



Empresa de Pesquisa Energética

NOTA TÉCNICA

ANÁLISE SOCIOAMBIENTAL DAS FONTES ENERGÉTICAS DO PDE 2034

NOVEMBRO DE 2024

■ Colaboradores

Coordenação Geral

Thiago Ivanoski Teixeira

Coordenação Executiva

Elisângela Medeiros de Almeida

Coordenação Técnica

Hermani de Moraes Vieira

Equipe Técnica

Alfredo Lima Silva

Ana Dantas M. de Mattos

André Cassino Ferreira

André Viola Barreto

Bernardo Regis G. de Oliveira

Carina Renno Siniscalchi

Carolina M. H. de G. A. F. Braga

Clayton Borges da Silva

Cristiane Moutinho Coelho

Daniel Dias Loureiro

Daniel Filipe Silva

Glaucia Maria Lieggio Botelho

Guilherme de Paula Salgado

Gustavo Fernando Schmidt

Kátia G. Soares Matosinho

Leonardo de Sousa Lopes

Leyla A. Ferreira da Silva

Luciana Álvares da Silva

Marcos Ribeiro Conde

Maria Fernanda B. Pinheiro

Mariana Lucas Barroso

Mariana R. de C. Pinheiro

Paula Cunha Coutinho

Robson de Oliveira Matos

Silvana Andreoli Espig

Valentine Jahnel

Verônica S. da M. Gomes

Vinicius M. Rosenthal

VALOR PÚBLICO

A EPE ELABORA ANÁLISES SOCIOAMBIENTAIS DAS FONTES ENERGÉTICAS PARA O PLANO DECENAL DE ENERGIA (PDE), CONTRIBUINDO ASSIM COM OS ESTUDOS DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO DE MÉDIO PRAZO. SÃO ELABORADAS ANÁLISES SOCIOAMBIENTAIS TANTO PARA SUBSIDIAR A EXPANSÃO ENERGÉTICA DECENAL, QUANTO PARA AVALIAR A OFERTA ENERGÉTICA INDICADA NO PLANO.

COM ESTA NOTA TÉCNICA A EPE TRAZ TRANSPARÊNCIA E DIMINUI A ASSIMETRIA DE INFORMAÇÕES SOBRE OS ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS DAS FONTES ENERGÉTICAS PREVISTAS NO HORIZONTE DO PDE 2034. SÃO ANALISADAS, PARA CADA UMA DAS FONTES ENERGÉTICAS PREVISTAS, AS INTERFERÊNCIAS SOCIOAMBIENTAIS E AS MEDIDAS MITIGADORAS, OS DESAFIOS SOCIOAMBIENTAIS E AS INICIATIVAS EM ANDAMENTO PARA RESOLUÇÃO DESSES DESAFIOS, E AINDA AS OPORTUNIDADES SOCIOAMBIENTAIS, VISLUMBRADAS COM A EXPANSÃO PLANEJADA. SÃO APRESENTADOS TAMBÉM INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS DESSA EXPANSÃO.

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



Ministro de Estado
Alexandre Silveira de Oliveira

Secretário-Executivo
Arthur Cerqueira Valério

Secretário de Energia Elétrica
Gentil Nogueira de Sá Junior

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral
Vitor Eduardo de Almeida Saback

Secretário de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
Pietro Adamo Sampaio Mendes

Secretário de Transição Energética e Planejamento
Thiago Vasconcellos Barral Ferreira



Empresa de Pesquisa Energética

Presidente
Thiago Guilherme Ferreira Prado

Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais
Thiago Ivanoski Teixeira

Diretor de Estudos de Energia Elétrica
Reinaldo da Cruz Garcia

Diretor de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis
Heloisa Borges Bastos Esteves

Diretor de Gestão Corporativa (interino)
Thiago Guilherme Ferreira Prado

<http://www.epe.gov.br>

■ Sumário

| | | |
|----------|---|------------|
| 1 | Introdução | 5 |
| 2 | Conceitos e Métodos..... | 6 |
| 3 | Subsídios socioambientais para a expansão decenal..... | 9 |
| 3.1 | Avaliação processual das usinas hidrelétricas..... | 9 |
| 3.2 | Análise da complexidade socioambiental das unidades produtivas de petróleo e gás natural. | 11 |
| 4 | Análise socioambiental da oferta de energia elétrica | 15 |
| 4.1 | Hidrelétricas | 15 |
| 4.2 | Pequenas Centrais Hidrelétricas e Centrais Geradoras Hidrelétricas | 28 |
| 4.3 | Termelétricas de fontes não renováveis | 34 |
| 4.4 | Termelétricas renováveis | 41 |
| 4.5 | Eólicas | 49 |
| 4.6 | Usinas Solares Fotovoltaicas | 66 |
| 4.7 | Transmissão de Energia Elétrica..... | 76 |
| 5 | Análise socioambiental da oferta de petróleo, gás natural e biocombustíveis..... | 87 |
| 5.1 | Produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados | 87 |
| 5.2 | Etanol..... | 103 |
| 5.3 | Biodiesel | 110 |
| 6 | Conclusão..... | 118 |
| 7 | Referências bibliográficas | 119 |

