

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS**

ANA LAURA DA SILVA DE OLIVEIRA

**O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL:
UM ESTUDO SOBRE SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

**PORTO ALEGRE
2021**

ANA LAURA DA SILVA DE OLIVEIRA

**O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL:
UM ESTUDO SOBRE SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

Trabalho de conclusão submetido ao Curso de Graduação em Ciências Econômicas da Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Economia.

Orientador: Prof. Fabian Scholze
Domingues

PORTO ALEGRE

2021

CIP - Catalogação na Publicação

da Silva de Oliveira, Ana Laura
O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: UM ESTUDO SOBRE
SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA / Ana Laura da
Silva de Oliveira. -- 2021.
71 f.
Orientador: Fabian Scholze Domingues.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade
de Ciências Econômicas, Curso de Ciências Econômicas,
Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Energia Solar Fotovoltaica. 2. Desenvolvimento
Sustentável. 3. Matriz Energética. 4. Agenda 2030. I.
Scholze Domingues, Fabian, orient. II. Título.

ANA LAURA DA SILVA DE OLIVEIRA

**O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL:
UM ESTUDO SOBRE SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

Trabalho de conclusão submetido ao Curso de Graduação em Ciências Econômicas da Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, como requisito parcial para obtenção do título Bacharel em Economia.

Aprovada em: Porto Alegre, 18 de maio de 2021.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Fabian Scholze Domingues – Orientador
UFRGS

Profa. Dra. Rumi Regina Kubo
UFRGS

Prof. Dr. Stefano Florissi
UFRGS

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a Deus pelo dom que é o saber, pela capacidade de aprender, ver, ler e escrever. Pela liberdade e pelo discernimento que a educação me proporciona, pela capacidade de ir e vir, por abençoar a minha casa, a ponto de possibilitar a dedicação integral aos estudos pelo máximo de tempo possível.

Agradeço a minha família por sempre incentivar, motivar, confiar, afagar, consolar, abrir mão, celebrar, estar presente, apoiar, transportar, custear, e tantos outros verbos ativos que sempre foram demonstrações práticas de amor e zelo - sempre atentando à importância da disciplina, da perseverança, da generosidade, da fé e da honestidade, acima de tudo. Agradeço a eles pelo café passado, pelas caronas até às aulas, pelas horas pagas de reforço, por serem intencionais e incansáveis, por respeitarem minhas vontades e por sempre iluminarem e esclarecerem meus momentos de confusão e desesperança. Amo vocês.

Agradeço aos meus amigos que foram indispensáveis ao longo de todo o caminho. Aos que estudaram junto para o vestibular, os que celebraram a entrada na universidade, os que perseveraram, ajudaram e choraram junto ao longo da graduação e os que hoje celebram comigo a conquista que é concluir esse ciclo. Em especial, agradeço a Bruna, Gabriel, Júlia e Selena. Conhecer vocês em março de 2015, na primeira aula de Estatística I, foi simplesmente um divisor de águas na minha vida. Obrigada por tudo.

Por fim, agradeço à Universidade. Agradeço a cada professor, coordenador, servidor, monitor, bolsista, colega, grupo de extensão e pesquisa. Que privilégio indescritível foi integrar o corpo docente da UFRGS, participar de tantos espaços e momentos de engrandecimento acadêmico, pessoal e profissional. Testemunhar tantos atos e comportamentos potentes que, diariamente, lutam para derrubar os estigmas e limitações que forças externas nesse país tentam impor. Assim como todos os agradecimentos anteriores, não é possível expressar tamanho orgulho e gratidão que tenho por tudo o que a UFRGS representa e me proporcionou nos últimos anos. Por tudo isso, muito obrigada.

RESUMO

Este estudo explorou o crescimento da energia solar como alternativa sustentável a outras fontes energéticas, não renováveis e/ou mais poluentes. A respeito disso, apresentou-se o Objetivo 7 da Organização das Nações Unidas (ONU), na Agenda 2030, o qual propõe um plano de ação para uma matriz energética global mais limpa e acessível a todos. Demonstrou-se como os sistemas fotovoltaicos têm se popularizado em países centrais e industrializados, servindo como instrumentos de desenvolvimento sustentável econômico e ambiental para populações, pessoas físicas e jurídicas, e, conseqüentemente, como o Brasil tem potencial para desenvolver regulamentação e tecnologias para impulsionar esse setor. Esta pesquisa verificou a necessidade global por fontes limpas mediante observação de eventos climáticos anômalos e do pensamento crítico ambiental, principalmente a partir da segunda metade do século 20.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica. Desenvolvimento Sustentável. Matriz Energética. ONU. Agenda 2030.

ABSTRACT

This graduation work has explored the growth of solar energy as a sustainable alternative to other energy sources, non-renewable and/or more pollutant. Regarding that, it has been presented the Objective 7 of the United Nations on the 2030 Agenda, which proposes an action plan for a global energy mix cleaner and more accessible to all. It has been demonstrated how photovoltaic solar energy systems are getting popular in central and industrialized countries, serving as an instrument of sustainable development, both economic and environmental to populations, companies and individuals - and based on that, how Brazil has potential to develop regulation and technologies to boost this sector. This research has verified the global need for clean sources based on the observation of abnormal climate events and the environmental movement criticism upon them, arising in the second half of the 20th century.

Keywords: Photovoltaic Solar Energy. Sustainable Development. Energy Mix. UN. 2030 Agenda.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- <i>Loops</i> de <i>feedback</i> para população, capital, agricultura e população.....	19
Figura 2 - Rodagem standard do modelo global	21
Figura 3 - Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável	26
Figura 4 - Matriz energética do Brasil em 2019.....	29
Figura 5 - Matriz elétrica do Brasil em 2021	29
Figura 6 - Irradiação solar horizontal por kWh por m ²	37
Figura 7 - Potencial prático de geração de energia fotovoltaica por kWh por m ²	38
Figura 8 - Parcela da energia primária vinda de fonte solar, em 2019	39
Figura 9 - Distribuição de energia elétrica a partir da geração hidrelétrica	41
Figura 10 - Exemplo esquemático de um sistema fotovoltaico <i>on-grid</i>	42
Figura 11 - Exemplo esquemático de um sistema fotovoltaico <i>off-grid</i>	43
Figura 12 - Irradiação solar horizontal sobre o território brasileiro por kWh por m ² ..	48
Figura 13 – Diagrama do Modelo Global do Relatório Meadows	71
Gráfico 1 - Preços (US\$/megawatt-hora) de compra de potência energética solar e eólica acordados por país de 2012 a 2016	34
Gráfico 2 - Evolução do custo da geração de eletricidade por fonte energética (US\$ por megawatt-hora)	35
Gráfico 3 - Capacidade instalada de energia solar fotovoltaica global em GW de 2006 a 2018	36
Gráfico 4 - Participação da fonte solar e de fontes renováveis na geração global de energia de 2015 a 2019	37
Gráfico 5 - Evolução da potência fotovoltaica instalada no Brasil por MW.....	47
Gráfico 6 - Potência fotovoltaica e fototérmica instalada na Espanha em MW	54
Gráfico 7 - Projeção de capacidade instalada de energia solar fotovoltaica global em GW até 2024	59
Gráfico 8 - Projeção para 2021 de potência instalada de energia fotovoltaica no Brasil em MW.....	60
Quadro 1 - As metas do ODS 7 e seus indicadores e organizações responsáveis .	27
Quadro 2 - Componentes compensáveis em cada alternativa de tributação proposta pela nova Resolução Normativa nº 482	51
Quadro 3 - Resumo do cronograma proposto pela nova Resolução Normativa nº 482	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C.	antes de Cristo
ABRADEE	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAGR	<i>Compound Annual Growth Rate</i>
CAPEX	<i>CAPITAL expenditure</i>
CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica
CEPAL	Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe
EERE	<i>U.S. Department of Energy's Office of Energy Efficiency and Renewable Energy</i>
EUA	Estados Unidos da América
d.C.	depois de Cristo
GD	Geração Distribuída
GTA-ODS	Grupo de Trabalho Aberto dos ODS
GW	gigawatt
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IRENA	<i>International Renewable Energy Agency</i>
kW	quilowatt
kWh	quilowatt-hora
MG	Minas Gerais
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MW	megawatt
NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
ODM	Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
OPEX	<i>Operational Expenditure</i>
POA	Porto Alegre
PIB	Produto Interno Bruto
RN	Resolução Normativa

RS	Rio Grande do Sul
TE	Tarifa de Energia
TIR	taxa interna de retorno
TUSD	Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição
W	watt
WCED	<i>World Commission on Environment and Development</i>
WWF	<i>World Wildlife Fund</i>
ZISPOA	Zona de Inovação Sustentável de Porto Alegre

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 O CONCEITO ‘DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL’	14
2.1 O CONTEXTO PRÉ-DISCUSSÃO AMBIENTALISTA.....	14
2.1.1 Relatório Meadows: ‘Os Limites do Crescimento’	17
2.1.2 Relatório Brundtland: ‘Nosso Futuro Comum’	23
2.1.3 Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável	25
2.2 MUDANÇA DA MATRIZ ENERGÉTICA.....	27
3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	31
3.1 HISTÓRIA	31
3.2 DETALHES TÉCNICOS	40
3.3 VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA.....	44
4 A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL DE 2010 A 2020	46
4.1 REGULAÇÃO.....	49
4.2 CRÍTICAS À REGULAÇÃO.....	52
4.3 FONTES DE FINANCIAMENTO	54
4.4 TENDÊNCIAS	56
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
REFERÊNCIAS	65
APÊNDICE 1 – DIAGRAMA - MODELO GLOBAL DO RELATÓRIO MEADOWS.	71

1 INTRODUÇÃO

Em meados de 2019, o grupo de trabalho ‘Zona de Inovação Sustentável de Porto Alegre’ (ZISPOA), focado em projetos de inovação sustentável na cidade de Porto Alegre (POA) (WEISS; SEDMAK-WEISS; RODRIGUEZ, 2015), propôs a criação de uma cooperativa solar piloto na região central da cidade, com o objetivo de tornar a energia elétrica consumida pelos cooperados mais solar, aliando o desenvolvimento econômico dessas pessoas (e da cidade) à preservação ambiental, proveniente da geração de energia a partir de fontes ‘limpas’.

No entanto, a proposta precisaria apresentar os benefícios e um estudo de viabilidade para obter apoiadores e financiamento, para a aplicação prática do projeto, em sua formatação mais viável. Desde esta experiência, a autora tem estudado de maneira sistemática a energia solar como ferramenta de desenvolvimento econômico e ambiental, em concordância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), para 2030. Por ser uma opção mais econômica no longo prazo e tornar o consumo de eletricidade menos nocivo à natureza, é possível ver as matrizes energéticas de países em todos os continentes do globo se tornando mais solares (INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY - IRENA, 2018), por meio de incentivos governamentais e investimentos privados.

O objetivo deste trabalho é apresentar como a energia solar pode ser um exemplo de aplicação tangível do que a ONU conceituou como ‘desenvolvimento sustentável’. Um exemplo que pode ser tomado não apenas pela iniciativa privada, mas também pelos governos, com políticas públicas e subsídios de crédito para disseminação dessa fonte de energia, para impulsionar a economia, inclusive após momentos de crise.

Ao longo do processo de construção deste estudo, estudou-se o arcabouço teórico relacionado à construção do conceito de ‘desenvolvimento’, até períodos contemporâneos, quando a discussão passou a se afunilar ao âmbito da sustentabilidade e passou a ser uma pauta política. Em paralelo, nos últimos dois anos, com o apoio do ZISPOA, a autora se aprofundou em conceitos técnicos do campo da engenharia elétrica para compreensão do funcionamento de sistemas fotovoltaicos, assim como, em contato com profissionais e acadêmicos da área,

situou-se sobre os parâmetros considerados em um investimento financeiro nesse mercado. Por fim, a autora buscou evidências e dados através de regulamentos, relatórios e entrevistas de órgãos e representantes do setor de energia solar para construir sua argumentação.

Na primeira seção, apresenta-se o conceito de desenvolvimento e como algumas nações podem ser classificadas como desenvolvidas e outras não. Souza (1993) disserta sobre como os estruturalistas, muito influenciados pelo keynesianismo e representados por Celso Furtado, no Brasil, argumentam que o subdesenvolvimento e o desenvolvimento não são momentos subsequentes, mas, sim, formas de visualizar a composição dos fatores de produção dos países, e como suas economias são ditadas, pela indústria, pelo fator capital e pela tecnologia. No entanto, ao limitar as premissas do desenvolvimento ao recorte do pensamento ambientalista contemporâneo – segundo McCormick (1992), legitimado por meio de órgãos governamentais e da comunidade acadêmica, emergido na década de 1960 com, por exemplo, a publicação da obra de Rachel Carson em 1962, e com a fundação do Clube de Roma em 1968 – volta-se para a ideia de ‘desenvolvimento sustentável’.

A ONU inseriu o conceito na agenda política ao ratificar, em 1987, o relatório ‘Nosso Futuro Comum’, resultado de estudos e discussões da Comissão Brundtland que, ao reunir membros de 21 países diferentes durante os anos 1980, definiu o que seria “[...] *the development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs*”¹ (BRUNDTLAND, 1987, p. 41). A partir da construção desse Relatório (que será mais explorado ao longo da segunda seção deste estudo), a ONU estruturou várias pautas: assembleias gerais, conferências, cúpulas, declarações, acordos e agendas - muitos concluídos com planos de ações aplicáveis a todos os países membros, esmiuçados e aplicáveis do mais alto nível de gestão governamental ao mais ‘microeconômico’ (NAÇÕES UNIDAS, [201-?]).

Ainda na segunda seção, expõe-se a agenda mais recente elaborada pela ONU, o ‘Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável’, e o seu plano de ação: os 17 ODS e suas 169 metas. O sétimo desses

¹ “O desenvolvimento que atende as necessidades do presente sem comprometer a habilidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades.” (BRUNDTLAND, 1987, p. 41, tradução nossa).

objetivos, que será esmiuçado nesta pesquisa, é 'Energia Limpa e Acessível' (NAÇÕES UNIDAS, [201-?]).

Ao passo em que governos e organizações avançavam na conscientização e na reversão dos fenômenos climáticos em níveis globais, foi possível observar o advento da busca por alternativas para os meios de produção e consumo exploratório e acelerado de recursos naturais. Mantendo o estilo de vida atendido pela energia elétrica, sem o uso de combustíveis fósseis, algumas fontes renováveis de energia começam a emergir e se popularizar, sendo uma dessas a energia fornecida pela luz do sol. Nesse movimento, sistemas de energia solar fotovoltaica começaram a crescer com potência em todo o mundo (*SOLAR POWER EUROPE*, 2020).

A terceira seção deste estudo apresenta uma das alternativas mais populares de geração de energia a partir de fonte renovável, com mínima pegada poluente: a energia solar. A seção indica que a conscientização do movimento ambientalista não foi (e ainda não é) o único propulsor para o desenvolvimento tecnológico de células solares e para a 'solarização' das matrizes energéticas. Pode-se citar um importante marco histórico, a Crise Energética de 1973, que afetou vários países com a escassez do petróleo (McCORMICK, 1992). Contudo, o modelo solar não foi impulsionado apenas por episódios críticos, mas principalmente porque se enxergou maior vantagem econômica nessa alternativa. Dado isso, a seção ainda delinea as vantagens tanto ambientais e operacionais quanto financeiras do uso da energia solar - em alguns momentos - em um recorte limitado ao Brasil nos últimos anos e seus condicionantes operacionais locais.

Na quarta seção, são indicadas as tendências para esse crescente mercado: formas de financiamento, possíveis externalidades e projeções para o desenvolvimento do setor energético solar no Brasil. Atualmente, estima-se que toda a capacidade instalada para produção dessa energia no país (através de placas solares em residências, indústrias, meio rural e prédios comerciais), já representa 50% de toda potência produzida pela Usina Hidrelétrica de Itaipu (a 2ª maior do mundo), sendo as residências as líderes em produção dessa energia, segundo reportagem publicada no portal do longo G1 (*ENERGIA SOLAR BATE ...*, 2020). Contudo, segundo dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica

(ABSOLAR)², a energia solar fotovoltaica ainda representa apenas 1,7% da matriz energética brasileira (aproximadamente três mil megawatts (MW) sobre um total de 175 mil MW), ou seja, ainda há muito espaço para crescimento. Vide o exemplo da Alemanha: em 2020, a representatividade da energia solar na geração energética do país foi de 8,9% (*CLEAN ENERGY WIRE*, 2020). Sendo que, a Alemanha apresenta apenas 48% da irradiação solar que o Brasil possui (em quilowatt-hora (kWh) por metro quadrado), segundo o *Global Solar Atlas* (SOLARGIS, 2020).

A finalidade deste estudo é exprimir a energia solar como uma tecnologia que consolida uma série de benefícios de interesse comum, tanto ao meio ambiente, passando pelo desenvolvimento de países, até o crescimento econômico individual.

² A ABSOLAR é uma entidade nacional, sem fins lucrativos, que reúne empresas de toda a cadeia de valor do setor solar fotovoltaico no Brasil. A entidade coordena e representa os interesses de seus associados quanto ao desenvolvimento do setor, promovendo e divulgando a energia solar fotovoltaica no País (ABSOLAR, 2021).

2 O CONCEITO 'DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL'

Essa seção, introduz como se deu a inserção das preocupações de ambientalistas e cientistas dentro de discussões de cunho social e econômico, em fóruns internacionais, até virarem plano de ação da ONU.

2.1 O CONTEXTO PRÉ-DISCUSSÃO AMBIENTALISTA

Nesta primeira subseção, descreve-se como a degradação do meio ambiente, fruto dos excessos provenientes do modo de produção capitalista, tornou-se uma preocupação global entre as nações tomadoras de decisão. Delineia-se também de que modo ela se tornou objeto de discussão em fóruns internacionais, sobre vieses macroeconômicos e ambientais.

Para compreender o conceito de uma nação 'sustentavelmente desenvolvida', é preciso retroceder a discussão ao século XV. Com a virada do milênio 2000, muito se comentou sobre uma globalização impulsionada por novos meios de telecomunicação e *internet*. Porém, o início de viagens expansionistas colonizadoras e as trocas comerciais intercontinentais, há mais de 500 anos, já configuravam uma forma de globalização, e marcavam o início de uma 'macro cultura' de exploração, produção e consumo, com *milestones* posteriormente vistos em cada uma das revoluções industriais (RAYNAUT, 2006).

De acordo com Raynaut (2000), essa cultura já podia ser observada no movimento exploratório de países que depois viriam a ser denominados 'centrais e desenvolvidos', em detrimento dos países 'periféricos e subdesenvolvidos'³, reiterado e praticado até o século XIX - inicialmente no continente americano e, posteriormente, nos continentes africano e asiático. Segundo Fonseca (2000), baseado na obra de Raul Prebisch, os países centrais (até então, apenas países europeus) e os recursos típicos e abundantes nessas regiões (vegetais, hídricos, minerais) eram tidos como inesgotáveis, e a conquista de novas terras objetivava apenas a obtenção de maior território e de mercadorias diversificadas e raras (especiarias, frutos, pedras preciosas, entre outros) que, quando comercializadas na metrópole, tinham uma

³ Nomenclatura popularizada pela Teoria Estruturalista da Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL), encabeçada por Raul Prebisch na década de 1940 (FONSECA, 2000).

valorização muito alta.

Por séculos, acreditou-se que o limite para o crescimento de uma nação e sua economia, se dava à base da inteligência, do poder e da ambição de seus governantes e sua população. Em outras palavras, os fatores de produção estariam ao dispor dos seus gestores, para serem utilizados de forma que maximizassem o ganho de capital e o bem-estar de seus detentores (McCORMICK, 1992; RAYNAUT, 2006). Nesse caso, o governo de um país e/ou de uma colônia (pensamento também aplicável à propriedade privada, que não está no escopo deste estudo). Contudo, em meados do século XIX, com o advento da indústria manufatureira e com a conclusão das metrópoles de que os recursos naturais presentes na Europa eram sim finitos e não renováveis (e que poderiam limitar a produção de manufaturados), a expansão territorial do centro passou a ter outra finalidade: a busca por matérias primas e fontes de energia para manutenção da indústria (RAYNAUT, 2006).

