

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, CONTABILIDADE
E ATUÁRIA
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA

THIAGO SILVA DE CARVALHO CANTARELLI

ENERGIA LIMPA: CUSTOS, INCENTIVOS E PROBLEMAS CLIMÁTICOS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

São Paulo

2024

THIAGO SILVA DE CARVALHO CANTARELLI

ENERGIA LIMPA: CUSTOS, INCENTIVOS E PROBLEMAS CLIMÁTICOS

Monografia submetida à apreciação de Banca Examinadora do Departamento de Economia, como exigência parcial para a obtenção do grau de bacharel em ciências econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Ferreira de Carvalho

São Paulo

2024

O autor desta obra autoriza sua publicação eletrônica na Biblioteca Digital da PUC-SP.

Este trabalho é somente para uso privado de atividades de pesquisa e ensino. Não é autorizada sua reprodução para quaisquer fins lucrativos. Esta reserva de direitos abrange a todos os dados do documento bem como seu conteúdo. Na utilização ou citação de partes do documento é obrigatório mencionar nome da pessoa autora do trabalho e demais itens da referência bibliográfica.

Ficha Catalográfica

Cantarelli, Thiago Silva de Carvalho.

Energia limpa: custos, incentivos e problemas climáticos – São Paulo

28 p.

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Ciências Econômicas

Orientador: Carlos Eduardo Carvalho

1. Energia, 2. Ambiente, 3. Alternativas, 4. Clima. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.
Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Atuária

RESUMO

Seguindo as crescentes preocupações acerca do aquecimento global, as crises climáticas globais e o impacto que a produção de energia elétrica causa nessas questões, esse trabalho tem como objetivo principal analisar a efetividade das fontes de energia renováveis disponíveis no Brasil com relação ao seu custo, trazendo o contexto acerca da importância da substituição das fontes poluentes de energia por alternativas menos danosas ao meio ambiente e utilizando dados sobre a produção nacional, consumo, principais alternativas de energia limpa e principais usinas de cada tipo de produção dos meios selecionados. Trazendo no fim uma resposta para qual é a produção de energia de fontes limpas em comparação com a de fontes poluentes, junto de incentivos encontrados pelo governo e pelo mercado para influenciar o investimento em energia renovável

Palavras-chave: energia, clima, ambiente, alternativas.

ABSTRACT

Following the growing concerns about global warming, global climate crises and the impact that the production of electrical energy causes on these issues, this work's main objective is to analyze the effectiveness of renewable energy sources available in Brazil in relation to their cost, bringing the context about the importance of replacing polluting energy sources with alternatives that are less harmful to the environment and using data on national production, consumption, main clean energy alternatives and main plants of each type of production of the selected means. Providing an answer to how expensive it is to produce energy from clean sources compared to that from polluting sources, along with incentives found by the government and the market to influence investment in renewable energy.

Keywords: energy, climate, environment, alternatives.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
1.1 Tema.....	7
1.2 Problema.....	8
1.3 Objetivos.....	9
1.4 Metodologia.....	10
1.5 Limitações	10
2 O Atual Problema	11
2.1 Desenvolvimento energético	11
2.2 Problemas climáticos.....	13
3 A MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA	13
4 ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS	15
4.1 Solar.....	16
4.2 Eólica.....	18
4.3 Hidroelétrica.....	19
4.4 Nuclear.....	21
5 IMPACTO CAUSADO PELA SUBSTITUIÇÃO	23
6 CONCLUSÃO.....	25
7 BIBLIOGRAFIA.....	27

1 INTRODUÇÃO

1.1 Tema

De acordo com Aquino, o tema de uma pesquisa científica deve ser escolhido pelo autor de acordo com sua afinidade com o assunto:

Geralmente, a seleção do assunto para a pesquisa é feita com base na formação acadêmica do pesquisador; por exemplo, agrônomos e zootecnistas pesquisam as ciências agrárias; um médico pesquisa aspectos relacionados à saúde do homem etc.; todavia, em cada formação acadêmica existem diversas áreas do conhecimento técnico que levam o pesquisador a buscar maior aprofundamento num tópico mais específico de sua formação. (AQUINO, 2010, p. 4).

Como complemento, Severino indica como deve ser executada essa apresentação do tema, onde deve ser indicado a origem do questionamento da pesquisa que será realizada:

Inicia-se o Projeto com uma apresentação onde se exporá sinteticamente como se chegou ao tema de investigação, qual foi a gênese do problema, as circunstâncias que interferiram nesse processo, por que se fez tal opção, se houve antecedentes. Esta é a parte mais pessoal da exposição do projeto, único momento em que o pesquisador pode referir-se a motivos de ordem pessoal. (SEVERINO, 2014, p. 112).

Sem dúvida alguma, uma das mais importantes descobertas da humanidade foi a energia elétrica, uma ferramenta crítica para a evolução da sociedade e o progresso tecnológico. Foi inicialmente descoberta no século VI a.C., no entanto, por conta das limitadas ferramentas disponíveis para pesquisas na época, a eletricidade foi mais profundamente estudada a partir do século XVIII, contando com grandes mentes como Benjamin Franklin, Nikola Tesla e Thomas Edison contribuindo para o entendimento desse recurso tão poderoso.

Assim como qualquer outro recurso natural, como minérios ou madeira, foi necessário desenvolver métodos de produzir e armazenar esse recurso tão importante. Com essa

necessidade, passaram a utilizar combustão como principal fonte de geração de energia elétrica, usando do calor do petróleo, carvão, madeira e fontes similares para emitir energia elétrica.

No entanto, conforme a humanidade vem progredindo e aumentando exponencialmente o consumo de energia, foi necessário um grande aumento nessa produção de energia, porém todo esse progresso acabou por causar uma série de problemas, principalmente para o meio ambiente. Com o avanço do meio científico e da preocupação com o meio ambiente e o seu futuro, movimentos sociais vem crescendo fortemente para que governos mundiais tomem medidas para impedir ou diminuir a poluição da atmosfera gerada por usinas de energia não renováveis (além de outros poluentes que não serão estudados nesse projeto).

Com isso, essa pesquisa tem como foco trazer de forma resumida um conjunto de dados com foco em informar quão custoso é o processo de geração de energia limpa considerando tecnologias atuais e levando em conta os desafios para a geração desse tipo de energia com foco no Brasil, utilizando dados fornecidos pelo próprio ministério de minas e energia, notícias, jornais e dados de instituições e associações ligadas ao assunto, como a ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica) e a IEA (Agência Internacional de Energia) .

1.2 Problema

O problema em uma pesquisa científica se trata da questão principal que a pesquisa deseja responder, assim como dito por Gil:

Pode-se dizer que um problema é de natureza científica quando envolve variáveis que podem ser tidas como testáveis: "Em que medida a escolaridade determina a preferência político-partidária?" "A desnutrição determina o rebaixamento intelectual?" Todos esses problemas envolvem variáveis suscetíveis de observação ou de manipulação. É perfeitamente possível, por exemplo, verificar a preferência político partidária de determinado grupo, bem como seu nível de escolaridade, para depois determinar em que medida essas variáveis estão relacionadas entre si. (GIL, 2002, p. 24).

