

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
ETEC VASCO ANTONIO VENCHIARUTTI
TÉCNICO EM MEIO AMBIENTE

IMPLEMENTAÇÃO DA ENERGIA SUSTENTÁVEL NO CENÁRIO BRASILEIRO

Autor¹, Andrey de Jesus Araujo
Autor², Gabriely Ribeiro Dotta
Autor³, Josicleide Vieira Matias Guimarães
Autor⁴, João Vitor Gonçalves da Silva
Autor⁵, Victoria Novais Tiago
Autor⁶, Vilmar Aparecido Pereira Ferreira
Professor Orientador: Pedro Norberto de Paula Filho⁷

RESUMO - O artigo analisa o cenário brasileiro para a implementação de energia sustentável, destacando a importância das fontes renováveis para mitigar a crise climática e reduzir os impactos ambientais. Por meio de estudo bibliográfico, avalia o potencial energético das regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sul e Sudeste, enfatizando as condições socioeconômicas e geográficas para expansão de fontes energéticas como solar, eólica e biomassa. A pesquisa propõe estratégias para fortalecer o uso dessas energias, promovendo políticas públicas, investimentos em tecnologia e conscientização social. Visando recomendações que pretendem alinhar desenvolvimento sustentável e preservação ambiental, destacando o papel essencial das energias renováveis no futuro energético do Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Energia renovável. Brasil. Sustentabilidade.

ABSTRACT - The article analyzes the Brazilian scenario for the implementation of sustainable energy, highlighting the importance of renewable sources to mitigate the climate crisis and reduce environmental impacts. Through a bibliographic study, it evaluates the energy potential of the North, Northeast, Midwest, South, and Southeast regions, emphasizing the socioeconomic and geographic conditions for the expansion of energy sources such as solar, wind, and biomass. The research proposes strategies to strengthen the use of these energies by promoting public policies, technological investments, and social awareness. It aims to provide recommendations that align sustainable development with environmental preservation, emphasizing the essential role of renewable energies in Brazil's energy future.

KEYWORD: Renewable energy. Brazil. Sustainability.

¹E-mail: andrey.araujo3@etec.sp.gov.br

²E-mail: gabriely.dotta@etec.sp.gov.br

³E-mail: josicleide.guimaraes@etec.sp.gov.br

⁴E-mail: joao.silva2975@etec.sp.gov.br

⁵E-mail: victoria.tiago@etec.sp.gov.br

⁶E-mail: vilmar.ferreira@etec.sp.gov.br

⁷Professor Orientador Pedro Norberto de Paula Filho: pedro.filho55@etec.sp.gov.br

INTRODUÇÃO

O meio ambiente é um dos recursos mais preciosos da humanidade, fundamental para a sobrevivência de todos os seres vivos e para o equilíbrio dos ecossistemas. No entanto, o aumento da demanda por energia ao longo dos séculos, combinado com o uso intensivo de combustíveis fósseis, tem contribuído significativamente para a degradação ambiental e o aquecimento global. A queima de carvão, petróleo e gás natural libera grandes quantidades de dióxido de carbono (CO₂) e outros gases de efeito estufa, intensificando as mudanças climáticas.

Nesse cenário, a energia renovável surge como uma alternativa essencial para preservar o meio ambiente e garantir um futuro sustentável. Fontes renováveis, como a solar, eólica, hidrelétrica e biomassa, são consideradas limpas por não emitirem poluentes durante o processo de geração de energia, além de serem inesgotáveis em escala humana. Elas representam uma oportunidade para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar os impactos negativos no planeta.

No Brasil, apesar de sua matriz energética já ser majoritariamente renovável, com destaque para a energia hidrelétrica, ainda há espaço para o fortalecimento de outras fontes limpas, como a solar e a eólica. O país, ao seguir essa tendência, pode reforçar seu compromisso com um futuro mais sustentável, garantindo um legado ambientalmente responsável para as próximas gerações.

Nos próximos anos, a tendência global é a adoção crescente de energias renováveis, devido à necessidade de alternativas de geração de energia que não poluam o meio ambiente. Este artigo tem como objetivo analisar as condições energéticas dos estados brasileiros, destacando as condições socioeconômicas favoráveis a futuros investimentos.

O objetivo geral é fundamentado em dados geográficos e informações fornecidas pelos estados brasileiros, visando contribuir para a transição energética de forma a reduzir o impacto ambiental e enfrentar a crise climática. As metas específicas incluem estabelecer planos para a geração, captação e distribuição de energia renovável, identificar o papel da sustentabilidade no contexto energético e integrar um modelo que influencie a concepção e a relação entre o meio ambiente e a sociedade.

Assim, esclarecer as dúvidas da população e da sociedade sobre energia renovável, promovendo o conhecimento dos princípios fundamentais desse tipo de energia. Além disso, apoiar a compreensão e a busca por alternativas sustentáveis, por meio de informações fornecidas por órgãos gestores da administração pública e privada, facilitando a implementação de medidas que beneficiem a todos.

A pesquisa é composta por um conjunto de procedimentos que envolvem observação, análise, estudo e avaliação, utilizando ferramentas digitais como principal recurso para a pesquisa bibliográfica. As informações são analisadas e discutidas com base em artigos científicos, estudos universitários, pareceres de especialistas e documentários relacionados ao cenário brasileiro.

1 O DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA

A história da energia é, em muitos aspectos, uma crônica de descobertas e inovações, refletindo a crescente compreensão humana sobre como diferentes formas de energia podem ser transformadas e utilizadas. Desde os primeiros momentos da civilização, a humanidade tem buscado maneiras de controlar e transformar as diversas manifestações da energia, como a cinética, térmica, elétrica, entre outras, para melhorar as condições de vida e impulsionar o desenvolvimento social e tecnológico.

1.1 Energia cinética

A energia cinética, associada ao movimento de corpos, é uma das formas mais antigas de energia percebidas pelos seres humanos. Desde o início da civilização humana, usa-se a energia muscular para fazer tarefas de sobrevivência, como caçar e plantar. A invenção da roda, há milhares de anos, foi um marco fundamental, pois permitiu transformar a energia muscular e animal em movimento eficiente, facilitando o transporte de cargas e o desenvolvimento do comércio.

Durante a Revolução Industrial, no século XVIII, as máquinas a vapor, movidas pela combustão do carvão, geraram uma explosão na utilização de energia cinética, devido ao uso de locomotivas para o transporte de cargas.

1.2 Energia térmica

A energia térmica, ou calor, é a energia associada ao movimento das partículas dentro de uma substância. A descoberta do fogo, há mais de um milhão de anos, foi provavelmente o maior marco inicial na utilização dessa forma de energia. O controle do fogo permitiu aos primeiros seres humanos se aquecer, cozinhar alimentos e se proteger de predadores. O calor também foi utilizado em diversas atividades de produção, como na fundição de metais, essencial para o avanço das ferramentas e armas (BATISTA, s.d).

Com o tempo, a energia térmica passou a ser utilizada em larga escala com a invenção da máquina a vapor no século XVIII, que converteu o calor gerado pela queima de carvão em energia mecânica. A partir daí, a energia térmica tornou-se a principal fonte de potência para fábricas, navios e locomotivas. A invenção das usinas térmicas, na qual o calor gerado pela queima de combustíveis fósseis é convertido em eletricidade, se tornou a base para a geração de energia no mundo moderno. Esse tipo de energia, é utilizado em maior escala quando em tempos de seca, as usinas hidrelétricas estão com os níveis do reservatório baixo (HELERBROCK, 2019).

1.3 Energia elétrica

Embora a eletricidade tenha sido observada e estudada desde a antiguidade, foi apenas no século XIX que os cientistas conseguiram entender como gerar, controlar e utilizar a energia elétrica de maneira eficiente. Otto Van Guericke inventou uma máquina que produzia cargas eletrostáticas por meio do atrito de rolamento entre cilindros (HELERBROCK, 2016).

No final do século XIX, Thomas Edison e Nikola Tesla tornaram-se pioneiros no uso da energia elétrica para iluminar cidades e alimentar máquinas. A invenção da

lâmpada incandescente e a construção das primeiras redes elétricas marcaram o início da era elétrica.

1.4 Energia nuclear

A energia nuclear, é produzida a partir da fissão (divisão) do núcleo atômico de alguns elementos da tabela periódica. Esse tipo de energia, libera um grande volume de calor.

Com a sua produção, em larga escala, durante o período da Guerra Fria entre Estados Unidos e a então União Soviética, foi constatado que é uma energia muito poderosa, mas, ao mesmo tempo, bastante perigosa em um possível acidente.

1.5 Energias renováveis

No século XXI, a crescente preocupação com as mudanças climáticas e os impactos ambientais das fontes tradicionais de energia, com base no petróleo, levou à busca por fontes mais limpas e sustentáveis. Energias renováveis, como solar, eólica e hidrelétrica, passaram a ganhar destaque como alternativas mais ecológicas à energia proveniente de combustíveis fósseis. A energia solar, que capta a luz do sol, e a energia eólica, gerada pelo movimento dos ventos, e a energia hidrelétrica, que é gerada a partir do movimento das águas, são formas de energia que utilizam fenômenos naturais de forma direta e eficaz, sem emissões de poluentes.

A evolução no uso da energia, desde a cinética e térmica até as fontes mais modernas e renováveis, reflete a capacidade humana de entender e aproveitar os fenômenos naturais de maneira cada vez mais eficiente e inovadora. Cada descoberta e avanço na história da energia transformou as sociedades, desde os primeiros usos do fogo até as tecnologias mais complexas de geração de eletricidade, oferecendo novas oportunidades e desafios.

Hoje, a busca por soluções mais eficientes e sustentáveis continua, com um foco crescente na redução do impacto ambiental e no desenvolvimento de fontes de energia

que não apenas atendam às necessidades humanas, mas que também respeitem os limites naturais do planeta.

Com a definição das principais energias da Matriz Energética Mundial, a realidade da energia renovável no Brasil será apresentada nos próximos itens separando-os pelas regiões do país: Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sul e Sudeste. A produção e a implementação ou expansão dessas fontes renováveis serão abordadas, baseando-as em dados governamentais.

2 REGIÃO NORTE

A região Norte, a maior das cinco regiões brasileiras, caracteriza-se por suas baixas densidades demográficas e desempenha um papel crucial ao abrigar a maior parte da Floresta Amazônica, o maior bioma tropical do mundo e um patrimônio ambiental de grande importância. Composta por sete estados — Acre (AC), Amapá (AP), Amazonas (AM), Pará (PA), Rondônia (RO), Roraima (RR) e Tocantins (TO) — é um centro de interesse global em questões de sustentabilidade e preservação ambiental.

A região Norte do Brasil destaca-se por sua vasta extensão territorial e por abrigar a maior parte da Floresta Amazônica, o que contribui para sua imensa biodiversidade. Mais da metade da Amazônia está localizada em território brasileiro, tornando essa região um centro vital para a preservação ambiental global.

A paisagem natural exerce uma forte influência nas ocupações humanas e na organização do espaço geográfico da região. Comunidades ribeirinhas, por exemplo, dependem fortemente dos rios tanto para o transporte de pessoas quanto para o deslocamento de cargas, segundo o professor de geografia Átila Matias. Esse uso intenso dos recursos hídricos evidencia a integração entre as características naturais e as atividades humanas na região.

De acordo com o Ministério do Turismo (2022), o Norte do Brasil, uma região marcada pela diversidade cultural e histórica, é influenciada pela colonização e ciclos econômicos. No período colonial, as terras ocupadas por indígenas passaram a receber

europeus, como espanhóis e portugueses, que contribuíram para a miscigenação e criaram cidades com arquitetura inspirada no modelo europeu.

A região prosperou com a exploração de recursos naturais como borracha, madeira, ouro e manganês, que impulsionaram a economia. Manaus e Belém destacaram-se no ciclo da borracha no século XIX, tornando-se polos culturais e arquitetônicos com urbanização moderna para a época. Manaus, chamada de "metrópole da borracha", recebeu arquitetos europeus que transformaram a cidade com praças, monumentos e o icônico Teatro Amazonas. Belém, como importante cidade portuária, atraiu imigrantes e desenvolveu prédios históricos luxuosos.

Cidades como Natividade e Porto Nacional, no Tocantins, guardam memórias do período da mineração. Em Natividade, ruas estreitas e casarões remetem aos séculos XVIII e XIX, enquanto Porto Nacional, com seu porto fluvial e construções dominicanas, conectava rotas de ouro. Já a Vila Serra do Navio, no Amapá, reflete a industrialização do século XX, sendo projetada como um núcleo urbano para mineradores, com infraestrutura moderna e um legado que resgata aspectos da Revolução Industrial.

Hoje, a região combina natureza intocada, cultura rica e arquitetura histórica, tornando-se um destino turístico que celebra suas tradições e preserva o passado.

A topografia da região Norte do Brasil é caracterizada por sua grande diversidade de relevo, influenciada pela vasta Floresta Amazônica e pela bacia hidrográfica do Rio Amazonas, como referenciado pelo Atlas Nacional do Brasil, produzido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A região ocupa aproximadamente 45% do território nacional e possui uma predominância de áreas planas e baixas, com algumas elevações significativas, como planaltos e serras.

O relevo é composto principalmente por planícies formadas pelos sedimentos transportados pelos rios da região, como o Amazonas e seus afluentes. Essas planícies são especialmente notáveis pelas áreas alagáveis, essenciais para a manutenção da biodiversidade e equilíbrio ecológico. Além disso, as depressões entre os planaltos são comuns, como a Depressão Marginal Norte-Amazônica, que se estende por vários estados da região.

Embora a maior parte da região tenha altitudes baixas, há também áreas montanhosas, com serras importantes, como as do Tumucumaque e do Parima, que

atuam como divisores de águas e abrigam algumas das mais altas elevações do país, como o Pico da Neblina e o Pico 31 de Março, ambos localizados na Serra do Imeri, detalhado pelo Atlas Nacional Digital do Brasil de 2022.

Os rios, com suas grandes bacias, desempenham um papel crucial na definição da paisagem, sendo extensos e navegáveis. Esse relevo influencia diretamente a dinâmica dos rios, que sofrem variações sazonais, com períodos de cheia que alteram a paisagem e a fauna da região.

Essas características geográficas moldam não apenas o meio ambiente, mas também as atividades humanas, como a agricultura, o extrativismo e o turismo, tornando a região Norte uma área única em termos de biodiversidade e desafios para o desenvolvimento.

A hidrografia, por sua vez, é marcada por vastos e complexos sistemas fluviais, destacando-se a Bacia Amazônica, que é a maior do país e do mundo. A região é cortada por alguns dos rios mais importantes do planeta, como o Amazonas, o Negro, o Solimões e o Tapajós, que desempenham um papel crucial na dinâmica ambiental e econômica do Brasil, como citado pelo site A Aliança Águas Amazônicas. Esses rios formam uma extensa rede hidrográfica, contribuindo para a drenagem de uma área enorme, e facilitando o transporte, a pesca e a irrigação.

Além disso, a região Norte é importante não só pela quantidade de água que comporta, mas também pela sua diversidade. Os rios dessa região fluem em diversas direções e têm características distintas, desde os rios de planalto até os de várzea. A vegetação exuberante da Floresta Amazônica e outros biomas relacionados influenciam diretamente os cursos d'água, com grande quantidade de água da chuva sendo armazenada e liberada ao longo do ano.

