

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CAMPUS GOVERNADOR VALADARES
INSTITUTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
FACULDADE DE ECONOMIA**

THAYS SENA DA MATA

**DESAFIOS DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO BRASIL:
UM OLHAR A PARTIR DA ECONOMIA ECOLÓGICA**

**Governador Valadares
2022**

Thays Sena da Mata

**DESAFIOS DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO BRASIL:
UM OLHAR A PARTIR DA ECONOMIA ECOLÓGICA**

Monografia apresentada ao curso de Ciências
Econômicas da Universidade Federal de Juiz
de Fora, Campus Governador Valadares,
como requisito para obtenção de título de
Bacharel em Ciências Econômicas

Orientador: Prof. Dr. Felipe Nogueira da Cruz

**Governador Valadares
2022**

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Sena da Mata, Thays.

DESAFIOS DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO BRASIL: UM OLHAR A PARTIR DA ECONOMIA ECOLÓGICA / Thays Sena da Mata. -- 2022.

59 p. : il.

Orientador: Felipe Nogueira da Cruz

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Avançado de Governador Valadares, Instituto de Ciências Sociais Aplicadas - ICSA, 2022.

1. Transição energética. I. Nogueira da Cruz, Felipe, orient. II. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
Secretaria do ICSA do Campus GV

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CAMPUS GOVERNADOR VALADARES
INSTITUTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 16:00h do dia 14 de fevereiro de 2022, por webconferência, conforme Resolução N° 24/2020 do Conselho Superior (CONSU), foi instalada a banca do exame de Trabalho de Conclusão de Curso para julgamento do trabalho desenvolvido pelo(a) discente Thays Sena da Mata, matriculado(a) no curso de bacharelado em Ciências Econômicas. O(a) Prof.(a) Felipe Nogueira da Cruz, orientador(a) e presidente da banca julgadora, abriu a sessão apresentando os demais examinadores, os professores: Carlos de Faria Júnior e Camila Amaral Pereira.

Após a arguição e avaliação do material apresentado, relativo ao trabalho intitulado: “Desafios da transição energética no Brasil: um olhar a partir da Economia Ecológica”, a banca examinadora se reuniu em sessão fechada considerando o(a) discente:

(X) Aprovado (a)

() Reprovado (a)

Nada mais havendo a tratar, foi encerrada a sessão e lavrada a presente ata que vai assinada eletronicamente pelos presentes.

Governador Valadares, 14 de fevereiro de 2022.

Felipe Nogueira da Cruz

Orientador(a)

Carlos de Faria Júnior



Documento assinado eletronicamente por **Felipe Nogueira da Cruz, Professor(a)**, em 14/02/2022, às 21:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **CAMILA AMARAL PEREIRA, Professor(a)**, em 15/02/2022, às 09:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Carlos de Faria Junior, Professor(a)**, em 16/02/2022, às 15:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Thays Sena da Mata, Usuário Externo**, em 16/02/2022, às 17:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Uffj (www2.uffj.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **0680104** e o código CRC **BE2FBFB8**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar forças a todo o momento e permitir que eu encerre esse ciclo com paz e saúde. A minha família, em especial meus pais e irmãos, Maria, Edson, João Vitor e Thayane, por todo apoio, amparo e carinho e por sempre me incentivarem a nunca desistir dos estudos.

À Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Governador Valadares por todo aprendizado e a oportunidade de concluir o curso de Ciências Econômicas. Em especial ao meu querido professor e orientador Felipe Cruz, por toda paciência e dedicação que teve comigo.

Por fim, agradeço a todos professores que fizeram parte da minha jornada, contribuindo sempre de alguma forma para minha formação acadêmica, e aos meus primos e amigos que sempre acreditaram em mim e me proporcionaram bons momentos de leveza e alegria.

RESUMO

O Brasil é um dos mercados emergentes mais atrativos para investimentos em energia renovável e sua matriz energética possui uma situação privilegiada se comparada à matriz global, tendo em vista que mais de 40% dela é composta por fontes renováveis. Nesse contexto, o presente estudo buscou entender em um sentido tanto econômico quanto ambiental quais são as principais barreiras encontradas no país que dificultam o processo de transição energética rumo a fonte renováveis e sustentáveis. Para tanto, foi feita uma pesquisa bibliográfica, recorrendo-se a alguns textos da Economia Ecológica para entender a partir de suas bases teóricas e metodológicas como se daria esse processo de transição de uma forma eficiente. O fato de o Brasil possuir importantes recursos naturais e ter a chance de se destacar especificamente no uso da energia solar e eólica, uma vez que suas respectivas fontes existem de forma abundante no país, possibilitariam uma maior diversificação da matriz energética brasileira. Contudo, os resultados mostraram que esse processo de transição envolve principalmente medidas políticas, financeiras, tecnológicas e sociais, o que acaba tornando-o moroso. Outro ponto importante é que, uma vez que um país tem sua principal fonte energética solidificada, no caso do Brasil as grandes hidrelétricas, é mais difícil o processo de transição, pois os investimentos em fontes renováveis acabam trazendo incertezas para os investidores, além de apresentarem custos mais altos.

Palavras-chave: Energia renovável; Economia Ecológica; Transição energética; Energia solar e eólica.

ABSTRACT

Brazil is one of the most attractive emerging markets for investments in renewable energy and its energy matrix has a privileged situation compared to the global matrix, given that more than 40% of it is composed of renewable sources. In this context, the present study sought to understand, in both an economic and environmental sense, what are the main barriers found in the country that hinder the process of energy transition towards renewable and sustainable sources. A bibliographic research was carried out, using some texts of Ecological Economics to understand from their theoretical and methodological bases how this transition process would take place in an efficient way. The fact that Brazil has important natural resources and has the chance to stand out specifically in the use of solar and wind energy, since their respective sources exist in an abundant way in the country, would allow a greater diversification of the Brazilian energy matrix. However, the results showed that this transition process mainly involves political, financial, technological and social measures, making it time-consuming. Another important point is that, once a country has solidified its main energy source, in the case of Brazil the large hydroelectric plants, the transition process is more difficult, as investments in renewable sources bring uncertainties to investors, in addition to presenting higher costs.

Keywords: Renewable energy; Ecological Economy; Energy transition; Solar and wind energy.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	8
CAPÍTULO 1 – AS RELAÇÕES ENTRE ENERGIA E SISTEMA ECONÔMICO A PARTIR DA ECONOMIA ECOLÓGICA	12
1.1. Entropia, energia disponível e energia acessível.....	12
1.2. O Protocolo de Kyoto e o Acordo de Paris: as bases multilaterais do desafio da transição energética.....	14
1.3. Economia Ecológica: uma visão sistêmica da relação entre economia e meio ambiente.....	17
1.4. Os dilemas da transição rumo a fontes energéticas renováveis	24
CAPÍTULO 2 – POTENCIALIDADES E DESAFIOS DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO BRASIL	27
2.1. Matriz energética, matriz elétrica e consumo de energia: um retrato da questão energética no Brasil.....	27
2.2. Desafios tecnológicos, econômicos e políticos à transição energética no Brasil	36
2.3. Propostas para uma economia de baixo carbono no Brasil.....	44
2.4. Uma breve nota crítica a partir da Economia Ecológica.....	47
CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
REFÊRENCIAS	52

INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade, a energia é necessária para a realização de tarefas essenciais à vida humana. A partir da segunda metade do século XVIII, período marcado pelo advento da Revolução Industrial, inicia-se uma trajetória de alta concentração de gás carbônico (CO₂) na atmosfera, resultado do aproveitamento de um enorme volume de recursos energéticos formado e acumulado ao longo de milhares de anos: os combustíveis fósseis. Assim, devido à grande quantidade de carvão mineral – posteriormente, petróleo – que passou a ser utilizada para a produção de energia, houve uma grande emissão de dióxido de carbono no planeta e que, desde então, só vem aumentando.

As ações humanas provocam vários desequilíbrios ambientais que não só afetam a fauna e a flora, mas também os próprios seres humanos. A evidência de que a Terra está esquentando é muito clara, houve um aumento da temperatura média de cerca de 0,8°C desde meados do século XIX, e as emissões humanas de GEE (gases de efeito estufa), principalmente CO₂ (dióxido de carbono), foram responsáveis pela maior parte desse aquecimento (IPCC, 2014).

O Antropoceno é um termo que tem sido frequentemente utilizado para expressar como a ação humana sobre o meio ambiente vem crescendo e afetando globalmente o planeta, fazendo assim com que a Terra entre em uma nova época geológica (STEFFEN *et al.*, 2011). Uma vez que o meio ambiente está relacionado diretamente a questões econômicas importantes (padrões de produção, escassez de recursos, inovação etc.), os problemas ambientais também trazem consigo cada vez maiores impactos econômicos.

O CO₂ é um composto químico gasoso emitido pela queima de combustíveis fósseis. Com o seu acúmulo na atmosfera, existe uma maior probabilidade de riscos para a alteração do clima devido ao efeito estufa (ECYCLE, 2020). É importante lembrar dois pontos, o primeiro é que a preocupação não se trata apenas da presença do dióxido de carbono na atmosfera, e sim da alta concentração em que se encontra, já que ele é o gás do efeito estufa que mais contribui para o aquecimento global. O segundo ponto é que como as energias não renováveis são produzidas através de recursos limitados da natureza, logo uma vez que esses recursos se tornem escassos não podem ser regenerados facilmente.

Dentre os principais efeitos dos combustíveis fósseis (carvão mineral, gás natural e petróleo) está a grande emissão de GEE e a proliferação do ácido sulfúrico. Contudo, além do prejuízo ambiental, uma vez que a alta concentração de carbono leva à formação de chuva ácida

e ao desequilíbrio do clima, também é possível dizer que o CO₂ traz consigo prejuízos afetando diretamente a saúde humana, não se limitando à classe social, faixa etária ou algum limite territorial. Neste contexto, é válido ressaltar que as emissões do CO₂ são acompanhadas por diversos poluentes atmosféricos, aumentando assim o risco de inflamação e infecção do sistema respiratório e dos agravos crônicos que provocam efeitos cardiovasculares (LEITE; DEBONE; MIRAGLIA, 2020).

Um meio muito utilizado para a produção de energia, o qual se destaca no Brasil, são as hidrelétricas. Contudo, por mais que as hidrelétricas compreendam uma alternativa aos combustíveis fósseis, uma vez que é utilizada a água como principal recurso, elas também acarretam uma série de consequências, dado que para a construção das hidrelétricas existe uma grande degradação ambiental. Assim, podemos perceber que não basta a utilização de um recurso natural renovável, é necessário analisar os seus possíveis efeitos ou externalidades negativas (FERREIRA, 2020).

O processo de transição energética rumo a fontes renováveis e sustentáveis é algo relevante tanto no âmbito ambiental quanto no econômico, o que o torna um assunto cada vez mais discutido por estudiosos. Em um país em desenvolvimento como o Brasil, que possui recursos naturais a seu favor, esse tema tem grande importância, uma vez que a transição energética abre uma série de possibilidades em termos de investimentos e geração de emprego, contribuindo para a construção de um modelo econômico mais sustentável. Outro fato que merece destaque é que com a ampliação da matriz energética brasileira, poderá ser evitado possíveis problemas futuros relacionados à energia.

Em um olhar para o futuro, espera-se que a necessidade de energia continuará aumentando. Em virtude disso, a busca por novas alternativas energéticas vem crescendo cada vez mais, não só no Brasil, mas em todo o mundo, em prol do desenvolvimento de tecnologias mais limpas e eficientes. A Organização das Nações Unidas é portadora de um trabalho com a ajuda de seus parceiros no Brasil e no resto do mundo para atingir dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Agenda 2030),¹ sendo o sétimo, especificamente, o objetivo de ter energia limpa e acessível.

Em suma, os fatores ambientais atingem diretamente a economia, fazendo com que projetos sustentáveis sejam cada vez mais procurados e estudados como uma solução para o problema ambiental. O maior consumo de energia *versus* os riscos e as incertezas de uma maior

¹ Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em 15/09/2021.

degradação do meio ambiente torna-se um ponto de discussão relevante e um grande desafio para um modelo econômico sustentável. Considerando esse aspecto, a abordagem conhecida como Economia Ecológica busca aprofundar a compreensão das interações meio ambiente-economia, dado que sua visão de mundo é transdisciplinar, com foco nas relações entre ecossistemas naturais e sistemas econômicos no sentido mais amplo possível, olhando para a economia humana como um subsistema de um todo (a natureza) (CAVALCANTI, 2010). Assim, as bases teóricas e metodológicas da Economia Ecológica têm total importância para a questão da energia, trazendo uma perspectiva mais ampla sobre o contexto de transição energética.

Em particular, as discussões da Economia Ecológica apresentam importantes implicações para o caso do Brasil, chamando a atenção para o papel do Estado não apenas na formulação de políticas e no apoio por meio de investimentos públicos, mas também na busca de objetivos sociais, uma vez que para os economistas ecológicos é necessária uma mudança no padrão de vida social para que a transição energética se dê de forma eficiente.

Tendo em conta esses aspectos, o objetivo geral deste trabalho é analisar os desafios colocados para a transição energética, particularmente em um país em desenvolvimento como o Brasil. Especificamente, busca-se entender a problemática ambiental causada por uma matriz produtiva ancorada no uso de combustíveis fósseis como fonte de energia, o conceito de transição energética e a necessidade dessa transição para fontes renováveis, salientando as suas potencialidades e os seus desafios no caso brasileiro. Avalia-se a hipótese de que apesar do Brasil apresentar um uso considerável de fontes renováveis de energia em comparação com o resto do mundo, ainda existe uma série de desafios econômicos e ecológicos complexos a serem rompidos, dentre eles o aprisionamento do país em relação a grandes usinas hidrelétricas.

Para tanto, é realizada uma pesquisa bibliográfica, recorrendo-se particularmente aos textos da Economia Ecológica, por entender que se trata de uma área de estudos que vem apontando os desafios da sustentabilidade ambiental e salientando os problemas da teoria econômica padrão nesse sentido. Também são utilizados artigos científicos, dissertações e relatórios de institutos de pesquisa associados às temáticas da relação entre economia e energia e suas implicações no caso brasileiro.

Além desta Introdução e das Considerações Finais, o presente trabalho é composto por dois capítulos. O primeiro capítulo, dividido em 4 seções, discute a relação entre sistema econômico e energia a partir da perspectiva da Economia Ecológica. Nele, são apresentados os

conceitos de entropia, energia disponível e energia acessível (seção 1.1), bem como as negociações multilaterais cujo objetivo é incentivar a transição energética (seção 1.2). Ademais, são discutidos os aspectos teóricos e metodológicos da Economia Ecológica, enfatizando sua divergência em relação à visão econômica tradicional (seção 1.3), e alguns dos principais dilemas da transição rumo a fontes renováveis de energia (seção 1.4).

O segundo capítulo, por sua vez, discorre sobre as potencialidades e os desafios da transição energética no Brasil. Dividido em quatro seções, ele esboça um quadro mais geral das especificidades brasileiras no tocante à matriz energético-elétrica e o consumo de energia (seção 2.1), assim como discute os desafios tecnológicos, políticos e econômicos que envolvem a mudança desse quadro em direção a um modelo mais sustentável do ponto de vista ambiental (seção 2.2). Em seguida, são debatidas algumas propostas visando à superação de tais desafios (seção 2.3), e segue-se uma breve nota crítica inspirada na visão da Economia Ecológica (seção 2.4).

CAPÍTULO 1 – AS RELAÇÕES ENTRE ENERGIA E SISTEMA ECONÔMICO A PARTIR DA ECONOMIA ECOLÓGICA

Este capítulo tem o objetivo de analisar as relações entre energia e sistema econômico sob a ótica da Economia Ecológica, uma perspectiva cuja questão central reside na sustentabilidade ambiental das sociedades humanas em oposição à visão econômica tradicional que enfatiza apenas o crescimento econômico. A Economia Ecológica entende que a escala ou o tamanho do sistema econômico é restringido pelos ecossistemas naturais, e que grande parte do patrimônio natural não pode ser substituída pelo capital fabricado pelas pessoas (VAN HAUWERMEIREN, 1999).

O capítulo está dividido em 4 seções. A seção 1.1 discute os conceitos de entropia, energia disponível e energia acessível. Na sequência, a seção 1.2 ressalta a importância do Protocolo de Kyoto (1997) e do Acordo de Paris (2015) como incentivos ao uso de energias renováveis. A seção 1.3 apresenta os aspectos teóricos e metodológicos da abordagem da Economia Ecológica, mostrando os principais pontos em que os economistas ecológicos se diferenciam dos economistas ortodoxos/neoclássicos. Por fim, a seção 1.4 enumera alguns dos desafios mais importantes que terão que ser enfrentados para que ocorra a transição energética rumo a fontes sustentáveis.