Ao tratar do problema e sua objetividade, Severino ressalta:

Retomando o que já foi anunciado na Apresentação, procura-se, em seguida, com uma exposição mais objetiva e técnica, colocar o problema, ou seja, como o tema está problematizado e, conseqüentemente, por que ele precisa ainda ser pesquisado. Trata-se, portanto, de delimitar, circunscrever o tema problema. O tema deve ser problematizado e é preciso ter uma ideia muito clara do problema a ser resolvido. (SEVERINO, 2014, p. 113).

No mundo atual, tudo gira em torno do dinheiro, e assim sendo, o setor energético é responsável por movimentar quantias muito grandes, sendo responsável também por milhares de empregos desde eletricitas até engenheiros. Felizmente o Brasil é um dos países que utiliza fortemente fontes renováveis de energia, como usinas hidrelétricas que representam atualmente mais de 60% da produção atual. No entanto ainda são usadas fontes não renováveis de energia como parte matriz elétrica e energética do país.

O problema a ser explorado pelo trabalho será apresentar alguns dos resultados econômicos do setor elétrico acerca dos custos de produção e construção das fontes de energia limpa que existem atualmente no país, junto da sua efetividade para a produção, a fim de sanar a dúvida sobre quão custoso é o processo de produção de energia limpa e questionando a viabilidade da produção em larga escala desse tipo de energia. Como complemento, a pesquisa também traz uma seleção de incentivos fornecidos pelo governo e pelo mercado para o aumento da escala de produção de energia através de matrizes energéticas limpas.

1.3 Objetivos

Como apontado por Gil, os objetivos da monografia devem ser bem explicados e de forma sucinta, “a apresentação dos objetivos da pesquisa em termos claros e precisos. Recomenda-se, portanto, que em sua redação sejam utilizados verbos de ação, como identificar, verificar, descrever e analisar.” (GIL, 2002, p. 162)

O objetivo principal da monografia não se dá na elaboração de soluções inovadoras para problemas climáticos e suas conseqüências na economia, mas sim na comparação de dados principalmente quantitativos acerca do desempenho econômico de diferentes tipos de fontes de energia elétrica, buscando analisar os resultados gerais, no curto prazo, caso uma fosse completamente substituída por outra. Colocando de forma objetiva, o trabalho procurará:

- a) Apresentar o contexto sobre a crise ambiental atual e como as usinas poluentes e não poluentes impactam o ecossistema.
- b) Identificar os custos de construção e manutenção de cada tipo de matriz energética relevantes para a pesquisa (hidroelétricas, eólicas, nucleares e solares).
- c) Informar incentivos existentes para fomentar a produção de energia limpa no país e como o Brasil pode se tornar um exemplo na geração de energia renovável.

1.4 Metodologia

Para auxiliar no entendimento do processo de pesquisa e análise científica, considera-se o posicionamento de Demo:

A ciência propõe-se a captar e manipular a realidade assim como ela é. A metodologia desenvolve a preocupação em torno de como chegar a isto. É importante percebermos que a ideia que fazemos da realidade de certa maneira precede a ideia de como tratá-la. Nisto fica clara sua posição instrumental porquanto está a serviço da captação da realidade. Se não temos ideia da realidade, sequer coloca-se a questão da captação. (DEMO, 1985, p. 20).

Com o conceito em mente, a pesquisa será principalmente de natureza quantitativa quanto a dados sobre os custos de investimento e manutenção das maiores usinas de energia dos tipos selecionados (eólica, solar, hidroelétrica, nuclear e combustão) com fontes vindas de diversas organizações, institutos e portais de notícias com dados referentes principalmente aos últimos 10 anos. Também serão utilizadas pesquisas de natureza qualitativa sobre a relevância social da mudança das fontes de energia como um dos fatores de importância para o estudo do impacto da mudança, incentivos fornecidos pelo governo do Brasil e uma breve introdução ao crédito de carbono, uma commodity desenvolvida para influenciar a redução das emissões de carbono na atmosfera.

1.5 Limitações

As principais limitações acerca do assunto das novas fontes de energia renováveis se encontram em como essas tecnologias funcionam e como elas se vem se melhorando com o tempo. Para possibilitar que a pesquisa seja concreta serão utilizados dados consolidados de períodos anteriores e de fontes de energia renováveis já existentes e que são usadas em grande escala, sendo assim não serão incluídas fontes de energia não consolidadas, como a fusão

nuclear que ainda não pode ser usada como foram de geração de energia (diferente da fissão nuclear que é a utilizada em usinas nucleares convencionais). Também não serão exploradas em detalhes as diferentes tecnologias (como diferentes formatos de usinas ou protótipos de novos geradores de energia) que vem surgindo para cada tipo de fonte renovável que será explorada, pois essas novas tecnologias podem não apresentar dados confiáveis e consolidados que sejam relevantes para a pesquisa.

2 O Atual Problema

Desde os primórdios da civilização, o ser humano tem explorado inúmeras fontes de energia para impulsionar seu desenvolvimento e melhorar a qualidade de vida. Dos mais simples geradores movidos a manivela até as mais avançadas usinas de energia nuclear, a geração de energia tem sido um dos mais importantes pilares para o progresso tecnológico e o avanço econômico da humanidade. A eletricidade, em particular, tornou-se um elemento indispensável em nosso cotidiano, permitindo a iluminação de nossas casas, a operação de máquinas industriais, a mobilidade em nossos veículos e o funcionamento de dispositivos eletrônicos que são presentes em quase todos os espaços em nossa sociedade.

À medida que a dependência da energia cresce, também crescem os desafios ambientais associados à sua geração e uso. A preocupação com os problemas climáticos que enfrentamos não surgiu repentinamente, mas sim ao final do século XIX, quando começaram a serem percebidos os efeitos da ação humana no clima do planeta seguindo a alteração dos níveis de gás carbônico em circulação na atmosfera terrestre. A partir de 1950, a comunidade científica começou a prestar mais atenção na situação climática e intensificaram os estudos sobre as mudanças enfrentadas, e já em 1972 ocorreu a primeira Conferência das Nações Unidas, em Estocolmo, que tratou de elevar o assunto para uma preocupação internacional, e em 1987 foi firmado o Protocolo de Montreal como um esforço internacional para a proteção da camada de ozônio. Avançando para tempos mais recentes, em 2015 foi firmado entre 195 países o acordo de Paris, que se baseia na implementação de um sistema de metas para a redução das emissões de gases poluentes e causadores do efeito estufa. Este capítulo abordará a trajetória do desenvolvimento energético até o motivo da preocupação atual com o meio ambiente.

2.1 Desenvolvimento energético

A descoberta da energia elétrica revolucionou a humanidade, trazendo avanços tecnológicos e transformando a forma como vivemos. No final do século XVIII, o cientista italiano Luigi Galvani realizou experimentos com eletricidade animal, descobrindo que os músculos de uma rã se contraíam quando em contato com dois metais diferentes. Essa descoberta levou ao desenvolvimento das primeiras pilhas elétricas. Com o tempo, a eletricidade começou a ser utilizada em larga escala. No final do século XIX, Thomas Edison aperfeiçoou a lâmpada incandescente e desenvolveu sistemas de distribuição de energia elétrica. Em paralelo, Nikola Tesla, um inventor e engenheiro sérvio-americano, desenvolveu o sistema de corrente alternada (AC), que permitia a transmissão de eletricidade a longas distâncias.