■ Lista de Ilustrações

| | |
|--|-----|
| Figura 1 – Premissas da análise socioambiental do PDE 2034 | 5 |
| Figura 2 – Objetivos da análise socioambiental do PDE 2034 | 5 |
| Figura 3 – O PDE 2034 e as etapas da análise socioambiental | 6 |
| Figura 4 – Análise socioambiental das fontes energéticas para compor a análise socioambiental integrada | 7 |
| Figura 5 – Fluxograma com os prazos utilizados na avaliação processual..... | 9 |
| Figura 6 – Critérios utilizados para exclusão de volumes de produção de áreas de UPUs..... | 12 |
| Figura 7 – Etapas de análise das UPs contratadas, como subsídio à alocação temporal da previsão de início da produção..... | 12 |
| Figura 8 – Procedimento de análise das UPs <i>offshore</i> contratadas..... | 13 |
| Figura 9 – Procedimento de análise das UPs <i>onshore</i> contratadas | 13 |
| Figura 10 – Resultado da classificação de complexidade das UPs contratadas..... | 14 |
| Figura 11 – Localização da expansão de usinas hidrelétricas no PDE 2034 | 16 |
| Figura 12 – Localização da expansão de PCHs e CGHs no PDE 2034 | 29 |
| Figura 13 – Localização da expansão termelétrica de fontes não renováveis no PDE 2034 | 35 |
| Figura 14 – Localização da expansão termelétrica renovável no PDE 2034 | 42 |
| Figura 15 – Localização da expansão eólica no PDE 2034..... | 50 |
| Figura 16 – Localização da expansão solar fotovoltaica no PDE 2034 | 67 |
| Figura 17 - Linhas de transmissão planejadas no PDE 2034 e áreas legalmente protegidas | 78 |
| Figura 18 – Unidades produtivas, UPGNs, terminal e gasodutos de transporte planejados no PDE 2034..... | 89 |
| Figura 19 – Localização das usinas de etanol planejadas no PDE 2034 | 104 |
| Figura 20 – Localização das usinas de biodiesel planejadas no PDE 2034 | 111 |

■ Lista de Quadros

| | |
|--|----|
| Quadro 1 – Conceitos utilizados na análise socioambiental das fontes energéticas | 7 |
| Quadro 2 – Temas socioambientais e as interferências socioambientais representadas..... | 8 |
| Quadro 3 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão hidrelétrica | 18 |
| Quadro 4 – Principais desafios e iniciativas socioambientais relacionados à expansão hidrelétrica..... | 22 |
| Quadro 5 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão hidrelétrica | 25 |
| Quadro 6 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão de PCHs e CGHs | 30 |
| Quadro 7 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão de PCHs e CGHs | 32 |
| Quadro 8 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionados à expansão de PCHs e CGHs | 32 |
| Quadro 9 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão termelétrica de fontes não renováveis | 37 |
| Quadro 10 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão termelétrica de fontes não renováveis | 38 |
| Quadro 11 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionados à expansão termelétrica de fontes não renováveis | 39 |
| Quadro 12 – Principais desafios e iniciativas socioambientais relacionados à expansão termelétrica renovável | 44 |
| Quadro 13 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionados à expansão termelétrica renovável | 47 |
| Quadro 14 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão eólica | 55 |
| Quadro 15 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão eólica..... | 62 |

| | |
|---|-----|
| Quadro 16 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão eólica | 64 |
| Quadro 17 – Principal interferência, medidas mitigadoras e tema socioambiental da expansão fotovoltaica centralizada..... | 69 |
| Quadro 18 – Principais desafios e iniciativas socioambientais relacionados à expansão fotovoltaica centralizada..... | 73 |
| Quadro 19 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão fotovoltaica centralizada..... | 75 |
| Quadro 20 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão da transmissão | 81 |
| Quadro 21 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão da transmissão | 84 |
| Quadro 22 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionados à expansão da transmissão | 86 |
| Quadro 23 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão da produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados | 93 |
| Quadro 24 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão da produção e da oferta de petróleo, gás natural e derivados | 99 |
| Quadro 25 – Principal oportunidade socioambiental e sua conjuntura relacionadas à expansão da produção e oferta de petróleo e gás natural e derivados | 100 |
| Quadro 26 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da oferta de etanol | 106 |
| Quadro 27 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão da oferta de etanol | 107 |
| Quadro 28 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionados à expansão da oferta de etanol | 108 |
| Quadro 29 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão do biodiesel | 115 |
| Quadro 30 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão da oferta de biodiesel | 116 |