A hidrografia brasileira é monitorada por diversas organizações, incluindo a Agência Nacional de Águas (ANA), que oferece informações detalhadas sobre as bacias hidrográficas e os recursos hídricos em cada região. A disponibilidade de água e o uso eficiente desses recursos são essenciais para o planejamento do saneamento básico e outras infraestruturas.

2.1 Fontes de energia no Norte

As melhores fontes de energia renovável para a região Norte do Brasil são aquelas que aproveitam as características naturais da região, como o clima tropical e a grande disponibilidade de recursos naturais. Devido à sua geografia, hidrografia e clima, algumas fontes de energia se destacam como mais viáveis e sustentáveis para a região.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2018), prestadora de serviços ao Ministério de Minas e Energia (MME, Gov.br), o Norte do Brasil é uma região com grande disponibilidade de fontes renováveis de energia, com destaque para o potencial hídrico, a biomassa e as energias solar e eólica. A abundância de rios, como o Amazonas e seus afluentes, faz com que a energia hidráulica seja predominante na matriz energética da região, graças à instalação de usinas hidrelétricas. Essa forma de energia aproveita o fluxo natural das águas para gerar eletricidade de forma sustentável, atendendo a grande parte da demanda energética local.

Rios como o Madeira, Xingu e Tocantins desempenham papéis essenciais na matriz energética do país, o que torna a região crucial para a expansão do setor elétrico brasileiro.

Entre as maiores usinas, destacam-se Belo Monte, no Rio Xingu, e Santo Antônio e Jirau, no Rio Madeira e Itaipu, localizada em Foz do Iguaçu, no Paraná, que faz divisa entre o Brasil e o Paraguai., que possuem grande importância estratégica para a oferta de energia no Brasil. No entanto, a construção dessas usinas gera controvérsias, pois interfere em áreas de floresta tropical e em ecossistemas ricos em biodiversidade. A inundação de vastas áreas resulta em alterações significativas no meio ambiente, incluindo a emissão de gases de efeito estufa provenientes da decomposição de matéria orgânica submersa como o metano CH_4 , além de impactos sobre a fauna e a flora (MARIZ, 2021).

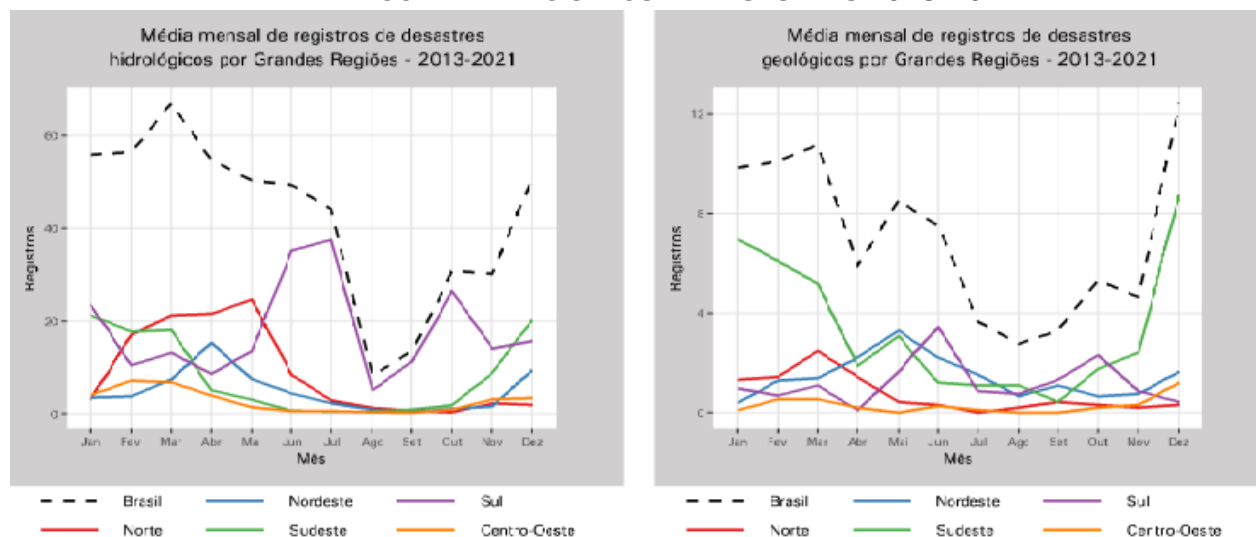
De acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2020), o metano liberado por hidrelétricas pode ser capturado e utilizado para produzir biometano, mas isso depende de como e onde o gás é gerado. Em hidrelétricas, o metano é produzido principalmente pela decomposição de matéria orgânica submersa (como plantas e árvores) no reservatório. Este processo anaeróbico (sem oxigênio) gera gases

como metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), que acabam sendo liberados para a atmosfera.

Este aproveitamento poderia reduzir as emissões de gases de efeito estufa e gerar energia limpa adicional, tornando as hidrelétricas ainda mais sustentáveis. No entanto, essa prática ainda não é amplamente adotada, mas está ganhando interesse em projetos de pesquisa e iniciativas de sustentabilidade.

Do ponto de vista social, os projetos hidrelétricos na região frequentemente afetam comunidades indígenas, ribeirinhas e populações locais. Há registros de deslocamentos forçados, perda de territórios tradicionais e mudanças significativas no modo de vida dessas pessoas, como mostrado no Atlas Nacional Digital do Brasil sobre Registros de Desastres.

FIGURA 1 - REGISTROS DE DESASTRES 2013-2021



Fonte: Atlas Nacional Digital do Brasil, IBGE 2022

Apesar disso, as hidrelétricas também trazem benefícios consideráveis. Como fonte renovável, a energia gerada por elas possui baixo custo operacional e contribui para a estabilidade do sistema elétrico nacional. Além disso, a geração local de energia pode impulsionar o desenvolvimento econômico, criando empregos e melhorando a infraestrutura em áreas remotas.

Ainda assim, a operação das usinas enfrenta desafios específicos, como a logística em regiões de difícil acesso e a variação sazonal dos rios, que impacta a disponibilidade de água para a geração de energia. Para mitigar os impactos, há

iniciativas voltadas à redução das áreas alagadas por meio de novas tecnologias e ao fortalecimento do diálogo com comunidades locais. Segundo a Associação Brasileira de PCHs e CGHs (ABRAPCH, 2019), as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) são vistas como uma alternativa sustentável, pois causam menos impactos ambientais.

A energia hidrelétrica no Norte do Brasil representa uma interação complexa entre a necessidade de desenvolvimento econômico e a preservação ambiental. A busca por políticas públicas equilibradas é essencial para maximizar os benefícios desse recurso e minimizar seus prejuízos sociais e ambientais.

A biomassa também é uma fonte significativa, especialmente pela utilização de resíduos agroflorestais e industriais, como madeira e subprodutos agrícolas, para geração de calor e eletricidade. Além disso, o potencial para energia solar é vasto devido à alta incidência de radiação solar na região. Apesar de ainda subaproveitada, essa fonte tem grande potencial para projetos futuros, especialmente em áreas remotas, onde a conexão com a rede elétrica é limitada, pontuado pelo Instituto de Defesa dos Consumidores (2021).

A energia eólica começa a ganhar espaço no Norte, especialmente em estados como o Pará, com a instalação de parques eólicos em locais estratégicos. A combinação dessas fontes reflete a capacidade da região em aproveitar seus recursos naturais para o desenvolvimento sustentável, minimizando impactos ambientais e promovendo a independência energética.

2.2 Implementação

A implementação de energia renovável em um país exige um planejamento estratégico detalhado e uma cooperação integrada entre governo, setor privado e sociedade civil, abrangendo diversas etapas técnicas e administrativas.

O primeiro passo é a formulação de uma política energética nacional, estabelecendo metas mensuráveis de redução da dependência de combustíveis fósseis e mitigação das emissões de gases de efeito estufa. Essa política deve incluir instrumentos regulatórios e econômicos e mecanismos de precificação de carbono

(CEBDS, 2015), para fomentar o investimento em fontes renováveis, como solar fotovoltaica, eólica, biomassa e energia geotérmica.

Investimentos direcionados em pesquisa, desenvolvimento e inovação são cruciais para aprimorar as tecnologias de geração e armazenamento de energia. Isso inclui o financiamento de projetos em universidades e centros tecnológicos voltados à eficiência energética, sistemas de armazenamento avançados, como baterias de íons de lítio e hidrogênio verde, e métodos de otimização de redes elétricas. Além disso, é necessário modernizar as redes elétricas, implementando tecnologias como redes inteligentes, que permitem melhor gerenciamento da distribuição de energia e integração das fontes renováveis.

A educação e conscientização da população também desempenham um papel relevante no aumento da adesão às energias renováveis. Campanhas de sensibilização e incentivos para a instalação de sistemas descentralizados, como painéis solares residenciais, podem ampliar significativamente o impacto da transição.

No âmbito empresarial, parcerias público-privadas são essenciais para garantir a viabilidade econômica e operacional dos projetos. Atração de capital estrangeiro e estímulo ao empreendedorismo local no setor energético são componentes indispensáveis para sustentar o crescimento do setor.

Estudos geográficos e ambientais detalhados são fundamentais para identificar as melhores áreas para instalação das tecnologias, considerando fatores como potencial solar e eólico, e minimizando impactos ambientais e sociais. O planejamento regionalizado permite maior eficiência na alocação dos recursos naturais e promove o desenvolvimento socioeconômico local.

Por fim, como apontado pelo Portal Gov.br no Ministério de Minas e Energia (MME) do Brasil, o estabelecimento de mecanismos de monitoramento e avaliação contínua dos projetos permite medir a eficiência energética, os impactos ambientais e a viabilidade econômica, além de fornecer dados para ajustes e aprimoramentos nas políticas implementadas.

Existem diversos formatos para a construção de projetos de EE (eficiência energética), abrangendo diferentes tipos de necessidades. Podem seguir diferentes instrumentos legais e contar com fontes de financiamento distintas. A definição do tipo de projeto a ser implementado deve ser feita caso e caso e com a orientação de especialistas. (BRASIL, Ministério de Minas e Energia)

3 REGIÃO NORDESTE

De acordo com o Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2024), a Região Nordeste do Brasil, possui uma população estimada de 54,6 milhões de pessoas distribuídas em nove estados: Alagoas (AL), Bahia (BA), Ceará (CE), Maranhão (MA), Paraíba (PB), Pernambuco (PE), Piauí (PI), Rio Grande do Norte (RN) e Sergipe (SE). Definindo estado da BA como o mais extenso em território e, o que possui a maior população da região.

Sendo uma região de baixa altitude, a região nordeste do Brasil possui um clima estável, onde durante o ano há pouca variação de temperatura, diferente dos níveis pluviométricos que são variados e mal distribuídos na região, deixando-a com um aspecto de seca em alguns estados.

No Nordeste, os climas identificados são: tropical semiárido, tropical continental, tropical litorâneo e equatorial. O clima tropical semiárido, conhecido como sertão, está presente em praticamente todo o Nordeste com suas temperaturas acima dos 25°C e baixo índice de chuva, e a sua pluviosidade tem mais ocorrência durante o verão. O clima tropical continental, é localizado nos estados da Bahia, Ceará, Maranhão e Piauí, e a exemplo do clima semiárido possui temperaturas elevadas e chuvas durante o verão. E o litorâneo, é presente no litoral nordestino onde devido a umidade vinda do oceano, os índices pluviométricos são altas e as temperaturas altas. E o equatorial, está localizado no oeste do estado do Maranhão, com altos índices de chuva e com temperaturas médias de 25° C a 27°C (MATIAS, 2016).

Além de uma alta incidência solar na região nordeste do Brasil, um outro ponto a se destacar é a intensidade e a constância dos ventos nas áreas subtropicais de baixa altitude, conhecidos como ventos alísios. O litoral nordestino é privilegiado devido ao fato desses ventos soprarem a partir do oceano, sem mudança de direções (PEREIRA, 2021). Em vista desses elementos, a ideia de que a região vem se tornando um campo atrativo para empresas de energia sustentável, impulsionará o desenvolvimento energético (SALES, 2020).

Com a combinação desses elementos naturais, para gerar energia renovável, o nordeste do Brasil possui um destaque para a expansão e produção de fontes eólicas e solares (TEIXEIRA, 2023), colocando a região do nordeste como a que possui o maior potencial solar do Brasil (PEREIRA et al., 2017) e o maior potencial eólico, da energia gerada pela força dos ventos e, a vista das mudanças climáticas causadas pelo aquecimento global, a região pode ser uma contribuinte para a redução do efeito estufa a partir de energia renováveis.

3.1 Potencial energético no Nordeste do Brasil: Energia eólica

Segundo Gutierrez, 2024: “A região nordeste do Brasil possui a maior capacidade eólica instalada no país, representando 93% da potência eólica”.

Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2023), a geração de energia elétrica no Brasil terminou o ano de 2023 com um acréscimo energético de 10.324,2 megawatts (MW), tendo como aumento principal a energia eólica, em especial nos estados da Bahia e Rio Grande do Norte.

Em virtude dos recursos naturais favoráveis para a região nordeste, ela se destaca dentre as regiões do Brasil como um polo renovável e propício para investimentos nos projetos eólicos tendo em vista a sua capacidade de geração, ultrapassando 25 gigawatts (GW), sendo impulsionados pelos estados do Rio Grande do Norte (9,74 GW), da Bahia (9,31 GW) e do Piauí (4,03 GW), que são responsáveis pela maior parte do potencial eólico (CASARIN, 2024).

Essa grande porção de energia limpa no país, localizado em especial no litoral nordestino, propicia que os estados do nordeste sejam diretamente abastecidos com a energia gerada pelas turbinas eólicas e, ao ultrapassar recordes gerando uma sobra de energia, distribuam ela para o restante das residências pelo Brasil.

3.2 Energia solar

O nordeste brasileiro possui o maior potencial solar do país, possuindo um valor médio diário de irradiação global horizontal em um total de 5,49 kWh/ m² e com um

componente direto normal de 5,05 kWh/ m², superando países ibéricos na questão de insolação média mensal (SILVA, 2023).

Segundo a ANEEL (2023), a região nordeste lidera a geração de energia solar, a partir do método tradicional, com o uso de usinas e cabos de transmissão - conhecida como geração centralizada -, sendo responsável por 61,92% da potência energética do país.

A região nordestina se destaca em leilões energéticos do Governo Federal, em especial os estados da BA, PI e CE, que são líderes da produção de energia solar e que juntos são responsáveis por mais da metade da potência dos projetos aprovados em leilões (BEZERRA, 2023).

3.3 Energia hidráulica

Na região nordeste, a responsável por gerir e produzir energia elétrica com base na força das águas do Rio São Francisco, é a Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF). Possuindo 12 usinas hidrelétricas, divididas em: oito no Rio São Francisco, duas no Rio Contas (BA), uma no Rio Parnaíba (PI) e uma nos Rios Piancó e Aguiar (PB).

