

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO
ESCOLA PAULISTA DE POLÍTICA, ECONOMIA E NEGÓCIOS
Departamento de Economia

Matheus Takashi Lima Nagamine

Análise das instalações fotovoltaicas brasileiras e o impacto na produção de energia
elétrica

Osasco (SP), 2022

Matheus Takashi Lima Nagamine

Análise das instalações fotovoltaicas brasileiras e o impacto na produção de energia elétrica

Monografia apresentada à Universidade Federal de São Paulo como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Ciências Econômicas

Orientador: Prof.^a Dr.^a Elisa Thomé Sena

Co-orientador: Ms. Thiago Antônio Pastorelli Rodrigues

Osasco (SP), 2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Unifesp Osasco, CRB-8: 3998,
e Departamento de Tecnologia da Informação Unifesp Osasco,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

N147a NAGAMINE, Matheus Takashi Lima
Análise das instalações fotovoltaicas brasileiras e o impacto
na produção de energia elétrica / Matheus Takashi Lima
Nagamine. - 2022.
42 f. :il.

Trabalho de conclusão de curso (Ciências Econômicas) -
Universidade Federal de São Paulo - Escola Paulista de Política,
Economia e Negócios, Osasco, 2022.
Orientadora: Elisa Thomé Sena.
Co-orientador: Thiago Antônio Pastorelli Rodrigues.

1. Energia solar. 2. Fotovoltaica. 3. Isenção de impostos. 4.
Linhas de créditos. I. Sena, Elisa Thomé, II. Rodrigues, Thiago
Antônio Pastorelli, III. TCC - Unifesp/EPPEN. IV. Título.

CDD: 330.981

RESUMO

A pesquisa tem como objetivo abordar a estrutura da matriz energética do Brasil e estimar a contribuição da energia solar fotovoltaica na mesma. Pretendemos entender também os tipos de incentivos necessários para que a utilização da energia solar possa ser expandida e se estabelecer como um pilar energético do país, a partir de políticas de isenção de impostos e de linhas de crédito para investimento no setor. Logo, será estudado o período em que houve um crescimento significativo da utilização de energia solar no território brasileiro, para que possa ser destacado os efeitos do planejamento estatal, como também, a reação da população e das empresas quanto a essa intervenção.

PALAVRAS CHAVES: Energia solar; fotovoltaica; isenção de impostos; linhas de créditos.

ABSTRACT

The research aims to approach the structure of the energy matrix in Brazil and understand the role that photovoltaic solar energy occupies, but also how it can be developed and establish itself as an energy pillar of the country, based on tax-free policies. taxes and credit for investment in the sector. Therefore, the period in which there was significant growth will be studied, so that the effects of state planning can be highlighted, as well as the reaction of the population and companies regarding this intervention.

KEYWORDS: solar energy; photovoltaic; tax-free; credits.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. GWh produzido pelas energias renováveis e não renováveis no mundo. FONTE: IEA	2
Figura 2. Evolução temporal de 1861 a 2021 do preço do petróleo cru. FONTE: IEA	3
Figura 3. Série temporal do logaritmo neperiano ($\ln(\text{Custo_PV})$) do preço médio do módulo solar fotovoltaico no mundo. FONTE: Our World in Data.....	5
Figura 4. Regressão Linear do Período 1. FONTE: Our World in Data	6
Figura 5. Regressão Linear do Período 2. FONTE: Our World in Data	7
Figura 6: Regressão Linear do Período 3. FONTE: Our World in Data	9
Figura 7: Uso de energias fósseis, nuclear e renováveis 2000. FONTE: Our World in Data	10
Figura 8: Uso de energias fósseis, nuclear e renováveis 2020. FONTE: Our World in Data	11
Figura 9. Evolução temporal da produção de energia elétrica a partir de energias renováveis no mundo. FONTE: World Bank	12
Figura 10. Evolução temporal do consumo de energias renováveis no mundo. FONTE: World Bank	12
Figura 11. Porcentagem da população com acesso a eletricidade no Brasil. FONTE: World Bank.	14
Figura 12. Evolução temporal do consumo de energia renovável no Brasil. FONTE: World Bank	15
Figura 13. Distribuição da produção de energia elétrica proveniente de fontes renováveis no Brasil em 2000. FONTE: IRENA	16
Figura 14. Distribuição da produção de energia elétrica proveniente de fontes renováveis no Brasil em 2020. FONTE: IRENA	16
Figura 15. Energia elétrica produzida no Brasil não proveniente de hidrelétricas. FONTE: World Bank	17
Figura 16. Distribuição da produção global de energia elétrica proveniente de fontes renováveis em 2000. FONTE: IRENA	17
Figura 17. Distribuição da produção global de energia elétrica proveniente de fontes renováveis em 2020. FONTE: IRENA	18

Figura 18. Ranking dos países que mais receberam investimento em energia solar FONTE: IRENA	20
Figura 19. Percentual da geração distribuída por classe de consumo FONTE ANEEL	22
Figura 20. Mapa de calor da potência instalada de geração distribuída em cada unidade federativa brasileira FONTE: ANEEL	23
Figura 21. Ranking dos estados brasileiros com a maior quantidade de potência instalada para geração de energia solar distribuída FONTE: ANEEL	24
Figura 22. Histograma das possíveis perdas de energia de um sistema - R\$/kWh FONTE: ANEEL	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Evolução temporal do preço do petróleo cru entre 2010 e 2015. FONTE: British Petroleum	3
Tabela 2. Ranking dos países que mais geraram energia elétrica através da energia solar fotovoltaica em 2020. FONTE: IRENA	18
Tabela 3. Valor médio da tarifa de energia elétrica por MWh em residências no Brasil entre 2014 e 2018. FONTE:	19
Tabela 4. Ranking Municipal de Potência Instalada (MW) em 2022. FONTE: ANEEL	24
Tabela 5. Ranking estadual do potencial instalado em MW das usinas solares fotovoltaicas. FONTE: ANEEL	25
Tabela 6. Ranking das tarifas de 2022 por distribuidoras no Brasil. FONTE: ANEEL	28

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. ENERGIAS RENOVÁVEIS NO MUNDO	1
3. METODOLOGIA	13
4. RESULTADOS	13
4.1. O papel do Brasil no contexto global da energia solar	13
4.2. Potencial Fotovoltaico	19
4.3. Mercado de energia solar no Brasil	21
4.4. Geração de energia fotovoltaica	21
4.4.1. Equipamentos	21
4.4.2. Geração distribuída	21
4.4.3. Geração Centralizada	25
4.4.4. Sistema autônomo	27
4.4.5. Sistema integrado	27
4.5. Incentivos	31
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
6. BIBLIOGRAFIA	34

1. INTRODUÇÃO

O petróleo e seus derivados são originários de materiais fósseis, ou seja, são decorrentes da decomposição de restos vegetais ou animais, e, portanto, não são provenientes de uma fonte inesgotável de energia. Desta forma, a produção de combustíveis fósseis é considerada uma fonte não-renovável e seu preço está sujeito a grandes variações no mercado internacional.

As principais fontes de energia utilizadas no mundo ainda são baseadas em combustíveis fósseis que emitem gás carbônico e outros gases de efeito estufa, contribuindo para o aumento da temperatura média global e para as mudanças climáticas.

Há muito tempo os cientistas vêm alertando a sociedade para os efeitos das mudanças climáticas e suas desastrosas consequências para a sociedade. Dentre os diversos impactos destas mudanças na sociedade podemos citar exemplos que vão desde o aumento da insegurança alimentar e hídrica, o aumento na frequência e intensidade de desastres climáticos, o aumento do número de óbitos devido às ondas de calor até o completo desaparecimento de territórios insulares e zonas costeiras pelo aumento do nível dos oceanos (IPCC, 2022 - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas).

Desta forma, a expansão do uso de energia proveniente de fontes renováveis já conhecidas, bem como a busca por novas fontes sustentáveis de energia se torna cada vez mais urgente para mitigar as terríveis consequências da emergência climática. Tendo em vista sua importância, não é surpreendente que o acesso à energia limpa aparece como um dos 17 objetivos para o desenvolvimento sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU).

Neste trabalho serão investigados os principais fatores relacionados à transição energética no Brasil, com foco na produção de energia solar. Para isso, inicialmente será analisado o contexto global da produção de energia e como este padrão se modificou ao longo dos anos. Em seguida será apresentado o panorama da produção de energia solar no Brasil em diferentes escalas (produção local e regional) bem como sua evolução temporal. Finalmente, serão investigados os incentivos federais, estaduais e municipais que contribuíram para a expansão deste tipo de energia no país.

2. ENERGIAS RENOVÁVEIS NO MUNDO.

Para compreender o espaço ocupado pelas energias renováveis no mundo, é necessário comparar sua geração de energia em relação às energias não renováveis, sendo que a Figura 1 demonstra a composição da matriz energética mundial.

Nesse caso, as energias não renováveis são compostas pela geração através do carvão, gás natural, energia nuclear e petróleo. Já as energias renováveis são representadas pela energia hídrica, eólica, solar e afins e biocombustíveis e resíduos. Nota-se que a porcentagem estabelecida na Figura 1 das energias renováveis e não renováveis são complementares.

Num período de 30 anos, as energias não renováveis ainda ocupam o cenário principal quando o assunto é produção de energia, mantendo uma média de 87%, enquanto as energias renováveis apresentam uma média de 13%.

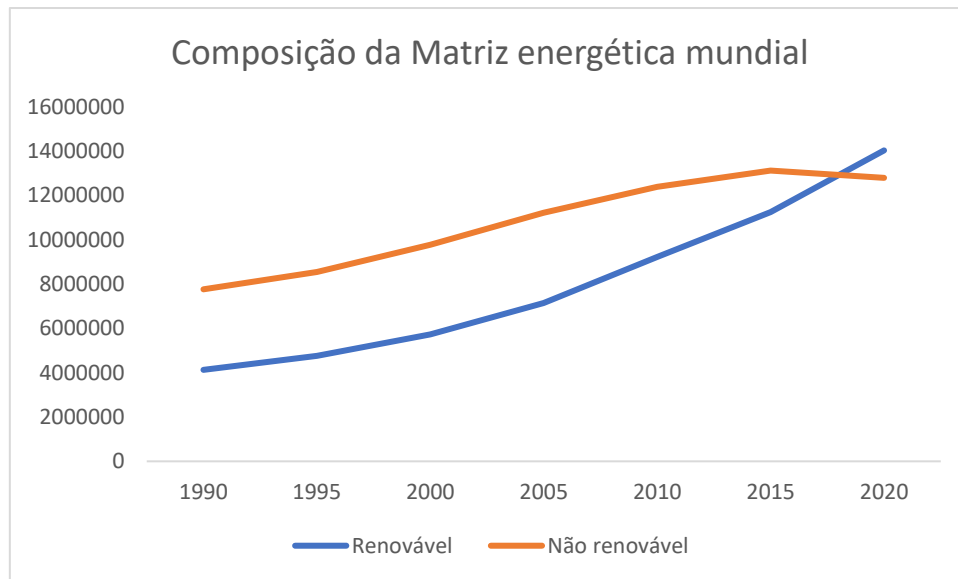


Figura 1: GWh produzido pelas energias renováveis e não renováveis no mundo (Fonte: IEA).

Em 2003, com o impacto do mundo globalizado, o desenvolvimento dos países emergentes, somados com a presença dos países já desenvolvidos, a produção de produtos manufaturados se eleva drasticamente, tornando necessário ampliar a oferta de petróleo no mundo para atender a demanda que se tornaria vigente (PEDROSA JUNIOR e CORRÊA, 2016).

Logo, caso esse problema não fosse resolvido, os preços iriam aumentar por conta da inflação pela demanda. Regiões como Golfo do México, Oeste da África e Brasil, que apresentam grandes quantidades em águas ultra profundas, como o Pré-Sal, tornam-se viáveis para exploração. Não obstante, a natureza dos investimentos necessários para ter acesso eram muito elevados e de longo prazo, não podendo atender a demanda de curto prazo (PEDROSA JUNIOR e CORRÊA, 2016).

Dessa forma, os preços começam a disparar rapidamente. Em 2008, estava circulando em torno de US\$ 100 por barril, mesmo tendo a crise financeira nesta época, apesar de ter sido curto, os próximos anos apresentaram uma grande elevação. Como mostrado na Figura 2, a evolução temporal de 1861 até 2021 do preço do petróleo cru, em conjunto com a Tabela 1 que demonstra o período entre 2010 a 2015 afirmam a situação supracitada.



Figura 2: Evolução temporal de 1861 a 2021 do preço do petróleo cru (Fonte: British Petroleum).

Tabela 1: Evolução temporal do preço do petróleo cru (em dólares) entre 2010 e 2015

Ano	\$ 2021
2010	94,35
2011	128,01
2012	125,88
2013	120,72
2014	108,17
2015	57,20

Fonte: British Petroleum

Após o final de 2014, os preços começam a ter uma queda significativa por conta de uma troca de papéis entre oferta e demanda. A oferta não tinha capacidade suficiente de atender a demanda, portanto, buscou se desenvolver e manteve a sua capacidade produtiva para que ocorresse o barateamento dos custos de produção. Já a demanda, teve uma desaceleração significativa e tendeu novamente ao equilíbrio de mercado (PEDROSA JUNIOR e CORRÊA, 2016).

Partindo desse contexto, nota-se que as energias renováveis são uma alternativa viável para atender em parte os níveis altos de produção, mas também, para diminuir drasticamente os resíduos de produção do petróleo.

Segundo o autor DA CUNHA KEMERICH (2016), com o aumento populacional e o consumo de energia, existe uma demanda dos países diversificarem a composição de suas matrizes energéticas, tornando-as limpas ou pelo menos parcialmente limpas, diminuindo o máximo possível os impactos no meio ambiente.

Em um artigo de 2006, Richard Swanson verificou que existe uma relação empírica clara entre o custo dos painéis fotovoltaicos e a demanda pelo produto (Swanson, 2006). Essa relação, posteriormente conhecida como Lei de Swanson, indica um decréscimo de 20% no custo do painel solar cada vez que a produção, e o conseqüente aumento das vendas, dobra.