Com isso, o distanciamento socioeconômico entre centro e periferia permaneceu sendo alargado. Conforme Fonseca (2000), ao passo em que os países desenvolvidos percebiam suas economias exponencialmente crescentes - e movidas pelos bens de alto valor agregado, à base de capital e tecnologia -, os países subdesenvolvidos evoluíam economicamente de forma muito lenta: dependentes da agricultura, da pecuária e do extrativismo, reféns da demanda externa por bens primários, escassos de capital e valor e à mercê dos altos preços dos bens de capital e de consumo importados de países centrais.

Todavia, após a Segunda Grande Guerra, a partir dos anos 1940, de acordo com Raynaut (2006), uma série de evidências comprovaram a finitude e a falibilidade dessa dinâmica econômica global. Apesar da conhecida 'Era do Ouro', marcada por milagres econômicos em vários países nas décadas 1950 e 1960, todas as nações que protagonizaram a guerra (muitas delas, impérios europeus, como Alemanha, Inglaterra e França), naturalmente se encontraram desorganizadas e enfraquecidas no momento imediato pós-guerra (social e economicamente), reduzindo, cada vez mais, sua influência e dominância sobre os países periféricos. Estes, tornando-se cada vez mais organizados e desenvolvidos, estabelecendo uma 'ocidentalização' das suas políticas e economias e um novo equilíbrio mundial, apesar do contexto de Guerra Fria e dualidade generalizada.

Enquanto os países periféricos mantinham a fé no crescimento constante, os

centrais passavam a enxergar um descompasso entre demanda de consumo e oferta de matérias primas, com o encarecimento de recursos mais raros, como o petróleo, devido à contaminação de rios pela indústria e à exploração mineral e madeireira; e da qualidade do ar, da água e do solo. Tem-se, então, o argumento de Meadows *et al.* (1972): somado a esse desequilíbrio e, principalmente, a um crescimento demográfico exponencial, mundialmente jamais visto, incrementando mais e mais a exigência por espaço físico, alimentação, bens de capital, condições de higiene e saúde, e os consequentes desperdícios - evidenciando que, *ceteris paribus*, a escassez de recursos seria uma questão progressiva. Apenas para visualização: segundo dados da *Population Division* do Departamento de Economia da ONU, apresentados em Meadows *et al.* (1972), a população mundial atingiu a marca de um bilhão de pessoas por volta do ano 1800. O segundo bilhão foi atingido em 1930 e, 40 anos depois (1970), a população mundial já havia dobrado e atingido quatro milhões de habitantes. Muitos são os fatores que influenciaram esse fenômeno, como por exemplo, a redução da mortalidade e o aumento da qualidade de vida (MEADOWS *et al.*, 1972).

Paralelamente a isso, movimentos políticos e ambientalistas surgiram, assim como discussões de cunho acadêmico e científico. De fato, os primórdios do movimento ambientalista apresentam marcos históricos importantes, na Inglaterra do século XIV e nos países da Primeira Revolução Industrial do século XIX.

Clean air and air pollution have been public issues for centuries. In 1306 King Edward I of England issued a proclamation banning the use of sea coal in London due to the smoke it caused. Over the next few centuries, additional efforts were made in Great Britain to reduce the amount of smoke in the air. The first attempt to control air pollution in the United States occurred during the industrial revolution. The cities of Chicago and Cincinnati enacted clean air legislation in 1881. Subsequently, other cities, towns, and regions slowly began enforcing their own clean air policies. (FLEMING; KNORR, [201-?], p. 1).⁴

No entanto, segundo McCORMICK (1992), foi na década de 1950, no cenário

⁴ “Ar puro e poluição do ar têm sido tópicos de discussão pública há séculos. Em 1306 o Rei Eduardo I da Inglaterra emitiu uma promulgação banindo o uso de carvão marinho em Londres devido à fumaça que este causava. Ao longo dos séculos seguintes, esforços adicionais foram feitos na Grã-Bretanha para reduzir o volume de fumaça no ar. A primeira tentativa de controle da poluição do ar nos Estados Unidos ocorreu durante a Revolução Industrial. As cidades de Chicago e Cincinnati decretaram legislação referente ao ar puro em 1881. Subsequentemente, outras cidades, municípios e regiões lentamente começaram a aplicar suas próprias políticas de ar puro.” (FLEMING; KNORR, [201-?], p. 1, tradução nossa).

pós-guerra, que surgiram eventos representativos do 'ambientalismo contemporâneo' nos países centrais, entre eles: o primeiro Ato para o Controle da Poluição do Ar, oficializado pelo congresso norte americano em 1955, declarando os danos à saúde e ao bem-estar público; em 1960, a criação da primeira Lei Federal nos Estados Unidos da América (EUA), a favor do controle da poluição da água; a fundação da *World Wildlife Fund* (WWF)⁵, em 1961, na Suíça, uma organização não governamental internacional em prol da conservação e recuperação ambiental; a publicação da obra de Rachel Carson, 'Primavera Silenciosa', em 1962, condenando o uso excessivo de pesticidas; em 1963, a assinatura do Tratado de Interdição Parcial de Ensaios Nucleares, por 113 países ao redor do globo; a fundação do *Greenpeace* em Vancouver, Canadá, em 1971; e a primeira Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, em 1972, conhecida como 'Conferência de Estocolmo', reconhecendo, pela primeira vez o direito humano a um meio ambiente preservado (McCORMICK, 1992; OLIVEIRA, 2012).

Dentre esses, destaca-se um dos expoentes do fim dos anos 1960 e início de 1970: a fundação do Clube de Roma e a publicação da Tese dos Limites do Crescimento (também conhecida como 'Relatório Meadows'). Este será descrito na próxima subseção.

2.1.1 Relatório Meadows: 'Os Limites do Crescimento'

Reconhecendo os esforços anteriores e paralelos, e sabendo que suas conclusões não seriam absolutas ou finais, o Clube de Roma foi fundado na Itália, em 1968, encabeçado pelo empresário e economista Aurelio Peccei (OLIVEIRA, 2012). Segundo Oliveira (2012), Peccei - que possuía um histórico de forte atuação no setor privado (em empresas como Fiat e Alitalia), mas também de movimentos políticos durante a 2ª Guerra - convocou uma reunião com cerca de 30 amigos e conhecidos (entre eles, empresários, acadêmicos e economistas), a fim de discutir problemas enfrentados, globalmente, pela raça humana e elaborar planos de ações de longo prazo.

Em torno da mesma época, o Clube de Roma recebeu uma oferta por um

⁵ Fundo Mundial para a Natureza, em tradução livre.

engenheiro de computação do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT)⁶, Jay Forrester, que vinha trabalhando em um modelo computacional simulador baseado no crescimento populacional crescente, em recursos finitos e no impacto poluente da agricultura e da indústria (McCORMICK, 1992). A partir disso, sob encomenda do Clube de Roma (que nessa época, já tinha mais de 70 membros de 25 países diferentes), o resultado desse estudo foi publicado como livro em 1972, sob o nome *The limits to growth: a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind* ("Limites do crescimento: um relatório para o projeto do Clube de Roma sobre o dilema da humanidade", na tradução brasileira de 1973). A obra também se tornou conhecida como "Relatório Meadows", devido à cientista que encabeçou a autoria do livro dentro do MIT, Donella Meadows (OLIVEIRA, 2012).

De acordo com Oliveira (2012), o Relatório Meadows se tornou referência como um estudo absoluto do movimento ambientalista dentro da agenda política global, refletindo a visão dos países desenvolvidos (em outras palavras, países de centro ou, mais objetivamente, Europa e EUA) sobre as causas, consequências e soluções para o consumo inconsequente de recursos finitos de populações em crescimento exponencial. O livro chegou a vender 30 milhões de cópias em mais de 30 idiomas diferentes.

O modelo da dinâmica de sistemas denominado 'World3' (evolução dos estudos 'World 1 e 2' de Jay Forrester) se baseou em cinco níveis: população, capital, alimentação, recursos não-renováveis e poluição - todos interativos e influenciados uns pelos outros. Para projetar o estado de cada um desses níveis no longo prazo, é necessário levar os outros em consideração, fazendo múltiplas relações entre diferentes variáveis simultaneamente (MEADOWS *et al.*, 1972).

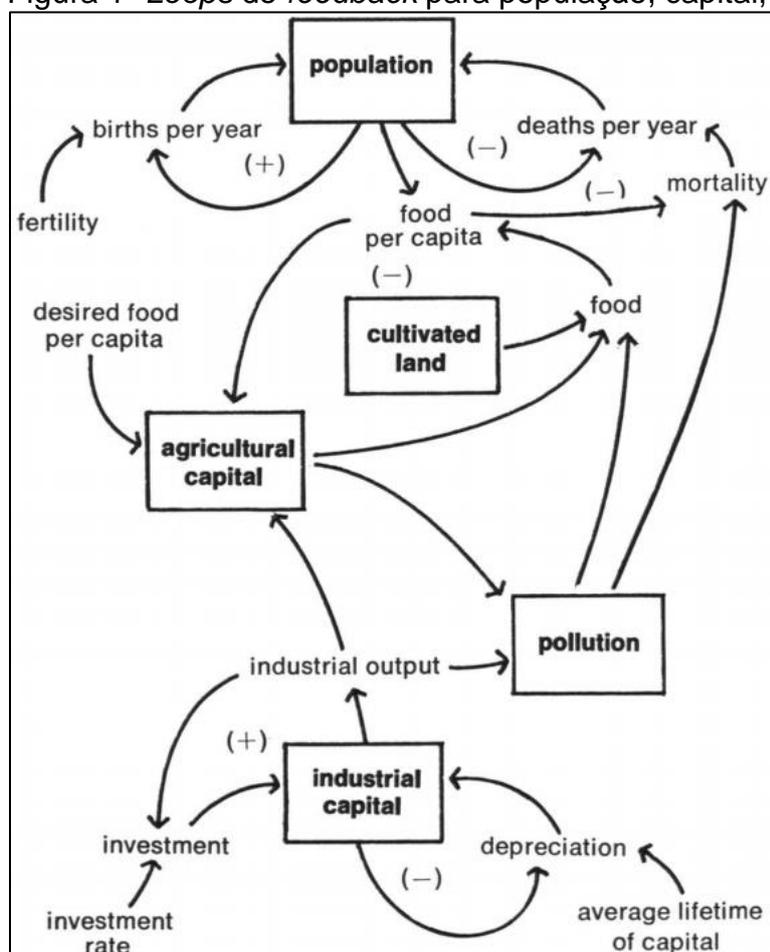
O modelo foi uma tentativa de se levantar, junto a profissionais de várias áreas, relações de causa e efeito já conhecidas entre os cinco níveis, e ilustrar essas relações por meio de '*loops de feedback*' interligados. No campo da Ciência da Computação, *loops de feedback* são ciclos infinitos de instruções que podem ser dadas a um sistema computacional, que permitem que este ajuste a si mesmo, e vai se aperfeiçoando a cada ciclo, em direção ao seu objetivo (HELLERSTEIN *et al.*, 2004).

A construção do modelo objetivava enxergar a mudança de comportamento,

⁶ Instituto de Tecnologia de Massachusetts, em tradução livre.

ao longo do tempo, das cinco variáveis. Seu propósito maior era projetar qual tendência de comportamento seria mais característica no sistema global, conforme esse se aproximasse do dito 'limite do crescimento'. Na Figura 1, apresenta-se um exemplo de *loops de feedback* interligados.

Figura 1- *Loops de feedback* para população, capital, agricultura e população



Fonte: Meadows et al. (1972, p. 97).

Meadows *et al.* (1972) ilustra, por meio do fluxo, exposto na Figura 1, exemplos típicos de *loops de feedback* interligados que existem dentro do modelo global completo. Os *loops* centrais se referem ao crescimento da população (*population*) e do capital industrial (*industrial capital*). Os dois *loops* positivos, envolvendo nascimentos (*births*) e investimento (*investment*), estimulam a tendência de crescimento exponencial da população e do capital. Os dois *loops* negativos, envolvendo mortes (*deaths*) e depreciação (*depreciation*), costumam regular esse crescimento.

Algumas inter-relações entre a população e o capital industrial operam

mediante o capital agrícola (*agricultural capital*, como a produção de máquinas agrícolas e fertilizantes, por exemplo), terra cultivada (*cultivated land*, produção de alimentos) e poluição (*pollution*, causada pela produção industrial e pelos resíduos dos fertilizantes) – esta pode influenciar a taxa de mortalidade da população e a produtividade da produção agrícola (MEADOWS *et al.*, 1972). Outros *loops* podem ser levados em consideração, tais como:

- a) capital investido na exploração de recursos não renováveis;
- b) alocação de produtos da indústria na prestação de serviços e a distribuição destes *per capita*;
- c) área de terras cultivadas e a sua taxa de desenvolvimento ou erosão;
- d) taxa em que a poluição passa a prejudicar o meio ambiente;
- e) tamanho das famílias;
- f) contribuição de capital e/ou força de trabalho de cada filho por família;
- g) equilíbrio entre força de trabalho e vagas de emprego disponíveis; e
- h) composição do Produto Interno Bruto (PIB) do país.

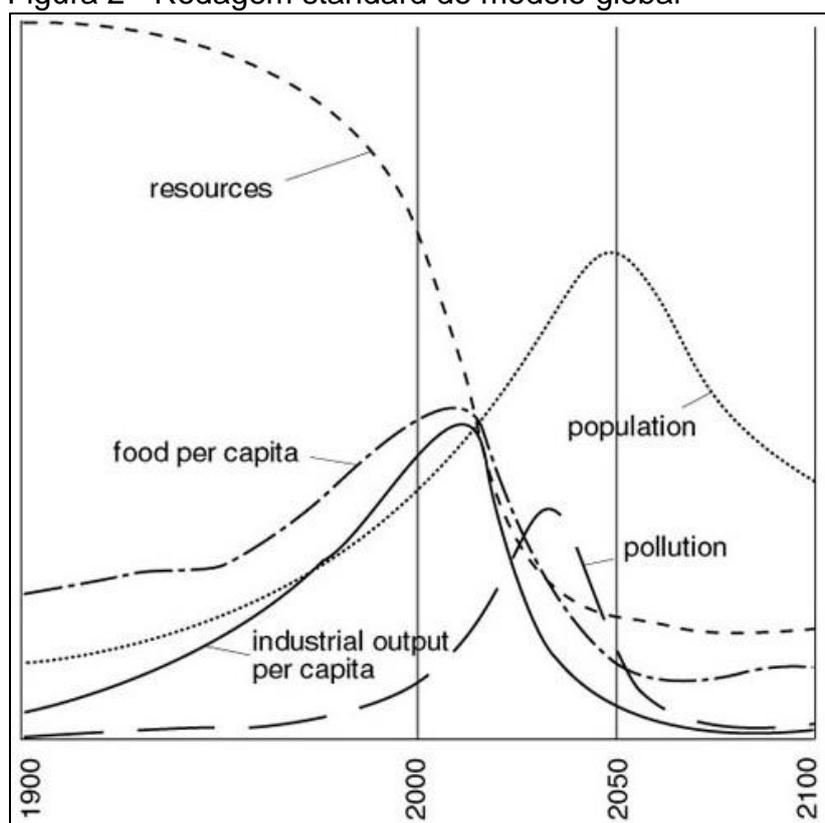
Cada seta nesse fluxo (Figura 1) indicaria uma relação causal, rápida ou imediata, grande ou pequena, positiva ou negativa, dependendo das correlações de causa e efeito consideradas pelos autores do modelo. Além da influência de diversas outras variáveis vistas no sistema global. No Apêndice 1, é possível visualizar o desenho do modelo global inteiro desenvolvido pelos autores do Relatório Meadows.

O próprio autor do relatório (MEADOWS *et al.*, 1972) confessou que não foi capaz de dissertar sobre todos os *loops* interligados e suas variáveis apresentados no sistema global, e reconheceu que não encobriu todas as informações disponíveis no fluxograma. No entanto, contestou que o modelo se fez útil para basear a geração de novas pesquisas e hipóteses futuras, que viessem a incrementar os dados do relatório, propagando discussões entre diferentes áreas e interesses.

A ideia central da tese dos Limites do Crescimento é a noção de que, se o consumo de recursos está aumentando, as suas reservas não podem ser contabilizadas simplesmente à base das reservas já conhecidas e a sua taxa fixa de consumo ao ano, como é feito comumente em índices estatísticos (MEADOWS *et al.*, 1972). Mas, sim, considerando uma taxa de consumo constantemente crescente (por vezes, exponencial) que conta com o componente de ‘finitude’ de recursos não

renováveis - o que, em um cenário extremo, levaria ao 'estressamento' máximo do crescimento suportado pelo sistema global. Nesse relatório se estima a reação da população mundial a esses problemas provenientes do crescimento, considerando que os valores morais e a dinâmica do modo de produção (capitalista) não fossem alterados dentro do século seguinte à publicação do relatório (cenário denominado como *standard*), que se apresenta na Figura 2.

Figura 2 - Rodagem standard do modelo global



Fonte: adaptado de Meadows et al. (1972).

No esboço exposto na Figura 2, Meadows *et al.* (1972) simularam que o crescimento econômico e a disponibilidade de alimentos cresceriam até o início dos anos 2000, quando chegariam a um ponto de inflexão, limitado pela crescente escassez de recursos. Por atrasos naturais do sistema, tanto a poluição quanto a população mundial continuariam a crescer, até atingirem seus picos, em torno de 2030 e 2050, respectivamente. O segundo (população) teria seu crescimento interrompido pelo aumento da mortalidade, causado pela escassez de alimentos e indisponibilidades médicas (MEADOWS *et al.*, 1972).

O relatório ainda projeta outros cenários hipotéticos extremos, além do

standard. Porém, conclui o que já é visto no sistema ilustrado na Figura 2, o qual Brüseke (1994) usou para sintetizar as três conclusões centrais encontradas pela equipe do MIT:

- a) mantendo as tendências observadas de 1900 a 1970, os limites do crescimento seriam atingidos dentro dos primeiros 100 anos, a partir do relatório (durante o século XXI);
- b) essa projeção poderia ser alterada ou postergada se o sistema atingisse um equilíbrio global, a fim de se estabelecer uma estabilidade ecológica e econômica, de forma que todas as necessidades humanas básicas sejam atendidas; e
- c) quanto antes as pessoas e os países atentassem para este objetivo de estabilização, maior seria a possibilidade de atingi-lo com sucesso.

Através do relatório, os autores dissertam sobre como a população mundial poderia executar essa terceira declaração, em rumo ao equilíbrio econômico e ecológico. Foi apresentada a ideia de conter o crescimento da população e do capital industrial (posteriormente denominado pela crítica como o conceito 'crescimento zero'), dada a visível redução constante na disponibilidade de recursos e o aumento da poluição (OLIVEIRA, 2012). Muitos críticos debateram e contestaram a ideia do crescimento zero apresentada pelo relatório publicado pelo Clube de Roma (McCORMICK, 1992). Uma das principais críticas veio da Unidade de Pesquisa de Ciência Política da Universidade de Sussex, na Inglaterra. Os pesquisadores deste grupo afirmavam que a tese dos Limites do Crescimento era 'indevidamente pessimista' e limitada ao 'fetichismo computacional', não considerava influências sociopolíticas e subestimou o avanço tecnológico.