No início do século XX, a eletricidade já era amplamente utilizada para iluminação e alimentação de máquinas industriais. No entanto, a dependência dos combustíveis fósseis para geração de energia elétrica começou a apresentar problemas, como a poluição do ar e o esgotamento dos recursos naturais. Nos anos seguintes, a tecnologia e a eficiência das fontes de energia renováveis foram aprimoradas. As usinas hidrelétricas, que utilizam a força das águas para gerar eletricidade, se tornaram mais comuns. Os biocombustíveis, produzidos a partir de matéria orgânica, também ganharam espaço como uma alternativa mais sustentável aos combustíveis fósseis.

Com o aumento da consciência ambiental, surgiram os primeiros movimentos em direção a fontes de energia renováveis. Na década de 1970, com a crise do petróleo, a busca por alternativas energéticas se intensificou. As primeiras turbinas eólicas começaram a ser instaladas, aproveitando a energia cinética do vento para gerar eletricidade. Além disso, os painéis solares fotovoltaicos foram desenvolvidos, convertendo a luz solar diretamente em eletricidade.

Atualmente, as fontes de energia renováveis desempenham um papel fundamental na matriz energética global. A energia eólica, solar, hidrelétrica, biomassa e geotérmica são amplamente utilizadas em todo o mundo. Países têm investido em parques eólicos e usinas solares para garantir uma transição energética mais limpa e reduzir a dependência dos combustíveis fósseis. No entanto, devido a altíssima demanda por energia crescendo exponencialmente em todo o mundo, as fontes renováveis de energia não são o bastante para alimentar todo o sistema, tanto por uma questão de ineficiência das próprias fontes como por problemas econômicos que limitam o investimento nessa produção.

2.2 Problemas climáticos

As fontes de energia poluentes têm um impacto significativo nos problemas climáticos atuais. O uso de combustíveis fósseis, como o carvão, o petróleo e o gás natural, para a geração de energia é uma das principais causas do aumento das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera. Quando esses combustíveis são queimados para produzir energia, liberam dióxido de carbono e outros gases, como metano e óxido nitroso. Esses gases são conhecidos como gases de efeito estufa, pois têm a capacidade de reter o calor na atmosfera, contribuindo para o aquecimento global e as mudanças climáticas.

O aumento das emissões de gases de efeito estufa tem consequências significativas para o clima do planeta. O aquecimento global resultante dessas emissões leva ao derretimento das calotas polares, o que por sua vez causa a elevação do nível do mar, ameaçando áreas costeiras e ilhas, aumentando o risco de inundações e afetando negativamente a biodiversidade. Além disso, as emissões de gases de efeito estufa estão associadas a eventos climáticos extremos, como ondas de calor mais intensas, tempestades mais fortes e secas prolongadas.

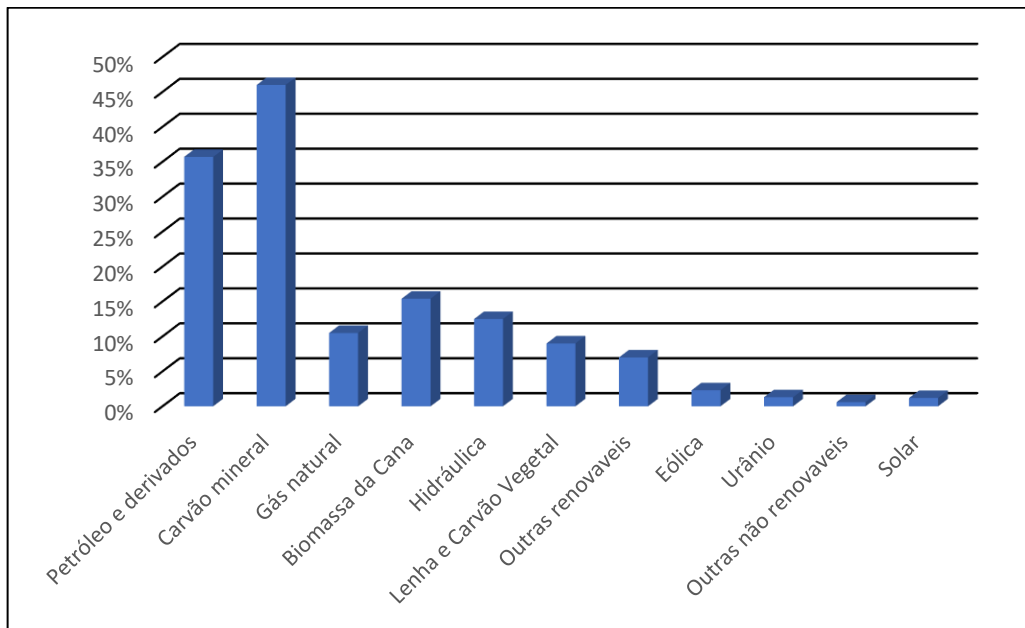
Para enfrentar os problemas climáticos atuais, é fundamental reduzir a dependência de fontes de energia poluentes e promover a transição para fontes de energia limpas e renováveis. A utilização dessas novas fontes contribui para a mitigação das mudanças climáticas, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa. Além disso, essas fontes são consideradas mais seguras e abundantes, contribuindo para a diversificação da matriz energética e para a redução da dependência de recursos finitos e não renováveis.

3 A MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

Inicialmente, é importante ressaltar a distinção entre matriz elétrica e matriz energética que podem ser facilmente confundidas. A matriz elétrica trata da energia produzida com a finalidade de cumprir a demanda de energia elétrica de um país, ou seja, são as fontes de energia que alimentam toda a rede elétrica disponível no território nacional para permitir o funcionamento de objetos como torres de comunicação, aparelhos elétricos ligados a tomada e postes de iluminação. Já a matriz energética compreende tudo aquilo que é capaz de gerar energia com a finalidade de cumprir demandas energéticas, como no caso de motores a combustão (que utilizam, em sua maioria, combustíveis fósseis para geração de energia que movimenta o veículo) e caldeiras (que podem utilizar combustíveis fósseis para gerar calor).

Felizmente graças ao enorme território e as condições territoriais favoráveis, o Brasil se encontra atualmente na segunda posição do ranking de países que possuem maior parte de sua matriz elétrica consistindo em energia limpa e renovável, aproximadamente 89,2% de sua matriz, atrás somente da Noruega com 98,5%. No entanto analisando a matriz energética esses números são bem menos impressionantes, já que somente 47,4% da energia ofertada no Brasil veio de fontes renováveis, enquanto 52,6% ainda são provenientes de fontes não renováveis, mesmo assim o Brasil se encontra afrente da média global de apenas 15% de fontes renováveis de energia por país. Importante ressaltar que o tipo de energia considerado na matriz energética tem um sentido mais amplo, sendo considerado não apenas a energia elétrica gerada por usinas, mas também todo tipo de energia utilizada, como a gasolina para combustão interna de motores utilizados no transporte.

