Previsão mais otimista em amarelo, previsão mais pessimista em verde, em vermelho temos a média.

Fonte: Elaborado pela autora a partir de BRASIL – EPE, 2020.

Este gráfico mostra uma grande instabilidade nos períodos de 2001 e 2014 que se repetem conforme demonstrado na curva. Essas anormalidades aconteceram em 2001 devido à crise hídrica em tempos de seca na região de Minas Gerais, região onde se encontrava mais de 50% das barragens das hidrelétricas. Já na crise de 2014, o que aconteceu é que os rios voadores da região do Amazonas, combinado com frentes frias ocasionou um fenômeno denominado bloqueio atmosférico, que acarretou baixíssimos índices pluviométricos (GOMES, 2007; MARENGO *et al.*, 2015).

Durante o período de 2001 a 2015, houve tanta instabilidade na contribuição das hidrelétricas na matriz energética devido à crise hídrica que os cálculos de previsão não conseguem ter nenhuma resposta. Foram utilizados dados de 1970 a 2000 para construção da curva de geração de energia através das usinas hidrelétricas que podemos observar certa coerência com a realidade das crises que aparecem de tempos em tempos vista no gráfico real. O crescimento da geração de energia tendo como fonte a energia hidráulica não apresenta crescimento considerável na projeção

para 2050. O gráfico apresenta um crescimento anual e não crescimento acumulado. Nota-se que sempre aparece uma queda na produção devido a sazonalidade do clima e conseqüentemente estação de chuvas (GOMES, 2007; MARENGO et al., 2015).

4. DISCUSSÃO

Analisando o gráfico 1, pode-se inferir que atualmente as fontes de energias limpas e renováveis estão se tornando a cada dia, mais atraentes, por serem motivo de emissões zero de gases de efeito estufa e por terem suprimento inesgotável. Por serem eleitas como uma forma de geração que promovem a comercialização de créditos de carbono, recebem inúmeros incentivos para sua implementação. Outra condição favorável para investidores estarem sendo atraídos para esse mercado é que a energia solar sofre menor variação de preços que os combustíveis fósseis, sendo esses empreendimentos considerados de baixo risco.

A política internacional visa uma grande preocupação com a emissão de gases nocivos a atmosfera o que faz da energia fotovoltaica uma das fontes mais promissoras como fonte de energia elétrica. Dessa maneira, para um país nos dias de hoje poder vislumbrar uma matriz energética atual e engajada no contexto da política de combate aos efeitos dos gases de efeito estufa, é necessário que a ideia da implantação de parques ou fazendas fotovoltaicas se torne uma realidade mais próxima possível (OLIVEIRA, OLIVEIRA e GOMES, 2017).

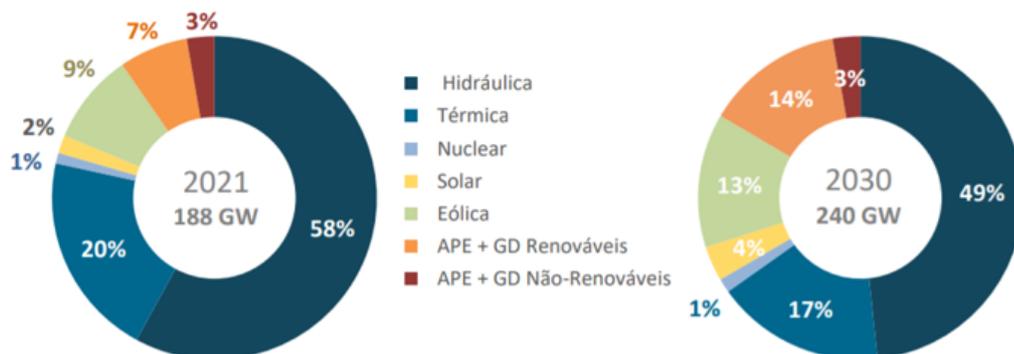
Os incentivos para essa fonte precisam ser generosos, de maneira que assim como a Alemanha e outros países desenvolvidos o fizeram, o Brasil volte seu olhar para outras formas de produção de energia. A expansão da matriz energética de um país está diretamente relacionada com seu progresso e aumento do PIB. Nossa país situa-se geograficamente privilegiado quanto aos recursos naturais da luz solar, o que torna quase uma obrigatoriedade utilizá-lo (OLIVEIRA, OLIVEIRA e GOMES, 2017).