Em outro viés crítico, incluindo o brasileiro Celso Furtado, dizia-se que a tese era insustentável e seria aplicável apenas ao contexto de países centrais, já desenvolvidos e ricos, apenas incrementando o distanciamento entre estes e os países periféricos (FURTADO, 1998). Os países em desenvolvimento (ou subdesenvolvidos) estariam sendo privados do crescimento econômico. O autor do relatório não teria levado em consideração a natureza real do capitalismo e ignorado a dependência dos países industrializados (Europa e EUA) pela exploração de recursos advindos dos países de atividade rural (América Latina, África e Ásia). Além

de falhar ao não apresentar nenhuma alternativa relacionada à redistribuição de capital e alimentos (OLIVEIRA, 2012). Entretanto, apesar das críticas, o Relatório Meadows foi pioneiro em elucidar a questão ambiental frente ao desenvolvimento econômico, dentro da discussão geopolítica da época, e representou a visão daqueles por trás de sua autoria⁷.

2.1.2 Relatório Brundtland: ‘Nosso Futuro Comum’

Após a ‘rejeição’ parcial do Relatório Meadows, foram publicados outros estudos dentro da esfera ambiental (BRÜSEKE, 1994). Este estudo destacará o intitulado ‘Nosso Futuro Comum’, de 1987, impulsionado pela urgência de uma leitura de caráter mais universal, com autoria da *World Commission on Environment and Development*⁸ (WCED). Encomendado pela ONU e envolvendo representantes da Europa, Ásia, África, América do Norte e América Latina, esse estudo preconizou a inclusão dos interesses dos países periféricos (uma das muitas diferenças que pode ser apontada como principal entre Brundtland e Meadows, possibilitando uma visualização do ‘norte desenvolvido’ e do ‘sul desenvolvido’) (OLIVEIRA, 2012).

O estudo se destacou por apontar a importância da interdependência entre os países nos seus processos rumo aos equilíbrios ambiental e econômico, pontuado pelo Clube de Roma, e por acrescer à discussão e popularizar a ideia do ‘desenvolvimento sustentável’, que conceituou como sendo “[...] o desenvolvimento que procura satisfazer as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades” (BRUNDTLAND, 1987, p. 41).

O relatório ‘Nosso Futuro Comum’ é igualmente conhecido pelo nome ‘Brundtland’, pois a WCED foi presidida pela ex-primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, após as Nações Unidas decidirem dar independência à organização do relatório, em 1983. Essa foi escolhida pela ONU por não estar ligada a nenhum governo ou instituição naquele momento, e deveria designar o restante dos

⁷ Em 2004, a mesma equipe publicou *Limits to Growth: The 30-Year Update* (Limites do Crescimento: A Atualização de 30 Anos), explicando que, apesar do avanço da tecnologia e da consciência ecológica, estariam ainda mais pessimistas e que agora o objetivo deveria ser a conscientização humana responsiva para a redução da exploração inconsequente de recursos não renováveis e controle de natalidade (MEADOWS *et al.*, 2004).

⁸ Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, em tradução livre.

membros (totalizando 23, de 22 países diferentes) da comissão, com base nesse critério.

A comissão recebeu a missão de construir o relatório em um contexto de preocupação das Nações Unidas, dado que estudos alarmantes (como Meadows) já haviam sido divulgados na década de 1970, e nada substancial e de real impacto regressivo havia ocorrido na corrida contra a degradação ambiental globalmente. Nem países ricos, nem países subdesenvolvidos demonstravam disposição para frear a busca pelo crescimento econômico. O papel da Comissão Brundtland, neste cenário, seria alertar esses países e apresentar alternativas que combinassem a evolução econômica com a preservação ambiental (BRUNDTLAND, 1987; OLIVEIRA, 2012).

O relatório foi dividido em três partes: 1) preocupações comuns; 2) desafios comuns; e 3) esforços comuns. E, ao final, apresentou uma proposta de princípios legais para a proteção ambiental e desenvolvimento sustentável elaborado pela equipe de Direito Ambiental do projeto.

Brundtland (1987) partiu da premissa de que, o ‘meio ambiente’ e o ‘desenvolvimento’ eram comumente tratados como conceitos apartados. O primeiro sendo apenas um local, algo físico, distante do social e do político. O segundo, algo movido por interesses humanos, pela busca da evolução econômica e política. No entanto, a sociedade falhava em não os enxergar em unidade, em uma relação de interdependência – “o ‘meio ambiente’ é onde nós vivemos; e o ‘desenvolvimento’ é o que nós todos fazemos na tentativa de melhorar a nossa parcela dentro desse lugar” (BRUNDTLAND, 1987, p. 16). Essa relação, para atingir um *modus operandi* sustentavelmente desenvolvido, deveria ser pensada no longo prazo, a fim de se atingir uma ‘equidade intergeracional’.

O relatório se tornou conhecido pela sua interdisciplinaridade, visão prática e ‘humanização’, incluindo a ação individual da população na sua construção, tanto por audiências públicas quanto pelas proposições consideradas no estudo. Na sua página 22, são citadas catástrofes, marcos e acidentes ambientais incorridos ao longo dos 900 dias em que foi desenvolvido, alarmando para a urgência da discussão, como: auge da seca na África, arriscando a vida de 36 milhões de pessoas e matando em torno de um milhão; um vazamento de pesticidas na Índia, que matou mais de duas mil pessoas, ferindo e cegando mais de 200 mil; a explosão de um reator nuclear em Chernobyl, aumentando o risco de futuros cânceres na população; entre outros

(BRUNDTLAND, 1987). Para começar sua argumentação, a comissão elencou as seis áreas que, entendidas como centrais, não poderiam ser analisadas separadamente:

- a) População e Recursos Humanos (crescimento populacional, desenvolvimento humano e pobreza);
- b) Segurança Alimentar (bioética, competitividade, tecnologia, qualidade e distribuição);
- c) Espécies e Ecossistemas (extinção de recursos e de biodiversidade);
- d) Energia (consumo, acesso, eficiência e poluição);
- e) Indústria (demanda, produtividade, desenvolvimento econômico, emissão de poluentes e exploração de recursos não renováveis); e
- f) Desafio Urbano (êxodo rural, infraestrutura, distribuição de terra, descentralização de poder político).

A Comissão Brundtland reconheceu que as alternativas para o alcance do desenvolvimento simultâneo à conservação ambiental seriam a redução da pobreza, a equidade entre gerações e a redistribuição de riqueza. Similarmente, entendeu que o meio ambiente e seus recursos naturais teriam um papel limitante ao crescimento econômico tanto em países desenvolvidos quanto nos em desenvolvimento.

2.1.3 Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

Posteriormente, em 1992, conforme a Plataforma 2030 das Nações Unidas ([201-?]), tomando como base o Relatório Brundtland, na conferência ECO-92 no Rio de Janeiro, a ONU apresentou os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM): oito objetivos, para 2015, tiveram foco na redução da extrema pobreza. Em função da ECO-92, houve em Portugal a Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas, a partir da qual foi assinado o 'Protocolo de Quioto' em 1997, um tratado internacional para seus países-membros reduzirem a emissão de gases do efeito estufa em, pelo menos, 5,2% em relação aos níveis de 1990, no período entre 2008 e 2012 (NAÇÕES UNIDAS, [201-?]).

No ano de 2002, em Joanesburgo, na África do Sul, ocorreu a Rio+10 (conhecida como 'Cúpula Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável'), que reforçou os compromissos traçados em 1992. Em 2012, foi a vez da Rio+20, no Rio

de Janeiro, que lançou as bases para a criação dos ODS. Nessa conferência, foi acordado o documento *The future we want* (O futuro que queremos).

A elaboração dos ODS ficou sob responsabilidade do chamado ‘Grupo de Trabalho Aberto dos ODS’ (GTA-ODS), composto por 70 países. Ele contou com o envolvimento da sociedade civil e da comunidade científica, trazendo diversidade e multidisciplinaridade aos ODS. Em 2015, na Assembleia Geral da ONU, realizada em Nova Iorque, o GTA-ODS apresentou a proposta dos 17 ODS e das 169 metas associadas, focados em cinco áreas: pessoas, planeta, prosperidade, paz e parcerias. Desta assembleia, a ONU adotou os ODS apresentadas e formulou o documento ‘Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável’ como um guia para as ações da comunidade internacional nos anos seguintes, assim como para todas as pessoas, a fim de incrementar a sustentabilidade e resiliência até 2030 (NAÇÕES UNIDAS, [201-?]).

Figura 3 - Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



Fonte: Nações Unidas ([201-?], p. 10).

A lógica de pensamento desses documentos liderados pela ONU pode ser unificada em uma: o desenvolvimento econômico das nações deve ocorrer, no entanto, acompanhado da preservação do meio ambiente e da erradicação da

desigualdade social. Defende-se um desenvolvimento sustentável que eleve e não interrompa o desenvolvimento econômico de países periféricos (em outras palavras, em desenvolvimento e subdesenvolvidos).

2.2 MUDANÇA DA MATRIZ ENERGÉTICA

Esta subseção foca no escopo do trabalho: a energia limpa, a partir do Objetivo 7 de Desenvolvimento Sustentável: assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos (NAÇÕES UNIDAS, [201-?]). Como todos os ODS, o Objetivo 7 foi associado as metas determinadas no Quadro 1.

Quadro 1 - As metas do ODS 7 e seus indicadores e organizações responsáveis

SDG7 Targets	Indicator	Custodian Agency
7.1 By 2030, ensure universal access to affordable, reliable and modern energy services	Proportion of population with access to electricity	World Bank (WB)
	Proportion of population with primary reliance on clean fuels and technology	World Health Organization (WHO)
7.2 By 2030, increase substantially the share of renewable energy in the global energy mix	Renewable energy share in the total final energy consumption	International Energy Agency (IEA), International Renewable Energy Agency (IRENA), UN Statistics Division (UNSD)
7.3 By 2030, double the global rate of improvement in energy efficiency	Energy intensity measured in terms of primary energy and GDP	International Energy Agency (IEA), UN Statistics Division (UNSD)
7.a By 2030, enhance international cooperation to facilitate access to clean energy research and technology, including renewable energy, energy efficiency and advanced and cleaner fossil-fuel technology, and promote investment in energy infrastructure and clean energy technology	International financial flows to developing countries in support of clean energy research and development and renewable energy production, including in hybrid systems	International Renewable Energy Agency (IRENA), Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)

Fonte: adaptado de Nações Unidas (2020).

Na primeira coluna, pode-se ler as metas associadas ao objetivo da energia limpa e acessível. Em diante, os indicadores para mensurar cada meta, assim como a organização ou agência responsável por cada indicador. Abaixo, a transcrição de cada meta:

- a) **7.1.** Até 2030, assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia;
- b) **7.2.** Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global;

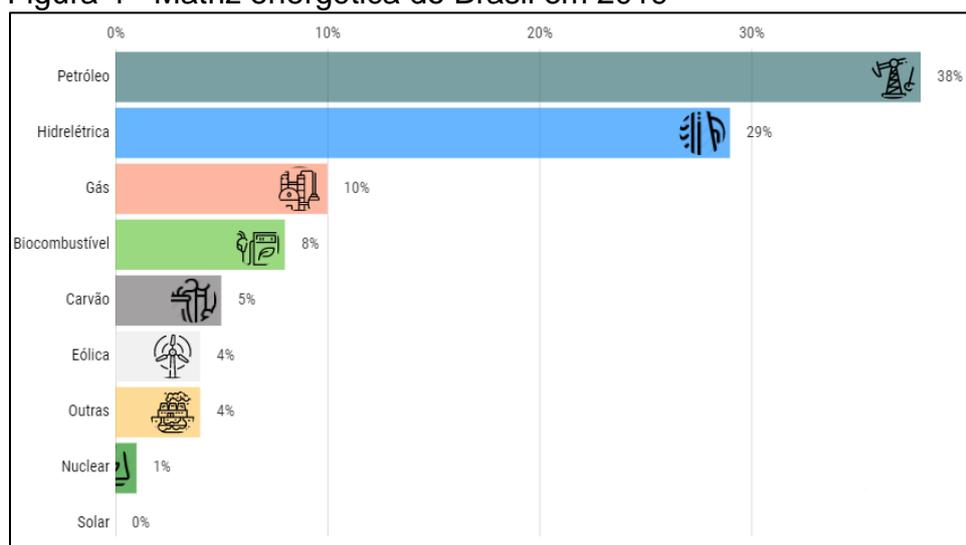
- c) **7.3.** Até 2030, dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética; e
- d) **7.a.** Até 2030, reforçar a cooperação internacional para facilitar o acesso a pesquisa e tecnologias de energia limpa, incluindo energias renováveis, eficiência energética e tecnologias de combustíveis fósseis avançadas e mais limpas, e promover o investimento em infraestrutura de energia e em tecnologias de energia limpa (NAÇÕES UNIDAS, 2020).

Após o estabelecimento dos ODM, alguns esforços e avanços já são visíveis. Estima-se que houve um crescimento de 5% na população mundial com acesso à eletricidade (em 2013 chegou-se a 84,6%), concentrado em países mais pobres e desiguais, segundo a Plataforma Agenda 2030 (NAÇÕES UNIDAS, [201-?]). Desde o início dos anos 2010, em países como Austrália e Taiwan, há leis proibindo o uso de lâmpadas incandescentes e, desde 2017, está proibida a comercialização delas no Brasil, em modelos acima de 25W (estabelecida pela Portaria Interministerial nº 1.007/2010).

A cota de fontes renováveis no consumo global de energia elétrica cresceu cerca de sete pontos percentuais de 2003 a 2017 (18% para 24,7%), de acordo com o Relatório de Progresso Energético de 2020 (NAÇÕES UNIDAS, 2020). Este apresenta o progresso atingido por cada país de 2000 a 2018, com base nos pilares das metas do Objetivo 7 (acesso à energia, eficiência energética e dominância de fontes renováveis), a caminho do objetivo final que deve ser atingido até 2030. É possível enxergar avanços em direção a essas metas, no entanto, essas conquistas ainda estão distantes, pois, da população mundial de oito bilhões de pessoas, apenas cinco bilhões possuíam acesso à energia limpa, até 2018; o acesso global à eletricidade esteve em 90%, nesse ano, porém, na região da África Subsariana, essa parcela cai para apenas 47%; e somente 17,3% do consumo total de energia global provêm de fontes renováveis.

A nomenclatura mais usada para referenciar essa representatividade de diferentes fontes, renováveis ou não, é a 'matriz energética': o conjunto de fontes de energia disponíveis em um determinado local (no mundo, país, estado) para suprimento de energia.

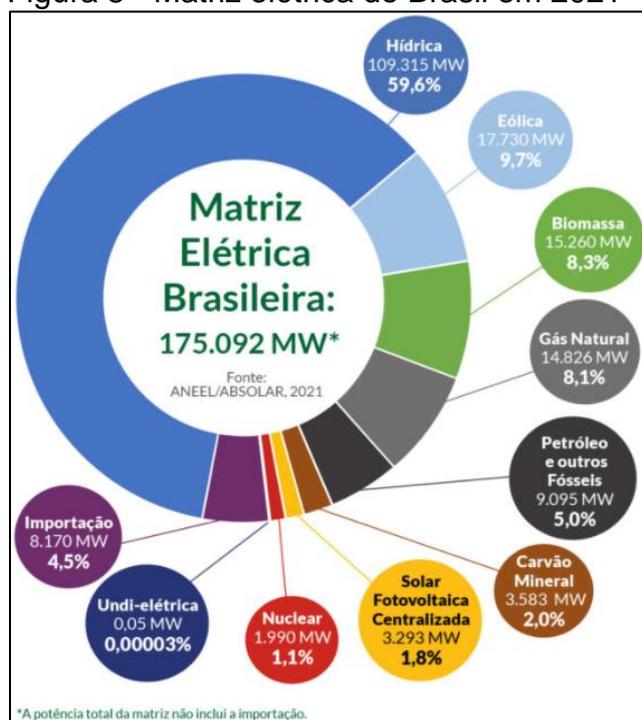
Figura 4 - Matriz energética do Brasil em 2019



Fonte: FGV Energia (2020, p. 2).

Segundo dados de 2019 da FGV Energia (2020), desde os anos 1970, o Brasil investe consistentemente em energias renováveis. Enquanto o mundo tem 84% da sua energia primária proveniente de fontes fósseis (em média), o país possui uma matriz energética 43% vinda de fontes renováveis – configurando-se como um dos países com as matrizes energéticas mais limpas do mundo.

Figura 5 - Matriz elétrica do Brasil em 2021



Fonte: ABSOLAR (2021, p. 2).

No caso da matriz energética, considera-se toda energia primária gerada no país. No entanto, ao se restringir à matriz elétrica - ou seja, toda a energia gerada para suprimento de eletricidade urbana e rural -, o Brasil apresenta uma matriz ainda mais limpa (87,5% gerada por fontes renováveis). Contudo, algumas fontes renováveis ainda possuem processos de extração e tratamento repletos de impactos ambientais (em especial, a hidrelétrica, maior fonte de energia elétrica no país), assim como outras (como a energia solar fotovoltaica) apresentam impacto poluente menor.

3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

O Objetivo 7 da ONU está amplamente pautado em uma geração limpa e eficiente de energia, à base de fontes renováveis, e uma das mais populares e acessadas mundialmente, em pequena e grande escala, é a fonte solar. Ela não é explicitamente citada na Agenda 2030, nem nas metas do Objetivo 7, mas está amplamente presente nos reportes e controles aplicados pelas Nações Unidas, no momento de regular e mapear os progressos dos ODS (NAÇÕES UNIDAS, 2020).

Ainda conforme a plataforma do Objetivo 7 (NAÇÕES UNIDAS, 2020), além de ser uma fonte abundante (oferecendo 10.000 vezes o consumo de energia global), a energia solar é um 'bem' de acesso universal, descentralizado, já regulamentado para uso em países por todo o globo, com tecnologia de retenção e tratamento avançada, aplicável tanto a grandes redes descentralizadas quanto para uso individual e local. Ela é mensurável, com formas de financiamento mais atrativos do que de outras fontes (como a hidrelétrica, a eólica e a geotérmica), além de sua potência excedente ser compatível com o armazenamento em baterias. Até o momento, pode ser acessada por três tipos de tecnologia diferentes: a energia fototérmica, a energia heliotérmica e a energia fotovoltaica.

Este estudo apresentará um breve histórico de como a humanidade identificou finalidade energética na fonte solar, transmutando, desenvolvendo, regularizando e tornando-a cada vez mais atrativa e acessível. A pesquisa se aprofundará na modalidade de energia solar fotovoltaica, a mais usada e a mais viável, atualmente. Pode ser captada de diversas formas, distribuída de múltiplos jeitos e tem variáveis por país e região.

3.1 HISTÓRIA

Este estudo parte do momento em que a comunidade científica assumiu a busca por energias limpas e a disseminou como meta global dentro da agenda do desenvolvimento sustentável. No entanto, no caso da energia solar, o seu uso é milenar e prévio a qualquer discussão de cunho ambiental. Segundo um levantamento histórico, realizado e publicado pela Secretaria de Eficiência Energética e Fontes

Renováveis do Departamento de EUA⁹, com referências à obra do escritor norte americano John Perlin¹⁰, o descobrimento da energia solar data do momento em que populações primitivas começaram a usá-la para a geração de fogo, com o auxílio de objetos com efeito de espelhos, em torno do século 7 antes de Cristo (a.C.) (*U.S. DEPARTMENT OF ENERGY'S OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY - EERE, 2021*). Já no século 3 a.C., o uso dessa tecnologia já era disseminado entre as civilizações grega e romana em rituais religiosos e no uso de tochas. Na sociedade chinesa, há documentos que registram o uso da técnica dos espelhos combinados a raios solares já no ano 20 depois de Cristo (d.C.) (EERE, 2021).

Além da geração de fogo, a partir do primeiro século d.C. até meados do século 6, a luz solar era comumente usada em sociedades do hemisfério Norte para aquecimento nos períodos de inverno (EERE, 2021). Criaram-se os chamados 'quartos solares', ou 'estufas': cômodos com posição solar otimizada dentro de uma moradia. Na sociedade romana, muitas das termas públicas, usadas para banhos comunitários, eram localizadas de forma a aproveitar a máxima incidência solar. As estufas com essa mesma finalidade, até hoje, são comuns em países como a Islândia e o Canadá (PERLIN, 1999).