Gráfico 1 - Oferta interna de energia elétrica no Brasil, 2023



Fonte: Associação Brasileira de Energia Solar.

De acordo com o balanço energético de 2023 realizado pelo Ministério de Minas e Energia, a atual matriz energética do país ainda tem uma forte presença de combustíveis poluentes, apresentando um grave problema para a atual crise climática, no entanto a matriz elétrica apresenta números extremamente favoráveis, já que a dependência de fontes de energia poluente para geração de energia elétrica é muito inferior em comparação com as fontes limpas. O Brasil vem progressivamente caminhando no processo de transição energética, favorecida

por políticas públicas eficientes, como o PLS 712/2015 que visa estipular uma meta de participação para fontes de energia renováveis até 2040 e que já foi aprovado no senado, seguindo moldes globais que pretendem diminuir o máximo possível a dependência de fontes poluentes.

Quanto a produção e o consumo de energia elétrica, uma pesquisa realizada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) em 2021 encontrou que o consumo e a produção total de energia elétrica no Brasil foram de aproximadamente 571,5 terawatts-hora cada, apresentando um constante crescimento com o passar dos anos.

Com esses dados podemos concluir que o Brasil já se encontra numa posição de destaque na produção de energia limpa, com pouco uso de fontes não renováveis, que antigamente eram muito utilizadas, mas que vem progressivamente sendo menos presente na composição da matriz energética graças aos incentivos legais e fiscais (presentes em alguns estados), junto também de inovações tecnológicas que possibilitam o uso de mais fontes alternativas de energia ou até o aprimoramento de usinas já presentes e funcionais

4 ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS

A busca por alternativas sustentáveis para geração de energia se tornou um tópico de extrema importância nos últimos tempos. As mudanças climáticas expostas nos capítulos anteriores, impulsionadas pelas emissões de gases do efeito estufa vindos da queima de combustíveis fósseis, vêm exigindo grandes medidas para mitigar seus danos. Nesse contexto, a substituição de geradores de energia poluentes por fontes renováveis, como energia solar, eólica e hidrelétrica, surge como uma solução fundamental para reduzir dos danos que foram e continuam sendo causados ao ecossistema.

As fontes de energia renováveis, como a solar, eólica e hídrica, podem parecer invenções recentes, porém a ideia de utilizar forças da natureza como forma de gerar energia vem de milhares de anos atrás, quando o homem utilizava o fogo a base de madeira e folhas para produzir energia térmica e com ela cozinhar ou se manter aquecido anoite, ou quando foram inventados os grandes moinhos de trigo, que utilizavam a força do vento para girar engrenagens, energizando com energia cinética um moedor para transformar o trigo em farinha. Mais recentemente, a crise do petróleo na década de 1970 acendeu um alerta sobre a finitude dos combustíveis fósseis e seus impactos negativos no meio ambiente. Esse evento histórico impulsionou um renovado interesse pelas fontes de energia renováveis, conhecidas como alternativas mais limpas, sustentáveis e renováveis, e que graças a sua proliferação e com

intensivas pesquisas e avanços tecnológicos, vem se tornando cada vez mais produtivas, mostrando um potencial energético capaz de tornar completamente obsoletas todas as formas de geração de energia movidas a combustíveis fósseis poluentes.

Nesse capítulo será aprofundado uma seleção das mais comuns e utilizadas fontes de energia consideradas alternativas às fontes poluentes e que mais contribuem para a atual matriz elétrica, disponíveis até 2024, discutindo sua funcionalidade, custos de manutenção e produção, mão de obra e espaço necessário para gerar uma quantidade específica de energia para fins de comparação. Com isso estabelecido, foram selecionadas para discussão as fontes de energia eólica, geotérmica, solar e nuclear, com algumas menções a produção de energia por fusão nuclear, a qual atualmente é inviável para utilização em massa, mas que, ao que tudo indica, se trata de uma fonte de energia com baixíssimas emissões de resíduos comparada a altíssima capacidade de produção de energia.

4.1 Solar

Um dos meios de produção de eletricidade com baixa emissão de resíduos mais popular da atualidade, a energia solar trata-se da utilização do sol como fonte de eletricidade, necessitando apenas da clara exposição ao sol para seu funcionamento, diferente de outras fontes renováveis como a eólica, que depende da força do vento que pode variar, e a hidroelétrica, que depende do fluxo da água. O meio mais comum de geração de energia solar presente no dia a dia é o painel fotovoltaico, que transforma a energia do sol em eletricidade, no entanto existem outras duas grandes geradoras de energia solar, que seriam a solar térmica, que usa a radiação solar para aquecer água ou óleo, utilizando o calor para gerar energia, e a solar heliotérmica, que concentra raios solares para gerar energia, de forma similar a solar térmica, método também conhecido como termosolar.

De acordo com um estudo realizado pela Agência Internacional de Energia (IEA), a produção média de energia solar por hora em usinas solares no Brasil é de 200 kWh, ou seja, uma usina solar com 100 painéis solares (50 kWp) geraria cerca de 200 kWh por hora. Considerando a produção total no país, em 2021 o Brasil possuía cerca de 3.893 usinas eólicas espalhadas pelo país, com 2.424 sendo de pequeno porte cuja capacidade máxima de produção não chegava a 5 MW, e 1.469 de grande porte com produção acima de 5 MW.

De acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) com dados de 12 de março de 2024, R\$ 193,4 bilhões de reais em investimentos, mais de 1 milhão

de empregos gerados no setor e mais de 39,8 GW operacionais em geração de energia solar (em 2023, o Brasil atingiu a 6ª posição no ranking mundial em geração de energia solar em 2023 com uma produção aproximada de 38 GW operacionais, porém ainda muito atrás do quinto colocado, a Índia, que chegou a obter mais de 70 GW operacionais. Importante ressaltar que ao medir o potencial energético de usinas fotovoltaicas, o padrão utilizado na medida dos watts gerados é a de watts pico (sigla Wp), unidade de medida de energia normalmente utilizada na geração de energia fotovoltaica, indicando o quanto de energia os painéis instalados seriam capazes de gerar no seu ápice durante o dia.

Ao tratar das principais matrizes de produção de energia solar em larga escala, essas se caracterizam como complexos solares. Complexo solar é o nome dado a um conjunto de usinas solares fotovoltaicas interligadas e que operam com uma única subestação de energia responsável por converter essa energia “bruta” e de altíssima voltagem em utilizável e possibilitando o uso da eletricidade por equipamentos comuns. Segundo dados da Aneel de 2023, dentre as maiores produtoras de energia solar podemos citar a usina de Janaúba, construída pela Elera Renováveis e responsável por produzir 1,6 GWp de energia solar, utilizando um investimento aproximado de R\$5,2 bilhões de reais, a usina de São Gonçalo, construída pela Enel, utilizando um investimento aproximado de R\$ 2,2 bilhões para alcançar uma produção aproximada de 864 MWp, e como último exemplo a usina Sol do Cerrado, localizado em Jaíba, Minas Gerais, e construída pela empresa Vale com um investimento de aproximadamente R\$ 3 bilhões a usina é capaz de gerar 766 MWp.

