

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

GIOVANA OLIVEIRA TALISZ

**ECONOMIA DE BAIXO CARBONO: UMA ALTERNATIVA
SUSTENTÁVEL PARA A EXPANSÃO DA MATRIZ
ENERGÉTICA BRASILEIRA**

Porto Alegre

2022

CIP - Catalogação na Publicação

Talisz, Giovana Oliveira
ECONOMIA DE BAIXO CARBONO: UMA ALTERNATIVA
SUSTENTÁVEL PARA A EXPANSÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA
BRASILEIRA / Giovana Oliveira Talisz. -- 2022.
77 f.
Orientador: Glauco Schultz.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade
de Ciências Econômicas, Curso de Ciências Econômicas,
Porto Alegre, BR-RS, 2022.

1. Economia de Baixo Carbono. 2. Mudanças
Climáticas. 3. Matriz Energética. 4. Energias
Renováveis. 5. Fontes Fósseis. I. Schultz, Glauco,
orient. II. Título.

GIOVANA OLIVEIRA TALISZ

**ECONOMIA DE BAIXO CARBONO: UMA ALTERNATIVA
SUSTENTÁVEL PARA A EXPANSÃO DA MATRIZ
ENERGÉTICA BRASILEIRA**

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

Orientador: Prof. Dr. Glauco Schultz

Porto Alegre

2022

GIOVANA OLIVEIRA TALISZ

**ECONOMIA DE BAIXO CARBONO: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA
A EXPANSÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA**

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

Aprovada em: Porto Alegre, ____ de _____ de 2022.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Glauco Schultz - Orientador

UFRGS

Prof. Dra. Gabriela Peixoto Coelho de Souza

UFRGS

Prof. Dra. Marcilene Aparecida Martins

UFRGS

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus avós, Célia e Aloísio, que em vida e na morte, me ensinam o valor da vida e me dão o apoio necessário para que eu busque minha felicidade e liberdade. Aos meus pais, Adriana e Marcelo, sempre estarão em meu coração e pensamentos, mesmo que a distância física nos separe. Sou resultado do amor de vocês.

Aos professores, funcionários e colegas da Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, pelos ensinamentos e momentos compartilhados ao longo desses anos de graduação. Especialmente ao Prof. Dr. Glauco, pela compreensão, atenção e incentivo, e as demais professoras da banca, que com os seus entusiasmos, me inspiraram durante a elaboração deste trabalho.

Às empresas Sicredi, FIERGS, AIESEC e UOL EdTech, onde tive a oportunidade de desenvolvimento profissional e encontrei pessoas que marcaram minha vida e fazem parte do caminho que escolhi.

Aos meus amigos, que compreenderam minha ausência e torceram pela realização desse trabalho. Aos amigos mais especiais, que me ouviram falar sobre a necessidade de reduzirmos a emissão de gases de efeito estufa, que me encaminhavam notícias relacionadas ao tema e me inspiraram em cada página.

A vocês, dedico às próximas páginas.

RESUMO

As consequências da atividade econômica sobre o meio ambiente são alvos de diversos estudos e políticas implementadas nas últimas décadas e representam um desafio para a ciência econômica, dada a necessidade de revisão do instrumental analítico, com o intuito de buscar uma relação harmônica entre o meio ambiente e o sistema econômico. Um dos efeitos mais discutido são as mudanças climáticas originadas pela acumulação de gases de efeito estufa (GEE). Em razão das tendências de aumento das emissões de GEE pelo setor energético, de transporte, refino de petróleo e do setor industrial, dada a projeção de crescimento econômico, o Brasil enfrenta o duplo desafio de promover o desenvolvimento e reduzir as emissões de GEE, em busca de uma economia de baixo carbono. Assim, objetivo central deste trabalho é estudar e apurar vertentes relacionadas a economia que amparem a expansão sustentável da matriz energética brasileira. Como instrumento metodológico, será utilizada a pesquisa bibliográfica teórica que envolvem o tema. Como os resultados apontam, metas ambiciosas de redução de emissões deverão ser implementadas no longo prazo e, no curto prazo, deverão ser incentivadas políticas de desenvolvimento tecnológico verde.

Palavras-chave: Desenvolvimento Sustentável. Matriz Energética. Energias Renováveis. Mudanças Climáticas. Ecodesenvolvimento.

ABSTRACT

The consequences of economic activity on the environment are the subject of sundry studies and politic implemented in recent decades and represent a challenge for economic science. It requires a review of the analytical instruments, to seek a harmonious relationship between the environment and the economic system. One of the most discussed effects is climate change caused by the accumulation of greenhouse gases (GHG). Due the trends of increasing GHG emissions by the energy sector, transport, oil refining and the industrial sector, given the projection of economic growth, Brazil faces the double challenge of promoting development and reducing GHG emissions, in search of of a low carbon economy. The central objective of this work is to study and determine aspects related to the economy that support the sustainable expansion of the Brazilian energy matrix. As a methodological instrument, theoretical bibliographic research and quantitative analysis will used, considering the indices and goals of international environmental agreements. As the results show, ambitious emission reduction targets should implemented in the long term and, in the short term, green technological development politic should encouraged.

Keywords: Sustainable Development. Energy matrix. Renewable energy. Climate changes. Ecodevelopment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Síntese do sistema econômico com o meio ambiente.....	16
Figura 02 – Emissões bruta de gases de efeito estufa por Estado em 2020 no Brasil.....	21
Figura 03 – Taxas médias de crescimento dos macros setores do Brasil projetada até 2050 em um cenário pessimista.....	22
Figura 04 – Emissões de gases de efeito estufa do Brasil de 1990 a 2020.....	23
Figura 05 – Emissões de gases de efeito estufa por atividade econômica brasileira (1990 – 2020).....	24
Figura 06 – Emissões de gases de efeito estufa nas atividades do setor energético brasileiro (1970 – 2020).....	25
Figura 07 – Geração de eletricidade por fonte no Brasil (1970 – 2020).....	26
Figura 08 – Consumo de combustíveis nos transportes (1970 – 2020).....	27
Figura 09 – Emissões de gases de efeito estufa no setor de Energia (1970 – 2020).....	28
Figura 10 – Matriz Elétrica Brasileira no ano de 2021.....	44
Figura 11 – Oferta interna de energia no ano de 2021 no Brasil.....	45
Figura 12 – Participação setorial no consumo de eletricidade no ano de 2021 no Brasil.....	46
Figura 13 – Evolução do número de domicílios no Brasil e projeções futuras.....	47
Figura 14 – Oferta Interna de Energia no Brasil (1940 – 2021).....	49
Figura 15 – Consumo Final por Fonte no Brasil (1970 – 2021).....	49
Figura 16 – Consumo final por fonte energética no Brasil (1970 – 2021).....	50
Figura 17 – Projeção do consumo final por cenário no Brasil no período 2015 a 2050.	51
Figura 18 – Oferta de energia mundial por fonte no ano de 2019 no Brasil.....	52
Figura 19 – Composição Setorial do Consumo de Derivados de Petróleo no Brasil (1970 – 2021).....	53
Figura 20 – Reservas provadas de petróleo em território nacional (1975 – 2021).....	54
Figura 21 – Dependência Externa de Energia no caso brasileiro (1974 – 2021).....	55
Figura 22 – Consumo final de energia no setor residencial de 1975 a 2021 no Brasil.....	55
Figura 23 – Consumo de gás natural em 2021 no Brasil.....	56
Figura 24 – Preços de gás natural praticados para consumidores industriais no Brasil.....	57
Figura 25 – Composição Setorial do Consumo de Carvão no Brasil (1970 – 2021).....	58
Figura 26 – Dependência externa de energia quanto a fonte no Brasil (1970 – 2021).....	58
Figura 27 – Participação das fontes na capacidade instalada no Brasil em 2021.....	59

Figura 28 – Geração de energia elétrica no Brasil por fontes não renováveis (2000 – 2021).....	62
Figura 29 – Perfil de geração da matriz energética brasileira em 2050 em um cenário de estagnação sendo 100% renovável.....	64
Figura 30 – Emissões totais de gases de efeito estufa para projeção da matriz elétrica brasileira 100% renovável.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C	Graus Celsius
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	sigla em inglês para Intergovernmental Panel on Climate Change
IPAM	Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
N ₂ O	Óxido Nitroso
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONG	Organização Não Governamental
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
CAPÍTULO 1 - IMPACTOS AMBIENTAIS DO PROCESSO PRODUTO.....	16
1.1 EXTERNALIDADE NEGATIVA E O MEIO AMBIENTE.....	16
1.2 O PROBLEMA DAS EMISSÕES DOS GASES DE EFEITO ESTUFA.....	20
1.3 LIMITES À EMISSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂).....	27
1.4 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO.....	30
CAPÍTULO 2 - ANÁLISE DE DESENVOLVIMENTO PARA UMA ECONOMIA DE BAIXO CARONOBO.....	32
2.1 CONJUTURA DE UMA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO.....	32
2.2 PROGRESSO TÉCNICO E OS LIMITES DA NATURZA.....	35
2.3 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E AS CORRENTES ECONOMICAS.....	39
2.4 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO.....	42
CAPÍTULO 3 - POSSIBILIDADES E DESAFIOS PARA UMA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO NO SETOR ENERGÍCO BRASILEIRO.....	44
3.1 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA.....	44
3.2 FONTES NÃO RENOVÁVEIS.....	52
3.3 FONTES RENOVÁVEIS.....	59
3.2 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO.....	65
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

INTRODUÇÃO

O fornecimento e consumo de energia *per capita* é fortemente correlacionado com o tamanho e capacidade de expansão de uma população, assim como com seu bem-estar. O acesso a um volume maior de energia permite o desenvolvimento das tarefas rotineiras e essenciais para a sociedade do século XXI.

Dada a necessidade cada vez maior por abastecimento energético e que este seja tão econômico quanto sustentável, é essencial encontrar uma solução multidisciplinar entre as diversas áreas das ciências e engenharias, além de políticas de estado estruturadas e com visão de longo prazo que fomentem processos escaláveis quanto ao meio que estamos inseridos. As fontes de energia usadas desde o início da era capitalista são caracterizadas por constantes e profundas mudanças, tendo em vista o grau de desenvolvimento tecnológico e expansão do conhecimento sobre as ciências da natureza. Assim, a capacidade de ampliar a matriz energética e elétrica, tanto em termos de volume quanto em potência, está atrelada a aplicação eficiente de conhecimentos científicos e da tecnologia.

A inovação é um fator crucial para um crescimento econômico conciso no longo prazo em qualquer economia, uma vez que, gerado o desenvolvimento tecnológico, ocorre o aumento da produtividade nacional e do dinamismo entre os setores. Sendo a geração de energia um serviço prestado à população pelo estado, é possível manter a oferta constante com um menor uso de fontes energéticas durante a produção.

Como outros países em desenvolvimento, o Brasil enfrenta o duplo desafio de promover o desenvolvimento econômico, que nesse caso é baseado no agronegócio, e preservar o meio ambiente, reduzindo as emissões de GEE, em busca de uma economia com processos eficientes de baixo carbono. Atualmente, o Brasil ocupa o quinto lugar entre os maiores poluidores climáticos, com cerca de 3,2% do total mundial de emissões de GEE. Além disso, em 2020, o Brasil aumentou em 121% as emissões de GEE por queima de combustíveis fósseis utilizados em usinas termelétricas.

Os gases de efeito estufa são compostos por uma variedade de gases, como o dióxido de carbono (CO₂), que representa mais de 75% dessas emissões globais e é originado, principalmente, durante o uso de combustíveis fósseis, assim como no processo de desmatamento. O metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) representam o restante das emissões, responsáveis, respectivamente, por 15% e 10%. O metano é emitido majoritariamente em

atividades agropecuárias e no manejo de resíduos sólidos e o óxido nitroso, principalmente, no uso de fertilizantes.

O efeito estufa é uma camada de gases que cobre a superfície da Terra, composta pelo gás carbônico, metano, óxido nitroso e vapor d'água e é um fenômeno natural e essencial para manutenção da vida na Terra. A liberação de gases de efeito estufa é um processo natural do ecossistema terrestre, entretanto, o aumento das emissões por processos humanos resulta na elevação da temperatura média da atmosfera terrestre e dos oceanos, o que ocasiona o aquecimento global.

Os países do G20, como os grandes emissores de gases, corroboram para o efeito estufa e possuem o maior compromisso de redução das emissões a fim de cumprir o objetivo do Acordo de Paris, assinado em 2015, que visa estabilizar o aquecimento da Terra em 1,5°C ainda neste século (IEMA, 2021). É necessário, portanto, fomentar as ações de mitigação, ou seja, de redução de emissões, para evitar os efeitos da mudança climática.

Contudo, o período para que ocorra essa estabilização é estreito. Para isso, todos os países precisariam reduzir 7,6% das suas emissões durante o período de 2021 a 2030 (IPCC, 2018). Indo na contramão desse compromisso, as metas nacionais projetadas para o Brasil direcionam o país a um aumento de 2,7°C (IEMA, 2021).

Caso seja confirmado esse cenário, o Brasil é poderá ser fortemente impactado pelos efeitos das alterações climáticas. Desse modo, a questão que se coloca atualmente pelos estudiosos não se é certa a mudança climática, mas sim como se precaver, quem seriam os responsáveis pela mitigação e quanto deveria ser mitigado (IEMA, 2021). A partir dessas constatações, um conjunto de políticas internacionais, como o Protocolo de Quioto, e nacionais, como o Plano ABC, tem sido estabelecido para fomentar uma revisão do modelo de utilização de recursos naturais e conscientizar sobre o impacto do uso de combustíveis fósseis, com o intuito de estimular e viabilizar modificações, como o uso de energias alternativas, para um padrão de consumo menos intensivo em carbono.

Atualmente, existem diversas incertezas sobre as metas internacionais, políticas e responsabilidades quanto a mitigação. No cenário brasileiro, as emissões resultado do uso de combustíveis e dos processos produtivos, como processos no setor pecuário, têm um papel relevante no volume total de geração de GEE (gases de efeito estuda). Esse papel é intensificado devido as tendências de aumento da oferta no setor energético, assim como do refino de petróleo, de transporte e da produção no setor industrial, dado que as emissões, no modelo atual, são estimuladas pelo desenvolvimento industrial e tecnológico e acompanham o crescimento

econômico. A demanda brasileira por energia, em um cenário de crescimento inferior, teria uma taxa de crescimento média de 1,4% a.a, e no cenário superior, o crescimento médio seria de 2,2% a.a., chegando em 2050 com o dobro do consumo final do ano de 2015 (MNE, 2018).

A ciência econômica estuda a escassez dos recursos, propõe modelos eficientes e deve ser usada a fim de mapear possíveis soluções para a questão de mitigação. A economia de baixo carbono é definida como um modelo que estimula a baixa emissão de gases de efeito estufa durante os processos de cada setor, em que há, entre outras ações, a implementação de políticas públicas para redução do lançamento desses gases na atmosfera. É uma ferramenta que deverá ser aplicada no processo produtivo e atrelada ao uso intensivo de desenvolvimento de tecnologias, assim como o estímulo quanto ao uso de fontes de energia limpa, a mitigação das liberações de CO₂ durante a etapa de fabricação e tratamento de resíduos.

Algumas das ações de mitigação podem ser, inclusive, induzidas pelas próprias forças de mercado, uma vez que o desenvolvimento tecnológico e as preferências dos agentes econômicos estejam direcionadas para a necessidade da redução das emissões dos GEE. Entretanto, diversas variáveis indicam que o mercado pode falhar no encaminhamento dessas mudanças, dada as incertezas, a desigualdade e limitação de informações e aos elevados custos que envolvem o processo de substituição. Assim, é necessária a criação de políticas públicas que induzam o processo de mitigação de emissões de GEE.

A forma de implementação das políticas de mitigação é alvo de diversos debates ao redor do mundo. Seja por mecanismos econômicos, como impostos e subsídios, mercado de carbono e regulamentações governamentais, por exemplo. Tendo em vista os compromissos assumidos pelo governo brasileiro nos acordos firmados internacionalmente e do conhecimento quanto ao impacto ambiental das emissões de GEE, o objetivo desse trabalho é apresentar uma alternativa para a problemática ambiental, explorando o contexto econômico para as liberações de gases de efeito estufa e realizando uma análise quanto a expansão da matriz energética brasileira, partindo de uma revisão bibliográfica e análise quantitativa de dados do setor energético do período de 1970 a 2021. Ao concluir, é esperado dar insumos para o debate sobre esse tema de mitigação, fornecendo suprimento para validar as ações públicas quanto as diretrizes da matriz energética brasileira e a implementação planejada de uma economia de baixo carbono como solução para a mitigação no setor energético.

O presente estudo está dividido em três capítulos de desenvolvimento. Primeiramente, será apresentado o conceito de externalidade negativa, os dados quanto a emissão de gases de efeito estufa e os arranjos internacionais criados para mitigar as emissões de CO₂. O segundo

capítulo irá apresentar o que é necessário para o desenvolvimento de uma economia de baixo carbono, como o arcabouço teórico econômico atrela o meio ambiente ao progresso técnico e as teorias econômicas que buscam o equilíbrio do homem com a natureza. Quanto ao terceiro capítulo, será apresentada a organização da matriz energética e elétrica brasileira, contextualizando o uso de fontes fósseis e apresentando as fontes renováveis, possíveis alternativas de baixo carbono.

Por fim, será apresentada as considerações finais, onde constará um resumo e percepções sobre a análise, eventuais desafios e orientação quanto à novos estudos sobre o tema.

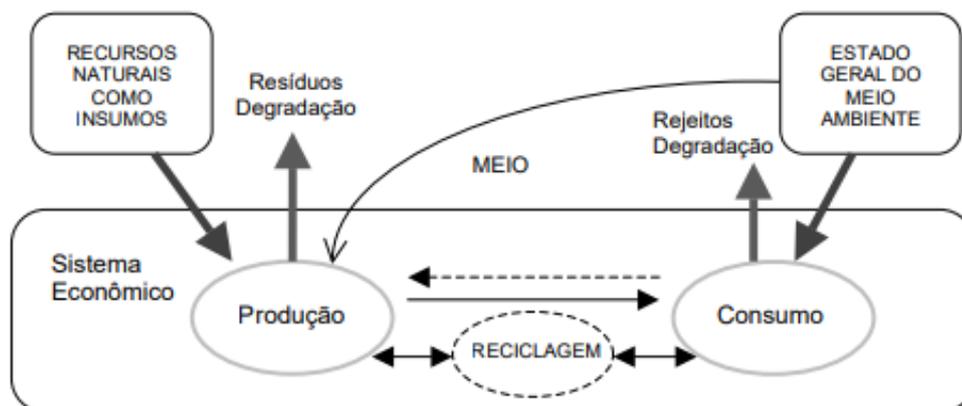
CAPÍTULO 1: IMPACTOS AMBIENTAIS DO PROCESSO PRODUTIVO

1.1 EXTERNALIDADE NEGATIVA E O MEIO AMBIENTE

Dentre os problemas ambientais que mais se destacaram nas últimas décadas, a mudança climática global é um dos mais graves e, ao mesmo tempo, um dos mais difíceis de lidar. Isso permite interpretar que, de todas as externalidades, a mudança climática é vista como a maior, mais complexa e incerta do que qualquer outra questão ambiental (TOL, 2009).

O sistema econômico é considerado como um organismo vivo, complexo e dependente do sistema natural que está inserido (MUELLER, 2007). O mecanismo econômico é parte integrante do meio ambiente e extrai recursos naturais para uso durante o processo de produção, que, após o consumo, retorna o excedente para o ecossistema. Entretanto, é simplista assumir que o papel do meio ambiente é apenas ser um fornecedor de insumos e destinatário dos resíduos, conforme é ilustrado na Figura 01.

Figura 01 – Síntese do sistema econômico com o meio ambiente.



Fonte: Mueller (2007: pag. 465).

O sistema econômico possui suas atividades implementadas e atuantes em um determinado espaço, o que gera impacto nos recursos naturais em toda fase de crescimento econômico, tanto em função da sua escala, tamanho e dimensão, quanto pelo modo como o sistema econômico se expande. Assim, o estudo da ciência econômica está fundamentado nas escolhas de emprego desses recursos produtivos, que são escassos, na produção de bens e serviços, com o intuito de satisfazer as necessidades humanas (VASCONCELLOS; GARCIA, 2012). Desse modo, em consideração à lógica econômica, o sistema busca a maximização da produtividade dos recursos e o aumento da sua oferta, cabendo as políticas econômicas o controle sobre a produtividade do capital natural e dos benefícios dela derivado.

Em 1972, o relatório “Os Limites do Crescimento Econômico” criado pelo Clube de Roma, analisa as variáveis de tecnologia, população, nutrição, recursos naturais e meio ambiente e observou que, se as tendências da época continuassem, o sistema global iria se sobrecarregar e entraria em colapso.

Embora o estudo “Limites do Crescimento” tenha sido muito criticado, ele tornou pública pela primeira vez a noção de limites externos – a ideia de que o desenvolvimento poderia ser limitado pelo tamanho finito dos recursos terrestres (PNUMA, 2004).

Dessa maneira, para o estudo das teorias econômicas aplicadas ao meio ambiente, é imprescindível a compreensão das premissas que envolvem o funcionamento eficiente dos mercados (ANDRADE, 2008). A eficiência econômica se dá pela maximização dos excedentes do consumidor e do produtor, em conjunto. Em situações em que ocorre uma alocação dos recursos de produção ineficiente, há uma falha de mercado (PINDYCK; RUBINFELD, 2013). Uma abordagem sustentável dos recursos naturais, ou seja, o equilíbrio entre exploração e preservação, é fundamental para o crescimento econômico e permite o controle de tais falhas (OLIVEIRA; FERREIRA, 2021).

Para os autores da escola neoclássica, o mercado é a melhor solução para os problemas criados pela própria ação do homem. Assim, os mercados conduzem os agentes econômicos a implementar e buscar soluções que maximizem o ganho privado, em defesa do produtor, e ganho social, tutelando o consumidor. Entretanto, a Teoria das Externalidades categoriza como efeito externo à economia a ocorrência de uma disparidade entre os custos ou benefícios da produção e os prejuízos e ganhos sociais, o que torna o mercado ineficiente e gera a necessidade de revisão para mensuração de impactos.

Uma externalidade pode ser definida como o efeito das ações entre produtores, entre consumidores ou entre consumidores e produtores (PINDYCK; RUBINFELD, 2013). A presença de externalidades leva a uma alocação sub-ótima de recursos, dado que os custos associados a essas externalidades não são contabilizadas pelos agentes (MARSHALL, 1890). Elas são consequências das atividades empresariais, que podem ser percebidas na relação entre a produção, o consumo e a utilização dos bens públicos (PIGOU, 1920).

Assim, uma externalidade ocorre toda vez que um agente causa uma perda ou um ganho de bem-estar em outro agente e esta perda ou ganho não é compensado no processo produtivo ou após sua utilização (VEIGA NETO, 2018). Essa análise é fundamental para compreender especialmente as conexões entre a atividade econômica e o meio ambiente, em toda a cadeia

produtiva, os impactos sobre a cultura do consumo e o ecossistema, assim como os limites e possibilidades da regulação por atores públicos.

A externalidade positiva é um reflexo do comportamento individual ou corporativo que resulta em um impacto positivo e agregador na sociedade como um todo. Ou seja, quando há ganho de bem-estar como um efeito colateral. Por sua vez, a externalidade negativa ocorre quando o resultado dessas ações impõe prejuízos à outra, com custos sociais ou um efeito colateral negativo na natureza, afetam os indivíduos de forma direta ou indireta, no curto ou longo prazo.

As externalidades negativas podem ser dívidas em pecuniárias, quando há conceito de valor da terra e custos salariais envolvidos; e tecnológicas, quando envolve poluição ambiental e concentração urbana (KON, 1997). Da perspectiva econômica, as mudanças climáticas podem ser vistas como uma consequência da externalidade global negativa, em congruência com o estilo atual de desenvolvimento capitalista e ameaça constante ao bem público global (CEPAL, 2019).

As externalidades ambientais negativas afetam o sistema econômico e impactam diretamente as pessoas e o meio ambiente, sendo geralmente provenientes dos ciclos de vida de um produto, que envolve desde a extração das matérias-primas, transformação, transporte, utilização, assim como o seu descarte. Essas externalidades negativas ultrapassam o tempo e as fronteiras territoriais, causando efeitos intergeracionais, como, por exemplo, resíduos nos oceanos, emissões de gases de efeito estufa (GEE), extinção de espécies vivas, desmatamentos, aumento da temperatura, entre outros. Essas mudanças climáticas, são causadas primariamente pelo acúmulo de GEE emitidos pela humanidade desde a Revolução Industrial (OLIVEIRA; FERREIRA, 2021).