■ Lista de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Prazos utilizados na avaliação processual | 10 |
| Tabela 2 – Avaliação processual de UHEs do PDE 2034 | 10 |
| Tabela 3 - Etapas do Licenciamento Ambiental e prazos (em meses) distribuídos por classe de complexidade | 14 |
| Tabela 4 – Síntese da análise socioambiental das usinas hidrelétricas do PDE 2034 | 18 |
| Tabela 5 – Indicadores socioambientais da expansão hidrelétrica | 26 |
| Tabela 6 – Síntese da análise socioambiental das PCHs e CGHs do PDE 2034 | 30 |
| Tabela 7 – Indicadores socioambientais da expansão de PCHs e CGHs | 33 |
| Tabela 8 – Síntese da análise socioambiental das usinas termelétricas de fontes não renováveis do PDE 2034..... | 36 |
| Tabela 9 – Indicadores socioambientais da expansão termelétrica de fontes não renováveis | 40 |
| Tabela 10 – UTEs renováveis contratadas (2025-2028) por tipo de combustível e potência | 42 |
| Tabela 11 – Síntese da análise socioambiental das usinas termelétricas renováveis do PDE 2034 | 43 |
| Tabela 12 – Indicadores socioambientais da expansão termelétrica renovável..... | 48 |
| Tabela 13 - Síntese da análise socioambiental das usinas eólicas do PDE 2034 | 55 |
| Tabela 14 – Indicadores socioambientais da expansão eólica | 64 |
| Tabela 15 – Síntese da análise socioambiental das usinas fotovoltaicas do PDE 2034..... | 68 |
| Tabela 16 – Indicadores socioambientais da expansão solar fotovoltaica..... | 75 |
| Tabela 17 - Extensão das linhas de transmissão por região | 78 |
| Tabela 18 - Extensão das linhas de transmissão planejadas em áreas com restrição socioambiental..... | 79 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 19 – Síntese da análise socioambiental das linhas de transmissão do PDE 2034 | 81 |
| Tabela 20 – Indicadores socioambientais da expansão da transmissão de energia elétrica..... | 86 |
| Tabela 21 – Síntese da análise socioambiental da produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados no PDE 2034 | 93 |
| Tabela 22 – Indicadores socioambientais da expansão da produção e da oferta de petróleo, gás natural e derivados | 102 |
| Tabela 23 – Síntese da análise socioambiental de etanol do PDE 2034 | 106 |
| Tabela 24 – Indicadores socioambientais da expansão do etanol..... | 109 |
| Tabela 25 – Síntese da análise socioambiental do biodiesel do PDE 2034..... | 112 |
| Tabela 26– Indicadores socioambientais da expansão do biodiesel | 117 |

1 Introdução

A análise socioambiental da expansão energética planejada é orientada pelo conceito de sustentabilidade e busca discutir as principais questões socioambientais associadas à produção, geração e transmissão de energia no horizonte do PDE 2034. Além disso, considera-se o panorama geral, incluindo políticas energéticas, disponibilidade de recursos e mudanças climáticas, a fim de compreender de forma mais ampla o cenário em que a expansão ocorre.

A Figura 1 apresenta as premissas consideradas no desenvolvimento da análise socioambiental do PDE 2034.



Figura 1 – Premissas da análise socioambiental do PDE 2034

Com base nas premissas mencionadas, a análise socioambiental do PDE 2034 tem como objetivo: 1) contribuir para a definição da expansão do decênio; 2) avaliar, de forma integrada, as principais questões socioambientais da expansão planejada para o horizonte decenal; 3) com base nas principais questões, indicar os desafios e oportunidades socioambientais estratégicos para a expansão; e 4) analisar o contexto político, o perfil de emissões de gases de efeito estufa (GEE) da expansão e as medidas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

A Figura 2 ilustra os objetivos da análise socioambiental do PDE 2034.



Figura 2 – Objetivos da análise socioambiental do PDE 2034

De forma a atender os objetivos propostos, a análise socioambiental do PDE 2034 comprehende três etapas:

1. **Subsídios para a expansão decenal**, cuja avaliação socioambiental tem o objetivo de contribuir para a definição da expansão a ser apresentada no PDE.
2. **Análise socioambiental integrada**, que tem como objetivo antecipar questões socioambientais importantes e que podem representar riscos, bem como oportunidades relacionadas à expansão no horizonte decenal. Essa etapa se inicia com a análise de cada fonte energética da expansão. Para isso, são identificados: as principais interferências, os *temas socioambientais* a elas relacionados e as medidas mitigadoras associadas; os principais desafios socioambientais e iniciativas relacionadas; e as oportunidades socioambientais e sua conjuntura para realização, para cada fonte energética. Em seguida, na segunda fase, os *temas socioambientais* são avaliados, em conjunto, de acordo com as sensibilidades mais significativas de cada região brasileira. A análise tem como base a espacialização dos projetos, que permite visualizar a distribuição do conjunto e verificar seus efeitos cumulativos e sinérgicos.

Por fim, tendo como base as fases anteriores, são identificados os *desafios e oportunidades socioambientais estratégicos* para a expansão, considerando também as questões de mudança do clima, analisadas no item a seguir.

3. **Análise de questões de mudança do clima**, que tem como base o contexto político, o perfil de emissões de GEE da expansão prevista e as medidas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, e ainda aborda desafios, oportunidades e iniciativas especificamente relacionadas ao assunto.