Tendo por modelo o que houve na Alemanha, no que tange ao desenvolvimento econômico e ainda com a preocupação de investidores internacionais com a política do meio ambiente, o Brasil só tem a se beneficiar com a instalação e expansão da energia fotovoltaica, podendo através desse sistema de energia alcançar localidades de difícil acesso das linhas de transmissão e colaborando, portanto, com o desenvolvimento estratégico de regiões remotas (OLIVEIRA, OLIVEIRA e GOMES, 2017).

Com dados extraídos de medições da ANEEL de 2016, o Brasil aparece com uma contribuição de 0,02% o que representa um valor muito aquém de seu potencial de geração de energia fotovoltaica. Através do gráfico podemos avaliar que a energia fotovoltaica no Brasil irá ocupar lugar de destaque por ser um país com enorme potencial como produtor de energia por ter condição geográfica privilegiada e receber grande incidência de luz solar.

O Plano Decenal de Expansão de Energia para 2030 discute os objetivos do PDE como documento de facilitação de acesso à informação relevante para a tomada de decisões no setor de energia. De acordo com o PDE a energia fotovoltaica variará entre 2% e 4% na participação da matriz energética brasileira (Figura 19), e a previsão apresentada no gráfico 2 tem resultados coerentes com as metas estipuladas pelo governo (EPE, 2020).

Figura 19. Evolução da composição da capacidade instalada total por fonte



Fonte: EPE, 2020

Neste contexto, vale citar que os estudos de SILVA *et. al.* (2018) apontam que até 2050, o Brasil deve possuir 37 GW proveniente de geração distribuída de fonte fotovoltaica. Segundo os autores a demanda desta fonte energética deve avançar de forma exponencial nos próximos 20 anos. Importante destacar também que os valores encontrados por OLIVEIRA *et. al.* (2018) com relação ao custo específico de geração da energia, reforçam o discurso que o ponto de vista econômico também é beneficiado pela geração de energia a partir de fontes renováveis, além do lado ambiental, concordando com os resultados encontrados neste presente estudo.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho iniciou com o objetivo de reunir dados sobre as principais fontes de energia renovável, e por meio de uma comparação entre fonte hidrelétrica e fotovoltaica, inferir uma projeção da evolução da oferta de energia por meio dos sistemas fotovoltaicos. A pesquisa aprofundou-se na energia fotovoltaica no Brasil, levantando informações sobre as principais usinas e suas particularidades técnicas. Para alcançar o objetivo, gerou-se uma projeção futura de oferta de energia, demonstrando graficamente a evolução da energia fotovoltaica em comparação com a energia de fonte hidráulica.

Pela comparação entre os gráficos podemos observar que a contribuição para o sistema geração e distribuição de energia elétrica a fotovoltaica terá um futuro promissor:

Simulação 1: inicia o ano de 2020 com uma participação de $\square 1,7\%$ na matriz energética e chega ao ano de 2035 com a menor participação das três simulações, aproximadamente 3,6%. O valor menor de constante $a (0,093)$ dentre as três simulações, que é a constante que multiplica o parâmetro $(eppkw)$, foi preponderante para que esta simulação tivesse ao final, no ano de 2035, o menor valor de participação fotovoltaica na matriz energética.

Simulação 2: inicia o ano de 2020 com uma participação de $\square 1,7\%$ na matriz energética e chega ao ano de 2035 com a maior participação das três simulações, aproximadamente 5,8%. Possui valores maiores das constantes que controlam as variações dos parâmetros, o que leva a concluir que considerando o aumento proporcional ao longo dos anos dos três primeiros parâmetros, são um indicador de garantia de maior crescimento da energia fotovoltaica. O valor da constante do parâmetro de incentivos governamentais utilizado $(0,24)$, atenua de modo pouco significativo o índice de participação na matriz energética, e não foi fator determinante para impedir o maior valor de projeção das três simulações, significando que no modelo proposto o parâmetro de queda nos incentivos governamentais tem uma relevância menor comparativamente a parâmetros da variação dos preços e da questão ambiental.

Simulação 3: inicia o ano de 2020 com uma participação de $\square 1,7\%$ na matriz energética e chega ao ano de 2035 com a participação mediana das três simulações, aproximadamente 4,0%. É a simulação que mais se aproxima do Plano Decenal de

Expansão de Energia até 2030, proposto pelo Governo. Esta simulação possui o maior valor para o parâmetro de incentivos fiscais (1,0), o que certamente pode ter afetado a sua variação. Esta simulação ultrapassa em valores o gráfico da simulação 1 no ano de 2027. Possui valores menores que a simulação 1 para as constantes b e c, indicando que os parâmetros (qpfl e txba) que são multiplicados por essas constantes não são tão determinantes na projeção final da participação energética fotovoltaica, de acordo com este modelo.