Do ponto de vista ambiental, a sustentabilidade depende da manutenção dos ciclos naturais da Terra. Isso significa que, quanto mais integrada e consciente uma atividade econômica está com os recursos naturais, mais sustentável será. A sustentabilidade está relacionada com

(...) a habilidade do sistema em manter sua estrutura (organização) e função (vigor), com o passar do tempo, em face de stress externo (resiliência) (COSTANZA, 1992).

A sustentabilidade

(...) é uma relação entre sistemas econômicos dinâmicos e sistemas ecológicos maiores, também dinâmicos e que, no entanto, modificam-se mais lentamente, de tal forma que a vida humana pode continuar indefinidamente (...), uma relação na qual os efeitos das atividades humanas permanecem dentro de limites que não deterioram

a saúde e a integridade de sistemas auto-organizados que fornecem o contexto ambiental para essas atividades (NORTON, 1992).

Nos últimos séculos, as modificações nas relações entre o meio ambiente e as atividades humanas têm se intensificado, promovendo complexas e profundas mudanças globais sem precedentes na história do planeta e impactam todos os ecossistemas (STEFFEN, *et al*, 2004).

O Quarto Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima aponta para uma maior frequência de eventos extremos, ondas de calor e períodos de inverno mais rigorosos, como decorrência da tendência de aumento das temperaturas globais médias (IPCC, 2022). Isso, por sua vez, impacta na saúde da população, na condição de vida, atividades, padrões de suprimento de água, alimentação e matriz energética. Essas mudanças climáticas também podem causar diversos e importantes consequências sobre as atividades econômicas a nível continental, levando em consideração a diversidade geomorfológica da estrutura produtiva das regiões.

A atividade agrícola, por exemplo, poderá ser severamente afetada, levando em consideração a disponibilidade de terras e a oferta de água, assim como a produtividade dos insumos, eficiência do uso da terra e os custos de produção do setor energético. Os impactos diretos das mudanças do clima sobre o processo produtivo e a distribuição e alocação da produção agrícola, até mesmo da disponibilidade energética no país, são alguns dos efeitos econômicos causados por esse fenômeno que podem afetar o Brasil diretamente (EMBRAPA, 2022).

Para os países da América do Sul, os principais impactos das externalidades negativas no meio ambiente estão voltados para a extinção de habitat natural e de espécies, a substituição de florestas tropicais por savanas e de vegetação semiárida por árida, aumento de regiões em situação de estresse hídrico e aumento de pragas em culturas agrícolas e de doenças, como, por exemplo, a dengue e a malária, além do deslocamento e da migração de populações (Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima, 2016).

Além de poder ser considerado o problema ambiental mais sério e delicado enfrentado pela humanidade nos últimos séculos (ONU, 2022), seja pela gravidade envolvendo as suas consequências ou pela complexidade das causas, a mudança climática tem deixado de ser um enigma. As ações que geram emissão de gases de efeito estufa, responsáveis predominante pelo aquecimento global, são mais difusas e amplas do que qualquer outro problema ambiental, tendo em vista a extensa lista de fontes de difusão e liberação desses gases.

Empresas em qualquer lugar no mundo, fazendas em qualquer região e cada família emite gases de efeito estufa. As atividades econômicas como um todo causam a emissão GEE na atmosfera sem nenhum custo econômico para os responsáveis por essas emissões (CEPAL, 2019).

1.2 O PROBLEMA DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Além de iniciativas privadas, diversas ações públicas têm sido criadas para sanar as preocupações mundiais acerca das consequências das externalidades ambientais relacionadas aos gases de efeito estufa, com o intuito de desacelerar as mudanças climáticas (OLSSON e KRUGER, 2021). Por conta da complexidade de toda cadeia de produção, a mudança climática também é um problema ambiental difícil de gerir, tendo um forte e permanente impacto no longo prazo, visto que alguns gases de efeito estufa permanecem na atmosfera por centenas de anos (IPCC, 2018; TOL, 2009).

A relação entre a sustentabilidade e as emissões dos gases de efeito estufa ficou mais clara a partir da criação do Protocolo de Kyoto, em 1997, que criou metas de redução de emissões para os países desenvolvidos envolvidos no acordo. O dióxido de carbono (CO₂) é o elemento mais poluente, maior responsável pelo aquecimento global e o principal gás do efeito estufa. O CO₂ é um composto essencial para a realização da fotossíntese, vital para a manutenção dos seres vivos, e derivado da reação de diferentes processos, como a combustão do carvão e dos hidrocarbonetos, na fermentação de líquidos e na respiração dos seres humanos e dos animais.

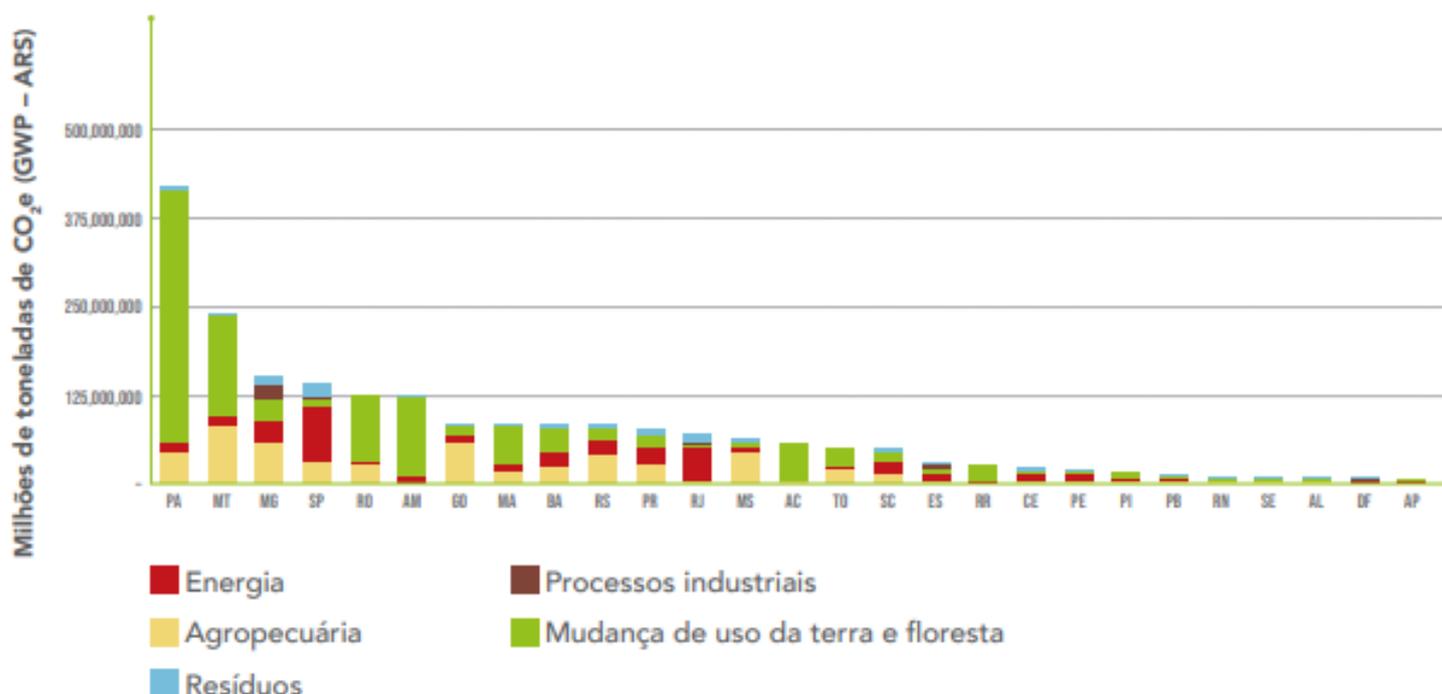
Levando em consideração que as emissões de GEE continuarão se elevando às atuais taxas, a temperatura do planeta poderá aumentar 5,4°C até 2100. Isso acarretará a elevação do nível do mar e em um grande impacto nas regiões costeiras do globo (EMBRAPA, 2022). Os impactos da mudança climática na economia brasileira resultariam em uma redução do PIB de 0,5% e 2,3% projetado para 2050, considerando, respectivamente, o cenário mais otimista e o mais pessimista em termos das mudanças climáticas (MARGULIS; DUBEUX, 2011). Em resumo, o crescimento das emissões de GEE nas taxas atuais ou em taxas superiores causará um aumento na temperatura da Terra e resultará em diversas mudanças no sistema climático global durante o século XXI, que muito provavelmente serão maiores que as observadas durante o século XX (IPCC, 2007).

No Brasil, durante o ano de 2020, as emissões brutas de gases de efeito estufa sofreram um aumento de 9,5% indo na contramão do processo de redução mundial observado no ano

anterior, de 6,7% (GCP, 2020). No que tange a emissões globais, o Brasil ocupa o 5º lugar entre os maiores poluidores climáticos, com 3,2% do total mundial, atrás de China, EUA, Rússia e Índia.

No ano de 2020, a média de emissão de CO₂ por brasileiro atingiu 10,2 toneladas brutas, acima da média mundial, que é de 6,7. As emissões dos Estados brasileiros de Mato Grosso e Rondônia (Figura 02), neste mesmo ano, quando apropriamos as emissões brutas para per capita, corresponde a toneladas de 68 e 70 toneladas de CO₂e, respectivamente, dez vezes superior à média mundial e quatro vezes maior quando comparada com as emissões estatuais dos EUA (SEEG, 2021).

Figura 02 – Emissões bruta de gases de efeito estufa por Estado em 2020 no Brasil.

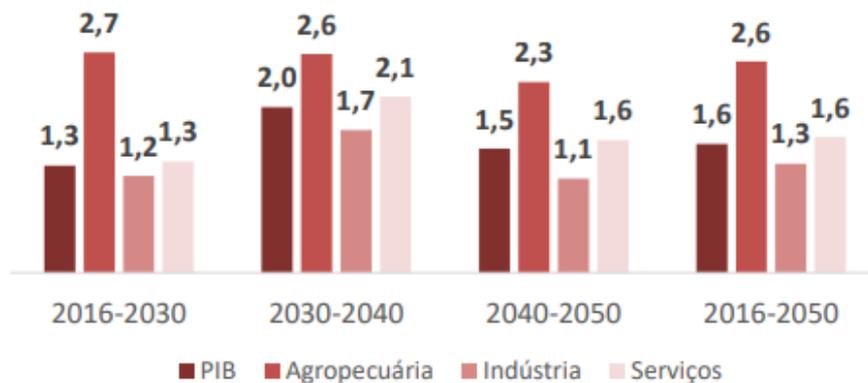


Fonte: SEEG (2021: pag. 36)

Assim, como um dos grandes emissores de gases de efeito estufa, o Brasil possui a responsabilidade de reduzir essas emissões, de modo a cumprir o objetivo do Acordo de Paris de estabilizar o aquecimento da Terra em 1,5°C, ainda neste século (IEMA, 2021). Para isso, é necessário que o país aumente e amplie as ações de mitigação, ou seja, ações que tenham como resultado a redução de emissões, para evitar ou diminuir impactos da mudança climática. Entretanto, mesmo com uma retração no PIB de 4,1% em 2020, as emissões de gases de efeito estufa mantiveram o seu ritmo de aceleração, atingindo a maior alta percentual desde 2003.

Para os próximos anos, como pode ser validado na Figura 03, é esperado aumentos significativos dos setores da economia, o que impacta diretamente nas projeções de mitigação e acaba por desafiar a eficiência das ações previstas para redução de liberação de gases de efeito estufa.

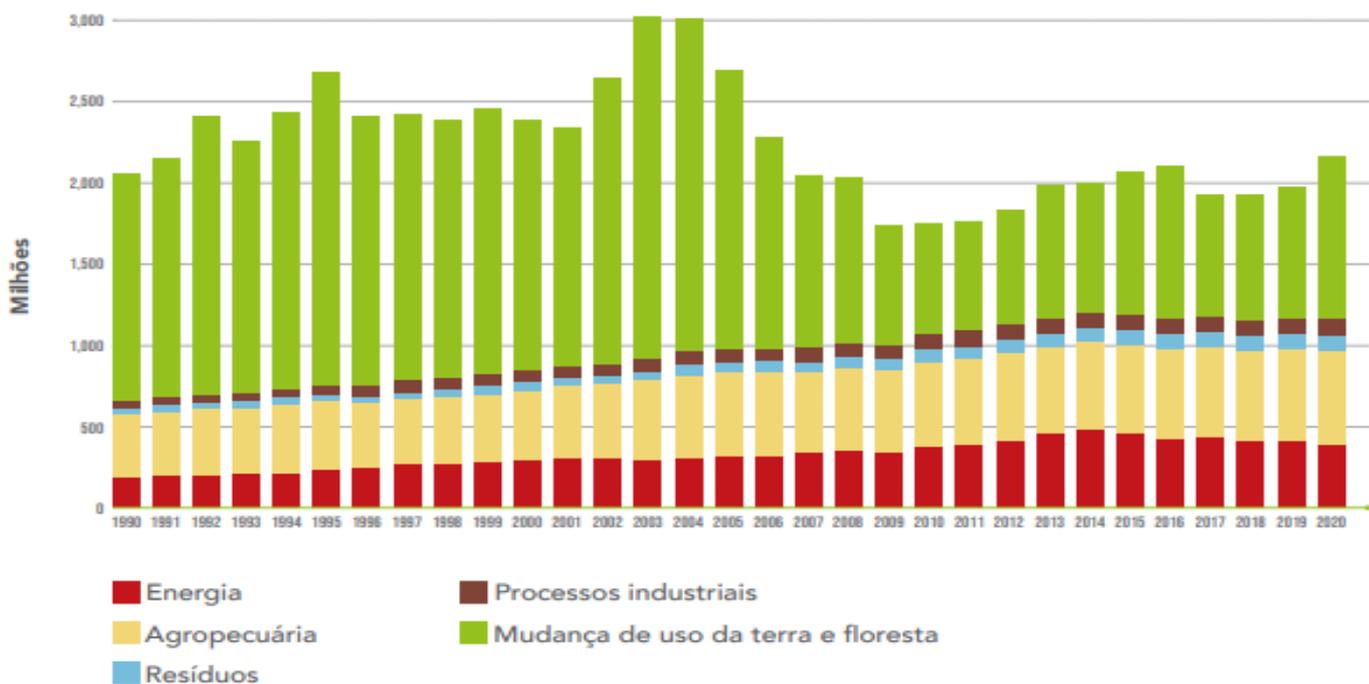
Figura 03 – Taxas médias de crescimento dos macros setores do Brasil projetada até 2050 em um cenário pessimista.



Fonte: EPE (2018: pag. 30)

No primeiro ano de pandemia, o total de emissões de CO₂ atingiu 2,16 bilhões de toneladas, contra 1,97 bilhão de toneladas em 2019. O nível de emissões verificado em 2020 é o maior desde o ano de 2006, conforme a Figura 04 demonstra.

Figura 04 – Emissões de gases de efeito estufa do Brasil de 1990 a 2020.



Fonte: SEEG (2021: pag. 03)

Os principais setores de emissão de gases de efeito estufa na economia nacional advém de desmatamento e tratamento do solo e de atividades do setor da agropecuária, o que vem se acentuando nos últimos anos devido aos crescentes números de desmatamento da Amazônia e no Cerrado. Além disso, conforme verificado nos anos anteriores e na tabela abaixo, as mudanças de uso da terra são responsáveis por 46% do total bruto das emissões de gases de efeito estufa no Brasil, o que representa 998 milhões de toneladas de CO₂.

Entretanto, quando são consideradas as remoções, ou seja, o carbono absorvido pelas florestas secundárias em áreas protegidas ou em terras indígenas, a participação das emissões decorrentes do uso da terra é reduzida para 24% (SEEG, 2021).

Tabela 01 – Emissões de gases de efeito estufa no Brasil em 2019 e 2020.

SETORES	2019	%	2020	%	VARIAÇÃO 2019-2020
Agropecuária	562.987.702	29%	577.022.998	27%	2,5%
Energia	412.466.747	21%	393.705.260	18%	-4,5%
Processos Industriais	99.472.616	5%	99.964.389	5%	0,5%
Resíduos	90.399.714	5%	92.047.812	4%	1,8%
Mudança de Uso da Terra e Floresta	806.996.124	41%	997.923.296	46%	23,7%
Total Emissões Brutas	1.972.322.903		2.160.663.755		9,5%
Total Emissões Líquidas	1.336.613.309		1.524.954.161		14,1%

Fonte: SSEG (2021: pag. 04)

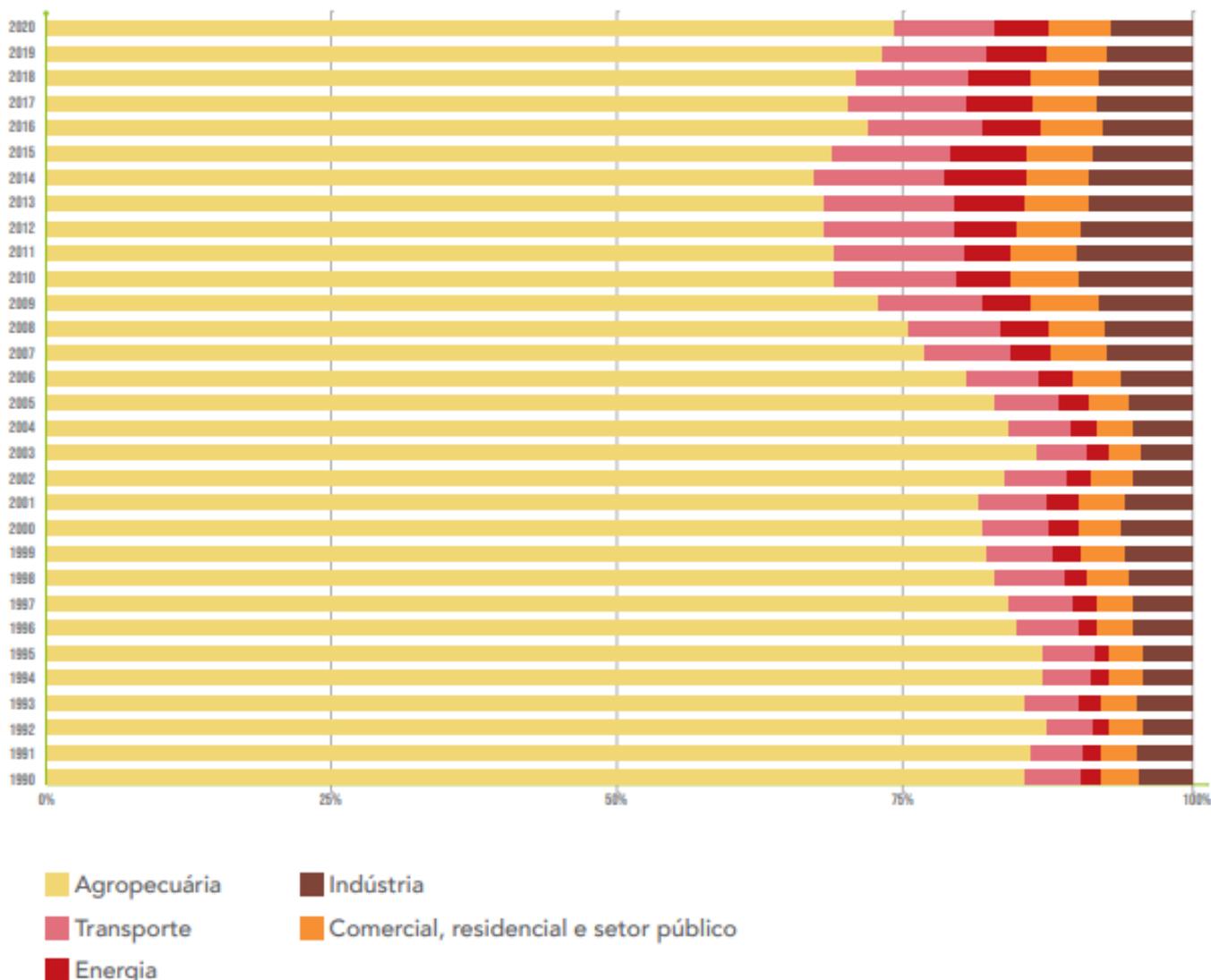
Conforme pode ser analisado na Tabela 01, as atividades agropecuárias, que envolve tanto a criação de animais, cultivo e fertilização do solo e o possível desmatamento de zonas verdes para uso do solo, é seguido pelas atividades de uso e produção de energia, que corresponde ao total de 18% das emissões. Os processos industriais, ou seja, a produção de GEE liberada durante o processo produto corresponde à 5% do total emitido, e o setor de resíduos, como reciclagem e aterros sanitários, contempla os 4% restantes das emissões brutas do país.

Comparando esse comportamento com os demais anos, é possível assumir que o setor de processos industriais e o tratamento de produtos se manteve estável, com uma leve oscilação positiva. Mantendo a alta de 2,5%, o setor de agropecuária também foi atingido pelo

desaceleramento da economia decorrente da pandemia da Covid-19, porém teve a maior elevação percentual desde 2010, seguindo as projeções (PNUMA, 2019).

Quando confrontamos a origem das emissões nos últimos anos, podemos notar a predominância da expansão nas atividades agropecuárias e uma redução constante nas atividades de energia desde 2014, conforme a Figura 05 demonstra.

Figura 05 – Emissões de gases de efeito estufa por atividade econômica brasileira (1990 – 2020).



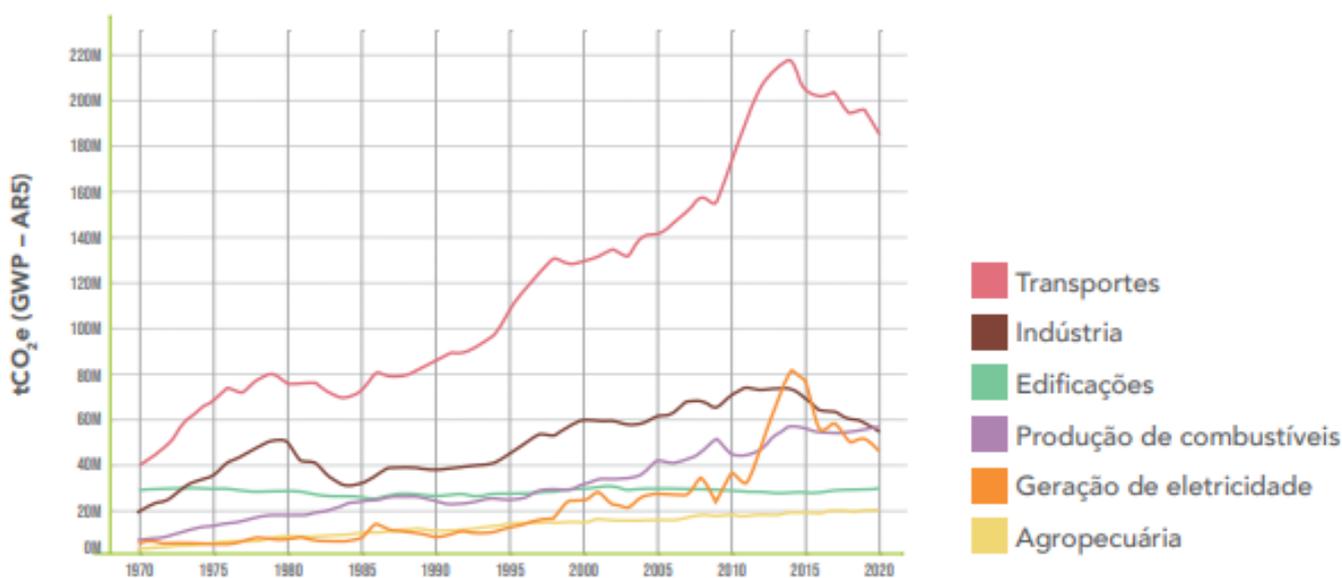
Fonte: SEEG (2021: pag. 06)

Predominantemente, as emissões do setor de energia são provenientes da queima de combustíveis fósseis em atividades como transportes, indústria e geração de eletricidade. Em 2020, esse setor totalizou 393,7 milhões de toneladas de CO₂e emitidas, o que representou uma queda de 4,6% em relação a 2019, sendo o menor valor observado para o setor desde 2011. Uma parte responsável por essa redução é devido as normas de contingências abordadas durante

o período da Covid-19, que exigiu medidas de restrição de circulação e permanências em locais compartilhados.