Séculos depois, registrou-se o uso da luz solar pelos indígenas Anasazi, no sudoeste dos EUA, em torno do século 12, que construíram moradias na encosta de desfiladeiros voltados para o sul a fim de gozarem da luz solar durante os rigorosos invernos (PERLIN, 1999). Posteriormente, ao longo dos séculos XVII e XVIII, foram desenvolvidas tecnologias que possibilitavam o uso da energia solar em fornos de trens e barcos a vapor, em viagens de longas distâncias (PERLIN, 1999). Em 1767, o cientista suíço Horace de Saussure foi creditado como o inventor do primeiro coletor solar, o qual, mais tarde, foi utilizado como forno para o assamento de alimentos durante expedições europeias pelo continente africano (EERE, 2021).

O desenvolvimento de painéis solares para o uso de energia fotovoltaica contou com a contribuição de diversos estudiosos. Em 1839, o físico francês Edmond Becquerel criou a primeira 'célula solar', um dispositivo capaz de converter a luz solar

⁹ U.S. Department of Energy's Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE).

¹⁰ "From Space to Earth: The Story of Solar Electricity" (1999) ("Do Espaço a Terra: A História da Eletricidade Solar"), livro mais referenciado entre os quatro publicados do autor.

em eletricidade utilizando o efeito fotovoltaico: a geração de uma corrente elétrica por meio de um fenômeno físico e químico de dois eletrodos usando luz (FATET, 2020). Em 1883, 44 anos depois, o engenheiro norte americano Charles Fritts criou a primeira célula solar funcional, à base de selênio - que décadas depois, evoluiu para as células solares à base de silício, as mesmas usadas até hoje em placas solares fotovoltaicas (EERE, 2021). Essas foram desenvolvidas em 1954 por Daryl Chapin, Calvin Fuller e Gerald Pearson, cientistas do *Bell Labs*¹¹, pela primeira vez, apresentando capacidade de gerar potência elétrica por horas, referenciadas como 'baterias solares' (PERLIN, 1999). No entanto, ainda com apenas 6% de eficiência (cerca de 25% da capacidade das células solares atuais).

Em 1957, a empresa Hoffman *Electronics*, especializada em equipamentos de telecomunicação e aparato militar, desenvolveu uma célula solar com eficiência de 4,5% (que chegou a 14%, três anos depois). Em 1958, a Hoffmann foi responsável pelo primeiro satélite dotado de placas solares (compostas por um conjunto de células solares) e o quarto satélite artificial norte americano a ir ao espaço, o Vanguard 1. No mesmo ano, mais três satélites com sistemas fotovoltaicos inclusos foram lançados, consolidando essa fonte energética dentro do mercado aeroespacial até hoje¹² (EERE, 2021).

Até o início da década de 1970, o uso habitual de placas solares em construções terrestres ainda não era economicamente atrativo, até o desenvolvimento de uma célula solar cinco vezes mais barata (US\$ 20 por watt), feito pela *Exxon Corporation* (atualmente 'Exxon Mobil'), tornando as placas solares cada vez mais comuns em instalações de menor escala: rurais, residências e indústrias, principalmente (EERE, 2021). Em 1977, a produção mundial total de células solares atingiu 500 kW; em 1983, já superava 21.3 MW; e, em 1999, atingiu a marca de 1.000 MW de capacidade instalada.

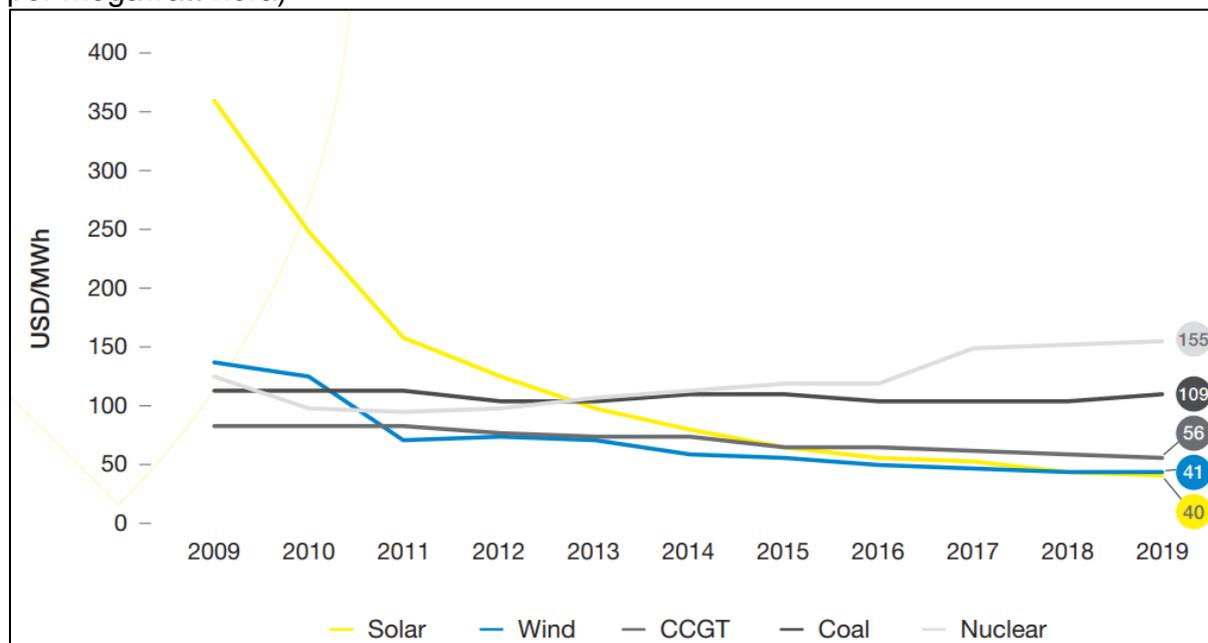
A tecnologia geradora de eficiência e redução de custos na produção de células e placas solares cresce a cada ano, com referências concentradas nos EUA e nos continentes europeu e asiático, facilitando o aumento da capacidade instalada e

¹¹ Nokia *Bell Labs* é uma subsidiária norte americana da empresa de telecomunicação finlandesa Nokia, fundada em 1925, com sede nos EUA e laboratórios em quatro continentes, com enfoque em pesquisa industrial e desenvolvimento científico (Nokia Bell Labs, 2021).

¹² Um exemplo de uso atual: em maio de 2020, a Força Marinha dos EUA iniciou testes com um satélite dotado de placas solares em órbita (U.S. Navy Office of Information, 2020).

de energia (inclusive, as renováveis), como informa Gráfico 2.

Gráfico 2 - Evolução do custo da geração de eletricidade por fonte energética (US\$ por megawatt-hora)

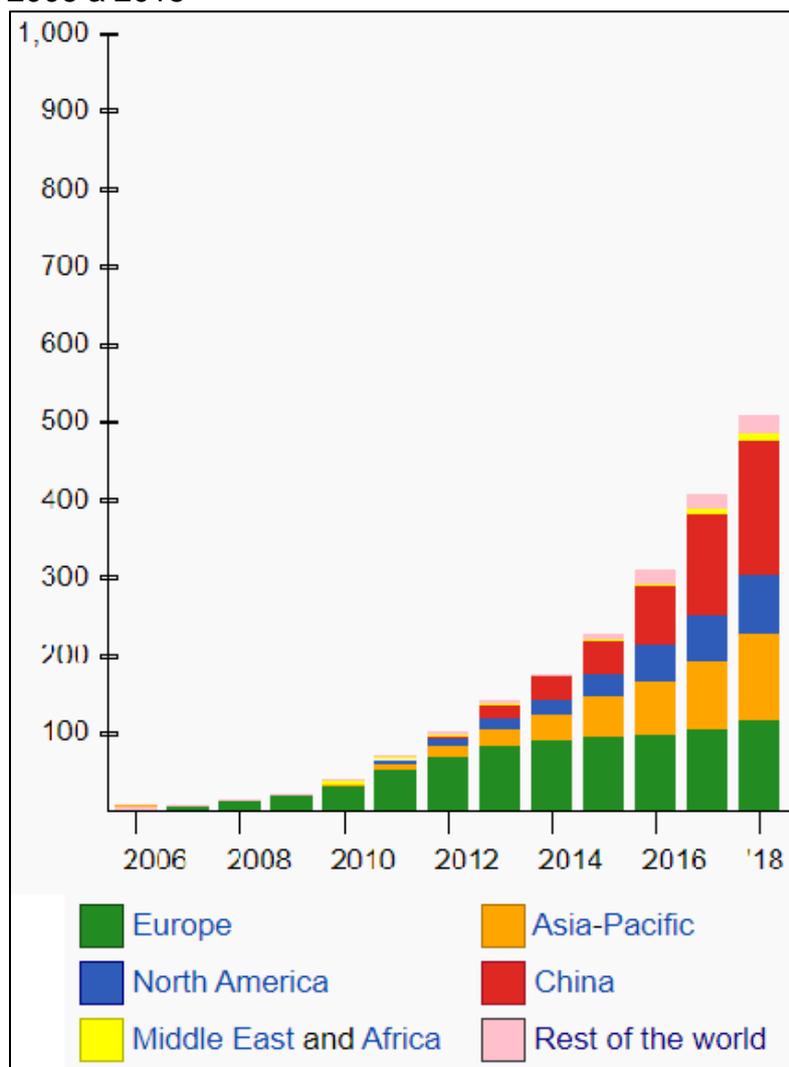


Fonte: Solar Power Europe (2018, p. 9).

* Wind - fonte eólica; CCGT - arranjos de conversão de energia térmica em mecânica (combined cycle gas turbines); Coal - queima de carvão.

Além das motivações relacionadas à sustentabilidade ambiental, é possível concluir, a partir do Gráfico 2, que a redução de despesas e de investimentos iniciais é um fator diretamente relacionado à capacidade instalada de energia solar. Em relação à sua modalidade fotovoltaica, observa-se a evolução da capacidade produtiva em gigawatts (GW) mundialmente, como apresenta o Gráfico 3.

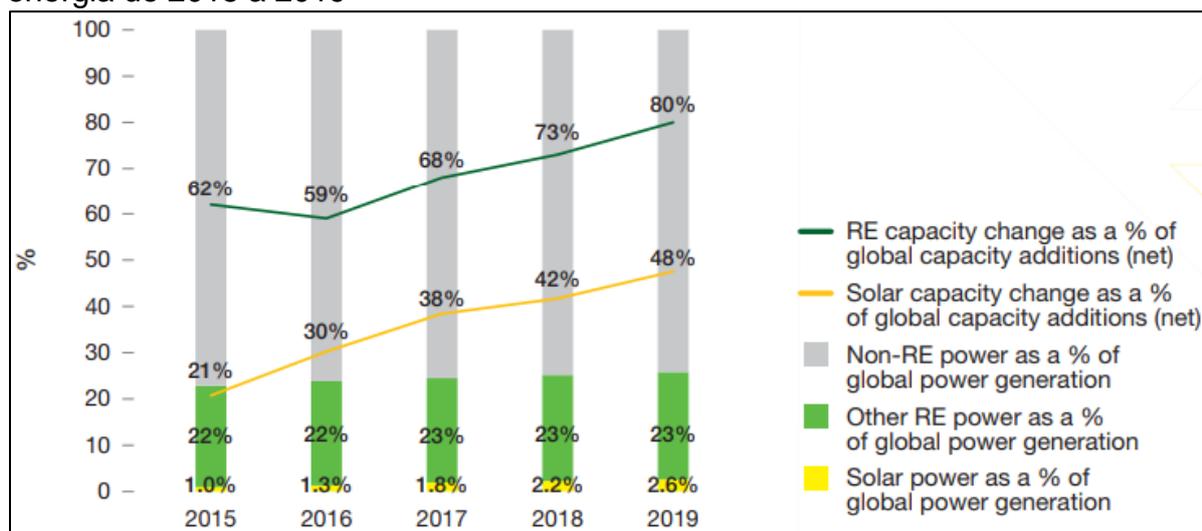
Gráfico 3 - Capacidade instalada de energia solar fotovoltaica global em GW de 2006 a 2018



Fonte: adaptado de *Solar Power Europe* (2020) e *International Energy Agency* ([201-?]).

Como se pode perceber, no Gráfico 3, em 2018, foi cruzada a marca de meio terawatt (TW) de potência instalada no mundo. Até o fim do ano de 2019, a capacidade de geração instalada da energia solar acumulou uma parcela de 8,5% de toda capacidade produtiva de energia globalmente. Isso, mesmo apesar de o consumo da energia solar representar somente 2,6% do consumo energético global, como visto no Gráfico 4.

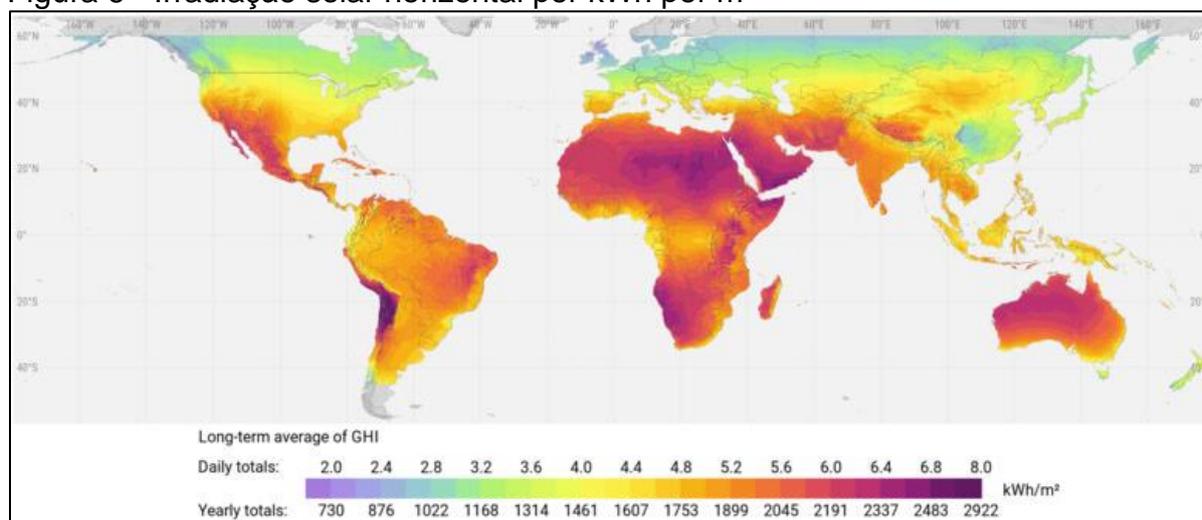
Gráfico 4 - Participação da fonte solar e de fontes renováveis na geração global de energia de 2015 a 2019



Fonte: *Solar Power Europe* (2020, p. 8).

A parte amarela da barra, apresentada no Gráfico 4, refere-se ao percentual de energia solar na geração global; a parte verde, ao percentual de outras fontes de energia renováveis; e as linhas de cada cor, ao crescimento da geração de cada um desses, dentro da geração global de energia. Percebe-se que a representatividade da fonte solar cresceu 160%, no intervalo de cinco anos cobertos pelo Gráfico 4.

Figura 6 - Irradiação solar horizontal por kWh por m²

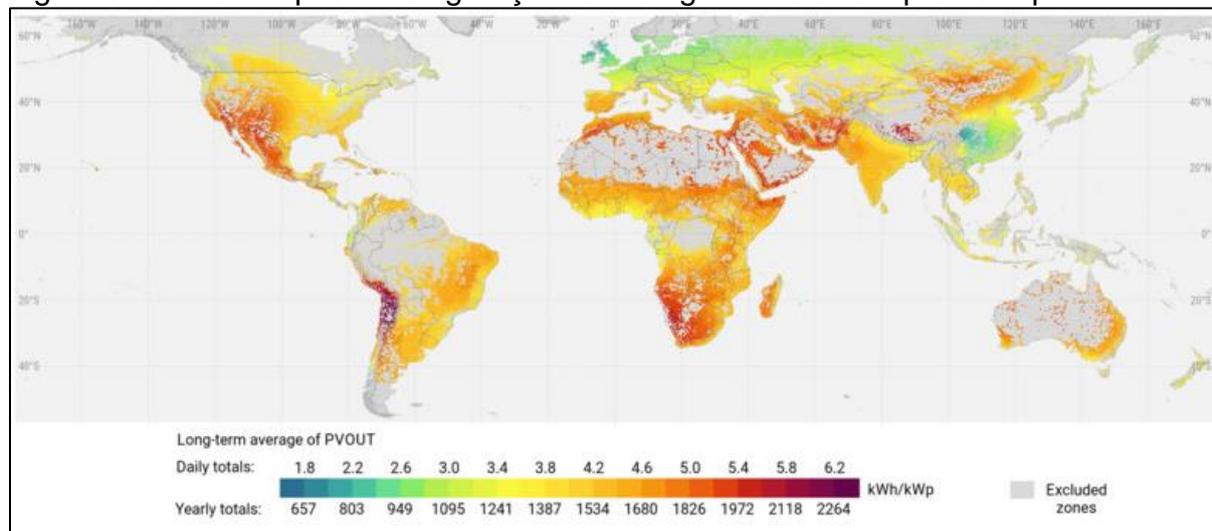


Fonte: Solargis (2020, p. 1).

Se aberto por país ou região, é visível que a popularidade da energia solar se distribui de formas e velocidades diferentes. Apesar da incidência solar natural sobre o Planeta Terra (Figura 6) e a sua consequente variação conforme ângulo e

proximidade com os trópicos, ainda é preciso considerar o potencial prático de geração de energia fotovoltaica (SOLARGIS, 2020), influenciado por outras variáveis, como limitações físicas e técnicas (terrenos desiguais, presença de áreas urbanizadas, industriais, florestas, áreas distantes da presença humana) (Figura 7).

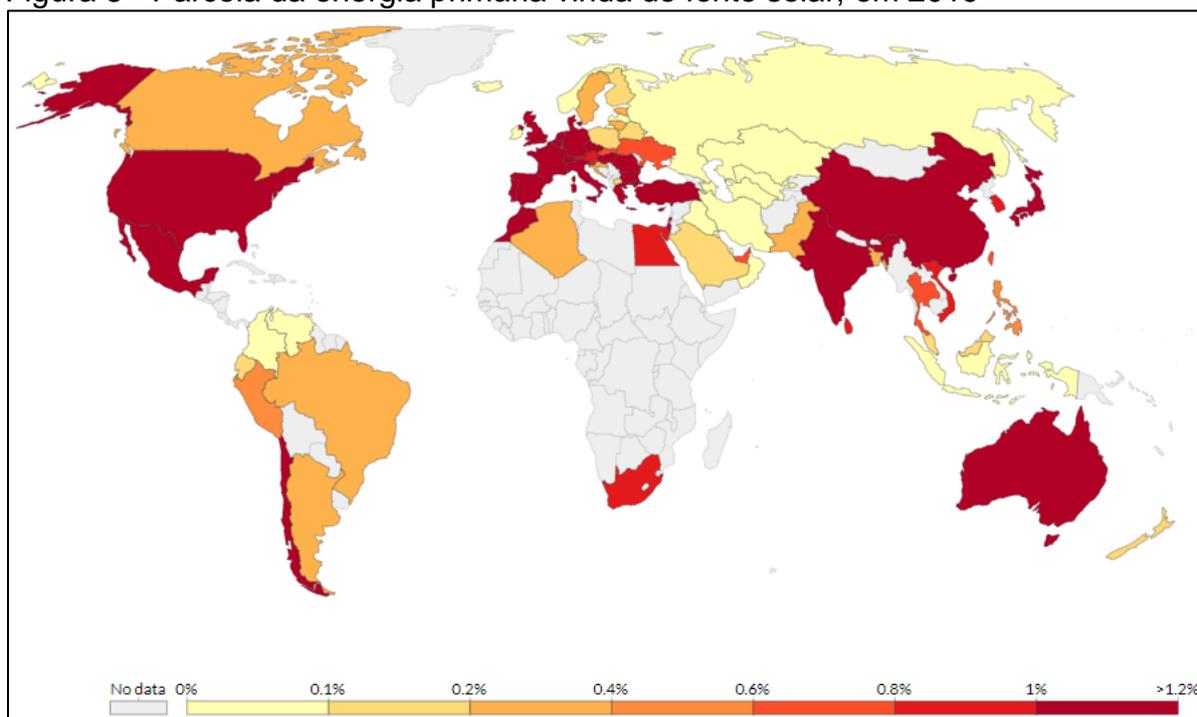
Figura 7 - Potencial prático de geração de energia fotovoltaica por kWh por m²



Fonte: Solargis (2020, p. 2).