A Figura 3 apresenta a relação entre a estrutura do PDE 2034 e a estrutura da análise socioambiental.

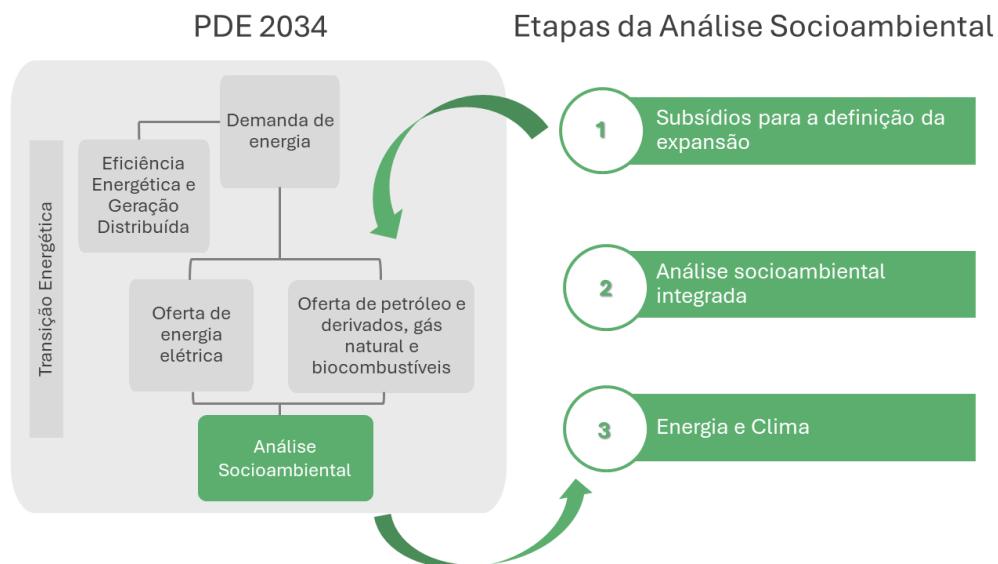


Figura 3 – O PDE 2034 e as etapas da análise socioambiental

Esta Nota Técnica trata da etapa 1, Subsídios para a definição da expansão, e da fase inicial da Análise Socioambiental Integrada (análise da expansão de cada fonte energética). O restante da análise socioambiental integrada e a análise de questões de mudança do clima são apresentadas no documento do PDE 2034, bem como discussões sobre a transição energética justa e inclusiva. Esse último ponto está relacionado ao fato do planejamento energético assumir, cada vez mais, o compromisso de promover uma transição que contribua para o desenvolvimento social e econômico, com ênfase na redução das desigualdades.

2 Conceitos e Métodos

A etapa 1 da análise socioambiental do PDE 2034 se refere à elaboração dos **subsídios socioambientais para a definição da expansão**, cujo objetivo é contribuir para a definição da expansão energética que será apresentada no Plano. Esta etapa engloba: **a avaliação processual das usinas hidrelétricas**, que visa estimar o ano possível para entrada em operação das UHEs que poderão compor a expansão hidrelétrica no decênio; e **a análise de complexidade socioambiental das unidades produtivas de petróleo e gás natural**, de modo a ajustar as previsões de produção conforme as preocupações refletidas pelos órgãos ambientais. Para a realização dessas avaliações, foram elaboradas metodologias específicas, cujo resumo e os resultados são apresentados no item 3. Subsídios Socioambientais para a Expansão Decenal.

Já a etapa 2 se refere à **análise socioambiental das fontes energéticas**. Nesta etapa, são realizadas: a análise socioambiental da oferta de energia elétrica (hidrelétricas, pequenas centrais hidrelétricas e centrais geradoras hidrelétricas, termelétricas de fontes não renováveis, termelétricas renováveis, eólicas, usinas solares fotovoltaicas e transmissão de energia elétrica); e a análise socioambiental da oferta de petróleo, gás natural e biocombustíveis (produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados; etanol; e biodiesel).

Os resultados da análise das fontes energéticas são apresentados nos itens . Análise socioambiental da oferta de energia elétrica e 5. Análise socioambiental da oferta de petróleo, gás natural e biocombustíveis. Esses resultados irão subsidiar a análise socioambiental integrada, apresentada no documento do PDE 2034, como pode ser observado na Figura 4.