O consumo da eletricidade produzida se manteve estável, com uma pequena redução também detectada. Com o volume de chuvas próximo da média, as hidrelétricas, principal fonte da matriz elétrica brasileira, mantiveram a sua produção constante, enquanto outras fontes renováveis aumentaram sua importância na matriz energética e elétrica brasileira, auxiliando na redução das emissões nos setores e freando o aumento detectado no ano de 2020 (MME, 2020), conforme pode ser validado também na Figura 06.

Figura 06 – Emissões de gases de efeito estufa nas atividades do setor energético brasileiro (1970 – 2020).



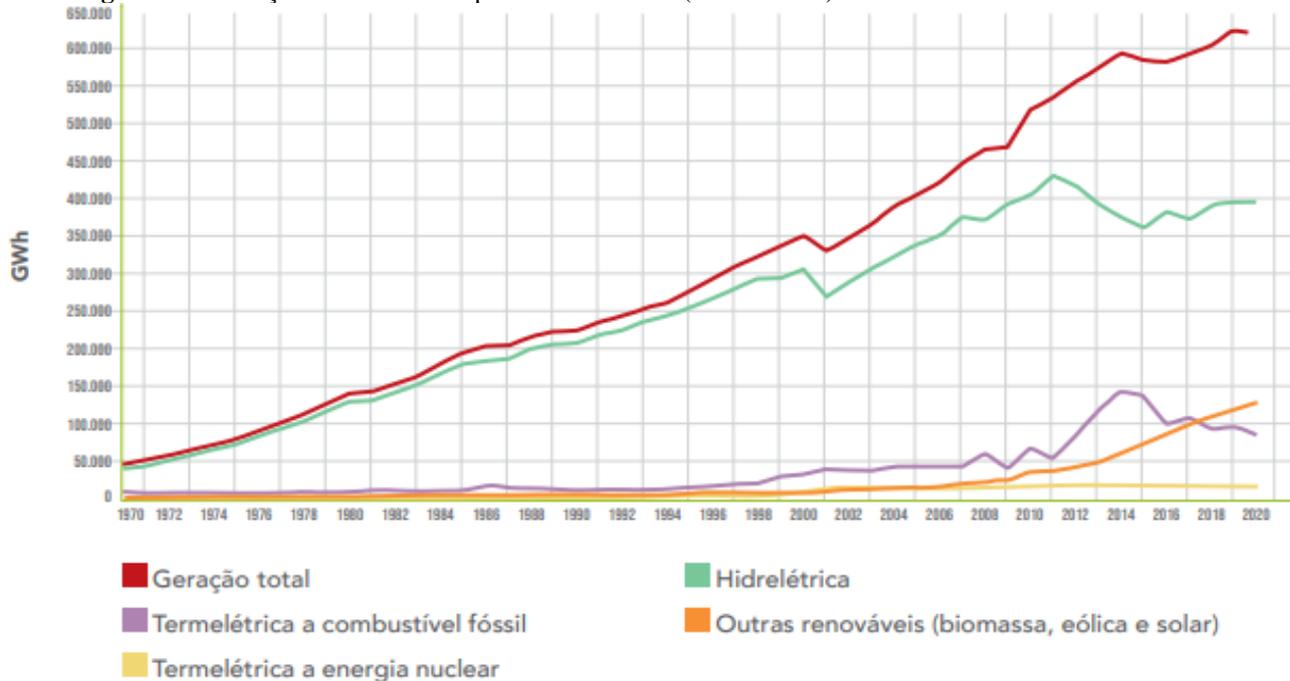
Fonte: SEEG (2021: pag. 21)

Parte da queda nas emissões de 2020, em comparação com o ano 2019, é resultado da redução das emissões do uso de energia em transportes (-5,6%), a atividade com maior emissão de GEE nesse setor. As emissões decorrentes das atividades econômicas das indústrias (-6,9%), estão reduzindo desde 2015, tanto por conta do desaquecimento da economia quanto pelo ingresso de novos modelos produtivos de consumo limpo de energia. Entretanto, a maior responsável pela mitigação no setor é a forma de geração de eletricidade que, em termos percentuais mitigou -10,8%. Essa redução se deve principalmente ao uso de usinas hidrelétricas e fontes limpas na produção de eletricidade, como as usinas nucleares, ao invés de fósseis.

A quantidade de eletricidade gerada via hidrelétricas se manteve constante (-0,4%), enquanto outras fontes renováveis tiveram, ao todo, sua geração expandida em 7,6%. Com isso,

foi possível diminuir em 11,1% a ativação das termelétricas via combustível fóssil, que além de ser a maior emissora de GEE é também a mais custosa.

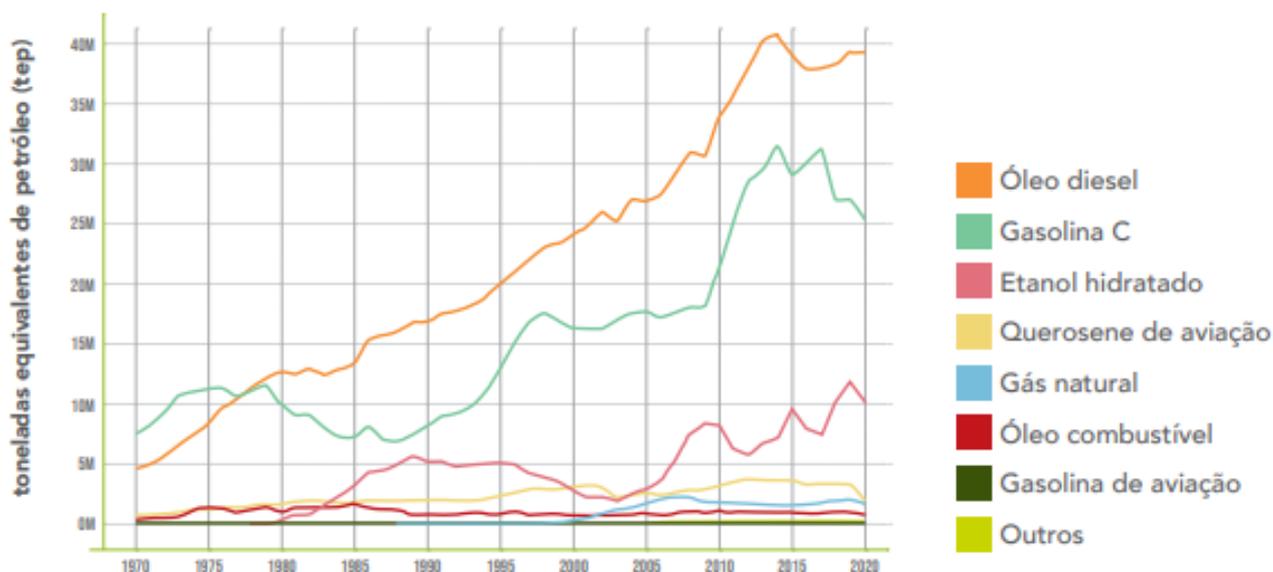
Figura 07 – Geração de eletricidade por fonte no Brasil (1970 – 2020).



Fonte: SEEG (2021: pag. 24)

A exploração de petróleo e gás natural continua a impulsionar a matriz energética de Produção de Combustíveis (+1,9%), conforme pode ser detalhado na Figura 08.

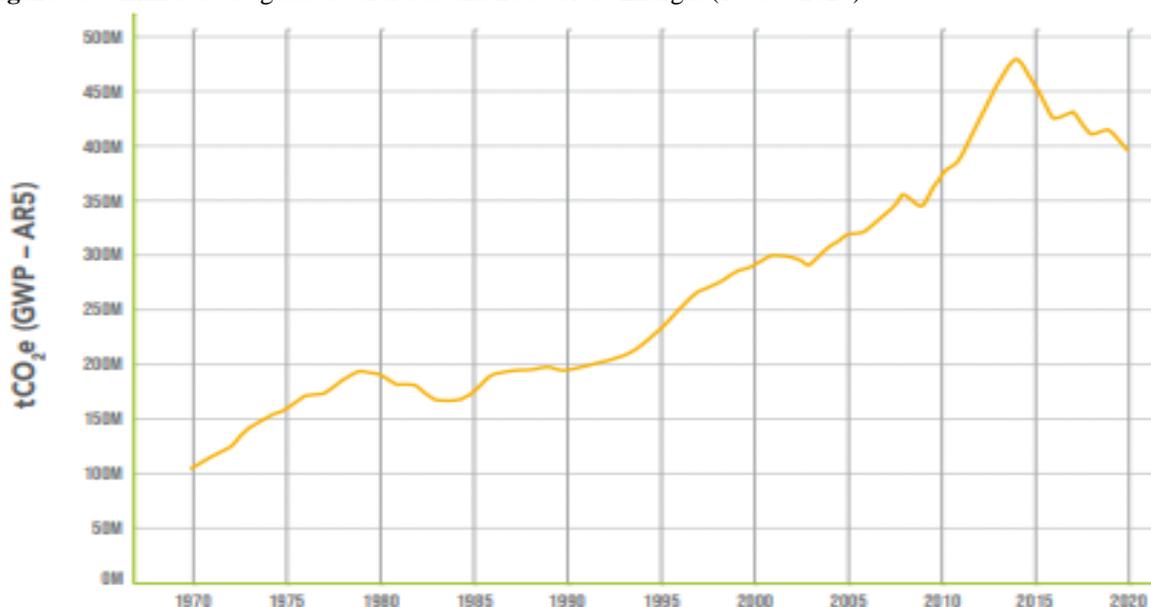
Figura 08 – Consumo de combustíveis nos transportes (1970 – 2020)



Fonte: SEEG (2021: pag. 22)

Quanto as questões de análise temporal das emissões do setor de energia, como pode ser validado na Figura 9, desde 2014 as mitigações têm se acentuado, atrelado ao aumento do uso de fontes renováveis na matriz elétrica.

Figura 09 – Emissões de gases de efeito estufa no setor de Energia (1970 – 2020)



Fonte: SEEG (2021: pag. 20)

Durante os anos de 2020, com as políticas de restrição, o Consumo Energético em Edificações sofreu um aumento de 2,2%, influenciado fortemente pelas emissões residenciais. A emissão de GEE na queima de combustíveis fósseis na atividade de agropecuária aumentou (+1,6%), porém manteve sua tendência de elevação, devido a queima de diesel em máquinas agrícolas.

Sendo uma atividade de grande impacto, o setor energético é responsável pelo consumo de 10% da energia gerada no país (BRASIL, 2009c). Além disso, o setor corresponde a 16% das emissões nacionais de GEE, quando são consideradas todas as etapas de geração, segundo dados do Ministério da Ciência e Tecnologia.

1.3 LIMITES À EMISSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

O grande desafio deste início de milênio é reverter os impactos no meio ambiente causados pelo desenvolvimento. Por conta disto, uma nova forma de processo, fundamentada no aproveitamento sustentável dos recursos renováveis, não é apenas desejável, mas essencial (SACHS, 2005). A crítica ambientalista realizada no final dos anos 1960 e 1970 colocou a Questão Ambiental e do Desenvolvimento Sustentável na pauta do dia das agendas

internacionais governamentais, fomentando reuniões entre as principais potências econômicas e maiores emissores de GEE para tratar de assuntos ligados ao meio ambiente e, conseqüentemente, sancionar acordos ambientais internacionais.

As correntes de pensamentos da economia, ligados ao meio ambiente, tem o intuito de analisar os impactos da sustentabilidade global sobre o futuro do desenvolvimento e sobre o funcionamento do sistema da economia contemporânea. A capacidade do meio ambiente de absorver a expansão do sistema econômico e o atual padrão de funcionamento da economia mundial é tema de convenções e acordos internacionais que tangem o meio ambiente.

A discussão entre o crescimento econômico e o desgaste ambiental foi intensificada na Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, em 1972, conhecida como Conferência de Estocolmo, marco teórico da criação do conceito do ecodesenvolvimento, onde o desenvolvimento e o meio ambiente são dois temas dependentes e atrelados, um ao outro, e a degradação da natureza não está exclusivamente relacionado aos aspectos biofísicos, mas também à aspectos socioeconômicos.

A Declaração sobre o Meio Ambiente Humano, assinada durante a Conferência, contém um Manifesto Ambiental e traz a visão das características abordadas para um desenvolvimento sustentável:

Chegamos a um ponto na História em que devemos moldar nossas ações em todo o mundo, com maior atenção para as conseqüências ambientais. Através da ignorância ou da indiferença podemos causar danos maciços e irreversíveis ao meio ambiente, do qual nossa vida e bem-estar dependem. Por outro lado, através do maior conhecimento e de ações mais sábias, podemos conquistar uma vida melhor para nós e para a posteridade, com um meio ambiente em sintonia com as necessidades e esperanças humana (ONU, 1972, p.2).

A década de 1980 é marcada por suceder uma grave recessão global, confirmada pelos dois choques do petróleo, e pela divulgação pública do conceito de efeito estufa e impactos na camada de ozônio, que estava se tornando mais fina e até mesmo inexistente em algumas partes do globo, formando áreas desprotegidas das radiações solares, devido as ações humanas. Além disto, os aumentos dos eventos que acarretaram conseqüências drásticas e permanente ao meio ambiente e a população, enfatizaram a falta de transparência dos governos para lidar com graves acidentes ambientais e a carência de recursos e de preparo para lidar com os efeitos.

Dada a baixa eficiência dos programas ambientais implementados e a falta de cooperativismo entre os países quanto a questão do meio ambiente, em 1992 é realizada a Conferência da Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, nomeada com Rio-92. O intuito da agenda era criar métodos para disseminação de tecnologias não poluentes para

países em desenvolvimento, além de analisar procedimentos para englobar os impactos ambientais ao processo de desenvolvimento, com o objetivo de prevenir futuros efeitos e rápida atuação em caso de emergências, enfatizado na citação abaixo:

Para fazer frente aos desafios do meio ambiente e do desenvolvimento, os Estados decidiram estabelecer uma nova parceria mundial. Essa parceria compromete todos os 33 Estados a estabelecer um diálogo permanente e construtivo, inspirado na necessidade de atingir uma economia em nível mundial mais eficiente e equitativa, sem perder de vista a interdependência crescente da comunidade das nações e o fato de que o desenvolvimento sustentável deve tomar-se um item prioritário na agenda da comunidade internacional (BRASIL, 1995, p.13).

E segundo Fonseca (2012):

Para tanto, foram assumidos 21 objetivos de sustentabilidade, que deveriam ser incorporados de forma transversal às políticas públicas nacionais. Em outra frente, o governo federal – nos Planos Plurianuais (PPAs) 2004-2007 e 2008-2011 – criou o Programa Agenda 21, cujo objetivo era induzir e monitorar a incorporação dos 21 objetivos nas políticas do governo federal, bem como fomentar fóruns regionais, estaduais e municipais de Agenda 21. Esses fóruns atuam por meio de parcerias entre governo e setor privado e sociedade civil, em construção participativa para a definição de políticas públicas adequadas às diferentes localidades. Assim, não só as diretrizes nacionais, mas também as subnacionais seriam reformuladas de acordo com o princípio da sustentabilidade (FONSECA, 2012, p.1).

O documento final, fruto da Agenda 21, é conhecido como Protocolo de Kyoto, é um dos mais relevantes para a preservação do meio ambiente, dado o teor dos compromissos firmados quanto a redução da emissão de gases geradores do efeito estufa. Entretanto, os limites de GEE negociados não levaram em contato um crescimento mais rápido do que o esperado, causando controversas entre o crescimento econômico e a evolução das políticas ambientais.

Durante os últimos anos, diversas convenções foram realizadas a fim de mapear processos e reduzir o impacto da ação humana no meio ambiente. Além disso, os países comprometidos lançam campanhas nacional com o mesmo intuito. No caso brasileiro, foi lançado em 2012 o Plano ABC, nomeado como “Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixo Carbono na Agricultura”.

O Programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC) está alinhado com os acordos internacionais ao incentivar ações voltadas para a baixa emissão de carbono e o desenvolvimento de tecnologias verdes, aumentando a eficiência no processo produtivo. De uma forma geral, apesar de o agronegócio enfrentar impactos negativos relacionados a restrições de uso do solo, que tendem a impactar o custo, existe ampla possibilidade de difusão de tecnologias modernas de baixa emissão de CO₂ que reduzam os impactos negativos e cujos ganhos de produtividade possam compensar as restrições.

O Plano ABC visa estimular e monitorar a adoção de práticas que reduzam emissões e gerem resiliência sem comprometer a produtividade e o crescimento do setor, com práticas que aliam conservação a resultado econômico, entre elas a recuperação de pastagens degradadas e a otimização do uso do solo. Um dos principais estímulos para os produtores é a criação de uma linha de crédito para agricultura de baixa emissão de carbono no país, que oferece taxas de juro diferenciadas a produtores que implementarem projetos de recuperação de pastagens e florestas ou adotarem tecnologias de produção que contribuam para a redução das emissões de GEE (MDA, 2012).

Com o Plano ABC, foi possível mitigar 170 milhões de toneladas de CO₂, superando em 46,5% a meta estabelecida (MAPA, 2020). O projeto foi concluído em 2020 e o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), dado sucesso da iniciativa, lançou em abril de 2021 o Plano ABC +, uma atualização do programa original, com metas mais ousadas e que devem aprimorar a sustentabilidade da cadeia de produção agropecuária durante a próxima década.

Também lançada em 2021, a Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2021 (COP26), última realizada, obriga os 198 países participantes a informar, detalhadamente, suas emissões e os países desenvolvidos em dobrar, em 2025, os recursos destinados para a adaptação às mudanças climáticas. Nesse momento, entra em vigor o Acordo de Paris, criado para substituir a Protocolo de Kyoto, com o intuito de limitar o aquecimento máximo do planeta a uma temperatura de 1,5°C.

Um dos avanços da última conferência climática também foi o estabelecimento de regras para a criação do Mercado de Crédito de Carbono, sendo uma ferramenta de fomento à redução das emissões de GEE. Nesse sistema, são atribuídos valores monetários ao custo da poluição do ar e passam a compor o custo interno e seriam apresentadas nos balancetes. Os créditos negociados no Brasil, entre o setor privado e as organizações não governamentais (ONG), terão uma correção de 5%, que será destinada a fundos para financiar as nações mais pobres a se adaptar às mudanças climáticas, dado o caráter custoso do desenvolvimento técnico para implementação das ações de mitigação.

A COP-27, que será realizada no Egito em 2022, terá como foco principal a criação de um mecanismo de financiamento de perdas e danos, questão ainda não abordada nas demais conferências, além de reforçar os compromissos assumidos nas demais conferências.

1.4 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

Conforme apontado nesse capítulo, as externalidades negativas são efeitos colaterais do sistema produtivo capitalista, fazendo com que o equilíbrio de mercado não seja eficiente, significando que o ponto de máximo benefício total para o mercado não foi atingido. Como em alguns cenários o mercado não tem capacidade de absorver essas consequências de maneira orgânica e intrínseca no seu processo, é necessária a intervenção pública para manutenção do sistema e proteção da população.

O aquecimento global é a externalidade negativa mais latente das últimas décadas e é causado majoritariamente pela emissão de gases que acentuam o processo natural de efeito estufa. Os GEE são liberados no processo produtivo e tendem a se elevar dada a estimativa de crescimento econômico projetada para os próximos anos no Brasil. Entretanto, caso não sejam implementadas políticas de mitigação, é esperada uma retração no PIB, dada as consequências desse fenômeno e a readaptação dos setores à nova configuração de disponibilidade de recursos naturais.

Quanto à volume de emissões globais, o Brasil ocupa o 5º lugar entre os maiores poluidores climáticos, com 3,2% do total mundial. Em 2020 o país aumentou as suas emissões em 9,5%, puxada majoritariamente pelo desmatamento na Amazônia e o Cerrado. Esse aumento não foi maior por conta da forte redução das emissões de GEE no setor energético, devido tanto a queda das emissões do consumo de gasolina e transporte quanto ao uso de hidrelétricas e fontes renováveis.

O setor energético é responsável por 18% das emissões de GEE, porém tem o maior potencial de redução, tendo em vista que foi o único que demonstrou crescimento negativo no último ano e dado a progressão de uso de energia de fontes renováveis que compõe a matriz elétrica brasileira. A atividade responsável pelo maior número de emissões nesse setor é o transporte, abrangendo toda a atividade de logística e locomoção.

O aquecimento global percebido nos últimos anos aumenta frequência de eventos extremos, como ondas de calor e períodos de inverno mais rigorosos. Assim, os impactos desse fenômeno transcendem as divisas territoriais, influenciando drasticamente na economia de uma região, sendo necessário o compromisso e atuação governamental conjunta entre diversos países. Como um dos grandes emissores de gases de efeito estufa, o Brasil possui a responsabilidade de reduzir essas emissões, de modo a cumprir o objetivo do Acordo de Paris de estabilizar o aquecimento da Terra em 1,5°C, ainda neste século.

CAPÍTULO 2: ANÁLISE DE DESENVOLVIMENTO PARA UMA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO

2.1 CONJUNTURA DE UMA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO

O desenvolvimento dos países capitalistas está atrelado ao progresso tecnológico que, ao mesmo tempo, modifica significativamente os padrões econômicos, sociais e tecnológicos. Os mecanismos usados nas atividades industriais são uma característica intrínseca à sociedade capitalista.

O aumento da complexidade e incrementos realizados nas atividades econômicas vão, gradativamente, impulsionando a geração de matéria e elementos poluentes. No processo produtivo, são utilizados recursos esgotáveis e renováveis e o cerne do desenvolvimento tecnológico é facilitar a troca de um recurso para o outro, transforma o meio ambiente em uma restrição relativa, superada pelo progresso científico e tecnológico.

Uma economia de baixo carbono é caracterizada pela redução e conscientização dos impactos no meio ambiente, ao mesmo tempo que promove o desenvolvimento econômico por meio do controle das emissões de gases do efeito estufa e ampliação do consumo de energias limpas afim de atingir ganhos de eficiência energética e de produtividade. Assim, a competitividade das empresas em um cenário onde existe ações voltadas para a criação de uma economia de baixo carbono está atrelada ao uso racional dos recursos naturais, na circularidade da produção e na sua matriz energética renovável. Com isso, a inovação dos processos produtivos e novas soluções tecnológicas capazes de reduzir o impacto humano sobre a terra estão no centro de uma economia de baixo carbono (TONETO; PINHO, 2015).

Melhorar a eficiência energética não é uma ação fundamental apenas para a redução da dependência energética de recursos escassos, mas também para o aumento da segurança no fornecimento de energia e de sustentabilidade (STERN, 2007). A eficiência energética está atrelada ao uso mais consciente e responsável dos recursos naturais durante o seu processo produtivo, e não estritamente ao quanto é possível produzir com o mesmo volume de recurso. A capacidade produtiva e a conservação dos meios de produção de energia estão relacionadas diretamente as evidências das mudanças climáticas, o que coloca a eficiência energética como um dos mecanismos chaves para cumprir os objetivos de redução de emissões de GEE globalmente.

A redução da dependência de combustíveis fósseis representa uma oportunidade para um salto na eficiência sustentável em todo os âmbitos do setor industrial. Entretanto, para os demais setores, a mudança do núcleo energético tem um custo significativo (WRI, 2020).

O redirecionamento do foco do desenvolvimento econômico para os problemas relacionados às emissões requer um amplo esforço tecnológico, além do conjunto de tecnologias já disponíveis no mercado e adaptações dos setores produtivos. Dessa forma, duas questões se colocam: a necessidade de aumentar o empenho no desenvolvimento de tecnologias limpas e nos mecanismos de difusão das tecnologias disponíveis (POPP, 2012). O padrão de desenvolvimento das tecnologias verdes não se difere do processo de inovação em geral. (TONETO; PINHO, 2015).

No caso brasileiro, a necessidade de desenvolvimento de uma economia de baixo carbono está atrelada ao papel relevante que a energia elétrica desempenha nos setores produtivos do país e as dificuldades econômicas e ambientais para a expansão do sistema elétrico menos intensivo em carbono, como as hidroelétricas. O uso mais eficiente da capacidade instalada para geração de energia é uma alternativa viável, seja pelo baixo custo de implantação ou pela ausência de novos impactos ambientais (EPE, 2007).

A eficiência energética é a maneira mais rápida, barata e sustentável de abastecimento de energia de baixa carbono em um país com extensão continental como o Brasil (UNCTAD, 2009). É estimado que 7 a 14% das emissões globais de gases de efeito estufa pode ser mitigada a custos negativos com medidas de conservação e eficiência energética (IPCC, 2007).