A principal usina hidrelétrica do Nordeste é a Usina do Xingó, que está localizada entre os estados de AL e SE na bacia do Rio São Francisco, com uma potência instalada de 3.162.000 kW. Devido a sua posição na região, contribuindo para o turismo e para a geração de energia, torna ela uma das principais do Brasil (CHESF, 2022).

3.4 Vantagens e desvantagens das energias renováveis

Muitas vantagens estão ligadas a produção de energia a partir de fontes renováveis, também conhecidas como energias limpas. Por se tratar de energias que possuem fontes naturais, um dos principais benefícios é a inesgotabilidade de suas fontes, como o vento na geração de energia elétrica nos parques eólicos, tendo o início de seu funcionamento com ventos a partir de 10km/h (ENEL, 2024), a luz solar utilizada

nas usinas fotovoltaicas, em especial no Nordeste e, nas usinas hidrelétricas na utilização da força da água para a movimentação das turbinas.

Com a utilização das energias limpas, a emissão de gases do efeito estufa é reduzida, reduz a poluição e diminui o índice de aquecimento global. Em contrapartida das energias fósseis, que tem como base a sua geração na queima de combustíveis fósseis e o lançamento de gases poluentes na atmosfera.

E nesses benefícios, no que diz respeito a sociedade civil, ocorre a geração de empregos na manutenção dessas usinas e/ou parques, como no caso das turbinas eólicas onde são criados 11 postos de trabalho a cada megawatt (MW) instalado (JÚNIOR, 2024). A instalação dessas geradoras, que demanda tempo e habilidade, a pesquisa entorno da localidade a ser escolhida e analisada para que se tenha um melhor aproveitamento dos recursos naturais, como a definição de uma melhor direção dos ventos e o local de maior incidência de luz solar (COSBEY, 2011).

Apesar de serem energias que são consideradas renováveis, elas não estão isentas de controvérsias, por parte do lado ambiental. Na energia eólica, a necessidade de vastas áreas para a instalação das turbinas pode causar o desmatamento do ambiente e alteração no habitat, em especial o bioma da Caatinga, no nordeste brasileiro, a poluição sonora devido o movimento das turbinas (JÚNIOR, 2024). E em análise para as outras energias renováveis, temos a variabilidade de suas fontes, como sol, o seu custo inicial elevado e os impactos ambientais indiretos, a exemplo de ecossistemas aquáticos na criação de uma usina hidrelétrica.

3.5 Implementação

Levando em consideração a presença maciça das energias renováveis no subsistema nordeste, representando cerca de 95,6% da geração no ano de 2022 (ONS, 2023), é necessário que se tenha uma ampliação dessas usinas e/ou parques para que não atenda somente o nordeste, mas, que grande parte de sua capacidade instalada seja voltada ao Sistema Interligado Nacional (SIN).

Segundo o Ministro de Minas e Energia, Alexandre Silveira (BRASIL, 2024), é estimado que até 2027, a geração de energia no Nordeste contribua com um acréscimo

de cerca de 13.328 megawatts (MW) ao SIN, sendo o dobro de acréscimo do que é previsto ao subsistema Sudeste/ Centro-Oeste.

Apesar do considerável acréscimo de energia no SIN, temos a questão que o investimento nessas energias é alto. As usinas fotovoltaicas, em comparação a outras energias, possuem uma capacidade baixa, mas que há um espaço superior para o desenvolvimento. Podendo enfrentar desafios, em sua construção e regulamentação para seu funcionamento, porém possui um grande interesse para o seu investimento, resultando em oportunidades econômicas na região, como o turismo, a redução de custos e criação de novos postos de trabalho (SILVA, 2023).

A ampliação dos parques eólicos, em sintonia com as bases das usinas fotovoltaicas, tem como início um investimento robusto e seguro para se construir. Sendo a energia eólica responsável por mais de 55% da capacidade instalada do subsistema Nordeste (ONS, 2023), a promoção de políticas públicas que se voltem para o investimento do Estado e empresas de energia privadas é de suma importância para essa energia limpa, porém, sempre tendo em pauta a questão dos impactos gerados no entorno desses empreendimentos.

Já as usinas hidrelétricas, que em relação as outras energias limpas, demanda um maior espaço e investimento, podendo chegar à casa de dezenas de bilhões de reais para sua construção (PEREIRA, 2013), deve ser realizada com cautela para com as comunidades residentes na região.

Diante do grande potencial energético da região Nordeste do Brasil, em especial no setor de fontes renováveis, é possível destacar os índices elevados de radiação solar tornando-a uma região propícia para o desenvolvimento da energia fotovoltaica e a constância e intensidade dos ventos encontrados no litoral nordestino colocam essa região como protagonista no Sistema Interligado Nacional (SIN). A energia gerada pelas hidrelétricas da região é limitada, em comparação a eólica e a solar, porém ainda possui um destaque na matriz energética do Nordeste.

Dessa forma, um exemplo desse destaque na geração nacional de energia foi no ano de 2021, durante o agravamento da crise hídrica, e dentre as medidas tomadas pelo Governo Federal, foi o envio de energia do Nordeste para o restante dos Estados da Federação, sendo fundamental para a manutenção do sistema (BRASIL, 2024).

Uma energia que não possui destaque na matriz da região Nordeste, mas é de grande relevância no subsistema do Centro-Oeste é a biomassa, que é gerada a partir da matéria orgânica para a obtenção de energia, biocombustíveis e o biometano. As energias desse grande polo do agronegócio brasileiro, será apresentado a seguir.

4 REGIÃO CENTRO-OESTE

Na narrativa brasileira, a região Centro-Oeste, especialmente nas unidades federativas de Goiás e Distrito Federal, possui um vasto potencial de alta significância para o desenvolvimento de fontes alternativas de energia; conforme a proposta inicial do trabalho - devido a fatores como a abundância de recursos naturais, sua expansão territorial e o fortalecimento econômico progressivo. Nessa seção dedicada aos estados citados anteriormente, se propõe a analisar a conjunção atual e as perspectivas de expansão das energias renováveis na região, considerado as delimitações econômicas, ambientais e sociais de Goiás e do Distrito Federal.

A importância do tema está diretamente atrelada às metas ambientais globais e o papel do Brasil dentro dessa esfera, sendo um país propenso naturalmente ao ecológico e o meio ambiente como todo. "O Brasil é um país ambientalmente privilegiado e precisa usar essa riqueza natural de forma responsável" (GOLDEMBERG, 1992, p. 12). A transição para meios limpos energéticos alavanca benefícios apreciáveis para o âmbito socioeconômico, como a geração de empregos e a melhoria da qualidade de vida de maneira geral. Nesse sentido, esse estudo aborda as políticas públicas e os investimentos necessários para viabilizar o crescimento sustentável do setor de energias renováveis, destacando os desafios e oportunidades particulares da região.

Através das análises dos dados disponíveis e da revisão da literatura, espera-se contribuir para o desenvolvimento de estratégias que promovam a adoção de fontes renováveis de energia, reduzindo os impactos ambientais, mas principalmente as dependências de fontes não renováveis, contribuindo para a preservação dos recursos naturais e do meio ambiente presente na região Centro-Oeste, em específico, nos dois estados protagonistas desse estudo.

4.1 Compreendendo a geotérmica

A energia geotérmica trata-se de uma fonte renovável que utiliza como base o calor proveniente do interior da Terra para conseguir gerar eletricidade ou fornecer calor diretamente a construções ou indústrias. Considerada como uma das energias limpas mais promissoras, o seu desenvolvimento dá-se junto a tecnologias de alta precisão e baixo impacto ambiental – quando comparada com as demais energias em funcionamento no cenário atual.

Para acessar os reservatórios subterrâneos, é realizada a perfuração de poços geotérmicos, que podem atingir até 2.000 metros. Nessas regiões, a temperatura facilmente pode ultrapassar os 150°C, situação coerente para a geração da energia elétrica através da geotérmica, destacados por fontes como Engenharia 360 e Hertz Elétrica (2023).

A extração do calor ocorre por meios de fluidos que conseguem transportar energia térmica até a superfície. Dependendo da sistemática utilizada, esses fluidos podem ser reaproveitados e utilizados diretamente para o aquecimento referente ao maquinário ou convertidos em eletricidade. Existem três principais tecnologias de conversão atualmente:

- a) Sistemas de Vapor a Seco:** Com o vapor subterrâneo prontamente em turbinas para ser gerada a eletricidade;
- b) Sistemas de Vapor a Flash:** A água já quente pressurizada é convertida ao vapor quando é despressurizada ao chegar na superfície;
- c) Sistemas Binários:** O calor é transferido até um fluido secundário com ponto de ebulição mais baixo, acionando as turbinas consequentemente.

Após a utilização, esses fluidos já citados são reinjetados no reservatório, onde irão garantir a manutenção do ciclo térmico e mitigando ligeiramente os impactos ambientais gerados

A energia geotérmica apresenta fortes e únicas características que a transformam competitiva dentro de um cenário globalizado de transição energética. Segundo dados da International Renewable Energy Agency (IRENA, 2023), a capacidade instalada global

de energia geotérmica no ano de 2022 era de aproximadamente 15 GW, em países como Estados Unidos, Indonésia, Filipinas e Turquia liderando a produção entre os outros países.

Além de energia elétrica, a geotérmica é utilizada para aquecimento direto. Segundo a Geothermal Rising (2023), a eficiência de sistemas geotérmicos para aquecimento é de até 400%, em comparação aos sistemas convencionais a gás ou eletricidade, sendo uma alternativa vagarosamente economicamente vantajosa.

4.2 Possibilidade geotérmica em solo brasileiro

Embora a energia geotérmica seja pouco explorada no território brasileiro, representa uma ótima alternativa promissora dentro do âmbito energético renovável, devido à sua fonte limpa e constante. Entretanto, o seu desenvolvimento ainda é assolado por desafios técnicos e geológicos significativos, particularmente nas regiões de Goiás e do Distrito Federal, onde as condições de viabilidade são limitadas.

De acordo com Carvalho e Silveira (2019), o Brasil detém um potencial geotérmico considerado moderado quando comparado a regiões com alta atividade tectônica, como o Japão e a Islândia. Ambos dos estados brasileiros, em especial, se localizam em uma região de menor atividade geotérmica devido à sua localização em uma zona de estabilidade tectônica do escudo brasileiro. Assim, a geração de energia a partir de fontes geotérmicas nesses locais é limitada por questões geológicas, com a baixa profundidade de fontes de calor acessíveis.

Contudo, ainda existe a oportunidade para as aplicações específicas da geotermia em baixa entalpia – uma grandeza física utilizada na termodinâmica para medir a quantidade de energia em um sistema, incluindo sua energia interna e a energia associada ao trabalho de expansão ou compressão que ele realiza no ambiente -, como aquecimento de água e uso de instalações que demandam temperaturas moderadas, onde deveriam ser aplicadas em setores de menor demanda energética, como a agricultura em estufas ou indústrias que já utilizam o calor moderado no processamento (MEDEIROS; ALMEIDA, 2021). Segundo Medeiros e Almeida (2021), projetos-piloto em regiões de baixas temperaturas subterrâneas podem servir como uma fundamentação

de estudos de caso importantes para a própria expansão futura de energia geotérmica no Brasil.

Apesar das dificuldades técnicas, a exploração dessas fontes renováveis como a energia geotérmica está devidamente alinhada a vários compromissos de sustentabilidade do Brasil e à necessidade de diversificar a matriz energética da nação. Com o devido investimento e pesquisas, aliados a políticas de incentivo, seria possível avaliar com cautela o potencial geotérmico para aplicação localizadas e não elétricas em Goiás, e no Distrito Federal (BRASIL, Ministério de Minas e Energia, 2022).

4.3 Benefícios sociais

A energia geotérmica é capaz de gerar empregos e indiretos relacionados a ela, ainda durante o estágio de pesquisas, instalação e operação das usinas. Não suficiente, oferece um princípio energético acessível e estável, aprimorando a qualidade de vida alheia, em particular em áreas distantes de rede elétrica convencional. Estima-se que a implementação possa gerar uma melhoria no acesso à energia no geral, protagonizando a inclusão social.

4.4 Benefícios econômicos

Ao ser uma fonte constante e de baixo custo operacional, ela oferta uma alternativa que é capaz de reduzir a dependência de fontes fósseis de energia. Com investimentos atrelados e únicos para si, pode reduzir significativamente os custos de geração da energia e promover um desenvolvimento econômico local. A criação de uma indústria de energias renováveis pode fomentar a inovação e até atrair investimentos para a região. Além de estimular novos setores, como o turismo sustentável - já praticado em outras regiões do país - e a agricultura de baixo carbono, pratica essa que vem como tendência há tempo.

De acordo com a Geothermal Energy Association (2010), para cada megawatt de produção de energia geotérmica, aproximadamente 1,7 empregos são criados em trabalhos de suporte contínuo. Isso resulta em uma geração significativa de empregos nas áreas de construção, operação, tecnologia e gestão. O desenvolvimento dos

recursos contribui para a receita tributária local e pode apoiar o desenvolvimento de negócios, especialmente por meio de indústrias relacionadas.

Segundo o relatório da International Renewable Energy Agency (IRENA, 2021), os benefícios econômicos se estendem além da criação de empregos, destacando a inclusão de custos mais baixos de eletricidade para as comunidades locais que adotariam a energia geotérmica. Esse tipo de energia renovável é uma das fontes de eletricidade mais baratas do mundo, com custos variando de \$0,01 a \$0,03 por kWh, que convertendo de maneira literal na cotação atual (R\$ 1,00 sendo equivalente a \$5,98 – durante o mês de novembro de 2024), resulta em valores entre R\$0,06 e R\$0,18, tornando-a muito mais acessível do que as fontes convencionais, como o carvão e a hidrelétrica. "o Custo Nivelado de Energia (LCOE) da geotérmica frequentemente está no extremo inferior da faixa, quando comparado com outras tecnologias renováveis." (Bloomberg New Energy Finance, 2014).

4.5 Benefícios ambientais

Dentro dos termos ambientais, a energia geotérmica contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, problema inflacionado que enfrentamos nos dias de hoje, majoritariamente pelo alto consumo dos tempos atuais, mas também consequência de atos passados antropológicos. A geotérmica é uma energia limpa, com baixo impacto ambiental – diga-se de passagem, pois os danos não são completamente mitigados ou zeros, mas em especial, à comparação com outras matrizes, os danos gerados são baixos. O uso da energia geotérmica pode promover a ideia de preservação de recursos naturais locais e melhorar a sustentabilidade da matriz energética brasileira, um passo importante para atingir as metas de neutralidade de carbono.

4.6 Geração de energia a partir de biomassa

Este estudo foi elaborado para investigar e apresentar os benefícios da biomassa na geração de energia por meio de uma termoelétrica. Mas afinal, o que é biomassa?

“Do ponto de vista energético, biomassa é toda matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia” (ANEEL, 2002, p. 51)

A decomposição da fração orgânica e putrescível dos resíduos orgânicos resulta na formação do biogás, uma mistura de gases composta principalmente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). Esse processo ocorre devido à ação de micro-organismos em ambiente anaeróbico (sem oxigênio), o biogás é uma fonte de energia renovável versátil, amplamente usada para gerar calor, eletricidade ou ser convertida em biometano que pode ser injetado na rede de gás natural ou utilizado como combustível veicular. (CARVALHAES, 2023).