1.1. Entropia, energia disponível e energia acessível

De acordo com o engenheiro francês Nicolas Sadi Carnot (1796-1832), o homem só tem condições de utilizar uma forma particular de energia. Sendo assim, a energia é dividida em disponível, aquela passível de ser transformada em trabalho, e não disponível, aquela que não pode ser transformada em trabalho (GEORGESCU-ROEGEN, 2005). Essa distinção está associada ao conceito da Segunda Lei da Termodinâmica,² a Entropia, tendo como base a ideia de que a realização do trabalho a partir do consumo de energia leva a uma perda na forma de

² As leis da Termodinâmica estão baseadas nas normas físicas que governam o comportamento da matéria e da energia. A Primeira Lei da Termodinâmica, também conhecida como lei da conservação da energia, estabelece que a matéria e a energia não podem ser destruídas nem criadas. A Segunda Lei da Termodinâmica estipula que, caso não existam fontes externas de energia, a entropia – entendida como um índice relativo da energia não disponível em um sistema isolado – aumenta constantemente (VAN HAUWERMEIREN, 1999).

calor (energia não aproveitável que é dissipada). A soma dessa energia não aproveitável é chamada de entropia.

Segundo o conceito da entropia, a degradação da energia tende a um máximo em um sistema isolado, sendo este o sistema que não troca nem matéria nem energia com o meio externo. O planeta Terra pertence a um sistema fechado, que é aquele que troca apenas energia; essa caracterização se dá pelo fato de a quantidade de materiais no planeta não mudar, mesmo recebendo permanentemente o fluxo de energia do Sol (SCHNEIDER; SAGAN, 2005).

A vida econômica se nutre de energia e matéria de baixa entropia (GEORGESCU-ROEGEN, 1971). Logo, a energia disponível compreende um ponto importante, uma vez que para ela ter algum valor para a humanidade também deve ser acessível. Tomemos como exemplo a acessibilidade da energia solar e seus subprodutos. Dado que é possível ter esse acesso, ou seja, uma vez que somos capazes de utilizar a irradiação que vem do Sol, pode-se dizer que a energia solar se torna útil para as atividades humanas. Existem, por exemplo, vários lençóis que deles podem ser extraídos toneladas de óleo, todavia para ter acesso a esse material seria necessário gastar ainda mais recursos para isso, sendo assim, o óleo desses lençóis representa uma energia disponível, mas não uma energia acessível (GEORGESCU-ROEGEN, 2005).

Em termos conceituais, é importante entender que a energia envolve principalmente três aspectos: (I) os recursos energéticos naturais, como combustíveis fósseis, ou forças da natureza, como a irradiação solar; (II) a infraestrutura logística de energia que inclui a matriz energética com os respectivos sistemas de geração, transmissão e consumo da energia; (III) e o conjunto de conhecimento e desenvolvimento de novas tecnologias energéticas (OLIVEIRA, 2012, p. 22). O papel do setor energético torna-se cada vez mais essencial ao sistema econômico, uma vez que ele está vinculado a bases importantes da sociedade, como geração de empregos, consumo, comércio e bem-estar. Diante disso, ter uma boa segurança energética³ torna-se algo vital para o bom desempenho econômico de qualquer país.

O processo da produção de energia por muito tempo teve como sua principal fonte o uso de combustíveis fósseis, produzindo assim um efeito colateral na esfera ambiental. O bom desempenho no desenvolvimento econômico dos países é um dos principais objetivos dos

³ Segurança energética é um conjunto de medidas que visam a afastar o risco de falta de energia, reduzindo a instabilidade causada pela dificuldade de acesso à fonte energética.

governos, uma vez que tende a melhorar a vida das pessoas de maneira geral. Acontece que para esse desenvolvimento realizar-se é necessário um grande uso de energia, o que não necessariamente deveria ser algo negativo, mas a questão chave é que nem sempre houve uma preocupação por parte da maioria da população com respeito ao uso de meios sustentáveis para produção de energia. Como consequência, os resultados desse processo trouxeram à tona questões como a escassez de matérias-primas e problemas ambientais.

Desde a Revolução Industrial os combustíveis fósseis fazem mover a economia. Dentre outras *commodities* existentes, o petróleo exerceu crescentemente um papel central, sendo considerado um dos mais importantes recursos naturais existentes. Contudo, o período de 1973 a 1979, caracterizado pelos choques de petróleo, ou seja, a subida dos custos energéticos, foi um divisor de águas para que os países começassem a ter uma nova visão sobre a energia. Durante aquele período, houve uma preocupação com suprimentos energéticos, o que afetou diversos países, os quais foram incentivados a buscar novas alternativas de energia, dado que o preço do petróleo havia sofrido grande ajuste (PIMENTEL, 2011).⁴ A partir das décadas seguintes, a preocupação voltou-se para a emissão de gases de efeito estufa, sendo assim um impulso na busca e no desenvolvimento de energias renováveis.

1.2. O Protocolo de Kyoto e o Acordo de Paris: as bases multilaterais do desafio da transição energética

A transição energética está associada à ideia de migração das fontes energéticas que compõem a matriz de energia primária que nos abastece atualmente. Isso significa abrir espaço para que a matriz energética lentamente deixe de contar com fontes mais emissoras de gases poluentes, o carvão por exemplo, e passe a contar mais com fontes renováveis, como a energia solar e eólica. Essa migração de fontes, hoje muito impulsionada pela busca de alternativas menos emissoras de gases de efeito estufa, leva em consideração que a demanda primária de energia está crescendo à medida que o mundo tem mais habitantes e a renda média global aumenta, tendo assim mais pessoas com acesso à energia.

⁴ “Desde o choque do petróleo a garantia do suprimento de energia em níveis adequados às necessidades de desenvolvimento do país passou a ocupar posição de destaque na ação diplomática brasileira. No plano interno, redobram-se os esforços tanto para a prospecção de petróleo quanto para a diversificação da matriz energética com o desenvolvimento de tecnologias próprias e resultados expressivos consubstanciados no vigor da indústria do etanol, no domínio da tecnologia de construção de grandes barragens hidrelétricas, na expansão do biodiesel e nas descobertas promissoras do pré-sal” (PIMENTEL, 2011).

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC), assinada e ratificada por mais de 175 países em 1992, tratou de dividir o planeta em dois hemisférios, um grupo das economias consideradas desenvolvidas e que emitem uma maior quantidade de gases poluentes, e as economias em desenvolvimento, cujas condições especiais devem ser observadas na implementação das medidas atinentes à Convenção. O escopo da Convenção foi estabelecer metas de redução de gases causadores do efeito estufa a partir da divisão dos Estados nestes dois grandes grupos, os países desenvolvidos e os países em desenvolvimento (BALDUINO, 2020).

O Protocolo⁵ de Kyoto, adotado em dezembro de 1997, compreende um marco importante para o processo de transição energética no Brasil e demais signatários (mais de 175 países). Sua configuração inicial, expressa pela reunião dos principais países responsáveis historicamente pelas emissões acumuladas de gás carbônico (CO₂), respondia, portanto, à ideia de uma atribuição justa de responsabilidades pela mitigação dessas emissões (SOUZA; CORAZZA, 2017). Nele foi estabelecido metas de redução de emissão de gases de efeito estufa e mecanismos adicionais de implementação para que estas metas fossem atingidas (MOREIRA; GIOMETTI, 2008). Ressalta-se que as metas estabelecidas foram diferenciadas com relação ao nível de desenvolvimento dos países, recaindo diferentes responsabilidades para a solução do problema.

Ainda que o Protocolo de Kyoto tenha servido como impulso inicial para os esforços de redução da emissão de gases poluentes em muitos países, contudo, nele era permitida a compra de cotas de carbono e medidas de compensação, o que para muitos especialistas eram fatores que não contribuíam para o objetivo maior desse documento. O Protocolo teria sido prorrogado até 2020, no entanto, antes desse prazo estabelecido, ele foi substituído pelo Acordo de Paris, em 2015. A lógica inaugurada no Acordo de Paris concentra-se nas contribuições nacionalmente determinadas, onde cada Estado estabelece internamente a sua contribuição para a redução de gases de efeito estufa (OLIVEIRA, 2019). Nesse acordo, todos os países, independentemente de sua responsabilidade histórica, propõem-se a assumir metas de redução, tendo como objetivo geral limitar o aumento da temperatura global a 1,5°C em relação aos níveis pré-industriais até o final do século XXI (CARVALHO; COELHO; MARTINS; COSTA, 2017).

⁵ Protocolo é um conjunto das informações, decisões, normas e regras definidas a partir de um ato oficial, como audiência, conferência ou negociação.

Unruh (2000, 2002) afirma que as economias industriais (desenvolvidas), e cada vez mais as em desenvolvimento, estão presas a um modelo econômico baseado em combustíveis fósseis através de um processo de coevolução tecnológica e institucional, alimentado pelos retornos crescentes auferidos dessas atividades já consolidadas. Diante disso, é possível ressaltar a complexidade e os desafios da transição energética em um país como o Brasil, sendo uma mudança não só na geração de energia, mas também no seu consumo e reaproveitamento.

O Brasil possui um diferencial por sua grande variedade de possibilidades energéticas e riquezas naturais. Dentre essas vantagens, pode-se destacar o fato de ser um dos países que mais recebe irradiação solar em todo o mundo, e como a energia solar (um meio de energia sustentável) funciona por meio da captação da luz do Sol feita através de painéis fotovoltaicos, já seria um ponto importante a ser enfatizado. Outra característica predominante no país trata-se da incidência de ventos. A região Nordeste, por exemplo, e outras regiões litorâneas têm um grande potencial para a energia eólica, inclusive o Rio Grande do Norte foi considerado um dos locais com maior potencial neste setor em todo o mundo, graças à grande incidência de ventos na região (MAUAD; FERREIRA; TRINDADE, 2017).

O Antropoceno implica que a impressão humana no meio ambiente global é agora tão grande que a Terra entrou em uma nova época geológica; ela está deixando o Holoceno, o meio ambiente em que as próprias sociedades humanas se desenvolveram. A própria humanidade se tornou uma força geofísica global, igual a algumas das “grandes forças da Natureza” em termos de funcionamento do sistema da Terra (STEFFEN *et al.*, 2011). Ao se tratar da necessidade de transição para uma economia sustentável não é suficiente lidar apenas com a redução dos gases do efeito estufa, mas também com a necessidade de transformação do modo de vida vigente que subestima a importância dos recursos ecossistêmicos.

Esta é a visão da Economia Ecológica, uma perspectiva dentro das discussões de economia do meio ambiente que enfatiza “as ameaças que a expansão da escala da economia mundial contemporânea está impondo à estabilidade do ecossistema global, com sérias implicações sobre o bem-estar – ou mesmo à sobrevivência – das gerações futuras” (MUELLER, 2012, p. 144). Os aspectos teóricos e metodológicos dessa corrente de pensamento são analisados na próxima seção.

1.3. Economia Ecológica: uma visão sistêmica da relação entre economia e meio ambiente

A Economia Ecológica é um campo de estudos transdisciplinar que observa a economia como um subsistema de um ecossistema físico global e finito: o planeta Terra. Os estudos inerentes a esse campo científico buscam, dentre outros objetivos, evidenciar o enfrentamento “sem solução” entre a expansão econômica e a conservação do meio ambiente (MARTÍNEZ-ALIER, 2015).

Nicholas Georgescu-Roegen (1906-1994), matemático, estatístico e economista romeno radicado nos Estados Unidos e um dos nomes mais importantes da Economia Ecológica, afirma que o processo econômico deveria ser visto como um processo parcial, no qual matéria e energia são trocadas com o resto do universo material e, a partir do qual, a energia útil transforma-se em energia inútil para os seres humanos. A mecânica clássica era o principal contraponto para Georgescu, uma vez que ela seria incapaz de lidar com a mudança qualitativa, pois apenas abrangia os processos de locomoção, reversíveis e não qualitativos (SAES, 2013). De acordo com o autor, ao fundar-se em uma visão mecanicista de mundo, a teoria econômica convencional seria incapaz de apreender os nexos fundamentais entre sistema econômico e ecossistemas naturais. Uma abordagem adequada exigiria o reconhecimento das implicações das leis da termodinâmica sobre os processos econômicos.

Por meio da compreensão da Termodinâmica é possível refletir sobre os objetivos da economia para a humanidade, cujas decisões a respeito de suas atividades determinam o sentido da transformação, irreversível, de recursos de baixa entropia em recursos de alta entropia. A dependência de recursos naturais para a atividade econômica e a sua sujeição às leis da Termodinâmica colocam novas questões para a sociedade que fazem refletir sobre a ideia de sustentabilidade e determinam a ruptura com os pressupostos da economia neoclássica (SAES, 2013).

A Primeira Lei da Termodinâmica determina que as quantidades de matéria e energia do universo são constantes, logo não podem ser criadas ou destruídas. Para Mueller (2012), apenas a consideração da Primeira Lei não é suficiente para superar a epistemologia⁶ mecanicista dos fenômenos reais. É também preciso incluir a Segunda Lei (a lei da entropia).

⁶ “Epistemologia é a ciência da ciência. Filosofia da ciência. É o estudo crítico dos princípios, das hipóteses e dos resultados das diversas ciências. É a teoria do conhecimento. Sua tarefa principal consiste na reconstrução racional do conhecimento científico, conhecer, analisar, o processo gnosiológico da ciência do ponto de vista lógico, linguístico, sociológico, interdisciplinar, político, filosófico e histórico” (TESSER, 1994, p. 92).

A natureza entrópica dos fenômenos evidencia a inevitabilidade da escassez de recursos (matéria e energia).

A lei da entropia é um termo muito utilizado na análise de Georgescu e tem uma certa complexidade para seu entendimento, logo, ele a simplifica referindo-a como: “a medida de energia inutilizável em um sistema termodinâmico”. O autor procura mostrar justamente que a atividade econômica não escapa à lei da entropia, já que o processo econômico transforma os recursos naturais de baixa entropia em resíduos de alta entropia e evolui de forma irreversível (SAES, 2013). Exemplificando este conceito para melhor compreensão, temos a queima do carvão mineral: à medida que o carvão é queimado, sua energia livre inicial dissipa-se sob a forma de calor, formando cinzas e fumaça, tornando-o inútil para as pessoas. De acordo com Georgescu-Roegen (1995), o calor liberado na queima do carvão ocorre a partir de movimentos desordenados e aleatórios das partículas que dissipam energia pelo espaço, impedindo que seja utilizada para realizar trabalho. Devido à degradação irreversível da energia, há uma limitação para a existência de uma eficiência energética total.

A economia convencional tem sua preocupação central no bem-estar dos indivíduos, deixando o estado geral do meio ambiente em segundo plano. Para a tradição neoclássica,⁷ o sistema de produção capitalista e seus padrões de consumo não seriam obstados pelo meio natural, uma vez que o crescimento econômico extra seria capaz de solucionar os problemas decorrentes da degradação ambiental, além de conseguir aumentar o bem-estar e o senso de justiça dentro das sociedades (GROSSMAN; KRUEGER, 1994; FRIEDMAN, 2005).

Um formato bastante conhecido da função de produção neoclássica, chamada de “função Cobb-Douglas” corresponde ao caso em que a elasticidade de substituição entre os fatores produtivos (capital e trabalho) é igual a um, ou seja, um aumento de um por cento no preço relativo entre os fatores de produção faz com que varie em um por cento a razão desses fatores (STIGLITZ, 1979). Embora Solow⁸ não descarte a necessidade dos recursos naturais para a produção, ele acredita na ideia de que existe grande capacidade de substituição desses recursos por outros fatores. Essa ideia de substituição é expressa matematicamente pela variante

⁷ Por tradição neoclássica entende-se o pensamento econômico dominante forjado a partir da “revolução marginalista” do último quartel do século XIX, baseado na filosofia utilitarista e no individualismo metodológico, e que terá expressão na busca por maior formalismo matemático (RONCAGLIA, 2005; SCREPANTI; ZAMAGNI, 2005).

⁸ Robert Solow é um economista estadunidense nekeynesiano, conhecido por desenvolver o modelo de crescimento neoclássico. É uma das principais figuras da área de economia do crescimento e do desenvolvimento, tendo sido laureado, em 1987, com o prêmio Nobel de Economia.