Um fato importante de ressaltar é a localização dessas usinas. A maioria das maiores usinas de energia fotovoltaica do país se encontram na região nordeste do país (com algumas delas, incluindo as de Janaúba e Sol do Cerrado, sendo encontradas mais ao sul no estado de Minas Gerais) por essa região possuir uma peculiaridade climática e ambiental que permite a melhor exploração dessa fonte de energia. O nordeste do Brasil é uma região muito marcada e famosa pelo calor escaldante e os solos áridos, bem característicos do chamado sertão, com muitos períodos de secas, que possibilitou a proliferação de uma flora capaz de sobreviver a muitas semanas sem a presença de chuva. Todas essas características fazem com que o nordeste se torne um enorme potencial para a geração de energia solar, onde áreas normalmente consideradas de baixo valor por serem ruins para o agronegócio e praticamente inóspitas pela dificultada qualidade de vida da região se tornam potenciais grande polos para geração de energia limpa utilizando painéis fotovoltaicos, que seriam extremamente aproveitados considerando a marcante presença do calor escaldante e a quase ausência de nuvens grandes

que bloqueariam a presença do sol, reduzindo a efetividade dos painéis. Quanto ao impacto causado ao meio ambiente que as usinas fotovoltaicas poderiam causar, o principal e mais marcante é o esfriamento do solo, já que os painéis tendem a absorver maior parte do calor que estaria impactando a terra, com isso o ambiente onde os painéis são instalados tendem a rebaixar a temperatura média. No caso do nordeste, o impacto causado pelos painéis solares poderia ser até positivo, considerando que o solo normalmente ardente se tornaria mais agradável para fauna e flora se desenvolverem.

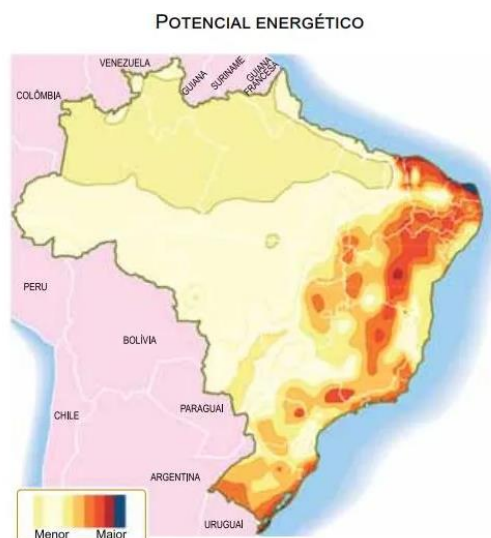
4.2 Eólica

A energia eólica é aquela que depende da força dos ventos para gerar energia, as mais comuns tendo sua arquitetura inspirada nos moinhos de ventos, uma tecnologia utilizada a séculos por fazendeiros. Seu funcionamento vem da movimentação de hélices móveis ligadas a um rotor que é responsável por transformar a energia cinética do movimento das hélices em energia elétrica. Por mais que o design mais conhecido seja o das enormes torres com aparência de cata-vento, é importante ressaltar que existem variações de modelos quanto ao tamanho das hélices, arquitetura e potência, porém todas seguindo o mesmo princípio para geração de energia.

As turbinas eólicas são excelentes fontes de energia limpa por gerarem nenhum poluente direto na atmosfera, possuem custos progressivamente menores para instalação e manutenção e podem ser instaladas em propriedades particulares, facilitando o acesso a energia em áreas mais remotas do país.

No entanto essa fonte de produção carrega consigo uma série de desvantagens. Uma grande desvantagem das turbinas eólicas está no espaço necessário para que seja possível extrair a capacidade máxima das turbinas, que precisam estar bem espaçadas entre si para evitar que o vento seja pouco aproveitado por uma das unidades enquanto outra recebe toda a força do vento, uma das formas encontradas de superar essa adversidade e ainda contar com um espaço muito mais amplo e nivelado foi a instalação de turbinas eólicas no mar, aproveitando as fortes correntes oceânicas livres de qualquer obstrução. O movimento das hélices apresenta um perigo real para animais voadores como morcegos e pássaros que ocasionalmente entram se chocam com as usinas e acabam mortos pelo impacto, o movimento das hélices também é responsável por emitir um nível elevado de ruído, o que faz com que o valor dos terrenos próximos a essas usinas se desvalorize por conta do desconforto causado aos moradores próximos. Também

devemos incluir a dependência direta de um fenômeno natural, que causa a incerteza quanto a produção efetiva de eletricidade, fazendo com que não seja viável instalar usinas em locais com alta oscilação na força dos ventos, sendo mais eficientes em montanhas ou no mar, onde não há interferências para a circulação das correntes de ar, sem falar também do dificultado deslocamento das peças das turbinas, no qual apenas uma hélice pode atingir o tamanho de um campo de futebol, com o peso total da estrutura tendo aproximadamente 330 toneladas.



(ANEEL. Atlas de energia elétrica do Brasil, 2005. Adaptado.)

O mapa acima, divulgado pela ANEEL, mostra as áreas com maior capacidade de produção de energia eólica no país, sendo a maioria próxima ao mar. O Brasil possui uma grande vantagem em comparação com a maioria dos países do mundo por seu vasto território com uma das maiores fronteiras marítimas, mostrando uma capacidade enorme para produzir em massa energia através de usinas eólicas.

Sobre sua produtividade a média de potência das turbinas eólicas utilizadas em usinas eólicas é de 2,5 megawatts (MW). Isso significa que, em condições ideais, uma usina eólica com 20 turbinas (50 MW) geraria cerca de 250 kWh por hora. Mesmo apresentando uma potência similar a de usinas solares, a energia eólica continua sendo dependente de condições climáticas favoráveis e com espaços delimitados capazes de extrair o máximo de sua potência, ao contrário dos painéis fotovoltaicos que só precisam estar expostos a luz do sol com poucos obstáculos como sombras e nuvens.

4.3 Hidroelétrica

Sendo a mais importante fonte de energia presente na matriz elétrica do Brasil, com uma participação de mais de 61%, as usinas hidrelétricas são capazes de produzir quantidades

incríveis de eletricidade utilizando o princípio da gravidade sobre a água. Para a construção e o funcionamento de uma usina hidrelétrica, a água é represada em um reservatório, formando um lago artificial com uma elevação maior do que a saída do lado oposto da barragem, onde se instala a usina. Utilizando da gravidade, a água represada liberada através de turbinas, constituídas por grandes rodas que entram em movimento com o fluxo rápido e extremo da água, movimentando então grandes geradores que transformam a energia mecânica em energia elétrica, que é então transferida para subestações responsáveis por elevar a tensão da corrente para que possa ser transmitida.