4.7 Histórico do biogás no Brasil

O biogás começou a ganhar relevância no Brasil na década de 1970, durante a crise do petróleo, sendo considerado uma alternativa limpa para reduzir a dependência de energia importada. Em 1977, projetos de biogás foram implementados em São Paulo e no Distrito Federal, e em 1982, o governo incentivou a construção de biodigestores por meio do Programa de Mobilização Energética. No entanto, desafios como falta de mão de obra qualificada e dificuldades técnicas levaram ao abandono de muitos projetos (CARVALHAES, 2023).

Nos anos 1990, com o foco internacional nas mudanças climáticas, o biogás voltou ao debate, principalmente para reduzir gases de efeito estufa por meio de queima controlada no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), visando gerar créditos de carbono.

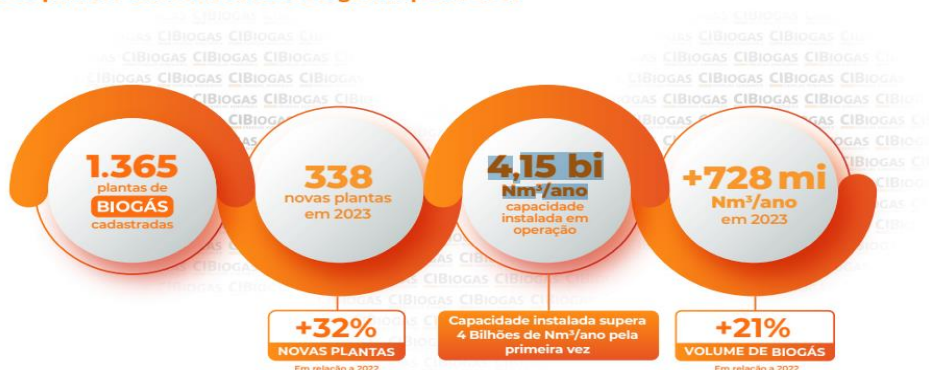
Na década de 2000, o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) promoveu o uso do biogás como parte da estratégia de reduzir emissões de CO_2 , alinhado ao Protocolo de Kyoto. Apesar disso, em 2020, apenas 12% do biogás no Brasil vinha de resíduos agropecuários, enquanto resíduos urbanos e efluentes de esgoto eram responsáveis por 76% da produção, com 12% adicionais provenientes de resíduos industriais. (CARVALHAES, 2023).

4.8 Cenário atual do biogás no Brasil

Segundo Panorama do Biogás no Brasil em 2023 (CIBIOGAS, 2024), registrou um aumento de 32 plantas em relação ao ano de 2022 e a produção de biogás em 2023 atingiu 4,15 bi Nm³/ano.

FIGURA 2 - VISÃO GERAL DO BIOGÁS

Total de plantas cadastradas no Biogásmap em 2023

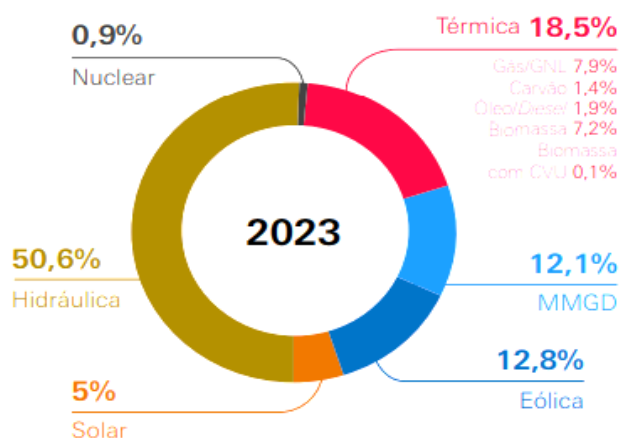


Fonte: CIBIOGAS: Panorama do Biogás no Brasil em 2023

Segundo Relatório-Anual - 2023 fornecido pelo ONS (2024) (Operador Nacional de Sistema Elétrico), atualmente, a matriz energética brasileira é composta por 88% de fontes renováveis, sendo 50,6% provenientes de hidroelétricas. Em 2027, estima-se que 89% da matriz será renovável, sendo 7,2 % representado por geração de energia através de Biomassa.

FIGURA 3 - MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA 2023-2027

Matriz elétrica brasileira 2023-2027



Fonte: Relatório-Anual - Operador Nacional de Sistema Elétrico

4.9 Tecnologias de aproveitamento de biomassa

O aproveitamento da biomassa pode ocorrer por combustão direta, processos termoquímicos (combustão, direta, gaseificação, pirólise, fermentação, transesterificação ou processos biológicos, como digestão anaeróbia).

“combustão é a transformação da energia química dos combustíveis em calor, através das reações dos elementos constituintes com o oxigênio fornecido” (ANEEL, 2002 P. 54). [...] como o próprio termo indica, gaseificação é um processo de conversão de combustíveis sólidos em gasosos, através de reações termoquímicas, envolvendo vapor quente e ar, ou oxigênio, em quantidades inferiores à estequiométrica (mínimo teórico para a combustão)” (ANEEL, 2002, p. 54). [...] a pirólise ou carbonização é o mais simples e mais antigo processo de conversão de um combustível (normalmente lenha) em outro de melhor qualidade e conteúdo energético (carvão essencialmente), (ANEEL, 2002, p. 55). [...] fermentação é um processo biológico anaeróbio, em que os açúcares de plantas como a batata, o milho, a beterraba e, principalmente, a cana de açúcar, são convertidos em álcool, por meio da ação de microrganismos (usualmente leveduras)”, (ANEEL, 2002, p. 55). [...] transesterificação é um processo químico que consiste da reação de óleos vegetais com um produto intermediário ativo (metóxido ou etóxido), oriundo da reação entre álcoois (metanol ou etanol) e uma base (hidróxido de sódio ou de potássio)” (ANEEL, 2002, p. 55). [...] a digestão anaeróbia, assim como a pirólise, ocorre na ausência de ar; mas, nesse caso, o processo consiste na decomposição do material pela ação de bactérias (microrganismos acidogênicos e metanogênicos)”, (ANEEL, 2002, p. 55).

A digestão anaeróbia é um processo natural que ocorre com compostos orgânicos, utilizado em biodigestores para tratar e aproveitar energeticamente dejetos orgânicos, como resíduos sólidos urbanos e industriais. Favorecido pela umidade e aquecimento, o processo gera biogás, composto por 50% a 75% de metano, com valor energético de cerca de 5.500 kcal/m³. A temperatura ideal é de pelo menos 35°C, podendo exigir calor adicional em climas frios. O efluente gerado pode ser usado como fertilizante (ANEEL, 2002).

4.10 Geração de fontes de energia através de biomassa

É necessário avaliar as principais fontes geradoras de biogás no Brasil, especialmente diante do interesse crescente por alternativas energéticas mais limpas e sustentáveis. Este artigo tem como foco a exploração do potencial energético dos aterros

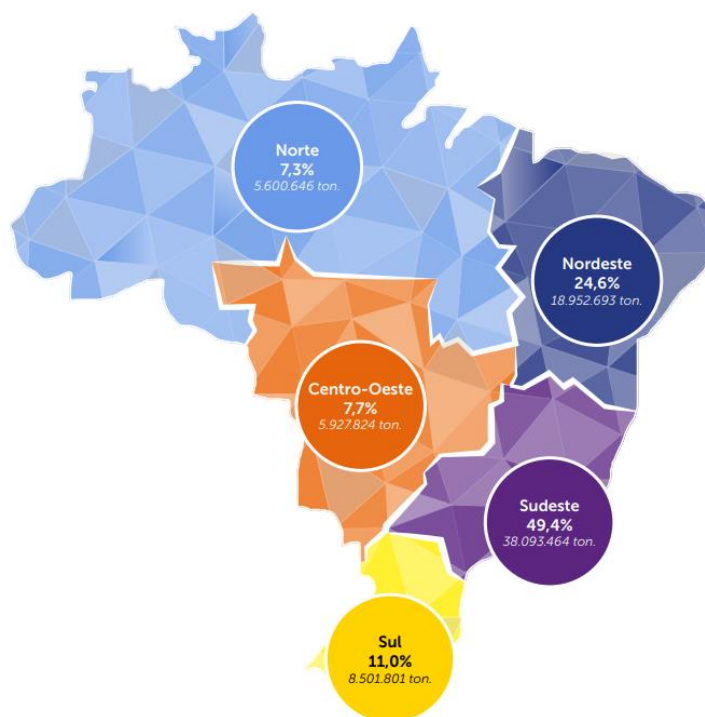
sanitários brasileiros através de termoelétricas, uma fonte abundante e subaproveitada de biogás no país.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR 10.004, define resíduos sólidos como materiais em estado sólido ou semi-sólido, provenientes de atividades humanas. Essas atividades incluem as de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, abrangendo diversos tipos de resíduos gerados pela sociedade.

De acordo com o Sistema Nacional de Informação sobre o Saneamento (BRASIL, 2023), o Brasil possui 1.572 lixões e 595 aterros controlados, que são áreas com contenção de rejeitos, mas sem impermeabilização do solo ou sistema de tratamento de chorume. Com base em dados contabilizados até o ano de 2021, observa-se que há um grande potencial de fontes geradoras de biogás a serem exploradas no país.

Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABREMA, 2023), o Brasil apresenta um cenário significativo no que diz respeito à geração de resíduos sólidos urbanos (RSU). Em 2022, estima-se que cada brasileiro tenha gerado, em média, 1,04 kg de RSU por dia. Ao aplicar esse valor à população brasileira divulgado pelo Censo Demográfico 2022, conclui-se que aproximadamente 77,1 milhões de toneladas de resíduos foram geradas no país ao longo do ano. Isso representa mais de 211 mil toneladas de resíduos produzidos diariamente, ou cerca de 380 kg por habitante ao ano. Esses números evidenciam o enorme potencial dos aterros sanitários brasileiros como fonte de geração de biogás, um recurso que, embora abundante, ainda é subaproveitado em termos energéticos e ambientais.

FIGURA 4 - PARTICIPAÇÃO REGIONAL NA GERAÇÃO DE RSU EM 2022



Fonte: ABREMA - Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente - Projeções corrigidas com base no Censo 2022

4.11 Geração de Biogás nos aterros

A mecânica de um aterro sanitário pode ser comparada a um reator biológico, onde as principais entradas são os resíduos e água, enquanto as saídas predominantes incluem gases e chorume (BORBA, 2006). Segundo Borba (2006), quando os resíduos são depositados no aterro, o processo de decomposição ocorre em quatro fases distintas.

1ª Fase aeróbica: A fase aeróbia caracterizada pela presença de oxigênio, as bactérias metabolizam carboidratos complexos, proteínas e lipídios dos resíduos orgânicos na presença de oxigênio. Esse processo consome o oxigênio disponível e gera dióxido de carbono (CO₂) como principal subproduto. A duração dessa etapa varia de dias a meses, dependendo da quantidade de oxigênio presente nos resíduos.

2ª Fase acetogênica: A segunda fase ocorre após o esgotamento do oxigênio, as bactérias transformam compostos gerados na fase aeróbia em ácidos (acético, láctico,

fórmico) e álcoois (metanol e etanol), tornando o ambiente altamente ácido. Esse ambiente ácido, combinado com a umidade do aterro, dissolve nutrientes e libera nitrogênio e fósforo, favorecendo o crescimento bacteriano. Os gases produzidos nessa etapa incluem dióxido de carbono (CO_2) e hidrogênio (H_2).

3ª Fase metanogênica: Na terceira fase, em ambiente anaeróbico, bactérias consomem os ácidos formados na segunda fase, gerando acetato, um ácido orgânico. Esse processo neutraliza o ambiente, permitindo o crescimento de bactérias metanogênicas e acidogênicas, responsáveis pela produção de metano (CH_4).

4ª Fase (etapa final): Chamada de maturação final, ocorre quando a decomposição e a produção de gases no aterro se estabilizam. O gás gerado contém entre 45% e 60% de metano, 40% a 60% de dióxido de carbono e 2% a 9% de outros gases, representando a etapa final do processo de decomposição.

A sequência de reações bioquímicas desempenha um papel essencial na geração do biogás, que, quando devidamente captado, pode ser convertido em uma importante fonte de energia renovável.

O biodigestor é uma estrutura projetada para criar condições ideais para a degradação da biomassa sem a presença de ar. Esse ambiente anaeróbico favorece a ação de bactérias especializadas, altamente eficientes na decomposição de materiais orgânicos. A ausência de oxigênio permite que essas bactérias predominem no processo, acelerando a degradação da biomassa e resultando na produção de biogás de maneira mais eficiente.

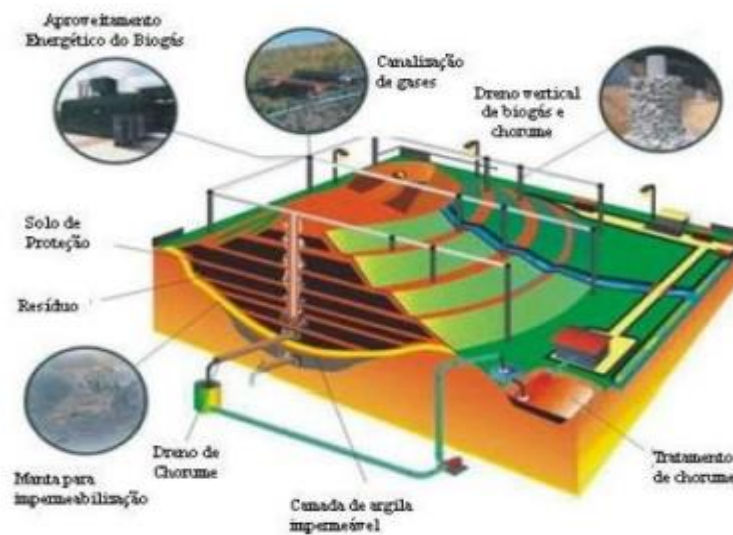
O biogás gerado a partir dos resíduos sólidos possui uma composição típica, sendo composto principalmente por metano (CH_4) em concentrações que variam de 60% a 70%, e dióxido de carbono (CO_2) entre 30% e 40% (FOGAÇA, 2016). Além desses componentes principais, o biogás contém traços de outros gases, como nitrogênio (N_2), hidrogênio (H_2) e gás sulfídrico (H_2S).

Para a implementação de uma termoeletrônica em um aterro, é imprescindível compreender o processo de disposição dos resíduos sólidos no local, bem como o sistema utilizado para a captação do gás até a planta da termoeletrônica.

O aterro sanitário é uma forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos, onde os resíduos são confinados em camadas compactadas e cobertas com terra, obedecendo rigorosamente às normas operacionais e operacionais. (BARROS, 2013).

“[...] destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.” (Política Nacional de Resíduos Sólidos LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010)”.

FIGURA 5 - FIGURA: CORTE ESQUEMÁTICO DE UM ATERRO



Fonte: Recicloteca – 2007

Na projeção de um aterro sanitário, são realizados estudos geológicos e topográficos para selecionar uma área adequada, garantindo que o meio ambiente não seja comprometido. A impermeabilização do solo é feita com camadas de argila e mantas de geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD), evitando a infiltração de líquidos percolados, como o chorume. (BARROS, 2013).