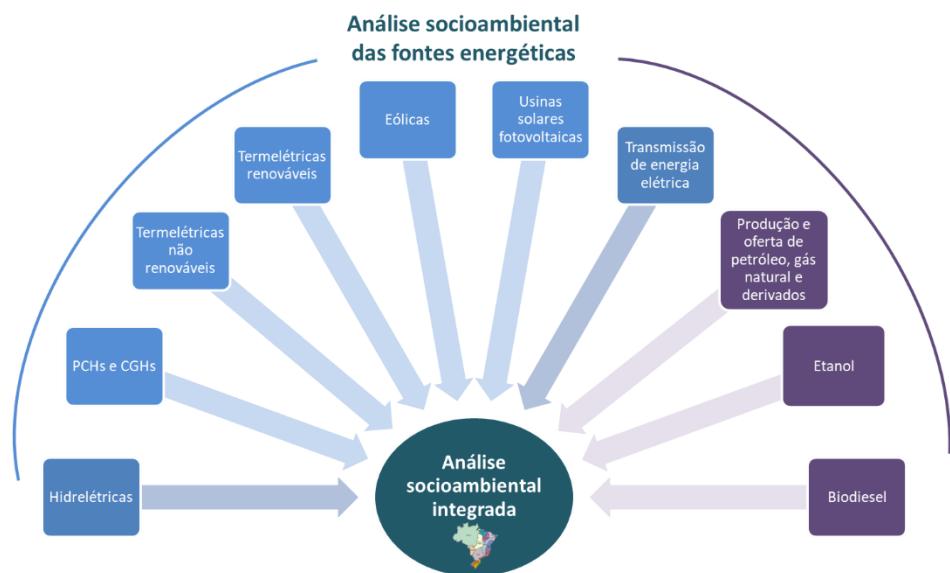


Figura 4 – Análise socioambiental das fontes energéticas para compor a análise socioambiental integrada

Com intuito de melhor representar as questões socioambientais, as análises das fontes energéticas têm como base um conjunto de conceitos e métodos, que são revistos e aprimorados a cada ciclo. O Quadro 1 apresenta os principais conceitos utilizados na análise socioambiental.

Quadro 1 – Conceitos utilizados na análise socioambiental das fontes energéticas

| Conceitos | Definições |
|--------------------------------|---|
| Benefícios socioambientais | São vantagens socioambientais já reconhecidas e inerentes à fonte energética, independentemente das circunstâncias. |
| Interferências socioambientais | Correspondem aos impactos socioambientais relevantes associados à expansão energética. |
| Temas socioambientais | Agrupam as principais interferências identificadas, tendo como base os tipos e as características dos projetos previstos e as sensibilidades regionais. |
| Medidas mitigadoras | São medidas consolidadas no processo de licenciamento ambiental e já são obrigações legais. Em geral, são adotadas na escala de projeto. |
| Desafios socioambientais | Expõem a complexidade socioambiental de um assunto e podem representar riscos para a expansão. Correspondem a uma circunstância socioambiental que demanda esforços para sua resolução. |
| Iniciativas | Representam o esforço para a resolução de um desafio. Geralmente, possuem abordagem estratégica e são voluntárias e ou inovadoras. Costumam estar mais vinculadas à etapa de planejamento. |
| Recomendações | Compreendem ações que poderiam trazer soluções para o desafio, mas que ainda não possuem tratativas em andamento para realizá-las, não sendo, portanto, iniciativas. |
| Oportunidades socioambientais | Representam a possibilidade de proporcionar melhorias socioambientais a partir de ações ainda não concretizadas ou com potencial pouco explorado. Para que se concretizem, precisam de conjuntura favorável (leis, incentivos, contexto político etc.). |
| Indicadores socioambientais | São informações ou dados, em recorte espaço-temporal, que representam aspecto socioambiental importante para compreender e acompanhar a evolução da fonte energética. |

Adicionalmente, o Quadro 2 mostra com mais detalhes como as interferências socioambientais associadas à expansão energética do PDE 2034 foram representadas e sintetizadas em temas socioambientais.

Quadro 2 – Temas socioambientais e as interferências socioambientais representadas

| Temas Socioambientais | Interferências socioambientais representadas |
|---|---|
| Biodiversidade  | Compreende a perda de indivíduos; a perda ou transformação de habitats naturais aquáticos ou terrestres; e impactos em ecossistemas e em suas funções. Retrata também complexidades observadas no processo de licenciamento ambiental. |
| Organização territorial  | Retrata potenciais conflitos de uso e ocupação do solo. Também abarca interferências nos modos de vida de comunidades locais e impactos decorrentes da atração populacional e da pressão sobre infraestrutura local, equipamentos e serviços. |
| Paisagem  | Refere-se ao impacto visual em paisagens naturais e urbanas. |
| Povos e terras indígenas  | Vinculado à diversidade étnica, à questão territorial e à necessidade de gestão dos conflitos pelos recursos. Somam-se a isso os desafios dos processos de licenciamento ambiental e de consulta prévia, livre e informada. |
| Qualidade do ar  | Relacionado à emissão de poluentes atmosféricos na geração de energia elétrica. |
| Recursos hídricos  | Representa possíveis conflitos pelo uso dos recursos hídricos. |
| Resíduos  | Reflete a importância dos resíduos dos processos para geração de energia elétrica e produção de combustíveis. |

Os conceitos e explicações apresentados nos Quadro 1 e Quadro 2 embasaram a apresentação dos resultados da análise das fontes energéticas. Além disso, com o objetivo se ter padronização e uniformidade, foi adotado o seguinte roteiro de perguntas para orientar a análise de cada fonte energética:

1. Quais os principais benefícios do uso da fonte?
2. Como é o parque existente?
3. Como será a expansão da fonte nos próximos 10 anos?
4. Quais as principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão da fonte?
5. Quais os principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à fonte?
6. Quais as principais oportunidades socioambientais relacionadas à expansão da fonte e qual a conjuntura favorável para aproveitá-las?
7. Quais os indicadores socioambientais da expansão da fonte?