Essa ainda não seria a leitura absoluta da prática, pois não considera questões sazonais ao longo do ano, principalmente, fatores sociais, políticos, legais e econômicos. Como se vê na Figura 8, particularmente no continente europeu, o potencial prático de geração fotovoltaica não é limitante à relevância da fonte solar dentro da matriz energética de um país.

Figura 8 - Parcela da energia primária vinda de fonte solar, em 2019



Fonte: *Share of primary...* (2020, p. 1).

Dentre os fatores citados, provêm o interesse das lideranças governamentais de cada país em desenvolver políticas de incentivo, a fim de promover o uso da fonte solar, por meio de subsídios financeiros, isenções fiscais e/ou legislação regulatória. No caso do Brasil, discute-se, na seção 4.1, sobre a atual regulação e contexto do setor fotovoltaico. Porém, situando o histórico nacional, comparado a países que deram atenção ao potencial da fonte solar mais cedo, apresenta-se o marco regulatório brasileiro para autoprodutores de energia - ou seja, as normas e leis que passaram a regular o funcionamento da geração distribuída (GD).

Primeiramente, é importante avançar um pouco a linha do tempo e esclarecer a ideia de GD, termo relevante na geração de energia fotovoltaica 'independente', por iniciativa privada. Segundo o art. 1º do Decreto Lei nº 5.163 (BRASIL, 2004, p. 1), GD é:

[...] a comercialização de energia elétrica entre concessionários, permissionários e autorizados de serviços e instalações de energia elétrica, bem como destes com seus consumidores no Sistema Interligado Nacional - SIN, dar-se-á nos Ambientes de Contratação Regulada ou Livre, nos termos da legislação, deste Decreto e de atos complementares [...].

Em outras palavras, a geração de energia elétrica no local em que esta será

consumida (não apenas de fonte solar), com capacidade instalada de até 500 kW. O Decreto nº 5.163/04 partiu de outros marcos regulatórios brasileiros. Em 1998, a Lei nº 9.648/98 reconheceu e oficializou o papel do ‘autoprodutor’, como sendo toda pessoa autorizada à produção de energia elétrica para o seu próprio uso e produção de energia excedente a esse uso (a geração deste excedente será mais aprofundada na próxima seção) (BRASIL, 1998). A comercialização deste excedente estaria sujeita à permissão da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)¹⁵.

Este marco legal se desenvolveu, chegando à Resolução Normativa (RN) nº 247 (ANEEL, 2006, p. 1), a qual definiu:

[...] as condições para a comercialização de energia elétrica, oriunda de empreendimentos de geração que utilizem fontes primárias incentivadas, com unidade ou conjunto de unidades consumidoras cuja carga seja maior ou igual a 500 kW e dá outras providências.

E sua relação com as concessionárias de energia (por exemplo, na cidade de Porto Alegre (POA), no Rio Grande do Sul (RS), a Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE)), as quais são responsáveis pela transmissão dentro das redes de distribuição (o chamado *grid*). Em 2012, um novo marco regulatório foi proposto pela ANEEL, a fim de redefinir as condições de comercialização do excedente gerado pelos autoprodutores de energia. Na seção 4.1, essa nova RN será explanada com mais detalhamento.

3.2 DETALHES TÉCNICOS

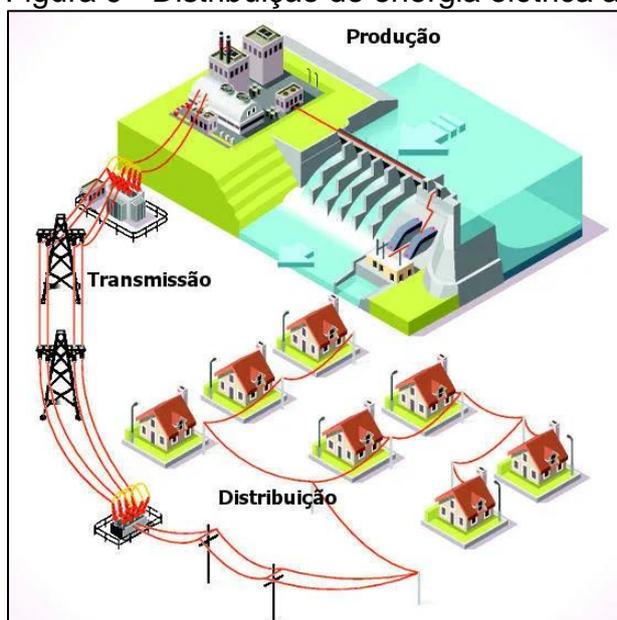
Já se abordou o advento da energia solar como alternativa sustentável a fontes não renováveis ou mais poluentes e extrativistas, como opção de prática para o atingimento das metas de desenvolvimento sustentável das Nações Unidas e como, no Brasil, a sua geração passou a ser reconhecida pelos órgãos reguladores. Esta seção apresenta as especificações técnicas de instalação e funcionamento de sistemas fotovoltaicos e por que estes são menos prejudiciais à conservação ambiental.

¹⁵ A ANEEL é autarquia sob regime especial vinculada ao Ministério de Minas e Energia, criada para regular o setor elétrico brasileiro, por meio da Lei nº 9.427/1996 e do Decreto nº 2.335/1997 (ANEEL, 2021).

Atualmente, a matriz elétrica do Brasil apresenta diversas fontes, porém uma se sobressai representando uma parcela majoritária de 59,6% (ABSOLAR, 2021): a fonte hídrica. Apesar de em um primeiro momento não apresentarem o potencial poluente de fontes energéticas nucleares e termelétricas (como o petróleo), as usinas hidrelétricas geram uma ameaça ao equilíbrio do ecossistema local em que estão localizadas quando são construídas. Alguns dos impactos incluem o aumento do nível das águas, o alagamento da área, a elevação da temperatura local, e a extinção de espécies da fauna e flora da região (RIBEIRO, 2021).

Neste modelo, de forma resumida, o represamento das águas e a sua consequente pressão convertem a energia hidráulica em energia mecânica, aplicada a turbinas que a transformam em energia elétrica. Esta é transferida às linhas de transmissão interligadas à rede de distribuição, detidas pelas concessionárias regionais de energia. Este fluxo é ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Distribuição de energia elétrica a partir da geração hidrelétrica



Fonte: Ribeiro (2021, p. 2).

Como apresentado na seção 3.1, a fase de distribuição de energia, no caso da geração distribuída de energia solar, foi regularizada recentemente, vindo a ser uma preocupação em nível federal somente a partir do fim dos anos 1980. Porém, antes disso, é importante entender as fases de produção e transmissão no caso fotovoltaico. Neste caso, a energia solar é captada pela absorção dos painéis fotovoltaicos (conjuntos das células fotovoltaicas) (NORTÃO ENERGIA SOLAR,

2021). A quantidade de energia que será gerada está diretamente relacionada à área dos painéis (influenciada pela demanda do proprietário, valor disposto ao investimento e/ou área disponível para implantação). Estes costumam ser instalados em telhados, coberturas ou grandes lotes de terra - locais com alta incidência solar, com o mínimo sombreamento possível.

Na sequência, há duas possibilidades: a primeira é um sistema *on-grid*, ou 'conectado' (Figura 10): um sistema interligado à rede elétrica convencional, onde o excedente de energia gerado (energia não demandada pela unidade consumidora) é transmitido ao quadro de distribuição e é redistribuído conforme demanda dentro da região de concessão da concessionária responsável. A comercialização e o uso do crédito proveniente deste montante inserido no *grid* estão sujeitos à regulação da ANEEL, como explicado na seção 3.1.

Figura 10 - Exemplo esquemático de um sistema fotovoltaico *on-grid*



Fonte: Nortão Energia Solar (2021, p. 1).

A segunda possibilidade seria um sistema *off-grid* (Figura 11), ou 'isolado', mais comum em regiões remotas não atendidas pela rede elétrica convencional. Nestes, faz-se necessário o uso de baterias, onde deve ser 'estocado' o excedente de energia gerado (uma vez que não será inserido na rede de alguma concessionária), para ser acessado nos momentos em que a energia solar não atende a demanda por eletricidade (por exemplo, para o consumo de luz ou eletrônicos à noite, quando não há a incidência solar no local). Dessa forma, as baterias dão autonomia para a unidade em relação à rede e preveem uma segurança de alguns dias de uso, dependendo do tipo de bateria (chumbo, níquel ou lítio) e do seu tempo de vida útil (RIBEIRO, 2021). No entanto, é necessário ressaltar que, em alguns casos, as baterias inviabilizam a

vantagem financeira do investimento em um sistema fotovoltaico, por permanecerem com um valor bem caro, apesar do barateamento das placas solares ao longo do tempo. Além disso, aqui a geração fotovoltaica apresenta uma externalidade negativa para o meio ambiente, pois as baterias costumam ter partes e componentes de difícil descarte e reuso ou reciclagem após o término da sua vida útil (por exemplo, o próprio chumbo).

Figura 11 - Exemplo esquemático de um sistema fotovoltaico *off-grid*



Fonte: Nortão Energia Solar (2021, p. 1).

No momento de inserir a corrente elétrica gerada pela energia fotovoltaica na instalação da unidade consumidora, esta (que é uma corrente contínua) deve ser transmitida ao 'inversor'. O inversor a converterá em uma corrente elétrica alternada - caracterizada pela movimentação errática dos elétrons, mantendo a voltagem da corrente ao longo da transmissão -, ajustando a frequência e a tensão em que a corrente chegará à instalação elétrica da construção (casa, prédio, fábrica, etc).

Além das motivações econômicas e financeiras que podem levar uma pessoa física, uma pessoa jurídica ou algum órgão governamental a investir na instalação de um sistema solar fotovoltaico, há muitas outras relacionadas à eficiência e à preservação ambiental - que podem ser explanadas mais profundamente por uma pesquisa complementar de engenharia -, como por exemplo, a disponibilidade e gratuidade da fonte solar, sem envolver um processo exploratório ou que extingue esse recurso, pouca ocupação de espaço, pouca poluição visual, sem poluição sonora, onde suas partes podem ser recicladas após a sua vida útil (PORTAL SOLAR, 2021).

3.3 VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA

Como já apresentado na subseção 3.2, as despesas para instalação e manutenção de um sistema de energia solar são muito mais baixas do que anos atrás, mas ainda podem variar de acordo com diversos atributos, sujeitos ao porte do projeto, regulação local, importação de partes, entre outros. Em 2020, o grupo de trabalho ZISPOA, elaborou um modelo de viabilidade financeira, baseado no modelo já utilizado pela empresa de sistemas solares 'Yes Energia Solar', de POA. As variáveis e os tributos contidos no modelo, assim como o recorte regional, são a base para as questões financeiras que são apresentadas na sequência.

No modelo de sistema elétrico tradicional, em residências, prédios comerciais ou fábricas atendidos pela rede de distribuição convencional, a energia é transmitida dos postes de rua por cabos de alimentação, sendo medida para precificação pelo relógio de medição da unidade consumidora. No sistema solar fotovoltaico, além das próprias placas solares, uma série de investimentos precisam ser feitos, acarretando tanto em despesas fixas e únicas quanto em despesas variáveis e recorrentes.

Nos casos *on-grid* de praxe, a unidade consumidora já deve ter conexão com a rede de distribuição, o que, conseqüentemente, resulta na cobrança de tarifas de acordo com a concessionária regional e com o grupo: grupo A - unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kW (alta tensão), ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição, caracterizado pela tarifa binômica (tarifa dividida em duas partes: a variável fixa mensal e a variável volumétrica, calculada na quantidade de energia consumida); ou grupo B - unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kW (baixa tensão), caracterizado pela tarifa monômica (tarifa fixa sobre o serviço de distribuição, independentemente da quantidade consumida) e subdividido nos seguintes subgrupos: a) subgrupo B1 - residencial; b) subgrupo B2 - rural; c) subgrupo B3 - demais classes; e d) subgrupo B4 - Iluminação pública (ANEEL, 2012).

Além dessa tarifa, ao grupo B também é aplicado o chamado 'custo de disponibilidade', ou 'taxa mínima' (ANEEL, 2010), referente ao uso da infraestrutura da rede da concessionária, cobrado mensalmente. Existe, em três modalidades de instalações diferentes, dependentes do custo correspondente de disponibilidade por

kWh: trifásica (100 kWh), bifásica (50 kWh) ou monofásica (30 kWh). Somada a essas tarifas, podem ser adicionadas: a taxa de iluminação pública e a alíquota estadual do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) sobre a Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição (TUSD).

Superado isso, tanto sistemas inseridos como os não inseridos no *grid* requerem uma série de investimentos iniciais para aquisição de bens de capital - despesas denominadas no setor financeiro como CAPEX (*capital expenditure*), dentro do qual, para implementação de um sistema fotovoltaico, há os custos de instalação (homologação do projeto fotovoltaico, mão de obra, etc) e todos os equipamentos. Estes podem ser: placas solares, inversores, baterias (nos casos *off-grid*), estruturas (reformas de telhados e coberturas, aquisições de terreno, reparações em instalações elétricas, etc.), cabos, entre outro. Além do CAPEX, o orçamento financeiro precisa considerar o *operational expenditure* OPEX), que contempla todas as despesas necessárias para manutenção e seguro do sistema durante todo o seu tempo de vida útil (geralmente mensurado de forma anual).

Dadas todas essas variáveis, princípios de matemática financeira precisam ser aplicados para considerar um projeto de sistema fotovoltaico válido financeiramente ou não, como se a economia mensal média da energia fotovoltaica compensa o custo financeiro de instalação do sistema e a despesa financeira incorrida de um financiamento bancário, por exemplo. Os indicadores mais comuns para se fazer essa leitura são a taxa interna de retorno (TIR) e o *payback* (tempo de retorno do investimento), que levam em consideração: a vida útil do sistema, o consumo médio de energia elétrica, o nível de incidência solar sobre as placas solares, a recorrência de despesas com manutenção, entre outras, além de possíveis tributações, que podem passar por flutuações no futuro – vide subseção 4.1.

4 A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL DE 2010 A 2020

Esta seção delinea o cenário do setor de energia solar no Brasil, como este se enquadra, quais são os caminhos para que se torne mais relevante dentro da matriz energética do país, e quais são as projeções para o futuro em relação a crescimento e tecnologia. Também apresenta o cenário atual do marco regulatório da GD no Brasil (61% de toda geração fotovoltaica no país) e como a taxaço sobre ela impacta diretamente a viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico. Outras fontes de propulsão para este setor que são mencionadas: incentivos governamentais para financiamento de investimentos no setor e nível de inovação tecnológica que pode ser aplicado no mercado fotovoltaico brasileiro.

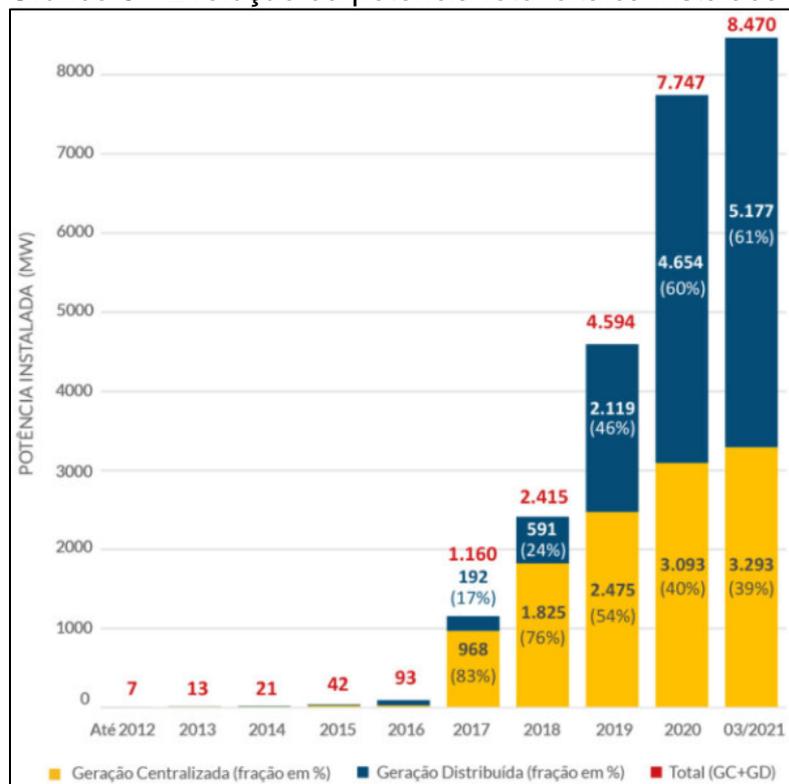
A partir da assinatura do Acordo de Paris e da publicação da Agenda 2030, em 2015, o *Greenpeace* Brasil desenvolveu e divulgou o estudo '[R]evolução Energética' de 2016. Nesta edição do relatório, foram apresentadas alternativas para o Brasil alcançar uma matriz energética 100% composta por fontes renováveis até o ano 2050. O relatório projetou as consequências e externalidades positivas que devem surgir, conjuntamente, ao atingimento da meta (GREENPEACE BRASIL, 2016).

A partir de uma geração de energia cada vez mais dependente de fontes renováveis, o Brasil deve gozar de inúmeros benefícios. Uma redução da emissão de gases de efeito estufa (ênfatiza-se o CO₂) deverá reduzir a poluição do ar, a aceleração do aquecimento global e assim melhorar a qualidade de vida da população. Segundo dados levantados pelo Reporte de Progresso Energético de 2020 (NAÇÕES UNIDAS, 2020), o país já tem 100% da sua população com acesso à eletricidade. Contudo, até 2017, apenas 45% do consumo final de energia do país eram provenientes de fontes renováveis (a principal delas, a hidrelétrica, que mesmo sendo considerada renovável, apresenta uma ameaça poluente à natureza, devido à degradação do solo e à emissão de gases de efeito estufa).

A ABSOLAR divulgou que, até março de 2021, mais de R\$ 44 bilhões foram investidos em fontes solares fotovoltaicas por iniciativas privadas no Brasil. Mais de R\$ 12,1 bilhões foram recolhidos em tributação, e mais de 254 mil novos empregos foram gerados em função da energia solar no Brasil. No mesmo período, o país atingiu uma potência instalada de mais de 8,4 GW, representando um aumento de 84% em

relação ao ano de 2019¹⁶, e um crescimento de mais de 1.000 vezes em relação ao ano de 2012 (primeiro ano com esse levantamento divulgado, onde a potência instalada esteve em torno de 7 MW, conforme aponta o Gráfico 5). Os estados que protagonizam os *rankings* do setor são, nessa ordem: Minas Gerais (18,1% da potência instalada no país), RS (12,6%) e São Paulo (12,5%).