O Brasil conta com aproximadamente 220 usinas hidrelétricas de grande porte, e algumas centenas de pequeno porte, que em condições ideais são capazes de produzir em média 1000 MW por hora, podendo sofrer alteração no número por diversos fatores como a altura da queda d'água e capacidade de vazão. Dentre as maiores usinas do país temos como destaque a usina de Itaipú, localizada no Rio Paraná entre o Brasil e o Paraguai, que é capaz de produzir 14.000 MW, ou cerca de 10 TWh (terawatts hora) por ano (aproximadamente 15% do consumo no Brasil), e a usina de Belo Monte no Pará, com capacidade de produzir 11.233 MW ou 6,2 TWh por ano, correspondendo a 8% do consumo no país. As usinas de Itaipú e Belo Monte citadas tiveram um custo total de U\$ 20 bilhões e R\$ 40,8 bilhões, com manutenção de aproximadamente U\$ 1 bilhão e R\$ 4 bilhões por ano, respectivamente (a usina de Itaipú possui seus custos em dólares por se tratar de uma usina binacional, de responsabilidade do Brasil e do Paraguai).

Atualmente estão em construção algumas usinas novas, com as mais notáveis sendo a Usina de São Luiz de Tapajós no Pará, com capacidade planejada de 8.370 MW, custando R\$ 26,6 bilhões e com conclusão prevista para 2028; a Usina de São Marcos no Maranhão, com capacidade instalada de 2.430 MW, investimento de R\$ 5,6 bilhões e conclusão prevista para 2026.

Graças ao vasto território e a grande biodiversidade, o Brasil tem cerca de 42 mil quilômetros de rio mapeados e navegáveis, o que serve como um dos indicadores do grande potencial para geração de energia hidroelétrica. No entanto esse tipo de energia, por mais que utilize apenas a ação da gravidade sobre um recurso natural amplamente disponível na superfície, o fluxo da água, as usinas hidroelétricas podem causar enormes mudanças para o ecossistema local. O tipo mais comum e eficiente de usina hidroelétrica é a que utiliza o sistema de represas, que eleva o nível da água de um lado para melhor aproveitar o potencial da gravidade sobre o líquido, que é liberado do outro lado da represa, porém a instalação dessas

represas traz a necessidade de alagar um grande território para permitir que o nível da água seja elevado o bastante, com isso toda a fauna e flora que existe nos arredores da usina são afetados negativamente, alterando o equilíbrio do ecossistema e causando perda da biodiversidade e risco de inundações em propriedades vizinhas. Ao construir uma usina hidroelétrica, antes de qualquer obra ser iniciada sempre deve ocorrer um intenso estudo sobre o impacto socioambiental que tal construção traria para a região assim que completa.

4.4 Nuclear

A energia nuclear, por mais que seja capaz de produzir uma quantidade enorme de energia num espaço relativamente pequeno, ainda é objeto de discussão no meio científico e político. Experiências com essa produção mostraram resultados incríveis em eficiência energética, porém com riscos devastadores para o ecossistema caso haja mal funcionamento no sistema. Mesmo assim, segundo a WNA (Associação Nuclear Mundial, em inglês) existem atualmente 400 centrais nucleares pelo mundo, a maioria delas em países desenvolvidos como França, Japão, Estados Unidos, Alemanha, Suécia, China e Rússia, que são responsáveis pela geração de aproximadamente 14% de toda energia elétrica do mundo, provando sua incrível eficiência.

Essa produção segue o princípio de Einstein que diz que os átomos de alguns elementos químicos apresentam a propriedade de, através de reações nucleares, transformar massa em energia. Conhecido também como fissão nuclear, esse método depende da divisão de átomos para gerar energia e o principal elemento capaz de produzir quantidades elevadas de energia é o urânio. A fissão ocorre dentro de varetas do elemento combustível, que então são responsáveis por aquecer a água do reator a uma temperatura de aproximadamente 320°C e mantida sob pressão para evitar a ebulição, essa água aquecida então passa para um gerador de vapor onde será responsável por aquecer a água já existente nesse recipiente, sem ocorrer contato direto entre os líquidos, com isso o vapor gerado é levado para uma turbina a qual atingira uma velocidade aproximada de 1800 rotações por minuto, logo após o vapor passa por um condensador responsável por esfriar o vapor utilizando água do mar, realizando o processo inverso e transformando o vapor em água novamente, que será então reintroduzido no tanque de vapor para ser reaquecido. Com esse sistema de funcionamento, a água do primeiro circuito a qual sofre aquecimento pelo contato com o elemento combustível não interage diretamente com a água do segundo circuito, evitando qualquer tipo de contaminação e certificando que os

gases emitidos pelas grandes torres de energia nuclear são, na verdade, apenas água livre de contaminação.

Mesmo sem gerar gases poluentes e sendo um sistema extremamente eficiente, ainda são gerados resíduos nucleares que não podem ser eliminados com facilidade. Após a utilização das varetas de combustível, essas ficam incapazes de realizar fissão nuclear com a mesma eficiência de antes, porém continuam extremamente radioativas, sendo assim são colocadas dentro de recipientes com camadas de vidro, aço e concreto para evitar a contaminação e guardadas em depósitos abaixo da superfície, evitando qualquer contato futuro acidental com o material radioativo. Como medida extra de proteção, foi elaborado na Universidade da Califórnia, em 1946, e posteriormente utilizado no mundo todo o famoso símbolo do trifólio para avisar sobre os perigos de radiação nos locais onde é encontrado.

As usinas nucleares ganhavam força no século passado devido a sua altíssima capacidade de produção, no entanto em 26 de abril de 1986 a perspectiva do mundo sobre a energia nuclear mudaria completamente. Nesse dia uma série de acidentes e descuidos de natureza humana, junto a um projeto falho de reator, acabou por causar uma explosão equivalente a explosão de 400 bombas atômicas do tipo utilizado em Hiroshima no final da segunda guerra mundial. Além acabar com a vida de 31 trabalhadores no local, a explosão liberou uma quantidade de radiação incalculável por uma distância quilométrica, com indícios da radiação sendo percebidos até em países próximos, deixando os arredores da usina inóspito e causando a morte indireta de milhares de pessoas devido a doenças causadas pela exposição a radiação, dentre essas a principal sendo o câncer.

Atualmente o Brasil possui apenas 2 usinas nucleares funcionais situadas na Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAB) em Angra dos Reis, Rio de Janeiro, sendo elas a usina de Angra 1 e Angra 2, com a usina Angra 3 atualmente em construção com data de finalização prevista para 2027. A primeira possui uma potência de 657 MW, enquanto a segunda possui 1.350 MW e a terceira aproximadamente 1.405 MW e com seus custos de investimento sendo respectivamente R\$ 8,4 bilhões, R\$ 17,2 bilhões e aproximadamente R\$ 25 bilhões.

Além dos efeitos colaterais mais óbvios e conhecidos das usinas nucleares que são os possíveis acidentes extremamente nocivos a todo ecossistema em um alcance de milhares de quilômetros, mesmo com seu funcionamento normal as usinas também podem trazer alterações na biodiversidade local. Em 1984, um tubarão-tigre foi encontrado morto na entrada de água de refrigeração da usina, e no ano seguinte outro da mesma espécie foi capturado com vida no

mesmo local, fatos que aconteceram devido ao aquecimento das águas perto da usina que tornou o ambiente mais agradável para espécies que são acostumadas a viver em águas mais quentes. Como forma de combater possíveis incidentes similares, foram instaladas redes de contenção perto das entradas de água da usina e reforço na monitoração da área ao redor da usina.