3 Subsídios socioambientais para a expansão decenal

3.1 Avaliação processual das usinas hidrelétricas

A avaliação processual tem por objetivo estimar o ano possível para entrada em operação das UHEs que se encontram em fase de estudos e que poderão compor a expansão da oferta de energia no horizonte decenal (EPE, 2018).

A avaliação processual considera os prazos necessários para a elaboração dos estudos técnicos de engenharia e ambientais, para o licenciamento ambiental e para a construção de cada usina hidrelétrica. O resultado da avaliação apresenta a lista de UHEs com possibilidade de operação no horizonte decenal e que serão colocadas à disposição para o Modelo de Decisão de Investimento (MDI)¹. Após as simulações energéticas são definidas as UHEs que farão parte da expansão decenal no período indicativo, ou seja, de 2030 a 2034. As UHEs do período 2025-2029 já foram contratadas por meio de leilões de energia nova.

Para mais informações sobre a metodologia da avaliação processual de usinas hidrelétricas para os Planos Decenais, ver a Nota Técnica EPE 027/2018 “Metodologia para avaliação processual de usinas hidrelétricas”

[NT Análise Processual de UHEs EPE 027-2018.pdf](#)

Para a avaliação processual são consideradas as usinas hidrelétricas com potência superior a 50 MW e com registro ativo para a elaboração de estudos de viabilidade na Aneel. Ou seja, projetos que possuem empresa responsável pela elaboração do Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica (EVTE) e do Estudo de Impacto Ambiental (EIA). As informações sobre a situação dos projetos são obtidas junto à Aneel, às empresas responsáveis pela elaboração dos estudos, aos órgãos ambientais licenciadores e aos órgãos intervenientes envolvidos no licenciamento ambiental.

A estimativa da data de entrada em operação das UHEs foi feita com base nos prazos para desenvolvimento dos estudos anteriores ao leilão, adicionados do prazo de implantação (cinco anos). Assim, para a etapa que antecede o leilão, é contabilizado o tempo necessário para a emissão pelo órgão ambiental do termo de referência (TR) para a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do Estudo do Componente Indígena (ECI), quando necessário, para a conclusão do Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica (EVTE) e para a obtenção da licença prévia (LP). Já para a fase posterior ao leilão é considerado o tempo para construção.

Dependendo do projeto, foram ainda acrescentados prazos necessários para as tratativas de projetos com interferência em unidades de conservação (UC) ou em terra indígena (TI) e atendimento a eventuais demandas judiciais ou técnicas e administrativas solicitadas pelos órgãos ambientais e demais órgãos intervenientes. Destaca-se que, diante da complexidade das tratativas necessárias a UHEs que se sobrepõem a terras indígenas, optou-se por considerar que esses projetos não serão viabilizados no horizonte decenal, ainda que seus estudos estejam em andamento.

A Figura 5 e a Tabela 1 apresentam os prazos utilizados na avaliação processual (EPE, 2018).

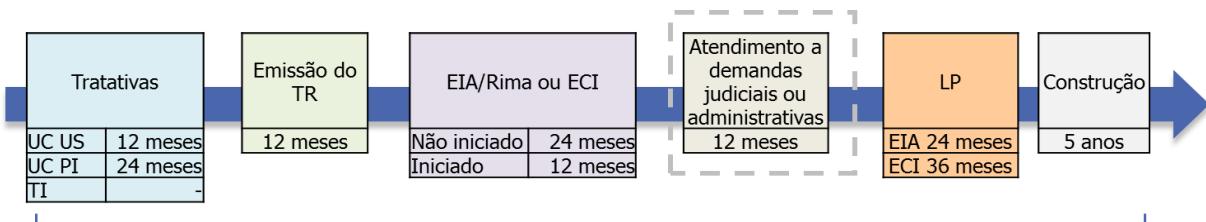


Figura 5 – Fluxograma com os prazos utilizados na avaliação processual

¹ Modelo computacional desenvolvido pela EPE e utilizado no PDE.

Tabela 1 – Prazos utilizados na avaliação processual

| Etapa | Prazo (meses) |
|--|---------------|
| Tratativas para UHEs que se sobrepõem a UC de Proteção Integral (UC PI) | 24 |
| Tratativas para UHEs que se sobrepõem a UC de Uso Sustentável (UC US) | 12 |
| Atendimento a demandas judiciais, técnicas ou administrativas | 12 |
| Emissão do Termo de Referência (TR) | 12 |
| Elaboração do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) ou Estudo do Componente Indígena (ECI) | 24 |
| Obtenção da Licença Prévia (LP) | 24 ou 36 |

Tendo como referência a data de janeiro de 2024, foram identificadas **34 UHEs** com potência superior a 50 MW e com registro para estudos de viabilidade na Aneel. Destas, 21 não tiveram o prazo estimado para implantação por: i) estarem situadas em terras indígenas (6 UHEs); ii) estarem situadas em unidades de conservação de proteção integral (3 UHEs); ou iii) terem a licença prévia indeferida, cancelada ou vencida ou, ainda, com o processo de licenciamento ambiental arquivado (12 UHEs).