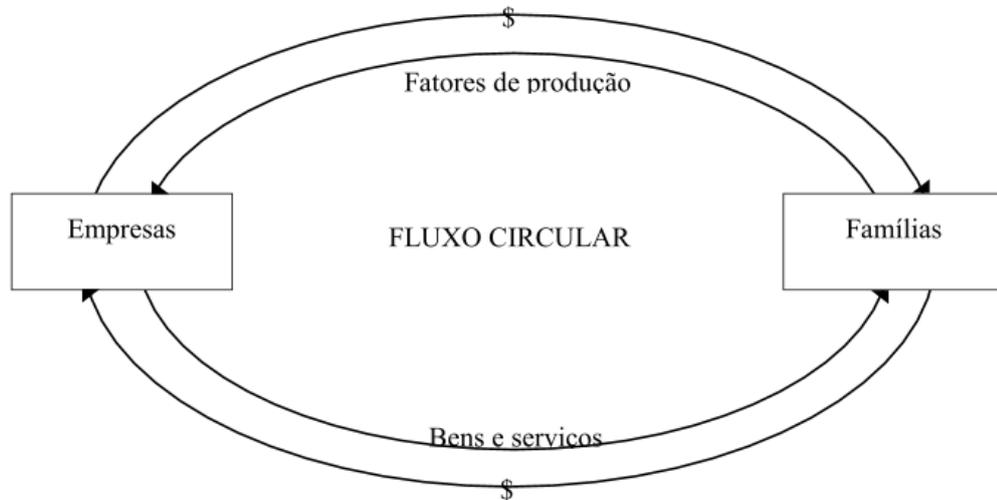
“Solow-Stiglitz” da função Cobb-Douglas (GEORGESCU-ROEGEN, 1979; DALY, 1997). É introduzida na função uma variável R , que representa os recursos naturais, o que significa em termos práticos que podemos ter uma quantidade mínima de tais recursos, desde que seja ampliada a quantidade de capital manufaturado,⁹ dada uma quantidade de trabalho constante (GEORGESCU-ROEGEN, 1979; DALY, 1997). Para os economistas ecológicos, trata-se de uma visão reducionista, pois o capital natural não pode ser substituído pelo capital manufaturado, ambos são complementares.

A Economia Ecológica, diferentemente da economia ambiental neoclássica, explicita as trocas de matéria e energia entre o sistema econômico e o meio ambiente. Em sua forma de análise, os fundamentos biofísicos-ecológicos não podem ser desconsiderados, pois são eles que regulam o sistema natural que fornece matéria e energia para o sistema econômico. Para a Economia Ecológica, pode sim haver o uso de recursos disponíveis de capital energético, porém o uso de forma irresponsável desses recursos e a desconsideração da finitude da base física que sustenta o sistema econômico podem trazer diversas consequências para todo o meio social e ambiental (ANDRADE, 2008).

A visão convencional da economia, expressa pelo diagrama do fluxo circular de renda mostrado na Figura 1, nada mais é que uma simplificação que os economistas neoclássicos fizeram para demonstrar o funcionamento do mercado. De acordo com esse diagrama, a economia é composta por duas unidades: a unidade de produção (firmas) e a unidade de consumo (famílias). As firmas produzem e fornecem bens e serviços às famílias, enquanto estas demandam bens e serviços das firmas. A oferta das firmas e a demanda das famílias encontram-se no mercado de bens e os preços são determinados pela interação da oferta e da demanda. No mercado dos fatores de produção, as famílias vendem sua força de trabalho às empresas, recebendo um salário que será usado na aquisição das mercadorias ofertadas pelas firmas. Assim, fecha-se o ciclo, considerado isolado de seu ambiente externo (natureza).

⁹ Capital manufaturado é a soma das estruturas físicas, material e tecnológica colocadas à disposição para a realização de serviços e, conseqüentemente, do propósito da organização ou da atividade econômica.

Figura 1– Diagrama do fluxo circular da renda segundo os economistas neoclássicos

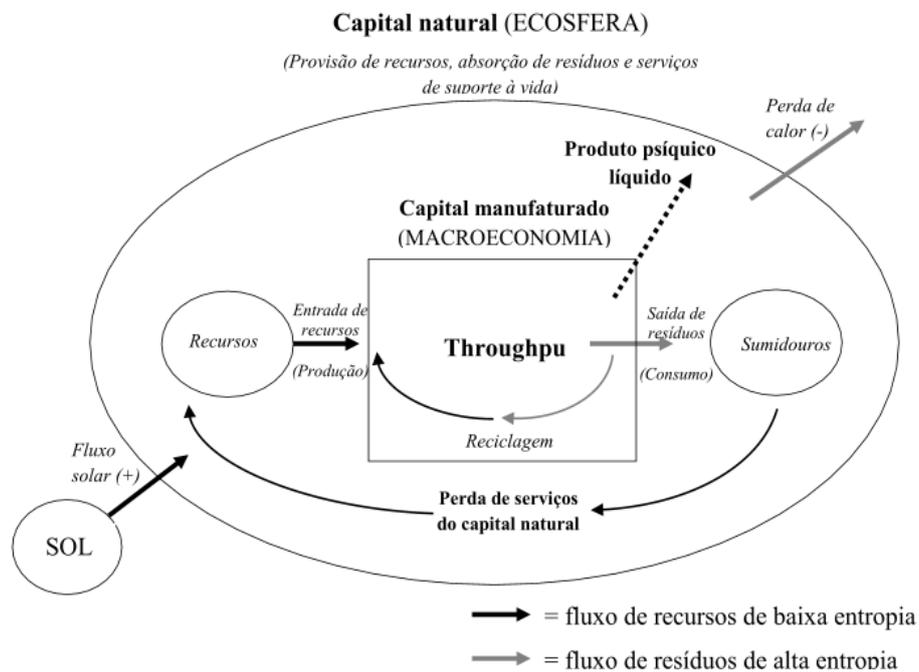


Fonte: Daly e Farley (2011, p. 25).

Contudo, para os economistas ecológicos, esse modelo de mercado não considera a dinamicidade, o caráter histórico e progressivo do sistema e a instabilidade do processo histórico (SCHUMPETER, 1961), e entende o processo econômico isento de trocas energéticas ou materiais com o ambiente externo (GEORGESCU-ROEGEN, 1971). Na visão da Economia Ecológica, os mercados são necessários, porém deve haver um questionamento sob a crença predominante de que os mercados revelam todos os nossos desejos e que são o sistema ideal para alocar todos os recursos de forma eficiente e para distribuí-los de forma justa. Com base nas observações feitas pelos estudiosos Georgescu-Roegen e Prigogine,¹⁰ a maioria dos autores da Economia Ecológica procuram desenvolver uma visão do processo econômico como mostrado na Figura 2, alternativa ao diagrama do fluxo circular da renda dos economistas convencionais e compatível com as leis da Termodinâmica. Logo, para a compreensão do aspecto físico do processo econômico seria necessário visualizar a economia ou a macroeconomia como um subsistema do ecossistema natural global.

¹⁰ Ilya Prigogine (1917-2003) foi um químico russo naturalizado belga. Recebeu o Nobel de Química de 1977 pelos seus estudos em termodinâmica de processos irreversíveis com a formulação da teoria das estruturas dissipativas.

Figura 2 – As relações entre o sistema econômico e os ecossistemas naturais segundo a Economia Ecológica



Fonte: Lawn (2005, p. 2012).

Em termos entrópicos, o que importa é a eficiência energética, não a econômica, e que essa expresse o valor dos recursos em termos físicos e não monetários (GEORGESCU-ROEGEN, 2005). Nesse sentido, o progresso tecnológico também é considerado uma contribuição, uma vez que será por meio dele que a atividade econômica poderá depender de forma menos intensiva de energia e da produção de resíduos.

No sistema energético, existe todo um processo de extração, conversão, armazenamento, transmissão e distribuição com capacidade de levar energia para os setores finais como a indústria, o transporte, construção etc. O sistema energético é uma das principais grandes estruturas que devem ser qualitativamente modificadas para a redução das emissões de dióxido de carbono e outros gases do efeito estufa. Esse sistema converte cerca de 75% da Oferta Total de Energia Primária (OTEP) em outras formas, como eletricidade, calor, produtos derivados do petróleo, do carvão e gás natural. Os principais consumidores finais dessa energia são as indústrias, o setor de transporte e de construção (IPCC, 2014, p. 516-519).

Uma das grandes dificuldades existentes para o uso de energias renováveis e de processos energéticos mais eficientes é a estabilidade proporcionada pela infraestrutura energética consolidada e madura (MARIA, 2017). Existe o pensamento de que para conseguir competir com as tecnologias correntes, as energias renováveis devem não somente alcançar um

desenvolvimento tecnológico que aumente sua eficiência em relação às demais tecnologias, bem como devem ganhar participação no mercado para que seus custos unitários possam ser reduzidos e elas possam atingir níveis comparáveis com as tecnologias dominantes. Isso implica a necessidade da inovação para produção de tecnologias mais eficientes e acessíveis (HOPKINS; LAZONICK, 2012). Entretanto, para a Economia Ecológica, a questão tecnológica não é capaz de resolver sozinha as dificuldades ambientais, já que as mudanças devem passar por alterações no modelo econômico e de vida, incluindo a construção de uma sociedade pós-crescimento.

Para Herman Daly (1977), a economia não pode crescer materialmente de forma indefinida. Segundo o autor, seria necessário que atingíssemos alguma forma de estado estável da economia, para que o estoque de riqueza física (capital) e de pessoas (população) fosse mantido constante e para que a taxa de *throughput*¹¹ pudesse ser mantida abaixo da capacidade de absorção e de regeneração dos ecossistemas naturais. Logo, a preocupação inicial deveria ser com a escala máxima do sistema econômico e com a distribuição justa dos recursos.

De acordo com Costanza (1989), ainda existe uma incerteza inerente aos sistemas econômicos e ecológicos e isso se torna o elemento central que justifica a necessidade de uma nova abordagem que discuta a sustentabilidade. Os ecólogos possuem uma visão mais pessimista acerca do papel da tecnologia na superação das limitações materiais e energéticas em relação ao crescimento econômico, já os economistas neoclássicos acreditam que o mecanismo de mercado, ao estimular o surgimento de tecnologias alternativas e que poupam recursos escassos, pode garantir um crescimento contínuo e ilimitado. Ainda que possamos reconhecer que as atividades de produção e consumo geram algum tipo de externalidade ambiental negativa, o conhecimento ainda apresenta algum grau de incerteza acerca da profundidade dos impactos da atividade humana sobre os ecossistemas, assim como os prazos de acentuação dessas limitações ao crescimento.

É possível representar o embate entre otimistas e pessimistas tecnológicos simplificadamente por meio da teoria dos jogos, usando a matriz de retornos do Quadro 1. As políticas alternativas que podem ser adotadas hoje (tecnologicamente otimista ou pessimista) estão listadas à esquerda e os estados reais do planeta (otimistas ou pessimistas corretos) estão listados no topo à direita.

¹¹ *Throughput* ou transumo é o fluxo de energia e matéria (SAES, 2013).

Quadro 1 – Matriz de retornos para otimismo tecnológico versus pessimismo tecnológico

	Estado Real do Planeta	
Políticas	Otimistas corretos	Pessimistas corretos
Otimismo tecnológico	<i>Alto</i>	<i>Desastroso</i>
Pessimismo tecnológico	<i>Moderado</i>	<i>Tolerável</i>

Fonte: Costanza (1989, p. 4).

Se os otimistas estiverem corretos quanto ao estado dos ecossistemas naturais e eles introduzirem as políticas pautadas no otimismo tecnológico, vão obter um resultado “alto”, mas caso falhem na avaliação do planeta haverá um resultado “desastroso”. Se for seguida a política pessimista e os otimistas estiverem certos, os resultados serão apenas “moderados”; mas se os pessimistas estiverem certos, os resultados serão “toleráveis”. Se realmente não sabemos o estado do mundo, devemos adotar a política pessimista porque o pior resultado possível sob essa política (tolerável) é um resultado preferível ao pior resultado sob a política otimista (desastre). Logo, os dilemas socioambientais não podem ser solucionados exclusivamente pela economia, pela ecologia ou pela tecnologia, é algo muito mais complexo, pois além de ser necessário lidar com a incerteza da complexidade do sistema natural e econômico, a irreversibilidade das transformações econômicas torna necessário certos questionamentos, como: para quê? E para quem elas se destinam? (SAES, 2013).

No artigo *William Stanley Jevons and ‘The Coal Question’*, Clark e Foster (2001) resgatam a análise sobre o esgotamento das minas de carvão empreendida pelo economista marginalista William Stanley Jevons em meados do século XIX. Preocupado com o fato de que à medida que as camadas mais profundas das reservas carboníferas na Grã-Bretanha eram minadas, existia uma ameaça de estagnação econômica, Jevons argumentou que ainda que o carvão fosse substituído por outras fontes de energia, nem a tecnologia nem tal substituição poderiam alterar a importância do carvão para a supremacia industrial britânica. Jevons estava errado em sua análise, uma vez que ele subestimou o papel dos substitutos do carvão, a exemplo do petróleo. Contudo, ele ainda é uma referência pioneira para a Economia Ecológica, dado o seu argumento de que o aumento da eficiência no uso de um recurso natural como o carvão engendraria a expansão de sua demanda, pois a melhoria na eficiência geraria maior expansão

econômica, tornando as atividades mais intensivas em energia – esse fenômeno é hoje conhecido na literatura como “paradoxo de Jevons”. Esse paradoxo pode ser relacionado, por exemplo, à introdução de sistemas mais eficientes em termos de energia nos automóveis norte-americanos na década de 1970; por mais que tenha ocorrido essa melhoria em relação à eficiência energética, a demanda de combustível não diminuiu porque o número de carros nas estradas dos Estados Unidos acabou aumentando (CLARK; FOSTER, 2001).

O paradoxo de Jevons mostra como a transição energética, na visão dos economistas ecológicos, vai muito além do uso de fontes de energia renováveis e do aumento da eficiência energética propiciados pelos avanços tecnológicos. Na verdade, esse processo requer a garantia de uma escala econômico-ecológica sustentável e o comprometimento com a equidade intra e intergeracional, isto é, uma distribuição justa não apenas no tocante à atual geração, mas também com respeito às gerações futuras.

1.4. Os dilemas da transição rumo a fontes energéticas renováveis

A solução para o processo de transição energética não é de fato tão simples, existe uma grande dificuldade em entender o que são energias limpas ou renováveis, uma vez que todos os tipos de energia, mesmo as consideradas limpas, têm efeitos colaterais sobre o meio ambiente. O termo “energia renovável” refere-se às energias provenientes de fontes naturais que se renovam constantemente. Segundo o IPCC (2014), incluem bioenergia, energia solar direta, energia geotérmica, energia hidrelétrica, energia oceânica e energia eólica.

A estrutura de custos e incertezas é muito grande em relação ao sucesso dessas tecnologias mais limpas, o que se torna uma dificuldade para esse processo de transição. A consolidação da estrutura energética atual, fortemente ancorada no uso de combustíveis fósseis, exigiu um longo período de tempo de investimento em sistemas energéticos. Uma usina termelétrica movida a carvão, por exemplo, possui o tempo de vida útil de 30 a 40 anos, ou seja, o abandono prematuro desse tipo de estrutura se torna muito caro, o que resulta em mais uma barreira à transição energética de baixo carbono (IPCC, 2014).

É válido ressaltar que estruturas energéticas mais limpas representam ameaças aos conglomerados energéticos dominantes que auferem grandes recursos do controle das estruturas existentes. Empresários e o próprio Estado que controla o acesso ao petróleo tendem

a ficar menos dispostos a investir em novas tecnologias que trazem uma grande incerteza e taxas de retorno muito pequenas a curto e médio prazo (MARIA, 2017).

Contudo, ainda que atualmente as fontes renováveis sejam a alternativa mais viável para a redução da emissão de gases de efeito estufa, para a construção do sistema energético renovável é necessária uma infraestrutura dependente de combustíveis fósseis. Por exemplo, para a utilização de energia solar, pode-se afirmar que o Sol é renovável, mas as matrizes solares não, já que dependem da utilização de energias não renováveis para a sua construção.¹² Exemplos muito comuns, como carros elétricos, turbinas eólicas e painéis solares, que para a maioria das pessoas são vistos como totalmente benéficos ao meio ambiente, usam metais de terras raras como parte de sua construção, exploradas a partir de energia fóssil. Isso demonstra que, por mais que esses recursos tragam grandes efeitos positivos se comparados ao uso de energia fóssil, ainda não podem ser considerados substitutos perfeitos às fontes energéticas poluentes.

A energia renovável tem um crescimento lento em participação da matriz energética global, representando muito pouco da oferta de energia primária total. Os combustíveis fósseis continuam a representar 80% da oferta de energia total (IEA, 2016). Já em relação ao consumo global, os dados mostram que, em 2014, as energias renováveis atenderam uma porcentagem estimada de 19,2% do consumo final (REN21, 2013).

Nos Estados Unidos, por exemplo, a exploração de gás e petróleo de xisto¹³ está sendo considerada por muitos como uma grande transição energética do século XXI. O país vem se destacando, desenvolvendo técnicas de exploração de combustíveis fósseis não convencionais há mais de uma década, com o crescimento de tais fontes, como o gás e o petróleo de xisto (IEA, 2014). Essa possibilidade de exploração do gás não convencional trouxe aumento da produção e estimativa de mais de 100 anos de oferta energética de gás ao país. Outros países como a China, a Rússia e o Reino Unido também estão nessa fase de mapeamento de reservas e investimento em técnicas não convencionais de exploração (WANG *et al.*, 2014).

¹² Tais exemplos são retratados no documentário *Planet of the Humans*, produzido por Michael Moore e dirigido por Jeff Gibbs. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Zk11vI-7czE&list=WL>. Acesso em 08/11/2021.