5 IMPACTO CAUSADO PELA SUBSTITUIÇÃO

Como demonstrado nos capítulos anteriores, o Brasil se encontra numa posição privilegiada com relação a geração de energia limpa e as oportunidades para expansão desse tipo de operação, considerando o vasto território e meio ambiente favorável para o desenvolvimento, principalmente, de usinas hidroelétricas, solares e eólicas. Com o exponencial crescimento apresentado nesse mercado, junto com o estímulo internacional para intensificar a utilização de fontes alternativas de energia, o investimento, tanto estatal quanto do setor privado, em geração de fontes de energia renováveis pode apresentar uma nova fonte de receita aos cofres públicos.

No caso do Brasil, não existe uma necessidade tão grande de uma substituição propriamente dita, já que maior parte da geração de energia elétrica já vem de fontes renováveis, porém ainda existe uma parte da matriz elétrica que vem de combustíveis fósseis, as vezes surgindo como um subproduto por exemplo no refinamento do petróleo. Existem muitas iniciativas vindas de governos e organizações que tentam reduzir os efeitos “inevitáveis” de produtos dados atualmente como essenciais, como o petróleo mencionado, através de instalação de filtros nas chaminés de fabricas, produção em larga escala de carros elétricos e outras iniciativas que auxiliam na recuperação da camada de ozônio através da captura de gases do efeito estufa, mas como o assunto principal da pesquisa é acerca da produção de energia limpa um mecanismo criado para criar um incentivo mercadológico para a geração de energia renovável ou para projetos que promovam redução ou remoção de gases do efeito estufa foi a invenção do crédito de carbono.

Surgido em 1997 a partir do protocolo de Kyoto, o primeiro tratado internacional para controle de emissão de gases de efeito estufa, o crédito de carbono veio com a ideia da criação de uma commodity que possa incentivar a redução de emissão de gases poluentes na atmosfera, possibilitando que uma empresa que não consegue, ou que dificilmente conseguiria, reduzir suas emissões, como por exemplo petrolíferas, compre esses créditos de empresas ou usinas que conseguem reduzir os impactos da poluição da atmosfera através da geração de energia

limpa ou com a captura de gases causadores do efeito estufa. Assim como qualquer outra commodity, o crédito de carbono segue as tendências de mercado para determinar seu preço, expresso em dólar.

Gráfico 2 – Evolução do preço de Crédito Carbono Futuro



Fonte: InfoMoney, dados de janeiro de 2006 até abril de 2024

Seguindo o crescimento da urgência da questão climática, o valor do crédito de carbono vem crescendo num ritmo acelerado, em apenas 3 anos o preço da commodity foi de US\$ 18,50 em março de 2020 para mais de US\$ 95 o crédito em fevereiro de 2023 e desde então vem seguindo um valor em torno dos US\$ 70 por unidade. Como exemplo da rentabilidade que esse mercado traz, com um preço médio de 80 dólares por crédito de carbono, em 2022 a empresa americana Tesla, que tem como foco a produção de veículos 100% elétricos, obteve uma receita de aproximadamente US\$ 1,77 bilhões em 2022 apenas com o comércio dessa commodity, ou seja, sem a venda de nenhum carro.

Ao tratar de uma das principais preocupações acerca do impacto econômico que o investimento em fontes de energia alternativa traria, a IRENA (Agência Internacional de Energia Renovável), interessada em promover o avanço do conhecimento energético, facilitar a cooperação e promover a adoção de fontes de energia renováveis, realizou em 2022 uma pesquisa acerca dos custos efetivos de produção entre diferentes fontes de energia, tanto poluentes como alternativas. Nessa pesquisa foi encontrado que a produção de energia a base de petróleo seria a mais cara de todas, seguida do gás natural e do carvão mineral, com os respectivos custos sendo US\$ 127/MWh, US\$ 72/MWh e US\$ 57/MWh, enquanto isso as

fontes de energia renovável apresentaram custos médios muito mais vantajosos, dos quais podemos citar a energia fotovoltaica custando US\$ 49/MWh, a eólica terrestre por US\$ 33/MWh e a hidroelétrica custando US\$ 40/MWh, indicando que já é economicamente viável fazer investimentos mais elevados em energias alternativas.

Outro aspecto muito relevante quando tratamos o investimento em larga escala em um setor tão essencial da sociedade, o governo pode ter algum tipo de influência no sucesso da transição energética. Além de financiamentos fornecidos pelo BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) e a FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) para pesquisa, desenvolvimento e implementação de novas tecnologias para produção de energia limpa, também estão em vigor algumas leis de incentivos fiscais que ajudam a reduzir o peso tributário das usinas e de produtores individuais, das quais podemos citar a lei nº 12.715/2012, que concede isenção do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) para a aquisição de diversos equipamentos utilizados na geração de energia renovável, como painéis solares, aerogeradores e inversores e a lei nº 12.187/2009, que concede redução da alíquota do PIS/COFINS para a energia elétrica gerada a partir de fontes renováveis. A alíquota varia de acordo com a fonte de energia e o porte do projeto, e como complemento, alguns estados brasileiros oferecem crédito de ICMS para a energia elétrica injetada na rede por usinas de geração renovável. O valor do crédito varia de acordo com o estado.

Como podemos observar, as fontes renováveis já são bem mais baratas do que os combustíveis fósseis em muitos casos, e essa tendência deve se intensificar nos próximos anos conforme novos incentivos fiscais entram em vigor e novas tecnologias são desenvolvidas para elevar ainda mais a capacidade de produção das usinas. E quanto ao papel do governo brasileiro e seu desempenho na promoção da geração de energia elétrica a partir de fontes não poluentes, os incentivos oferecidos têm sido fundamentais para o desenvolvimento do setor de energia renovável.

6 CONCLUSÃO

Os consecutivos avanços sociais, tecnológicos e econômicos que a humanidade vem passando durante as últimas décadas não veio de forma livre de custos ao meio ambiente. Desde a época das primeiras revoluções industriais, quando o ser humano descobriu a máquina a vapor e começou a utilizar combustíveis fósseis (mais usualmente o carvão) a atmosfera passou a receber uma quantidade de gás carbônico acima do que ela seria capaz de absorver

normalmente. Com o expressivo crescimento populacional e expansão econômica dos últimos séculos, esse dano causado vem se tornado cada vez maior, em um nível tão grave que muitos estudos indicam que nos próximos anos poderemos chegar num “ponto sem volta”. O aquecimento global causado pela poluição vem desequilibrando o clima do mundo de forma notória: verões mais quentes, invernos mais frios, derretimentos das calotas polares, alagamentos e chuvas mais fortes, dentre outros.

Por mais que a poluição seja causada de diversas formas, desde a queima de combustíveis fósseis até a superprodução de gado (que produzem metano, um dos gases causadores do efeito estufa), é inegável que um dos maiores responsáveis foi o mecanismo que possibilitou todos os avanços tecnológicos que possuímos hoje em dia: a geração de energia elétrica.