Dentre os demais 13 projetos, considerando os critérios apresentados e a situação dos estudos de cada projeto, o resultado da avaliação indicou que **três usinas hidrelétricas teriam a possibilidade de entrar em operação nos cinco últimos anos do horizonte decenal**. A Tabela 2 apresenta o resultado da avaliação processual para o PDE 2034.

Tabela 2 – Avaliação processual de UHEs do PDE 2034

| UHE | Bacia Hidrográfica | UF | Pot. (MW) | Situação dos estudos | TR (meses) | EIA + ECI (meses) | Outras demandas (meses) | LP (meses) | Aval. Processual PDE 2034 ¹ |
|-----------------------|--------------------|----|-----------|---|------------|-------------------|-------------------------|------------|--|
| Telêmaco Borba | Tibagi | PR | 118 | EVTE e EIA/Rima entregues. Audiências Públicas realizadas. Necessidade de realização de ECI. ECI e ajustes no EIA e EVTE em andamento | - | 12 | - | 36 | 2033 |
| Tabajara | Ji-paraná | RO | 400 | EVTE, EIA/Rima e ECI entregues. Audiências públicas realizadas. Funai emitiu novo TR para ECI. | - | 24 | 12 | 24 | 2034 |
| Bem Querer J1A | Branco | RR | 650 | EVTE em atualização. EIA em andamento. ECI não iniciado. Aguarda manifestação da Funai para apresentação do Plano de Trabalho às comunidades indígenas. | - | 24 | | 36 | 2034 |

¹ Ano estimado de entrada em operação.

Legenda: UF: Unidade da Federação; Pot: Potência; TR: Termo de referência; EIA: Estudo de Impacto Ambiental; ECI: Estudo do Componente Indígena; LP: Licença Prévia; EVTE: Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica; Rima: Relatório de Impacto Ambiental; DRDH: Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica.

Como observado, das três UHEs com data de entrada em operação no horizonte decenal, duas usinas já tiveram o EIA/Rima entregues e as Audiências Públicas realizadas (Telêmaco Borba e Tabajara).

Após a realização das audiências públicas da UHE Telêmaco Borba, tornou-se necessária a realização do ECI, uma vez que a bacia hidrográfica onde a UHE está situada foi declarada território indígena. Atualmente o ECI está em andamento, contabilizando, assim, o prazo de um ano para sua execução. Soma-se

a esse prazo, a estimativa de três anos, para obtenção da LP, e de cinco anos, para a construção da usina. Dessa forma, obteve-se o ano de 2033 como data mínima para entrada dessa UHE em operação.

Já para a UHE Tabajara, recentemente, a Funai emitiu novo TR para a realização de um novo ECI. Sendo assim, estima-se o prazo de um ano para tratativas do empreendedor em relação à questão, dois anos para a execução de um novo ECI, dois anos para a emissão da LP (uma vez que teve audiências públicas recentes) e cinco anos para construção. O somatório desses prazos levou ao ano de 2034 como data mínima para entrada em operação.

A UHE Bem Querer está com o EIA/Rima na etapa final de conclusão. O ECI ainda não foi iniciado pois aguarda-se a manifestação da Funai para apresentação do Plano de Trabalho às comunidades indígenas. Portanto, são estimados 24 meses para a realização desses estudos, somados a um prazo de 36 meses para a obtenção da LP e de cinco anos para a construção da usina. Desse modo, chegou-se no ano de 2034 como data mínima para entrada em operação.

Posto isto, essas UHEs e suas respectivas datas de possível entrada em operação foram colocadas à disposição para o Modelo de Decisão de Investimento (MDI). O resultado do modelo indicou, para a expansão hidrelétrica, a entrada de uma hidrelétrica indicativa: Telêmaco Borba (118 MW), em 2033, e 6.313 MW de ações de modernização e repotenciação de usinas hidrelétricas existentes, a partir de 2028. Também foi considerada a UHE contratada Estrela (48 MW), em 2026.

3.2 Análise da complexidade socioambiental das unidades produtivas de petróleo e gás natural

As áreas com potencial para petróleo e gás natural são denominadas Unidades Produtivas (UPs) e compreendem todas as áreas, sob contrato ou não. As UPs contratadas incluem projetos com status de blocos exploratórios (em avaliação ou não) e campos, em fase de desenvolvimento ou de produção. As Unidades Produtivas da União (UPUs) não possuem contratos de exploração assinados. Todas as UPs foram analisadas quanto à complexidade socioambiental das áreas em que estão inseridas, conforme explicado a seguir.