Gráfico 5 - Evolução da potência fotovoltaica instalada no Brasil por MW

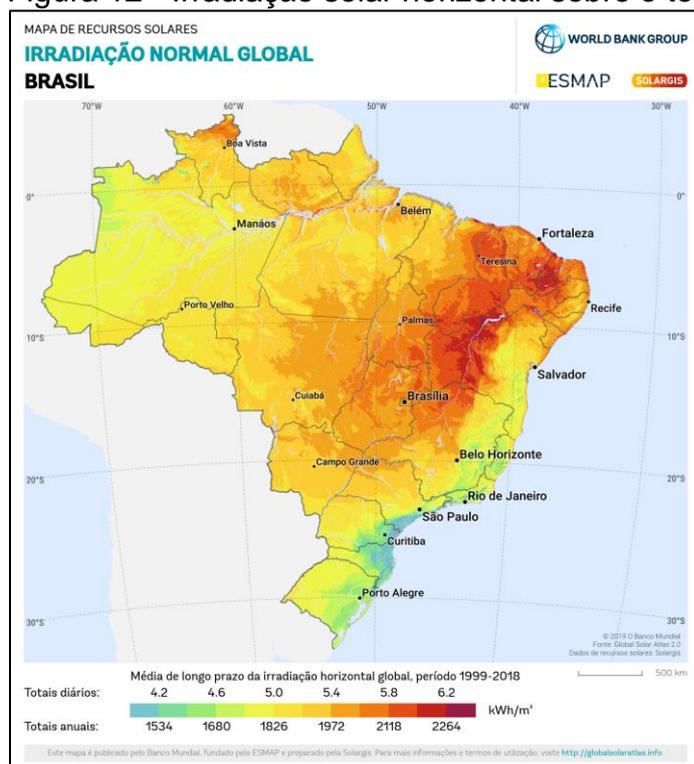


Fonte: ABSOLAR (2021, p. 2).

Assumindo o estado de Minas Gerais (MG) como *benchmarking* - em que pese a irradiação solar horizontal sobre este estado não ser a maior entre os estados brasileiros (demonstrado na Figura 12) -, este vem sendo líder e referência em geração potencial e em tecnologia, sobretudo, na modalidade de geração distribuída.

¹⁶ Até dezembro de 2020, o crescimento ano sobre ano havia sido de 60%. Em outras palavras, apenas no primeiro trimestre de 2021, o crescimento foi de 9%. Ainda cabe ressaltar que os 8,4 gigawatts instalados em março de 2021 se dividem em: 61% sendo geração distribuída e 39% geração centralizada (ABSOLAR, 2021).

Figura 12 - Irradiação solar horizontal sobre o território brasileiro por kWh por m²



Fonte: Solargis (2019, p. 4).

A ABSOLAR (2021) aponta que o estado fechou o mês de março com uma potência instalada de 938 MW, entre unidades residenciais, comerciais, industriais, governamentais e rurais. Atualmente, calcula-se mais de 74 mil unidades geradoras, distribuídas entre 98,5% dos municípios do estado. Dois destes integram o 'top 10' de cidades mais produtoras de energia solar do Brasil: Uberlândia (2º maior produtor) e Belo Horizonte (10º). Em entrevista ao portal Diário do Comércio em fevereiro de 2021, o coordenador estadual da ABSOLAR/MG, Bruno Catta Preta, afirmou:

Em Minas, vários fatores convergem para essa liderança, como as ótimas condições climáticas. O Estado tem um dos melhores índices solarimétricos do País, bons integradores que são as empresas que fazem os projetos e as instalações e uma legislação estadual que incentiva os negócios de energia solar com isenção do ICMS para projetos até 5 MW. Há ainda fabricantes de estruturas, de acessórios, além de empresas distribuidoras dos produtos oferecendo um leque completo de opções ao mercado (BIANCHETTI, 2021, p. 3).

Além da GD, Minas Gerais ainda está entre os estados com maior capacidade fotovoltaica de geração concentrada do Brasil (considerando todos os projetos de usinas solares já outorgados, o estado seria o maior gerador nessa modalidade). Exemplo disso foi, em 2017, a construção do maior parque solar da América Latina,

no município de Pirapora/MG, com capacidade total de 321 MW, com capacidade geradora estimada de distribuir eletricidade para 420 mil casas por ano (PRESSE, 2017).

Os impulsionadores apontados por Bruno Catta Preta como razões para a liderança de MG são os mesmos evidenciados em estados por todo o Brasil. Se a incidência solar fosse o único fator para a geração de energia solar, este deveria estar à frente de muitos dos líderes atuais nesse mercado, como a China, a Alemanha e o Japão. Segundo a ABSOLAR (2021), o país possui de 10% a 20% das conexões fotovoltaicas que esses países têm). O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)¹⁷ publicou que o território brasileiro recebe, em média, 15 trilhões de MW, através de 2.200 horas anuais de insolação solar (INPE, 2017). No entanto, como exposto na seção 3, questões culturais, políticas e econômicas impactam diretamente na atratividade dos sistemas fotovoltaicos.

4.1 REGULAÇÃO

Como apresentado na seção 3.1, o Brasil começou a elaborar uma regulação sobre a geração distribuída de energia no fim da década de 1980, até 2006, na qual a preocupação já se centrava em integrar o excedente produzido pelos autoprodutores de energia à rede de transmissão e distribuição. A fim de redefinir as condições da destinação desse excedente, em abril de 2012, foi publicada a primeira versão da Resolução Normativa (RN) nº 482 (ANEEL, 2012, p. 1), que restabelece as condições gerais para o acesso de microgeração (até 75 kW de potência instalada) e minigeração (de 75 kW a 500 kW) inseridas nas redes de distribuição de energia elétrica, denominado “Sistema de Compensação de Energia Elétrica”.

Esse sistema definiria que a energia elétrica gerada pelo próprio consumidor brasileiro, através de qualquer fonte renovável ou cogeração qualificada, poderia ser cedida, “[...] por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa” (ANEEL, 2012, art. 2º, III, p. 2). Tais créditos também poderiam ser usados em outras unidades dentro da mesma área de concessão, por meio das modalidades de autoconsumo remoto,

¹⁷ O INPE é um instituto federal brasileiro dedicado à pesquisa e exploração espacial, criado em 1961. Atualmente, sob políticas e diretrizes do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (INPE, 2021).

empreendimento com múltiplas unidades consumidoras ou geração compartilhada. Em outras palavras, a pessoa física ou jurídica, produtora de energia, poderia usar seu excedente de energia produzido em outras unidades consumidoras inseridas na rede de distribuição da mesma concessionária.

Na primeira versão da RN de 2012, a conversão de créditos seria de 100% - não haveria nenhum custo, ônus ou depreciação entre o excedente produzido e o montante creditado para consumo. Para esses consumidores, a rede de distribuição serviria como uma 'bateria' para armazenagem do excedente produzido, semelhante às usadas nos sistemas *off-grid*.

Em maio de 2018, iniciou-se um processo de revisão do Sistema de Compensação, com a intenção de repensar a taxa de conversão dos créditos recebidos pelos autoprodutores de energia. Em outras palavras, a conversão dos excedentes não mais se daria 'de 1 para 1', mas, sim, com algum nível de 'depreciação'. A proposta da ANEEL seria uma compensação parcial dos créditos, a partir do Projeto de Lei nº 5.829 de 2019. Após diversas fases, discussões, propostas e consultas públicas, esse Projeto de Lei começou a ser discutido no plenário da Câmara dos Deputados em Brasília, no Distrito Federal (DF) no final do mês de abril de 2021 (ROCHA, 2021). Até a entrega desta pesquisa, a decisão ainda não tinha acontecido, nem havia previsão para tal.

As alternativas propostas pela ANEEL, para taxação sobre a compensação dos créditos, podem ser verificadas no Quadro 2, que exibe um resumo elaborado pela empresa brasileira de inteligência de mercado do setor fotovoltaico, Greener, em 2019. O percentual apresentado na última linha seria a parcela compensável na tarifa total (inclusive os impostos), considerando a média de todas as concessionárias do território nacional. Considerou-se que o ICMS sobre a TUSD não é compensável (exceto para o estado de MG, onde há isenção desse imposto). Atualmente, a 'alternativa 0' é a corrente, ou seja, é possível compensar a TUSD e a Tarifa de Energia (TE)¹⁸.

¹⁸ A taxa de compensação não chega a 100% devido à obrigatoriedade do ICMS sob o TUSD em todos os estados, menos MG, e o Custo de Disponibilidade (GREENER, 2019).

Quadro 2 - Componentes compensáveis em cada alternativa de tributação proposta pela nova Resolução Normativa nº 482

		■ Compensada		□ Não compensada			
		Alternativa 0	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
Componentes da tarifa	TUSD - Fio B	■	□	□	□	□	□
	TUSD - Fio A	■	■	□	□	□	□
	TUSD - Encargos	■	■	■	□	□	□
	TUSD - Perdas	■	■	■	■	□	□
	TE - Encargos	■	■	■	■	■	□
	TE - Energia	■	■	■	■	■	■
		87%	67%	62%	55%	49%	47%
		Parcela compensável					

Fonte: GREENER (2019, p. 2).

A proposta da ANEEL se daria da forma exposta no Quadro 3. Para conexões novas instaladas antes de o novo Sistema de Compensação entrar em vigor, a alternativa 0 de compensação estará ativa até o ano de 2030, quando a alternativa 5 deve ser aplicada. Após o novo Sistema de Compensação entrar em vigor, no sistema de geração e consumo local, a alternativa 2 seria aplicada; e, em casos com adição de 4,7 GW ou depois de 2030, seria utilizada a alternativa 5. No caso de geração e consumo remoto, a partir da vigência do novo Sistema, seria aplicada a alternativa 5.

Quadro 3 - Resumo do cronograma proposto pela nova Resolução Normativa nº 482

Data de instalação	Geração local	Geração remota
Antes de entrar em vigor	<ul style="list-style-type: none"> Alternativa 0 até 2030. Alternativa 5 após 2030. 	<ul style="list-style-type: none"> Alternativa 0 até 2030. Alternativa 5 após 2030.
Após entrar em vigor	<ul style="list-style-type: none"> Alternativa 2 até adição de 4,7 GW após entrar em vigor, ou 2030. Alternativa 5 após gatilho. 	<ul style="list-style-type: none"> Alternativa 5.

Fonte: GREENER (2019, p. 2).

A ANEEL apresenta alguns argumentos para tal ajuste na conversão dos créditos inseridos de volta no *grid*. Entre eles, destaca-se: o papel do Sistema de Compensação de incentivo à geração de pequeno porte, que a sua criação almejava em 2012, já teria sido cumprido, gerando efeitos multiplicadores. O que se percebe

ao se analisar o crescimento exponencial da potência instalada acumulada no país (Gráfico 5), a redução de cerca de 75% no custo da geração fotovoltaica, e a projeção de chegar a R\$ 54 bilhões investidos pela iniciativa privada no setor até 2030 – ou seja, já estando aquecido o suficiente, o setor não necessita mais de subsídios fiscais.

Além disso, a ANEEL alega que, quando um autoprodutor de energia fotovoltaica injeta excedente de energia na rede elétrica convencional, passa a usar a instalação da concessionária distribuidora. Nos moldes atuais (alternativa 0), este uso da rede de distribuidora é gratuito, e o custo desse uso acaba sendo rateado entre os usuários não-produtores da rede (os quais pagam normalmente todas as tarifas da concessionária elétrica) (ROCHA, 2021). Consoante Carlos Alberto Calixto Mattar, superintendente de Regulação dos Serviços de Distribuição da ANEEL, no ano de 2021, a ‘conta’ do subsídio dado à geração distribuída que será arcada pelo restante dos usuários totalizará R\$ 1 bilhão. A Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE)¹⁹ estima que o valor acumulado, desde que é contabilizado até o ano de 2030, poderia chegar a R\$ 120 bilhões (ROCHA, 2021).

4.2 CRÍTICAS À REGULAÇÃO

A finalização desse processo de revisão da RN nº 482 tem sido recorrentemente prorrogada, pois, desde 2018, tem causado bastante inquietação entre consumidores, acadêmicos, empresários e entusiastas da geração de energia elétrica por fontes renováveis. Devido à proposta de taxaço sobre pequenos geradores de energia fotovoltaica pelo uso da infraestrutura da rede de distribuição, o retorno financeiro do investimento em um sistema de energia solar fotovoltaica passa a ficar comprometido. Este seria naturalmente reduzido, pois a economia mensal em relação à conta de energia elétrica convencional seria menor, estendendo o período até o *payback* do investimento na instalação do sistema (GREENER, 2019).

Um dos representantes da oposição a essa nova proposição da ANEEL, é a própria ABSOLAR, a qual defende a permanência da isenção das tarifas, como a

¹⁹ A ABRADEE é uma entidade brasileira sem fins lucrativos, criada em 1995, constituída como sociedade civil de direito privado, que tem como objetivo o desenvolvimento do setor de distribuição de energia elétrica no Brasil, contando com mais de 48 concessionárias de distribuição de energia elétrica associadas, as quais atendem mais de 99% dos consumidores brasileiros (ABRADEE, 2021).

TUSD e a TE (ABSOLAR, 2019). Na Audiência Pública 040/2019 da ANEEL, que ocorreu em 7 de novembro de 2019, o presidente executivo da ABSOLAR, Rodrigo Sauaia, fez alegações de que os reguladores não estariam considerando fatores relevantes como os ambientais, econômicos, sociais, energéticos, elétricos e estratégicos ao propor a taxação dos pequenos geradores. Segundo ele, a ANEEL deveria garantir a segurança jurídica dos contratos dos indivíduos que já investiram na energia fotovoltaica, minimamente pelos próximos 25 anos. Essa transição deveria ser muito cuidadosamente programada, pois põe em risco a viabilidade econômica de novos projetos fotovoltaicos, dado que o setor ainda é muito recente no Brasil e ainda não está maduro.

Os defensores da isenção das tarifas ainda argumentam que, dos 84,4 milhões de consumidores atendidos pelas redes de distribuição das concessionárias locais, apenas 165 mil são micro ou minigeradores de energia fotovoltaica (0,2% do total) - contra uma proposta de perda de até 60% na compensação dos créditos. Rodrigo Sauaia ainda acrescentou:

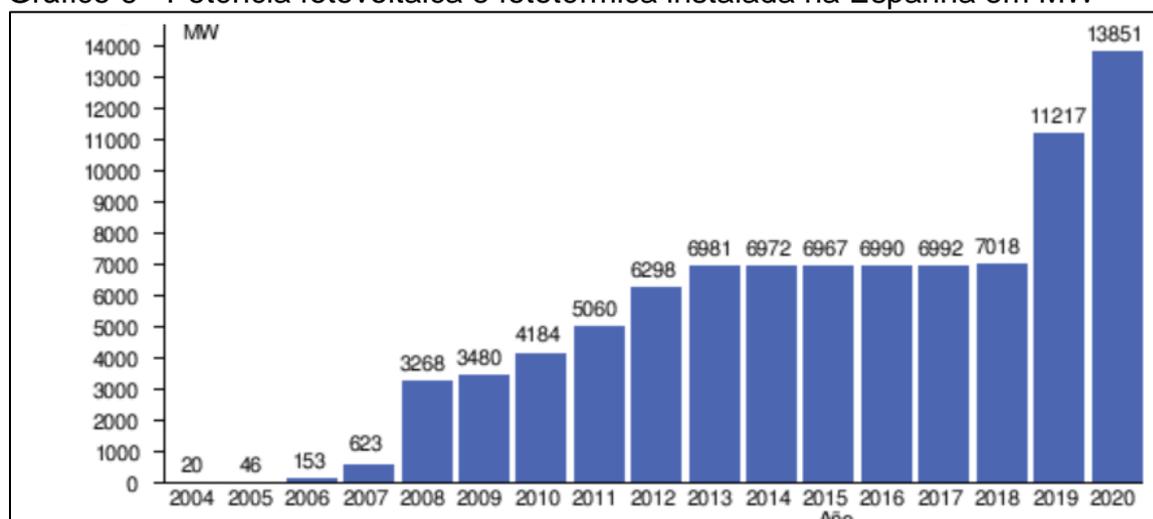
A análise da agência reguladora deve incluir (...) a postergação de investimentos em transmissão e distribuição de eletricidade, alívio das redes pelo efeito vizinhança, geração de emprego e renda, diversificação da matriz elétrica e redução de emissões de gases de efeito estufa, entre diversos outros benefícios que superam, em muito, quaisquer eventuais custos da geração distribuída (...) Sem estes ajustes, o processo poderá ser profundamente comprometido, trazendo informações imprecisas sobre a contribuição que a geração distribuída solar fotovoltaica traz à sociedade brasileira e levando a conclusões equivocadas sobre os melhores encaminhamentos a serem dados pela agência reguladora. (ABSOLAR, 2019, p. 1).

Em defesa do modelo atual, de isenção das taxas de uso da rede de distribuição (em outras palavras, subsídio fiscal para os produtores de GD), a ABSOLAR evidenciou à mídia exemplos de melhores práticas internacionais para gestão de situações semelhantes. O estado da Califórnia, nos EUA, é referência em regulamentação no setor. Lá, apenas quando a injeção de excedentes da geração distribuída atingiu 5% da participação na rede distributiva, o agente regulador instituiu uma taxação sobre os autoprodutores de GD. A taxação seria de US\$ 0,02 por kWh, equivalente a apenas 10,5% da tarifa aplicada para consumidores tradicionais das concessionárias de eletricidade (ABSOLAR, 2019).

Outro exemplo apresentado pela ABSOLAR (2019) foi a Espanha, que no ano

de 2010 passou por alterações na tributação do setor fotovoltaico de GD, desencadeando em impactos negativos sobre o crescimento do segmento pelos oito anos seguintes. Em 2018, o agente regulador voltou atrás, estabelecendo um sistema de compensação de créditos semelhante ao vigente no Brasil, de isenção de taxaço sobre o excedente da GD inserido na rede, recuperando o crescimento dos investimentos no setor, como averiguado no Gráfico 6.

Gráfico 6 - Potência fotovoltaica e fototérmica instalada na Espanha em MW



Fonte: adaptado de *Red Eléctrica de España*, 2020.

A ABSOLAR estima que, se o atual regramento de taxaço sobre a GD se mantenha no Brasil, os consumidores terão uma economia de R\$ 13,3 bilhões, além de manter a predominância de conexões de GD sobre a construção de usinas de geração concentrada, alívio na operação do sistema e interesse pelo investimento na fonte solar sobre fontes não-renováveis e mais poluentes. Em adição, projeta-se uma criação de mais de 670 mil novos postos de trabalho e a redução de 75,4 milhões de toneladas de gases de efeito estufa, emitidos até 2035, além da redução na alta dependência pelas fontes hídricas do Brasil (as quais são prejudicadas no longo prazo pela operação das usinas hidrelétricas).

4.3 FONTES DE FINANCIAMENTO

O arcabouço regulatório não é a única ferramenta governamental de incentivo e investimento na geração distribuída e no uso de fontes limpas e renováveis. O subsídio por linhas de crédito diz muito sobre o interesse das instâncias públicas, e

sua priorização em promover o investimento privado nessa direção.

Apesar da popularização da energia solar no Brasil e da redução no custo para aquisição e instalação de um sistema fotovoltaico, muitas instituições financeiras (regionais e nacionais) têm oferecido soluções de financiamento com foco nesse segmento, seja por linhas de subsídio público, como financiamento de instituições privadas, considerando, em especial, o CAPEX que essa atividade requer, e a vida útil dos equipamentos. No momento da elaboração deste estudo, havia mais de 60 opções de linhas de crédito, focadas nesse segmento, disponíveis no mercado financeiro brasileiro.

A maioria das linhas oferecidas são originadas em produtos financeiros do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES)²⁰. Algumas são limitadas a pessoas jurídicas ou a produtores rurais. Outras são mais abrangentes, atendendo também pessoas físicas. Há aquelas que podem chegar a um prazo de 240 meses para pagamento. Há ainda as que possuem um prazo de apenas cinco anos, com taxas, condicionantes e gatilhos financeiros específicos, pré-fixados no momento da contratação da linha de crédito.

No portal do BNDES (2021b), há um mapa interativo em que é possível ver os montantes desembolsados na história do Banco, por estado da federação, agrupados pela sua relação com os 17 ODS da ONU (Figura 3). No caso do ODS 7 ('Energia Limpa e Acessível', apresentado na seção 2.2), é possível ver quanto o BNDES já desembolsou para financiar demandas relacionadas ao alcance desse objetivo, no país inteiro e por estados.