Os impactos sobre a economia brasileira durante a transição para uma economia de baixo carbono, mesmo que relevantes, seja por conta de restrições ambientais seja pelas mudanças tecnológicas, são reduzidos, quando comparados entre outros países, em função da natureza das emissões no Brasil e da matriz energética mais limpa. Entretanto, a posição brasileira é frágil quanto a desenvolvimento tecnológico, tendendo, na maior parte dos casos, a incorporar tecnologias desenvolvidas nos países mais desenvolvidos (TONETO; PINHO, 2015).

O segmento de geração energética possui um menor dinamismo tecnológico e um pequeno incremento de inovação já permitiria uma melhoria significativa na eficiência energética limpa, há um baixo custo. Além disso, esse processo levaria a uma retroalimentação dada a necessidade de inovação devido aos preços mais concorrentes (AREND, 2012). Os governos têm a possibilidade de implementar diversas políticas tecnológicas e programas de incentivo, como o financiamento de pesquisa e desenvolvimento, com o intuito de promover

processos mais eficientes energeticamente, acelerar a implementação e adoção de medidas mais responsáveis, assim como a instituição de padrões em setores e residências (AZAR, 2010, GELLER, 2005).

O investimento do setor privado em implementações tecnológicas de baixo carbono exige incentivos para tornar essa opção interessante e elegível, mesmo com a difusão dos princípios de sustentabilidade e responsabilidade social que se acentuaram nas últimas décadas. Se uma tecnologia de baixo carbono possuir um custo maior que a atual ou demanda maiores investimentos, dificilmente os setores produtivos estariam dispostos a optar por esse modelo. Assim, inserido neste contexto, a criação de mecanismos de mercado é uma opção para incentivar o investimento em tecnologias mais limpas e verdes, propiciando a redução de custos e favorecendo uma economia de baixo carbono economicamente eficiente e ecologicamente sustentável.

As políticas públicas baseadas em mecanismos de mercado para controle da emissão de GEE, como a taxação de carbono emitido, são uma condição necessária para que seja possível uma transição e criação de uma economia de baixo carbono. Somadas ao papel do governo, essas iniciativas têm o poder de definir normas regulatórias e incentivar pesquisas de desenvolvimento tecnológico para atingir resultados significativos e efetivos para a redução das emissões (UNDP, 2007). Assim, não é possível desassociar a intervenção governamental desse modelo econômico.

Há diversas formas que podem ser implementadas como mecanismos de mercado, como ações de implementação de impostos e ações que atribuem com o “direitos de propriedade”. Os “direitos de propriedade” são questões que envolvem a degradação ambiental e podem ser resolvidos, desde que seja apontado a quem pertence o direito sobre a utilização do recurso a ser degradado (COASE, 1960).

[...] a segunda solução implicaria privatização de recursos como a água, energia, ar etc. esbarrando no elevado custo decorrente dos processos de barganha que envolveriam milhares de agentes. A primeira pressupõe ser possível calcular valores a partir de uma curva marginal de degradação ambiental, sendo também de difícil execução, uma vez que os impactos ambientais evoluem de modo imprevisível (ROMEIRO, 2001, p. 11).

Não havendo custos de transações entre os envolvidos, a livre negociação entre os agentes deverá resultar em um nível ótimo de externalidades, neste caso, de emissões de gases de efeito estufa.

Desse modo, o desenvolvimento sustentável e as ações de incentivo a uma economia de baixo carbono estão alinhadas com o progresso técnico e como esse processo alcança os limites

ambientais. Entretanto, é necessária uma intervenção no processo de desenvolvimento econômico, para que seja possível conciliar a eficiência econômica com equilíbrio social, de forma a respeitar o meio ambiente. A escolha sobre o uso de certas tecnologias e a recusa de outras não está baseada somente nos critérios puramente econômicos e racionais, mas sim nos interesses dos setores estratégicos que se encontram na atividade tecnológica (FEENBERG, 1999). Assim, caso o mercado não se adapte a essas modificações ou não implementem quais iniciativas tecnológicas, caberá ao governo interceder pelo bem-estar comum, assumindo os custos da externalidade.

2.2 PROGRESSO TÉCNICO E OS LIMITES DA NATUREZA

O progresso técnico é o principal indutor do crescimento econômico e catalisador no processo de desenvolvimento de uma economia de baixo carbono. A ascensão do modo de produção capitalista proporciona um desenvolvimento cada vez mais expressivo do progresso técnico, ao mesmo tempo em que altera significativamente os padrões econômicos, sociais e tecnológicos. Assim, o crescimento econômico de uma nação está atrelado ao grau de divisão do trabalho, da acumulação de capital e do progresso tecnológico (SMITH, [1776], 1981).

A partir da Revolução Industrial, o processo produtivo está fortemente atrelado ao incremento e melhoria de maquinário e equipamentos na produção de mercadorias, o que acarreta uma maior exigência, tanto em qualidade quanto em quantidade, de serviços energéticos. A necessidade do estudo da ciência econômica na busca por soluções da problemática ambiental, no entanto, surge a partir da demanda crescente por performance do uso dos recursos naturais, como os combustíveis fósseis, estando em segundo plano as preocupações com relação aos problemas de poluição e das consequências do aquecimento global, que já são percebidos ao redor do globo terrestre.

O debate sobre as transformações causadas pela tecnologia e desenvolvimento econômico ganha destaque no início do século XX. É percebido que o investimento em novas combinações de produtos e processos produtivos refletem diretamente no desempenho financeiro, fazendo com que o empresário capitalista, além do seu papel de liderança econômica, também deverá ser referência tecnológica.

O comportamento empreendedor, com a introdução e ampliação de inovações tecnológicas e organizacionais nas empresas, constitui um fator essencial para as transformações na esfera econômica e seu desenvolvimento no longo prazo (SCHUMPETER, 1982 apud SANTETTI, 2015).

A corrente neoschumpeteriana estabelece o conceito de progresso tecnológico utilizado na literatura atual, sendo o condicionante para que empresas e governos tenham um bom desempenho na economia internacional frente às oscilações de mercado e ameaças da concorrência (FREEMAN, 1992). Essa constatação resultou na formulação de diversos modelos de inovação e projeções macroeconômicas.

O surgimento de métodos de patenteamento de produtos e diversificação dos investimentos públicos e privados na área tecnológica gera efeitos no mercado e abre o questionamento sobre a demanda que induz as práticas de inovação. Entretanto, é percebido um impasse metodológico quanto as teorias econômicas que procuraram estabelecer as relações entre pressão da demanda, oferta tecnológica e inovação. Essas teorias propõem modelos e têm sucesso na relação entre as variáveis utilizadas, mas não exploram como os processos de inovação surgem e desenvolvem, ou por quais motivos alguns são bem-sucedidos e outros não. Assim, a relação exógena entre ciência e a tecnologia e os modelos de influência sobre a demanda por atividade tecnológica são insuficientes para prever os impactos do progresso técnico (FLICHY, 1995 *apud* ANDRADE, 2004).

Na visão clássica, o crescimento econômico é consequência da geração contínua de excedente, catalisado pelo processo são o progresso técnico e a acumulação de capital. A forte dependência das atividades agrícolas ao longo dos séculos acabou por estimular as discussões da Economia Política, que questiona sobre o modelo de produção capitalista e sua capacidade reprodutiva, a fim de determinar as causas do crescimento econômico das nações.

Durante o período da Revolução Industrial, esse debate ressoou na Europa e nos demais continentes que tinham o cerne da sua economia na agricultura, o que traz clareza sobre a relação entre a principal atividade econômica da época e a natureza. A visão divina do meio natural, estimulada na Idade Média, é abandonada pelos economistas clássicos, que empregam uma percepção prática do meio natural.

Desta forma, a natureza é vista como um instrumento que auxilia o homem a conquistar objetivos, especialmente através da atividade econômica guiada pelo auto interesse (SANTETTI, 2015, p. 12).

O princípio da atividade econômica de um país está fundamentado no modo de uso da terra e dos demais recursos naturais, permitindo compreender que a ação humana não deve sobrepor as leis e limites da natureza. Na visão de William Petty (1623-1687), os recursos naturais são limitados e o seu uso racional é condição necessária para o pleno funcionamento do organismo social. Adam Smith (1723-1790) segue essa perspectiva de Petty, porém se difere

ao abordar os estudos sobre a filosofia moral, sendo o homem guiado pela própria razão e auto interesse.

Na visão de Smith, o progresso técnico é uma consequência da divisão do trabalho, que, por sua vez, depende do tamanho do mercado. Desse modo, o homem faz uso dos recursos naturais com o intuito de atingir a satisfação de suas necessidades, ou seja, para fins de consumo e geração de um excedente. Quando a inovação é eficiente, o empresário é beneficiado com um poder temporário de monopólio, que acaba minguando com o processo de concorrência. Para Foley (2003), o equilíbrio do lucro entre as linhas de produção é a condição necessária para que seja maximizada a taxa de lucro total da economia, ou seja, a riqueza da nação (SANTETTI, 2015).

David Ricardo (1772-1823), influenciado pela teoria malthusiana, que defende que a população cresce mais rápido do que a produção de alimentos, elevando o preço dos alimentos e pressionando para que os salários dos trabalhadores atinjam o nível de subsistência, cria a teoria da renda da terra. Tal teoria afirma que a liberdade e o direito da propriedade privada fizeram com que o homem priorizasse a ocupação de terras mais férteis para sua produção. Essas terras teriam o mesmo custo de produção para todos os terrenos com a mesma característica, assim como o mesmo preço de venda. A teoria de Thomas Malthus (1766-1834) aponta que, com o crescimento da população, a necessidade de produção de mercadorias se eleva, especialmente a de alimentos. Isso faz com que novas terras sejam cultivadas, não tão férteis quando as anteriores, o que aumenta o custo de produção e acaba sendo repassado para o preço e venda.

Assim como Smith, Ricardo pontua que a evolução da sociedade capitalista em dois desafios: a exaustão de recursos naturais e o desenvolvimento de novos métodos de produção por meio da criatividade humana (KURZ, 2010 *apud* SANTETTI, 2015). Assim, o progresso tecnológico para Ricardo é uma parte essencial para o desenvolvimento da sociedade moderna e a terra, assim como os recursos naturais, são reduzidos a insumos produtivos. Porém, diferente de Smith, Ricardo salienta que a terra, além de ser um insumo, é o principal limitador do crescimento econômico e da acumulação de riqueza.

Para Marx (1818-1883), o trabalhador não pode criar nada sem a natureza, que é o “mundo exterior sensorial”.

[...] vegetais, animais, minerais, ar, luz etc., constituem, sob o ponto de vista teórico, uma parte da consciência humana como objetos da ciência natural e da arte; eles são a natureza inorgânica espiritual do homem, seu meio intelectual de vida, que ele deve primeiramente preparar para seu prazer e perpetuação. Assim também, sob o ponto de vista prático, eles formam parte da vida e atividade humanas. Na prática, o homem

vive apenas desses produtos naturais, sob a forma de alimento, aquecimento, roupa, abrigo etc. A universalidade do homem aparece, na prática, na universalidade que faz da natureza inteira o seu corpo: 1) como meio direto de vida, e igualmente, 2) como o objeto material e o instrumento de sua atividade vital. A natureza é o corpo inorgânico do homem; quer isso dizer a natureza excluindo o próprio corpo humano. Dizer que o homem vive da natureza significa que a natureza é o corpo dele, com o qual deve se manter em contínuo intercâmbio a fim de não morrer. A afirmação de que a vida física e mental do homem e a natureza são interdependentes, simplesmente significa ser a natureza interdependente consigo mesma, pois o homem é parte dela (MARX, 1844, p. 24).

Assim, com a evolução da sociedade capitalista, ocorre o distanciamento entre o indivíduo e o meio natural.

O progresso técnico tem um papel central na obra de Marx, responsável por ser o estímulo à acumulação de capital e uma forma de superar as barreiras de crescimento identificadas por Ricardo. O incentivo à adoção de mudanças técnicas para superar os retornos decrescentes é uma característica inerente e institucional do capitalismo (FOLEY, 2003 *apud* SANTETTI, 2015). Assim, as inovações tecnológicas ocorrem para superar os limites impostos pela finitude dos recursos naturais.

A Revolução Industrial é marcada pelo avanço científico e técnico derivado da necessidade de atender população cada vez maior e mais rica. Do ponto de vista energético o abastecimento de energia por meio do tratamento do carvão mineral e o petróleo, combustíveis de origem fóssil, passaram a dominar a escala produtiva. O uso desses combustíveis é um marco na civilização industrial. Em 1861, o petróleo passou a ser a principal fonte energética da sociedade capitalista, ultrapassando o carvão, ganhando ainda mais importância a partir da produção em escala do automóvel.

A produção de mercadorias em larga escala levou a uma exploração cada vez maior de recursos naturais e fontes geradoras de energia, ao mesmo tempo em que o progressivo uso de energia proporcionou a variedade de produtos atual e o aumento do produto nacional dos países, a natureza e os ecossistemas também sofreram a influência deste processo. (KRAFT; KRAFT, 1978; YU; HWANG, 1984 *apud* SANTETTI, 2015). A crescente necessidade de exploração do meio ambiente é uma condição necessária ao padrão tecnológico capitalista, ignorando o risco de externalidades negativas inerentes ao processo produtivo. A poluição, a emissão de gases do efeito estufa e o processo de mudanças climáticas são problemas com que a sociedade passou a se defrontar em escala mundial devido ao processo de desenvolvimento econômico.

A reconstrução de países centrais após a II Guerra Mundial e a expansão industrial americana e soviética durante a Guerra Fria exigiram o aumento do uso de energia e de recursos naturais, provocando níveis nocivos de poluição nestes locais (SANTETTI, 2015).

As crises energéticas causadas pelos choques nos preços do petróleo em 1973 e 1979, ressaltaram e reforçaram as limitações desse recurso e iniciou o período de envolvimento público na problemática de uso de energia e do meio natural. Esse período é marcado também pela ascensão da Economia Ecológica, incitando discussões a respeito do *trade off* entre crescimento econômico e os limites naturais do planeta.

Os avanços e progressos tecnológicos, ao longo dos anos, têm se mantido fortemente relacionado aos interesses do estudo econômico, sendo relevante para a ordem econômica, como competitividade, pressões da demanda e razões para investimento (ANDRADE, 2004). Ocasionalmente, nas algumas décadas a OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) busca com a inovação promover a integração do setor produtivo e as áreas de pesquisa e conhecimento, visando abertura de mercados e o aumento da competitividade internacional, para a manutenção das taxas de crescimento econômico.

É possível notar que, desde a última década de 80, os países da OCDE alteraram o padrão de apoio à indústria, introduzindo medidas para integração entre a política de comércio internacional e a industrial e tecnológica. Assim, é possível criar condições de organização orgânica de desenvolvimento e implementação tecnológica, ao invés promover ações pontuais de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) (CASSIOLATO; LASTRES, 2000). No caso brasileiro, a partir dos anos 90, é possível perceber um investimento crescente em políticas de inovação, com a criação de fundos setoriais para financiamento de pesquisas e a formulação da Lei de Inovação, o que demonstra um alinhamento com tendência de incentivo a inovação tecnológica (TRIGUEIRO, 2002).

2.3 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E AS CORRENTES ECONOMICAS

Desde os choques do petróleo, na década de 1970, a preocupação com o uso mais eficiente e responsável de energia ganhou mais relevância com os especialistas comprovando que as reservas fósseis não estariam disponíveis e nem seriam baratas por muito tempo, assim como o seu uso não se daria sem prejuízo para o meio ambiente.

O pensamento econômico busca, através de seu arcabouço teórico, determinar formas eficientes e sustentáveis para a utilização dos recursos naturais. Os estudos da Economia Ambiental e da Economia Ecológica, juntamente ao Ecodesenvolvimento, estão em destaque na vertente da economia do meio ambiente, estimulando a análise de medidas mais acertadas e a criação de mecanismos de mercado atrelada a preservação ambiental. Nessas correntes, os

recursos naturais não representam, a longo prazo, um limite absoluto à expansão da economia (ROMEIRO, 2003).

A Economia Ambiental, que apresenta a teoria ambiental neoclássica, é criada a partir da necessidade de integrar ao *mainstream* econômico as considerações acerca das problemáticas ambientais, dado os altos níveis de poluição resultado do processo produtivo e a escassez de recursos naturais não renováveis, insumos durante a produção e resíduos descartados no final do ciclo de vida do produto (MULLER, 2007). Assim,

[...] em essência, os bens que são "consumidos" apenas fornecem certos serviços. Sua substância material continua existindo e, ou os mesmos são reaproveitados, ou são descartados no meio-ambiente (AYRES, 1969, p. 284).

Dois vertentes são traçadas a partir da teoria ambiental neoclássica, a teoria da poluição, relacionada a teoria do bem-estar e dos bens públicos, e a teoria dos recursos naturais. A primeira, indica a natureza como um bem público, considerando a poluição como uma externalidade negativa e leva em consideração os custos e benefícios atrelados na adoção de mecanismos de controle de poluição.

A poluição é uma externalidade, no sentido de que os agentes econômicos que a emitem impõem, geralmente de forma involuntária, custos a outros agentes econômicos – consumidores e a outras empresas. Uma empresa que despeja dejetos em um rio pode estar provocando doenças e perdas de dias de trabalho a indivíduos que usam as suas águas, e fazem com que outras empresas que também usam a água do rio incorram em custos de purificação. E quando maior o nível de produção da empresa poluidora, maiores os custos externos que provoca (MUELLER, 2004, p.111).

A citação anterior revela uma falha de mercado, dado que a solução natural do mercado, não é suficiente para estimular o ponto ótimo social. Assim, para reparo do sistema, se faz necessária a criação de mecanismos institucionais de controle como licenças e taxas sobre a poluição, como o Mercado de Crédito Créditos de Carbono, capazes de promover a internalização das externalidades no cálculo econômico dos agentes públicos e privados, a fim de responsabilizar e conscientizar.

Quanto à teoria dos recursos naturais, a análise se volta para o caráter finito dos recursos, que pode se tornar um obstáculo ao desenvolvimento e sustentação do sistema econômico. Por consequência, a teoria revela que o uso desses recursos naturais precisa ser definido por meio de um problema de alocação intertemporal da sua extração, determinada por meio da maximização dos ganhos obtidos com a extração. Para isso, poderá ser usada a Regra de Hotelling a qual diz que, em equilíbrio, o valor de uma reserva de determinado recurso deve crescer a uma taxa igual à taxa de juros (MUELLER, 2004).

Assim, a teoria neoclássica ambiental, base para a Economia Ambiental, define a natureza como neutra e passiva, vulnerável aos efeitos negativos do sistema e revela, em seus modelos, hipóteses que reversão desses impactos por meio da adoção de medidas políticas que internalizam tais externalidades.

Levando em consideração que o progresso econômico também é um processo físico, as relações físicas e químicas devem fazer parte da análise econômica, adicionando assim o elemento biofísico na problemática econômica. A Economia Ecológica é desenvolvida com uma abordagem interdisciplinar, que interage com as teorias econômicas e ecologistas para uma análise completa do ecossistema (PUGA, 2010).

O conhecimento sobre os princípios biofísicos é essencial para a compreensão e expectativas sobre as políticas de sustentabilidade no sistema socioambiental. As Leis da Termodinâmica, por exemplo, ganharam destaques para os economistas a partir do início da década de 1970, em razão da crise de petróleo, fundamentando a preocupação com o rápido crescimento econômico e a geração de energia de fontes não renováveis. A termodinâmica, define que a energia e a matéria no universo são constantes, não podendo ser criada ou destruída. Entretanto, o processo de degradação da energia é natural, mas vem sendo acelerado pelas ações humanas.

Assim, o estudo da Economia Ecológica visa fomentar a utilização dos recursos renováveis a uma taxa que não exceda seu ritmo de regeneração, levando em consideração a taxa de substituição desses por materiais não renováveis, assim como conscientizar sobre a capacidade limitada do meio ambiente de fornecer tais recursos e absorver os resíduos e poluição, resultado do sistema econômico.

O Ecodesenvolvimento, é uma nova vertente, criada como uma alternativa à bipolarização entre “crescimento zero” e o “direito de crescimento” (LAYRARGUES, 1997) e tem como consequência a redução das desigualdades sociais e da degradação ambiental (DEBASIANI; FARIA, 2021). A proposta do “crescimento zero” foi difundida no Relatório do Clube de Roma e flertou com as teses malthusianas quanto ao esgotamento dos recursos naturais e a poluição, que desempenham os mesmos papéis que a limitação das terras os rendimentos decrescentes na agricultura.

O codesenvolvimento seria uma estratégia de desenvolvimento, para assegurar aos habitantes de um determinado local o seu desenvolvimento, com a utilização de suas riquezas sem a depredação e a destruição do meio, voltado para as necessidades da população que referenciam a melhor qualidade de vida e o cuidado com a preservação

ambiental e, conseqüentemente, com responsabilidade para com as futuras gerações (DEBASIANI; FARIA, 2021, p. 157)

Basicamente, consiste na definição de um modelo econômico adaptado para regiões rurais de subsistência ou de pequena produção, baseado na utilização dos recursos locais sem comprometer a sua oferta. Além disso, exige o conhecimento das culturas, como a população se relaciona com o meio ambiente, os dilemas e dificuldades do cotidiano e o planejamento das estratégias de preservação. Os pilares dessa corrente são a eficiência econômica, justiça social e prudência ecológica, atrelados ao incremento tecnológico, visto o emprego da tradicional tecnologia de mão de obra intensiva e o capital intensivo (SACHS, 1986).

2.4 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

O processo de desenvolvimento de uma economia capitalista gera matéria poluente. Além disso, esse tipo de sistema capitalista atual, fomentado pela competitividade, estimula o progresso tecnológico, elemento fundamental para o crescimento econômico. A economia de baixo carbono se beneficia desse desenvolvimento tecnológico a fim de encontrar formas sustentáveis de eficiência energética, tendo em vista que o uso de energia está presente em toda a cadeia produtiva.

Melhorar a eficiência energética é fundamental para o atingimento das metas internacionais visando a proteção do nosso ecossistema. Entretanto, exige adaptações custosas para diversos setores da economia, sendo necessário aumentar os esforços em desenvolvimento de tecnologias limpas e tornar os mecanismos de difusão dessas inovações o mais barato e replicável possível, necessitando de incentivos governamentais.

Uma matriz energética e elétrica limpa e eficiente é a forma mais rápida e menos custosa de abastecimento de energia sustentável e de baixa carbono em um país com extensão continental como o Brasil. Tal expansão permite uma maior aderência ao uso de recursos renováveis, facilitando uma parte importante no processo da transição para uma economia de baixo carbono. Não obstante, a questão do progresso tecnológico ainda é um desafio no caso brasileiro, tendo em vista que na maior parte dos casos, o país incorpora tecnologias desenvolvidas nos países mais desenvolvidos.

O segmento de geração energética, não só por ser constante em todos os setores, mas também pela vulnerabilidade frente ao incremento tecnológico, onde um pequeno avanço permite uma melhoria significativa na eficiência energética, é o principal caminho para uma economia de baixo carbono. Todavia, caso os mercados não absorvam os custos de adesão para

um sistema menos intensivo em carbono, o governo deverá assumir a externalidade e propor medidas para sua implementação.

A Economia Política salienta a necessidade de progresso tecnológico como um formato de superar as limitações e finitude dos recursos naturais, sobretudo com a substituições de recursos nocivos ao ecossistema, como o uso de combustíveis fósseis. O arcabouço teórico das ciências econômicas não ignora o impacto negativo no meio ambiente, mas compreende que esse é um efeito intrínseco ao modelo capitalista é o catalisador para as mudanças tecnológicas.

Com o intuito de aprofundar e propor soluções, os estudos da Economia Ambiental, Economia Ecológica e Ecodesenvolvimento, se destacam e abrem caminho para uma discussão quanto ao uso eficiente e responsável dos recursos naturais.