A evolução temporal do preço médio dos módulos solares fotovoltaicos no mundo é mostrada na Figura 3, em escala logarítmica, de acordo com o Our World in Data. Desta forma, apresenta o logaritmo natural (\ln) do preço médio dos módulos de energia fotovoltaica ($Custo_{PV}$) mensurado em dólar por watt (\$/W) em função do ano. Ao analisar o gráfico podemos notar que o custo dos módulos solares decresce exponencialmente ao longo do tempo. Contudo, este decréscimo não é uniforme, ou seja, a taxa de decréscimo varia de acordo com os diferentes períodos analisados. Para quantificar as taxas de decréscimo foram selecionados três diferentes períodos, por inspeção visual, a saber: Período 1, entre 1976 e 1988; Período 2, entre 1988 e 2006, e; Período 3, entre 2006 e 2019. Tomou-se o cuidado para selecionar períodos longos o suficiente para que o ajuste de uma curva de regressão linear retorne valores estatisticamente significativos. Visualmente, já é possível notar que houve uma desaceleração do decaimento do custo do módulo solar no segundo período, aproximadamente a partir de 1988. Porém, por volta de 2006, podemos observar uma aceleração no decréscimo do custo do módulo solar novamente. Partindo desse ponto, sabemos que, em cada período, a regressão linear do logaritmo neperiano do custo médio dos módulos solares fotovoltaicos se comporta da seguinte forma:

$$\ln(Custo_{PV}) = bx + a, \quad (1)$$

sendo a e b coeficientes linear e angular da equação, respectivamente. O último indica a taxa de crescimento, caso $b > 0$, ou de decaimento, caso $b < 0$. Já a variável x será medida em anos e corresponde aos períodos analisados.

Aplicando a função exponencial em ambos os lados da equação (1), concluímos que a relação que descreve a evolução temporal do custo do módulo solar fotovoltaico em cada período será dada por uma função exponencial da forma:

$$Custo_{PV} = e^a e^{bx} \quad (2)$$

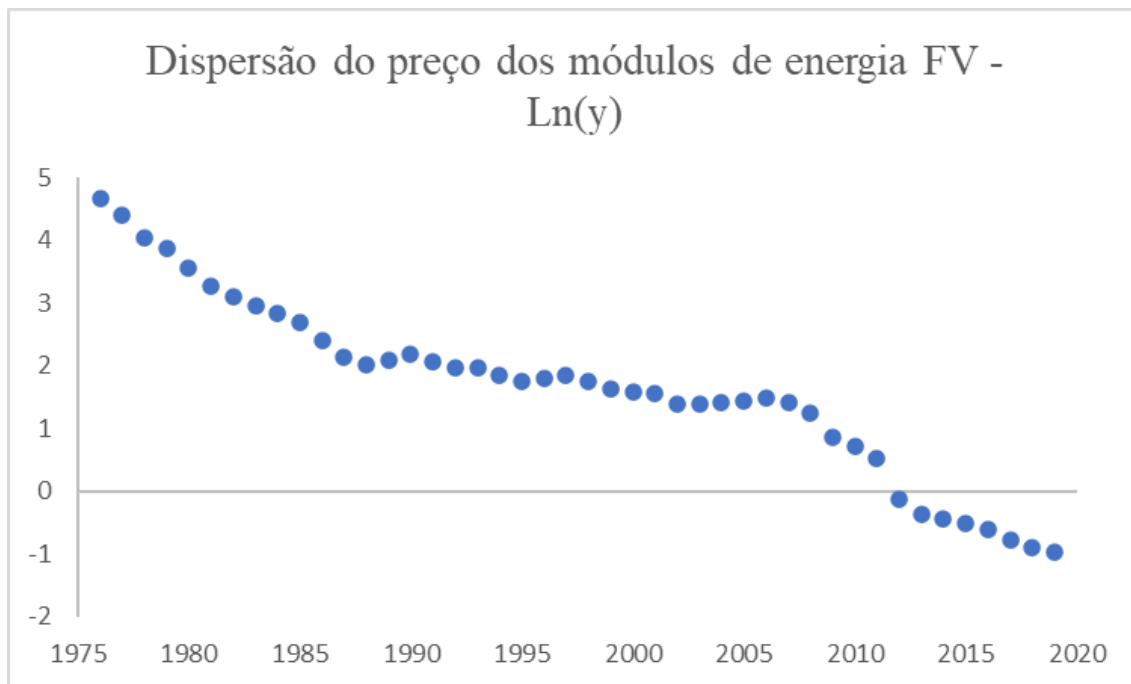


Figura 3: Série temporal do logaritmo neperiano ($\ln(\text{Custo_PV})$) do preço médio do módulo solar fotovoltaico no mundo (Fonte: Our World in Data).

Para o Período 1, entre 1976 e 1988, segundo a Figura 4, a equação de regressão que melhor se ajustou às observações, indica que o custo do módulo solar fotovoltaico é representada aproximadamente pela equação:

$$\ln(\text{Custo_PV}) = -0,2136x + 426,65 \quad (3)$$

Ao aplicar a função exponencial, como já foi feito anteriormente, a regressão é expressa da seguinte forma:

$$\text{Custo_PV} = 1,958e^{-0,2136x} \quad (4)$$

Sendo a taxa de decaimento $-0,2136$ para cada ano de x . Logo, os módulos solares nesse período tiveram uma queda nos seus preços. Ademais, vale ressaltar que, durante esse intervalo de tempo, alguns fatos históricos que afetam as fontes de energia não renováveis, especificamente o petróleo, podem afirmar o aumento do investimento em novas tecnologias para energias renováveis, como no caso, o barateamento dos módulos solares.

Em 1979, o segundo choque do Petróleo aumenta o preço do petróleo cru, como mostrado na Figura 2, já que a oferta dos países membros da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) decaiu e não atende a demanda. Possivelmente, isso foi um fator para

que ocorresse um deslocamento de capital para o desenvolvimento de outras fontes de energia.

Em 1986, o desastre nuclear de Chernobyl acabou desacelerando o investimento nesse tipo de energia, que vinha numa crescente por conta do debate climático sobre a emissão de gases do efeito estufa (FELIX, et al. 2005).

Muitos países aceitaram desativar suas usinas nucleares, entretanto, principalmente na Europa, muitos abriram agenda para reavaliar os riscos e promover um desenvolvimento maior em relação à gestão desses riscos (FELIX, et al. 2005).

Enquanto os fatores de risco desse tipo de energia não foram reforçados, já que são investimentos a longo prazo, esse fluxo de capital também se deslocou para outras fontes de energia.

Entretanto, VALLÊRA e BRITO (2006) afirmam que, apesar do aumento de investimento e desenvolvimento tecnológico, a construção de um mercado competitivo também deveria ser através de uma economia de escala, ou seja, quanto maior for a quantidade de unidades instaladas, menor será o custo por watt.

Nesse caso, possivelmente, a popularização da energia fotovoltaica tende a ser de longo prazo, não tendo muito efeito no Período 2, mas pode ser um fator crucial para a explicação da taxa de decaimento do Período 3.

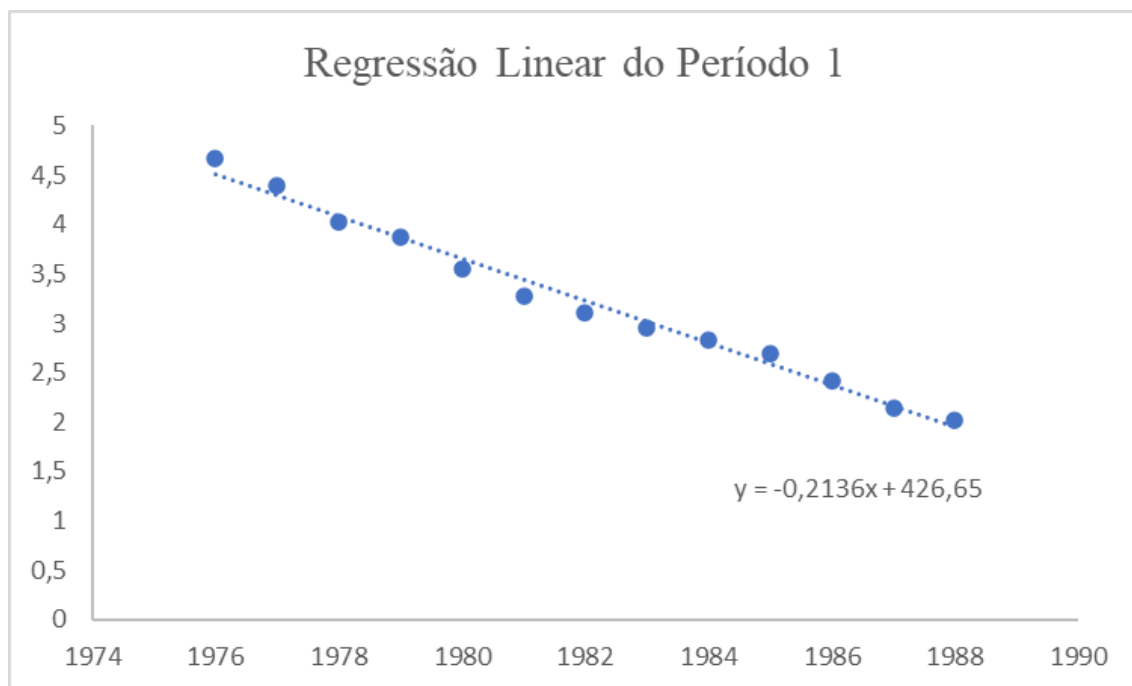


Figura 4: Regressão Linear do Período 1 (Fonte: Our World in Data).

Já em relação ao Período 2, compreendido entre 1988 e 2006, representado pela Figura 5, o custo do módulo solar fotovoltaico varia aproximadamente de acordo com a seguinte equação:

$$\ln(\text{Custo_PV}) = -0,0439x + 89,461 \quad (5)$$

Repetindo o processo já realizado:

$$\text{Custo_PV} = 7,119e^{-0,0439x} \quad (6)$$

Apesar de existirem marcos históricos relevantes nesse período, como por exemplo: em 1989 ocorreu a dissolução da União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) e 2001 ocorreu o atentado do 11 de Setembro, estremecendo as relações dos Estados Unidos com os países do Oriente Médio, a taxa de decaimento é menor do que a apresentada no Período 1, sendo $-0,0464$ (Figura 5), como também a menor de todos os períodos.

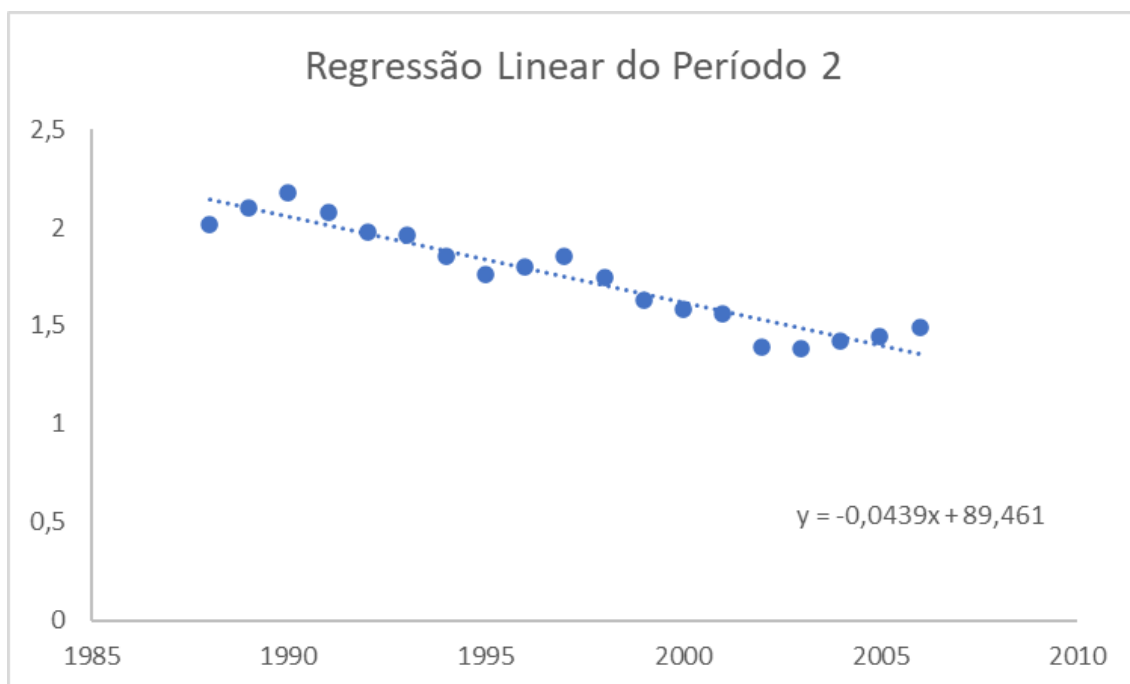


Figura 5: Regressão Linear do Período 2 (Fonte: Our World in Data).

No Período 3, a equação da regressão linear apresentada é:

$$\ln(\text{Custo_PV}) = -0,209x + 420,08 \quad (7)$$

Ao realizar o mesmo processo, temos:

$$\text{Custo}_{PV} = 2,744e^{-0,209x} \quad (8)$$

Dentro deste período, alguns fatores colaboraram para que a taxa de decaimento aumentasse mais em relação ao seu período anterior. Entretanto, a taxa de decaimento neste período ainda não é maior do que durante o Período 1, porém, ambas são bem próximas.