Os resultados apresentados neste trabalho destacaram o potencial de crescimento dos sistemas fotovoltaicos.

5.1 Trabalhos futuros

Por se tratar de assunto controverso e por estar gerando discussões acaloradas no mundo moderno, esse trabalho pretende dar oportunidades a novos estudos comparativos, onde os vários tipos de fontes energéticas renováveis e limpas são pesquisados e analisados, no que diz respeito a sua implementação e viabilização sob o aspecto dos impactos sociais, ambientais e econômicos por elas produzidos.

A visão positiva dos impactos produzidos pela geração de energia elétrica, através de fonte de energia solar, pode ser amplamente discutida por outros artigos de relevância, tornando esse tema ainda passivo de muitas análises.

REFERÊNCIAS

- ALCOVER, P. R. C. **A utilização de energia dos oceanos aplicada a processos em plataformas “offshore”**. 2017. 21 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização (Processamento de Energias Renováveis) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.
- ALDABÓ, R. **Energia solar**. São Paulo: Artliber editora, 2002. 155 p.
- ALVES, J. J. A. Análise regional da energia eólica no Brasil. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 6, n. 1, 2010.
- ANJOS, H. V. P. **Estimativa do potencial mundial e brasileiro do aproveitamento da energia geotérmica para geração de eletricidade e uso direto**. 2018. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: UFRJ/ESCOLA POLITÉCNICA, 2018.
- ARBOIT, N. K. S.; DECEZARO, S. T.; AMARAL, G. M.; LIBERALESSO, T.; MAYER, V. M.; KEMERICH, P. D. C. Potencialidade de utilização da energia geotérmica no Brasil – uma revisão de literatura. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 26, p. 155-168, 2013.
- BAHAJ, A. S. Generating electricity from the oceans. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 3399-3416, set. 2011.
- BARBOSA FILHO, W. P.; FERREIRA, W. R.; AZEVEDO, A. C. S.; COSTA, A. L.; PINHEIRO, R. B. Expansão da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: Impactos Ambientais e Políticas Públicas. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 4, p.628-642, dez. 2015. DOI: 10.19177/rgsa.v4e02015628-642
- BIOSAR. **Pirapora Phase II**. (Website) Disponível em: https://www.biosar.gr/projects_brazil_connected/arthro/pirapora_phase_ii-15556583/ Acesso em: 09 mar. 2020.
- BERTANI, R. Geothermal Power Generation in the World 2010 – 2014 update Report. **Geothermics**, v. 60, p. 31-43, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2015.11.003>
- BORGES, R. R.; MEIRA, Renata Leite. Impactos Socioambientais de Pequenas Centrais Hidrelétricas e Estudo de Caso PCH-Queluz-SP e Lavrinhas-SP no Rio Paraíba do Sul. **Cadernos UniFOA**, v. 4, n. 1 (Esp.), 2009.
- BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **Resolução 394, de 04 de dezembro de 1998**. Estabelece os critérios para o enquadramento de empreendimentos hidrelétricos na condição de pequenas centrais hidrelétricas. Brasília: DOU de 07/12/1998.
- BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **Resolução 652, de 09 de dezembro de 2003**. Estabelece os critérios para o enquadramento de aproveitamento hidrelétrico na condição de Pequena Central Hidrelétrica (PCH). Brasília: DOU de

10/12/2003a.

BRASIL, Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2.ed. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília: ANEEL, 2005.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **Resolução Normativa Nº 673, de 4 de agosto de 2015**. Estabelece os requisitos e procedimentos para a obtenção de outorga de autorização para exploração de aproveitamento de potencial hidráulico com características de Pequena Central Hidrelétrica – PCH. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015673.pdf> Acesso em: 11 fev. 2020.

BRASIL, Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Plano de Dados Abertos 2016-2017**. Informações Gerenciais – Tópico: Geração. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/documents/656835/15191504/DD_IG_1_1a_f_II/cdafdee5-efa9-eacc-f0a3-ec3e2ec923bf Acesso em: 04 fev. 2020.

BRASIL, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Energia: Infraestrutura. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/bndes-aprova-1-financiamento-para-gera-o-solar-de-r-529-mi> Acesso em: 03 mar. 2020.