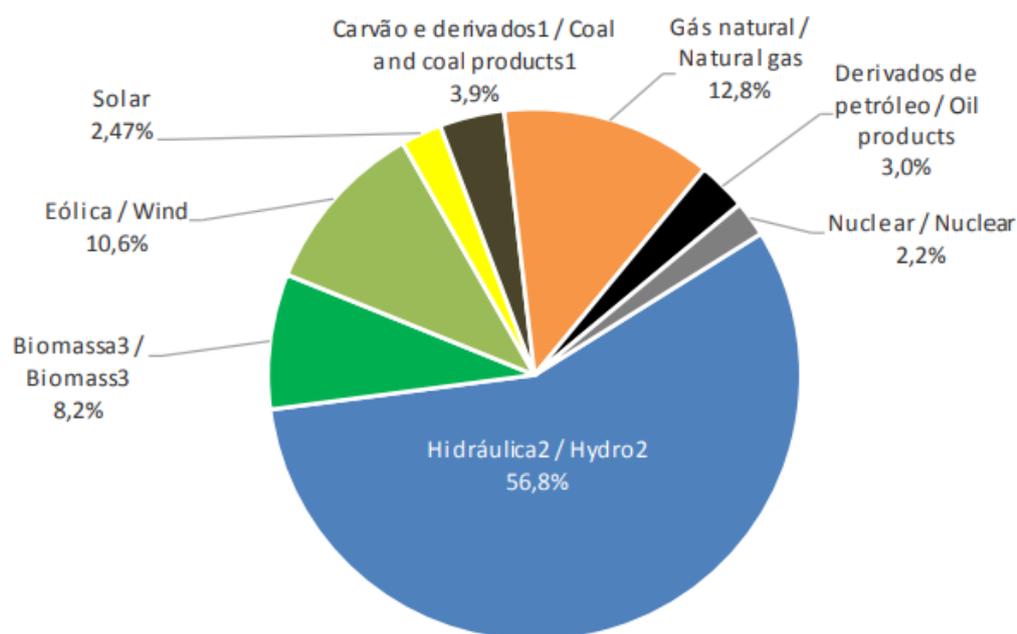
CAPÍTULO 3 - POSSIBILIDADES E DESAFIOS PARA UMA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO NO SETOR ENERGÉTICO BRASILEIRO

3.1 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

O desenvolvimento sustentável abrange as múltiplas dimensões dos conceitos econômicos, sociais, ambientais, políticos e culturais, e está fortemente relacionado com o crescimento populacional e expansão econômica, reforçando a necessidade de gerar energia a partir de recursos naturais. O uso predominante de fontes renováveis, contribuem para o alcance do desenvolvimento sustentável, visto que o aumento da população, bem como o aumento da renda, que altera os hábitos de consumo, aumenta o desperdício, e eleva os danos aos recursos naturais (LEITE, 1997).

Comparado com outros países, o Brasil apresenta um cenário positivo quanto a participação de fontes de energia renováveis em suas matrizes, principalmente na elétrica (ALBUQUERQUE, 2019). A matriz elétrica de um país é o conjunto de fontes ou recursos energéticos que são utilizados apenas para a produção de energia elétrica. Conforme pode ser validado na figura abaixo, a maior parte da matriz elétrica brasileira é composta principalmente por fontes renováveis, com destaque para as hidrelétricas que respondem por mais de 55% da geração de eletricidade no país. Em 2021, as fontes renováveis corresponderam por mais de 78% da matriz elétrica.

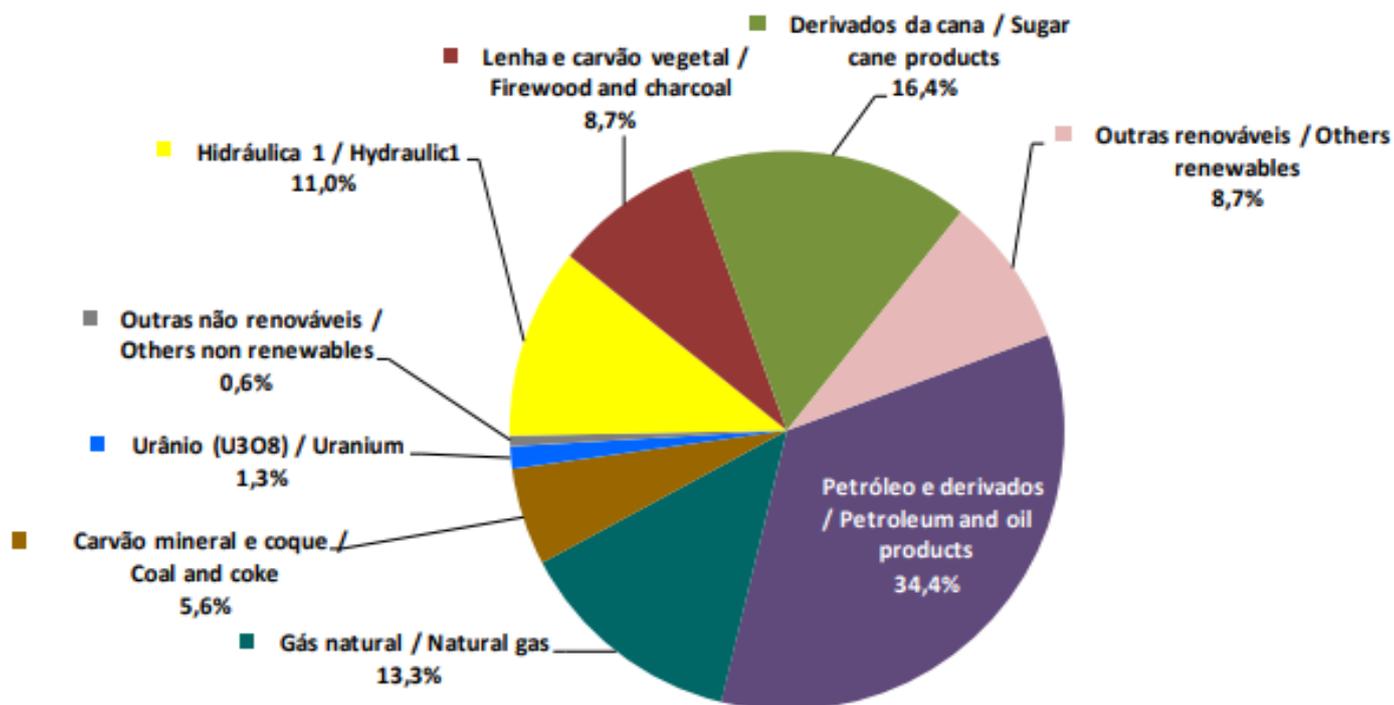
Figura 10 – Matriz Elétrica Brasileira no ano de 2021.



Fonte: EPE (2022: pag. 12)

Já a matriz energética é o compilado das fontes ofertadas para atender toda a demanda por energia, incluindo transporte, aquecimento e eletricidade. Assim, a matriz elétrica, são apenas os recursos utilizados para a produção de energia elétrica, está contida na matriz energética. A figura 11 mostra a oferta interna de energia, incluindo a importação de gás natural pelo governo brasileiro.

Figura 11 – Oferta interna de energia no ano de 2021 no Brasil.



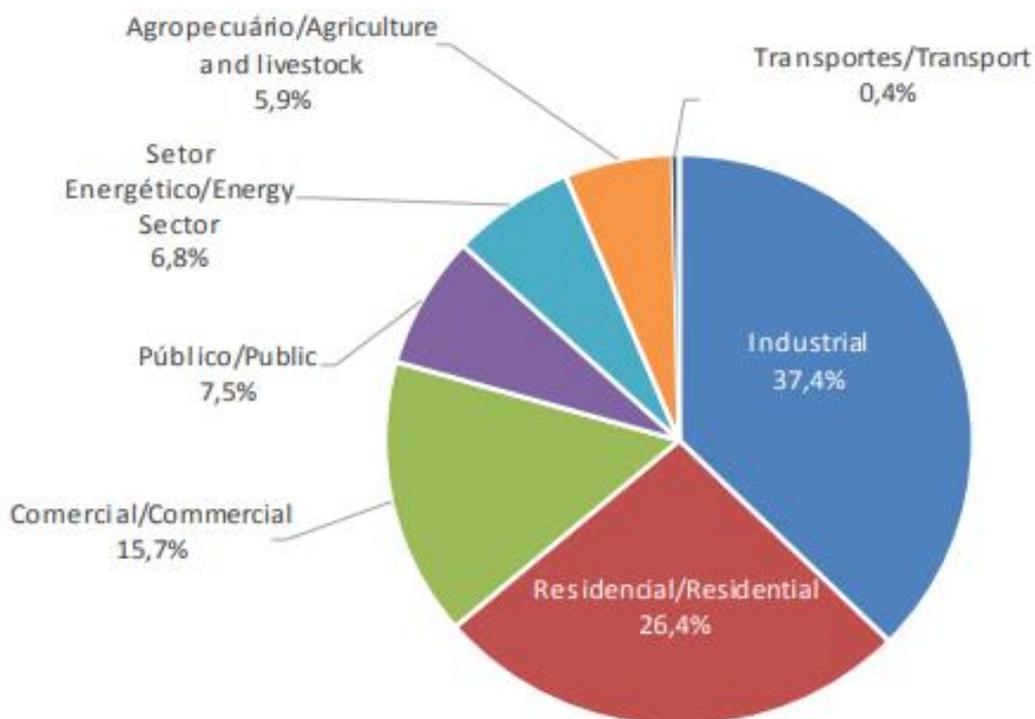
Fonte: EPE (2022: pag. 21)

O uso corrente da eletricidade teve início no Brasil em 1879, com a iluminação pública e com a instalação do primeiro serviço público de iluminação elétrica do Brasil e da América do Sul, e em 1883, abastecido pela primeira unidade produtora de energia no Brasil, que foi uma usina termelétrica instalada em Campos, no Rio de Janeiro. A Usina Marmelos Zero, a primeira hidrelétrica de grande porte no país iniciou suas operações em 1889 e em 1907, a Usina São de Fontes, a maior do mundo na época, deu início a entrada do capital estrangeiro no setor. Em 1920, já havia cerca de 300 empresas que distribuíram energia para 431 localidades no país (ESCELSA, 2015).

O aumento do uso de usinas hidrelétricas no setor energético foi uma iniciativa proposta nos planos de crescimento econômico em países com industrialização tardia, dada a forma de implantação, que aquece o setor de infraestrutura e proporciona a redução do preço da energia.

Conforme pode ser avaliado na figura abaixo, atualmente, o setor que mais consome energia é o industrial, reforçando a análise de que é imprescindível uma matriz energética sustentável e de baixo custo para o crescimento econômico e projeções expansão das atividades, como previsto na Figura 12.

Figura 12 – Participação setorial no consumo de eletricidade no ano de 2021



Fonte: EPE (2022: pag. 14)

A partir de 1948, teve início o plano de expansão da malha elétrica, apoiada por iniciativas estatais, dando origem, mais tarde ao SIN (Sistema Integrado Nacional). Em seguida, foi criada a Eletrobras, em 1961, vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME) e responsável pela execução da política de energia elétrica no país. Em 1984, entrou em operação a Usina de Itaipu, na época, a maior hidrelétrica do mundo.

A hidrelétrica também solucionou um impasse diplomático entre o Brasil e o Paraguai, que disputavam a posse de terras na região do Salto de Sete Quedas, área que hoje está coberta pelo lago da usina. A assinatura do Tratado de Itaipu ocorreu em 1973, durante a Ditadura Militar, que coincidiu com a primeira crise mundial do petróleo, aumentando a importância de sua instalação e a exploração de fontes de energia renováveis.

As grandes construções tiveram impulso no regime militar, que aderiram um modelo desenvolvimentista que buscava o progresso nacional mediante ao fomento de empresas estatais

por grandes obras públicas no setor de transportes, construção civil e de energia. A expansão do setor energético do país durante a Ditadura Militar pode ser observada com a construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, em 1965, da Usina Hidrelétrica de Tucuruí e da Usina Hidrelétrica de Itaipu, ambas em 1975, e com as Usinas Nucleares de Angra 1, de 1972, e de Angra 2, de 1976.

No Brasil, a participação de fontes não renováveis, a partir de gás natural, óleo diesel, carvão, nuclear e outras, representavam, em 2012, 13,2%; em 2013, 19,8%; em 2014, 21,3%. Já as fontes renováveis, a partir de hidráulica, biomassa e eólica, representavam, em 2012, 86,8%; em 2013, 80,2%; em 2014, 78,7% na matriz elétrica (ANEEL, 2014). Em 2021, as fontes não renováveis forem responsáveis por 21,9% da matriz. O aumento das fontes não renováveis nesse período pode ser justificado pelas alterações na estrutura dos investimentos, o que inclui a instalação de centrais termelétricas a gás natural por serem mais rápidas e baratas que as hidrelétricas (ESCELSA, 2015). As termelétricas são acionadas para suprimir a defasagem da geração de energia por meio das hidrelétricas em período de seca.

Quanto à distribuição de energia, o sistema elétrico brasileiro (SIN) possui grandes extensões de linhas de transmissão, com mais concentração nos mercados consumidores das regiões sul e sudeste, por serem mais industrializadas. A região do norte acaba por ser atendida de forma intensiva por pequenas centrais geradoras, a maioria de termelétricas a diesel (GALBIATTI, 2018).

O aumento no consumo percebido nos últimos anos ocorreu predominante no âmbito residencial (Figura 13), comercial e rural, estando o consumo industrial reduzindo gradativamente. Essa alteração se deve principalmente pela utilização de tecnologias mais eficientes e pelas medidas de racionalização de consumo postas em prática especialmente na década de 1990 (ESCELSA, 2015).

Figura 13 – Evolução do número de domicílios no Brasil e projeções futuras.



Fonte: EPE (2018: pag. 14)

Nos últimos anos, como resultado da aplicação do horário de verão em algumas regiões do país, alcançou-se uma redução média da demanda de energia elétrica de 4,5% e uma economia no consumo de energia elétrica agregada de 0,5%, considerada como ganho decorrente ou marginal, mas que não pode ser desprezado (MME, s/d).

Mesmo com a atenção governamental sobre esse tema e as tentativas de um consumo consciente de energia elétrica, o Brasil já enfrentou graves crises de abastecimento energético, sendo a mais emblemática o “apagão”, que ocorreu em 2003. O evento foi entendido como um erro no planejamento do governo, tendo em vista que as autoridades governamentais receberam várias advertências de técnicos e de empresários ligados ao setor elétrico (GRUN, 2005 *apud* GALBIATTI, 2018).

Em 2015, o Brasil enfrentou uma nova crise energética, que acarretou o aumento das tarifas de energia elétrica, por conta do uso de termelétricas, dada a seca registrada no período, resultando na redução do uso das usinas hidrelétricas. A recomendação dada pelos especialistas era criar um sistema de back-up para cobrir eventuais falhas nas hidrelétricas, que ocorrem devido à falta de chuva, o que reforça a necessidade de investimento público em soluções ambientalmente alternativas, como as usinas eólicas e solares (AMBIENTE ENERGIA, 2015).

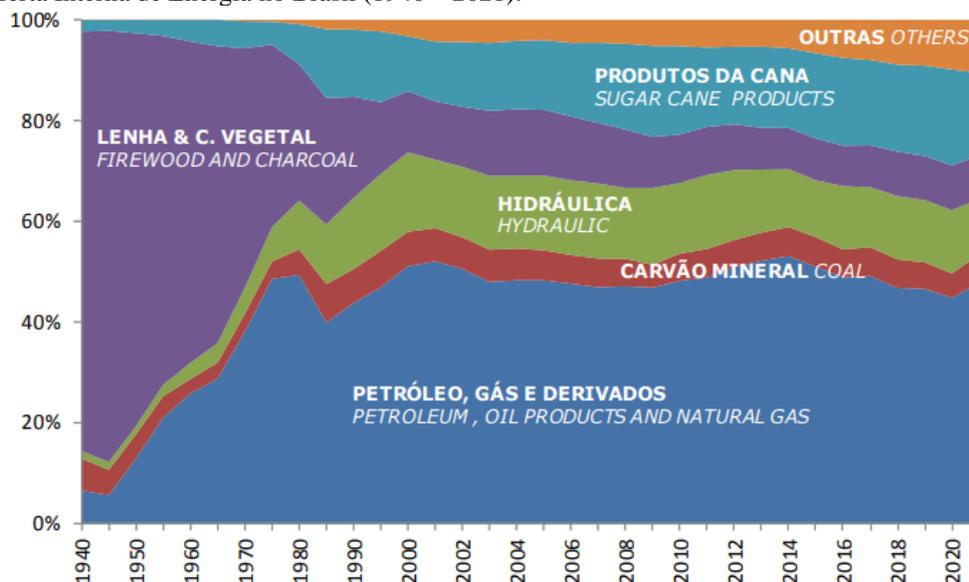
O sistema jurídico brasileiro, prevendo as possíveis crises futuras, apropria a energia elétrica como um bem ambiental, de acordo com a Constituição Federal. O artigo 20, inciso VIII, da CF/88, constata que os potenciais de energia hidráulica são bens da União e são assegurados aos demais entes federativos. A Lei 6.938/1981, em seu artigo 3º, inciso V, e a Lei 9.985/2000, em seu artigo 2º, inciso IV, estabelece que as águas interiores, superficiais e subterrâneas presente no território nacional são recursos ambientais e devem ser protegidos como tal.

Já a Lei 9.478/1997 compões as organizações sobre a política energética nacional e as atividades relativas ao monopólio do petróleo. O artigo 1º afirma que as políticas nacionais deverão ser voltadas para assegurar o aproveitamento racional das fontes de energia e incentivar ao desenvolvimento tecnológico, propiciando uma ampliação do mercado de trabalho e a valorização dos recursos energéticos, assim como assegurar a proteção do meio ambiente e conservação de energia.

Assim, fica claro a existência e manutenção de subsídios e regulações pública nesse setor, podendo o estado alterar significativamente o mercado e o preço desse bem. Um dos exemplos foi o incentivo a pesquisa e a criação de um mercado paralelo para a produção de bioetanol, subsidiado pela união, nas décadas de 1970 e 1980. Em 1984, 94% dos veículos

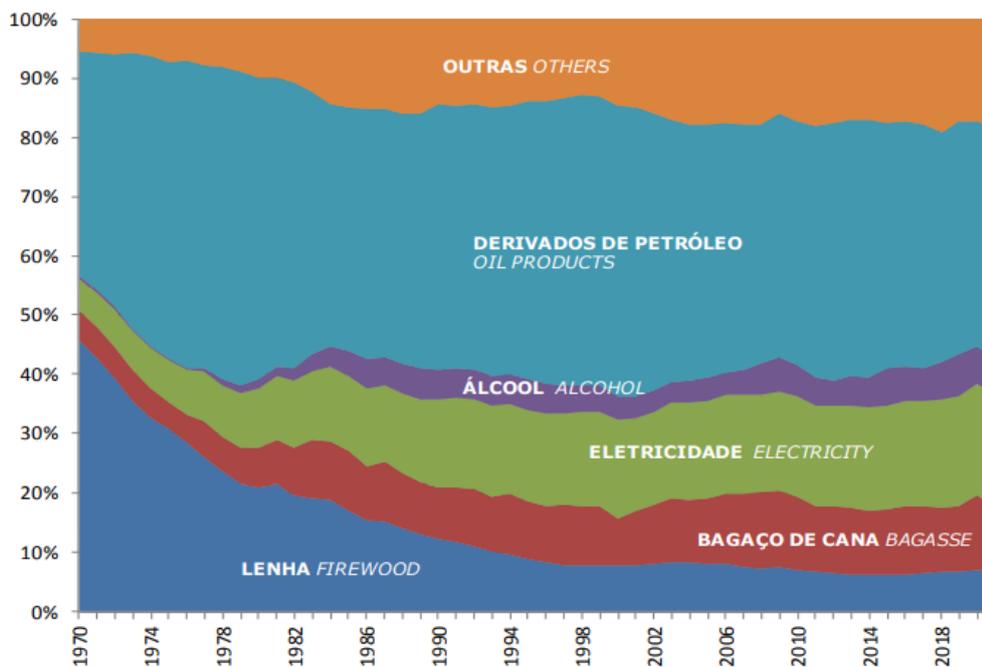
novos vendidos no Brasil eram movidos unicamente por etanol (KOHLHEPP, 2010). Como é possível notar na Figura 14, a década de 80 é marcada pela redução da oferta de petróleo e aumento da disponibilidade de combustível proveniente da Cana-de-açúcar, o que também refletiu no consumo final de álcool (Figura 15);

Figura 14 – Oferta Interna de Energia no Brasil (1940 – 2021).



Fonte: EPE (2022: pag. 35)

Figura 15 – Consumo Final por Fonte no Brasil (1970 – 2021).



Fonte: EPE (2022: pag. 25)

A partir da década de 2000 o Brasil aumentou os subsídios para a produção de energia solar e eólica, que coincide com o período de ascensão dessas fontes no país. Avaliando a Tabela 02, as fontes de energia não renováveis predominam na matriz energética do Brasil. No que tange a energia renovável, as principais fontes são a energia hídrica e a biomassa, reforçando o compromisso assumido pelo governo federal.

Tabela 02 – Produção de energia primeira no Brasil (2012 – 2021).

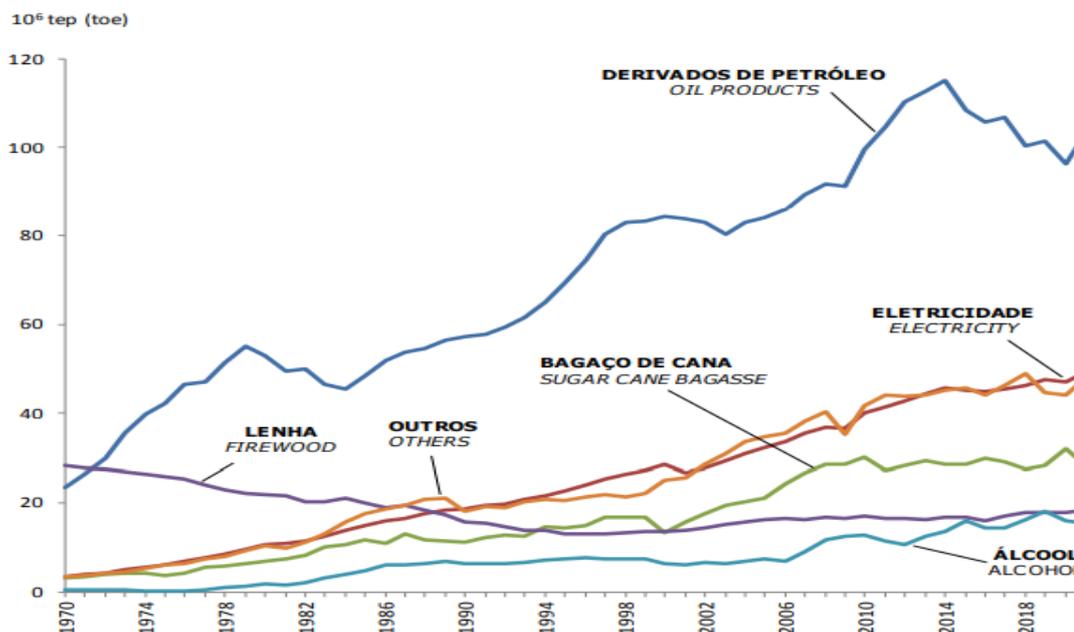
FONTES	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	10 ³ tep (toe) SOURCES
NÃO RENOVÁVEL	140.573	139.997	153.920	165.795	172.540	179.478	178.417	192.643	202.917	203.660	<i>NON-RENEWABLE ENERGY</i>
PETRÓLEO	107.258	104.762	116.705	126.127	130.373	135.907	134.067	144.303	152.635	150.386	<i>PETROLEUM</i>
GÁS NATURAL	25.574	27.969	31.661	34.871	37.610	39.810	40.560	44.398	46.299	48.462	<i>NATURAL GAS</i>
CARVÃO VAPOR	2.517	3.298	3.059	2.459	2.636	1.931	1.930	2.162	2.085	2.640	<i>STEAM COAL</i>
CARVÃO METALÚRGICO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<i>METALLURGICAL COAL</i>
URÂNIO (U ₃ O ₈)	3.881	2.375	681	512	0	0	0	0	206	343	<i>URANIUM - U₃O₈</i>
OUTRAS NÃO RENOVÁVEIS	1.343	1.592	1.814	1.826	1.921	1.831	1.860	1.780	1.693	1.829	<i>OTHER NON-RENEWABLE</i>
RENOVÁVEL	116.462	118.217	118.788	120.579	122.256	123.546	129.693	133.530	138.518	132.890	<i>RENEWABLE ENERGY</i>
ENERGIA HIDRÁULICA	35.719	33.625	32.116	30.938	32.758	31.898	33.452	34.217	34.089	31.202	<i>HYDRAULIC</i>
LENHA	25.683	24.580	24.936	24.900	23.095	24.423	25.527	25.725	25.710	26.083	<i>FIREWOOD</i>
PRODUTOS DA CANA-DE-AÇÚCAR	45.117	49.306	49.273	50.424	50.658	49.725	50.895	52.861	55.597	49.423	<i>SUGAR CANE PRODUCTS</i>
EÓLICA	434	566	1.050	1.860	2.880	3.644	4.169	4.815	4.906	6.217	<i>WIND</i>
SOLAR	0	0	1	5	7	72	298	572	924	1.441	<i>SOLAR</i>
OUTRAS RENOVÁVEIS	9.508	10.139	11.412	12.453	12.857	13.784	15.353	15.339	17.291	18.525	<i>OTHER RENEWABLE</i>
TOTAL	257.035	258.213	272.708	286.375	294.796	303.024	308.110	326.173	341.436	336.549	<i>TOTAL</i>

Fonte: EPE (2022: pag. 18)

A questão do suprimento de energia não está atrelada somente a proteção da natureza, mas também com a proteção dos interesses da população quanto ao preço, qualidade e oferta dos produtos. O consumo do serviço de energia é atrelado à expansão econômica do país, foco principal dos governos.