¹³ O gás de xisto é uma fonte alternativa na matriz energética, ele é extraído de rochas através de procedimento técnico denominado fraturamento hidráulico, processo no qual aplica-se diferencial de pressão relativamente elevado, através do bombeio de um fluido de fraturamento, contra a rocha reservatório até a sua ruptura, o que permite liberar o gás presente nos poros e trincas da rocha e canalizá-lo.

Essas novas formas de exploração de gás natural e petróleo podem ser consideradas mais um desafio para o processo de transição rumo a energias renováveis, uma vez que, embora elas emitam menos CO₂ que o carvão, o gás de xisto emite volumes consideráveis de metano, que é um gás que causa efeito de aquecimento vinte vezes maior que o CO₂, além de trazer outros efeitos colaterais para o meio ambiente (FRIENDS OF THE EARTH EUROPE, 2014). Em suma, investimentos que poderiam estar sendo utilizados em fontes renováveis estão sendo usados na exploração de combustíveis fósseis não convencionais. Todavia, com políticas públicas fortes e deliberadas, acredita-se ser possível a redução de emissões de gases de efeito estufa em países desenvolvidos e em desenvolvimento. Tais políticas passam pelo incentivo ao desenvolvimento e difusão de inovações de tecnologia de baixo carbono (MARIA, 2017) e, conforme a perspectiva da Economia Ecológica, pela preocupação com a escala econômico-ecológica das sociedades humanas e a equidade intra e intergeracional, exigindo novos padrões de produção e de consumo.

A transição energética só vai fazer sentido se houver uma grande mudança social, uma vez que o consumo de combustíveis fósseis está implantado no padrão de vida da sociedade capitalista desde a Revolução Industrial, iniciada em meados do século XVIII. Logo, algo que possivelmente é mais difícil que a produção da energia renovável é promover a mudança no uso de energia, alterando os padrões de produção e consumo e a redução da escala econômica, para que assim o uso de energia possa ser feito de forma mais consciente (ELLIOTT, 2000). Como mostrado acima, os desafios da transição energética são complexos e difíceis, mas não impossíveis de serem superados.

Os países periféricos encontram ainda mais dificuldade para levarem a cabo essa transição energética sustentável, uma vez que os recursos são mais limitados nessas economias, tendo em vista que para essa transição ocorrer é necessária a inclusão de vários fatores, como políticas intervencionistas, investimento, financiamento, infraestrutura, dentre outras questões importantes. Em se tratando de um país em desenvolvimento como o Brasil, que possui recursos naturais a seu favor, como se daria esse processo de transição energética sustentável e quais seriam suas principais dificuldades? Essa é a discussão do próximo capítulo.

CAPÍTULO 2 – POTENCIALIDADES E DESAFIOS DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO BRASIL

Como discutido no capítulo anterior, durante as últimas décadas, a sociedade iniciou uma nova abordagem sobre os recursos energéticos, uma vez que fatores como sustentabilidade, segurança energética e custo social começaram a ser levados em conta (MORAIS, 2015). Estudiosos e governos de vários países passaram a defender a transição energética em direção a fontes renováveis como caminho fundamental para a construção de um modelo econômico mais sustentável. Este capítulo, dividido em quatro seções, busca discorrer sobre as especificidades do Brasil nessa temática. A seção 2.1 esboça o quadro mais geral da questão energética no Brasil, discutindo a matriz energética e elétrica e o consumo de energia no país. Na sequência, a seção 2.2 enumera uma série de desafios de cunho tecnológico, econômico e político que obstruem a construção de uma economia de baixo carbono no país. A seção 2.3 discute algumas propostas para a mitigação dessas barreiras. Por último, a seção 2.4 traz uma breve nota crítica a partir da visão da Economia Ecológica.

2.1. Matriz energética, matriz elétrica e consumo de energia: um retrato da questão energética no Brasil

No decorrer do século XX, o Brasil passou por um intenso desenvolvimento econômico,¹⁴ o que se refletiu em uma crescente demanda de energia primária.¹⁵ O processo de instalação de plantas energo-intensivas e a expansão demográfica acompanhada de rápido aumento da taxa de urbanização foram fatores determinantes para esse aumento na demanda de energia primária. De acordo com dados históricos da evolução do consumo de energia e do crescimento populacional, no ano de 1970 a demanda de energia primária era inferior a 70 milhões de TEP (toneladas equivalentes de petróleo) e a população atingia em torno de 93

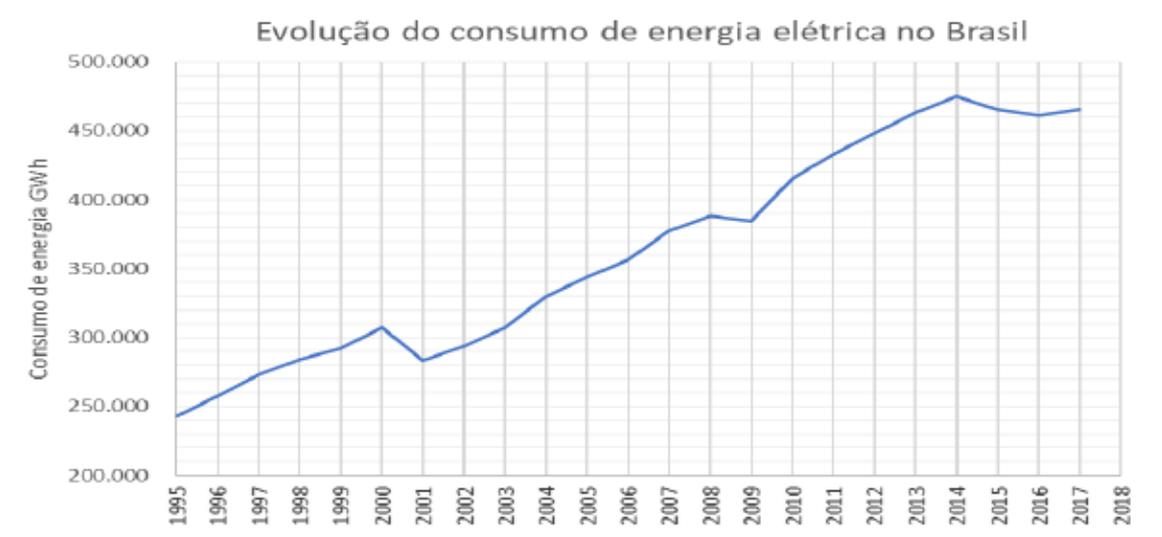
¹⁴ Entre 1950 e 1980 o Brasil passou por uma grande transformação. A economia brasileira cresceu a uma das taxas mais elevadas do mundo. Nesse período, o Brasil deixou de ser predominante rural e agrícola para se tornar urbano e com sua produção concentrada na indústria e no setor de serviço. O rápido crescimento foi permitido pela maciça transferência de recursos da agricultura, caracterizada por baixa produtividade, para setores mais produtivos, como a indústria e serviços (FERREIRA; VELOSO 2015).

¹⁵ A energia primária são as fontes oriundas da natureza, em sua forma direta, como o petróleo, o gás natural, o carvão mineral, os resíduos vegetais e animais, a energia solar e a eólica, e os produtos da cana-de-açúcar. Tal conceito está exposto no sítio eletrônico da COPEL (Companhia Paranaense de Energia). Disponível em: <https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F0%2F7507b0aba2e082ff0325740f00649745>. Acesso em 13/12/2021.

milhões de habitantes, já em 2000 a demanda de energia alcançou 190 milhões de TEP e a população chegou a 170 milhões de habitantes (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007).

A eletricidade é uma forma de energia secundária que é obtida a partir de diferentes fontes de energia primária e é distribuída aos usuários finais através de extensas redes de transmissão. Devido ao aumento do nível de consumo de energia que vem acontecendo ao longo do tempo, a matriz de produção de energia elétrica tem-se diversificado de forma intensa (WALTER, 2010). Na sociedade contemporânea, é impossível que as pessoas consigam realizar suas atividades sem algum tipo de fonte energética. Através de todo um processo histórico e econômico, a energia foi ficando cada vez mais ligada ao desenvolvimento econômico, gerando uma incansável busca pelo aprimoramento dos sistemas de geração de energia. Segundo a EPE (Empresa de Pesquisa Energética), o consumo de energia elétrica brasileiro passou de 243.074 GWh (gigawatt-hora) em 1995 para 465.130 GWh em 2017, tendo um aumento de 91,35% em torno de duas décadas, como é mostrado no Gráfico 1 (CARMONA; KASSAI, 2019).

Gráfico 1 – Evolução do consumo de energia elétrica no Brasil (1995-2017)



Fonte: Carmona e Kassai (2019).

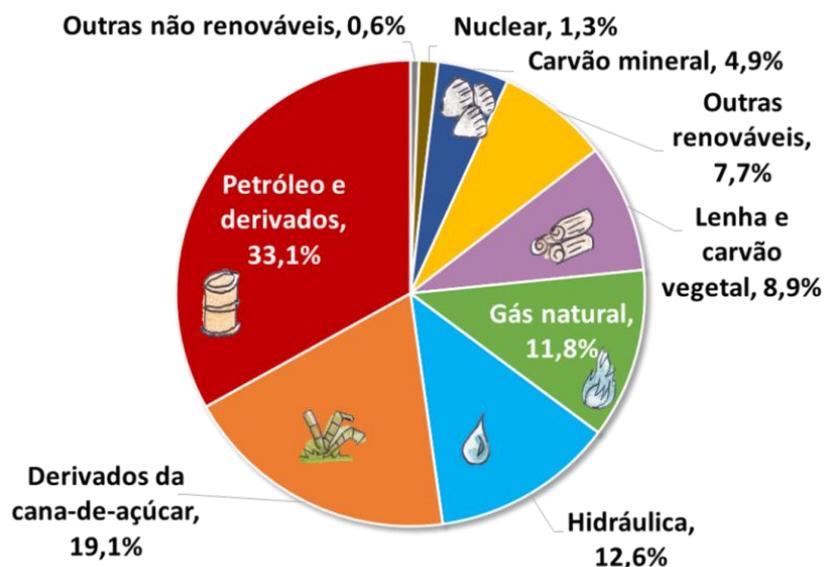
Até o período de 1940, a maior parte da energia produzida no Brasil tinha como fonte a lenha e o carvão vegetal. O processo de modernização da sociedade a partir de meados do século XX, e que alterou o histórico rural do país, teve uma importante base, que foi o setor

automobilístico, tendo grande importância no processo de industrialização nacional. Em 1950, houve um grande investimento na construção da malha rodoviária, para que assim houvesse um estímulo na utilização de automóveis. Em 1970, 45% dos insumos energéticos do país eram derivados do petróleo, sendo considerada sua principal fonte energética.

Por meio da Petrobrás foram feitos grandes investimentos na pesquisa e prospecção do combustível fóssil de modo a suprir a crescente demanda por petróleo (CARMONA; KASSAI, 2019). Contudo, com o choque do petróleo que ocorreu no começo daquela década, o governo passou a estimular a produção e o consumo de etanol através do programa chamado Proálcool (CAMPOS DE ANDRADE, 2010). O período de 1940-1972 foi marcante para a economia nacional, devido à elevada produção industrial que exigiu a atuação do governo como produtor de insumos para a geração de energia. Nesse cenário, foram feitos grandes investimentos na construção de hidrelétricas e na exploração petrolífera. Sendo assim, é possível perceber que as transformações estruturais da economia brasileira tiveram total influência na modificação da matriz energética nacional.

Entre os anos de 1973 e 2009 houve uma expansão de aproximadamente 200% na oferta de energia interna (OIE), variação que foi pouco abaixo da verificada do PIB do país que aumentou 220% no mesmo período (ANDRADE; MATTEI, 2013). O Gráfico 2 discrimina a matriz energética brasileira, com dados correspondentes ao ano de 2020.

Gráfico 2 – Matriz energética brasileira em 2020



Fonte: EPE (2021).

A matriz energética brasileira é dividida em várias fontes, sendo elas o petróleo e seus derivados, hidráulica, gás natural, derivados da cana-de-açúcar, lenha e carvão vegetal, carvão mineral, nuclear e outras fontes renováveis. De acordo com o Gráfico 2, o petróleo e seus derivados ainda são os mais utilizados, com 33,1%, vindo em seguida os derivados da cana-de-açúcar e a hidráulica com 19,1% e 12,6% respectivamente.

Dentre as fontes de energia primárias não renováveis, o petróleo destaca-se tanto em países desenvolvidos como em países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil. Só depois da década de 1970, a lenha advinda de florestas nativas e o carvão vegetal deixaram de ser a principal fonte de energia brasileira.

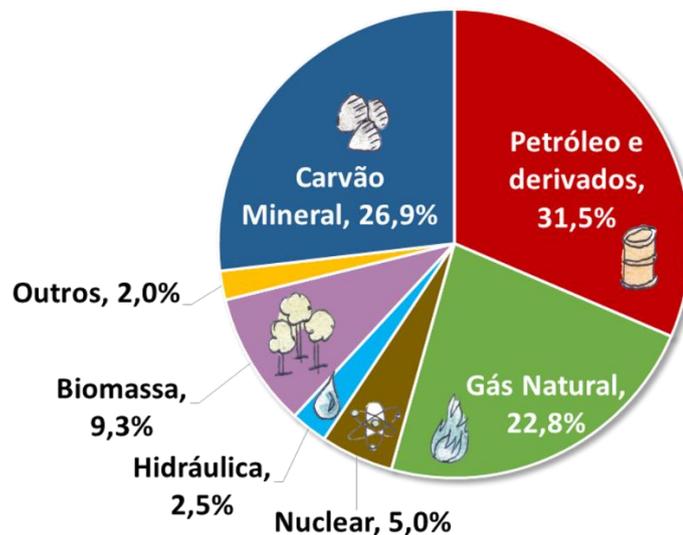
De acordo com o Ministério de Ciência e Tecnologia, com a crise energética mundial na década de 1970 (crises do petróleo), outras fontes de energia começaram a ser incentivadas e investimentos e pesquisas cresceram no setor energético. Isso levou o governo federal a priorizar a riqueza fluvial existente no Brasil, iniciando assim, em 1975, a instalação de grandes usinas hidrelétricas (FREITAS; FREDO, 2005). Conforme reportado no Gráfico 2, é possível observar como o uso de energia advinda de recursos hídricos cresceu no Brasil, chegando em 2020 a representar cerca de 12,6% da matriz energética brasileira.

O Gráfico 3 apresenta a matriz energética mundial no ano de 2019, sendo possível compará-la com a matriz brasileira. A matriz energética mundial é composta principalmente por petróleo e seus derivados com participação de 33,5%, em seguida aparecem o carvão mineral (26,9%) e o gás natural (22,8%), e com porcentagens inferiores vêm a biomassa (9,3%), nuclear (5%), hidráulica (2,5%) e outras fontes (2%). Embora o consumo de energia não renovável ainda seja maior que o renovável, o Brasil utiliza mais fontes renováveis do que o resto do mundo.

Em suma, o Brasil possui uma situação privilegiada se comparada à matriz energética mundial: a matriz brasileira é composta por mais de 40% de fontes renováveis, já a cifra correspondente a tais fontes na matriz mundial é inferior a 14%. Contudo, quando se olha para o futuro, é esperado um crescimento mais do que proporcional das fontes renováveis em diversas economias, incluindo o Brasil, sobretudo das fontes solar e eólica que estão em franca expansão, além da biomassa que é um grande diferencial e fonte de competitividade para o país. Diante disso, é um fato que a indústria energética brasileira tem muitos ativos presentes para se apropriar de maneira adequada do processo de transição energética. Logo, é necessário o

desenvolvimento de todas essas fontes energéticas de uma maneira responsável, inclusive olhando para seus impactos socioambientais.

Gráfico 3 – Matriz energética mundial em 2019



Fonte: IEA (2020).