No aterro sanitário, o lixo é depositado no terreno e coberto com camadas de solo do local, isolando-o do meio ambiente. Durante a decomposição dos resíduos, são gerados gases e chorume. Os gases produzidos são captados e podem ser queimados em flares para minimizar impactos ambientais. A coleta de gases pode ser feita por tubos

verticais perfurados ou tubos de sucção horizontais, estes últimos instalados enquanto os resíduos ainda estão sendo depositados. (BARROS, 2013).

A coleta de gás geralmente começa após o fechamento de uma seção do aterro. Os tubos conectam-se a uma tubulação lateral que transporta o gás até um coletor principal. Esse sistema deve ser planejado para permitir o monitoramento e ajuste do fluxo de gás pelo operador. O biogás é extraído do aterro por meio de pressão aplicada nos tubos de transmissão. (BARROS, 2013).

FIGURA 6 - TUBOS DE COLETAS DE BIOGÁS



Fonte: CENBIO, 2006

A conexão entre o poço com bomba e o sistema de utilização pode ser feita de várias formas. Os poços de coleta são ligados a um tubo principal que percorre o aterro, e a sucção do gás é realizada por um compressor. Esse equipamento também pode ser usado para comprimir o gás antes de sua entrada no sistema de recuperação energética. Durante o transporte do biogás quente pelo sistema de tubulação, ocorre o resfriamento, resultando na formação de condensado.

O controle do condensado começa no sistema de coleta, onde são utilizados conectores em "T" e tubos inclinados para direcionar o líquido a tanques de drenagem. Após a coleta, o condensado é removido, e sua disposição pode ser feita por métodos como descarga no sistema público de esgoto, tratamento local ou recirculação no aterro sanitário. A escolha do método mais adequado dependerá das características do condensado. (BARROS, 2013).

O flare é um dispositivo essencial para a queima e ignição do biogás, frequentemente utilizado em sistemas de recuperação de energia. Ele desempenha um papel importante nas etapas iniciais de operação e durante a manutenção do sistema, garantindo segurança e eficiência no manejo do biogás.

As tecnologias de conversão do biogás incluem diferentes processos e equipamentos, como:

- Turbinas a gás: Utilizam o biogás como combustível para gerar energia por meio do ciclo termodinâmico;
- Ciclo de Brayton (ar-padrão e regenerativo): Operações baseadas em compressão, combustão e expansão de gases, com variações para aumentar a eficiência;
- Microturbinas: Versões menores de turbinas a gás, ideais para aplicações de menor escala;
- Motores de combustão interna: Motores de ignição por compressão ou faísca que utilizam o biogás como combustível;
- Motores diesel: Usam o biogás em motores de ciclo diesel;
- Motores ciclo Otto: Funcionam com ignição por faísca, sendo bastante comuns para biogás devido à sua adaptação ao gás combustível.

Essas tecnologias possibilitam o aproveitamento energético do biogás, contribuindo para a sustentabilidade e eficiência energética.

4.12 Vantagens, desvantagens e Impactos gerados pela implantação de uma termoelétrica movida a biogás

Segundo Reis (2010), a energia da biomassa oferece vários benefícios significativos:

- Redução de Resíduos: Ao transformar materiais orgânicos, como restos de alimentos, resíduos agrícolas e florestais, em energia, a biomassa ajuda a reduzir o desperdício, promovendo um ambiente mais limpo e sustentável;

- Criação de Emprego: A indústria da biomassa gera oportunidades de trabalho, desde a coleta das matérias-primas até a operação das usinas de energia. Isso estimula a economia local e proporciona novos postos de trabalho em diversas áreas;
- Segurança Energética: Por ser uma fonte de energia local e renovável, a biomassa aumenta a segurança energética de um país. Ela reduz a dependência de combustíveis fósseis importados, promovendo a autossuficiência energética;
- Versatilidade nas Aplicações: A energia da biomassa é extremamente flexível, podendo ser usada para gerar eletricidade, aquecer edifícios ou até como combustível para veículos, tornando-a uma opção atraente para diversas necessidades energéticas.

Também, Reis (2010) apresenta que as desvantagens da energia da biomassa incluem:

- Emissões de Poluentes: A queima de biomassa pode liberar substâncias poluentes, como material particulado e óxidos de nitrogênio, prejudicando a qualidade do ar. Apesar de tecnologias mais avançadas, a poluição ainda é um problema, especialmente em sistemas menos eficientes;
- Custos Elevados: A instalação e operação de centrais de biomassa envolvem custos significativos, incluindo equipamentos e infraestrutura para transporte e armazenamento, o que pode tornar essa fonte de energia menos competitiva frente a outras renováveis;
- Eficiência Comparada a Outras Fontes: A eficiência da biomassa, especialmente em métodos tradicionais, é geralmente inferior à de fontes como energia solar e eólica, podendo ser uma alternativa menos eficaz em certos contextos;
- Impacto Ambiental: A extração de biomassa pode causar desmatamento e destruição de habitats, prejudicando a biodiversidade e levando à possível extinção de espécies. Além disso, a remoção da vegetação compromete a qualidade do solo e sua capacidade de reter água.

4.13 Documentação para implantação de uma termoeletrica

O licenciamento ambiental avanço de empreendimentos com potencial de causa de manipulação ambiental exige estudos ambientais, como EIA, RAP ou EAS, em conformidade com as Resoluções CONAMA 01/86, 237/1997, SMA 49/2014 e a Decisão de Diretoria nº 153/2014/I.

A CETESB, por meio do Departamento de Licenciamento com Avaliação de Impacto Ambiental, analisa esses estudos e emite pareceres técnicos para subsidiar o licenciamento ambiental.

Empreendimento considerados fontes de poluição, em conformidade com o Decreto Estadual 62.973/2017, devem solicitar uma Licença Prévia ao Departamento de Avaliação Ambiental de Empreendimentos, apresentando RAP ou EIA/RIMA.

4.14 Estudo de Caso: Escolha do Aterro de Caieiras para Geração implementação de uma Termoeletrica a Biogás

O estudo de caso aborda o projeto de aproveitamento de biogás proveniente do tratamento de resíduos sólidos urbanos para a geração de energia elétrica e iluminação a gás, liderado pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO) e financiado pelo Ministério de Minas e Energia (MME). O projeto está sendo implementado no Aterro Essencis, localizado na Central de Tratamento de Resíduos (CTR) em Caieiras, São Paulo, controlado pelo Grupo Essencis. (FIGUEIREDO, 2007).

Contexto e Características do Projeto

- Localização e estrutura: A CTR Caieiras, inaugurada em 2002, é uma das maiores centrais de tratamento de resíduos da América Latina, abrangendo uma área de 3.500.000 m², com 43% de vegetação nativa cultivada localmente. O aterro tem expectativa de vida útil de 50 anos (classe I) e 60 anos (classe II);

- Objetivo: Capturar o biogás gerado pela decomposição dos resíduos para geração de energia e iluminação, reduzindo a emissão de gases poluentes como o metano, que é 20 vezes mais prejudicial ao ambiente que o CO₂, segundo a EPA (2007);
- Operação existente: O biogás já é capturado por exaustão forçada e queimado em flare para minimizar o impacto ambiental. (FIGUEIREDO, 2007).

Seleção do Local

- O CENBIO utilizou critérios como localização, quantidade e tipo de resíduos, infraestrutura e apoio da gestão para escolher o aterro;
- O Aterro de Várzea Paulista foi inicialmente escolhido por atender aos critérios, mas foi descartado devido a vazamentos de metano que resultaram em problemas ambientais e sociais, incluindo a morte de um morador próximo;
- O Aterro de Sorocaba também foi avaliado, mas apresentava limitações como ausência de drenos adequados para biogás e atrasos no aterramento de resíduos. (FIGUEIREDO, 2007).

4.15 Escolha do aterro Essencis

O Grupo Essencis já possuía infraestrutura para a captação de biogás, utilizando sistemas de exaustão e transporte por rede de tubos, além de promover a queima do metano para reduzir emissões. Isso garantiu o alinhamento com os objetivos do projeto e viabilizou sua implementação.

Essa iniciativa ilustra o potencial de tecnologias sustentáveis no setor de resíduos, ao transformar um problema ambiental em uma solução energética eficiente e menos poluente. (FIGUEIREDO, 2007).

4.16 Análise da energia na região Centro-Oeste

Apesar de não ser uma opção completamente viável ao cenário brasileiro, entendesse que a importância da energia geotérmica é de urgência global. Embora as suas condições de funcionamento não se atendem em todos os países, é uma opção estrondosamente vantajosa economicamente, favorecendo completamente o cenário social de inúmeros países. O seu funcionamento sendo complexo, requer pesquisas e desenvolvimento, o que acaba sendo uma tarefa voltada ao governamental ou a iniciativa privada energética, o que se falta no Brasil; embora que exista uma área fortemente voltada para a energia fotovoltaica.

Entendendo a sua proficiência, a energia geotérmica deveria hoje ser pauta em todos os cenários políticos, principalmente a aqueles que tangem no discurso de mudança climática, sendo participantes de governos de países que outrora pouco ou razoavelmente se importam e/ou importavam com o ambiente do seu próprio país. Os requisitos da geotérmica são vigorosos e infelizmente nem todos podem aplicá-lo, mas aqueles que possuem essa chance, deveriam tornar isso de fato uma realidade.

O governo precisa agir com eficiência e adotar medidas relacionadas à energia no Brasil, mesmo que atualmente o tema não seja tão preocupante no cenário interno. No entanto, como um país de grande relevância no hemisfério sul e com significativa influência política, especialmente no contexto do MERCOSUL, é essencial fomentar discussões e investir em pesquisas nessa área. Esse movimento pode contribuir gradualmente para reduzir a dependência de nações estrangeiras no hemisfério sul, fortalecendo a autonomia energética regional.

Sendo uma região do país em que o agronegócio possui uma grande influência na economia da população local, o uso de matéria orgânica para a geração de biomassa torna-a um potencial a ser investido futuramente. E esse tipo de fonte renovável, a biomassa, é um ponto a ser estudado pela região Sul do país, que em decorrência de sua oferta em recursos hídricos e os ventos constantes encontrados em seu litoral, coloca o subsistema Sul como destaque nos parques eólicos e usinas hidrelétricas.

5 REGIÃO SUL

A região Sul do Brasil é a menor entre as regiões brasileiras, com apenas três estados: Paraná (PR), Rio Grande do Sul (RS), e Santa Catarina (SC), com cerca de quase 30 milhões de habitantes.

Devido a região ser a única no país a estar abaixo do Trópico de Capricórnio, suas estações são bem definidas, com verão bem quente, inverno extremamente frio e chuvas regulares, o que favorece bastante as hidrelétricas, de acordo com o professor de geografia Átila Matias.

A região sul contém quatro regiões hidrográficas brasileiras: Atlântico Sul, Sudeste, Paraná e Uruguai. Os afluentes do Rio Paraná. Seus afluentes, são importantes para o potencial hidrelétrico da região. E na divisa com o Paraguai, no rio Paraná, está a maior usina hidrelétrica da América: a Usina de Itaipu, construída no Brasil em parceria com o governo paraguaio.

O Sul tem um grande potencial para a energia eólica, especialmente no litoral e nas regiões próximas ao mar. Há vários parques eólicos em operação e projetos em desenvolvimento.

A energia solar também está crescendo na região, com aumento de instalações de painéis solares em residências e empresas. O potencial solar é menor que o eólico, mas ainda é promissor. A biomassa é uma fonte significativa de energia na região, especialmente no setor agrícola, a produção de etanol e biodiesel, derivados de culturas como a soja e o milho, contribui para a matriz energética sustentável.

5.1 Atlas solar do Rio Grande do Sul

O Atlas Solar do Rio Grande do Sul é uma ferramenta crucial para orientar políticas públicas e incentivar o uso da energia solar no estado, tanto para a geração de eletricidade quanto para o aquecimento de água. Ele apresenta dados detalhados sobre a irradiação solar e a produtividade fotovoltaica em todo o território gaúcho, destacando as áreas mais adequadas para a instalação de sistemas solares de médio e grande porte, além de apoiar projetos de pequeno porte (SEMA, 2023).

O potencial solar do estado, aliado à queda dos preços e aos avanços tecnológicos na fabricação de painéis fotovoltaicos, indica boas perspectivas para a expansão dessa tecnologia. Mesmo excluindo áreas restritas, o Rio Grande do Sul tem capacidade de gerar energia suficiente para atender sua demanda média anual de 34 TWh, utilizando apenas 2,1% das áreas não urbanas disponíveis para usinas solares. As regiões do estado são viáveis para o desenvolvimento de projetos solares, sejam conectados ao Sistema Elétrico regional ou isolados (SEMA, 2023).

5.2 Atlas eólico do Rio Grande do Sul

O Atlas Eólico do Rio Grande do Sul é uma ferramenta fundamental para orientar políticas públicas e atrair investimentos em energia eólica no estado. Ele destaca as regiões com maior potencial de vento e os respectivos potenciais de geração de energia. O Atlas inclui dados detalhados sobre os regimes de ventos no estado, obtidos a partir de medições de alta qualidade realizadas em diferentes locais e por longos períodos, com alturas variando de 80m a 120m. Essas medições foram disponibilizadas por desenvolvedores e investidores, em parceria com o Governo do Estado, para oferecer uma estimativa mais precisa do potencial eólico da região (SEMA, 2023).

5.3 Atlas das biomassas do Rio Grande do Sul

O Atlas das Biomassas do Rio Grande do Sul, para a produção de biogás e biometano, foi desenvolvido com o objetivo de apresentar o panorama da disponibilidade e do potencial de geração desta matriz energética no Estado (SEMA, 2023).

Através de uma análise detalhada das fontes de biomassa, como resíduos agrícolas, industriais e de pecuária, o estudo mapeia as áreas com maior aptidão para a produção de biogás e biometano. Além disso, avalia o potencial de conversão desses resíduos em energia renovável, contribuindo para a diversificação da matriz energética e o fortalecimento de uma economia mais sustentável. O Atlas também aborda os aspectos logísticos e as infraestruturas necessárias para viabilizar projetos de biogás e biometano, incentivando investimentos e políticas públicas que favoreçam o desenvolvimento dessa

tecnologia. Ao fomentar o uso dessa energia renovável, o estudo auxilia na redução das emissões de gases de efeito estufa, alinhando-se aos objetivos de sustentabilidade e inovação energética do Estado.

5.4 Usina de Itaipu

A Usina de Itaipu, inaugurada em 1984, é a maior hidrelétrica do Brasil e uma das mais importantes do mundo. Localizada no rio Paraná, na fronteira entre o Brasil e o Paraguai, é administrada de forma binacional pelos dois países. A usina desempenha um papel crucial no abastecimento de energia elétrica para ambos os países. Sua construção e operação geraram impactos significativos nas áreas econômica, ambiental e social.

A usina surgiu de uma parceria estratégica entre Brasil e Paraguai, com discussões iniciadas na segunda metade do século XX. Em 1973, foi assinado o Tratado de Itaipu, que estabeleceu a divisão das cotas de geração de eletricidade entre os dois países.