Pelo Brasil ser considerado um dos maiores países do mundo e famoso pela sua vasta biodiversidade, a nação tem o privilégio de poder explorar diversas formas de geração de energia que utilizam seus recursos naturais, desde os inúmeros canais fluviais até o clima seco e árido do sertão, se tornando um exemplo para o mundo na geração de energia limpa. A matriz elétrica atual do Brasil já apresenta um percentual de fontes de energia renováveis muito superior ao de muitos países desenvolvidos, o que indica que o país está bem afrente na questão de energias sustentáveis e poucas mudanças radicais sobre transição energética precisam ser feitas quando o assunto é a geração de energia, mas o que é possível fazer é intensificar o investimento e os incentivos a esse tipo de produção.

"Os países que liderarem a pesquisa e desenvolvimento em energia renovável serão os que colherão os maiores benefícios econômicos e estratégicos." - Steven Chu, ex-Secretário de Energia dos EUA e Prêmio Nobel de Física.

Como explorado anteriormente, considerando que os custos sobre as fontes renováveis de energia elétrica tendem a decair enquanto a sofisticação de sistemas e criação de novas tecnologias vem acontecendo, o Brasil tem a oportunidade de se tornar um país exportador de energia limpa, utilizando ao máximo seus recursos naturais de forma que não cause danos ao ecossistema e podendo gerar lucros elevados através do mercado de crédito de carbono. Cabe ao governo manter ou continuar a fornecer novos incentivos fiscais que possam promover ainda mais a exploração desses recursos naturais.

7 BIBLIOGRAFIA

AQUINO, Ítalo. **Como Escrever artigos científicos: sem “arrodeio” e sem medo da ABNT**. São Paulo: Saraiva, 2010.

DEMO, Pedro. **Introdução à metodologia da ciência**. São Paulo: Atlas, 1985

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Saraiva, 2014.

Energia Nuclear. Eletronuclear. Disponível em: <<https://www.eletronuclear.gov.br/Sociedade-e-Meio-Ambiente/Espaco-do-Conhecimento/Paginas/Energia-Nuclear.aspx>>. Acesso em: 23 agosto 2023.

ARAÚJO, Tarso. **Onde é guardado o lixo nuclear das usinas brasileiras?** Super. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/mundo-estranho/onde-e-guardado-o-lixo-nuclear-das-usinas-brasileiras>>. Acesso em: 1 abril 2024.

RODRIGUES, Alexandre; **OLIVEIRA, D. RELATÓRIO PRELIMINAR SOBRE O ACIDENTE DE CHERNOBYL**. IAEA. Disponível em: <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/18/060/18060524.pdf>. Acesso em 4 abril 2024.

BEN. **Relatório Síntese 2023**. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-681/BEN_S%C3%ADntese_2023_PT.pdf>. Acesso em 3 fevereiro 2024.

REDACAO PAPOCA. **Entenda a diferença entre matriz energética e matriz elétrica**. Esfera Energia. Disponível em: <<https://blog.esferaenergia.com.br/mercado-livre-de-energia/diferenca-matriz-energetica-matriz-eletrica>>. Acesso em: 9 fevereiro 2024.

ABSOLAR. **Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo**. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 9 fevereiro 2024.

CASARIN, Ricardo. **Painéis solares atingem preços mais baixos da história no mercado internacional.** Portal Solar. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/noticias/mercado/internacional/paineis-solares-atingem-precos-mais-baixos-da-historia-no-mercado-internacional>>. Acesso em: 9 fevereiro 2024.

SILVEIRA, Luciana G. **Há 36 anos aconteceu o acidente na usina nuclear de Chernobyl.** Conselho Nacional de Técnicos em Radiologia. Disponível em: <<http://conter.gov.br/site/noticia/na-historia-25-04-2022>>. Acesso em: 1 março 2024.

LIMA, Leandro J. B. **Estratégias para a Transição Energética: Revisão.** Research gate. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Leandro-Jose-Barbosa-Lima/publication/361750445_Strategies_for_the_Energy_Transition_Literature_Review_Estrategias_para_la_Transicion_Energetica_Revisao_de_la_Literatura_Estrategias_para_a_Transicao_Energetica_Revisao_de_Literatura/links/62c36d083f38b17066d4373b/Strategies-for-the-Energy-Transition-Literature-Review-Estrategias-para-la-Transicion-Energetica-Revisao-de-la-Literatura-Estrategias-para-a-Transicao-Energetica-Revisao-de-Literatura.pdf>. Acesso em 3 março 2024.

CREDCARBO. **Qual o valor de 1 crédito de carbono (tonelada de CO₂) no mercado internacional hoje?** Credcarbo. Disponível em: <<https://credcarbo.com/carbono/qual-o-valor-de-1-credito-de-carbono-tonelada-de-co2-no-mercado-internacional-hoje/>>. Acesso em: 10 março 2024.

AB, Redação. **Tesla faturou US\$ 1,77 bi com a venda de créditos de carbono em 2022.** Automotivebusiness. Disponível em: <<https://automotivebusiness.com.br/pt/posts/mobility-now/tesla-venda-creditos-carbono-recorde/>>. Acesso em: 12 março 2024.

IRENA. **Renewable Power Generation Costs in 2022.** IRENA. Disponível em: <<https://www.irena.org/Publications/2023/Aug/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2022>>. Acesso em: 13 março 2024.

PORTAL SOLAR. **Maiores usinas solares fotovoltaicas do Brasil.** Portal Solar. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/maiores-usinas-de-energia-solar-do-brasil>>. Acesso em: 24 março 2024.

GONÇALVES, Gustavo. **Simulação do custo real de diferentes fontes energéticas no Sistema Integrado Nacional, em cenário de isonomia e maior competitividade de Pequenas Centrais Hidrelétricas.** Agência CanalEnergia. Rio de Janeiro, 05 de maio de 2020.

CASARIN, Ricardo. **Painéis solares atingem preços mais baixos da história no mercado internacional.** Portal Solar. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/noticias/mercado/internacional/paineis-solares-atingem-precos-mais-baixos-da-historia-no-mercado-internacional>>. Acesso em: 1 abril 2024.

COMUNICAÇÃO. **A origem das preocupações ambientais: ações de prevenção.** Ambipar ESG. Disponível em: <<https://www.verdeghaia.com.br/preocupacoes-ambientais/>>. Acesso em: 11 fevereiro 2024.

TIMES DE RAÍZEN POWER E SUSTENTABILIDADE DA RAÍZEN. **Matriz Energética Brasileira: o que é e do que é composta.** Raizen. Disponível em: <<https://www.raizen.com.br/blog/matriz-energetica-brasileira>>. Acesso em: 11 maio 2024.

ENERGIA à reação nuclear. WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_nuclear>. Acesso em: 3 fevereiro 2024.

HCC Energia Solar. **O que é energia solar térmica? Entenda!** HCC Energia Solar. Disponível em: <<https://hccenergiasolar.com.br/o-que-e-energia-solar-termica-entenda/>>. Acesso em: 11 fevereiro 2024.

PERGUNTAS FREQUENTES. **ITAIPU BINACIONAL.** Itaipu. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/perguntas-frequentes>>. Acesso em: 11 maio 2024.

Gráfico Crédito Carbono - Investing.com. Investing.com Brasil. Disponível em: <<https://br.investing.com/commodities/carbon-emissions-streaming-chart>>. Acesso em: 11 maio 2024.