Em 2006, a utilização de um novo material como captador de energia solar, o polysilicone, alcança o novo recorde de eficiência energética, chegando a transformar 40,7% da energia solar captada em energia elétrica. Essa relação ocorre por conta do modelo de cálculo utilizado para entender os custos, no caso, dólar por watt, ou seja, existem duas relações proporcionais: quanto maior o dinheiro utilizado na compra do equipamento, configura um custo maior; já a segunda relação é inversamente proporcional, no caso, quanto maior for a produção de energia gerada pelo equipamento, menor será o custo. Logo, ao aumentar a geração de energia, por conta da eficiência, a segunda relação se destaca (Department of energy, 2006).

No Brasil, o maior responsável pela queda dos custos de toda a instalação é a redução de preço dos módulos solares, isso, possivelmente, por conta da redução dos preços do restante dos materiais utilizados para a realização da instalação (GALDINO, 2012).

Para o Período 3, ocorreu a Crise de 2008, quebrando a bolsa estadunidense e abalando o mercado norte americano, como os outros que estavam bem próximos, como por exemplo o mercado europeu. Neste caso, o preço do petróleo foi abalado rapidamente, voltando às suas médias como abordado na Tabela 1.

Em outro momento, a Primavera Árabe ocorreu em 2011, na qual muitos países do Oriente Médio passaram por revoluções e tiveram ditadores depostos. O preço do petróleo dispara, como mostrado pela Figura 2, devido à intercorrência dos países membros da OPEP. Possivelmente, ocorreu um deslocamento do fluxo de investimento do petróleo para as energias alternativas com o intuito de promover o desenvolvimento tecnológico e baratear os custos de produção e instalação.

Apesar de o pré-sal ter sido descoberto em 2006, a matéria prima se localiza em profundidades em que é necessário a utilização de maquinário pesado, na qual precisa de uma aplicação intensa de capital para que ocorra o seu desenvolvimento. Tanto na área dos reservatórios, quanto na perfuração dos poços, engenharia submarina e acúmulo de gás, LIMA (2008) apresenta os desafios tecnológicos listados na época para que ocorresse uma exploração viável.

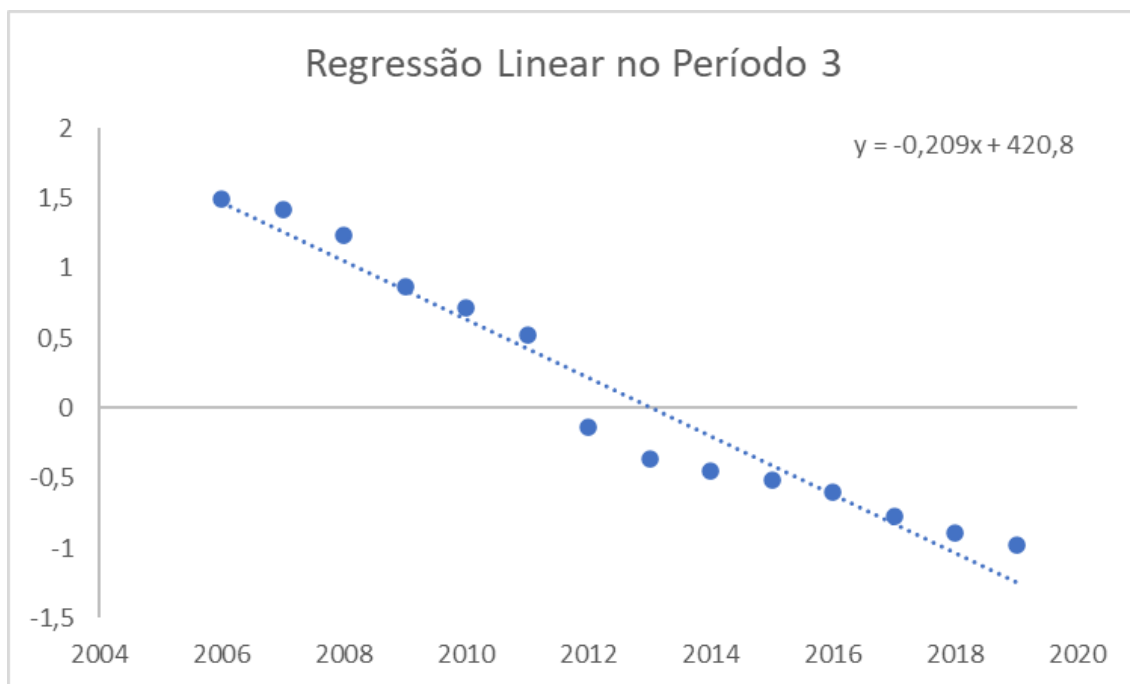


Figura 6: Regressão Linear do Período 3 (Fonte: Our World in Data).

Esta redução no preço da energia solar certamente a tornou mais competitiva no mercado financeiro, acarretando a instalação de novas usinas solares e instalação de módulos solares residenciais.

Outro fator que impulsionou a construção de usinas solares foi o desastre de Fukushima em 2011. Naquele ano um tsunami, uma onda gigante causada por um evento sísmico, atingiu a cidade de Fukushima no Japão, causando a destruição de uma grande usina nuclear. Este desastre chocou o mundo e acelerou o processo de desativação de usinas nucleares, principalmente na Europa. A partir daquele evento, líderes de diversos países se comprometeram a investir em outras fontes de energia. Infelizmente, para as mudanças climáticas a desativação das usinas nucleares não veio em bom momento, pois apesar de produzir lixo nuclear, as usinas nucleares não contribuem significativamente para o aumento dos gases de efeito estufa.

Com isso, a energia nuclear poderia contribuir até certo ponto para a diminuição da emissão desses gases. Para que isso ocorra, esse tipo de energia deveria ser ampliado para que seus efeitos tenham consequências significativas. Entretanto, como pré requisito, uma comparação com as outras tecnologias deve ser feita, já que o fato de poder ajudar com a redução de emissão dos gases, não elimina os outros riscos (FELIX, et al. 2005).

A proliferação poderia aumentar os riscos para saúde e ecossistemas, aumentaria a quantidade de lixo radioativo emitido, investimentos pesados em toda a cadeia tecnológica, no caso, com o retorno voltado para longo prazo (FELIX, et al. 2005).

Outros fatores que são inerentes à energia nuclear também afetam o seu desenvolvimento, tais como: problemas econômicos a partir da liberação do mercado de energia elétrica, como por exemplo o financiamento da desativação e dos cuidados necessários com os

resíduos, aumento das normas de segurança após os acidentes, preço baixo dos combustíveis fósseis e concorrência com outras fontes de energia (FELIX, et al. 2005).

A partir da Figura 7, o uso de energias fósseis, nuclear e renováveis para produção de energia elétrica no ano de 2000 no mundo é demonstrado pelo percentual de participação de cada tipo de energia, sendo a primeira tendo 64% de participação, 17% da segunda e 19% da última. Isso condiz com o uso intensivo de energia não renovável e a baixa utilização de energias que não produzem gases do efeito estufa.

Entretanto, após 20 anos, em 2020 (Figura 8), ocorre um aumento significativo de 9% em relação ao uso de energias renováveis (28% no total) e um decréscimo de 7% no uso de energia nuclear (10% no total) e também de 2% no uso de energias fósseis (62% no total).

A diversificação da matriz mundial em relação ao aumento da geração elétrica a partir de energias renováveis e diminuição da energia nuclear afirma o desvio de investimento das usinas para outras tecnologias limpas que apresentam menor risco.

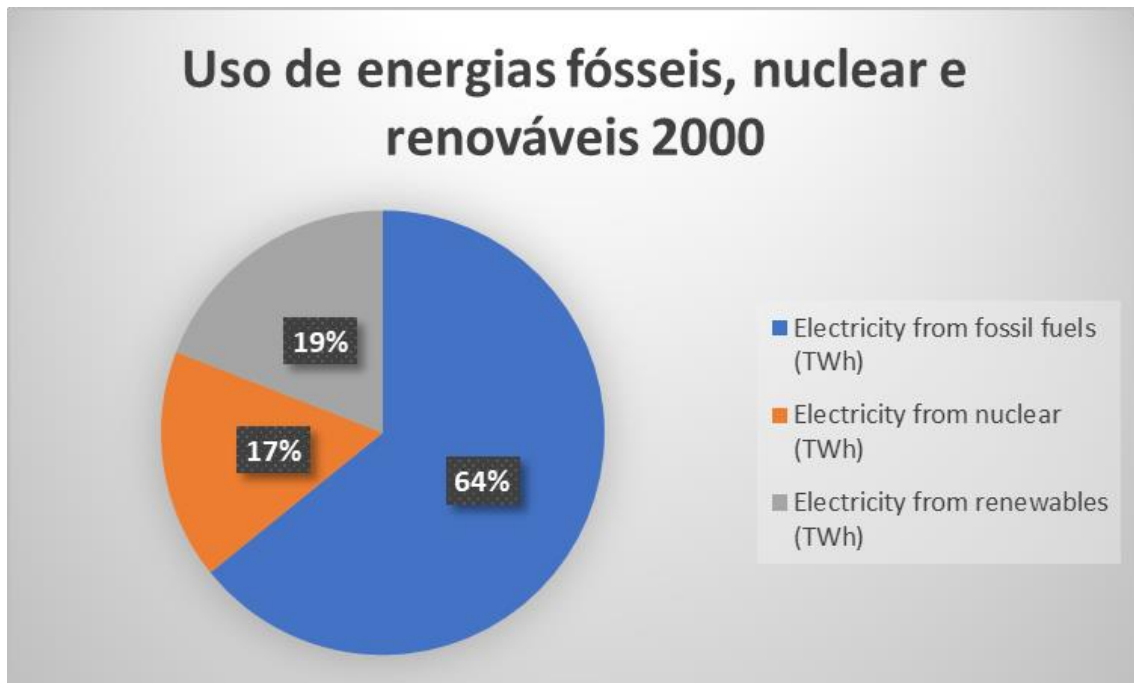


Figura 7: Uso de energias fósseis, nuclear e renováveis 2000 (Fonte: Our World in Data).

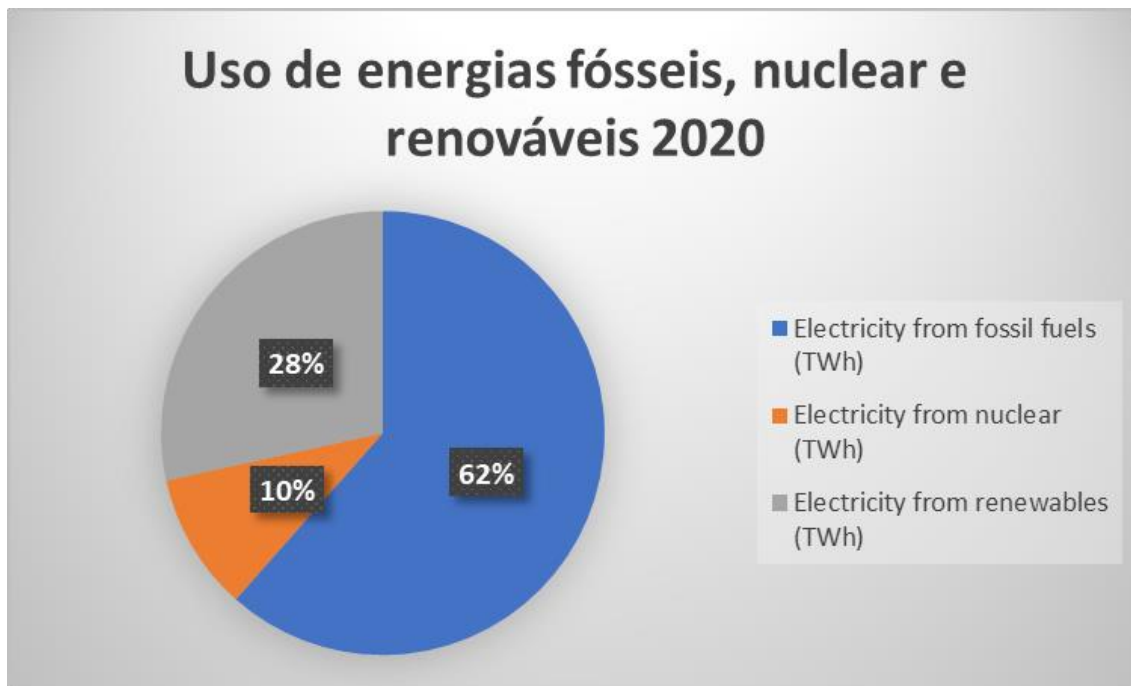


Figura 8: Uso de energias fósseis, nuclear e renováveis 2020 (Fonte: Our World in Data).

De acordo com a Figura 9, a produção de energia elétrica através de energias renováveis no mundo teve um crescimento acentuado a partir de 2007 e se manteve até 2015, variando de 17,88% da energia produzida e alcançando 22,85%. Já na Figura 10, o consumo de energia renovável no mundo ainda é baixo, tendo em média durante a evolução temporal de 1990 a 2015 entre 17% a 17,5%. Ao comparar as duas figuras (Figura 9 e Figura 10), pode correlacionar a falta de aproveitamento do consumo de energia renovável no mundo.