A construção da Usina de Itaipu começou em 1975 e foi concluída em 1982, com a inauguração oficial em 1984. A obra envolveu centenas de trabalhadores e o uso de grandes quantidades de materiais como ferro, aço e cimento. Durante a construção, Brasil e Paraguai firmaram acordos sobre a utilização da energia gerada e a mitigação dos impactos ambientais locais. (CAMPOS, 2023).

A Usina de Itaipu possui 20 unidades geradoras e uma potência instalada de 14 gigawatts (GW). Ela fornece energia para quase todo o Paraguai e uma parte significativa do Brasil. Atualmente, Itaipu está entre as três maiores hidrelétricas do mundo em capacidade instalada (CAMPOS, 2023).

A construção e operação da Usina de Itaipu causaram impactos significativos nos aspectos econômicos, ambientais e sociais, alterando profundamente a realidade física e humana da região.

Impactos Ambientais da Usina de Itaipu: segundo Campos (2023), alguns dos impactos gerados são:

- **Alagamento de vastas áreas terrestres:** Grande parte da região foi submersa pela formação do lago da usina;
- **Remoção da vegetação nativa:** A construção da usina implicou no desmatamento de áreas naturais;
- **Alteração do fluxo do rio:** A represamento do Rio Paraná modificou seu curso e dinâmica natural;
- **Assoreamento do rio:** O represamento contribuiu para o acúmulo de sedimentos no fundo do rio, prejudicando o ecossistema aquático;
- **Perda da biodiversidade local:** A transformação do ambiente impactou várias espécies da fauna e flora, resultando na redução da biodiversidade.

Impactos Econômicos da Usina de Itaipu: segundo Campos (2023), alguns dos impactos gerados são:

- **Geração de emprego e renda:** A construção e operação da usina criaram inúmeras vagas de trabalho e impulsionaram a economia local;
- **Ampliação do volume de impostos:** A usina gerou aumento na arrecadação de impostos, beneficiando a economia da região e do país;
- **Alteração da dinâmica da economia local:** A presença da usina mudou as atividades econômicas da região, promovendo novos setores de negócios;
- **Atração de novos empreendimentos:** A usina estimulou o crescimento de novos empreendimentos comerciais e industriais na área.

A construção e operação da Usina de Itaipu tiveram impactos tanto positivos quanto negativos ambientalmente, economicamente e socialmente. Ambientalmente, a usina provocou o alagamento de grandes áreas, desmatando, alterando o fluxo do rio Paraná, assoreamento e perda da biodiversidade, afetando o equilíbrio ecológico da região.

Economicamente, a obra gerou empregos, aumentou a arrecadação de impostos e alterou a dinâmica econômica local, promovendo novos setores e atraindo empreendimento. No entanto, esses benefícios econômicos também foram

acompanhados de desafios sociais, como a remoção de populações locais e mudanças nos modos de vida.

Em resumo, a Usina de Itaipu embora tenha contribuído significativamente para o desenvolvimento regional e nacional, também gerou impactos complexos e controversos, refletindo as dificuldades de equilibrar progresso econômico com a preservação ambiental e o bem-estar social.

5.5 Energia Eólica e os Impactos Socioambientais: Estudo de caso em Parque Eólico do Rio Grande do Sul, Brasil

De acordo com Barcella e Brambilla (2012) a energia elétrica é essencial para o desenvolvimento econômico e social, mas há um déficit de energia no Brasil e no mundo. Com o aumento da demanda, as hidrelétricas tradicionais não conseguem suprir o consumo, levando ao uso de combustíveis fósseis e energia nuclear. Embora a energia nuclear tenha alta capacidade, apresenta riscos de segurança e impactos ambientais. A energia eólica tem crescido nos últimos 20 anos, tornando-se uma das fontes de maior desenvolvimento, mas ainda não é suficiente nem sustentável para atender a demanda, especialmente nos países desenvolvidos.

5.6 Aspectos ambientais negativos da energia eólica

Os principais efeitos negativos das torres eólicas incluem ruídos, poluição visual e sonora e interferências eletromagnéticas em equipamentos como TV e rádio, dependendo do tipo de equipamento. Além disso, há o risco de colisões com aves, embora esses casos sejam raros.

Os equipamentos modernos de geração eólica reduzem significativamente os ruídos, e a colisão de pássaros. Em relação à poluição visual, cabe aos responsáveis pelos parques convencer a população sobre os benefícios dessa fonte de energia, de acordo com Barcella e Brambilla (2012).

Os parques eólicos ocupam grandes áreas geográficas, pois as torres devem ser espaçadas de 5 a 10 vezes sua altura, e os geradores, de meio a um quilômetro entre si.

Embora grandes construções não sejam viáveis perto das torres, a agricultura pode ser realizada nas áreas entre os equipamentos. (BARCELLA; BRAMBILLA, 2012).

Aspectos Ambientais Positivos da Energia Eólica

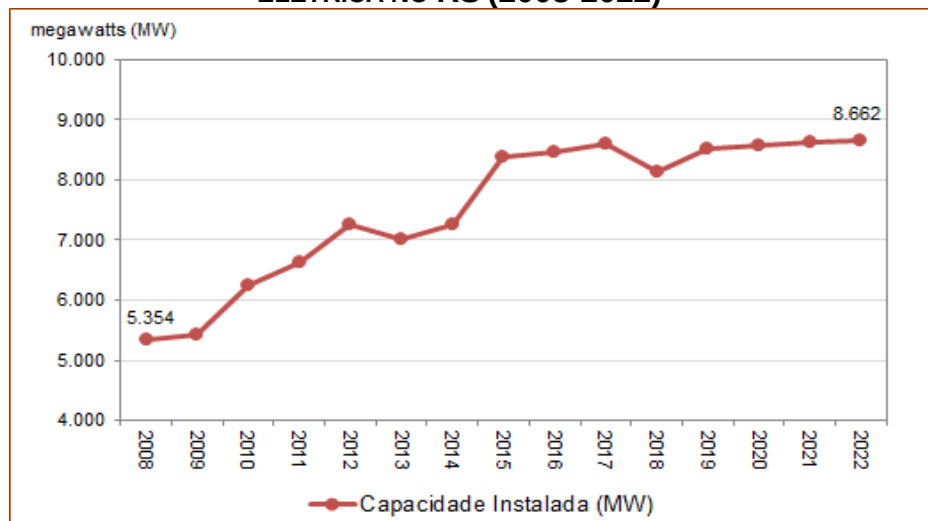
A energia eólica tem como principais pontos positivos seu baixo custo e não solo e nem atmosfera, além de ser infinita devido os ventos serem inesgotáveis. No Brasil, onde a matriz energética é majoritariamente hidrelétrica, a energia eólica pode ser uma boa complementação, com impactos ambientais menores do que os de novas hidroelétricas.

Os sistemas eólicos permitem o desenvolvimento de atividades agrícolas nas áreas dos parques eólicos, sem afetar significativamente o meio ambiente. Além disso, a energia eólica é uma alternativa sustentável, substituindo fontes de geração que emitem dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa. Quanto à poluição visual, os parques eólicos podem, na verdade, se tornar atrativos turísticos, sendo usados em divulgação de atividades regionais e em mídias como livros, revistas e filmes. (BARCELLA; BRAMBILLA, 2012).

5.7 Geração e transmissão de energia elétrica

De acordo com o site do Governo do Rio Grande do Sul (2017) a capacidade de geração de energia elétrica no Rio Grande do Sul aumentou de 6.244 MW em 2010 para 8.662 MW em 2022, representando cerca de 4,6% da capacidade total do Brasil. Em 2022, a matriz energética do estado era composta por 58,6% de hidreletricidade, 18% de termoeletricidade, 17,6% de energia eólica e 5,7% de energia solar, refletindo uma diversificação das fontes de energia. Essa diversificação foi impulsionada pelo aumento do uso de gás natural, biomassa, energia eólica e solar, melhorando a relação entre produção, importação e consumo.

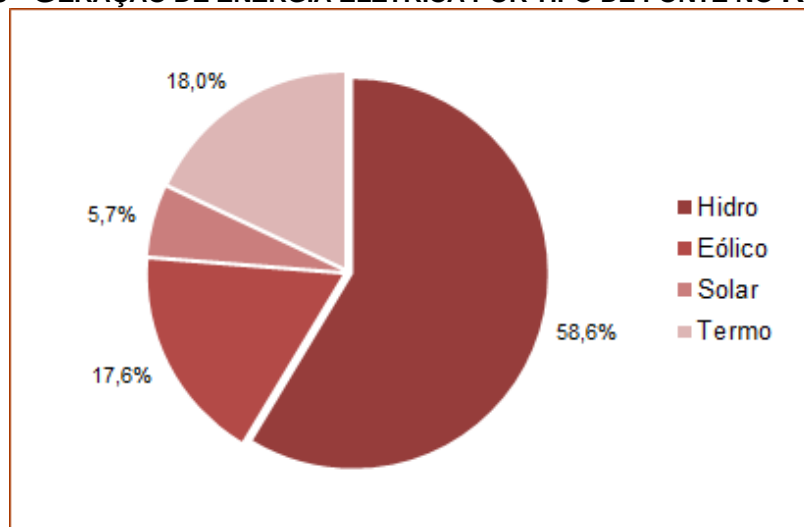
FIGURA 7 - EVOLUÇÃO ANUAL DA CAPACIDADE INSTALADA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO RS (2008-2022)



Fonte: MME/EPE. Balanço Energético Nacional (BEN) 2009 a 2023

Em 2022, a matriz energética do Rio Grande do Sul era composta por 58,6% de hidreletricidade, 18% de termoeletricidade, 17,6% de energia eólica e 5,7% de energia solar, refletindo a diversificação das fontes de energia. Essa diversificação começou com o aumento do uso de gás natural e biomassa, e mais recentemente, foi impulsionada pela expansão da energia eólica e a instalação de novos projetos de energia solar. Esses avanços têm melhorado a relação entre produção, importação e consumo no estado, com a inclusão de consumidores livres e produtores independentes (GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2017).

FIGURA 8 - GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR TIPO DE FONTE NO RS (2022)



Fonte: MME/EPE. Balanço Energético Nacional (BEN) 2023

5.8 Panorama de lixões e aterros

Segundo Lemiska, Affanio e Oliveira (2019) a destinação inadequada dos resíduos sólidos urbanos (RSU) resulta em impactos negativos no meio ambiente e na saúde pública. O seu estudo foca na situação dos estados da região Sul do Brasil, analisando a geração, coleta e destinação final dos resíduos nos últimos dez anos. Os dados apresentados indicam um aumento preocupante de quase 5% na destinação de resíduos a lixões entre 2016 e 2017, evidenciando a persistência de práticas inadequadas de manejo dos resíduos na região.

Em 2017, 59,1% dos resíduos sólidos coletados no Brasil foram adequadamente dispostos em aterros sanitários, enquanto 35.368 toneladas por dia ainda eram destinadas a lixões e 44.881 toneladas a aterros controlados. A região Sul do Brasil apresentou o menor índice de destinação de resíduos a lixões, com uma cobertura de coleta de 95,09% dos resíduos sólidos urbanos naquele ano (LEMISKA; AFFANIO; OLIVEIRA, 2019).

Em 2017, a geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil foi de 78,4 milhões de toneladas, um leve aumento em relação aos 78,3 milhões de toneladas registrados no ano anterior, conforme dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (LEMISKA; AFFANIO; OLIVEIRA, 2019).

Em 2017, foram coletadas 71,6 milhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil, deixando 6,9 milhões de toneladas não coletadas e destinadas a lixões. Isso indica que nem todos os estados se adequaram à legislação que se tornaria obrigatória dois anos depois (LEMISKA; AFFANIO; OLIVEIRA, 2019).

Os dados da ABRELPE entre 2007 e 2017 mostram um aumento significativo na geração diária de resíduos sólidos no Brasil, até que, em 2015, ocorreu uma queda (LEMISKA; AFFANIO; OLIVEIRA, 2019).

TABELA 1 - GERAÇÃO E COLETA DIÁRIA E ANUAL DOS ÚLTIMOS DEZ ANOS NO BRASIL

Ano	RSU-Geração Anual Total	RSU-Coletados Anual Total	RSU-Geração Diária Total	RSU-Coletados Diário Total
	(Milhões T/ano)	(Milhões T/ano)	(T/ano)	(T/ano)
2007	61,5	51,4	168.653	140.911
2008	52,9 ¹	46,5 ¹	169.659	149.199
2009	57,1	50,2	182.728	161.084
2010	60,8	54,1	195.090	173.583
2011	61,9	55,5	198.514	177.995
2012	62,7	56,5	201.058	181.288
2013	76,3	69,1	209.280	189.219
2014	78,5	71,2	215.297	195.233
2015	79,9	72,5	218.874	198.750
2016	78,3	71,3	212.753 ¹	193.637 ¹
2017	78,4	71,6	214.868	196.050

Fonte: Dados retirados dos panoramas de ABRELPE de 2008 a 2019

5.9 Paraná

Em 30/12/2011, a Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná (SEMA/PR) iniciou a elaboração do Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS/PR) com a Caixa Econômica Federal. Em 22/12/2016, um novo contrato foi firmado com o consórcio Envex-Engebio para dar continuidade ao plano. O estado possui 260 unidades de disposição final de resíduos, sendo 58,46% inadequadas, 36,92% adequadas e 4,62% sem classificação devido à falta de informações.

Das unidades adequadas, 3,13% têm licença de operação vencida, enquanto entre as inadequadas, 53,28% são aterros sanitários com licença vencida ou sem licença, e 21,71% são lixões. (LEMISKA; AFFANIO; OLIVEIRA, 2019).

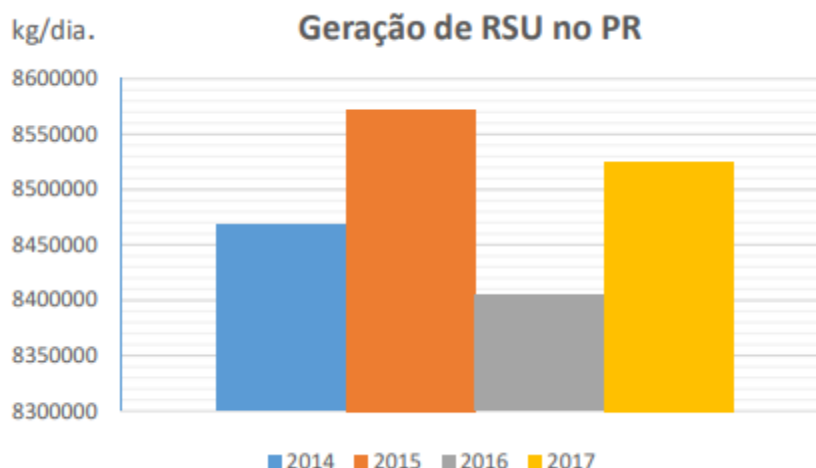
FIGURA 9 - NÚMERO DE HABITANTES DA REGIÃO SUL DO BRASIL

Ano	Per Capita (kg/hab/dia)	Número de habitantes (IBGE, 2017)		
		Paraná	Santa Catarina	Rio Grande do Sul
2014	0,770	10.997.989	6.710.154	11.119.817
2015	0,773	11.089.062	6.802.306	11.175.777
2016	0,752	11.176.203	6.894.058	11.229.947
2017	0,757	11.261.927	6.984.749	11.280.193

Fonte: LEMISKA; AFFANIO; OLIVEIRA, 2019

Em 2017, a população do Paraná era de 11.261.927 habitantes. Entre 2014 e 2015, a geração de resíduos sólidos urbanos na região Sul aumentou 0,39%, mas caiu 2,71% de 2015 para 2016. Em 2017, houve um novo crescimento de 0,66%, com a geração per capita passando de 0,752 kg/hab/dia para 0,757 kg/hab/dia, resultando em uma estimativa de 8.525.278,74 kg de resíduos gerados por dia no estado (LEMISKA; AFFANIO; OLIVEIRA, 2019).