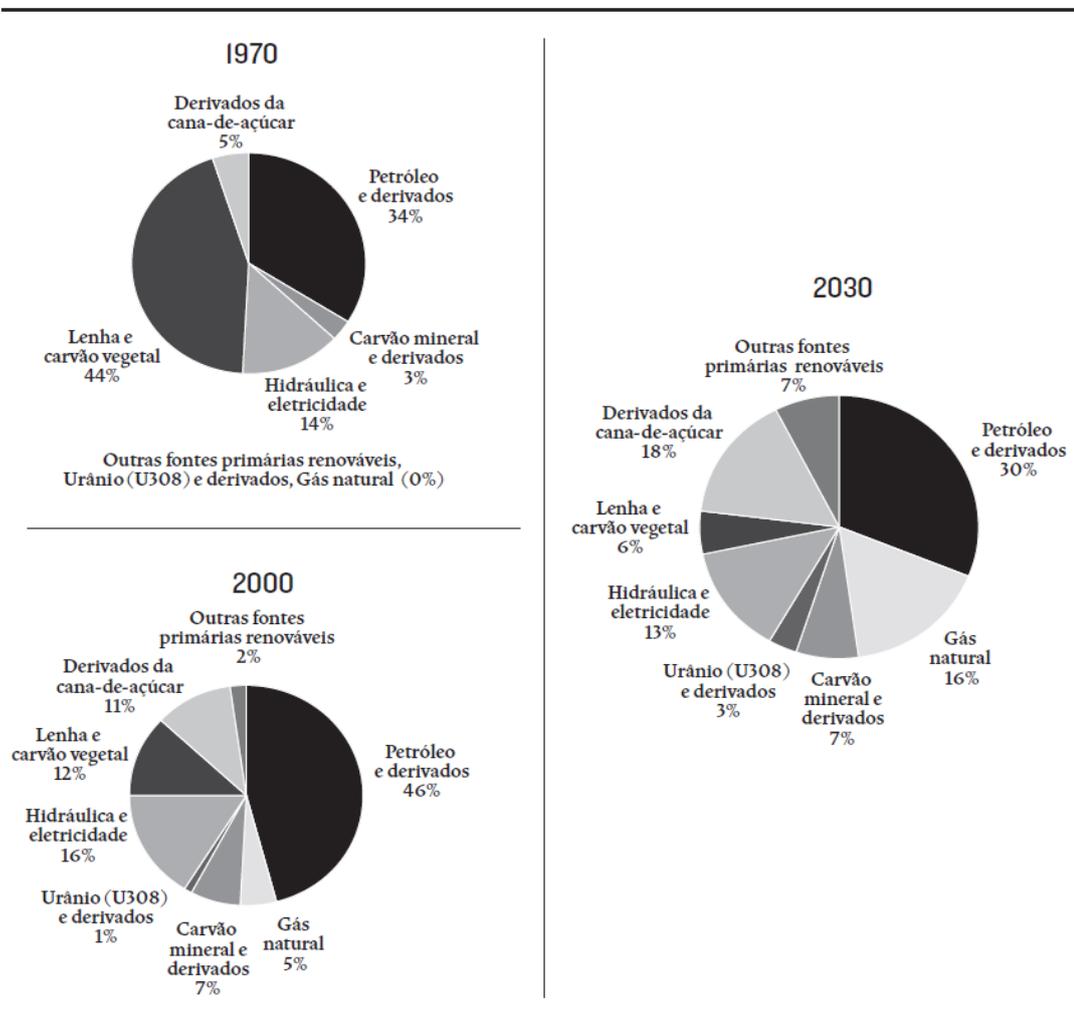
Para a melhor compreensão do processo de transição energética no Brasil, é importante entender a diferença entre matriz energética e matriz elétrica. De acordo com a EPE (Empresa de Pesquisa Energética), a matriz energética consiste na descrição de toda a produção e consumo de energia de um país, discriminada por fonte de produção e setores de consumo, representando o conjunto de fontes de energia disponível para movimentar carros, preparar comida e gerar eletricidade. Já a matriz elétrica é formada pelo conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica, logo a matriz elétrica faz parte da matriz energética.¹⁶

Como é retratado no Gráfico 4, em 1970, duas fontes de energia (petróleo e lenha) respondiam por 78% do consumo de energia no Brasil. Considerando os dados do ano de 2000, pode-se afirmar que houve, nas últimas décadas do século XX, uma substituição da lenha e do carvão vegetal por outras fontes de energia que já existiam, mas que até então não eram muito relevantes. Prevê-se que para 2030 quatro fontes serão necessárias para satisfazer 77% do consumo, sendo elas petróleo e derivados, gás natural, energia advinda de fontes hidráulicas e

¹⁶ Os conceitos de matriz energética e matriz elétrica são encontrados no sítio eletrônico da EPE. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em 13/12/2021.

derivados da cana-de-açúcar (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007). Caso tal projeção se verifique, do período de 1970 a 2030, o gás natural e derivado da cana-de-açúcar terão um crescimento significativo na oferta de energia no Brasil. Também é perceptível que por mais que a oferta de energia oriunda de fontes primárias renováveis venha a crescer com o passar dos anos, não será um aumento tão grande se comparado ao gás natural, que se trata de uma fonte não renovável. A lenha e o carvão vegetal, representando em 1970 44% da oferta de energia no Brasil, diminuíram para 12% nos anos 2000, e em 2030 representariam apenas 6% da oferta de energia, indicado, portanto, uma redução relativa em seu uso.

Gráfico 4 – Evolução da estrutura de oferta de energia no Brasil – 1970-2030



Fonte: Elaborado por Tolmasquim, Guerreiro e Gorini (2007) a partir de dados da EPE.

A respeito da matriz elétrica, como é mostrado na Tabela 1, o Brasil possui uma forte base hidráulica, uma vez que ele é um dos países mais ricos do mundo em recursos hídricos. A energia elétrica é obtida a partir do aproveitamento do potencial hidráulico em um determinado trecho de um rio, assegurado através da construção de uma barragem e da formação de um reservatório. A energia captada por meio de hidrelétricas tem sido considerada uma alternativa energética renovável (BERMANN, 2003). Segundo Bortoleto (2001), a energia hidráulica se dá por meio da condensação, precipitação e evaporação das águas, fatores causados pela irradiação solar e pela energia gravitacional.

Contudo, é comprovado que há impactos socioambientais com a construção e o uso de hidrelétricas, como assoreamento do leito dos rios, desmoronamento de barreiras, destruição da vegetação natural, extinção de espécies de peixes, entre outros efeitos. Portanto, por mais que a energia vinda de um meio hídrico seja considerada renovável, existem externalidades negativas que devem ser levadas em consideração. Para Goldemberg e Moreira (2005), é necessário um planejamento com vistas a melhorias na produção energética nacional, uma vez que devem ser consideradas, além da quantidade de energia necessária para a sociedade, quais regiões são menos favorecidas e como esses grupos devem ser priorizados para acessá-la.

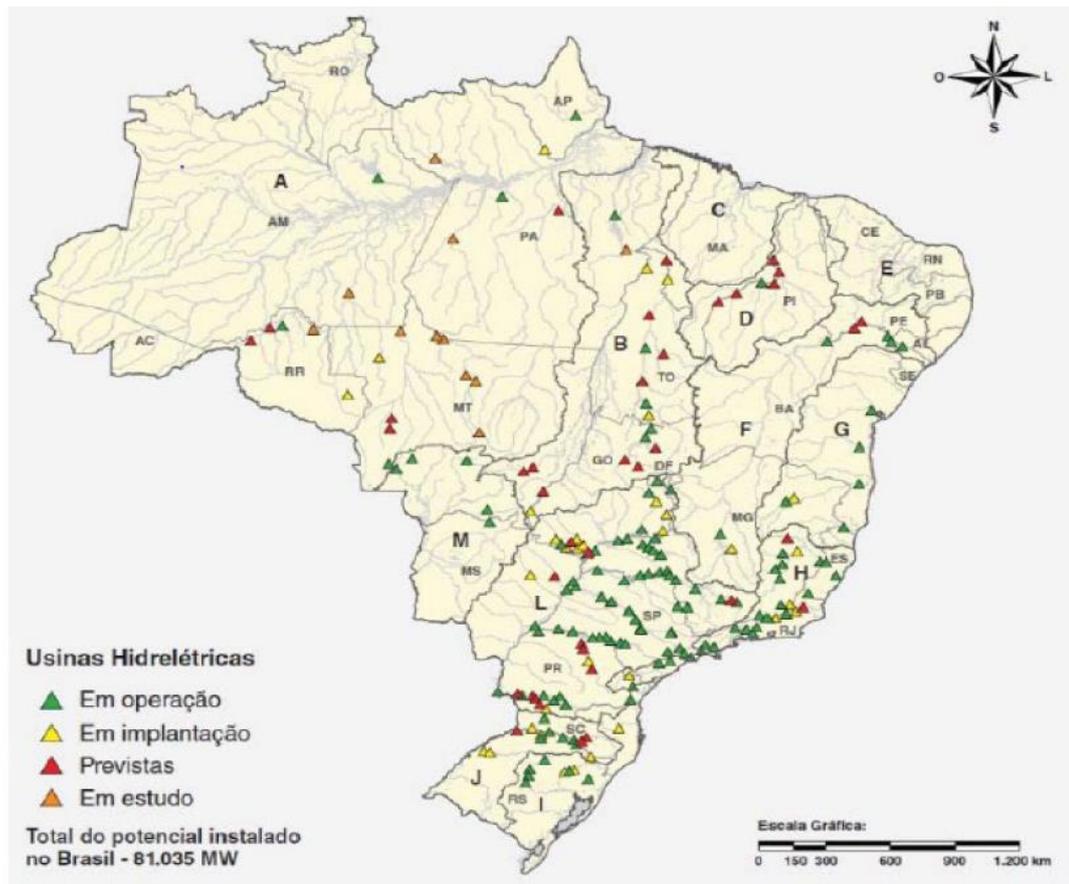
Tabela 1 – Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) no Brasil – 2019-2020

ESPECIFICAÇÃO	GWh		20/19 %	Estrutura (%)	
	2019	2020		2019	2020
HIDRÁULICA	397.877	396.327	-0,4	61,1	61,4
BAGAÇO DE CANA	36.827	38.776	5,3	5,7	6,0
EÓLICA	55.986	57.051	1,9	8,6	8,8
SOLAR	6.655	10.750	61,5	1,0	1,7
OUTRAS RENOVÁVEIS (a)	18.094	19.966	10,3	2,8	3,1
ÓLEO	6.926	7.745	11,8	1,1	1,2
GÁS NATURAL	60.448	53.464	-11,6	9,3	8,3
CARVÃO	15.327	11.946	-22,1	2,4	1,8
NUCLEAR	16.129	14.053	-12,9	2,5	2,2
OUTRAS NÃO RENOVÁVEIS (b)	12.060	11.121	-7,8	1,9	1,7
IMPORTAÇÃO	24.957	24.718	-1,0	3,8	3,8
TOTAL (c)	651.285	645.915	-0,8	100,0	100,0
<i>Dos quais renováveis</i>	<i>540.395</i>	<i>547.587</i>	<i>1,3</i>	<i>83,0</i>	<i>84,8</i>

Fonte: MME (2020).

No setor energético, a geração hidrelétrica garante a produção de aproximadamente 91% da eletricidade consumida no Brasil. O potencial hidrelétrico brasileiro é de cerca de 260 GW, dos quais se encontram em operação menos de 30% (ANEEL, 2008). Como mostrado na Figura 3, grande parte das usinas hidrelétricas está localizada nas regiões Sudeste e Sul do Brasil, onde se localiza o centro de carga do sistema (CANTARANI *et al.* 2009).

Figura 3 - Localização das hidrelétricas no Brasil



Fonte: Cantarani e Bianchi Jr. (2004) e Ana (2009) *apud* Queiroz *et al.* (2013).

É importante ressaltar que nem sempre as usinas hidrelétricas atingem o seu objetivo principal, produzindo às vezes menos energia elétrica do que havia sido projetado (MENDES, 2005). O aumento da temperatura média do planeta, devido à grande emissão de gases de efeito estufa, tende a alterar as condições climáticas, afetando as chuvas, secas, a circulação atmosférica etc.¹⁷ A estrutura da hidrelétrica é formada principalmente pelo sistema de captação

¹⁷ Os efeitos que as mudanças climáticas causam na produção de energia por meio de hidrelétricas estão disponíveis em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/clima-e-energia>. Acesso em 13/12/2021.

e adução da água pela barragem e pela casa de força e vertedouro. Segundo Oliveira (2009), as usinas hidrelétricas que não possuem reservatório ou possuem em dimensões menores, em períodos de seca, com pouca chuva, podem ter dificuldade para gerar o nível de energia esperado. Em menos de 20 anos, o Brasil passou por dois momentos críticos na geração de hidro energia, o primeiro momento ocorreu em 2001, quando houve um período de racionamento de eletricidade, também conhecido como “apagão”, e entre os anos de 2014 e 2015, em que o país enfrentou longos períodos de seca. Contudo, neste segundo momento o sistema elétrico apresentava-se mais preparado se comparado a 2001.¹⁸

Além de o Brasil apresentar uma grande potencialidade no uso de energia provinda de fontes hídricas, existem outros recursos naturais em seu território que não são tão utilizados se comparados a fontes como petróleo e derivados e a energia hidráulica. O território brasileiro possui uma grande vantagem com a geração de energia direta proveniente da grande emissão de irradiação solar que recebe. Essa energia solar consiste na energia contida na radiação eletromagnética emitida pelo Sol, assim uma das formas dela ser aproveitada é para a geração de energia elétrica, que pode ser apresentada pela energia fotovoltaica (por meio de células fotovoltaicas) ou a energia solar térmica (por meio de coletores solares) (MARQUES, 2014).

A energia solar fotovoltaica é obtida por meio de uma conversão direta da luz do Sol em eletricidade a partir de um processo conhecido como efeito fotovoltaico. Esse efeito consiste em um fenômeno apresentado por certos materiais, os quais quando expostos à luz solar começam a gerar eletricidade. Esse tipo de produção de energia é utilizado em diversos países, inclusive em lugares com um menor índice de irradiação solar, se comparado ao Brasil, como é o caso da Alemanha. Já a energia solar térmica se dá com base no aproveitamento da luz do Sol como fonte de calor para produção de energia ou para aquecimento através de coletores solares (MARQUES, 2014).

Segundo Dutra (2013), é possível haver desenvolvimento de forma sustentável, sem a diminuição do consumo de energia e aproveitando as energias renováveis disponíveis, como a energia eólica. Como já mencionado, o Brasil dispõe de um alto potencial de fontes renováveis de energia, incluindo instalação de usinas eólicas (RIBEIRO; PIEROT; CORRÊA, 2012). Esse

¹⁸ Os apagões podem ter diversas causas, tanto em relação à falta de geração de energia, quanto a falhas em sua transmissão. Devido a esse problema no setor elétrico, estados inteiros já ficaram sem energia elétrica. Para o professor do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo (USP) Luiz Tadeo Siqueria Prado, existe um problema de regulação no setor elétrico, o que possibilita o acontecimento de apagões. Disponível em: <http://redeglobo.globo.com/globoecologia/noticia/2012/06/relembre-os-apagoes-que-ocorreram-no-brasil-nas-ultimas-decadas.html>. Acesso em 19/02/2022.

tipo de energia é obtido do aproveitamento da energia cinética dos ventos, que é formada pelas massas de ar em movimento. Para a conversão em energia elétrica acontecer, são utilizadas turbinas eólicas que também são conhecidas como aerogeradores (ALVES, 2010). O impulso para a utilização da energia eólica ocorreu após a primeira crise do petróleo no início dos anos 1970. Esse tipo de energia era inicialmente utilizado nas atividades agrícolas, como para o bombeamento de água (NASCIMENTO; MENDONÇA; CUNHA, 2012). O setor eólico vem tendo uma ampliação em todo o mundo desde então, no ano de 2010 foram adicionados 39 GW de potência eólica na matriz energética mundial (REN21, 2013). Contudo, o Brasil ainda está longe de compor o *ranking* dos países com mais geração de energia eólica do mundo.

Existe uma crescente demanda por fontes renováveis de energia e com o rápido aumento de programas de incentivos que apoiam ideias sustentáveis, vários países têm acelerado o ritmo de produção de células fotovoltaicas (RELLA, 2017). Por sua vez, o setor de energia eólica vem despertando interesse pelo seu bom desempenho, contribuindo para o desenvolvimento de novas tecnologias. Porém, ainda existem muitos impasses para que a utilização de energia oriunda de fontes naturais renováveis tenha uma maior participação na matriz energética brasileira. Um desses desafios refere-se ao fato de que com o decorrer do tempo, o país foi ficando cada vez mais dependente de hidrelétricas, que por mais que sejam consideradas uma fonte renovável de energia, ainda assim trazem significativos impactos ambientais. Essa dependência pode representar um risco para o país, uma vez que as mudanças climáticas simbolizam grandes ameaças para o ciclo hidrológico. Na próxima seção, são discutidos os desafios da transição energética no Brasil.

2.2. Desafios tecnológicos, econômicos e políticos à transição energética no Brasil

A Agência Internacional de Energia (IEA), em 1999, declarou que “o mundo se encontra na fase inicial de uma transição inevitável para um sistema energético sustentável que será, maioritariamente, dependente dos recursos renováveis”. Contudo, o mercado energético ainda permanece dependente dos combustíveis fósseis. A transição energética de combustíveis fósseis para fontes renováveis exige uma nova ordem de prioridade de investimentos, apoiada a uma vontade política tanto a nível nacional quanto global (DUARTE SANTOS, 2009). Quando se fala em transição energética, um dos principais pontos destacado é o papel da tecnologia, de como ela é importante para esse processo, mas pouco é falado sobre os obstáculos em direção

ao uso de tecnologias energéticas mais sustentáveis e quais as possibilidades para a quebra dessas barreiras (MARIA, 2017). Unruh (2000, 2002) sustenta a ideia de que as economias industriais, e cada vez mais as em desenvolvimento, estão presas a uma economia baseada em combustíveis fósseis através de um processo de co-evolução tecnológica e institucional, alimentado pelos retornos crescentes auferidos pelas atividades já consolidadas.