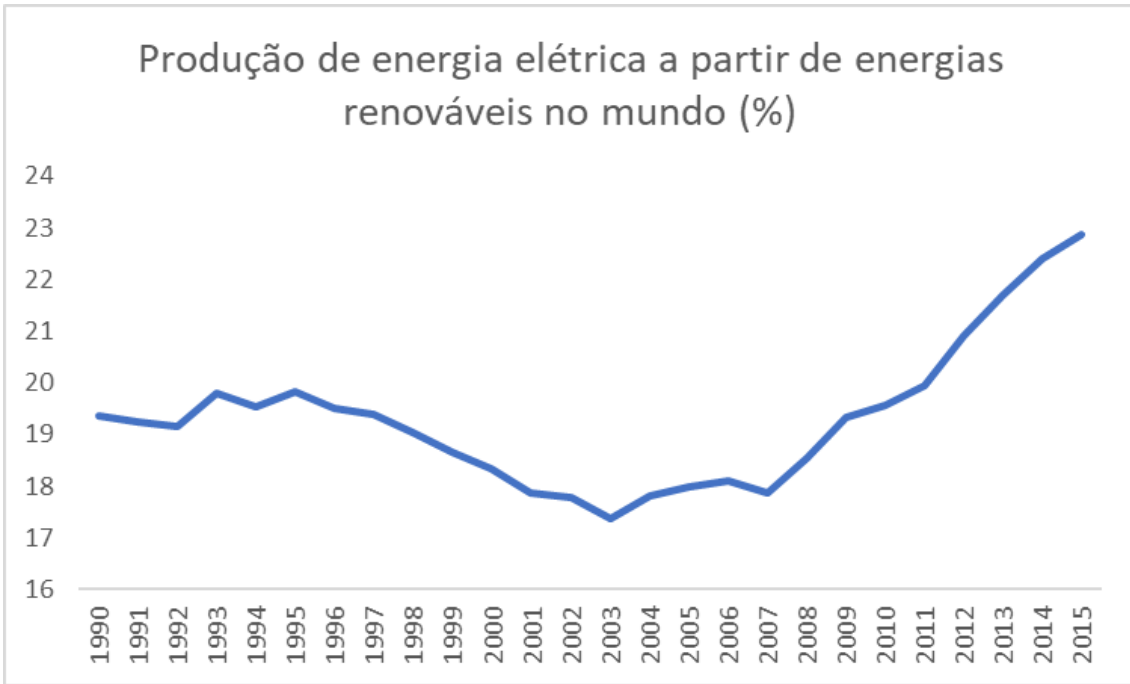


Figura 9: Evolução temporal da produção de energia elétrica a partir de energias renováveis no mundo (Fonte: World Bank).

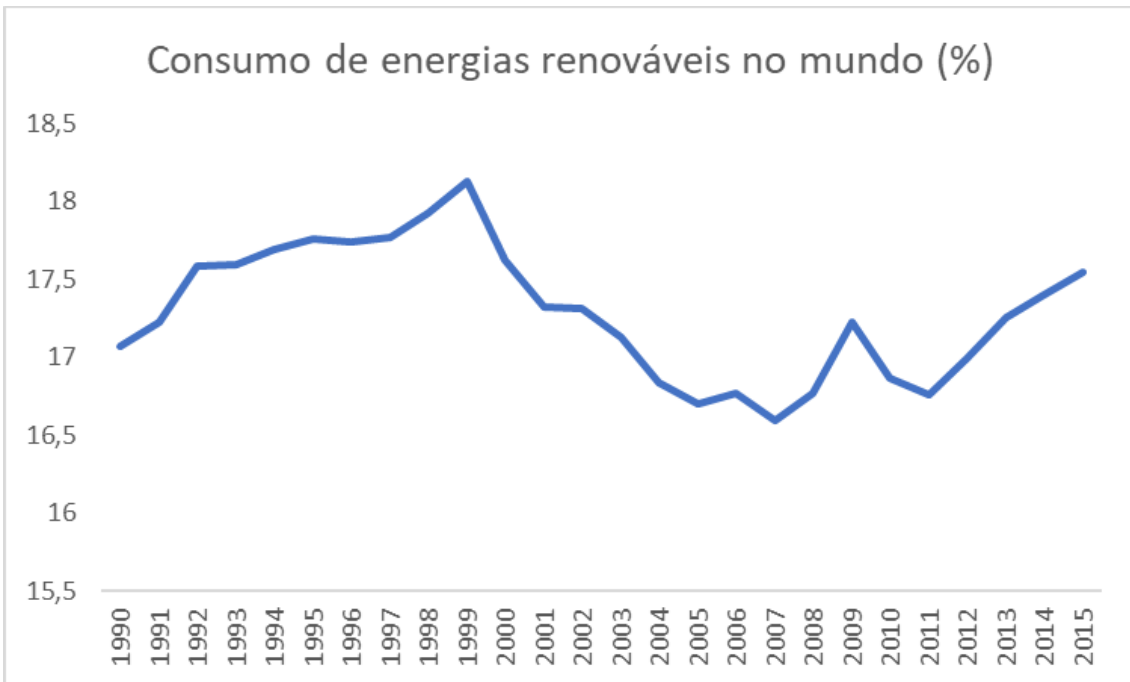


Figura 10: Evolução temporal do consumo de energias renováveis no mundo (Fonte: World Bank).

3. METODOLOGIA:

As principais fontes de dados utilizadas no desenvolvimento desta pesquisa foram:

- A ferramenta estatística da Agência Internacional de Energias Renováveis, do inglês, International Renewable Energy Agency (IRENA);
- Dados do Banco Mundial, do inglês, World Bank;
- Dados fornecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL);
- Dados do Petróleo Britânico, do inglês, British Petroleum (BP);
- Dados do Nosso Mundo em dados, do inglês, Our World in Data;
- Dados da Agência Internacional de Energia, do inglês, International Energy Agency (IEA);

A partir do levantamento dos dados disponibilizados nestas diferentes plataformas, foram construídos gráficos, tabelas e mapas que ilustram diferentes aspectos da energia solar. Estes dados permitiram que fosse feita uma análise do panorama da energia solar comparado com outras fontes de energia tanto em escala regional como global. Além disso, foi possível analisar a evolução temporal da produção de energia solar, e, a partir de fontes históricas, identificar os principais fatores associados a marcos ou transições evidentes nos gráficos.

4. RESULTADOS

4.1. O papel do Brasil no contexto global da energia solar

O consumo de energia elétrica se tornou extremamente importante para o cotidiano das pessoas. Logo, o Estado brasileiro buscou ampliar o acesso deste recurso para sua população. A Figura 11 demonstra a evolução da acessibilidade desde 1990, na qual apresenta 87,5% de acesso, até 2015, na qual indica 99,7%.

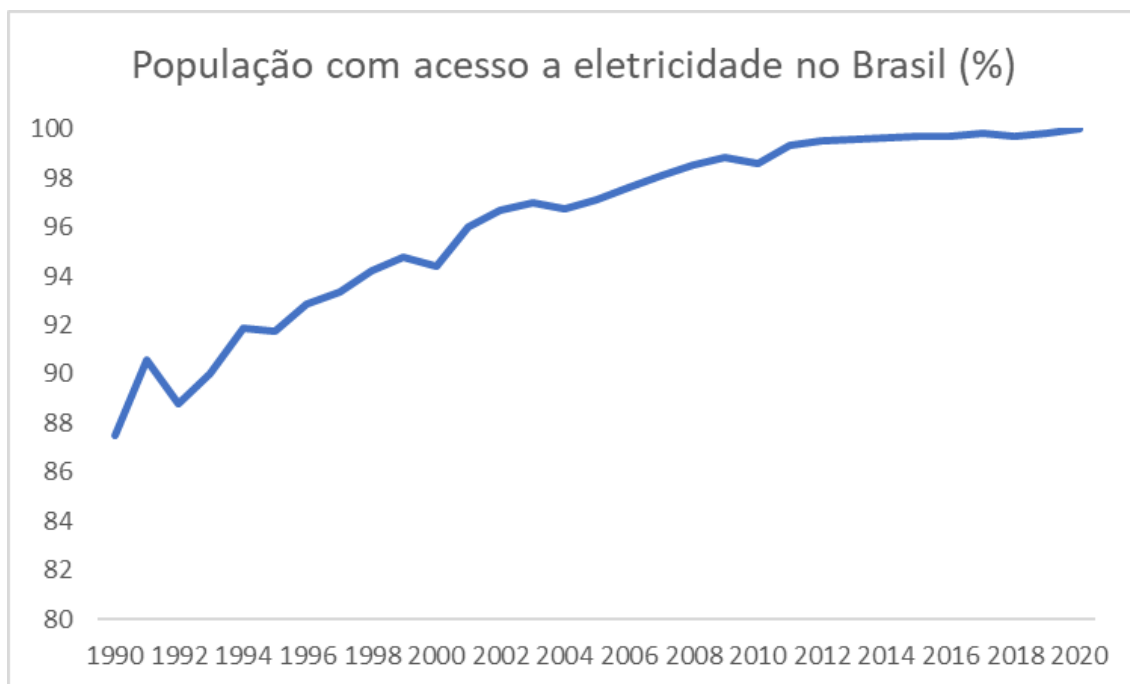


Figura 11: Porcentagem da população com acesso a eletricidade no Brasil. (Fonte: World Bank).

A gestão do acesso a eletricidade é realizada da seguinte forma: segundo a ANEEL(2022), o material utilizado como diretriz é o Plano de Desenvolvimento de Distribuição (PDD), voltado para alcançar projetos com princípios sustentados pelas subestações de distribuição (SED) e nos sistemas de alta (SDAT), média (SDMT) e baixa tensão (SDBT).

Eles têm como princípio a expansão da carga gerada, por conta da inserção de novos consumidores, mas também pela crescente demanda dos demais, a melhoria do sistema, pautada na qualidade da distribuição para os consumidores, e a renovação baseada na manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos (ANEEL,2022)

Esses princípios podem estar presentes nos programas especiais, como por exemplo: Programa Luz para Todos, composto por obras com participação financeira e planejamento setorial, advindo da participação individual, de acordo com a Resolução Normativa ANEEL nº 1.000/2021 ou estatal, respectivamente (ANEEL,2022).

Após a compreensão de como é gerido o acesso da população à energia elétrica, a fonte de geração desta energia é de suma importância. De acordo com a Figura 12, o Brasil apresenta o consumo final de energias renováveis, entre 1990 a 2019, muito inconstante, mas com proporções razoáveis, na qual tem o seu maior pico em 1990 com 49,86% e o seu maior vale em 2001, com 41,33%.

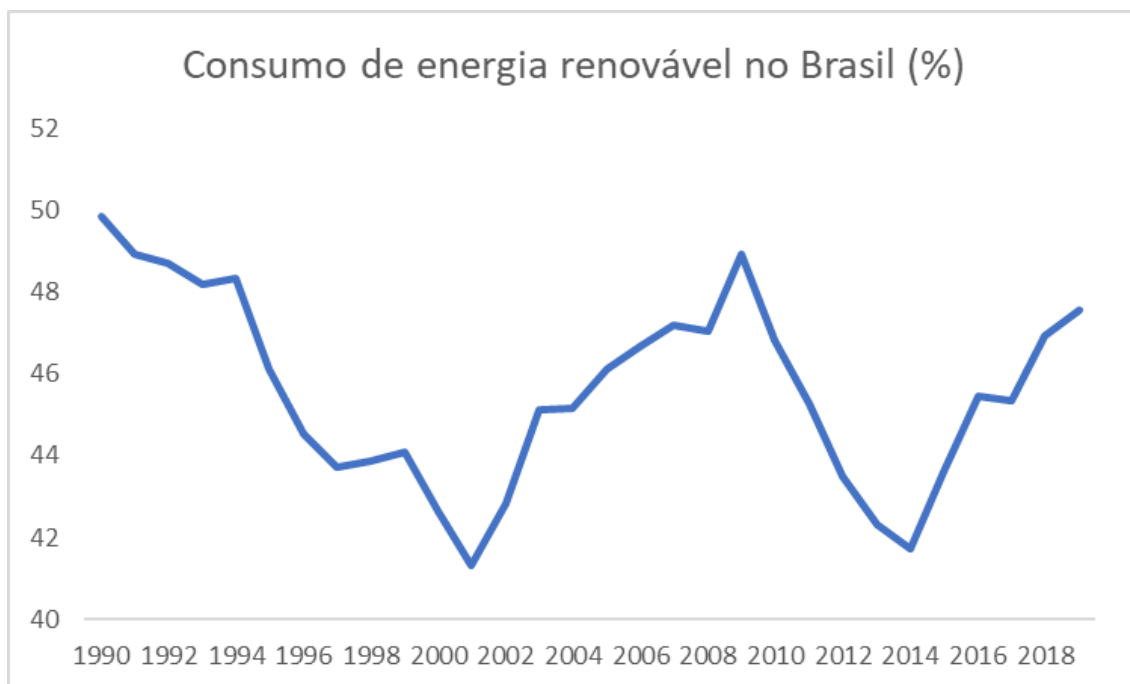


Figura 12: Evolução temporal do consumo de energia renovável no Brasil. (Fonte: World Bank).

Para entender as peculiaridades da geração de energia no Brasil, é interessante comparar a matriz energética brasileira com a matriz energética média mundial. A grande quantidade de bacias hidrográficas em solo brasileiro fez com que o país se tornasse uma potência na produção de energia hidrelétrica. Cabe ressaltar, no entanto, que esta não é a realidade da maioria dos países, que não contam com os mesmos recursos naturais que os encontrados no Brasil, e, particularmente em geral, não possuem abundância de grandes corpos de água doce.

A energia hidrelétrica é considerada uma fonte renovável de produção de energia e não contribui significativamente para a emissão de gases de estufa. Contudo, a implantação de usinas hidrelétricas causa grandes impactos ambientais, uma vez que sua implantação exige o alagamento de grandes áreas. Além disso, as usinas hidrelétricas são fortemente dependentes do bom funcionamento do ciclo hidrológico. Variações no regime de chuvas decorrentes tanto de fatores naturais quanto antrópicos podem afetar significativamente a produção de energia elétrica por esta fonte. As mudanças climáticas estão relacionadas à maior ocorrência de eventos extremos, entre eles secas prolongadas que podem ter como consequência as crises hídricas, como a que ocorreu no Sudeste do Brasil em 2014. Esta crise afetou importantes reservatórios de água doce, como, por exemplo, o Sistema Cantareira que abastece a região metropolitana de São Paulo, entre outras regiões (JACOBI e RICHTER, 2018). Além disso, como decorrência da crise hídrica, recentemente a produção de energia hidrelétrica não foi suficiente para suprir a demanda e fontes de energia não renováveis, mais caras e extremamente poluidoras como as usinas termelétricas foram acionadas para complementar a demanda necessária de energia. Logo, com as crises de baixa vazão nas usinas hidrelétricas, o preço da energia encarece

consideravelmente, estimulando os consumidores a buscarem fontes mais baratas de energia elétrica.