Conforme pode ser validado na figura abaixo, a tendência de consumo de energia progrediu durante as últimas décadas, assim como o uso dos derivados do petróleo, que correspondem por boa parte do consumo da matriz energética brasileira, utilizado tanto no processo produtivo de mercadoria quanto no setor de transporte.

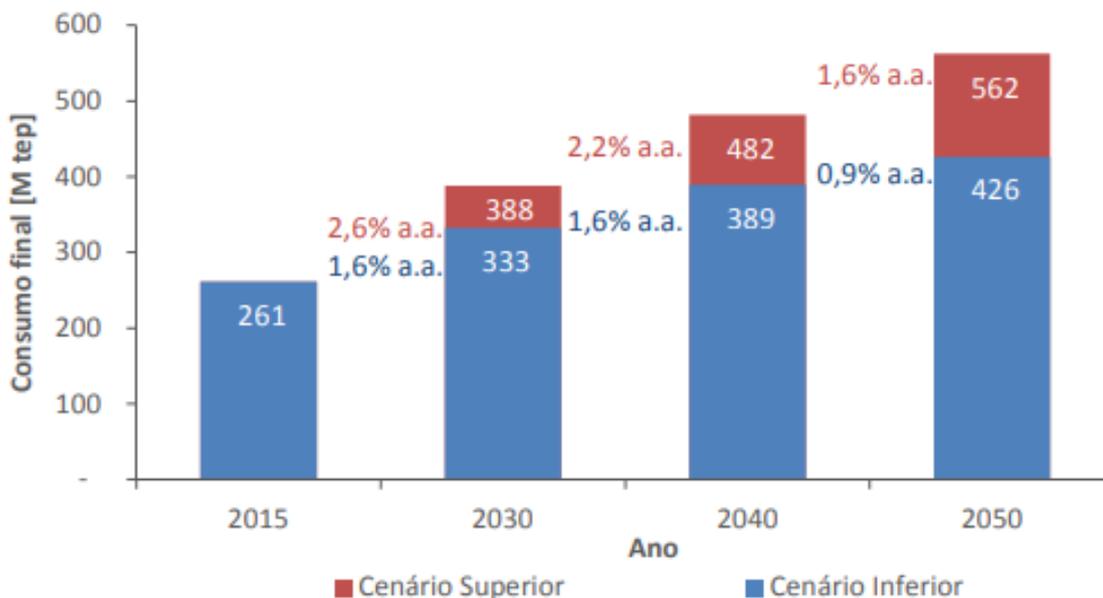
Figura 16 – Consumo final por fonte energética no Brasil (1970 – 2021).



Fonte: EPE (2022: pag. 23)

Analisando a demanda de energia, no período 2015-2050, o cenário de crescimento inferior apresenta taxa de crescimento médio de 1,4% a.a. Já na trajetória superior, o crescimento médio é de 2,2% a.a., chegando em 2050 com o dobro do consumo final do ano base (Figura 17), com destaque para o avanço mais acelerado nos primeiros quinze anos, com taxa média superior a 2,5% a.a (MNE, 2018).

Figura 17 – Projeção do consumo final por cenário no Brasil no período 2015 a 2050.

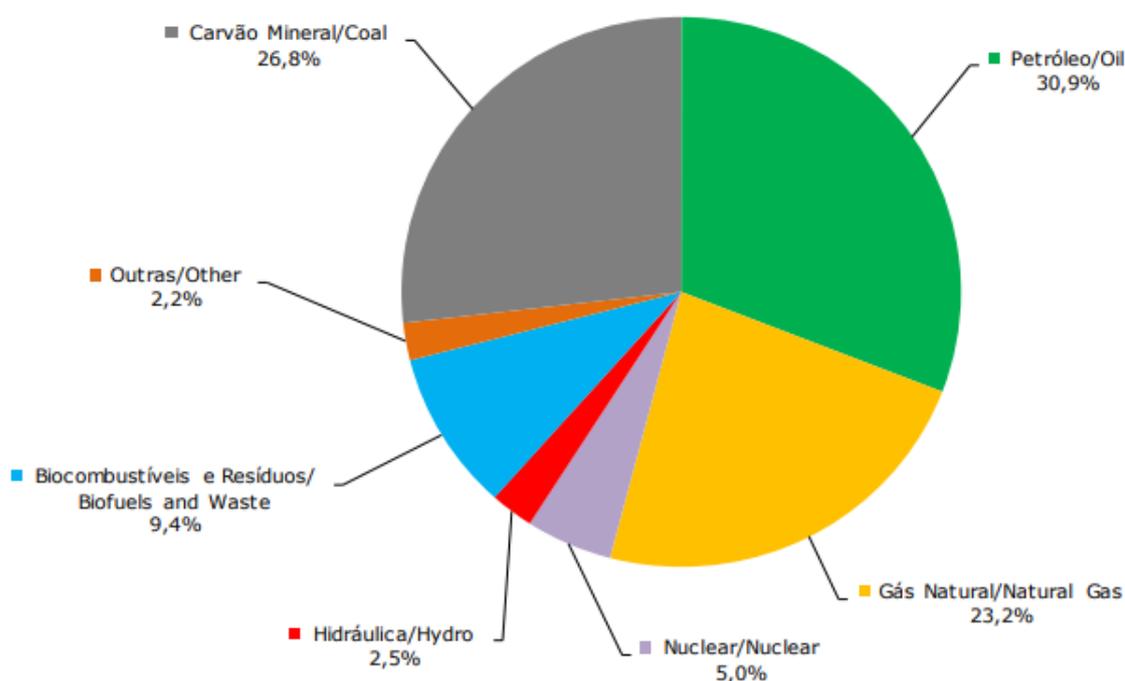


Fonte: MNE (2018: pag. 12)

3.2 FONTES NÃO RENOVÁVEIS

Atualmente a maior parte da demanda mundial de energia, conforme pode ser validado na figura abaixo, é suprida por meio da utilização de combustíveis fósseis, originadas da decomposição de organismos animais e vegetais durante milhares de anos em camadas profundas do solo ou do fundo do mar. Sendo os principais combustíveis fósseis o petróleo, o gás natural e o carvão. No ano de 2019, 85,9% da energia ofertada na cadeia mundial são de fontes não renováveis, conforme demonstrado na figura abaixo.

Figura 18 – Oferta de energia mundial por fonte no ano de 2019 no Brasil.



Fonte: EPE (2022: pag. 184)

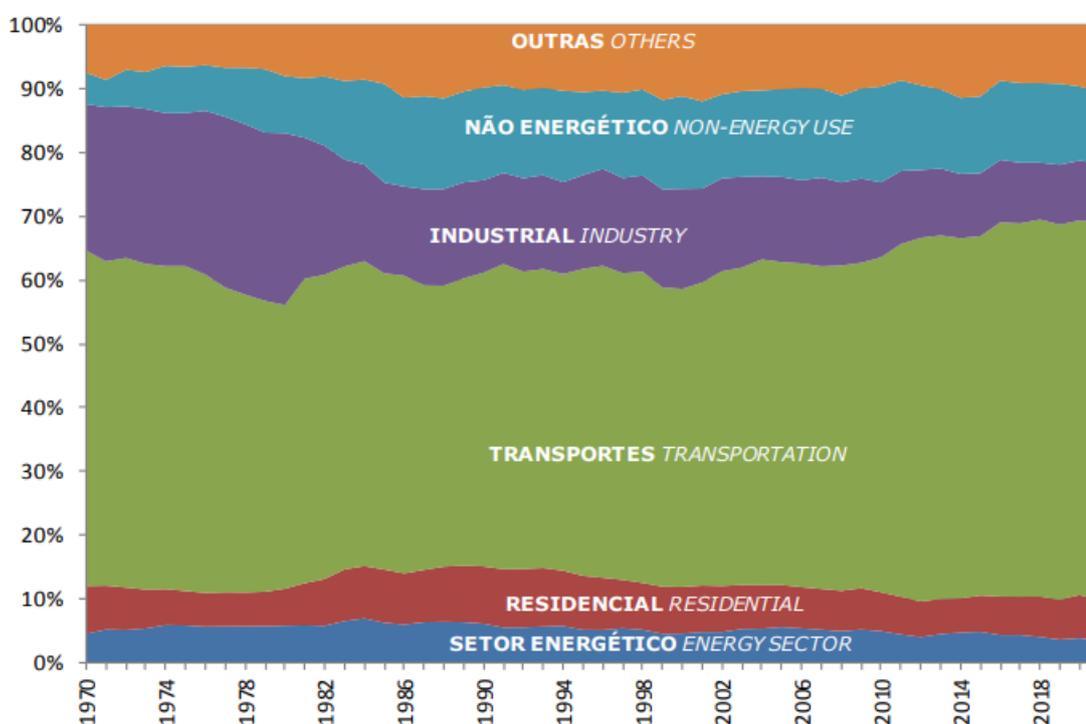
O uso de combustíveis fósseis foi intensificado a partir do século XVIII, com a Revolução Industrial. O primeiro combustível fóssil que se tornou a fonte de energia mundial mais importante foi o carvão mineral, utilizado na queima de maquinários a vapor e em locomotivas e navios.

As crescentes inovações tecnológicas, a partir da segunda metade do século dezoito, intensificaram a produção industrial, altamente dependente das fontes primárias de energia fóssil como o carvão, o que ocasionou um nível de poluição do ar capaz de comprometer os mecanismos regulatórios da atmosfera (PIRES, 2005, p. 2).

As fontes de energia não renováveis são responsáveis por grande parte da emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, dado que o processo de transformação em combustível

dessas fontes é feito pela queima, liberam gases poluentes, que impactam a saúde e o meio ambiente. Esses recursos são utilizados em caldeiras e motores, onde a energia armazenada nas suas ligações químicas é convertida em formas de energia útil, tanto elétrica, nas termelétricas, quanto cinética, como no caso dos veículos. No caso brasileiro, o setor de transporte é responsável por 13% do total de emissões de CO₂, sendo 90% dessas emissões provenientes da malha rodoviária (ANFAVEA, 2021). Além disso, é o setor com maior consumo de combustíveis fósseis, conforme apresentando abaixo.

Figura 19 – Composição Setorial do Consumo de Derivados de Petróleo no Brasil (1970 – 2021).



Fonte: EPE (2022: pag. 31)

A indústria automobilística mundial já prevê revisões e inovações no seu setor de eficiência energética, incentivando o consumo de fontes renováveis. O setor prevê uma paridade do modelo eletrificado (xEVs) frente ao modelo tradicional (flex, podendo ser utilizado tanto a Gasolina C quanto Etanol), para veículos leves e populares, para 2035. Os empresários destacam que uma redução no preço dos combustíveis sustentáveis ou uma redução mais acelerada dos custos para fabricação de baterias aceleraria a adoção do modelo xEVs e diminuiriam o preço de venda de carros híbridos e elétricos (ANFAVEA, 2021).

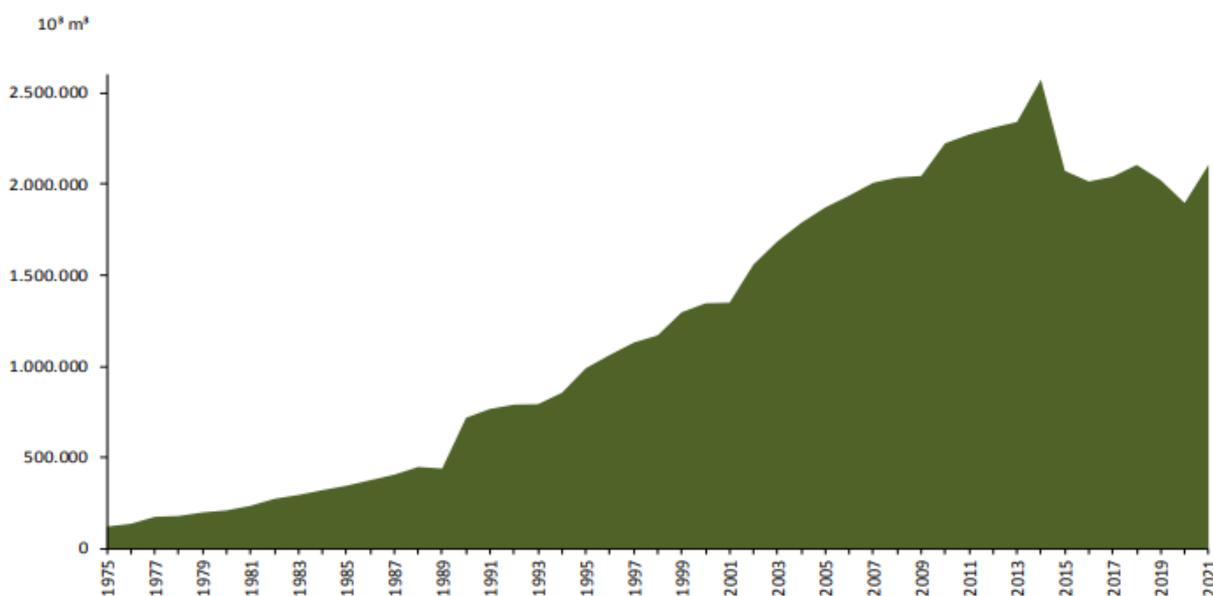
A estimativa da ANFAVEA para a produção de veículos leves e de passeio, majoritariamente adquirido pela população para uso rotineiro, é ter, em 2035, 32% da frota

comercializável no modelo xEVs, o que responderia à 32% dos veículos, entorno de 1,3 milhões de automóveis no cenário brasileiro. No ano de 2020, esse modelo representou 1% do total vendido. Para o 2030, está projetada o término da fabricação de veículos que utilizam exclusivamente gasolina e a redução de 4% (2020) para 2% de veículos a base de Diesel (derivado de petróleo) para o final desse mesmo ano.

O petróleo e o gás natural ocorrem em regiões denominadas pelos geólogos em "bacias sedimentares", na região *Onshore* brasileira, ou seja, na plataforma continental, onde há superfície terrestre mais baixas e depósito de matéria orgânica. No Brasil, o petróleo tem sido produzido principalmente no litoral da região Sudeste, em uma região *Offshore*, ou seja, nas "bacias sedimentares marítimas", local de grande profundidade, onde, após a camada de sal no subsolo marinho, é encontrado o petróleo do "Pré-sal" e gás natural.

A descoberta dessa nova camada em 2007 aumentou as reservas conhecidas pelo governo brasileiro, assim como a expectativa de extração, conforme apontado na figura abaixo.

Figura 20 – Reservas provadas de petróleo em território nacional (1975 – 2021).

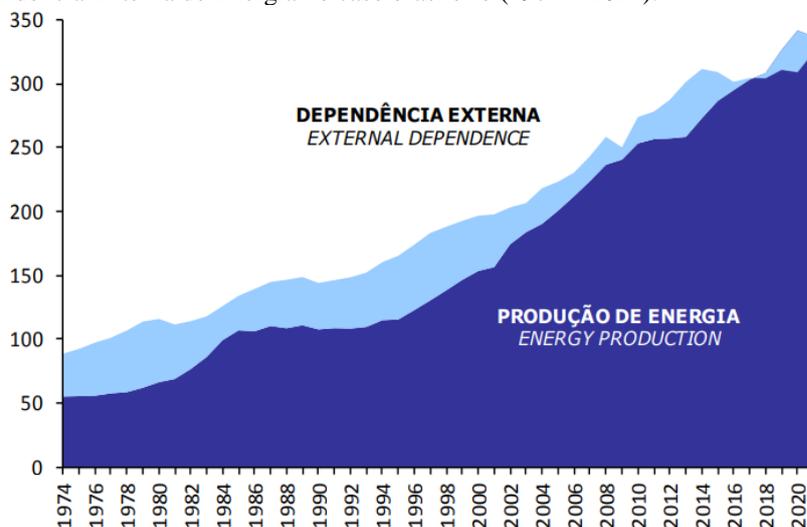


Fonte: EPE (2022: pag. 124)

Na produção *Onshore*, é necessário usar um processo de elevação artificial, um bombeamento mecânico, para extração do elemento para a superfície, que não é tão produtivo quanto ao encontrado em sedimentos marítimos, mas bastante eficiente devido ao menor custo quando comparado com a extração *Offshore*. No caso da extração em alto mar, que representam 90% da produção de petróleo brasileira, uma grande infraestrutura é exigida, tanto no momento de retirada quanto no refino. Devido ao elevado custo de refino e de exploração, o Brasil exporta

combustíveis fósseis, derivados de petróleo e gás natural, conforme apresentado na figura abaixo.

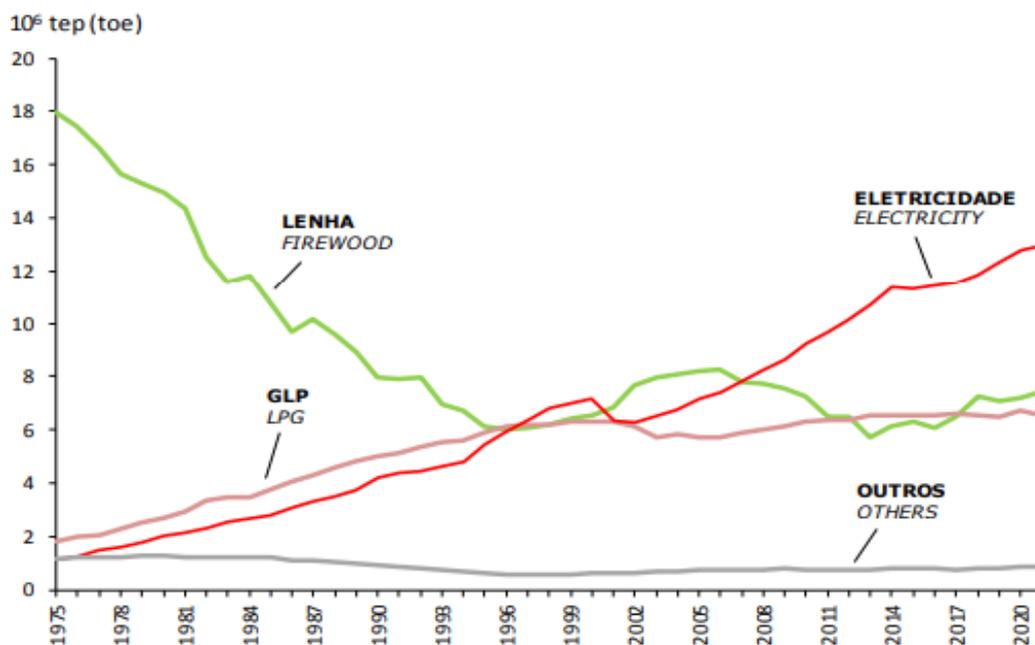
Figura 21 – Dependência Externa de Energia no caso brasileiro (1974 – 2021).



Fonte: EPE (2022: pag. 99)

No Brasil, o gás natural é usado como fonte de energia térmica, entregue via tubulação em grandes capitais para consumo doméstico e industrial, assim como o GLP, gás liquefeito de petróleo, comercializado em tubos. A forma de consumo de energia em residências é demonstrada na figura abaixo. Conforme pode ser validado, o uso crescente de GLP reduz a necessidade de uso de carvão mineral (lenha), que gera uma produção de GEE maior na sua queima.

Figura 22 – Consumo final de energia no setor residencial de 1975 a 2021 no Brasil.

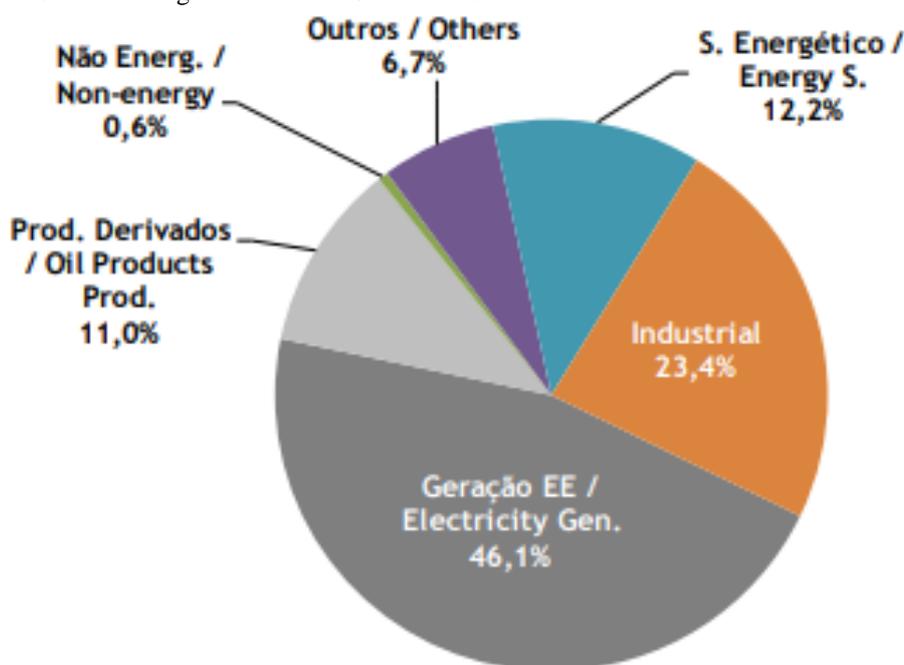


Fonte: EPE (2022: pag. 77)

O gás natural é uma combinação de diferentes tipos de gases, sendo o principal o metano (CH₄), que se forma a partir da deterioração de plantas e dos animais e é encontra em rochas abaixo da superfície terrestre. Estes recursos foram formados há milhões de anos, a partir do depósito de matéria orgânica e submetidas a condições especiais de temperatura e pressão.

Assinada em 1993, Carta de Intenções sobre o Processo de Integração Energética entre Bolívia e Brasil firmava o compromisso entre Bolívia e Brasil para oferta e demanda por gás natural extraído a região boliviana, iniciando a sua operação em 2010. Durante esse período, foi necessária uma grande logística para implementação do gasoduto. O trajeto de instalação é estratégico, passando por Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, área responsável por 71% do consumo energético brasileiro e 50,3% da produção industrial no PIB brasileiro (CNI, 2021). Abaixo é apresentando o destino de uso da importação e produção de gás natural no Brasil, predominando a utilização no uso de termelétricas e no setor industrial.

Figura 23 – Consumo de gás natural em 2021 no Brasil.



Fonte: EPE (2020: pag. 17)

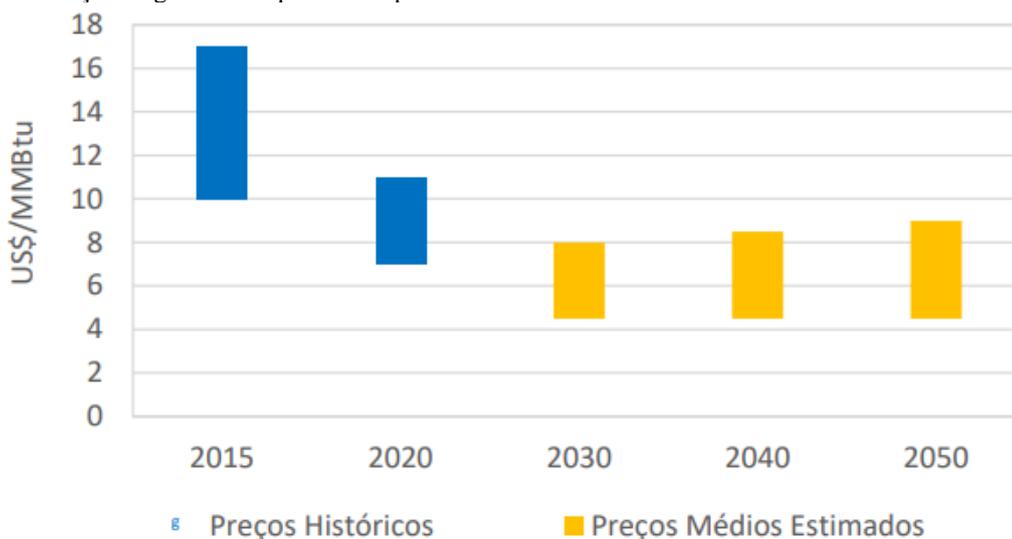
Os possíveis desastres naturais na extração e tratamento dos combustíveis fósseis são um risco para a população regional e nacional. Em 2008, as enchentes acarretaram o rompimento do gasoduto no Vale do Itajaí, em Santa Catarina. Os equipamentos meteorológicos não estavam aptos para detectar as modificações do solo e a explosão deixou

as cidades do entorno sem abastecimento. Isso reforça a necessidade do avanço tecnológico no complexo setor de energia e controle de externalidades.