BRASIL-Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica> Acesso em: 09 jan. 2020.a

BRASIL, Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Fontes de energia**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia> Acesso em: 28 jan. 2020.b

BRASIL, Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Balanco Energético Nacional 2019: Relatório Síntese / Ano Base 2018**. EPE: Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf> Acesso em: 03 mar. 2020c.

BRASIL, Empresa de Pesquisa Energética - EPE. **Capítulo 2 (Oferta e Demanda de Energia por Fonte) 1970-2019**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas> Acesso em: 20 ago. 2020d.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia (MME). **Resenha Energética Brasileira 2019 – EXERCÍCIO DE 2018. EDIÇÃO DE MAIO DE 2019**. Disponível em: <https://www.eletronuclear.gov.br/Imprensa-e-Midias/Documents/Resenha%20Energ%C3%A9tica%202018%20-MME.pdf> Acesso em: 09 jan. 2020a.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia (MME). **Energia renovável**. Disponível em: http://www.mme.gov.br/web/guest/todas-as-noticias/-/asset_publisher/pdAS9lcdBICN/content/energia-renovavel-tera-investimento-de-r-

226-bilhoes-nos-proximos-dez-anos Acesso em: 01 mar. 2020b.

CAMPOS, A. F.; SCARPATI, C. B. L.; SANTOS, L. T.; PAGEL, U. R.; SOUZA, V. H. A. Um panorama sobre a energia geotérmica no Brasil e no Mundo: Aspectos ambientais e econômicos. **Revista Espacios**, v. 38 n, 1, 2017. ISSN: 0798-1015

CANTONI, A. Avaliação do desempenho de um algoritmo de posicionamento de placas fotovoltaicas. 2017. 89p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

CARDOSO, E. M. **A energia nuclear**. 3.ed. Rio de Janeiro: CNEN, 2012. (Apostila educativa)

CERCONI, C.; MELQUIADES, F. L.; TOMINAGA, T. T. Energia nuclear, o que é necessário saber? **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v.11, n. 1, jan/jun 2009.

COYLE, E. D.; SIMMONS, R. A. **Understanding the global energy crisis**. Purdue University Press, 2014.

DUPONT, F. H.; GRASSI, F.; ROMITTI, L. **Energias Renováveis**: buscando por uma matriz energética sustentável. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*. Santa Maria, v. 19, n. 1, Ed. Especial, p. 70 – 81, 2015. DOI: 105902/2236117019195

FEARNSIDE, P.M. **A hidrelétrica de Belo Monte como fonte de gases de efeito estufa: Desafios para midiaticização da ciência na Amazônia**. p. 287-294, 2015. *In: Hidrelétricas na Amazônia: Impactos Ambientais e Sociais na Tomada de Decisões sobre Grandes Obras*. Vol. 1. Editora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, 2015. 296 pp. ISBN: print: 978-85-211-0143-7 online: 978-85-211-0151-2

FIORI, R. A. F. **Matriz energética brasileira**: as energias renováveis à luz das conferências internacionais do clima e do meio ambiente. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso em Bacharel em Administração Pública. Universidade Federal Fluminense, 2016.

FONSECA, I. F. A construção de grandes barragens no Brasil, na China e na Índia: similitudes e peculiaridades dos processos de licenciamento ambiental em países emergentes *In: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – Ipea. Texto para discussão*. Rio de Janeiro: Ipea, 2013.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. São Paulo: USP, 2012.

GOMES, Victor José Ferreira. O Meio Ambiente e o risco de apagão no Brasil. *In: Anais do II Seminário Internacional sobre reestruturação e regulação do setor de energia elétrica e gás natural*. 2007 Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, setembro de 2007. Rio de Janeiro: Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Grupo de Estudos do Setor Elétrico - GESEL.

Disponível em:
http://www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/seminariointernacional2007/artigos/pdf/victorjose_om_eioambiente.pdf Acesso em: 19 out. 2020.

LAGE, E. S.; PROCESSI, L. D. Panorama do setor de energia eólica. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, n. 39, p. 183-205, jun. 2013.