Vale notar como a matriz energética se modificou em um período de 20 anos. No ano 2000, as usinas hidrelétricas eram responsáveis pela produção de 97% do total de energia brasileira proveniente de fontes renováveis (Figura 13). Já em 2020, embora a energia hídrica ainda domine a matriz energética, podemos notar o aparecimento de outras fontes de energia renováveis, como a energia eólica e os biocombustíveis - cada uma destas fontes contribuindo com 11% do total de energia proveniente de fontes renováveis no Brasil (Figura 14). Note que mesmo em 2020 a contribuição da energia solar para o total da produção de energia por meio de fontes renováveis ainda era muito baixa, de apenas 2%.

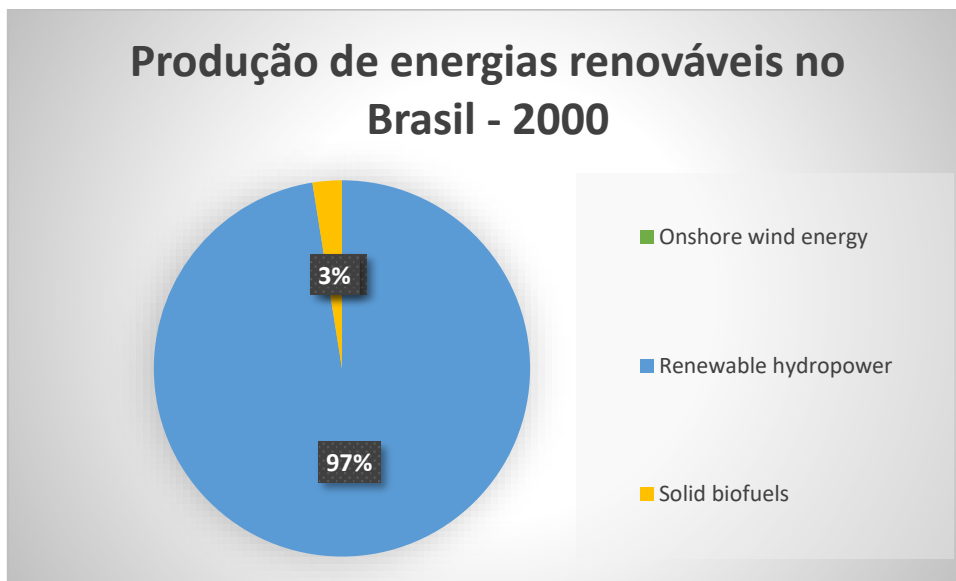


Figura 13: Distribuição da produção de energia elétrica proveniente de fontes renováveis no Brasil em 2000. (Fonte: IRENA).

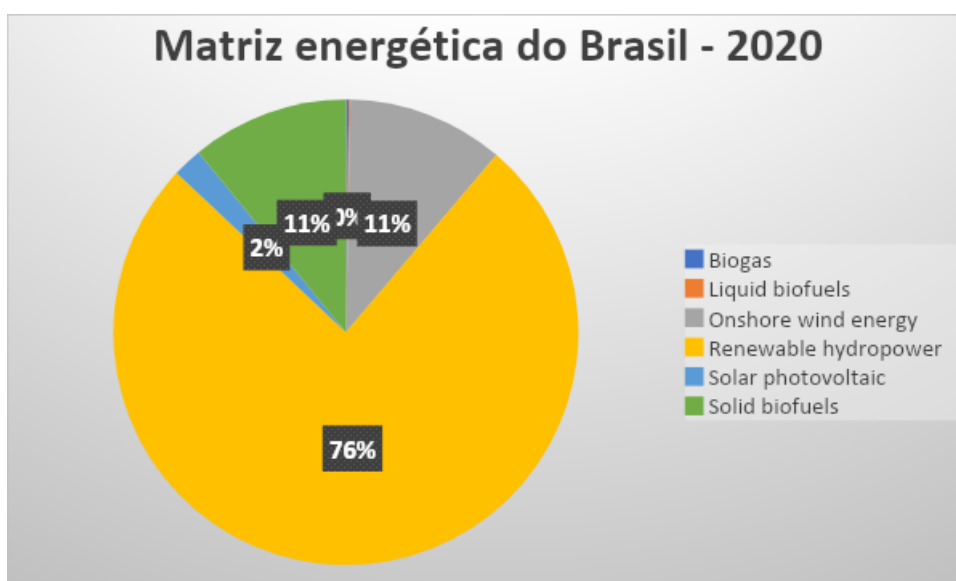


Figura 14: Distribuição da produção de energia elétrica proveniente de fontes renováveis no Brasil em 2020. (Fonte: IRENA).

A Figura 15 apresenta a produção de energia elétrica proveniente de fontes renováveis, exceto das hidrelétricas, no período de 43 anos. Neste caso, em 1971, a produção era de 618 milhões de kWh, sendo um valor ainda baixo para um país de grande extensão como o Brasil, porém, em 2014, a produção gira em torno de 58,22 bilhões de kWh, afirmando a baixa variação das energias renováveis apontadas nas Figura 13 e Figura 14.

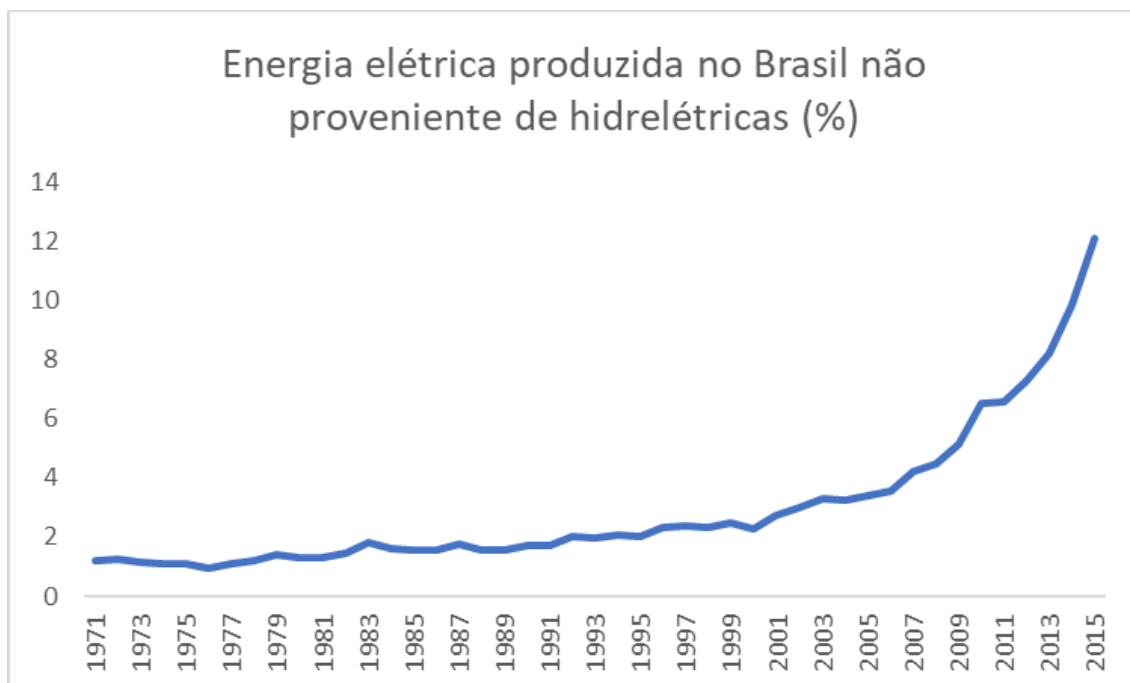


Figura 15: Energia elétrica produzida no Brasil não proveniente de hidrelétricas. (Fonte: World Bank).

Entretanto, ao realizar a comparação da tendência mundial na mesma época, é possível notar uma variação maior das matrizes energéticas dos países como apresentadas nas Figuras 16 e 17:

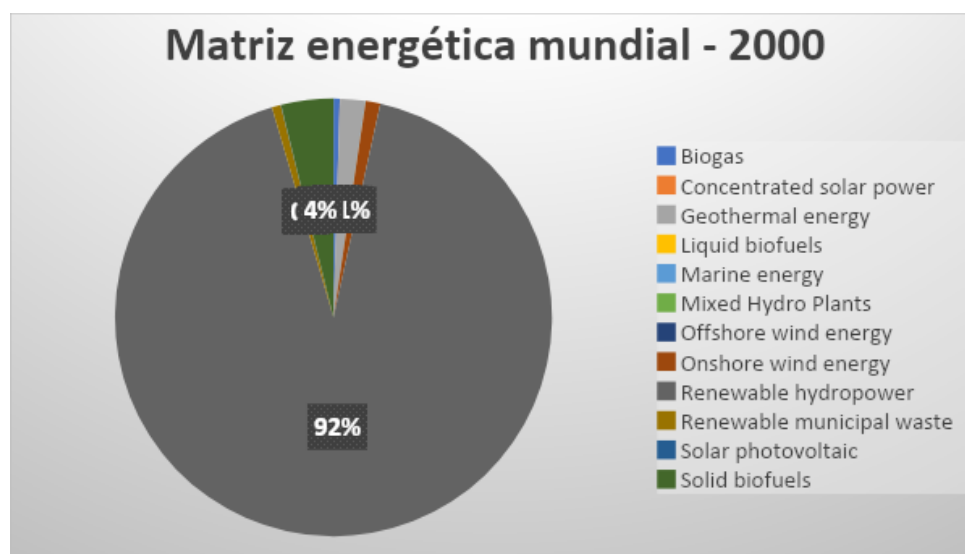


Figura 16: Distribuição da produção global de energia elétrica proveniente de fontes renováveis em 2000. (Fonte: IRENA).

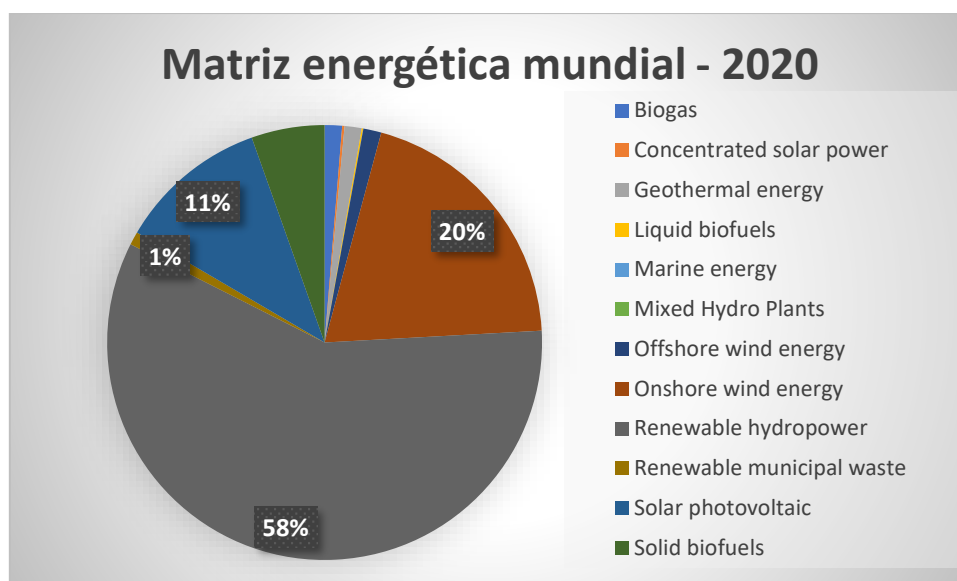


Figura 17: Distribuição da produção global de energia elétrica proveniente de fontes renováveis em 2020. (Fonte: IRENA).

Como demonstrado, a matriz energética mundial tem uma variação significativa nas energias solar fotovoltaica e eólica. Esta relação deixa explícita uma diferença de comportamento em relação ao desenvolvimento das matrizes do Brasil e do resto do mundo.

De acordo com a Tabela 2, em 2020, os países demonstram a maior geração de energia elétrica através da energia solar fotovoltaica são: China (261.639,1 GWh), EUA (115.902,0 GWh), Japão (79.087,0 GWh), Índia (54.305,9 GWh) e Alemanha (48.641,0 GWh).

Tabela 2: Ranking dos países que mais geraram energia elétrica através da energia solar fotovoltaica em 2020.

Países	GWh
1° China	261.639,1
2° Estados Unidos	115.902,0
3° Japão	79.087,0
4° Índia	54.305,9
5° Alemanha	48.641,0

(Fonte: IRENA)

4.2. Potencial Fotovoltaico.

O Brasil apresenta elevadas médias anuais de irradiação solar, tanto que o local menos ensolarado, tem potencial energético maior do que o local mais ensolarado da Alemanha, país referência na produção fotovoltaica (MARTINS, et al. 2017).

Nos meses de verão, ocorre a coincidência das regiões do Sul e Sudeste do Brasil atingirem sua capacidade máxima de produção juntamente com os máximos de demanda registrados pelo Operador Nacional do Sistema (ONS) para essas regiões (MARTINS, et al. 2017).

Com a redução drástica nos custos da tecnologia no mundo, o Brasil tem um cenário favorável para a adoção do aumento das instalações (MARTINS, et al. 2017). Adicionalmente, o país vem com um histórico de aumento das tarifas de forma significativa, colaborando para que ocorra uma mudança mais significativa na matriz energética do país.

Tabela 3: Valor médio da tarifa de energia elétrica por MWh em residências no Brasil entre 2014 e 2018.

Ano analisado	Valor médio da tarifa de energia elétrica por MWh em residências (R\$)
2014	R\$ 362,11
2015	R\$ 470,02
2016	R\$ 459,97
2017	R\$ 476,13
2018	R\$ 524,22

Fonte: Portal Solar.

Logo, apesar de receber uma grande quantidade de irradiação solar durante todo o ano, o seu aproveitamento é baixo, e, portanto, ainda há espaço para o crescimento do uso de energia solar através de investimentos e financiamentos, coordenados pelo Estado (DA CUNHA KEMERICH, 2016).