A crise econômica que se alastrou no Brasil em 2014 iniciou um processo de renovação do mercado de gás no território nacional. Em 2015, a Petrobras começou a reduzir o investimento em ativos do setor de gás natural e reduziu a participação brasileira no mercado. Em 2019, a criação do programa Novo Mercado de Gás reestimulou os investimentos e redução do preço de gás (MME, 2020).

O Plano Nacional de Energia (PNE 2050) visa promover a elevação nacional da produção de petróleo e gás natural. Com o estímulo nacional é esperado uma redução nas tarifas de transporte, e na margem de distribuição desses insumos, além de uma maior eficiência tributária, fazendo com que os custos de gás natural para clientes finais, por exemplo, caiam, conforme pode ser validado na figura abaixo, e se tornem mais atrativos para a indústria.

Figura 24 – Preços de gás natural praticados para consumidores industriais no Brasil.

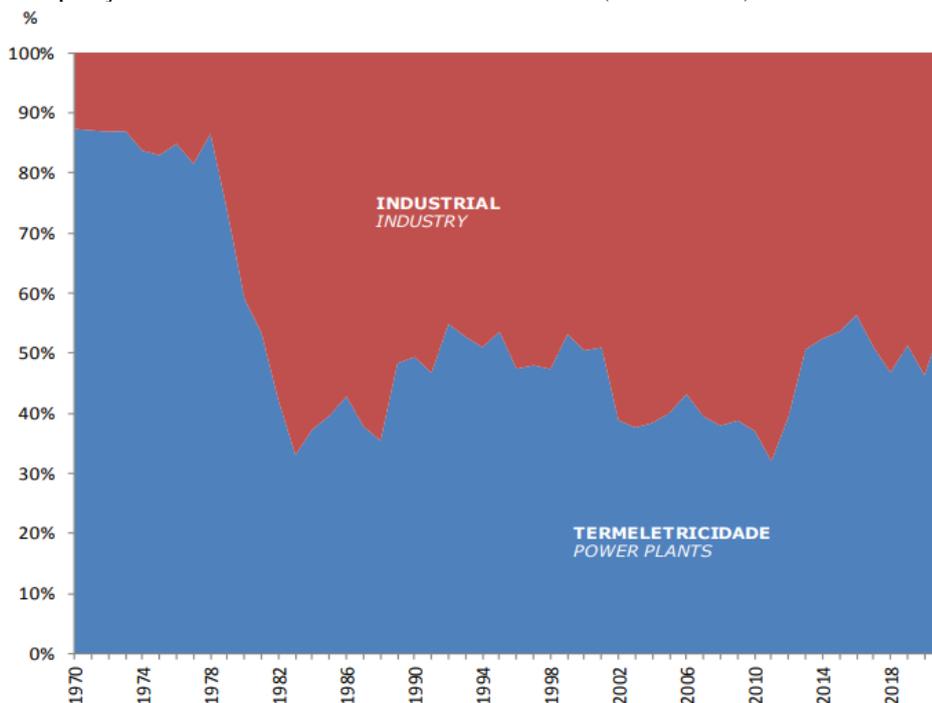


Fonte: PNE (2020: pag. 32)

As reservas de gás natural no território brasileiro estão alinhadas com essas expectativas, tendo potencial de extração. Entretanto, o custo de implementação de um novo gasoduto que faça a distribuição desse insumo por toda a extensão territorial dificulta a viabilidade do projeto e não o torna tão atrativo para empresas privadas. Além disso, o prazo de retorno de investimento nesse meio é de longo-prazo, necessitando de um forte apoio governamental e incentivos fiscais ao longo da execução do projeto.

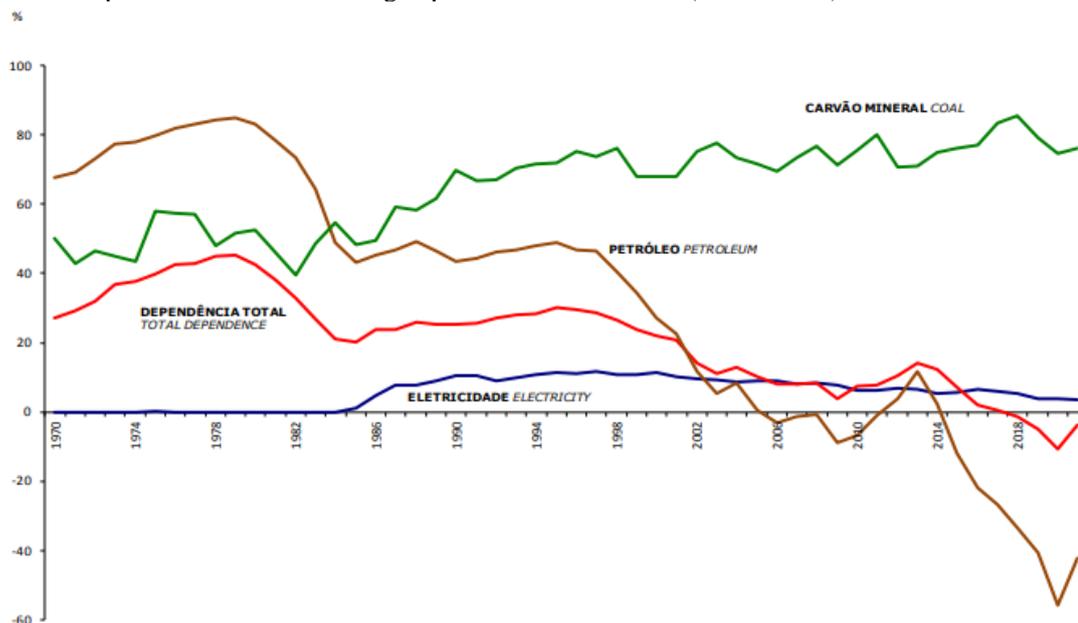
Já o carvão mineral tem perdido espaço para as demais fontes, principalmente pela pouca eficiência dos insumos em território nacional. Majoritariamente, é importado para uso na siderurgia e termelétricas, conforme demonstrado na Figura 24.

Figura 25 – Composição Setorial do Consumo de Carvão no Brasil (1970 – 2021).



Fonte: EPE (2022: pag. 32)

Figura 26 – Dependência externa de energia quanto a fonte no Brasil (1970 – 2021).



Fonte: EPE (2022: pag. 30)

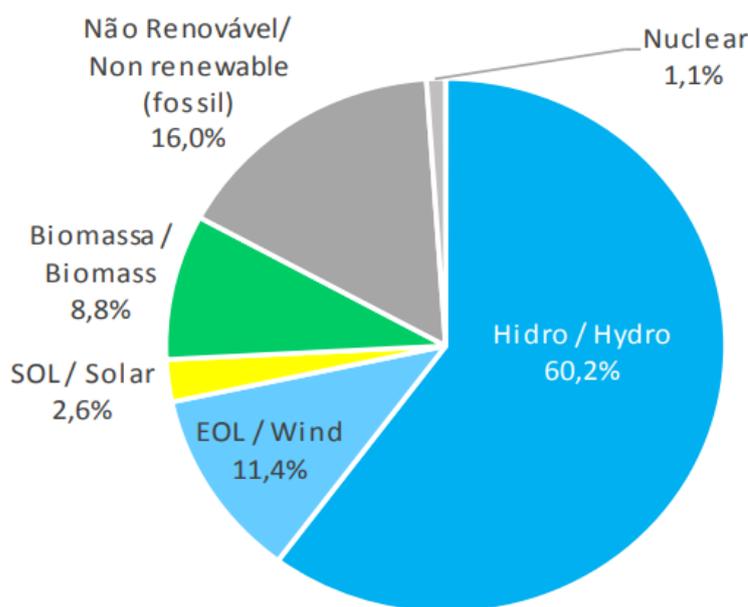
O Plano Nacional de Energia prevê um incentivo contrário para utilização dessa fonte, estimulando a sua substituição da produção e exportação de carvão, estabilizando o uso em 4,4% do total do consumo na matriz energética (EPE, 2022). Além disso, a exportação de carvão mineral é a maior dependência energia externa do país (Figura 25).

3.3 FONTES RENOVÁVEIS

O caráter dos recursos naturais no território brasileiro, ou seja, o recuso hídrico em abundância, solo fértil e agricultável, vento e sol em todas as estações, permite um certo grau de vantagem relativas que possibilitam a constituição de uma matriz energética baseada em recursos renováveis. Conforme apresentado na Figura 10, o problema da matriz energética brasileira não é a utilização de combustíveis fósseis para geração de eletricidade no panorama atual, tendo em vista que as renováveis representam mais de 78% da produção de eletricidade.

O fomento do uso de fontes renováveis no Brasil tem como propósito principal a diversificação e descentralização para outras além da hídrica, a fim de diminuir os impactos sociais e ambientais envolvidos, assim como reduzir a vulnerabilidade frente as mudanças climáticas e as oscilações de volumetria de chuva. Assim, o Plano Nacional de Energia visa a segurança energética e a independência de importação de insumos, aumentando a capacidade instalação das fontes já utilizadas, predominando novamente a fonte hídrica, conforme demonstra a figura abaixo.

Figura 27 – Participação das fontes na capacidade instalada no Brasil em 2021.



Fonte: EPE (2022: pag. 15)

É estimado que 70% do potencial hídrico brasileiro ainda não explorado estão localizados nas bacias hidrográficas Amazônica e Tocantins. As Usinas Hidrelétricas instaladas no território nacional possuem uma maturidade em relação ao funcionamento técnico, porém estão próximas do seu ponto máximo de eficiência. Muitas delas possuem um reservatório de acumulação, que permite regular a vazão de afluentes e transferir água de períodos úmidos para secos, por exemplo. Por ser um modelo de geração de energia de baixa emissão de carbono, a expansão energética utilizando hidrelétricas é uma forma de prevenção climática e resposta à crise ambiental (ANDRADE; MATTEI, 2013).

Entretanto, a instalação de um hidrelétrica dá início a diversos questionamentos sobre novos impactos ambientais e sociais. Como consequência da instalação, o comprometimento das atividades econômicas que se estabelecem próximo as barragens, redução do fluxo de água em afluentes, desmatamento e remoção da vegetação nativa e o deslocamento de populações próximas ao projeto são exemplos de “contrapartidas” para a construção de hidrelétricas.

Além dos pontos levantados, a partir de 1990 surgiram estudos comprovando a emissão de metano (CH₄), que contribui para o Efeito Estufa, gerados a partir da biomassa concentrada com reservatórios das usinas.

[...] quanto maior a profundidade da represa mais elevada se torna a concentração de metano, cujo potencial de aquecimento global é 21 vezes maior do que o dióxido de carbono (ANDRADE; MATTEI, 2013, p. 20).

Além disso, o padrão de construção, que envolve o planejamento, licenciamento e operação das barragens ao longo das últimas décadas viola os direitos humanos quando não realiza um estudo prévio da população local, o que acentua a crescente desigualdade social no país. A Secretaria de Direitos Humanos, em 2011, ressaltou a omissão pública quanto a questões socioeconômicas de população vulnerável nas regiões de assoreamento e de instalação das usinas, não prestando o auxílio e restituições necessárias.

Quanto as questões de preservação ambiental, um caso emblemático se deu a partir da construção da Usina Hidrelétrica Barra Grande, que inundou uma região de floresta primária de araucária, entre os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. A partir disso, passou a constar na Lei de Crimes Ambientais que

Elaborar ou apresentar, no licenciamento, concessão florestal ou qualquer outro procedimento administrativo, estudo, laudo ou relatório ambiental total ou parcialmente falso ou enganoso, inclusive por omissão.

A Usina de Belo Monte no estado do Pará é a maior usina 100% brasileira, teve a sua 18ª e última turbina inaugurada em 2019. A Usina faz parte das poucas instaladas no país que não possui um reservatório, o que faz com que uma geração significativa seja possível somente nos períodos sazonais de chuva, de dezembro a abril. Além da construção não seguir com o projeto aprovado pelo governo federal, que continha a construção de um reservatório de 1.200km², a bacia do rio Xingu era uma área preservada pelo povo indígena, região onde viviam mais de 20 etnias, que foram afetadas diretamente pela construção da barragem. Diversos pesquisadores vinculados a universidades brasileiras analisaram o projeto original e ressaltaram sobre a inviabilização do empreendimento.

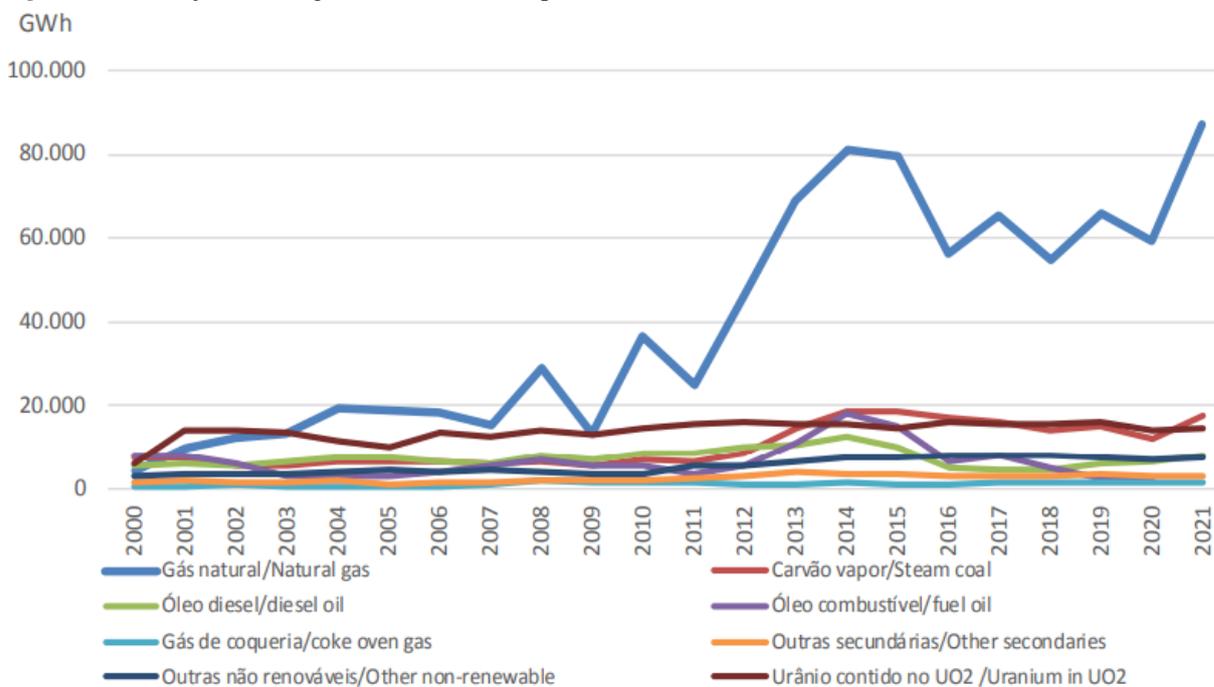
Enquanto as Usinas Hidrelétricas possuem um insumo básico, as Termelétricas são acionadas por meio de diferentes combustíveis, como o gás natural, a biomassa e carvão mineral, e irá cumprir diferentes papéis, como de geração contínua ou geração complementar, dependendo do modo de produção. O uso e implantação de termelétricas é estratégico no setor elétrico brasileiro, pois é acionado em período de escassez hídrica e fomenta a geração de energia solar e eólica, que podem ser usadas como catalisar no processo de produtivo. Além disso, as Termoelétricas também podem ser ativas por recursos de origem residual, como o bagaço de cana, os resíduos da indústria de papel e celulose, resíduos de madeira e resíduos agrícolas. Assim, ao mesmo tempo em que se garante um maior aproveitamento dos recursos disponíveis, evita-se a disposição inadequada desses materiais.

Entretanto, historicamente, os combustíveis de fontes não renováveis são os mais amplamente empregados nas Termelétricas, sendo o gás natural o principal combustível utilizado (31,98%), seguido do óleo diesel (11,49%), óleo combustível (9,98%) e carvão mineral (31,98%), o que justifica o crescente aumento de combustíveis fósseis na matriz elétrica brasileira. Conforme demonstrado na Figura 28, desde 2020, período de início da atual crise hídrica, a utilização de carvão e gás natural vem tendo uma elevação.

O uso de um insumo tão constante como o vento para geração de energia elétrica se tornou relevante no Brasil a partir dos anos 1990 através tanto dos avanços tecnológicos quanto aos grandes incentivos governamentais fomentador pela necessidade de independência energética da importação de carvão, óleo e gás. Comparado a 2020, a produção de eletricidade a partir de fonte eólica aumento 26,7% em 2021 (EPE, 2022). Também são considerados os efeitos ambientais da instalação de parques eólicos, mas que, nesse sentido, são classificados como baixos (alto custo de produção, impacto visual, sonoro e na vida animal). O Plano

Nacional de Energia prevê a expansão e a manutenção da base já instalada, a realização leilões de energia e garantias físicas.

Figura 28 – Geração de energia elétrica no Brasil por fontes não renováveis (2000 – 2021).



Fonte: EPE (2022: pag. 12)

Conforme demonstrado na Tabela 02, as fontes eólica e solar estão em um período de ascensão e, durante a sua conversão não há emissão de nenhum poluente. A energia solar fotovoltaica é gerada a partir da conversão de luz em eletricidade pelo efeito fotovoltaico nas placas solares. Diferente dos meios de geração de energia tratados anteriormente, a geração fotovoltaica é a que possui maior flexibilidade locacional e é a demais mais fácil acesso para implementação, tanto quando se refere à distribuição quanto na facilidade de instalação.

O Brasil é um país de grande potencial para a utilização dessas duas últimas fontes para geração de energia elétrica, em especial em larga escala. A partir da década de 2000, com o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, é possível notar o aumento quanto a participação da energia elétrica produzida a partir desses modelos, assim como uma maior participação de empreendimentos autônomos/familiares, especialmente na aquisição a adesão à painéis solares pela população brasileira. Todavia, mesmo sendo consideradas fontes completamente limpas de energia, é necessário levar em consideração toda a cadeia produtiva da geração de energia, como a produção de baterias para estocagem dessa energia, que tem uma

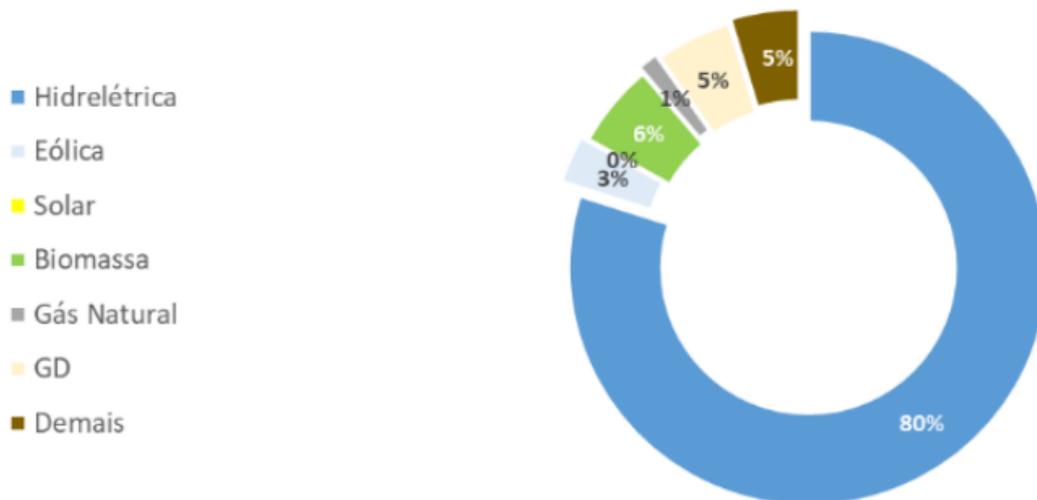
vida útil de 15 anos, além também da estimativa de custo ambiental para reposição e descarte das placas fotovoltaicas e pás eólicas.

Estudos sobre a utilização de biomassa para geração de biocombustíveis para a produção de energia elétrica tem ganho destaque nos últimos anos. Sendo apresentada como um alternativa ao petróleo no sistema de combustíveis, também é usado na geração de energia elétrica. Entretanto, a forma de tratamento da biomassa e o processo de transformação em biocombustíveis têm diversas implicações no meio ambiente.

Como visto na Figura 15, desde a década de 80 o Brasil elevou a oferta de etanol e de outros modelos de combustíveis, como o biodiesel. A produção de etanol é feita a partir de plantações de cana-de-açúcar em larga escala, altamente dependente de fertilizantes e agrotóxicos, além de contar com técnicas de queima, extremamente poluente. Quanto ao biodiesel, a produção é realizada por meio de óleo de palma e de soja, cultivada em grandes áreas desmatadas e muito dependente de agroquímicos, assim como de sementes transgênicas. O tratamento da biomassa pode acarretar um aumento dos custos dos produtos relacionados, gerar perda da biodiversidade, aumento do uso de água e, conseqüentemente, elevar a emissão dos gases de efeito estufa. Contudo, o Plano Nacional de Energia (PNE) não considera como um complicador para expansão do uso de biomassa os pontos apresentados.

Conforme podemos analisar na figura abaixo, o estudo apresentado na PNE para vitalização de uma matriz totalmente sustentável, projeta um aumento de 20% da geração de energia por fonte hídrica comprado com as gerações do último ano. Além disso, conta um sistema de inovação no meio distributivo, intitulado como GD, Gestão Distribuída, que seria o ganho energético pela implementação de redes inteligentes de distribuição. Nesses moldes, para a matriz elétrica apresentando, o PNE calcula uma neutralidade da matriz energética brasileira para o ano de 2050 (Figura 29).

Figura 29– Perfil de geração da matriz energética brasileira em 2050 em um cenário de estagnação sendo 100% renovável.

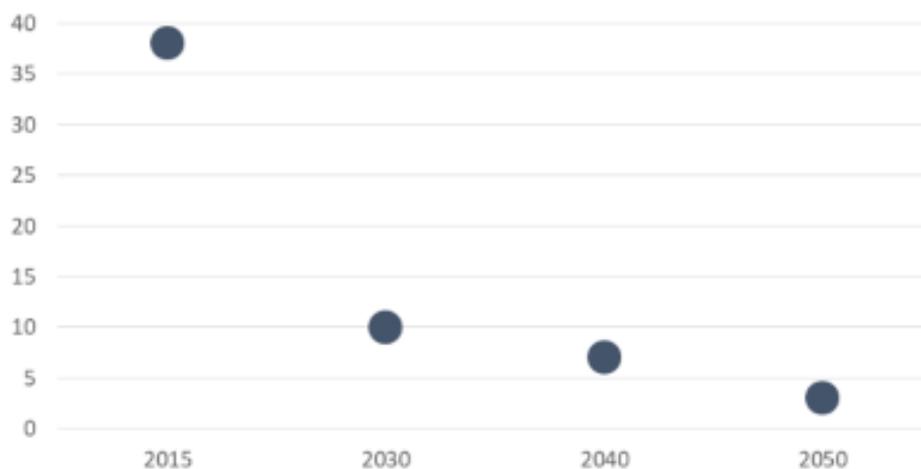


Fonte: PNE (2018, pág: 86)

O PNE não considera ou faz o levantamento sobre os impactos adjacentes à transformação dos insumos naturais ou a instalação de novas hidrelétricas, tão pouco apresenta os impactos ambientais e limites de escalabilidade da produção atual. É fundamentado, principalmente, em promover e instigar o estudo de novas propostas tecnológicas para eficiência energética e viabilizações de substituições de combustíveis fósseis por biocombustíveis.

Nesses moldes, para a matriz elétrica apresentando, o PNE calcula uma neutralidade da matriz energética brasileira para o ano de 2050.

Figura 30 – Emissões totais de gases de efeito estufa para projeção da matriz elétrica brasileira 100% renovável.