FIGURA 10 - GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO ESTADO DO PARANÁ



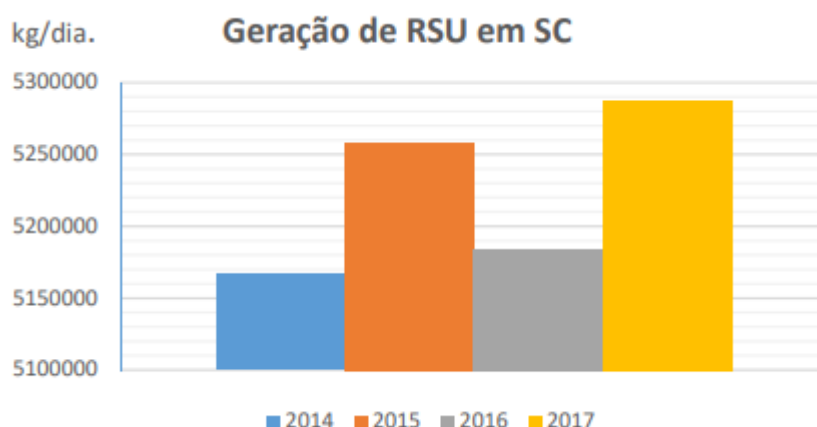
Fonte: LEMISKA; AFFANIO; OLIVEIRA, 2019

5.10 Santa Catarina

O programa "Lixo Nosso de Cada Dia", lançado em 2001, contribuiu para a melhoria da disposição final de resíduos em Santa Catarina. Em 2012, o estado alcançou 100% de destinação de resíduos sólidos urbanos (RSU) para aterros sanitários, eliminando lixões e aterros controlados.

Atualmente, há 34 aterros sanitários no estado, dos quais 27 são privados, 6 são públicos ou consorciados, e 1 é operado por uma associação de catadores. Em abril de 2014, foi inaugurada em Itajaí a primeira usina de geração de energia a partir do biogás, com capacidade inicial de 1 megawatt-hora MWh, de acordo com Lemiska, Affanio e Oliveira (2019).

FIGURA 11 - GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO ESTADO DE SANTA CATARINA



Fonte: LEMISKA, AFFANIO e DE OLIVEIRA, 2019

5.11 Rio Grande Do Sul

Em 2011, o estado elaborou o plano estadual de resíduos sólidos, conforme a Lei 12.305/2010, válido para todos os 497 municípios. O plano, firmado por meio do convênio SICONV nº 764224/2011 com o Ministério do Meio Ambiente, não tem validade fixa, mas deve ser revisado a cada 4 anos, com um horizonte de atuação de 20 anos (LEMISKA; AFFANIO; OLIVEIRA, 2019).

Em 2017, a população estimada do Rio Grande do Sul foi de 11.280.193 habitantes. Com base na geração per capita de resíduos, o estado produziu aproximadamente 8.539.106,10 kg de resíduos por dia, seguindo a mesma metodologia utilizada para o gráfico apresentado na Figura 5 (LEMISKA; AFFANIO; OLIVEIRA, 2019).

FIGURA 12 - GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL



Fonte: LEMISKA, AFFANIO e DE OLIVEIRA, 2019

No Rio Grande do Sul, existem 60 unidades de destinação final de resíduos sólidos urbanos (RSU). Destas, 41 são inadequadas, sendo 92,68% (38) aterros controlados e 7,32% (3) lixões. Entre as unidades inadequadas, 13 possuem licença de operação (LO) vigente e 28 não. Além disso, 19 unidades são aterros sanitários, das quais 2 não possuem LO vigente, e essas unidades recebem 83,6% dos resíduos gerados no estado (LEMISKA; AFFANIO; OLIVEIRA, 2019).

De acordo com a ABRELPE (2017), em 2016 ainda existiam lixões e aterros controlados, mas a quantidade de resíduos destinados a essas áreas era significativamente inferior à destinada aos aterros sanitários, conforme mostrado no quadro a seguir:

FIGURA 13 - PORCENTAGEM DE RESÍDUOS DESTINADOS EM 2016

Aterros Sanitários	Aterros controlados	Lixões
70,40%	17,70%	11,90%

Fonte: LEMISKA, AFFANIO e OLIVEIRA, 2019

5.12 O indicador de desenvolvimento regional sustentável na região sul do brasil

De acordo com Bianco, Lima e Morejon (2016), o artigo analisou o Desenvolvimento Regional Sustentável da Região Sul do Brasil, utilizando o Indicador de Desenvolvimento Regional Sustentável (IDRS), que incorpora variáveis econômicas, sociais e ambientais. Os principais pontos abordados são:

1. IDRS 2000 vs 2010:

- Em 2000, 95,5% dos municípios estavam em transição e 4,45% em estágio retardatário. Em 2010, os municípios em transição aumentaram para 99,2%, e os em estágio retardatário reduziram para 0,67%.
- Poucos municípios avançaram para estágios mais elevados, com apenas 0,08% dos municípios classificados como em estágio avançado nos dois anos.

2. Desempenho por variáveis:

- O bom desempenho do IDRS foi resultado das variáveis emprego formal, consumo de energia elétrica residencial, saúde, educação, áreas verdes e risco de moradia.
- No período entre 2000 e 2010, houve crescimento econômico na região, mas as condições de vida da população não melhoraram substancialmente.

3. Desigualdades socioeconômicas:

- O trabalho revelou que é necessário um foco em políticas públicas de inclusão social para reduzir essas desigualdades.

4. Análise dos indicadores:

- O indicador econômico mostrou que, apesar de um crescimento em termos gerais, muitos municípios ficaram em estágio retardatário, com uma piora no índice de 2010 em comparação com 2000.
- O indicador social foi impactado negativamente por fatores como baixa frequência escolar e altas taxas de mortalidade infantil.
- O indicador ambiental também apresentou oscilações, mas houve uma tendência de melhora na conservação ambiental, embora com variações significativas entre os estados.

5. Políticas públicas e gestão ambiental:

- A gestão ambiental ainda é considerada secundária em relação à gestão econômica e social, mas está intrinsecamente ligada a todos os setores produtivos e demandas sociais.
- A gestão ambiental adequada pode melhorar os índices econômicos e sociais, tornando-se essencial para o desenvolvimento sustentável da região.

5.13 Análise da energia na região Sul

A Região Sul do Brasil apresenta um cenário de potencial para evolução, com a maioria dos municípios classificados como em transição, mas com desafios a serem superados, especialmente em termos de gestão ambiental.

A análise do IDRS serve como uma ferramenta útil para a formulação de políticas públicas que visem o desenvolvimento sustentável, equilibrando os aspectos econômicos, sociais e ambientais.

Em resumo, o estudo destaca a importância de políticas públicas integradas para promover um desenvolvimento sustentável e reduzir as desigualdades regionais, com foco no equilíbrio entre crescimento econômico, justiça social e preservação ambiental.

Desta forma, também é apresentado a região Sudeste, destacada pela economia, densidade populacional e infraestrutura, tem grande potencial em energias sustentáveis, especialmente a solar, devido ao clima favorável e alta radiação. Apesar de desafios como infraestrutura limitada e intermitência, avanços em tecnologias prometem fortalecer a energia solar como pilar do desenvolvimento sustentável e da transição energética no Brasil.

6 REGIÃO SUDESTE

A Região Sudeste do Brasil, tradicionalmente reconhecida por sua economia robusta, densidade populacional e desenvolvimento industrial, tem se destacado nos últimos anos como uma potência em energia solar, de acordo com o site Gran Solare (2023). Com um clima favorável e alta incidência de radiação solar, a região abrange estados como São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo, que possuem grande potencial para aproveitamento de energia solar.

Além das condições climáticas ideais, a infraestrutura bem desenvolvida, com uma rede elétrica abrangente, facilita a integração de sistemas solares. O mercado local também oferece uma ampla gama de fornecedores e instaladores especializados.

As políticas de incentivo, tanto estaduais quanto federais, têm sido fundamentais para o crescimento do setor. Programas de compensação de energia e incentivos fiscais promovem a geração de energia renovável, atraindo investimentos de empresas, indústrias e residências.

O interesse crescente pela energia solar na Região Sudeste contribui para a diversificação da matriz energética brasileira, a redução da dependência de fontes não renováveis e a diminuição das emissões de gases de efeito estufa. Essa tendência deve

se consolidar nos próximos anos, reforçando o papel da região como líder em energia solar no Brasil.

Os estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo apresentam níveis médios de radiação entre 4,5 e 6,0 kWh/m²/dia, favorecendo a geração de energia solar fotovoltaica. Além disso, políticas públicas, como isenção de impostos e programas de incentivo, têm impulsionado a adoção da energia solar na região (ROCHA, 2024).

Entre os benefícios da energia solar, destacam-se a redução de emissões de CO₂, diminuição de custos com energia, criação de empregos e promoção da inclusão energética. Entretanto, desafios como a capacidade da infraestrutura elétrica e a intermitência da geração solar ainda precisam ser enfrentados.

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) aponta que projetos como as usinas solares de grande porte (ex.: Pirapora e Ituverava) e iniciativas de geração distribuída, como condomínios solares e agricultura solar, estão ajudando a expandir o setor. Com avanços tecnológicos, como baterias mais eficientes e painéis de alta eficiência, a expectativa é que a energia solar continue a crescer significativamente no Sudeste.

O Sudeste brasileiro, com altos índices de radiação solar (4,5 a 6,0 kWh/m²/dia) e clima favorável, apresenta grande potencial para geração de energia solar. A região, composta por São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo, tem registrado um crescimento acelerado nesse setor, impulsionado por incentivos fiscais, redução nos custos de equipamentos e maior conscientização ambiental (ROCHA, 2024).

Principais benefícios:

- **Econômicos:** Redução nas contas de energia, valorização de imóveis e facilidades de financiamento;
- **Ambientais:** Redução de emissões de CO₂ e preservação de recursos hídricos;
- **Sociais:** Geração de empregos e inclusão energética em áreas remotas.

Desafios:

- Infraestrutura de rede insuficiente e dependência de condições climáticas;
- Burocracia e inconsistências nos incentivos estaduais.

Destaques de projetos:

- Grandes usinas solares, como Pirapora (MG) e Ituverava (SP);
- Iniciativas como condomínios solares e energia para a agricultura.

O setor tende a crescer com inovações tecnológicas, como avanços em baterias e painéis mais eficientes, além de parcerias público-privadas. A energia solar no Sudeste é fundamental para a sustentabilidade e desenvolvimento econômico da região, com potencial para liderar a transição energética no Brasil.

6.1 Análise da energia na região Sudeste

A energia solar no Sudeste do Brasil representa uma oportunidade significativa para a sustentabilidade e o desenvolvimento econômico da região.

Com um potencial solar abundante, políticas de incentivo eficazes e avanços tecnológicos contínuos, a energia solar está destinada a desempenhar um papel central na matriz energética do Sudeste. Ao superar os desafios e aproveitar as oportunidades, a região pode se tornar um modelo de inovação e sustentabilidade para o restante do país e do mundo.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A transição completa para energia renovável no mundo é possível, mas requer tempo, inovação e investimentos significativos. Essa mudança depende de avanços tecnológicos, como armazenamento eficiente de energia e redes modernas, além de esforços conjuntos para superar desafios econômicos, sociais e ambientais.

Um futuro baseado apenas em energia renovável apresenta várias vantagens, como a redução das emissões de gases de efeito estufa, menor poluição, melhoria na saúde pública e geração de empregos no setor de tecnologias verdes. Embora complexo,

com tecnologia, planejamento estratégico e cooperação global, é possível construir uma matriz energética mundial sustentável e limpa.

O Brasil, com sua vasta extensão territorial e grande diversidade de recursos naturais, possui um enorme potencial para gerar energia de forma limpa e renovável, especialmente por meio da energia solar, eólica e hidrelétrica. A utilização dessas fontes é vital não apenas para diversificar a matriz energética brasileira, mas também para torná-la mais robusta, e garantir que as futuras gerações possam usufruir de um ambiente mais saudável.

Nos últimos anos, o Brasil tem avançado em larga escala na implementação de fontes renováveis, especialmente com a crescente utilização de energia eólica e solar, em especial no Nordeste, que têm demonstrado uma rápida expansão. Contudo, a transição para uma matriz energética totalmente sustentável ainda enfrenta desafios significativos. A modernização das infraestruturas de distribuição de energia, a integração eficiente das novas fontes renováveis ao sistema elétrico nacional e a necessidade de modernização da legislação e políticas públicas são aspectos cruciais que demandam atenção e comprometimento dos diversos setores da sociedade, em destaque, a política e economia.

Outro desafio importante é a superação das barreiras econômicas e financeiras que ainda limitam o crescimento de projetos de energia renovável em algumas regiões do país, especialmente nas áreas mais afastadas dos centros urbanos. Nesse contexto, a colaboração entre o governo, a iniciativa privada e as populações locais serão essenciais para superar tais obstáculos, criando políticas públicas que incentivem investimentos em energias limpas, através de isenções fiscais, subsídios e incentivos à pesquisa e ao desenvolvimento tecnológico.

Além disso, o Brasil precisa reforçar a conscientização sobre a importância da transição energética, mobilizando a sociedade para que se engaje na adoção de práticas mais sustentáveis, tanto no uso da energia em casa, quanto nas escolhas de consumo, como o investimento em aparelhos mais eficientes e a redução do desperdício. Esse movimento, aliado a políticas de incentivo à eficiência energética, pode resultar em uma

sociedade mais consciente do uso dos recursos naturais e com uma mentalidade mais voltada para a preservação ambiental.

A busca por uma matriz energética sustentável, no entanto, não deve se concentrar apenas em um modelo de energia. O Brasil, sendo um país de grandes dimensões, requer soluções diversificadas e adaptadas às características de cada região.

Portanto, a implementação da energia sustentável no Brasil é não apenas uma necessidade ambiental, mas uma oportunidade estratégica de crescimento econômico e social. Se corretamente implementada, a transição para fontes de energia renováveis poderá transformar o Brasil em um modelo global de sustentabilidade, ajudando o país a se posicionar como líder no combate às mudanças climáticas, ao mesmo tempo em que cria empregos, gera novos negócios e promove um futuro mais equilibrado para as próximas gerações. O sucesso dessa implementação depende de um esforço conjunto e contínuo, com a colaboração de todos os setores da sociedade, que deve ser orientado por políticas públicas eficazes, tecnologias inovadoras e um compromisso verdadeiro com a preservação do meio ambiente mundial sustentável e limpa.