O território brasileiro é extenso e, tendo em vista as médias anuais de irradiação solar, o Brasil tem um potencial maior que grande parte dos países, pois, devido à sua localização geográfica e características climáticas, apresenta médias anuais altas de incidência de radiação solar em quase todo o território (DA CUNHA KEMERICH, 2016).

De acordo com a Figura 18, a IRENA levantou dados de investimentos relacionados aos projetos realizados nos países que buscam o desenvolvimento da energia solar, o Brasil é o 4º país que mais teve investimento nessa fonte de energia renovável entre o período de 2014 a 2020, cerca de 1,3 bilhões de dólares.

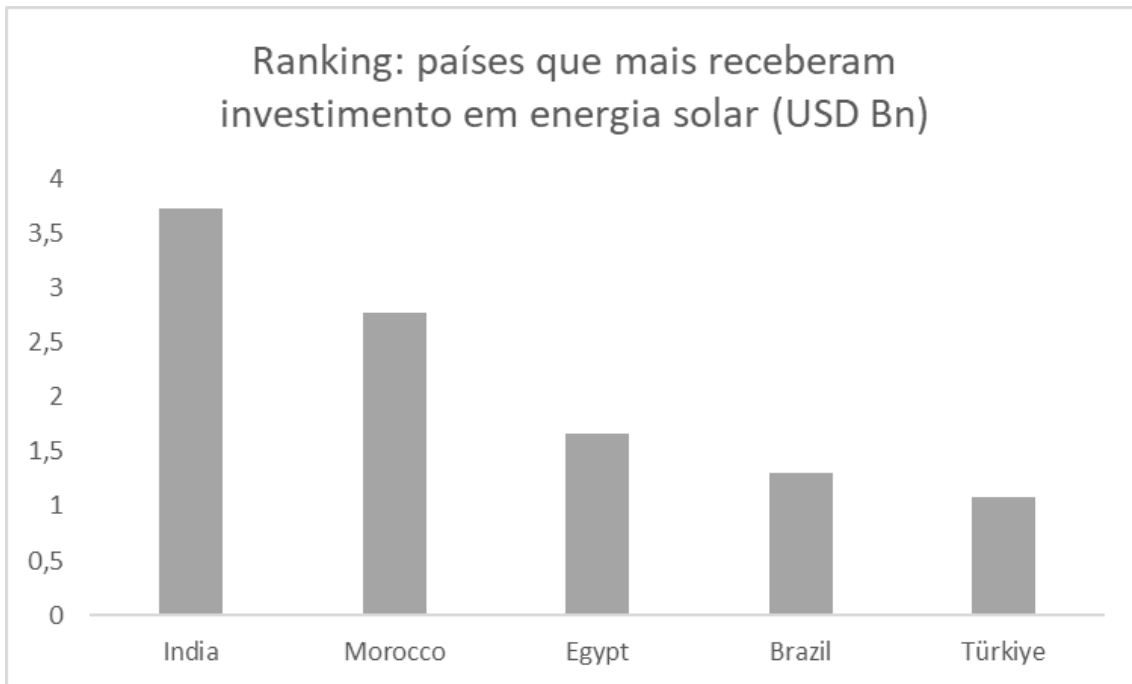


Figura 18: Ranking dos países que mais receberam investimento em energia solar (Fonte: IRENA)

4.3. Mercado de energia solar no Brasil.

O Portal Solar (2022), empresa de tecnologia que compõe o grupo Votorantim, contribuiu com a caracterização do mercado brasileiro de energia solar, que vem se desenvolvendo desde 2012, uma vez que a primeira regulamentação, a Resolução Normativa 482, de energia distribuída se inicia neste período. Logo após, a energia centralizada é colocada em pauta no ano de 2014, através de leilões de usinas de energia solar, iniciando sua operação efetiva em 2017.

Em 2019, o mercado tem seu crescimento em torno de 212%, com 2,4 GW instalados. Isso se deve a muitos fatores, entretanto, os principais são: crise hídrica, linhas de crédito e preço dos painéis (Portal Solar, 2022).

As linhas de crédito, por sua vez, facilitaram o financiamento das instalações, por conta dos prazos de pagamento mais alongados e baixas taxas de juros. Ademais, o preço das instalações reduziu consideravelmente, tornando a energia solar uma opção muito viável.

Em 2020, a capacidade de potência instalada chega em torno de 7 GW, composta em grande parte pela mini e microgeração distribuída. Diante disso, o ano conclui em torno de 15,9 bilhões de reais investidos no setor e quase 100 mil empregos gerados (Portal Solar, 2022).

4.4. Geração de energia fotovoltaica.

Para que essa energia possa ser explorada, é necessário entender como funciona a conversão de energia solar em energia elétrica, bem como os equipamentos necessários para sua utilização e como a sua distribuição e geração pode ser realizada.

4.4.1. Equipamentos

As placas fotovoltaicas, em grande parte, são compostas por silício, sendo que, este material exposto à luz, produz corrente elétrica. A partir disso, com o auxílio de conexões em série ou em paralelo realizadas por fios que constituem as células voltaicas, é possível aumentar a corrente elétrica produzida e captar a energia solar de forma mais eficiente através de um conjunto de painéis fotovoltaicos, bem como, por meio dos módulos disponíveis no mercado. O tipo de corrente é a corrente contínua, semelhante à utilizada em baterias, podendo variar entre 5 e 300 watts (BANDEIRA, 2012).

Tanto na produção distribuída quanto na centralizada, os equipamentos tendem a ser os mesmos. Não obstante, grande parte das usinas utilizam “trackers”, dispositivos que acompanham o movimento aparente do Sol, aumentando a captação de luz.

4.4.2. Geração distribuída

É notório que para aplicação dos sistemas fotovoltaicos é necessário traçar o perfil do consumidor, portanto, em 2022, a Figura 19 demonstra que grande parte desses sistemas se concentra no setor Residencial, com 78,62 sistemas instalados. Outros setores

apresentam relevância, como por exemplo Comercial e Serviços, tendo 11,01% sistemas instalados.

Geração Distribuída por Classe de Consumo

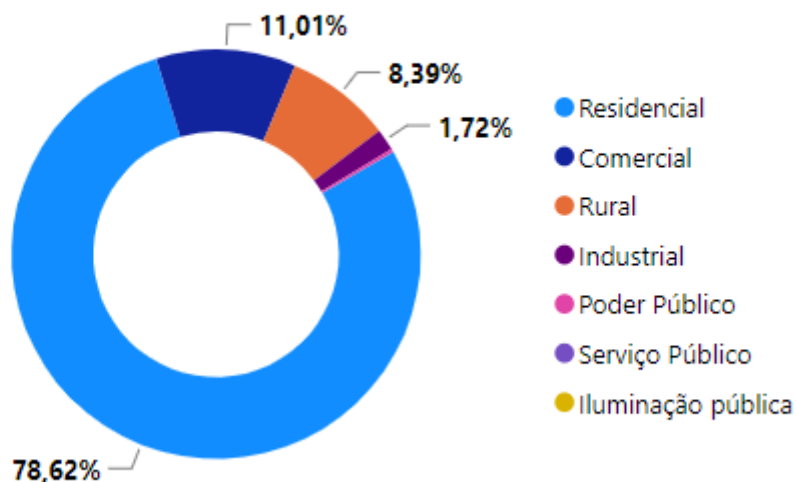


Figura 19: Percentual da geração distribuída por classe de consumo (Fonte ANEEL).

De acordo com dados da ANEEL (2020), os estados da região Sul e Sudeste apresentaram maior potência instalada em relação ao modelo de energia distribuída (Figuras 20 e 21). De fato, dos 10 estados com maior potência instalada de energia solar fotovoltaica, 6 estão nessas regiões: Minas Gerais (2.350.278,71 kW), São Paulo (2.121.270,72 kW), Rio Grande do Sul (1.732.381,95 kW), Paraná (1.512.112,85 kW), Santa Catarina (844.977,64 kW) e Rio de Janeiro (674.245,53 kW). Por outro lado, os estados que têm menor potência instalada são Sergipe (90503,76 kW), Amazonas (90190,94 kW), Acre (42117,94 kW), Roraima (21635,94 kW) e Amapá (20966,77 kW).

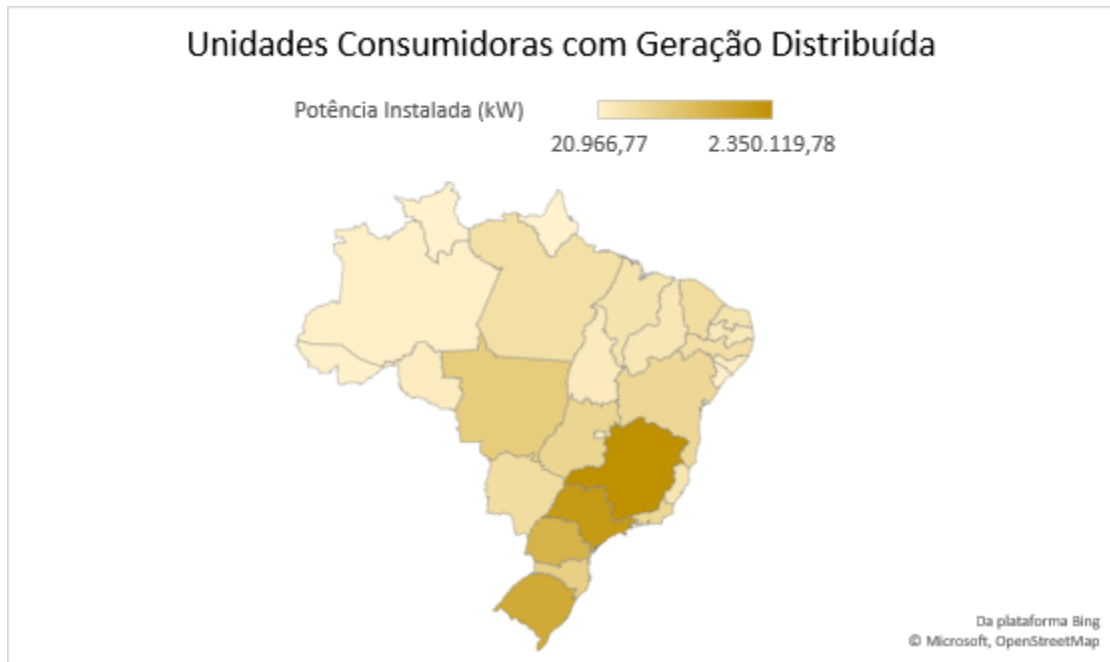


Figura 20: Mapa de calor da potência instalada de geração distribuída em cada unidade federativa brasileira (Fonte: ANEEL)

Nesse contexto, cabe apontar o fato desses estados estarem mais distantes da linha do equador e terem uma média de emissão solar relativamente menor em relação aos estados das regiões Norte, Nordeste e Centro Oeste, o que gera uma questão de eficiência das placas fotovoltaicas, em relação à capacidade produtiva. Logo, percebe-se a partir dos dados que há uma inversão: os estados das regiões que mais tem incidência solar apresentam a menor potência instalada e, os que estão nas regiões de menor incidência, tem maior potência instalada

Em contrapartida, o consumo de energia elétrica é maior nessas regiões do Sul e Sudeste, fazendo com que a demanda por energia mais barata, que é o caso da energia fotovoltaica, seja maior, portanto, ocorra uma maior oferta desses produtos, consequentemente, mais unidades instaladas.

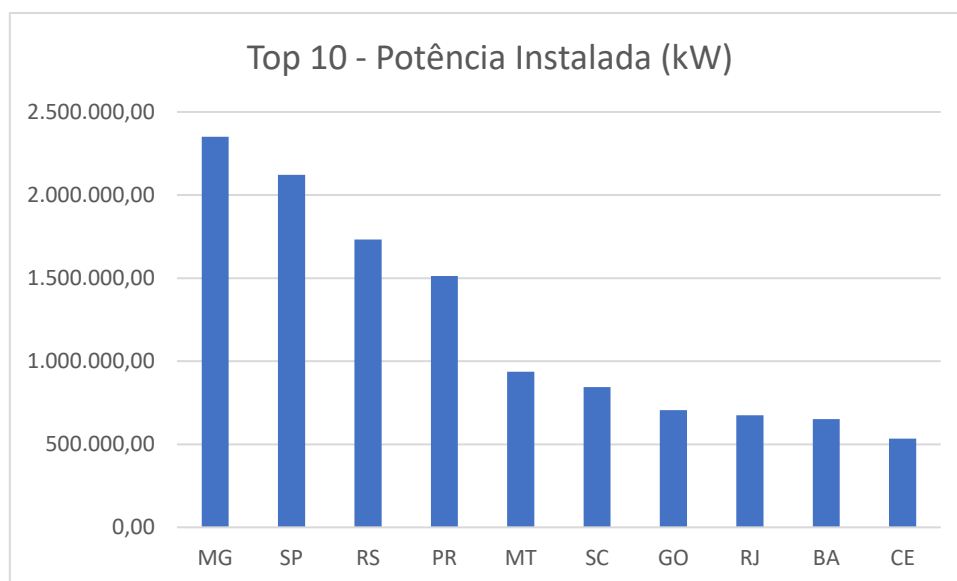


Figura 21: Ranking dos estados brasileiros com a maior quantidade de potência instalada para geração de energia solar distribuída (Fonte: ANEEL).

De acordo com a Figura 21, o estado de Minas Gerais apresenta o maior número de placas solares instaladas do país, isto porque existem incentivos que isentam a cobrança sobre a produção de energia e pelo alto índice de irradiação solar da região .

O potencial energético é estabelecido diante de quatro características: condições climáticas, meteorológicas, geográficas e topografia da região. Além disso, a média de incidência solar varia entre 5,5 e 6,5 kWh/m² (quilowatts/hora por metro quadrado).