No caso do Brasil especificamente, existe uma dependência por hidrelétricas que começou entre os anos de 1974 a 2004, onde a potência instalada das usinas cresceu mais de 400%, passando de 13.274 MW (megawatt) para 69.000 MW (MME, 2007). Nos últimos 30 anos do século XX, a expansão dos empreendimentos hidrelétricos garantiu o suprimento de eletricidade necessária à industrialização e urbanização brasileira, todavia teve como contrapartida empreendimentos polêmicos que não se justificam pelos impactos gerados (mesmo as hidrelétricas sendo consideradas um tipo de fonte renovável) e da quantidade de energia que produzem (WCD, 2000; MILARÉ, 2004).

O sucesso de uma inovação tecnológica, neste caso no setor energético, vai depender da sua trajetória de desenvolvimento, de características iniciais do mercado, de fatores institucionais e regulatórios que governam sua introdução e da expectativa dos consumidores (FOXON, 2002). O fato de tecnologias dominantes proporcionarem retornos crescentes de escala possibilita o aprisionamento de economias, mesmo que frente a alternativas potencialmente superiores. A competição entre tecnologias é determinada pelas vantagens progressivas que surgem entre elas, mas muitas vezes é mais fácil continuar com o padrão adotado, como o petróleo e hidrelétricas no caso do Brasil, do que partir para uma nova trajetória tecnológica, devido à incerteza em relação às novas tecnologias e aos investimentos já feitos na adoção daquelas estabelecidas, o que torna custosa a mudança tecnológica (MARIA, 2017).

As políticas públicas têm o poder de agir promovendo retornos crescentes em políticas que são mais sustentáveis, promovendo assim o desenvolvimento e estabelecimento das novas tecnologias. O Brasil, pela sua importância econômica, com sua liderança na geração de energia advinda de fontes renováveis e por ser detentor de uma vasta biodiversidade, pode ter um papel importante, sendo protagonista na construção de uma economia de baixo carbono. Contudo, para isso acontecer deve ser compartilhada, entre esforços públicos e privados, uma agenda que contemple a proposição, aprovação e implementação de instrumentos econômicos que incentivem investimentos em atividades que promovam a redução das emissões de gases de efeito estufa (CORRÊA, 2021)

O Brasil não possui uma instituição específica para lidar com energias renováveis (MELO; JANNUZZI; BAJAY, 2016).¹⁹ Mas existem muitas instituições governamentais que estão associadas à questão energética, incluindo: ministérios como o MME (Ministério de Minas e Energia), o MMA (Ministério do Meio Ambiente) e o MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações); a agência reguladora ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), de particular importância, sendo responsável pela governança do setor de eletricidade brasileiro; a Eletrobras,²⁰ uma empresa estatal que gerencia três programas governamentais estratégicos, sendo eles o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), o Luz para Todos (Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso de Energia Elétrica) e o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica). Ademais, existem instituições de financiamento público, como o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) que é considerado a instituição de financiamento de longo prazo mais importante do Brasil, e a FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) (CORRÊA, 2021).

É necessário abordar as políticas macroeconômicas praticadas pelo Brasil, uma vez que elas podem ser vistas como políticas de inovação implícitas, podendo tanto prejudicar quanto auxiliar na promoção de políticas explícitas. As regras fiscais brasileiras costumam penalizar desproporcionalmente os investimentos públicos em infraestrutura nos momentos de ajustes nas contas públicas; tais investimentos são os primeiros a serem cortados em períodos recessivos.

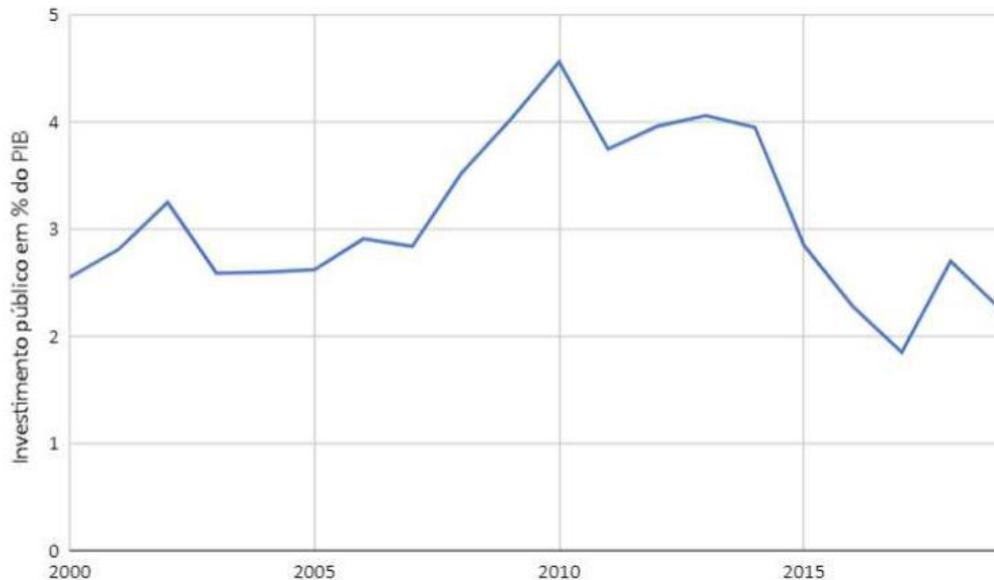
Além de elevar a carência na infraestrutura, a queda desses investimentos é em parte responsável pela recessão ocorrida entre 2015-2016 e pela lenta recuperação do país entre os anos de 2017-2019. Em 2016, com a aprovação do teto de gastos o cenário ficou ainda pior, posto que o espaço para investimentos públicos seguiu caindo a cada ano (CARVALHO, 2020).

¹⁹ O governo brasileiro foi um dos primeiros entre os países em desenvolvimento a se preocupar formalmente, ainda que de forma bastante restrita, com a preservação do meio ambiente. Em 1934, foi criado o Código de Águas, uma legislação voltada para a administração dos recursos naturais. Não obstante, durante o período de 1930 a 1960 não havia uma política ambiental no Brasil ou alguma instituição gestora da temática ambiental. Somente no final da década de 1960 essa temática ganhou impulso, momento em que as demandas ambientais da sociedade foram impulsionadas devido a questões de poluição geradas por atividades produtivas, como a poluição industrial (MOURA, 2016). Em 1973, com a criação da Secretaria Especial do Meio Ambiente e, em 1981, com a Política Nacional do Meio Ambiente, deu-se início a uma legislação que passou a ser parte relevante no desenvolvimento do setor elétrico. Em 1988, foi estabelecido o Comitê do Meio Ambiente do Setor Elétrico (Comase). Mais tarde, em 1997, foi criado como órgão coordenador o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), composto por ministros de Estado (LEITE, 2011).

²⁰ A desestatização da Eletrobrás é alvo de inúmeros debates no Congresso Nacional, sendo argumentado que a empresa está perdendo espaço para a iniciativa privada e, diante do acúmulo de dívidas, torna-se custosa para a sociedade.

No gráfico 5 é demonstrada a trajetória dos investimentos públicos em porcentagem do PIB no Brasil entre 2000 e 2019.

Gráfico 5 – Investimentos públicos em porcentagem do PIB – Brasil (2000-2019)



Fonte: Pires (2020).

Percebe-se que a partir de 2010 houve uma grande queda nesse indicador (PIRES, 2020). O teto de gastos tem como consequência conflitos distributivos na sociedade, uma vez que diferentes áreas vão buscar por recursos cada vez menores, sendo a infraestrutura, a ciência e a tecnologia aquelas que concentram a maior parte dos prejuízos (CARVALHO, 2020). Logo, é nesse contexto de política macroeconômica que surgem entraves para a política de inovação no Brasil, com impactos importantes no processo de transição energética, uma vez que este inclui políticas de inovação em energia eólica, solar fotovoltaica e demais fontes renováveis que podem contribuir para uma economia de baixo carbono.

Em relação a energia eólica, Diógenes *et al.* (2019) verificam que o ambiente macroeconômico instável afeta a indústria eólica em vários aspectos. Com a crise econômica de 2015-2016, houve uma redução da atividade da indústria e do comércio, levando a uma queda dos leilões energéticos. A incerteza da recuperação econômica causou flutuações na taxa de câmbio, o que resultou na instabilidade dos preços dos produtos importados; além disso, os investimentos públicos necessários para reforçar a infraestrutura em redes de transmissão para

acomodar a energia eólica foram reduzidos por conta da queda da receita fiscal. Já em relação à energia solar, Carstens e Cunha (2019) também ressaltam os entraves colocados pela instabilidade econômica, o que aumenta os riscos de investimentos no país e desencoraja possíveis investidores, sendo uma das principais barreiras à expansão dessa fonte no Brasil.

Pode se dizer que o início dos anos 2000 foi um divisor de águas para o surgimento de iniciativas governamentais na promoção de fontes de energia alternativas às hidrelétricas. Isso ocorreu devido à severa crise energética conhecida como “apagão”. Em 2002, a Lei nº 10.438 estabeleceu o PROINFA (Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica). Seu objetivo é promover ativamente fontes alternativas (eólica, biomassa e hidrelétricas de pequeno porte) para a geração de energia elétrica no Brasil (IEA, 2020). Ou seja, esse programa pretende diminuir a dependência do país em relação a grandes hidrelétricas (HOCHSTETLER; KOSTKA, 2015), e, conseqüentemente, aumentar a diversificação da matriz energética de modo a compensar as flutuações sazonais das hidrelétricas.

No PROINFA, a demanda por energias renováveis para a rede de distribuição nacional está associada a requerimentos de produtos locais, havendo, assim, entrelaçamentos de mecanismos de oferta e demanda. Os cálculos nos quais esses requerimentos se baseiam foram feitos pelo MME. Nesse aspecto, os custos derivados da adição de energia renovável à rede poderiam ser compensados no longo prazo com a localização da produção e a implementação de inovações no setor (HOCHSTETLER; KOSTKA, 2015). A administração à época do governo Lula – que favoreceu as energias renováveis como elemento central de uma economia moderna, na qual o Estado apoiaria as capacidades de inovação e competitividade global do país –, estabeleceu para os requerimentos uma cifra de 60% em uma primeira fase, e 90% em uma segunda fase que, entretanto, nunca foi implementada (HOCHSTETLER; KOSTKA, 2015).

A regulamentação do mercado de energia renovável no Brasil se dá por meio de leilões regulares ou de leilões de reserva, estes últimos, desde 2009, são orientados a licitar fontes não convencionais de energia, especialmente eólica (AQUILA *et al.*, 2017). O sistema de leilões tornou-se o principal instrumento de política nesse campo, permitindo expandir e diversificar a oferta de energia renovável (FRAUNDORFER; RABITZ, 2020). Nesse sistema, as empresas concorrem uma com as outras fazendo com que as tarifas resultantes sejam substancialmente

mais baixas do que no caso das *feed-in tariffs*²¹. Para Hochstetler e Kostka (2015), os leilões e as *feed-in tariffs*, ambos com contrato de longa duração, fornecem garantia de demanda necessária para atrair empresas de geração privadas para o setor. Entretanto, existe uma imprevisibilidade no sistema de leilões devido a flutuações substanciais nos volumes e cancelamento frequente de leilões programados, o que pode ser visto como uma dificuldade aos investimentos no setor (FRAUNDORFER; RABITZ, 2020).

Há falta de capacitação técnica dos agentes do governo na área de eficiência energética e energia fotovoltaica, bem como no treinamento e entendimento sobre como direcionar o setor de energia para a demanda. Sendo assim, é necessária a capacitação desses agentes no tocante às práticas de eficiência energética e energia renovável, tanto no âmbito técnico quanto no regulatório. Também é necessário o direcionamento das políticas para a redução da demanda por energia no país, tornando-a mais eficiente (FGV, 2012).

O setor energético enfrenta desafios em relação a sua amplitude, necessitando aumentar sua oferta e diversificação sem que aumente a emissão de gases de efeito estufa. É através de linhas de financiamento, fundos e produtos específicos que o setor financeiro possibilita a atuação de empreendedores no ramo energético, logo as instituições financeiras exercem um papel importante para que o setor de energia possa se desenvolver rumo a uma economia de baixo carbono (FGV, 2012).

O processo de transição energética abrange múltiplas perspectivas de desempenho de diferentes setores. No setor financeiro, especificamente, existe um conjunto de demandas que devem ser atendidas. Por exemplo, o financiamento do investimento em eficiência energética na indústria é algo de suma importância, uma vez que o setor industrial é o principal responsável pelo consumo energético do país, respondendo por mais de um terço do total consumido em 2010 (MME, 2010), além de trazer retornos por meio da economia futura de energia, redução de insumos e resíduos, incluindo emissões de gases de efeito estufa (FGV, 2010).

Existem alguns entraves nas linhas de financiamento que interferem negativamente no processo de transição energética. Há uma priorização para grandes empreendedores, e as linhas de financiamento não são apropriadas para a micro geração distribuída (eólica e solar fotovoltaica). Também não existem financiamentos específicos de projetos de energia solar fotovoltaica e para diagnóstico energético, importante na área de eficiência energética. Para

²¹ *Feed-in tariffs* é um mecanismo utilizado por políticas públicas destinado a acelerar o investimento em tecnologias de energia renovável por meio de contratos de longo prazo com os produtores desse tipo de energia.

alguns projetos de energia renovável não há consistência entre o fluxo de caixa do projeto e o fluxo de caixa do financiamento, o que dificulta a realização dessa ideia.

De modo geral, os recursos financeiros disponíveis são limitados a projetos de grande porte e tecnologias específicas. Outro fator de destaque é o fato do financiamento de energia renovável e eficiência energética ser novo para o setor financeiro, o que acaba implicando na exigência de muitas informações dos clientes para a concessão do crédito. Esse excesso de exigências tende a desestimular o cliente, fazendo-o preferir outras linhas que o possibilitem negociar melhores taxas de juros. O setor produtivo também tende a não investir em energia renovável devido à incerteza do mercado e pelos altos custos. A análise de risco de crédito de empreendimentos eólicos especificamente é complexa e lenta pelo fato de se tratar de um mercado com pouca tradição na concessão de financiamento no Brasil (FGV, 2012).

Tomando dados mundiais, cerca de 94% do financiamento de investimentos na área de energia é realizado por meio de fluxos de caixa das empresas e cerca de 42% do capital global investido teve origem de empresas públicas. Quando se trata de projetos de energia renovável, existe uma maior participação do setor privado, sendo que pelo menos 20% dos investimentos já são baseados em projetos, particularmente em países ocidentais. Em um contexto global de investimentos em energia, a diversificação de modalidades de financiamento e a participação consorciada privada e pública têm papel fundamental na transformação do sistema energético (LOSEKANN; TAVARES, 2019).

O estímulo a pesquisas em novas tecnologias é algo fundamental para que possa ser possível torná-las mais viáveis do ponto de vista econômico. Um exemplo seria a oferta de tecnologias incipientes de energia renovável (P&D para incubadoras). As fontes de energia geotérmica, energia solar térmica concentrada e energia dos oceanos, mesmo sendo tecnologias ainda não utilizadas amplamente no mundo, se caracterizam em fontes limpas e o Brasil apresenta um alto potencial para sua utilização em virtude de seu extenso território e litoral (FGV, 2012).

A energia solar fotovoltaica é um tipo de energia que vem crescendo por todo o mundo e o Brasil, que é um país com alto índice de insolação, deveria dar maior atenção para esse tipo de energia, mas, são poucos os investimentos do governo nesse setor. O programa Luz Para Todos, com distribuição de sistemas em comunidades isoladas, foi um investimento do governo, contudo, todos os sistemas são *off grid*²² e são poucos os casos de investimento do

²² Sistema *off grid* é um sistema isolado ou autônomo.

setor privado em parques de energia solar. Outro ponto referente a esse sistema de energia fotovoltaico é que o Brasil possui uma das principais matérias-primas dos painéis solares (o silício), e mesmo assim não possui indústrias nacionais solidificadas que os produza, sendo necessária a importação dos painéis, o que por sua vez encarece esse tipo de energia e o torna menos atrativo do ponto de vista econômico, uma vez que carece de incentivos fiscais e programas do governo (FGV, 2010).

Em todos os países que compõem o BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul), existem ações empresariais e políticas que convergem para a adoção de tecnologias de baixo carbono, mesmo que motivadas por outros objetivos (LOSEKANN; TAVARES, 2019), mas elas ainda não podem ser consideradas totalmente eficientes. Vale lembrar que o padrão competitivo nacional é alterado na medida em que o desenvolvimento de energias renováveis e a promoção de eficiência energética geram potencialmente maior atividade econômica, o que consequentemente gera mais empregos e aumenta as buscas por inovações tecnológicas (LOSEKANN; TAVARES, 2019).