LAGRIMANTE, D.; LANDIM, L. P.; CRUZ, V.; AMARANTE, M. Estudo da Aplicação de Energia Fotovoltaica. **Pesquisa e Ação**, v. 4, n. 1, mai. 2018. ISSN 2447-0627

LATINI, J. R.; PEDLOWSKI, M. A. Examinando as contradições em torno das Pequenas Centrais Hidrelétricas como fontes sustentáveis de energia no **Brasil. Desenvol. Meio Ambiente**, Edição Especial Nexo Água e Energia, v. 37, mai. 2016. DOI: 10.5380/dma.v37i0.42599

LE PAGE, M.; ANANTHASWAMY, A. **Power paradox: Clean might not be green forever.** New Scientist (website). Disponível em: <https://www.newscientist.com/article/mg21328491-700-power-paradox-clean-might-not-be-green-forever/#ixzz6B10DEDfD> Acesso em: 14 jan. 2020.

LIMA, L. C. A.; GONÇALVES, P. R. C. **Desafios do desenvolvimento sustentável:** estudo sobre as mudanças na matriz energética brasileira. Projeto Final apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Química, oferecido pelo departamento de Engenharia Química e de Petróleo. Universidade Federal Fluminense, 2016.

LIMA, M. T. S. L.; SOUZA M. C. Discorrendo Sobre o Uso das Termelétricas no Brasil. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 2, pp. 17-23, 2015.

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão. **Rev. Virtual Quim.**, v. 7, n. 1, 126-143, 2015.

MANDELMAN, M. **Análise crítica da matriz energética brasileira e a implementação de Smart Grid.** 2011. Dissertação apresentada para a conclusão de mestrado em Engenharia Mecânica. Taubaté: Universidade de Taubaté, 2011.

MARENGO, J. A., NOBRE, C. A., SELUCHI, M. E., CUARTAS, A., ALVES, L. M., MENDIONDO, E. M., OBREGÓN, G., SAMPAIO, G. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, (106), 31-44, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i106p31-44> Acesso em: 19 out 2020.

MARTINS, L. Z. R. **Geração centralizada de energia solar fotovoltaica e desenvolvimento local:** estudo de caso da Usina de Pirapora. 2017. Monografia de conclusão de curso (Graduação em Administração Pública). Fundação João Pinheiro, Escola de Governo Professor Paulo Neves de Carvalho, 2017.

MARTINS, J. C. V.; FREITAS, S. N. L. Aspectos socioambientais de uma usina termelétrica no Rio Grande do Norte. **Anais do IV SINGEP - São Paulo**, nov.2015. Disponível em: <https://singep.org.br/4singep/resultado/511.pdf> Acesso em: 20 fev. 2020.

MARTINS, V. A.; COSTA, I. V. L.; SANTOS, A. C. C. Nova conjuntura da compensação financeira de usinas hidrelétricas e dos royalties de Itaipu no Brasil. **FGV Energia - Boletim energético**, jun.2018. Disponível em:http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/27383/coluna_opinia_o_junho-_vanderlei-isabella_e_ana_claudia.pdf Acesso em: 20 fev. 2020.

MENDES, T. A.; RODRIGUES FILHO, S. Antes do pré-sal: emissões de gases de efeito estufa do setor de petróleo e gás no Brasil. **Estud. av. [online]**, vol.26, n.74, p.201-218, 2012. ISSN 0103-4014.

MICROSOFT – SUPORTE. Criar uma previsão no Excel para Windows. (website) Disponível em: <https://support.microsoft.com/pt-pt/office/criar-uma-previs%C3%A3o-no-excel-para-windows-22c500da-6da7-45e5-bfdc-60a7062329fd> Acesso em: 25 ago. 2020.

MONTAÑO, M.; CARVALHO, A. F.; GOMES, C. S.; POLAZ, C. N. M.; JORDÃO, C. O.; SOUZA, M. P. Revisão da qualidade de estudos de impacto ambiental de pequenas centrais hidrelétricas. **HOLOS Environment**, v.14 n.1, 2014. ISSN:1519-8634 (*on-line*)

MORAES, S. L.; MASSOLA, C. P.; SACCOCCIO, E. M.; SILVA, D. P.; GUIMARÃES; Y. B. T. Cenário brasileiro da geração e uso de biomassa adensada. **Revista IPT - Tecnologia e Inovação**, v.1, n.4, abr. 2017.

MOURA, R. G.; BARBOSA, M. V.; LOPES, P. L. A Gestão de Projeto para instalação de uma Usina de Energia Fotovoltaica: compreendendo algumas ferramentas estratégicas. **Revista Valore**, [S.l.], v. 4, p. 613-626, 2019. ISSN 2525-9008.