Tabela 4: Ranking Municipal de Potência Instalada (MW) em 2022

Municípios	Potência instalada (MW)
1º Florianópolis	314,6
2º Brasília	204,3
3º Cuiabá	144,9

Fonte: ANEEL

Pela Tabela 4, em 2022, os municípios que apresentaram a maior potência instalada foram Florianópolis com 314,6 MW, seguido de Brasília com 204,3 MW e Cuiabá com 144,9 MW. Logo, partindo desse ponto, o município diverge com a tendência estadual, sendo que o 1º lugar se localiza no estado de Santa Catarina

4.4.3. Geração Centralizada

A usina solar é capaz de gerar energia em grande escala e de forma centralizada, o que difere da geração distribuída, uma vez que ela se assemelha na produção dos próprios consumidores através de sistemas de micro e minigeração. Logo, as usinas se baseiam em grandes sistemas fotovoltaicos com o intuito de produção e comercialização da energia elétrica.

O funcionamento é baseado no sistema de energia solar fotovoltaica residencial, com placas fotovoltaicas compostas por células que absorver a energia transmitida pelos raios solares, gerando um potencial elétrico que produz energia em forma de corrente contínua, direcionada aos inversores para ser transformada em corrente alternada é utilizada para consumo.

A diferença das usinas para o sistema fotovoltaico é o destino da energia elétrica produzida. No primeiro, toda energia é direcionada para a rede elétrica, passando por transformadores que aumentam sua voltagem é enviada para a rede de transmissão. Já no segundo, a energia gerada é utilizada para o abastecimento do local, sendo que o excedente é injetado na rede de distribuição.

De acordo com a Tabela 5, os estados que apresentam maior potência instalada em 2022 foram: Minas Gerais, com 1.698 MW em operação e com 29.667 MW em construção ou com a construção não iniciada, Piauí, com 1.335,5 MW em operação e com 10.584,1 MW em construção ou com a construção não iniciada, e Bahia, com 1.356,4 MW em operação e com 9.024,6 MW em construção ou com a construção não iniciada.

Tabela 5: Ranking estadual do potencial instalado em MW das usinas solares fotovoltaicas.

Estado	Em operação (MW)	Construção (MW)
1º Minas Gerais	1.698	29.667
2º Piauí	1335,5	10.584,1
3º Bahia	1.356,4	9.024,6

Fonte: ANEEL

Um exemplo de usina solar, com projeto assinado em 2019 e concluído em 2020, a parceria realizada pela Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) e Alsol Energias Renováveis (Grupo Algar), com um investimento em torno de R\$ 22,7 milhões, criam uma instalação com 1.152 painéis solares que geram 480 mil kWh/ano. Em termos mais palpáveis, essa capacidade pode atender em torno de 250 residências com consumo médio de 150 kWh por mês (Portal Solar, 2022).

Ademais, a potência instalada total das usinas solares é de 5.312MW, sendo que o país ainda apresenta 3 usinas solares no seu ranking de geração de energia, de acordo com os

dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS): Usina solar São Gonçalo, Usina solar Pirapora e Usina solar Nova Olinda (Portal Solar, 2022).

A Usina Solar São Gonçalo, estabelecida em São Gonçalo do Gurguéia, no Piauí, é a maior do país e da América do Sul, com capacidade de 475 MW e podendo reduzir a emissão de 860 mil toneladas de CO₂ por ano. Ela possui placas solares bifaciais que aumentam sua capacidade de captação de luz, sendo diferente das placas utilizadas em residências. Já em Minas Gerais, a Usina Solar de Pirapora é composta por mais de 1 milhão de painéis solares e tem a geração de 321 MW. Numa área de 8 km², a usina é considerada a maior em relação à extensão territorial, localizada na região Norte do estado do Piauí, a Usina Solar Nova Olinda pode gerar até 292 MW, com uma extensão de 690 hectares (6,9 km²).

4.4.4. Sistema autônomo

Esse sistema se configura na produção de energia elétrica através das placas, sendo que está conectada apenas no sistema da residência e é consumida por completo.

Uma vez que ainda existem áreas vulneráveis que sofrem com a precarização dos serviços estatais, dentre eles a falta de distribuição de energia elétrica, a energia fotovoltaica torna-se uma alternativa atraente, já que não precisa de grandes linhas de distribuição (DA CUNHA KEMERICH, 2016).

Já que há essa demanda, existe essa tecnologia no mercado privado, como por exemplo baterias de relógios e celulares, mas também há a utilização em áreas de iluminação pública (BANDEIRA, 2012).

4.4.5. Sistema integrado

Para estabelecer a tarifa, a ANEEL (2022) considera as despesas desde quando a energia é gerada até a sua entrega na unidade consumidora. Assim, para entender a composição da tarifa, é necessário antes entender como o setor elétrico funciona.

A cadeia que a energia percorre é estabelecida da seguinte forma: produção nas geradoras para os transmissores e percorre até os centros consumidores, na qual as distribuidoras permitem o acesso à população. Esse processo ocorre para todas as regiões, exceto em sistemas isolados, que se localizam na região Norte. Isso é possível por conta do Sistema Interligado Nacional (SIN), composta por 100 km de extensão (ANEEL, 2022).

Logo, após entender o dinamismo em que a energia está inserida para chegar nos consumidores, a ANEEL (2022) calcula a tarifa considerando os seguintes aspectos: energia gerada, transporte até unidades consumidoras, considerando transmissão e distribuição, e encargos setoriais. Ademais, os Governos Federal, Estadual e Municipal incluem na tarifa tributos como o Programa de Integração Social e Contribuição para o Financiamento de Seguridade Social (PIS/COFINS), Circularização de Mercadorias e Serviços (ICMS) e Contribuição para Iluminação Pública (CIP), que são instituídos por lei, assim como os encargos setoriais. Além disso, o custo das distribuidoras apresenta duas classificações: Parcela A (compra, transmissão e encargos setoriais) e Parcela B (distribuição).

A Tabela 6 demonstra as distribuidoras com as maiores tarifas convencionais do país, tendo também as tarifas branca - ponta, intermediária e fora ponta. Isso enquanto o período de vigência das distribuidoras estiver sendo cumprido. Nota-se que as maiores tarifas estão nos estados do Sudeste, como por exemplo: Ceral Araruama (RJ), Ceres (RJ), CERCI (RJ), Cedrap (SP), CERMC (SP) e Energia Nova Friburgo (RJ) são 6 das 10 primeiros do ranking, sendo que estas apresentam tarifas convencionais de R\$1,1313 por kWh, R\$ 1,272 por kWh, R\$ 1,230 por kWh, R\$ 0,994 por kWh, R\$ 0,901 por kWh e R\$ 0,822 por kWh, respectivamente.

Tabela 6: Ranking das tarifas de 2022 por distribuidoras no Brasil.

Distribuidora	UF	Ranking	Tarifa Convencional	Início de vigência
Ceral Araruama	RJ	1	1,313	29/04/22
Ceres	RJ	2	1,272	29/04/22
CERCI	RJ	3	1,230	29/04/22
Cedrap	SP	4	0,994	30/11/22
Cercos	SE	5	0,915	29/05/22
CERMC	SP	6	0,901	30/11/22
COOPERNORTE	RS	7	0,890	22/12/22
Equatorial PA	PA	8	0,879	07/08/22
Amazonas Energia	AM	9	0,835	01/11/22
Energisa Nova Friburgo	RJ	10	0,822	22/06/22

(Fonte: ANEEL)

Logo, partindo do pressuposto que as tarifas advêm, em parte, do cálculo da distância percorrida pela energia gerada, o encurtamento deste trajeto pode ser considerado uma forma de barateamento, sendo essa, uma das características da geração fotovoltaica distribuída.

A partir de 2012, ANEEL toma a iniciativa de regulamentar a micro e minigeração, tendo como ferramenta a Resolução Normativa 482/2012, na qual um telhado solar tem a permissão de se conectar ao Sistema Interligado Nacional (SIN), alimentar com a energia elétrica excedente e receber créditos por kWh inserido (MARTINS, et al. 2017).

O limite estabelecido pela resolução em 2012 era de 1000 kWp, porém, em 2016, ocorreu um aumento para 5000 kWp por unidade consumidora (UC), equivalente ao consumo médio de mil residências de classe média no Brasil (MARTINS, et al. 2017).

Na resolução de 2016, a REN 687/2015, houve a extensão para condomínios, consórcio, cooperativo e autoconsumo remoto. Logo, a expectativa até 2024 é a instalação de até 1,2 milhão de geradores solares fotovoltaicos, com foco na instalação em edificações, sendo nos telhados ou em fachadas (MARTINS, et al. 2017).

A energia solar fotovoltaica pode ser uma alternativa para diversificar a matriz energética brasileira, já que tem um menor impacto ambiental. Além disso, pode ser instalada perto do ponto de consumo e minimizando as perdas da transmissão (RÜTHER, et al. 2007).

As perdas de energia podem ser classificadas em técnicas e não técnicas, sendo que são referentes a energia que não é comercializada, mas é gerada e conduzida pela Rede Básica. A primeira se refere ao transporte de energia que, inevitavelmente, gera perdas, podendo ser através do calor gerado (efeito joule) nos condutores, núcleo dos transformadores ou perdas dielétricas. Já a segunda, é caracterizada principalmente pelo desvio direto da rede ou alterações nos medidores (ANEEL, 2022).

As perdas técnicas são calculadas pela diferença entre a energia gerada e a entregue nas redes de distribuição, sendo apuradas mensalmente pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e o custo, apurado nos processos tarifários dividido 50% para geração e 50% para o consumidor. Os percentuais são definidos pela ANEEL (2022) a cada 4 ou 5 anos, tanto as perdas técnicas quanto as não técnicas.

O cálculo das perdas difere de acordo com as características do segmento da rede, seja ele baixa, média ou alta tensão, dos transformadores, ramais de ligação e medidores. Logo, é aplicado um modelo específico para cada situação, utilizando informações básicas, como por exemplo: comprimento e bitola dos condutores, potências dos transformadores e energia fornecida às unidades consumidoras (ANEEL, 2022).

As perdas não técnicas são calculadas pela diferença entre as perdas totais e as perdas técnicas. Em suma, a ANEEL utiliza uma metodologia de comparação do desempenho das distribuidoras, através dos critérios de eficiência e as características socioeconômicas das áreas de concessão

Abaixo, a Figura 22 ilustra o processo de distribuição com suas possíveis perdas:

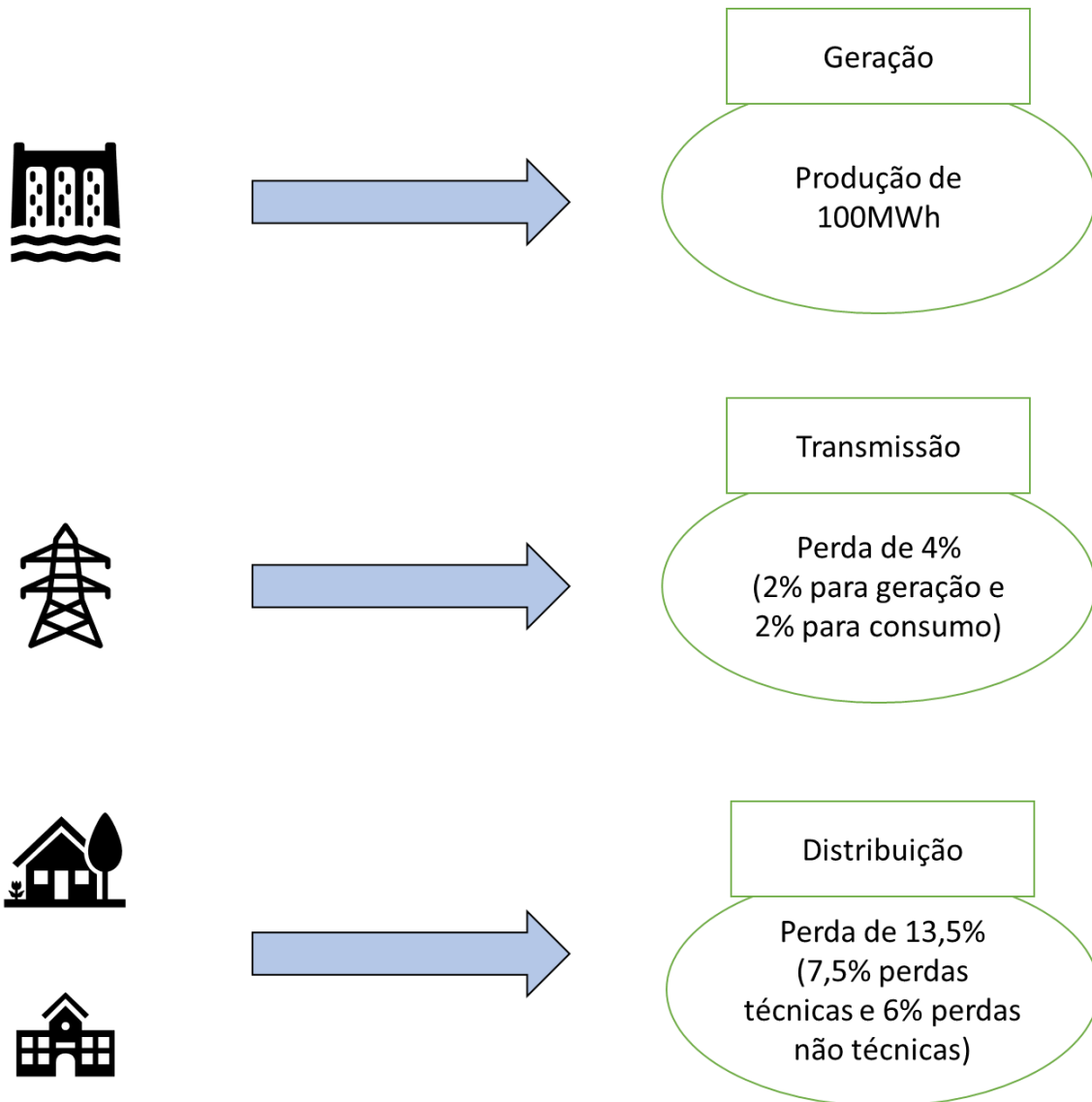


Figura 22: Histograma das possíveis perdas de energia de um sistema - R\$/kWh (Fonte: ANEEL)

Partindo do ponto de geração, as hidrelétricas, no exemplo citado na Figura 19, geram 100 MWh, alimentado a Rede Básica. Após isto, a transmissão será realizada e a energia transmitida será de 96 MWh, sendo que há uma perda de 4%, caracterizado por 2% para geração e 2% para consumo. Logo, 96 MWh entra nos Sistemas de Distribuição e ocorre uma perda de 13,5%, no caso, 13 MWh, composto por 7,5% de perdas técnicas calculadas e 6% de perdas não técnicas. Portanto, a energia pronta para consumo é de 83 MWh.