O Quadro 2 sintetiza os desafios tecnológicos e econômicos da transição rumo a uma economia de baixo carbono no Brasil discutidos ao longo desta seção.

Quadro 2 – Desafios para o processo de transição energética no Brasil

Desafios Tecnológicos	Desafios Econômicos
<ul style="list-style-type: none"> • Investimentos em novas tecnologias trazem taxas de retorno pequenas a curto e médio prazo; • Incertezas em relação a financiamentos de novas tecnologias no setor renovável; • Dependência das pessoas e atividades/processos econômicos em continuar com o padrão tecnológico adotado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Poucos investimentos governamentais no setor de energia solar; • Falta de indústrias em território nacional para fabricação de equipamentos para energia renovável; • Linhas de financiamento não são apropriadas para micro geração distribuída; • Aprisionamento devido às economias de escala das tecnologias existentes; • Processo burocrático para o financiamento de energias renováveis e eficiência energética; • Lenta e complexa análise de risco de crédito de empreendimento eólico; • Penalização desproporcional a investimentos públicos devido a regras fiscais brasileiras.

Fonte: Elaboração própria.

2.3. Propostas para uma economia de baixo carbono no Brasil

A transição para uma matriz energética global mais renovável não se dará de forma abrupta, pois as forças que sustentam o modelo não renovável atual são de difícil reversão, devido a razões como: o elevado nível de consumo material e energético em países desenvolvidos; a infraestrutura energética não renovável já estabelecida, que são planejadas com vistas ao longo prazo e de forma capital intensiva, e a crescente demanda por serviços relacionados à energia em todo o mundo (FAPESP, 2010). Ainda que o Brasil seja considerado um protagonista no cenário energético mundial, essa reputação se deu graças a resultados de decisões de décadas atrás, por isso o país não deve contentar-se apenas com esses resultados, e acomodar-se frente a desafios e oportunidades que a questão energética coloca no século XXI. As vantagens comparativas e oportunidades disponíveis para o Brasil no campo do aproveitamento solar e eólico, além da produção de biomassa e biocombustíveis são evidentes. O complemento de geração de energia hidrelétrica não pode ser concentrado apenas na geração térmica a carvão, óleo combustível e gás natural, pois além de serem fontes que produzem grande emissão de gases de efeito estufa, existe uma volatilidade em sua oferta, sujeita a intempéries políticas e econômicas (FGV, 2010).

A Plataforma Empresas pelo Clima (EPC), representando uma parcela importante do setor empresarial brasileiro, apresenta algumas propostas de políticas públicas que têm como objetivo a criação de incentivos para uma economia de baixo carbono no Brasil. Dentre elas estão: políticas de incentivo à conservação ou uso de forma mais eficiente dos recursos naturais energéticos, o que inclui o uso racional do solo; políticas de incentivo ao uso de fontes renováveis de energia tanto no transporte quanto na geração de energia elétrica. Todavia, é necessário criar uma segurança jurídica com garantias de longo prazo para os investimentos realizados, o que exige uma ação integrada entre diferentes poderes constituídos e instâncias de governo nos três níveis de federação.

A EPC, ciente que o uso mais eficiente dos recursos naturais e energéticos é fundamental para o estabelecimento de uma economia de baixo carbono no Brasil, propõe ao governo a formulação de políticas de incentivo e priorização dos recursos naturais e energéticos, através da promoção da eficiência energética e produtiva no setor industrial, buscando a inserção nos mercados externos e o atendimento às crescentes demandas apresentadas globalmente por padrões de eficiência ambiental cada vez mais exigentes. Também propõe a criação de linhas de financiamento com taxas diferenciadas e direcionadas à eficiência energética; a promoção

da eficiência na transmissão, distribuição e consumo de energia, mediante incentivos à pesquisa e desenvolvimento de novos modelos de transmissão e distribuição de energia, bem como de materiais e equipamentos, implantação de redes inteligentes de transmissão e criação de incentivos à geração distribuída.

Uma matriz de transporte mais diversificada no Brasil também é considerada um tipo de recomendação, para que assim o país possa, entre outras coisas, ter um menor gasto energético por tonelada quilômetro transportado, além de contribuir para o aumento da competitividade da indústria nacional, uma vez que com a maior participação dos modais ferroviário e hidroviário haverá uma redução de custos logísticos e atrasos advindos do transporte de carga centrada no modal rodoviário. A ampliação do uso de biocombustíveis na matriz energética do transporte brasileiro seria mais um recurso, possibilitando tanto a redução das emissões de gases do efeito estufa quanto a menor dependência de derivados de petróleo – mesmo tratando-se de um tema mais complexo que é alvo de estudos mais profundos, pode ser uma alternativa válida (FGV, 2010).

O financiamento público é um dos pilares centrais para a inovação de energia renovável e, no caso do Brasil, esse financiamento se dá através do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social). O estímulo à fabricação de painéis fotovoltaicos, por meio de programas e linhas de financiamento específicas, com taxas diferenciadas, que viabilizem economicamente esses projetos, e o incentivo para as indústrias nacionais e empresas estrangeiras que dominam essa tecnologia a estabelecerem fábricas no Brasil seriam formas de impulsionar o desenvolvimento desse mercado (FGV, 2012).

É necessária maior atenção à exploração do amplo potencial que o país possui para a geração de energia eólica e solar, pois ambas estão em um franco processo de expansão em escala global. Nesse sentido, a Plataforma de Empresas Pelo Clima (EPC) propõe a manutenção de leilões específicos para a geração de energia renovável, considerando as tecnologias com maior grau de maturação tecnológica e preços competitivos. As tarifas *feed in* são reconhecidas como um tipo de política extremamente eficiente para se promover energias renováveis em mais de 50 países e foram utilizadas com sucesso durante o desenvolvimento do PROINFA. Logo, propõe-se o pagamento de tarifas diferenciadas ou incentivadas para tecnologia em maturação (tarifas *feed in*) e a garantia de compra em contratos de longo prazo.

O estímulo à geração distribuída e ao consumo de energia renovável por meio de financiamentos diferenciados e do incentivo ao uso de equipamentos de geração de energia

renovável em microescala, como painéis solares e pequenas turbinas eólicas nas instalações industriais, comerciais e residenciais, da comercialização da produção, são outras possíveis medidas a serem tomadas. Existem ainda muitas propostas que colaborariam para o desenvolvimento econômico sustentável por meio da energia, e como pode-se notar a participação do governo para o aumento das fontes renováveis na matriz energética é fundamental, garantindo tanto o aporte de recursos necessários a sua execução quanto o desenvolvimento de programas educacionais qualificando o capital humano para a exploração de oportunidades da economia de baixo carbono.

Contudo, o cenário econômico atual do Brasil,²³ que vive um momento de baixo crescimento e desemprego elevado, exerce muita influência nas possíveis medidas que precisam ser tomadas, o que atrasa ainda mais o processo de transição energética (IPEA, 2021). O Quadro 3 enumera as principais medidas de estímulo à transição energética no Brasil discutidas nesta seção.

Quadro 3 – Propostas para uma economia de baixo carbono no Brasil

- Políticas de incentivo ao uso de fontes renováveis de energia;
- Políticas de incentivo ao uso de formas mais eficiente dos recursos naturais energéticos;
- Criação de segurança jurídica com garantias de longo prazo para investimentos;
- Criação de linhas de financiamento com taxas diferenciadas à eficiência energética;
- Promoção da eficiência na transmissão, distribuição e consumo de energia;
- Matriz de transporte mais diversificada no Brasil;
- Ampliação do uso de biocombustíveis na matriz energética;
- Estímulo à fabricação de painéis fotovoltaicos em território nacional;
- Manutenção de leilões específicos para geração de energia renovável;
- Pagamento de tarifas *feed in* como política para promover energias renováveis;
- Incentivos e financiamento diferenciado ao uso de equipamentos de geração de energia renovável em microescala.

Fonte: Elaboração própria.

²³ “De acordo com a Dimac/IPEA a previsão para o crescimento do PIB em 2021 é de 4,5%, menor do que a previsão anterior de 4,8%. Esse resultado decorre do menor dinamismo da economia brasileira, com reflexos em nossas expectativas de crescimento para o quarto trimestre, que tem como previsão uma alta de 0,1% na comparação com o terceiro, com ajuste sazonal e de 1% na comparação interanual”. “Com relação a 2022 a previsão para crescimento acumulado do PIB foi revista de 2% para 1,8%. Essa redução deve a dinâmica recente do cenário macroeconômico com destaque para a persistência da inflação em patamar elevado que impactou negativamente o poder de compra dos consumidores e provocou a necessidade de um aperto monetário maior que o esperado” (IPEA, 2021). Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cartadeconjuntura/index.php/tag/previsoes-macroeconomicas/>. Acesso em 19/02/2022.

2.4. Uma breve nota crítica a partir da Economia Ecológica

Conforme mostrado no capítulo 1, a base teórica da Economia Ecológica aponta que os processos econômicos do Brasil estão associados à lei da entropia, uma vez que sua matriz energética é composta por fontes não renováveis. Logo, as atividades de produção e consumo existentes no país transformam os recursos naturais de baixa entropia em resíduos de alta entropia. Este é o caso do petróleo: a partir do momento que ocorre sua queima, ele não pode ser utilizado novamente para realizar trabalho, devido à degradação irreversível da energia.

Ainda que os avanços tecnológicos sejam uma das chaves para o enfrentamento da questão ambiental, os economistas ecológicos possuem uma visão pessimista a respeito da tecnologia na superação das limitações energéticas no que diz respeito ao crescimento econômico. Existe uma série de complexidades, envolvendo incertezas tanto do sistema econômico quanto do próprio sistema ecológico, podendo-se concluir que a problemática ambiental não é algo que pode ser totalmente resolvido por parte de apenas um desses sistemas. Sendo assim, por mais que o uso de fontes renováveis seja importante, o sucesso da transição energética depende da manutenção de uma escala econômico-ecológico sustentável.

O Brasil, especificamente, que tem grande capacidade para se tornar potência em relação ao uso de energia solar, trazendo assim uma melhora para a economia do país e, conseqüentemente, afetando seu PIB, observaria tanto uma contribuição no setor da economia quanto no setor ecológico devido à diminuição de gases do efeito estufa. Contudo, ainda existiriam falhas no quesito ambiental, uma vez que além do Sol, existem outros componentes para o processo de geração da energia solar, os quais podem provocar impactos ambientais, como no caso dos descartes dos painéis fotovoltaicos, uma vez que eles possuem toxicidade. O seu descarte deve ser feito de maneira adequada ou serem submetidos a reciclagem, mas esse processo de reciclagem ainda não possui um nível de desenvolvimento satisfatório e ainda apresenta custos muito elevados (MORI; SANTOS; SOBRAL, 2007).

Como foi mostrado no decorrer deste capítulo, o Brasil possui importantes possibilidades para a ampliação de sua matriz energética renovável, o que com recursos e ajudas corretas trariam uma significativa melhora energética ambiental para o país. Contudo, partindo da visão da Economia Ecológica, ainda existe um importante e dificultoso impasse, o qual se refere à necessidade de uma mudança profunda no padrão de desenvolvimento e de vida das pessoas. Em uma perspectiva histórica, desde a Revolução Industrial e a inserção subordinada

da periferia na divisão internacional do trabalho, foi implantado um modelo econômico insustentável no Brasil. Vale lembrar que os economistas ecológicos não acreditam que o constante crescimento econômico seja a solução do problema, e sim a construção de uma nova sociedade que respeite os limites econômico-ecológicos e que garanta a equidade intra e intergeracional (ANDRADE, 2008).²⁴

²⁴ Na perspectiva da Economia Ecológica, existirá uma escala máxima sustentável do sistema econômico com respeito ao ecossistema, essa escala será determinada pela comparação de benefícios econômicos com custos ambientais marginais como se faz no caso do equilíbrio da firma. Ao se acionar a economia, de fato não se pode ignorar que a depreciação dos ativos naturais é real, logo existem custos de oportunidades ecológicos, por isso o aumento da produção econômica implica em sacrifício de recursos naturais (CAVALCANTI, 2010).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer da história, as questões ambientais foram adquirindo importância cada vez maior, passando a compor as agendas de debate em âmbito global. A preocupação com os efeitos colaterais gerados a partir do uso de combustíveis fósseis como principal fonte energética, a exemplo das mudanças climáticas, tem se tornado bastante presente na arena dos governos. Nesse particular, o fato de a energia ser um dos recursos fundamentais para o desenvolvimento econômico e, em um processo histórico, sua produção ter se tornado majoritariamente dependente de fontes não renováveis, traz consigo um impasse entre a perspectiva econômica e a ambiental.

Nos últimos séculos, o crescimento contínuo e ilimitado da economia passou a ser almejado como caminho para o desenvolvimento de um país, o que, por sua vez, está vinculado ao processo de produção de energia. Mais recentemente, essa concepção vem sendo questionada pela Economia Ecológica. Para os economistas ecológicos, a visão convencional de que o crescimento econômico extra poderia resolver os possíveis problemas causados pela degradação ambiental torna-se inviável, tendo em vista que o uso dos recursos disponíveis de capital energético não é em si o problema, mas sim a negligência com respeito aos limites impostos pelos ecossistemas naturais ao sistema econômico. O crescimento ilimitado da economia pode então trazer problemas ambientais e sociais graves, rompendo com a chamada “escala econômico-ecológica sustentável”.

O fato de a matriz energética brasileira se destacar pela participação significativa de fontes renováveis, a exemplo das hidrelétricas, não torna o país isento da necessidade de se adotar medidas que contribuam para o processo de transição energética. Considerando que o Brasil é privilegiado por possuir abundância de fontes naturais de energia e, ainda assim, não se beneficiar de forma eficiente no âmbito econômico e ambiental, o objetivo deste trabalho foi entender os desafios da transição energética no país, identificando os principais fatores que contribuem para que esse processo em direção a energias renováveis aconteça de forma lenta.

Com base na literatura discutida ao longo do trabalho, pode-se dizer que o Brasil apresenta desafios que se interligam entre os diversos setores da economia, particularmente devido à amplitude de mudanças sociais, econômicas e tecnológicas requeridas pela transição energética. Este estudo se concentrou nos desafios econômicos e tecnológicos. Especificamente na área de financiamento, foi mostrado que os recursos financeiros acabam sendo limitados a

projetos de grande porte e que o financiamento a novas tecnologias é direcionado para tipos específicos de projetos, dada a incerteza que existe no mercado de energia renovável.

Já em uma análise macroeconômica, argumentou-se que em tempos de crise o investimento público, essencial na construção de uma nova matriz energética, é penalizado desproporcionalmente pelas regras fiscais do país. Ademais, há uma imprevisibilidade nos sistemas de leilões de concessão de energia renovável, o que, novamente, traz complexidade para investimentos no setor. Além de entraves econômicos e tecnológicos, na visão da Economia Ecológica também existem problemas de cunho social, tendo em vista que o modo de vida das pessoas é baseado em um padrão capitalista, o qual busca-se sempre alcançar lucros e, em consequência, gera-se cada vez mais impactos ao meio como um todo.

Dessa forma, torna-se essencial a atuação do Estado, sendo necessária a utilização de todos os seus poderes (executivo, legislativo e judiciário) para proporcionar o devido apoio ao processo de diversificação da matriz energética. Nesse sentido, são necessárias políticas intervencionistas que incentivem de várias maneiras o uso de fontes renováveis. Como os leilões são de grande importância para o crescimento de investimentos no setor, torna-se algo primordial a sua manutenção de forma eficaz, contribuindo, assim, para que o nível de incerteza do mercado diminua.

A hipótese levantada no presente trabalho, de que o Brasil apresenta um uso relativamente considerável de fontes renováveis de energia se comparado ao resto do mundo, mas que ainda existem uma série de desafios econômicos e ecológicos complexos a serem vencidos, dentre deles o aprisionamento do país em relação a grandes usinas hidrelétricas, mostrou-se verdadeira, uma vez que com a estabilidade proporcionada pela infraestrutura energética consolidada, torna-se incerto e custoso o processo de desenvolvimento e aprimoramento de novas energias.

A Economia Ecológica busca desenvolver uma visão do processo econômico compatível com as leis da Termodinâmica, visualizando, assim, a economia como um subsistema do ecossistema natural global. Logo, o sistema energético é uma das estruturas que devem ser qualitativamente modificadas, e partes das mudanças que devem ser feitas precisam passar por alterações no próprio modelo econômico e de vida. Por mais que os desafios da transição energética sejam hoje considerados amplos e complexos, tendo em vista todo o processo que é preciso passar tanto em termos econômicos quanto sociais, atualmente existem muitos estudos sobre o setor energético que buscam alcançar soluções viáveis e capazes de

contribuir para que o uso de energias limpas cresça cada vez mais. Além disso, há várias iniciativas de estímulo ao uso de energias renováveis específicas, tais como solar e eólica. Portanto, mesmo constituindo um processo que pode ser demorado ou de mais longo prazo, os avanços e buscas por aprimoramento no setor energético são importantes passos que devem ser incentivados no Brasil.