Os três estados com os maiores desembolsos dentro desse objetivo (financiamento de projetos de sistemas de energia de fonte renovável, por exemplo) atualmente são: Bahia (com um desembolso total de R\$ 12,7 bilhões), São Paulo (R\$ 11,9 bi) e Pará (R\$ 10,3 bi)²¹. Dentre todos os 17 ODS, o Objetivo 7 é o terceiro em montante de desembolso no Brasil (com R\$ 90 bi atualmente - até 2015, foram R\$ 21 bi apenas), atrás somente do Objetivo 9 ('Indústria, Inovação e Infraestrutura', com R\$ 252 bi desembolsados) e do Objetivo 8 ('Trabalho Decente e Crescimento

²⁰ O BNDES, fundado em 1952, é uma empresa pública federal, com sede no Rio de Janeiro, cujo principal objetivo é o financiamento de longo prazo e investimento em todos os segmentos da economia brasileira (BNDES, 2021a).

²¹ Interessante ressaltar que tal *ranking* não conversa diretamente com o *ranking* da ABSOLAR sobre estados com maior capacidade fotovoltaica instalada. No entanto, não seria possível compará-los, pois os dois índices são construídos e influenciados por diversos fatores diferentes.

Econômico', com R\$ 166 bi) (BNDES, 2021b).

Diretamente no BNDES, hoje, há duas opções de linhas de crédito que podem financiar projetos de sistemas de energia fotovoltaica. O primeiro produto financeiro, e o mais focado na geração distribuída, é o 'Finame - Baixo Carbono', para aquisição e comercialização de sistemas de fonte solar e eólica, assim como automóveis e máquinas novos e de grande porte que sejam elétricos ou movidos a biocombustível, que apresentem maior eficiência energética e menor geração de carbono, que sejam fabricados nacionalmente (BNDES, 2021c).

De forma objetiva, todas as pessoas físicas e jurídicas podem solicitar essa linha de crédito, salvo raras exceções. A taxa de juros é composta pelo custo financeiro (taxa SELIC, por exemplo), pela taxa do BNDES (0,95% ao ano) e, em casos de operações indiretas, também pela taxa do agente financeiro (até 3,5% ao ano). O prazo pode chegar a um máximo de 10 anos, com carência de até dois anos, e formas de garantia são negociáveis (BNDES, 2021c).

A segunda linha é o 'Finem - Geração de energia', para expansão e modernização da infraestrutura de geração de energia, a partir de fontes renováveis e termelétricas a gás natural, com financiamento máximo de 80% do valor do projeto, com valor mínimo financiado de R\$ 40 milhões. Esse produto é destinado a empresas sediadas no Brasil e órgãos públicos somente. As condições financeiras, nesse caso, podem variar de acordo com o porte do beneficiário e com o item financiado (energia solar, energia de resíduos sólidos, etc.), sem ultrapassar o prazo máximo de 24 anos, com carência de até seis meses após o início da operação comercial do projeto e garantias negociáveis (BNDES, 2021c).

4.4 TENDÊNCIAS

Considerando o marco regulatório, a viabilidade econômico-financeira e a consequente popularização da energia solar, nesta subseção, expõe-se as tendências vistas nesse mercado e que apresentam potencial de aplicação no Brasil, tomando como exemplo os mercados líderes no segmento, especialmente no que concernem os avanços tecnológicos de sistemas fotovoltaicos.

Em entrevista ao *webinar Solar Talks*²², em junho de 2020, o gerente geral para a América Latina da Jinko Solar²³, Alberto Cuter, alegou que, assim que superados os efeitos sociais e econômicos da pandemia da covid-19, o Brasil deve apresentar uma rápida recuperação na demanda por sistemas solares, com potencial de se tornar um dos três maiores mercados globais de energia solar distribuída em seguida (CASARIN, 2020). “Quando isso (pandemia e alta do dólar) se solucionar, acredito que o mercado irá retomar o crescimento espetacular dos últimos três anos (...) O país poderá ser o maior mercado de GD da América Latina e um dos três maiores do mundo”, declarou o executivo da Jinko Solar (CASARIN, 2020, p. 1). Ele acredita que a matriz energética favorece essa projeção.

O Brasil é muito focado em hidrelétricas, a fonte solar ainda tem uma porção muito pequena, muito abaixo do que necessita o sistema do país. Quando há temporada de seca, é um problema. Projetos de GD e grandes usinas fotovoltaicas podem ser muito importantes nesse sentido.” (CASARIN, 2020, p. 1).

Segundo um artigo escrito por representantes da ABSOLAR para a revista ‘O Setor Elétrico’, para enfrentamento da crise econômica no Brasil, gerada em função da pandemia, uma das ações combativas de maior potencial e sustentabilidade seria a promoção de fontes renováveis, capazes de aliar políticas públicas de curto prazo para o incentivo de investimentos privados e, conseqüentemente, geração de renda e empregos, além da diversificação da matriz energética e da preservação ambiental em longo prazo.

Na União Europeia, em julho de 2020, foi criado um plano de recuperação econômica para enfrentamento da crise, chamado ‘Next Generation EU’, em que a energia limpa consta como pilar estratégico - em concordância com o ‘Acordo Verde’ da Comissão Europeia, a respeito da neutralização das emissões de carbono até 2050 (COMISSÃO EUROPEIA, 2020). O plano de dois anos contempla a criação de um fundo de 750 bilhões de euros para financiamento de investimentos nos países

²² O *webinar Solar Talks* foi um evento online, ocorrido em 05 de junho de 2020 e promovido pela ALDO Solar (uma das principais distribuidoras de equipamentos para geração de energia solar do Brasil), que debateu o tema “Mercado de energia solar: O que podemos aprender neste cenário desafiador?”, acerca do mercado solar no país sob o cenário da pandemia da covid-19, com a participação de atores do setor fotovoltaico (TERRA, 2020).

²³ JinkoSolar Holding Co. Ltd. é o maior fabricante mundial de painéis solares, fundada em 2006 em Xangai, na China, com mais de 70 GW instalados pelo mundo até o final de 2020 (JINKO SOLAR, 2021).

membros. “A Europa pós-Covid-19 será mais ecológica, mais digital e mais resiliente e estará mais bem preparada para os desafios atuais e futuros”. (COMISSÃO EUROPEIA, 2020, p. 4).

O fundo pretende impulsionar o crescimento econômico e a geração de empregos, combinados à proteção ambiental, considerando um dos maiores desafios de longo prazo, que é o aquecimento solar. Dado isso, a comissão afirmou que fontes renováveis e armazenamento de energia seriam priorizadas no fundo (*SOLAR POWER EUROPE*, 2020). No Japão, há a mesma tendência. No pacote de recuperação da atividade econômica pós-pandemia, o país alocou US\$ 1 bilhão para suportar contratos de aquisição de energia renovável a nível corporativo (COMISSÃO EUROPEIA, 2020).

É possível ver através de dados que as energias renováveis são grandes geradoras de crescimento e desenvolvimento econômico. Segundo relatório de 2020 da IRENA (2020), em 2018, o setor de energias renováveis alcançou 11 milhões de empregos no mundo e, em 2019, 11,5 milhões - dos quais, $\frac{1}{3}$ (3,8 milhões) são provenientes da energia solar fotovoltaica. Destaque para os setores das energias de biogás e hidrelétricas, que geraram menos postos de trabalho que a fotovoltaica (2,5 milhões e 2 milhões, respectivamente), seguidos da energia eólica, que gerou um total de 1,2 milhões. A agência internacional divulgou projeções sobre o segmento pós-pandemia. Um programa ambicioso de estímulo poderia viabilizar a geração de até 5,5 milhões de novos postos de trabalho ‘limpos’ até 2024, e a marca de 42 milhões até 2050 (IRENA, 2020).

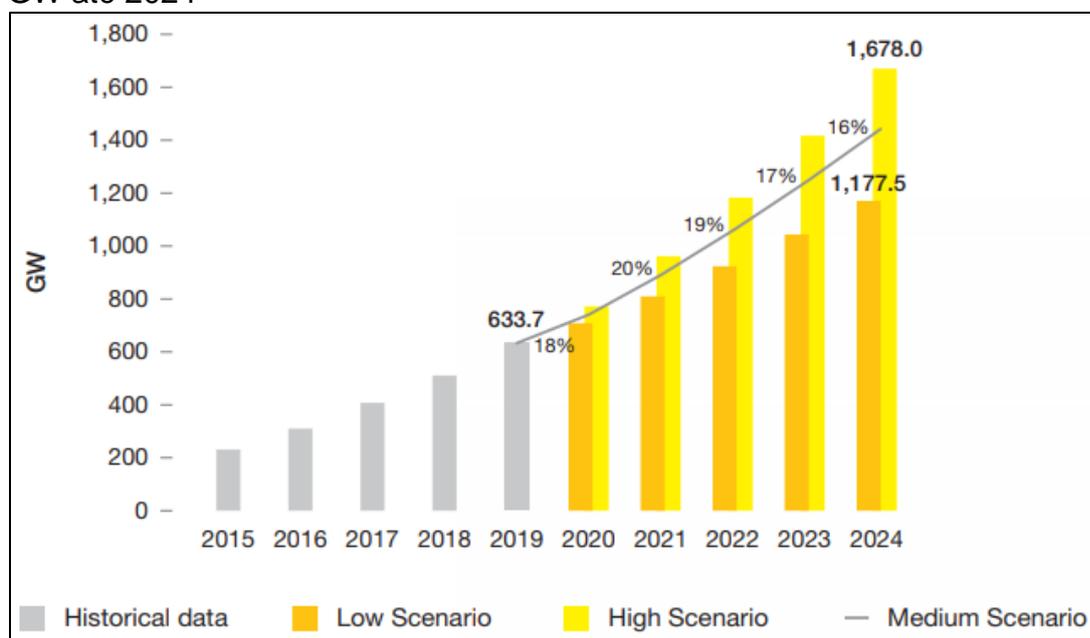
Em relação à geração de riqueza, segundo relatório divulgado pela *Allied Market Research*²⁴ (2019), em 2019 a cadeia de energia solar foi avaliada em US\$ 60,6 bilhões globalmente, e projeta-se que, em 2026, atinja US\$ 223,3 bilhões, apesar dos atrasos causados pela crise da pandemia. O segmento de sistemas fotovoltaicos deve crescer a uma *compound annual growth rate* (CAGR - Taxa de crescimento anual composta: a taxa de retorno de um investimento em um período de investimento, dado o valor final e o valor inicial do investimento) de 25,1% de 2019 a 2026.

A renda gerada por esse mercado é diretamente impulsionada por duas

²⁴ A *Allied Market Research* é uma empresa de pesquisa de mercado e consultoria do grupo Allied Analytics LLP, baseado em Portland, EUA (ALLIED MARKET RESEARCH, 2021).

grandes variáveis: a capacidade instalada; e o valor agregado, conjuntamente com as novas alternativas tecnológicas. O primeiro, potência instalada para geração de energia solar fotovoltaica, está passando por uma tendência de crescimento exponencial. A projeção é que assim se mantenha, de forma que, globalmente, sejam vistas matrizes energéticas mais solares. O relatório *Global Market Outlook (SOLAR POWER EUROPE, 2020)*, conclui que a pandemia da covid-19 gerou uma retração de 5% na potência instalada em 2020, frente à projeção que se tinha para esse ano (como se constata na linha cinza no Gráfico 7, no cenário médio). No prazo de cinco anos projetados, o relatório antecipa um cenário médio mais provável de que a potência instalada alcance 1,448 TW em 2024²⁵. No entanto, em um cenário otimista (coluna amarela no Gráfico 7 - em que os governos sejam muito efetivos no sentido da energia fotovoltaica pós-pandemia), esse montante pode chegar a 1,678 TW.

Gráfico 7 - Projeção de capacidade instalada de energia solar fotovoltaica global em GW até 2024



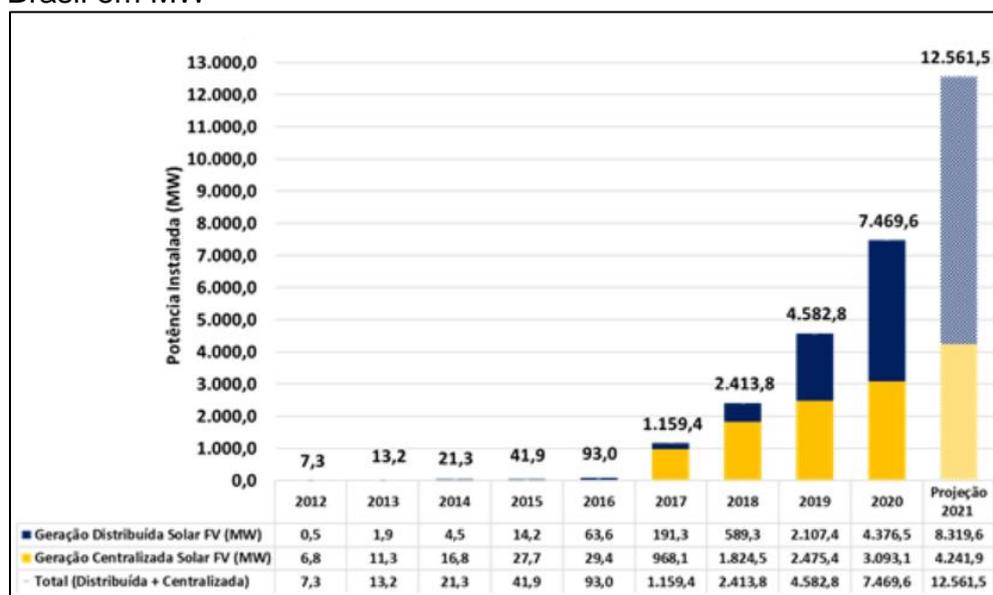
Fonte: Solar Power Europe (2018, p. 15).

Limitando os dados ao Brasil, a ABSOLAR estima que apenas no ano de 2021, a energia solar gere mais 147 mil novos empregos no país, assim como R\$ 22,6 bilhões em novos investimentos e uma arrecadação tributária de mais de R\$ 6,7 bilhões - frutos da adição estimada de 5 GW de potência instalada ao longo do ano

²⁵ O cenário médio estima que a marca do primeiro TW seja cruzada em 2022, apenas quatro anos após o atingimento do 0,5 TW em 2018 (SOLAR POWER EUROPE, 2018).

de 2021²⁶. Em 2018, a associação havia divulgado uma projeção de crescimento nas instalações até 2029. No entanto, apesar dos impactos da pandemia, em 2020, comprovou-se que as projeções estariam muito aquém do realizado. Desde então, não houve divulgação de projeções para anos após 2021 – como se averigua no Gráfico 8.

Gráfico 8 - Projeção para 2021 de potência instalada de energia fotovoltaica no Brasil em MW



Fonte: ABSOLAR (2021, p. 2).

Ao longo da elaboração deste trabalho, reconheceu-se o longo caminho que o setor de energia solar ainda tem pela frente. O potencial e a acessibilidade dessa tecnologia ainda são desperdiçados, vide a (ainda) baixa capacidade instalada e representatividade energética quando comparada com outras fontes de energia (não apenas do Brasil, mas também nas nações consideradas líderes na geração solar). Planos de ação, já inclusos em agendas como a própria Agenda 2030 (NAÇÕES UNIDAS, 2020), podem ser uma alavanca, mas ainda assim, haveria muito espaço para o planejamento de outros incentivos, nacionais e internacionais.

Referente às inovações tecnológicas para o setor, sabe-se que a redução nos custos para se investir em sistemas fotovoltaicos tradicionais, comumente vistos através de placas solares em residências e prédios comerciais, foi drástica desde a

²⁶ Crescimento estimado de 90% na geração distribuída, de 4,4 GW instalados até o fim de 2020 para 8,3 GW até o fim de 2021, e crescimento estimado de 37% na geração centralizada, de 3,1 GW até o fim 2020 para 4,2 GW até o fim de 2021 (ABSOLAR, 2021).

invenção dessa tecnologia. Como discutido na seção 3, entre 2009 e 2019, a redução acumulada no custo global para geração de um megawatt-hora através da fonte solar reduziu 90% (apontado no Gráfico 2) (*SOLAR POWER EUROPE*, 2018). Todavia, ainda há países e organizações que constantemente buscam por uma maior eficiência energética e novos serviços e produtos dentro do segmento, além de vantagens competitivas em relação aos seus concorrentes.

Tem-se desenvolvido tanto *software* quanto *hardware* de sistemas solares. Decisões como a localização, inclinação e tamanho de receptores solares demandam modelos complexos (além de fatores meteorológicos e sazonais), que também possam alocar o montante de energia gerado da forma mais eficiente possível - alinhado com a regulação de armazenamento, compensação e distribuição de energia local. Em relação aos materiais e estruturas, mais inovações estão sendo elaboradas, algumas apresentadas nos portais *Prescouter* e *Solar Reviews* (MUKHOPADHYAY, 2020; SANDHU, 2021). Um exemplo incomum, mas que tem se popularizado, são os parques solares flutuantes: painéis solares com base de silicone, que têm barateado cada vez mais e oferece diversos benefícios, como o uso horizontal de corpos hídricos, poupando o uso de terrenos ou telhados (os quais podem ser utilizados de outras formas, ou muitas vezes são caros, ou não possuem a incidência solar necessária).

Os painéis flutuantes apresentam valor de instalação menor por m² do que as alocadas em solo, são 10% mais eficientes (devido ao efeito resfriador da água sob os painéis), reduzem a evaporação da água, por limitarem o contato da superfície aquática com a circulação de ar e com a luz solar, além de prevenirem a produção de algas (que dificultariam o processo de tratamento dessa água, se necessário). O primeiro painel solar flutuante para fins comerciais foi instalado em 2008, em uma vinícola na Califórnia, EUA, com potência de 175 kWh.

Outro exemplo de tendência que deve ser cada vez mais disseminado é a tecnologia solar dos *building-integrated photovoltaics* ('BIPVs'), que são construções com células solares ou placas solares integradas a elas. Alguns tipos são: os integrados à fachada e às laterais da construção, com filmes solares semitransparentes ou painéis solares cristalinos. Esta forma geralmente não possui tanto tempo de incidência solar quanto um telhado, mas costuma oferecer uma área disponível maior, além de poder ser usada para encobrir aparências exteriores

indesejáveis. Outra modalidade são os telhados, não os painéis solares habituais, mas sim tipos de telhas que já contêm células solares, substituindo telhados ou coberturas de materiais convencionais. Outra forma é o envidraçamento, em que são usados filmes ultrafinos de células solares para criar superfícies semitransparentes, substituindo janelas de vidro, permitindo a entrada de luz natural nas construções, enquanto é gerada a energia elétrica solar.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversos são os argumentos que levam um governo, uma empresa ou um indivíduo a investir na geração de energia solar, principalmente a fotovoltaica. O motivo de maior impacto e maior mobilização, como exemplificado nas primeiras seções deste estudo, é ser um caminho prático na busca do desenvolvimento econômico sustentável.

Nesta pauta, a pesquisa não se limitou à sustentabilidade econômica ou ambiental. Esta última, por motivos às vezes subjetivos, não mobiliza as pessoas e as organizações tanto quanto a primeira. No entanto, é inegável que a reparação e a preservação ambientais são indispensáveis para a manutenção da qualidade de vida das próximas gerações, como discutido em diversos fóruns inspirados pelo relatório Nosso Futuro Comum (BRUNDTLAND, 1987).