4. 5. Incentivos.

Um outro autor que pode contribuir em relação à estratégia do país para o desenvolvimento do setor é Silva (2015), apresentando abordagens que o Brasil pode utilizar para incentivar o desenvolvimento desse setor, dentre as quais destacam-se a isenção de impostos e linhas de crédito.

Em relação a isenção de impostos, pode-se elencar as seguintes contribuições: isenção sobre o ICMS em relação aos equipamentos utilizados para a produção de energia elétrica através da energia solar, entretanto, nem todos os aparelhos estão inclusos; suspensão da contribuição para o PIS e formação do Patrimônio do Servidor Público (PASEP) e COFINS, sendo que esse incentivo apresenta validade de 5 anos após o início da criação da infraestrutura das usinas; isenção de tributos para equipamentos relacionados a automação e informática; isenção das alíquotas de COFINS e PIS/PASEP nos materiais importados ou no mercado interno de indústria de bens de produção para ativo imobilizado, como também o Imposto de Renda e o Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) pode ser zerado; projetos realizados nas áreas da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), da Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) e da Superintendência do Desenvolvimento do Centro-Oeste (SUDECO) tem redução no imposto de renda.

Já em relação às linhas de crédito e captação de recursos, podem ser citadas: isenção de imposto de Renda dos rendimentos de títulos no mercado de capitais relacionados ao setor da construção civil voltados para a implantação de usinas, como também na infraestrutura de produção econômica intensiva em pesquisa, desenvolvimento e inovação, nomeado como Debêntures Incentivadas que é regulamentada pelo poder Executivo; Apoio a Projetos de Eficiência Energética (PROESCO), realizado através do Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES), que consiste no financiamento de projetos que atendem a alguns critérios pré-definidos, sendo que um deles contempla o uso da energia fotovoltaica; Condições Diferenciadas de Financiamentos que apresentam baixa taxa de juros e prazo de até 20 anos de amortização para projetos e produção de equipamentos no país; pessoa física pode adquirir os equipamentos para a geração de energia até um certo limite e parcelar em 20 anos, com baixa taxa de juros através da Caixa Econômica Federal; Fundo Clima que oferece recursos para financiamento de pesquisas, projetos e empreendimento atendendo a certos critérios, no qual a energia solar se enquadra.

De certo modo, os autores que foram supracitados entram em acordo em relação aos pontos positivos da energia fotovoltaica, sendo que todos buscam compreender os aspectos e o contexto do Brasil para que esse setor seja desenvolvido e que passe a suplantiar grande parte da matriz energética, contribuindo no âmbito social a curto prazo, mas também colaborando com a mudança de utilização de energias não renováveis para energias renováveis.

Por isso, cabe ressaltar que, além de concordarem, eles se complementam com suas definições e análises, tanto do ponto de vista macroeconômico quanto no microeconômico, buscando afirmar que existe um potencial energético muito interessante economicamente para ser explorado, como este potencial pode ser utilizado, bem como os meios de incentivar e aquecer o mercado para que ocorra uma mudança estrutural e não conjuntural no setor energético brasileiro.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do ponto de vista macro, a pesquisa se concentrou em analisar o contexto global e comparar com o contexto nacional, aprofundando nas características do mercado brasileiro, como ocorre o funcionamento da tecnologia fotovoltaica, como é aplicada e quais as possibilidades de desenvolvimento.

No primeiro momento, ainda existe uma disparidade entre a utilização de energias renováveis e não renováveis. Entretanto, alguns fatores históricos, como por exemplo o preço do petróleo e desastres naturais, apontam uma fragilidade na dominância das energias não renováveis. Isto comprova que ainda existe espaço para o crescimento de novas tecnologias e maior diversidade entre elas.

A energia fotovoltaica se destaca entre elas, tendo um aumento considerável na sua participação da matriz energética mundial, entretanto, apesar de os módulos solares terem barateado, sua capacidade ainda não é bem aproveitada.

O Brasil tem uma utilização considerável de energia renovável, porém, a predominância nessa área vêm das hidrelétricas, podendo apontar uma tendência no período abordado, pois ocorre baixa diversificação nas tecnologias que provêm energia elétrica através das energias renováveis. O oposto ocorre com as energias utilizadas pelo resto do mundo, já que no mesmo período, ocorreu alta diversificação, talvez, caracterizando um atraso nesse setor do país.

Não obstante, os investimentos recebidos desde 2014 o colocam como possível emergente, com boas chances de estabilização e predominância da energia fotovoltaica, já que apresenta características que suprem os defeitos da energia elétrica proveniente das hidrelétricas. As crises hídricas que decorrem por conta dos períodos de seca no país, afetam a oferta de energia elétrica no país, podendo não atender a demanda da população.

Além disso, outro incentivo para que ocorresse esse aumento nos investimentos foi a tendência do desuso da energia nuclear que apresenta vários riscos para os países que a utilizam, como desastres que podem ser ampliados com a presença dessas usinas. Com isso, esse perigo presente confirmou que outras tecnologias, como a fotovoltaica, obtivessem maior visibilidade no cenário mundial, principalmente nos países que estavam com significativa participação da energia nuclear nas suas matrizes energéticas. Dessa forma, o mercado de energia solar fotovoltaica deve ser estimulado, estruturado e se tornar acessível.

Linhas de crédito são uma alternativa de promover a entrada nesse mercado, adicionalmente com o barateamento das placas solares que podem ser alocadas de acordo com o seu tipo de geração. Para isso, o perfil do consumidor e as regiões com maior potencial foram destacadas, afirmando com o plano de desenvolvimento.

Além disso, uma das características que promovem a acessibilidade é a produção autônoma, já que a energia elétrica pelo sistema integrado ainda não é disponível para 100% da população. Porém, para a produção de energia que é inserida no sistema, as tarifas e regulamentação são voltadas para incentivar as instalações nas residências e

comércios, ademais, podem realizar ainda mais. Através disso, não apenas as distribuidoras, mas também o governo nacional age por meio da isenção de impostos.

Desse modo, partindo do panorama supracitado, há uma expectativa que ocorra um aumento do consumo de energia renovável no país, mantendo as hidrelétricas e aumentando o consumo de energia fotovoltaica, assim, colaborando para maior diversificação na matriz energética nacional. Como consequência, o mercado deverá se desenvolver no médio e longo prazo, mas, no curto prazo, as linhas de crédito já cumprem o papel de aumentar a demanda pelos equipamentos e o barateamento dos mesmos contribui para que a oferta seja reajustada.

Em relação ao tipo de consumidor que deve ser atendido, pode ser alcançada uma maior eficiência, tanto energética quanto rentável, ao correlacionar a geração distribuída, que tem maior efetividade com sua produção voltada para o varejo, isso também promove o aumento do sistema integrado. Enquanto a geração centralizada segue com o mesmo objetivo quando voltada para o atacado, abastecendo as distribuidoras em regiões espaçadas e de alta incidência solar.

Entretanto, apesar de toda a estrutura ser fortalecida e ser desenvolvida através desses apontamentos, é de suma importância a regulamentação e incentivos dos governos federais, estaduais e municipais. Ainda há pouca comunicação entre essas instâncias, nas quais possuem grande impacto nas relações de oferta e demanda do mercado.

6. BIBLIOGRAFIA

Access to electricity (% of population) - Brazil. World Bank, 2022. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicador/EG.ELC.ACCS.ZS?locations=BR>. Acesso em 17 dez. 2022.

Aumento da energia elétrica: histórico de reajustes. Portal Solar, 2022. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/aumento-do-custo-energia-eletrica-com-tempo>. Acesso em 16 dez. 2022.

BANDEIRA, F. De P. M. Aproveitamento da energia solar no Brasil: Aproveitamento e perspectivas. Disponível em: http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/9008/aproveitamento_energia_bandeira.pdf?sequence. Acesso em: 13 Mai 2022.

Country Rankings. IRENA, 2022. Disponível em: <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings>. Acesso em 17 dez. 2022.

Custo da energia que chega aos consumidores. ANEEL, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/custo-da-energia-que-chega-aos-consumidores>. Acesso em: 16 dez. 2022.

DA CUNHA KEMERICH, Pedro Daniel et al. Paradigmas da energia solar no Brasil e no mundo. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, p. 241-247, 2016.

Dados do mercado de energia solar no Brasil. Portal Solar, 2022. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/mercado-de-energia-solar-no-brasil.html>. Acesso em 16 dez. 2022.

Electricity production from renewable sources, excluding hydroelectric (% of total) - Brazil. World Bank, 2022. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicador/EG.ELC.RNWX.ZS?end=2015&locations=BR&start=1971&view=chart>. Acesso em 17 dez. 2022.

Electricity production from renewable sources, excluding hydroelectric (% of total) - Brazil. World Bank, 2022. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicador/EG.ELC.RNWX.ZS?end=2015&locations=BR&start=1971&view=chart>. Acesso em 17 dez. 2022.

Empreendimento-geração-distribuída. ANEEL, 2022. Disponível em: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/relacao-de-empresendimentos-de-geracao-distribuida/resource/b1bd71e7-d0ad-4214-9053-cbd58e9564a7>. Acesso em: 16 dez. 2022.

Energia Solar Fotovoltaica em Minas Gerais. Portal Solar, 2022. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-fotovoltaica-em-minas-gerais>. Acesso em 16 dez. 2022.

Energy Statistics Data Browser. IEA, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data->

browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel.
Acesso em 16 dez. 2022.

GALDINO, Marco Antonio. Análise de custos históricos de sistemas fotovoltaicos no Brasil. In: IV Congresso brasileiro de energia solar. 2012.

Geração. ANEEL, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e-indicadores/geracao>. Acesso em: 16 dez. 2022.

Geração Distribuída. ANEEL, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em: 16 dez. 2022.

Geração Distribuída - Unidades Consumidoras com Geração Distribuída. ANEEL, 2022. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Estadual.asp. Acesso em: 16 dez. 2022.

LIMA, Paulo César Ribeiro. Os desafios, os impactos e a gestão da exploração do pré-sal. Estudo da Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados, 2008.

Maiores usinas solares fotovoltaicas do Brasil. Portal Solar, 2022. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/maiores-usinas-de-energia-solar-do-brasil>. Acesso em 16 dez. 2022.

MARTINS, Fernando Ramos et al. Atlas brasileiro de energia solar 2. 2017.

MATTHES, FELIX; ROSENKRANZ, GERD; BERMANN, CÉLIO. A energia nuclear em debate. 2005.

New World Record Achieved in Solar Cell Technology. ENERGY.GOV, 2022. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20201030172134/https://www.energy.gov/articles/new-world-record-achieved-solar-cell-technology>. Acesso em: 13 dez. 2022.

Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo. ABSOLAR, 2022. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em 16 dez. 2022.

PEDROSA JUNIOR, Oswaldo Antunes; CORRÊA, Antônio Cláudio de França. A crise do petróleo e os desafios do pré-sal. 2016.

Perdas de Energia. ANEEL, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/distribuicao/perdas-de-energia>. Acesso em: 16 dez. 2022.

PEREIRA, André Belmont; VRISMAN, Augusto Leandro; GALVANI, Emerson. Estimativa da radiação solar global diária em função do potencial de energia solar na superfície do solo. Scientia Agricola, v. 59, p. 211-216, 2002.

Plano de Desenvolvimento da Distribuição. ANEEL, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/distribuicao/plano-de-desenvolvimento-da-distribuicao>. Acesso em: 16 dez. 2022.

Ranking da Tarifa Residencial. ANEEL, 2022. Disponível em: <https://portalrelatorios.aneel.gov.br/luznatarifa/rankingtarifas>. Acesso em: 16 dez. 2022.

Renewable electricity output (% of total electricity output). World Bank, 2022. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicador/EG.ELC.RNEW.ZS>. Acesso em 17 dez. 2022.

Renewable energy consumption (% of total final energy consumption). World Bank, 2022. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicador/EG.FEC.RNEW.ZS>. Acesso em 17 dez. 2022.

Renewable Energy Finance Flows. IRENA, 2022. Disponível em: <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Finance-and-Investment/Renewable-Energy-Finance-Flows>. Acesso em 17 dez. 2022.

RICHTER, Renato Mauro; JACOBI, Pedro Roberto. Conflitos na macrometrópole Paulista pela perspectiva da crise hídrica. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, v. 20, p. 556-569, 2018.

RÜTHER, Ricardo. Relatório da sessão “Energias alternativas e potencial da energia solar fotovoltaica no Brasil”. *Parcerias Estratégicas*, v. 15, n. 31, p. 273-288, 2012.

SILVA, Rutelly Marques da et al. *Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios*. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, 2015.

Solar photovoltaic (PV) module prices. Our World in Data, 2022. Disponível em: <https://ourworldindata.org/grapher/solar-pv-prices>. Acesso em 16 dez. 2022.

Statistical Review of World Energy. British Petroleum, 2022. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>. Acesso em 16 dez. 2022.

Technologies. IRENA, 2022. Disponível em: <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Capacity-and-Generation/Technologies>. Acesso em 17 dez. 2022.

VALLÊRA, Antônio M.; BRITO, Miguel Centeno. Meio século de história fotovoltaica. *Gazeta de Física*, v. 1, n. 2, p. 17, 2006.