REFERÊNCIAS

ABRAPCH. Benefícios das PCHs e CGHs. Associação Brasileira de PCHs e CGHs, 2019. Disponível em: <https://abrapch.org.br/o-setor/beneficios-das-pchs-e-cghs/>. Acesso em: 22 set. 2024

ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016. 2017. Disponível em: https://apublica.org/wp-content/uploads/2018/05/small_PanoramaResiduosSolidos2016_ABRELPE.compressed.pdf. Acesso em: 28 nov. 2024

ABREMA. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo, 2023. Disponível em: https://www.abrema.org.br/wp-content/uploads/dlm_uploads/2024/03/Panorama_2023_P1.pdf. Acesso em 23 nov. 2024

ÁGUAS amazônicas. O rio Amazonas. A Aliança Águas Amazônicas. Disponível em: <https://pt.aguasamazonicas.org/bacia/canal-principal-do-amazonas/o-rio-amazonas>. Acesso em: 16 set. 2024

ALONG THE BOARDS. Geothermal Energy's Environmental and Economic Benefits. Disponível em: <https://www.alongtheboards.com/geothermal-energy-benefits/>. Acesso em: 18 nov. 2024

AMAZÔNIA legal no escuro. Instituto de Defesa de Consumidores, 2021. Disponível em: <https://idec.org.br/materia/amazonia-legal-no-escuro>. Acesso em: 25 nov. 2024

ANEEL – Associação Nacional de Energia Elétrica. Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA). Brasília: ANEEL, 2023. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoieNGE3NjVmYjAtNDZkZC00MDY4LTliNTItMTVhZTU4NWYzYzFmIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 14 nov. de 2024

ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Brasília, 2002. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf. Acesso em: 24 nov. 2024

BARCELLA, Marciano dos Santos; BRAMBILLA, Flávio Régio. Energia Eólica e os Impactos Sócio-ambientais: Estudo de caso em parque eólico do Rio Grande do Sul, Brasil. Revista de Ciências Ambientais, v. 6, n. 2, p. 05–18, 2012. Canoas, 2012. Disponível em: <https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca/article/view/230/759>. Acesso em: 09 nov. 2024

BARROS, Tiago Felipe de. Geração de Energia Elétrica com Biogás Gerado em Aterro Sanitário. Porto Alegre, 2013. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/108487/000946361.pdf>. Acesso em 24 nov. 2024

BATISTA, Carolina. Fogo. Toda Matéria. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/fogo/>. Acesso em: 25 nov. 2024

BEZERRA, Francisco D. Energia Solar, 2023. Caderno Setorial ETENE, ano 8. Nº 295. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1849/1/2023_CDS_295.pdf. Acesso em: 16 nov. 2024

BIANCO, T. S. D.; LIMA, J. F.; MOREJON, C. F. M. O Indicador de Desenvolvimento Regional Sustentável na Região Sul do Brasil. Redes, v. 21, n. 2, p. 8–28, 2016. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6547809.pdf>. Acesso em: 18 out. 2024

BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE. June 2014 Economic Costs and Benefits of Geothermal Power. Bloomberg New Energy Finance. Disponível em: <https://www.bnef.com>. Acesso em: 28 nov. 2024

BORBA, S. M. P. Análise de modelos de geração de gases em aterros sanitários: estudo de caso. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2386602/mod_resource/content/1/gas_em_aterr_o.pdf. Acesso em: 20 nov. 2024

BRASIL. Estimativa da Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos. Ministério das Cidades, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel>. Acesso em: 28 nov. 2024

BRASIL. Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm. Acesso em: 24 nov. 2024

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Energia 2050. Brasília: MME, 2022

BRASIL. Ministério de Minas e Energias do Brasil. Como implementar um projeto. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/ee/guia-para-municipios/implementacao>. Acesso em: 16 nov. 2024

BRASIL. Nordeste é visto como grande gerador e exportador de energia renovável. Ministério de Minas e Energia, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/nordeste-e-visto-como-grande-gerador-e-exportador-de-energia-renovavel>. Acesso em: 17 nov. 2024

CAMPOS, Mateus. Usina de Itaipu. Mundo Educação. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/usina-de-itaipu.htm>. Acesso em: 9 nov. 2024

CARVALHAES, Talita Raquel. Produção de Biogás através de Aterros Sanitários: Uma Alternativa para Economia Circular. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental.) - Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/a28f27e7-d80f-4b79-a87e-8770151e4c21/content>. Acesso em: 23 nov. 2024.

CARVALHO, L. P.; SILVEIRA, M. F. Potencial geotérmico no Brasil: Um panorama atual. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 5, n. 2, p. 65-82, 2019

CASARIN, Ricardo. Quais estados brasileiros produzem mais energia eólica e solar. Portal Solar, 2024. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/quais-estados-brasileiros-produzem-mais-energia-eolica-e-solar>. Acesso em: 15 nov. 2024

CEBDS. Guia de precificação de carbono. Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável, 2015. Disponível em: <https://cebds.org/publicacoes/guia-de-precificacao-de-carbono/#.WfIZFItSzIU>. Acesso em: 19 out. 2024

CETESB. Ficha de Informação Toxicológica - Metano, 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2020/08/Metano.pdf>. Acesso em: 24 out. 2024

CHESF. Descrição do Aproveitamento de Xingó. Eletrobras [s.d]. Disponível em: <https://www.chesf.com.br/SistemaChesf/Pages/SistemaGeracao/Xingo.aspx>. Acesso em: 19 nov. 2024

CHESF. Relatório Anual Eletrobras CHESF 2022. Eletrobras, 2023 Disponível em: https://www.chesf.com.br/sustentabilidade/Documents/Chesf_RA_2022_D9-03.pdf. Acesso em: 23 nov. 2024

CIBIOGAS. Panorama do Biogás 2023. Foz do Iguaçu, 2024. Disponível em: https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms%2Ffiles%2F54738%2F1716811508PANORAMA_DO_BIOGS_2023.pdf. Acesso em: 23 nov. 2024

COSBEY, A. Trade, sustainable development and a green economy: Benefits, challenges and risks. The Transition to a Green Economy: Benefits, Challenges and Risks from a Sustainable Development Perspective, 2011

ECAVO. 10 Advantages of Geothermal Energy. Disponível em: <https://www.ecavo.com/advantages-geothermal-energy/>. Acesso em: 18 nov. 2024

ENEL. Hélice eólica. Enel Green Power. Disponível em: <https://www.enelgreenpower.com/pt/learning-hub/energias-renoveveis/energia-eolica/helice-eolica>. Acesso em: 17 nov. 2024

ENGENHARIA 360. Energia geotérmica: renovável, eficiente e sustentável. Disponível em: <https://www.engenharia360.com/>. Acesso em: 28 nov. 2024.

EPE. Fontes de energia. Empresa de Pesquisa Energética, 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia#FONTES-RENOVAVEIS>. Acesso em: 20 out. 2024

FIGUEIREDO, Natalie Jimenez Vérdi de. “Utilização do Biogás de Aterro Sanitário para Geração de Energia Elétrica e Iluminação a Gás – Estudo de Caso”. Trabalho de Graduação (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2007. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/3/2014/01/figueiredo.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. Biogás. Brasil Escola, 2016. Disponível: <https://brasilescola.uol.com.br/quimica/o-biogas.htm>. Acesso em: 28 nov. 2024

GEOHERMAL ENERGY ASSOCIATION. Geothermal energy: reliable, renewable, and environmentally friendly. Disponível em: <https://www.geo-energy.org>. Acesso em: 21 nov. 2024

GOLDEMBERG, José. Energia, meio ambiente e desenvolvimento. São Paulo: Edusp, 1992

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Geração e transmissão de energia elétrica. Rio Grande do Sul, 2017. Disponível em: <<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/geracao-e-transmissao-de-energia>>. Acesso em: 9 nov. 2024

GUTIERREZ, Felipe. 'Bom de vento', Nordeste concentra 93% de toda energia eólica do Brasil. UOL, 2024. Disponível em: <https://www.uol.com.br/ecoa/ultimas-noticias/2024/08/09/bom-de-vento-nordeste-concentra-93-de-toda-energia-eolica-do-brasil.htm#:~:text='Bom%20de%20vento'%2C%20Nordeste,toda%20energia%20e%C3%B3lica%20do%20Brasil&text=A%20energia%20solar%20e%20a,%2C5%25%20da%20capacidade%20instalada>. Acesso em: 14 nov. 2024

HELERBROCK, Rafael. Eletricidade. Brasil Escola, 2016. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/eletricidade.htm>. Acesso em: 25 de nov. 2024

HELERBROCK, Rafael. Energia térmica. Brasil Escola, 2019. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/energia-termica.htm>. Acesso em: 25 de nov. 2024

HERTZ ELÉTRICA. O que é: energia geotérmica – entenda essa fonte renovável. Disponível em: <https://www.hertzeletrica.com.br/>. Acesso em: 28 nov. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2022: informações de população e domicílios por setores censitários auxiliam gestão pública. Agência IBGE, 2024. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/39525-censo-2022-informacoes-de-populacao-e-domicilios-por-setores-censitarios-auxiliam-gestao-publica>. Acesso em: 18 nov. 2024

IBGE. Atlas Nacional Digital do Brasil. 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/atlas_nacional/#/home/. Acesso em: 12 set. 2024

IBGE. Atlas Nacional Digital do Brasil. 2022. Registro de desastres. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/atlas_nacional/#/home/. Acesso em: 20 nov. 2024

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Potencial geotérmico brasileiro. São José dos Campos: INPE, 2022. Disponível em: <https://www.inpe.br>. Acesso em: 21 nov. 2024

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). Renewable capacity statistics 2023. Abu Dhabi: IRENA, 2023. Disponível em: <https://www.irena.org>. Acesso em: 21 nov. 2024

JÚNIOR, Ferraz. “Série Energia”: Energia eólica enfrenta desafios socioambientais no Nordeste. Jornal da USP, 2024. Disponível em: <https://jornal.usp.br/noticias/serie-energia-energia-eolica-enfrenta-desafios-socio-ambientais-no-nordeste/>. Acesso em: 17 nov. 2024

LEMISKA, E. B.; AFFANIO, G. H.; OLIVEIRA, L. O. S. Panorama de Lixões e Aterros na Região Sul do Brasil. 10º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, 2019. Disponível em: <https://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/view/1681/950>. Acesso em: 17 out. 2024

MARIZ, Fabiana. Usina de Belo Monte eleva em até três vezes a emissão de gases de efeito estufa na região amazônica, sugere estudo. Jornal da USP, 2021. Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/usina-de-belo-monte-eleva-em-ate-tres-vezes-a-emissao-de-gases-de-efeito-estufa-na-regiao-amazonica-sugere-estudo/>. Acesso em: 10 out. 2024

MATIAS, Átila. Região nordeste, 2016. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/regiao-nordeste.htm>. Acesso em: 14 nov. 2024

MATIAS, Átila. Região norte. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/regiao-norte.htm>. Acesso em: 04 set. 2024

MATIAS, Átila. Região sul. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/regiao-sul.htm>. Acesso em: 27 ago. 2024

MEDEIROS, F. A.; ALMEIDA, R. S. Aplicações da energia geotérmica de baixa entalpia no Brasil: Potencial e perspectivas. São Paulo: USP, 2021

NREL. Buried Treasure: The Environmental, Economic, and Employment Benefits of Geothermal Energy. Geothermal Technologies Program. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/5747.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2024

OLIVEIRA, Nayara. Tradições, cultura e ciclos marcam a história do Norte do Brasil. Gov.br. Disponível em: <https://www.gov.br/turismo/pt-br/assuntos/noticias/tradicoes-cultura-e-ciclos-marcam-a-historia-do-norte-do-brasil>. Acesso em: 12 set. 2024

ONS - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Histórico da operação. Geração de energia. Disponível em: <https://www.ons.org.br/>. Acesso em: 17 nov. 2024

ONS. Relatório Anual 2023. Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: https://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/2023-Relatorio-Anual-acessivel_21032024.pdf. Acesso em: 20 nov. 2024

PEREIRA, Charles. Por que os ventos do Brasil são bons para a exploração de Energia Eólica? Blog da Engenharia, 2021. Disponível em: <https://blogdaengenharia.com/engenharia/engenharia-de-energia/por-que-os-ventos-do-brasil-sao-bons-para-a-exploracao-de-energia-eolica/>. Acesso em: 14 nov. 2024

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J.G. Atlas brasileiro de energia solar. 2a. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível em: <http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc->

m21b/2017/08.15.18.20/doc/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao_rev-01-compactado.pdf. Acesso em: 15 nov. 2024

PEREIRA, Renée. Orçado em R\$ 16 bilhões, custo da usina de Belo Monte já supera os R\$ 30 bilhões. Estadão, 2013. Disponível em: https://www.estadao.com.br/economia/orcado-em-r-16-bilhoes-custo-da-usina-de-belo-monte-ja-supera-os-r-30-bilhoes/?srsltid=AfmBOooJdqpE8Cv7Ap1vEBoq5-mrA21vVjKw6Ohg-2DVcCmwaD2R5_TP. Acesso em: 18 nov. 2024

PORTAL SOLAR. Tipos de energia: quais são, suas fontes e utilizações. Portal Solar, [s.d]. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-energia>. Acesso em: 25 nov. 2024

Região sudeste, uma potência em energia solar. Gran Solare. Disponível em: <https://gransolare.com.br/?p=850>. Acesso em: 24 set. 2024

REIS, Pedro. Biomassa: Vantagens e Desvantagens deste tipo de energia. Portal Energia, 2010. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-da-energia-biomassa/>. Acesso em: 20 de nov. 2024

ROCHA, Diogo. Energia Solar no Sudeste do Brasil: Um Panorama Completo. 2024. Disponível em: <https://unep.org.br/energia-solar-no-sudeste-do-brasil/>. Acesso em: 17 nov. 2024

SALES, Ricélia M. M. Energias renováveis no Nordeste Brasileiro: oportunidades e desafios, para quem? 72ª Reunião Anual da SBPC, 2020. Disponível em: <https://reunioes.sbpcnet.org.br/72RA/textos/PN-RiceliaSales.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2024

SEMA. Atlas de energias renováveis. Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/atlas-de-energias-renovaveis>. Acesso em: 8 nov. 2024.

Silva, B. A. O. (2023). Aproveitamento e potencial da energia solar no nordeste brasileiro. Meio Ambiente (Brasil), v.5, n.1, p.55-66. Disponível em: <https://meioambientebrasil.com.br/index.php/MABRA/article/download/295/183>. Acesso em: 16 nov. 2024

TEIXEIRA, Rylanneive L. P. Energias renováveis no Nordeste do Brasil e as relações com a adaptação às mudanças climáticas. 2023. Tese (Doutorado em Estudos Urbanos) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Rio Grande do Norte, 2023. Disponível em: https://www.observatoriodasmetropoles.net.br/wp-content/uploads/2023/10/EnergiasrenovaveisNordeste_Teixeira_2023.pdf. Acesso em: 14 nov. 2024