REFÊRENCIAS

- ALVES, J. J. A. Análise regional da energia eólica no Brasil. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v. 6, n. 1, p. 165-188, jan./abr. 2010.
- ANDRADE, D. C. Economia e meio ambiente: aspectos teóricos e metodológicos nas visões neoclássica e da economia ecológica. **Leituras de Economia Política**, Campinas, v. 14, p. 1-31, ago./dez. 2008.
- ANDRADE, A. L. C.; MATTEI, L. A (in)sustentabilidade da matriz energética brasileira. **Revista Brasileira de Energia**, v. 19, n. 2, p. 9-36, 2013.
- ANEEL (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA). **Atlas de energia elétrica do Brasil: Energia Hidráulica**. 3. ed. Brasília, 2008.
- AQUILA, G.; PAMPLONA, E. O.; QUEIROZ, A. R.; JUNIOR, P. R.; FONSECA, M. N. An overview of incentive policies for the expansion of renewable energy generation in electricity power systems and the Brazilian experience. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 70, p. 1090–1098, 2017.
- BALDUINO, M. C. J. M. O Acordo de Paris e a mudança paradigmática de aplicação do princípio da responsabilidade comum, porém diferenciada. **Revista Digital Constituição e Garantia de Direitos**, v. 13, n. 1, p. 172-188, ago. 2020.
- BERMANN, C. **Energia no Brasil: Para quê? Para quem? Crises e alternativas para um país sustentável**. São Paulo: Livraria da Física, 2003.
- BORTOLETO, E. M. A Implantação de Grandes Hidrelétricas: Desenvolvimento, Discurso e Impactos. **Geografares**, Vitória, n. 2, p. 53-62, jun. 2001.
- CAMPOS DE ANDRADE, A. L. **Energia e mudanças climáticas: uma discussão da matriz energética brasileira e do setor de transportes**. Dissertação (Mestrado em Economia) – Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.
- CANTARANI, R.; BIANCHI JR., A.; COTRIM, M.; RUGAI S. **Os riscos financeiros de empreendimentos hidrelétricos devidos à mudança climática**. Trabalho de Conclusão de Curso (MBA em Gestão Socioambiental Aplicada à Energia Hidrelétrica) – Fundação Instituto de Administração, São Paulo, 2009.
- CARMONA, B.; KASSAI, J. **A matriz energética brasileira: uma análise perante a NDC e o ODS7**. XIX USP International Conference on Accounting, São Paulo, jul. 2019.
- CARVALHO, L. **Curto-circuito: O vírus e a volta do Estado**. São Paulo: Todavia, 2020.
- CARVALHO, D. M.; COELHO, A. C. C.; MARTINS, R. S. S.; COSTA, K. R. **O Acordo de Paris: uma análise descritiva**. IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, XV Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental e III Fórum Latino Americano de Engenharia e Sustentabilidade, Belo Horizonte, 2017.

CAVALCANTI, C. Concepções da economia ecológica: suas relações com a economia dominante e a economia ambiental. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 53-67, 2010.

CARSTENS, D. D. S.; CUNHA, S. K. Challenges and opportunities for the growth of solar photovoltaic energy in Brazil. **Energy policy**, v. 125, p. 396–404, 2019.

CLARK, B.; FOSTER, J. William Stanley Jevons and ‘The Coal Question’. **Organization & Environment**, v. 14, n. 1, p. 93-98, 2001.

CORREIA, L. **Transição energética, políticas de inovação e desenvolvimento econômico: uma análise das iniciativas em energias eólica e solar fotovoltaica no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Economia) – Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

COSTANZA, R. What is ecological economics? **Ecological Economics**, v. 1, p. 1-7, 1989.

DALY, H. E. **Steady State Economics**. San Francisco: W. H. Freeman, 1977.

DALY, H. E. Georgescu versus Solow/Stiglitz. **Ecological Economics**, v. 22, p. 261-266, 1997.

DALY, H. E.; FARLEY, J. **Ecological Economics: Principles and Applications**. Washington, D.C.: Island Press, 2011.

DIÓGENES, J. R. F.; CLARO, J.; RODRIGUES, J. C. Barriers to onshore wind farm implementation in Brazil. **Energy Policy**, v. 128, p. 253–266, 2019.

DUARTE SANTOS, F. A energia no quadro das insustentabilidades. **Revista do Instituto da Defesa Nacional**, 2009.

DUTRA, J. C. N. *et al.* Uma análise do panorama das regiões Missões e Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul sob o prisma da energia eólica e solar fotovoltaica como fontes alternativas de energia. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, Curitiba, v. 34, n. 124, p. 225-243, jan./jun. 2013.

ECYCLE. Saiba o que são mudanças climáticas. Ecycle, 2020. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/mudancas-climaticas/>>. Acesso em: 31 jan. 2022.

ELLIOTT, D. Renewable energy and sustainable futures. **Futures**, v. 32, n. 3-4, p. 261-274, Apr. 2000.

EPE (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA). Balanço Energético Nacional (BEN) 2021: Ano base 2019. EPE, 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 31 jan. 2022.

FAPESP (FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO). **Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho**. São Paulo: FAPESP; Amsterdã: InterAcademy Council; Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2010.

FERREIRA, P; VELOSO, F. O desenvolvimento econômico brasileiro no pós-guerra. In: VELOSO, F. *et al.* **Desenvolvimento econômico: uma perspectiva brasileira**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

FERREIRA, R. S. Os efeitos negativos causados pela construção e operação de usinas hidrelétricas. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. 1-14, 2020.

FGV (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS). **Propostas empresariais de políticas públicas para uma economia de baixo carbono no Brasil: energia, transporte e agropecuária**. Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas (GVces), 2010. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/15422>>. Acesso em: 22 jan. 2022.

FGV (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS). **Como avançar no financiamento da economia de baixo carbono no Brasil: Análise dos entraves e oportunidades na alocação de recursos financeiros para os setores de agropecuária e energia**. Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas (GVces), 2012. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/15381>>. Acesso em: 22 jan. 2022.

FOXON, T. J. **Technological and institutional “lock-in” as a barrier to sustainable innovation**. London: ICCEPT, 2002.

FRAUNDORFER, M.; RABITZ, F. The Brazilian renewable energy policy framework: instrument design and coherence. **Climate Policy**, v. 20, n. 5, p. 652–660, 2020.

FREITAS, S. M.; FREDO, C. E. Fontes Energéticas e Protocolo de Kyoto: a posição do Brasil. **Informações Econômicas**, v. 35, n. 5, p. 77-82, 2005.

FRIEDMAN, B. **The Moral Consequences of Economic Growth**. New York: Alfred A. Knopf, 2005.

FRIENDS OF THE EARTH EUROPE. **Fracking Frenzy: How the fracking industry is threatening the planet**. Dec. 2014. Disponível em: <www.httpfoeeurope.org/fracking-frenzy-report-011214>. Acesso em: 31 jan. 2022.

GEORGESCU-ROEGEN, N. **The Entropy Law and the Economic Process**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1971.

GEORGESCU-ROEGEN, N. Comments on Stiglitz and Daly. In: SMITH, V. K. (ed.). **Scarcity and Growth reconsidered**. Baltimore, MD: John Hopkins University Press, 1979.

GEORGESCU-ROEGEN, N. **La décroissance: Entropie - Écologie - Économie**. 2. ed. Paris: Éditions Sang de la Terre: 1995.

GEORGESCU-ROEGEN, N. Energia e Mitos Econômicos. **Economia Ensaios**, Uberlândia, v. 19, n. 2, p. 7-51, jul. 2005.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 7-20, 2007

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. **Economic growth and the environment**. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, Feb. 1994. (NBER Working Paper, n. 4634). Disponível em: <<https://www.nber.org/papers/w4634>>. Acesso em: 31 jan. 2022.

HOCHSTETLER, K.; KOSTKA, G. Wind and solar power in Brazil and China: interests, state–business relations, and policy outcomes. **Global Environmental Politics**, v. 15, n. 3, p. 74–94, 2015.

HOPKINS, M.; LAZONICK, W. **Soaking Up the Sun and Blowing in the Wind: Clean Tech Needs Patient Capital**. Ford Foundation Conference on Finance, Business Models, and Sustainable Prosperity, New York, Dec. 2012.

IEA (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY). **World Energy Investment Outlook 2014**. Paris: OECD/IEA, 2014. Disponível em: <<https://www.iea.org/ouublications/freepublications/publication/WEO2014.pdf>>. Acesso em: 31 jan. 2022.

IEA (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY). **Key World Energy Statistics 2016**. IEA, 2016. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf>>. Acesso em: 31 jan. 2022.

IEA (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY). **Energy Subsidies**. International Energy Agency, 2020.

IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE). **Climate Change 2014: Synthesis Report, Summary for Policymakers**. IPCC, 2014.

IPEA (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA). **Visão geral da conjuntura**. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/cartadeconjuntura/index.php/2021/12/visao-geral-da-conjuntura-13/>>. Acesso em: 19 fev. 2022.

LAWN, P. Is a democratic-capitalist system compatible with a low-growth or steady-state economy? **Socio-Economic Review**, v. 3, p. 209-232, 2005.

LEITE, A. D. **Considerações sobre energia elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Grupo de Estudos do Setor Elétrico UFRJ, 2011. (Textos de Discussão do Setor Elétrico, n. 30).

LEITE, V. P.; DEBONE, D.; MIRAGLIA, S. G. E.-K. Emissões de gases do efeito estufa no estado de São Paulo: análise do setor de transportes e impactos na saúde. **Vittalle – Revista de Ciências da Saúde**, v. 32, n. 3, p. 143-153, 2020.

LOSEKKAN, L.; TAVARES, F. B. **Política energética no BRICS: desafios da transição energética**. Rio de Janeiro, IPEA, 2019. (Texto para Discussão, n. 2495).

MARIA, M. R. **Explorando o desenho de políticas públicas mais sustentáveis: é possível a transição energética de baixo carbono?** Dissertação (Mestrado em Ciências Econômicas) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

MARQUES; F. M. R. **Perspectiva para a energia solar no Brasil**. 2014 Disponível em: <<https://www.crasp.gov.br/centro/conteudo/old/uploads/Artigo-Perspectivas-para-a-energia-solar-no-Brasil.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2022

MARTÍNEZ-ALIER, J. **O ecologismo dos pobres: conflitos ambientais e linguagens de valoração**. 2. ed. São Paulo: Editora Contexto, 2015.

MAUAD, F.; FERREIRA, L.; TRINDADE, T. **Energia Renovável no Brasil: Análise das principais fontes energéticas renováveis brasileiras**. São Carlos: EESC/USP, 2017.

MELO, C. A.; JANNUZZI, G. M.; BAJAY, S. V. Nonconventional renewable energy governance in Brazil: Lessons to learn from the German experience. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 61, p. 222–234, 2016.

MENDES, N. A. S. **As usinas hidrelétricas e seus impactos: os aspectos socioambientais e econômicos do Reassentamento Rural de Rosana - Euclides da Cunha Paulista**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2005.

MILARÉ, E. **Direito do ambiente: doutrina, jurisprudência, glossário**. São Paulo, Editora Revista dos Tribunais, 2004.

MME (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA). **Plano Nacional de Energia 2030 – Ministério de Minas e Energia**. Brasília: MME/EPE, 2007.

MME (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA). **Balanco Energético Nacional 2009**. Brasília: MME, 2010.

MME (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA). **Resenha Energética Brasileira**. MME, 2020.

MORAIS, L. C. **Estudo sobre o panorama de energia elétrica no Brasil e tendências futuras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2015.

MOREIRA, H. M.; GIOMETTI, A. B. R. Protocolo de Kyoto e as possibilidades de inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de projetos em energia limpa. **Contexto Internacional**, v. 30, n. 1, p. 9-47, abr. 2008.

MORI, V.; SANTOS, R. L. C.; SOBRAL, L. G. S. **Metalurgia do silício: processo de obtenção e impactos ambientais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. (Série Tecnologia Ambiental, n. 41).

MOURA, A. M. M. Trajetória da política ambiental federal no Brasil. In: MOURA, A. M. M. (Org.). **Governança ambiental no Brasil: instituições, atores e políticas públicas**. Brasília: Ipea, 2016, p. 13-43.

MUELLER, C. C. **Os economistas e as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2012.

NASCIMENTO, T. C.; MENDONÇA, A. T. B. B.; CUNHA, S. K. Inovação e sustentabilidade na produção de energia: o caso do sistema setorial de energia eólica no Brasil. **Cadernos EBAPE.BR**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, p. 630-651, set. 2012.

OLIVEIRA, A. M. S. **Um novo marco regulatório para a partilha da compensação financeira pela utilização de recursos hídricos para geração de energia elétrica: equalizando disparidades regionais**. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

OLIVEIRA, L. K. **Energia como recurso de poder na política internacional: geopolítica, estratégia e o papel do Centro de Decisão Energética**. Tese (Doutorado em Ciência Política)

– Programa de Pós-Graduação em Ciência Política, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

OLIVEIRA, A. S. A liderança dos países desenvolvidos no Acordo de Paris: reflexões sobre a estratégia do Naming and Shaming dentro do Balanço-Global. **Sequência**, Florianópolis, n. 81, p. 155-180, jan./abr. 2019.

PIMENTEL, F. **O fim da era do petróleo e a mudança do paradigma energético mundial: perspectivas e desafios para a atuação diplomática brasileira**. Brasília: Fundação Alexandre de Gusmão, 2011. 20 p.

PIRES, M. **Observatório de Política Fiscal atualiza as estatísticas históricas de investimento público: 1947-2019**. Observatório de Política Fiscal, 2020. Disponível em: <<https://observatorio-politica-fiscal.ibre.fgv.br/series-historicas/investimentos-publicos/observatorio-de-politica-fiscal-atualiza-estatisticas>>. Acesso em: 31 jan. 2022.

QUEIROZ, R. *et al.* Geração de energia elétrica através da energia hidráulica e seus impactos ambientais. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 13, n. 13, p. 2774-2784, ago. 2013.

RELLA, R. Energia Solar Fotovoltaica no Brasil. **Revista de Iniciação Científica**, Criciúma, v. 15, n. 1, p. 28-38, 2017.

REN21 (RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY). **Renewables 2013: Global Status Report**. Paris, 2013. Disponível em: <<https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>>. Acesso em: 31 jan. 2022.

RIBEIRO, H. C. M.; PIEROT, R. M.; CORRÊA, R. Projeto de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: Um Estudo de Caso na Empresa de Energia Eólica do Estado do Piauí. **REUNIR – Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade**, v. 2, n. 2, p. 61-75, ago. 2012.

RONCAGLIA, A. **The Wealth of Ideas: A History of Economic Thought**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

SAES, B. M. **Macroeconomia Ecológica: o desenvolvimento de abordagens e modelos a partir da Economia Ecológica**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Econômico) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

SCHNEIDER, E.; SAGAN, D. **Into the Cool: Energy Flow, Thermodynamics and Life**. University of Chicago Press, 2005.

SCHUMPETER, J. A. **Teoria do Desenvolvimento Econômico**. Rio de Janeiro: Editora Fundo de Cultura, 1961.

SCREPANTI, E.; ZAMAGNI, S. **An Outline of the History of Economic Thought**. Second edition. New York: Oxford University Press, 2005.

SOUZA, M. C. O.; CORAZZA, R. I. Do Protocolo Kyoto ao Acordo de Paris: uma análise das mudanças no regime climático global a partir do estudo da evolução de perfis de emissões de gases de efeito estufa. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 42, p. 52-80, dez. 2017.

STEFFEN, W. et al. The Anthropocene: From Global Change to Planetary Stewardship. **Ambio**, v. 40, n. 7, p. 739-761, 2011.

STIGLITZ, J. E. A Neoclassical Analysis of the Economics of Natural Resources. In: SMITH, V. K. (ed.). **Scarcity and Growth reconsidered**. Baltimore, MD: John Hopkins University Press, 1979.

TESSER, G. J. Principais linhas epistemológicas contemporâneas. **Educar**, Curitiba, n. 10, p. 91-98, 1994.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos Estudos CEBRAP**, n. 79, p. 47-69, nov. 2007.

UNRUH, G. C. Understanding carbon lock-in. **Energy policy**, v. 28, n. 12, p. 817–830, 2000.

UNRUH, G. C. Escaping carbon lock-in. **Energy policy**, v. 30, n. 4, p. 317–325, 2002.

VAN HAUWERMEIREN, S. **Manual de Economía Ecológica**. Santiago, Chile: Instituto de Ecología Política, 1999.

WALTER, O. L. **História da eletricidade**. Mogi Mirim, 2010.

WANG, Q. *et al.* Natural gas from shale formation – The evolution, evidences and challenges of shale gas revolution in United States. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 30, p. 1-28, Feb. 2014.

WCD (WORLD COMMISSION ON DAMS). **Dams and Development: a new framework for decision-making**. The Report of the World Commission on DAMS. London: Earthscan, 2000.