Fonte: PNE (2018, pág: 86)

3.4 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

Pela Constituição Federal, é uma obrigação do estado identificar soluções mais adequadas para o suprimento e distribuição de energia elétrica, incentivando o uso de fontes alternativas de energia, com aproveitamento eficiente dos insumos disponíveis e do progresso tecnológico. Necessariamente, o governo deve incentivar à geração de energia elétrica a partir da biomassa e de subprodutos da produção de biocombustíveis, tendo em vista o seu caráter limpo, renovável e complementar à fonte hídrica. Além disso, assim como fomentar à pesquisa e ao desenvolvimento relacionados à energia renovável, mitigar emissões de gases causadores do efeito estufa e de poluentes nos setores de energia e de transportes.

A diversificação da matriz energética brasileira foi primeiramente fomentada para dinamizar os setores de infraestrutura, tendo em vista o elevado grau de desenvolvimento exigido para a construção de hidrelétricas. Todavia, beneficiou diretamente o setor de energia, promovendo a sustentabilidade e independência da matriz energética de fontes internacionais.

Atualmente, a maior parte da energia produzida dentro do território nacional é fruto de fontes renováveis. Entretanto, o consumo de fontes fósseis ainda está fortemente presente e intrínseco aos processos industriais e de transporte. Reforçando, novamente, o incentivo do governo federal no desenvolvimento de soluções tecnológicas.

A exploração nacional de petróleo e gás natural é um meio de diminuir a nossa dependência externa desses insumos, gerando mais empregos e fomentando os setores beneficiados com essas extrações. Entretanto, conforme demonstrado na Figura 18, o setor energético responde menos de 10% do uso de derivados do petróleo. Porém, a questão energética volta a ser um desafio quando é uma alternativa ao uso de combustíveis fósseis no setor de transporte. Quanto ao carvão mineral, mais de 50% do seu uso é destinado ao setor elétrico, na ativação das termelétricas e responde a mais de 70% dos insumos para geração de energia exportados pelo Brasil (Figura 24).

As usinas hidrelétricas são as principais geradoras de energia elétrica no Brasil e são internacionalmente entendidas como sustentáveis e renováveis. O processo de construção dessas usinas aquece a economia, tanto o setor de infraestrutura e civil quanto na redução do serviço de energia prestado. Entretanto, a forma como os estudos de vitalização e formato de construção empregados gerando impactos sociais e ambientais, questionando sobre o quão escalonável, do ponto de vista sustentável, seria essa fonte. Além disso, a emissão de metano nos reservatórios não está de acordo com o caráter limpo aceito para as hidrelétricas.

As termelétricas são acionadas majoritariamente por combustíveis fósseis e libera GEE durante seu processo de queima, assim como o tratamento de biomassa para biocombustíveis. Esse último ainda teria uma agravante quanto a cadeia de produção, contado com o aumento do uso de agroquímicos, desmatamento e uso de água. As fontes eólicas e solar não emitem qualquer GEE no seu processo de produção. Entretanto, o impacto ambiental quanto a forma de armazenagem e transporte dessas modelos ainda precisa ser mensurado para atestar a sustentabilidade dos projetos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O propósito do presente trabalho analisar a matriz energética brasileira e a possibilidade de implementação de uma economia de baixo carbono no padrão de expansão da oferta por energia, assim como defender a necessidade do debate sobre as mudanças climáticas, utilizando o estudo econômico para apontar danos e impactos. Quanto as análises e dados apresentados, são possíveis algumas considerações.

Primeiro, a ação humana tem como consequência a degradação do meio que está inserido devido ao uso dos recursos naturais de forma desacerbada e sem manutenção. A Teoria da Externalidade permite conceituar os impactos causados pela emissão de gases de efeito estufa, fruto do complexo sistema capitalista, como externalidades negativas. É assegurando aos governos o papel de responsável de minimizar esses impactos, ou seja, tanto promover ações de mitigação de GEE como reverter emissões já liberadas.

Segundo, as projeções de avanços e crescimento econômico refletem que, caso não haja uma alteração na forma de abastecimento energético, não há viabilidade no compromisso assumido pelo governo federal quanto a redução de emissões. Mesmo a maior parte das emissões sendo na atividade de desmatamento e tratamento no uso do solo, as emissões no setor energético representaram uma maior mitigação no último ano e não tem tido um crescimento tão acelerado quanto os demais setores, mesmo aumentando uma produção.

Terceiro, melhorar a eficiência energética não é uma ação fundamental apenas para a redução da dependência energética de recursos escassos, mas também para o aumento da segurança no fornecimento de energia e de sustentabilidade. A capacidade produtiva e a conservação dos meios de produção de energia estão relacionadas diretamente as evidências das mudanças climáticas, o que coloca a eficiência energética como um dos mecanismos chaves para cumprir os objetivos de redução de emissões de GEE globalmente.

Quarto, o modelo de uma economia de baixo carbono preza pela inovação tecnológica e por uma matriz energética limpa, viabilizando o desenvolvimento sustentável, exponencial e escalonável. O arcabouço teórico da Economia Política salienta a necessidade de o progresso tecnológico romper a limitações e finitude dos recursos naturais e os estudos da Economia Ambiental, Economia Ecológica e Ecodesenvolvimento, abrem caminho para a discussão do uso eficiência e responsável dos recursos naturais.

Quinto, a matriz energética brasileira é majoritariamente de combustíveis fósseis, predominado pelo petróleo, mais consumido no setor de transportes. Entretanto, a empresa automobilística não apresenta um cenário de transição tão acentuado e receptivo para uso da

matriz elétrica ou biocombustíveis. A transformação da biomassa em biocombustível, atualmente, é danosa ao meio ambiente, sendo necessária a revisão da viabilização para escalonamento da produção.

Sexto, a matriz elétrica brasileira, baseada em recursos hídricos, é refém da volumetria de chuvas que, por sua vez, está sendo afetada pelas mudanças climáticas. Além disso, o próprio modelo de exploração desse recurso produz gases de efeito estufa, assim como as Termelétricas, acionadas por meio de energias fósseis, retroalimentando a cadeia de emissão de gases nocivos para o ecossistema. Esse último ponto levanta a necessidade de revisão quando a classificação sustentável dessas duas fontes. O uso de fontes eólicas e solares no Brasil ainda é muito recente e não há dados concisos sobre os impactos após a geração da energia.

Sétimo, o plano traçado pelo governo federal para alcançar uma matriz energética de neutralidade de emissões de GEE não considera os impactos adjacentes à transformação dos insumos naturais ou os efeitos da instalação de novas hidrelétricas, assim como não apresenta os impactos ambientais ou respeita a escalabilidade do modelo energético atual.

Por fim, sugere-se que os futuros estudos abordem principalmente questões relacionadas a cadeia produtiva de consumo de energia fóssil e os incentivos governamentais para avanços tecnológicos sustentáveis nesse setor. Tendo em vista que i) um aumento na oferta de fontes elétricas limpas, deverá coincidir com uma demanda por essas fontes, advinda do avanço tecnológico e ii) o uso do petróleo e carvão mineral não será absorvido integralmente pela eletricidade no curto prazo, reforçando a necessidade de revisão da produção de biocombustíveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- _____. Ministério de Minas e Energia (MME). **Balanco Energético Nacional**. Brasília, 2009c.
- _____. Ministério de Minas e Energia (MME). **Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico – Out/2020**. Brasília, 2020.
- _____. "A modernidade técnica", **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, Vol. 17. nº. 49, p. 135-144, 2002.
- ALBUQUERQUE, L.; FAGUNDEZ, G. T.; MOSMANN, M. P. Litigância climática como instrumento indutor da descarbonização da matriz energética brasileira. **Revista Videre**, [S. l.], v. 11, n. 22, p. 154–170, 2019. DOI: 10.30612/videre.v11i22.10525. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/videre/article/view/10525>. Acesso em: 11 setembro de 2022.
- AMBIENTE ENERGIA. **Crise energética e as diferentes visões sobre o problema**. 2015. Disponível em: <https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2015/02/crise-energetica-e-diferentes-visoes-sobre-o-problema/25550>. Acesso em: 11 de setembro de 2022.
- ANDRADE, D. Economia e meio ambiente: aspectos teóricos e metodológicos nas visões neoclássica e da economia ecológica. **Leituras de Economia Política**, Campinas, (14): 1-31, ago.-dez. 2008. Disponível em: http://www.eco.unicamp.br/images/arquivos/artigos/LEP/L14/0%20LEP14_Indice.pdf. Acesso em: 22 de julho de 2022.
- ANDRADE, T. Inovação tecnológica e meio ambiente: a construção de novos enfoques. **Ambiente & Sociedade** – Vol. VII. nº1. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2004000100006>. Acesso em: 18 de setembro de 2022.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Informações gerenciais: 2014**. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/I_Mar_14.pdf. Acesso em: 11 de setembro de 2022.
- ANFAVEA, Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **O Caminho da Descarbonização do Setor Automotivo**. Disponível em: <https://anfavea.com.br/site/destaque1/>. Acesso em: 20 de setembro de 2022.

AREND, M. Revoluções tecnológicas, finanças internacionais e estratégias de desenvolvimento: um approach neo-schumpeteriano. **Ensaio FEE**, Porto Alegre, v. 33, n. 2, nov. 2012.

AYRES, R. **Cowboys, cornucopias and long-run stability**. *Ecological Economics*, v. 8, 1993.

AZAR, C. **The cost of reducing CO2 emissions**. In: Schneider, S. H., Rosencranz, A., Mastrandrea, M. D., & Kuntz-Duriseti, K. *Climate change science and policy*. Washington, DC: Island Press, 2010.

BRASIL. Câmara dos Deputados do Brasil. **Agenda 21**. Brasília, DF, 1995. Disponível em: <http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/agenda21.pdf>. Acesso em: 07 de setembro de 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). **Comunicação nacional inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança no clima**. Brasília, 2004.

CASSIOLATO, J; LASTRES, H. Sistemas de Inovação: políticas e perspectivas. **Parcerias Estratégicas**. n° 08. P. 237-255. 2000.

CEPAL; **A economia da mudança climática na América Latina e no Caribe: uma visão gráfica**. Santiago, Chile. Publicação das Nações Unidas. 2019. Disponível em: <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44486>. Acesso em: 04 julho de 2022.

CNI, Confederação Nacional da Indústria. **Industrialização por Estados**. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2021/05/CNI-Industria-Estados-24mai2021.pdf>. Acesso em: 20 de setembro de 2022.

COSTANZA, R. **Toward an operational definition of ecosystem health**. In: CONSTANZA, R.; HASKEL, B. D.; NORTON, B. G. (Org.). *Ecosystem health: new goals for environmental management*. Washington, DC: Island, 1992.

DEBASTIANI, J; FARIA, J. Ecocidadania e ecodesenvolvimento na sociedade de consumo. **Revista Direito Ambiental e sociedade**, v. 11, n. 3, set/dez 2021 (p. 145-161). Disponível em: <http://www.uces.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/view/10692/5001>. Acesso em: 12 de outubro de 2022.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **ABC Sector Plan – Sector Plan for Mitigation and Adaptation to Climate Change for the Consolidation of a Low-Carbon Economy in Agriculture**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/tema-agricultura-de-baixo-carbono/sobre-o->

tema#PlanoABC0combate%20ao%20aquecimento%20global. Acesso em: 11 de setembro de 2022.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira.** Disponível em:

<https://www.embrapa.br/documents/o+futuro+da+agricultura+brasileira>. Acesso em: 29 de julho de 2022.

EPE, Empresa Brasileira De Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030.** PNE 2023 – Geração Hidrelétrica. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2007. Disponível em:

<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2030>. Acesso em: 28 de agosto de 2022.

EPE, Empresa Brasileira De Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2050.**

Considerações sobre Produtividade da Economia Brasileira. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2007. Disponível em:

<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>. Acesso em: 28 de agosto de 2022.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2022.** Disponível em:

<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>. Acesso em: 11 de setembro de 2022.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Cenários Econômicos para o PNE 2050.** 2018.

Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-201/Cen%C3%A1rios%20Econ%C3%B4micos.pdf)

[201/Cen%C3%A1rios%20Econ%C3%B4micos.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-201/Cen%C3%A1rios%20Econ%C3%B4micos.pdf). Acesso em: 17 de setembro de 2022.

ESCELSA, Espírito Santo Centrais Elétricas SA. **Histórico da Energia Elétrica no Brasil.**

Disponível em: <http://www.escelsa.com.br/aescelsa/historia-ee-brasil.asp>. Acesso em: 11 de setembro de 2022.

FEENBERG, A. **Critical theory of technology**, Oxford, Oxford University Press, 1991.

FONSECA, I. Rio + 20, Agenda 21 e pactos globais para a sustentabilidade: mais do mesmo? **Revista Desafios do Desenvolvimento**, Brasília, 2012. Disponível em:

http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=2717:catid=28&Itemid=2. Acesso em: 07 de setembro de 2022.

FREEMAN, C. **The economics of hope**. London, Pinter, 1992.

GALBIATTI, P. Energía y cambio climático: impactos ambientales y sociales de las plantas hidroeléctricas y la diversificación de la matriz energética brasileña. **Opinión Jurídica**, v.

17, n. 33, p. 123-147. Disponível em:

<https://revistas.udem.edu.co/index.php/opinion/article/view/2463>. Acesso em: 11 de setembro de 2022.

GCP, Global Carbon Proect. Temporary reduction in daily global CO2 emissions during the COVID-19 forced confinement. **Nature Climate Change** **10**, pages 647 – 653, 2020.

Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41558-020-0797-x>. Acesso em 27 de julho de 2022

GELLER, H, ATTALI, S. **The Experience with Energy Efficiency Policies and Programmes in IEA Countries: Learning from the Critics**. Paris: International Energy Agency, 2005.

GRUN, R. **Apagão cognitivo: a crise energética e sua sociologia**. Dados: Revista de Ciências Sociais, 48(4), 891-928. 2005.

HUBBARD, R; O'BRIEN, A. **Introdução à Economia**. 2^a Ed. Editora Bookman. 2010.

IEA, Agência Internacional de Energia. **World Energy Outlook**. 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>. Acesso em: 28 de agosto de 2022.

IPCC, Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. **Aquecimento Global de 1,5°C**. 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>. Acesso em 20 de julho de 2022.

IPCC, Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis - Summary for Policymakers**. 2007. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>. Acesso em 28 de julho de 2022.

IPCC, Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>. Acesso em 28 de julho de 2022.

IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Sustentabilidade Ambiental no Brasil: biodiversidade, economia e bem-estar humano**. 2010. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/livro07_sustentabilidadeambienta.pdf. Acesso em 08 de agosto de 2022.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos Avançados**, v.24, n.68, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142010000100017>. Acesso em: 11 de setembro de 2022.

KON, A. Subsídios Teóricos e Metodológicos ao Planejamento Econômico Público. **EAESP/FGV/NPP - Núcleo de Pesquisas e Publicações**. Relatório de Pesquisa Nº 12/1997.

LAYRARGUES, P. Do ecodesenvolvimento ao desenvolvimento sustentável: Evolução de um conceito? **Proposta**, Rio de Janeiro, v. 24, n.71, p 1-5, 1997. Disponível em: <https://xa.yimg.com/kq/groups/21784100/1247355355/name/Layrargues.PDF>. Acesso em: 11 de setembro de 2022.

LEITE, A. **A energia do Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1997.

LUEDEMANN, G. As transformações da paisagem e as alterações biogeoquímicas. In: ALVAREZ, A. R.; MOTA, J. A. (Org.). **Sustentabilidade ambiental no Brasil: biodiversidade, economia e bem-estar humano**. Brasília: Ipea, 2010, v. 7, p. 441-453. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?sustentabilidade-ambiental-no-brasil-biodiversidade-economia-e-bem-estar-humano>. Acesso em: 05 de agosto de 2022.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária com Vistas ao Desenvolvimento Sustentável (2020-2030)**. Visão estratégica para um novo ciclo. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/abc-portugues>. Acesso em: 11 de setembro de 2022.

MARGULIS, S.; DUBEUX, C. B. S. **Economia da Mudança do Clima no Brasil: Aspectos Econômicos, Sociais e Regulatórios**. 2011. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5569/1/BRU_n4_economia.pdf. Acesso em 24 de julho de 2022.

MARSHALL, A. **Principles of Economics**. London: Macmillan 1890.

MARTA, J. **Externalidades: Uma resenha**. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/res/article/download/149/139/140>. Acesso: 07 de agosto de 2022.

MARX, K. **Manuscritos econômico-filosóficos: primeiro manuscrito, 1844**. Disponível em: <https://www.marxists.org/portugues/marx/1844/manuscritos/>. Acesso em: 18 de setembro de 2022.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima. Volume 1. Estratégia geral**. Versão pós consulta pública. Brasília, DF. 2016. Disponível em: <http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/PNA-Volume1.pdf>. Acesso em: 08 de agosto de 2022.

MME, Ministérios de Minas e Energia. **Novo Mercado de Gás**. Brasília. 2020. Disponível em: <http://antigo.mme.gov.br/web/guest/conselhos-e-comites/cmgn/novo-mercado-de-gas>. Acesso em: 20 de setembro de 2022.

MNE, Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Energia. **PNE 2050**. 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>. Acesso em: 11 de setembro de 2022.

[MNE, Ministério de Minas e Energia. Cenários de Demanda para o PNE 2050. 2018. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050. Acesso em: 12 de outubro de 2022.](#)

MUELLER, C. C. **Os economistas e as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente**. 1ª Ed. Editora UnB. Brasília, 2007.

NORTON, B. G. A new paradigm for environmental management. In: CONSTANZA, R.; RASQUEL, B. D.; NORTON, B. G. **Ecosystem health: new goals for environmental management**. Washington, DC: Island, 1992. p. 23-41.

OLIVEIRA, G., FERREIRA, A. **Nem Negacionismo Nem Apocalipse - Economia Do Meio Ambiente: Uma Perspectiva Brasileira**. Ed. Bei, 1ª edição, 2021.

OLIVEIRA, G.; CALEGARIO, C. Aglomerados e Visão Baseada em Recursos: Possíveis Relações entre Externalidades e Capacidades Organizacionais. **XXXIV Encontro do ANPAD**. EnANPAD, 2010. Disponível em: <http://www.anpad.org.br/admin/pdf/eso809.pdf>. Acesso em: 01 de agosto de 2022.

OLSSON, G; KRUGER, S. Governança Corporativa e Externalidades: Perspectivas sobre a agenda 2030. **Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM**. v. 16, n. 2 / 2021. ISSN 1981-3694. (DOI): 10.5902/1981369439752. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/revistadireito/article/download/39752/46031/317984>. Acesso em 27 de julho de 2022.

ONU, Environment Programme. **The Sustainable Development Goals Report 2022**. 2022. Disponível em: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/>. Acesso em 01 de agosto de 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **Declaração da Conferência da ONU sobre o Meio Ambiente. Estocolmo**, 1972.

PERDIGÃO, D. Atuação Política de Grupos de Interesse na Evolução da Matriz Energética do Brasil de 1960 a 2019. **Revista Mundi Sociais e Humanidades**. v.5, n.3, 98. Curitiba, PR. 2020. Disponível em:

<https://periodicos.ifpr.edu.br/index.php?journal=MundiSH&page=article&op=view&path%5B%5D=1175>. Acesso em: 18 de setembro de 2022.

PIGOU, A.C. **The Economics of Welfare**. London: Macmillan, 1920.

PINDYCK, R.; RUBINFELD, D. **MICROECONOMIA**. 8ª Ed. Pearson Universidades. 2013.

PNUMA, United Nations Environment Programme. **Emissions Gap Report 2019**. 2019. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2019>. Acesso em: 14 de agosto de 2022.

PNUMA, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. **Integração entre o meio ambiente e o desenvolvimento: 1972 – 2002**. Perspectivas do Meio Ambiente Mundial 2002. GEO-3: Passado, presente e futuro. 2004. Disponível em: <http://www.mudancasclimaticas.andi.org.br/download.phppath=116z4pnqaiulm9dmd9pq.pdf>. Acesso em: 01 de agosto de 2022.

POPP, D. The Role of Technological Change in Green Growth. Policy Research Working Paper 6239. **World Bank**, 2012. Disponível em: [https://www.enterprise-development.org/wpcontent/uploads/The_Role_of_Technological_Change_in_Growth.pdf](https://www.enterprise-development.org/wpcontent/uploads/The_Role_of_Technological_Change_in_Green_Growth.pdf). Acesso em: 28 de agosto de 2022.

PUGA, B. O que é Economia Ecológica. **ECOECO**. São Paulo, 2010. Disponível em: <http://ecoeco.org.br/economia-ecologica/>. Acesso em: 11 de setembro de 2022.

ROMEIRO, A. Economia ou Economia Política da Sustentabilidade. In: **Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003. p. 1-29.

ROMEIRO, A. **Texto para discussão n. 102**. IE/UNICAMP, Campinas, set. 2001.

SACHS, I. **Ecodesenvolvimento: crescer sem destruir**. São Paulo: Vértice, 1986.

SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2005.

SANTETTI, M. **Dois Ensaios Sobre Progresso Técnico e Meio Ambiente**. 2015. Dissertação de Mestrado em Economia do Desenvolvimento. Programa de Pós-Graduação em Economia, da Faculdade de Administração, Contabilidade e Economia, da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2015. Disponível em: <https://repositorio.pucrs.br/dspace/handle/10923/7264>. Acesso em: 18 de setembro de 2022.

SCHUMPETER, J. **Teoria do desenvolvimento econômico**. São Paulo, Abril (Os pensadores), 1982.

SMITH, A. **A Riqueza das Nações: Uma Investigação Sobre a Natureza e as Causas das Riquezas das Nações**. São Paulo.

SOARES, T; CUNHA, D. Emissões de gases de efeito estufa e eficiência ambiental no Brasil. **Nova Economia**. v.29 n.2 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/neco/a/r5yxTNfpKqCtgBNxKwKFCDF/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 17 de setembro de 2022.

SSEG, Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima. **Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil (1970 – 2020)**. 2021. Disponível em: https://energiaambiente.org.br/wp-content/uploads/2021/10/OC_03_relatorio_2021_FINAL.pdf. Acesso em: 27 de julho de 2022.

STEFFEN, W. et al. **Global change and the Earth System: a planet under pressure**. New York: Springer, 2004.

STERN, N. **The Economics of Climate Change – the Stern Review**. Cambridge: Cambridge University Press. 2007.

TOL, R. The economic effects of climate change. **Journal of Economic Perspective**, 23 (2): 29-51. DOI: 10.1257/jep.23.2.29. 2009. Disponível em: <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/jep.23.2.29>. Acesso em: 20 de julho de 2022.

UNCC, United Nations Climate Change. **Glasgow Climate Change Conference**. 2022. Disponível em: <https://unfccc.int/conference/glasgow-climate-change-conference-october-november-2021>. Acesso em: 07 de setembro de 2022.

UNCTAD, United Nations Conference on Trade and Development. **World Investment Report 2007: Transnational Corporations, Extractive Industries and development**. 2007. Disponível em: <https://unctad.org/webflyer/world-investment-report-2007>. Acesso em: 28 de agosto de 2022.

UNCTAD, United Nations Conference on Trade and Development. **World Investment Report 2009: Transnational Corporations, Agricultural Production and Development**. 2009. Disponível em: <https://unctad.org/webflyer/world-investment-report-2009>. Acesso em: 28 de agosto de 2022.

UNCTAD, United Nations Conference on Trade and Development. **World Investment Report 2022: International tax reforms and sustainable investment**. 2022. Disponível em: <https://unctad.org/webflyer/world-investment-report-2022>. Acesso em: 28 de agosto de 2022.

UNDP, United Nations Development Programme. **Annual Report 2007**. 2007. Disponível em: <https://www.undp.org/publications/undp-annual-report-2007>. Acesso em: 28 de agosto de 2022.

VASCONCELLOS, M. A.; GARCIA, M. **Fundamentos da Economia**. 4ª Ed. Editora Saraiva. São Paulo, 2012.

VEIGA NETO, F. A. **Construção dos Mercados de Serviços Ambientais e suas Implicações para o Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. 2008. 286 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <https://tede.ufrrj.br/jspui/handle/tede/714>. Acesso em: 05 de agosto de 2022.

WRI, World Resources Institute. **Uma Nova Economia Para Uma Nova Era: Elementos para a construção de uma economia mais eficiente e resiliente para o Brasil**. Washington D.C., 2020. Disponível em: https://wribrasil.org.br/sites/default/files/af_neb_synthesisreport_digital.pdf. Acesso em 29 de agosto de 2022.