OLIVEIRA, A. P. M.; FUGANHOLI, N. S.; CUNHA, P. H. DE S.; BARELLI, V. A.; BUNEL, M. P. M.; NOVAZZI, L. F. ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 4, n. 1, p. 0163-0169, 2 mar. 2018.

OLIVEIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. H.; GOMES, R. O. ENERGIA SOLAR: UM PASSO PARA O CRESCIMENTO. **REGRAD, UNIVEM/Marília-SP**, v. 10, n. 1, p 377 - 389, 2017.

PERIUS, M. R.; CARREGARO, J. B. Pequenas centrais hidrelétricas como forma de redução de impactos ambientais e crises energéticas. **Ensaio e ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 16 n.2, 2012.

QUEIROZ, R. *et al.* Geração de energia elétrica através da energia hidráulica e seus impactos ambientais. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental** – REGET, v. 13, n. 13, p. 2774- 2784, ago. 2013. <http://dx.doi.org/10.5902/223611709124>

REI, F. C. F.; GONÇALVES, A. F.; SOUZA, L. P. ACORDO DE PARIS: REFLEXÕES E DESAFIOS PARA O REGIME INTERNACIONAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**, Belo Horizonte, v. 14, n. 29, p. 81-99, out. 2017. ISSN 21798699. Disponível em:

<http://www.domhelder.edu.br/revista/index.php/veredas/article/view/996> Acesso em: 15 jan. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.18623/rvd.v14i29.996>.

RELLA, R. Energia Solar Fotovoltaica no Brasil. **Revista de Iniciação Científica, Criciúma**, v. 15, n. 1, 2017. ISSN 1678-7706

RANGEL, M. S.; BORGES, P. B.; SANTOS, I. F. S. Análise comparativa de custos e tarifas de energias renováveis no Brasil. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.5, n.3, p.267-277, 2016.

ROVERE E.L.L; BUSTAMANTE, M. M. C. (eds.). **Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas - PBMC, 2014**: Mitigação das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 3 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 463 pp. ISBN: 978-85-285-0207-7

SANTOS, G. H. F.; NASCIMENTO, R. S.; ALVES, G. M. Biomassa como energia renovável no Brasil. **REVISTA UNINGÁ REVIEW**, [S.l.], v. 29, n. 2, fev. 2017. ISSN 2178-2571. Disponível em: <<http://revista.uninga.br/index.php/uningareviews/article/view/1966>>. Acesso em: 25 jan. 2020.

SHAYANI, R. A.; OLIVEIRA, M. A. G.; CAMARGO, I. M. T. Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais. *In: Anais V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético – CBPE*, Políticas públicas para a Energia: Desafios para o próximo quadriênio. Brasília: 2006.

SILVA, R. G.; CARMO, M. J. Energia solar fotovoltaica: uma proposta para melhoria da gestão energética. **International Scientific Journal**, n. 2, v. 12- 8, April/June 2017. D.O.I: <http://dx.doi.org/10.6020/1679-9844/v12n2a8>

SILVA, L. R. J. R.; SHAYANI, R. A.; OLIVEIRA, M. A. G. **Análise comparativa das fontes de energia solar fotovoltaica, hidrelétrica e termelétrica, com levantamento de custos ambientais**. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR-CBENS*, 7., 2018, Gramado. Anais... Gramado, Rio Grande do Sul, 2018. Disponível em: <http://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/527/527> Acesso em: 08 ago. 2020.

SIMAS, M.; PACCA, S. Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. **Estud. av.**, São Paulo, v. 27, n. 77, p. 99-116, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142013000100008>.

SOUZA, S. L. V. B. **Os créditos de carbono no âmbito do protocolo de Quioto**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Direito da Universidade Federal da Bahia - UFBA. Salvador, 2007. Disponível em: <http://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/10760> Acesso em 21 jan. 2020.

TIEPOLO, G. M.; CASTAGNA, A. G.; CANGIOLIERI JUNIOR, O.; BETINI, R. C. Fontes Renováveis de Energia e a Influência no Planejamento Energético Emergente

no Brasil. **Anais do VIII CBPE - Congresso Brasileiro de Planejamento Energético.** Curitiba – PR, 12 a 15 de agosto de 2012.

TOLMASQUIM, M. T. (Org.). **Energia renovável:** hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 757-767, 2009.

VIEIRA, M.; SANTOS, A. O Meio Ambiente Sustentável e a Energia Solar. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT**, v.1, n. 1, 131-139, 2012.