Neste contexto, a geração de energia, a partir de fontes renováveis, em especial a fotovoltaica, possui um enorme papel, pois coloca a responsabilidade nas mãos de governos e pessoas físicas. Por evoluir e optar por um sentido contrário ao *modus operandi* – nesse caso, do setor energético, de extração e consumo, sem uma visão circular dos recursos e de consequências em longo prazo, - é que as populações seguirem sobrevivendo até a contemporaneidade. A energia solar fotovoltaica, a partir da geração distribuída ou centralizada, do uso individual ou por meio de cooperativas, viabiliza, cada vez mais, os objetivos globais de redução de emissão de gases de efeito estufa e de manutenção dos recursos finitos do planeta. Muito a respeito dessas modalidades diferentes de organização social, de engenharia, de subsídios e créditos, ainda podem ser mais amplamente estudadas em estudos subsequentes a este, explorando mais os casos de sucesso já vistos em outros países (a exemplo da Alemanha, com estruturas de condomínios solares, e a China, investindo extensivamente em tecnologia para se consolidar como o maior exportador de placas solares do mundo).

Além de todos os benefícios ambientais, esta pesquisa apresentou a ferramenta de desenvolvimento econômico (macro e micro) que a energia solar é e tem potencial para ser progressivamente. Ao instalar um sistema fotovoltaico, uma família ou um empresário, por exemplo, é capaz de ter um *payback* desse investimento de cerca de $\frac{1}{3}$ da vida útil do sistema, após isso tendo a autonomia de

gerar a própria energia elétrica, reduzindo sua conta de luz habitual apenas a valores independentes do consumo (como tributação e luz pública). Ademais, em um cenário macroeconômico, a energia solar movimentaria renda, arrecadando tributos, criando novos empreendimentos, oportunidades e nichos de mercado, gerando novos postos de trabalho, além de 'desafogar' as matrizes energéticas dos países da dependência de fontes monopolizadas, politizadas e caras.

Apesar das discussões referentes a subsídios e tributações sobre a geração de energia solar (as quais ainda serão pautas para diversos estudos e trabalhos), o fato dessa ser uma ferramenta de desenvolvimento já é aceito majoritariamente, e deve ser cada vez mais anunciado e promovido - para a disseminação do conhecimento sobre os seus benefícios, para a disponibilidade técnica e financeira, para o máximo de consumidores de energia possível, para o desenvolvimento de tecnologias cada vez mais limpas, e para a aderência gradual dos governos, das organizações e da sociedade civil.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **A ANEEL**. 2021. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/a-aneel>. Acesso em: 02 mar. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, ANEEL, 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Resolução Normativa nº 414, de 09 de setembro de 2010**. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. Brasília, ANEEL, 2010. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bren2010414.pdf/3bd33297-26f9-4ddf-94c3-f01d76d6f14a?version=1.0>. Acesso em: 21 abr. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Resolução Normativa nº 247, de 21 de dezembro de 2006**. Estabelece as condições para a comercialização de energia elétrica, oriunda de empreendimentos de geração que utilizem fontes primárias incentivadas, com unidade ou conjunto de unidades consumidoras cuja carga seja maior ou igual a 500 kW e dá outras providências. Brasília, ANEEL, 2006. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/ren2006247.pdf/00a08734-65b0-434f-8e1f-9d55a8160199?version=1.0>. Acesso em: 11 abr. 2021.

ALLIED MARKET RESEARCH. **Solar Energy Market Outlook – 2026**. 2019. Disponível em: <https://www.alliedmarketresearch.com/solar-energy-market>. Acesso em: 26 abr. 2021.

ALLIED MARKET RESEARCH. **About Us**. 2021. Disponível em: <https://www.alliedmarketresearch.com/about-us>. Acesso em: 26 abr. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA - ABRADÉE. **ABRADÉE Institucional**. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.abradee.org.br/abradee-institucional/>. Acesso em: 19 abr. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA - ABSOLAR. **Infográfico ABSOLAR**. 2021. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 4 mar. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA - ABSOLAR. **Todos os benefícios da geração distribuída devem ser respeitados pela ANEEL na revisão regulatória, afirma ABSOLAR**. 11 nov. 2019. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/todos-os-beneficios-da-geracao-distribuida-devem-ser-respeitados-aneel-na-revisao-regulatoria-afirma/>. Acesso em: 21 abr. 2021.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDES.

Quem somos. Brasília, 2021a. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/quem-somos>. Acesso em: 22 abr. 2021.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDES. **Nossa contribuição para os ODS.** Brasília, 2021b. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/transparencia/estatisticas-desempenho/ods>. Acesso em: 22 abr. 2021.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDES. **Financiamento. Infraestrutura.** Brasília, 2021c. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/portfolio-produtos>. Acesso em: 22 abr. 2021.

BIANCHETTI, M. Minas é líder em potência instalada de fotovoltaica na GD. **Diário do Comércio**, Belo Horizonte, 17 fev. 2021. Disponível em: <https://diariodocomercio.com.br/negocios/minas-e-lider-em-potencia-instalada-de-fotovoltaica-na-gd>. Acesso em: 20 abr. 2021.

BRASIL. **Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004.** Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, Presidência da República, 30 jul. 2004. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5163.HTM. Acesso em: 11 abr. 2021.

BRASIL. **Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998.** Altera dispositivos das Leis no 3.890-A, de 25 de abril de 1961, no 8.666, de 21 de junho de 1993, no 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, no 9.074, de 7 de julho de 1995, no 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e autoriza o Poder Executivo a promover a reestruturação da Centrais Elétricas Brasileiras - ELETROBRÁS e de suas subsidiárias e dá outras providências. Brasília, Presidência da República, 27 maio 1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19648cons.htm. Acesso em: 11 abr. 2021.

BRASIL. **Portaria Interministerial nº 1.007, de 31 de dezembro de 2010.** Aprova a Regulamentação Específica de Lâmpadas Incandescentes na forma constante dos Anexos I e II à presente Portaria. Brasília, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 31 dez. 2010. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/legislacao/portarias_interministeriais/migracao/Portaria_Interministerial_MMEMCTMDIC_n_1007_de_31122010.html. Acesso em: 21 mar. 2021.

BRUNDTLAND, G. **Our common future.** Oxford: Oxford University Press, 1987.

BRÜSEKE, F. **O problema do desenvolvimento sustentável.** Desenvolvimento e Natureza: Estudos para uma sociedade sustentável. Recife: Instituto de Pesquisas Sociais-Fundação Joaquim Nabuco, 1994.

CASARIN, R. Brasil pode se tornar um dos três maiores mercados globais de energia solar distribuída em 2021, diz executivo da Jinko Solar. **Portal Solar**, São Paulo, 10 jun. 2020. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia->

renovavel/brasil-pode-se-tornar-um-dos-tres-maiores-mercados-globais-de-energia-solar-distribuida-em-2021-diz-executivo-da-jinko-solar.html. Acesso em: 02 mar. 2021.

COMISSÃO EUROPEIA. **Plano de recuperação para a Europa**. 2020. Disponível em: https://ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan-europe_pt. Acesso em: 26 abr. 2021.

FATET, J. Recreating Edmond Becquerel's electrochemical actinometer. **Périodique de la Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève**, v. 56, p. 149-158, 2005. Disponível em: https://www.unige.ch/sphn/Publications/ArchivesSciences/AdS%202004-2015/AdS%202005%20Vol%2058%20Fasc%202/149-158_58_2.pdf. Acesso em: 07 de abril de 2021.

FGV Energia. **Dados matriz energética**. 2020. Disponível em: <https://fgvenergia.fgv.br/dados-matriz-energetica>. Acesso em: 21 mar. 2021.

FLEMING, J.; KNORR, B. History of the Clean Air Act. **American Meteorological Society**. [201-?]. Disponível em: <https://www.ametsoc.org/sloan/cleanair/>. Acesso em: 6 out. 2020.

FONSECA, P. As origens e as vertentes formadoras do pensamento cepalino. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 54, n. 3, jul./set. 2000.

FURTADO, C. **O mito do desenvolvimento econômico**. 2. ed. São Paulo: Paz e Terra, 1998.

G1. **Energia solar bate recorde no Brasil**. Rio de Janeiro, 19 nov. 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2020/11/19/energia-solar-bate-recorde-no-brasil.ghtml>. Acesso em: 14 mar. 2021.

GREENER. **Visão Greener: impactos da mudança na minuta da RN 482**. 2019. Disponível em: https://www.greener.com.br/greener_artigos/impactos-da-mudanca-na-minuta-da-rn-482/. Acesso em: 21 abr. 2021.

GREENPEACE BRASIL. **[R]evolução Energética**. São Paulo: Greenpeace, 2016.

HELLERSTEIN, J.; DIAO, Y.; PAREKH, S.; TILBURY, D. **Feedback control of computing systems**. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2004.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: Centro de Ciência do Sistema Terrestre, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **História**. 2021. Disponível em: http://www.inpe.br/institucional/sobre_inpe/historia.php. Acesso em: 21 abr. 2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Photovoltaic Power Systems Programme. **Snapshot Reports**. 2013-2020. [201-?]. Disponível em: <https://iea-pvps.org/snapshot-reports/>. Acesso em: 20 abr. 2021.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY - IRENA. **Renewable energy and jobs – Annual review 2020.** 2020. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2020/Sep/Renewable-Energy-and-Jobs-Annual-Review-2020>. Acesso em: 26 abr. 2021.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY - IRENA. **Renewable energy policies in a time of transition.** 2018. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_IEA_REN21_Policies_2018. Acesso em: 10 abr. 2021.

JINKO SOLAR. **About JinkoSolar Holding Co., Ltd.** 2021. Disponível em: <https://www.jinkosolar.com/en/site/aboutus>. Acesso em: 25 abr. 2021.

MCCORMICK, J. **Rumo ao Paraíso: A História do Movimento Ambientalista.** Rio de Janeiro: Relume-Dumará. 1992.

MEADOWS, D.; MEADOWS, D.; RANDERS, J.; BEHRENS III, W. **The limits to growth.** A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind. Falls Church: Potomac Associates, 1972.

MUKHOPADHYAY, T. **Current and upcoming innovations in solar cell technologies.** Prescouter. 2020. Publicado em: setembro de 2020. Disponível em: <https://www.prescouter.com/2020/09/current-and-upcoming-innovations-in-solar-cell-technologies/>. Acesso em: 22 abr. 2021.

NAÇÕES UNIDAS. **Plataforma Agenda 2030.** [201-?]. Disponível em: <http://www.agenda2030.com.br/sobre/>. Acesso em: 23 fev. 2021.

NAÇÕES UNIDAS. Department of Economic and Social Affairs. **Tracking SDG 7: The Energy Progress Report 2020.** 2020. Disponível em: https://trackingsdg7.esmap.org/data/files/download-documents/tracking_sdg_7_2020-full_report_-_web_0.pdf. Acesso em: 23 de fevereiro de 2021.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY - NREL. **About NREL.** 2021. Disponível em: <https://www.nrel.gov/about/>. Acesso em: 10 abr. 2021.

NOKIA BELL LABS. **History.** 2021. Disponível em: <https://www.bell-labs.com/about/history/>. Acesso em: 08 abr. 2021.

NORTÃO ENERGIA SOLAR. **Sistema de energia solar fotovoltaica e sua funcionalidade.** 2021. Disponível em: <http://nortaoenergiasolar.com.br/como-funciona/>. Acesso em: 11 abr. 2021.

OLIVEIRA, L. Os “limites do crescimento” 40 anos depois: das “profecias do apocalipse ambiental” ao “futuro comum ecologicamente sustentável”. **Revista Continentes (UFRRJ)**, ano 1, n. 1, 2012.

PERLIN, J. **From Space to Earth: The Story of Solar Electricity.** Ann Arbor, MI: aatec publications. 1999.

PORTAL SOLAR. **Vantagens e Desvantagens da Energia Solar Fotovoltaica.** 2021. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/vantagens-e-desvantagens-da-energia-solar.html>. Acesso em: 13 abr. 2021.

PRESSE, F. **Conheça a maior usina de energia solar da América Latina**, em Pirapora. G1. 2017. Publicado em: 17 de novembro de 2017. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/negocios/noticia/usina-de-energia-solar-de-pirapora-inicia-producao-conheca.ghtml>. Acesso em: 21 abr. 2021.

RAYNAUT, C. **Atrás das noções de meio ambiente e de desenvolvimento sustentável: questionando algumas representações sociais.** 2006.

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA. **Las energías renovables en el sistema eléctrico español** 2019. 2020. Disponível em: https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/Renovables-2019.pdf. Acesso em: 21 abr. 2021.

RIBEIRO, A. Distribuição de energia elétrica no Brasil. **Brasil Escola**, 2021. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/distribuicao-energia-eletrica-no-brasil.htm>. Acesso em: 11 abr. 2021.

ROCHA, L. Energia solar: subsídios podem chegar a R\$ 120 bi com novo PL, diz associação. **Poder 360**. abr. 2021. Disponível em: <https://www.poder360.com.br/economia/energia-solar-subsidios-podem-chegar-a-r-120-bi-com-novo-pl-diz-associacao/>. Acesso em: 19 abr. 2021.

SANDHU, J. Which new solar panel technologies will revolutionize energy production? **Solar Reviews**. 2021. Publicado em: 29 de janeiro de 2021. Disponível em: <https://www.solarreviews.com/blog/solar-panel-technologies-that-will-revolutionize-energy-production>. Acesso em: 22 abr. 2021.

SANJAY, P. **With 2,245 Mw of commissioned solar projects, world's largest solar park is now at Bhadla.** Mercom India, Bangalore, 2020. Publicado em 19 de março de 2020. Disponível em: <https://mercomindia.com/world-largest-solar-park-bhadla/>. Acesso em: 10 abr. 2021.

OUR WORLD IN DATA. **Share of primary energy from solar, 2019.** 2020. Disponível em: <https://ourworldindata.org/grapher/solar-share-energy>. Acesso em: 10 abr. 2021.

SHIEBER, J. **A new solar technology could be the next big boost for renewable energy.** Verizon: TechCrunch, dez. 2018.

SOLAR POWER EUROPE. **Global market outlook for solar power 2020-2024.** 2020. Disponível em: https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2020/07/31-SPE-GMO-report-hr-hyperlinks.pdf?cf_id=30269. Acesso em: 20 abr. 2021.

SOLAR POWER EUROPE. **Global market outlook for solar power 2018-2022.** 2018. Disponível em: <https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2018/09/Global-Market-Outlook-2018-2022.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2021.

SOLARGIS. **Global Solar Atlas**. 2020. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/global-pv-potential-study>. Acesso em: 16 mar. 2021.

SOLARGIS. **Solar resource maps of Brazil**. 2019. Disponível em: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/brazil>. Acesso em 11 abr. 2021.

SOUZA, N. **Desenvolvimento econômico**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1993.

TERRA. **Solar Talks reúne lideranças do setor solar para debater desafios e oportunidades em um cenário desafiador**. Publicado em: 2 jun. 2020. Disponível em: <https://www.terra.com.br/noticias/dino/solar-talks-reune-liderancas-do-setor-solar-para-debater-desafios-e-oportunidades-em-um-cenario-desafiador,6f4fe5c9888405545b121eedc0f968365zgut53j.html>. Acesso em: 25 abr. 2021.

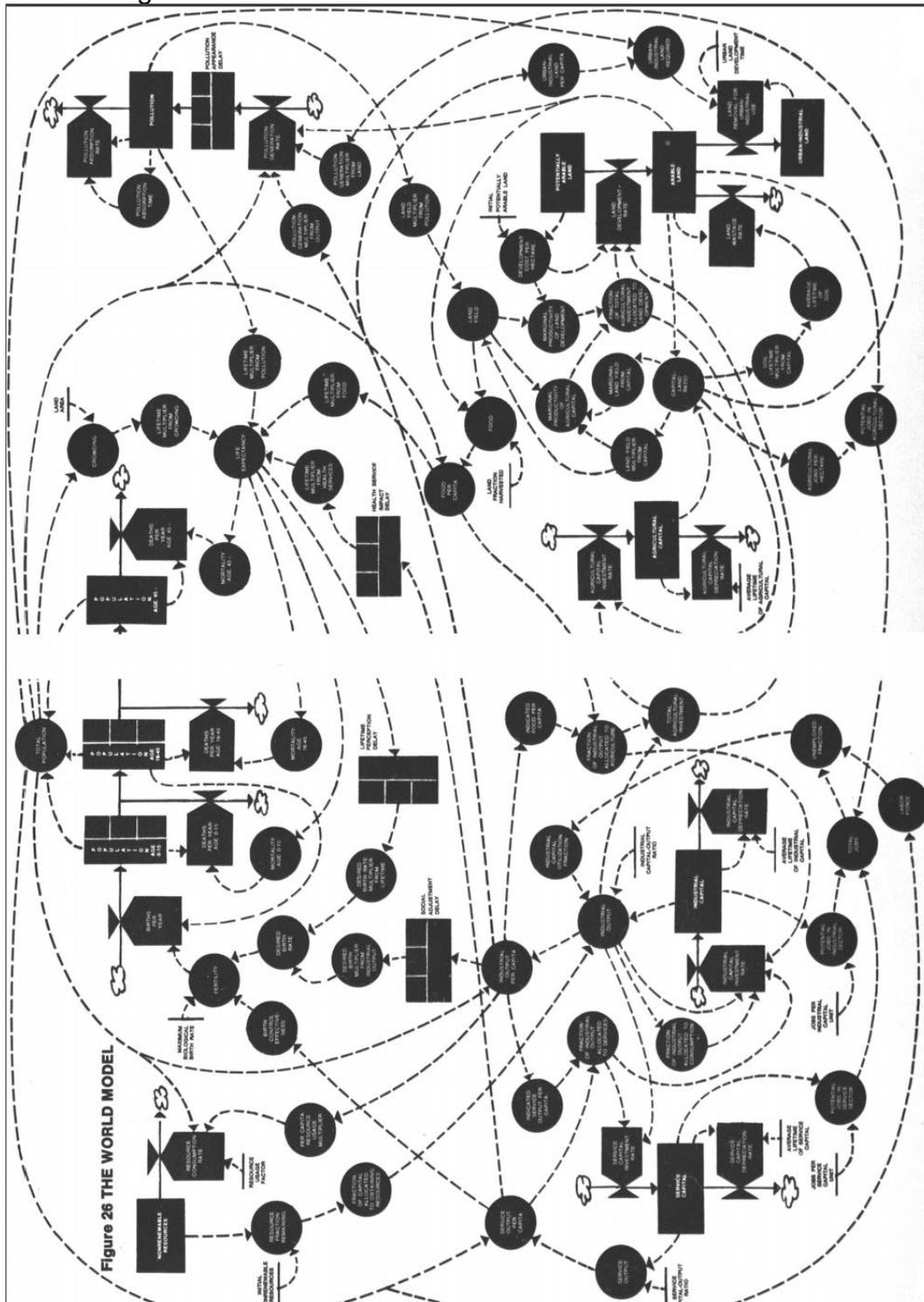
U.S. DEPARTMENT OF ENERGY'S OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY - EERE. **The History of solar**, 2021. Disponível em: https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdfhttps://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf. Acesso em: 08 abr. 2021.

U.S. Navy Office of Information. **Naval Research Laboratory Conducts First Test of Solar Power Satellite Hardware in Orbit**. Washington. Publicado em 18 de maio de 2020. Disponível em: <https://www.nrl.navy.mil/Media/News/Article/2220998/nrl-conducts-first-test-of-solar-power-satellite-hardware-in-orbit/>. Acesso em: 10 mai 2021.

WEISS, M.; SEDMAK-WEISS, N.; RODRIGUEZ, E. **21st century leapfrog economic strategy: Rio Grande do Sul becomes the most sustainable and innovative place in Latin America by 2030**. Global Urban Development, Porto Alegre, 2015. Disponível em: [http://www.globalurban.org/2015_RS_LEAPFROG_ECONOMIC_STRATEGY.p](http://www.globalurban.org/2015_RS_LEAPFROG_ECONOMIC_STRATEGY.pdf)[df](http://www.globalurban.org/2015_RS_LEAPFROG_ECONOMIC_STRATEGY.p)>. Acesso em: 07 jun. 2019.

APÊNDICE 1 – DIAGRAMA - MODELO GLOBAL DO RELATÓRIO MEADOWS

Figura 13 – Diagrama do Modelo Global do Relatório Meadows



Fonte: Meadows et al. (1972, p. 102).