Análise das Unidades Produtivas da União (UPUs)

Algumas áreas do território nacional são tradicionalmente excluídas pelo Ibama e órgãos estaduais de meio ambiente (Oemas) e evitadas pela ANP para oferta nas Rodadas de Licitação, tipicamente Unidades de Conservação (UCs) e Terras Indígenas (TIs). Nesse sentido e com o objetivo de diminuir as incertezas nas previsões de produção e buscar um planejamento energético sustentável, a EPE incorporou o procedimento já adotado por essas instituições e desconsiderou recursos de petróleo e gás natural nas áreas das UPUs sob UCs e TIs. Aliado a isso, também foram desconsideradas parcelas de volumes da produção para áreas sedimentares sobre as quais o uso atual do solo tende a restringir a exploração de recursos petrolíferos: zonas de amortecimento de unidades de conservação, áreas urbanas e áreas marinhas sensíveis.

Foram consideradas como critério todas as TIs (FUNAI, 2024) e UCs (MMA, 2024), com exceção de APA, e 184 zonas de amortecimento definidas em planos de manejo (ICMBio, 2023). Para as demais UCs, foi adotado *buffer* de 3 km no seu entorno (CONAMA, 2010), com exceção das categorias para as quais não é prevista zona de amortecimento (BRASIL, 2000). Com relação às áreas urbanas, foram utilizadas as zonas urbanas dos setores censitários (IBGE, 2019). As áreas marinhas sensíveis foram consideradas as áreas do litoral brasileiro distantes até 50 km da costa ou com até 50 m de profundidade de linha d'água. As águas rasas tendem a conter maior biodiversidade e a proximidade com a costa torna maior o risco de um eventual vazamento atingir o litoral. Dessa forma, esse critério proposto pelo Ibama e adotado pela ANP reflete a sensibilidade de espécies e habitats a processos impactantes associados à exploração e produção de petróleo e gás natural *offshore*.



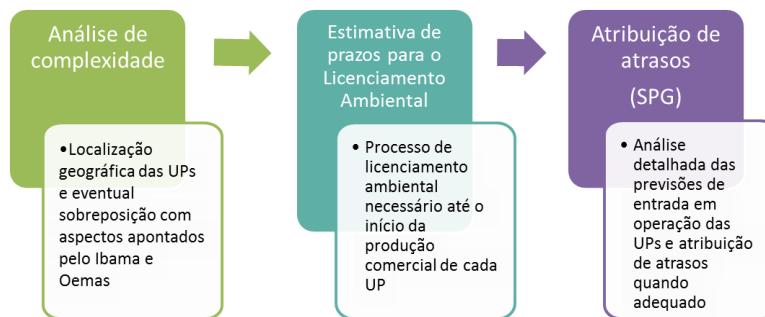
Figura 6 – Critérios utilizados para exclusão de volumes de produção de áreas de UPUs

Algumas UPUs foram segmentadas em unidades menores, equivalentes aos blocos ofertados nos Ciclos de Oferta Permanente. Em seguida, foram selecionados as UPUs e os blocos com previsão de início de produção no horizonte de estudo (2025-2034) e, para cada um, foi observada a sobreposição com os critérios socioambientais. Para as áreas de sobreposição, foi calculado o volume de petróleo ou gás natural (associado e não associado) a ser excluído, com base nas reservas totais estimadas em cada uma das bacias sedimentares, levando em consideração as diferenças regionais dessas bacias (análises de Plays² Exploratórios). Isso permite definir áreas de maior ou menor favorabilidade para a ocorrência de acumulações de hidrocarbonetos, que se reflete nas estimativas volumétricas e, consequentemente, nos volumes abatidos por sobreposição com as áreas de exclusão. Bacias sedimentares que não apresentam reservas conhecidas são tratadas por analogias geológicas nas suas estimativas volumétricas. Assim, as análises apresentadas neste PDE 2034 vão além da simples exclusão de volumes proporcional à área sobreposta da UPU e podem ser realizadas em termos de petróleo e gás natural, separadamente.

Com base nos critérios apresentados, **para os 53 blocos em oferta permanente previstos e 4 UPUs estimadas para iniciarem a produção ao longo do decênio 2025-2034, houve um desconto de apenas 5% e 3% dos volumes previstos para gás natural e petróleo, respectivamente**, apesar da exclusão total de 9% em área. As UPUs representam uma menor contribuição nas curvas de previsão da produção para esse período do que as UPs contratadas, por estarem previstas para iniciar sua produção no final do horizonte. Mesmo sendo baixa a contribuição das UPUs, a análise permitiu ajustes na acurácia da previsão de produção. Destaca-se que a realização da produção dependerá de decisões da ANP na oferta de blocos, do arremate das áreas, bem como da emissão das respectivas licenças ambientais.

Análise das Unidades Produtivas (UPs) contratadas

As Diretrizes Ambientais para as Rodadas de Licitações de Blocos, elaboradas pelo Ibama e por órgãos estaduais de meio ambiente (Oemas), indicam preocupações com áreas de alta sensibilidade ambiental e que podem ser refletidas na complexidade do licenciamento ambiental. Para a análise deste item, essas preocupações foram transformadas em critérios para classificar as UPs contratadas nas classes de alta, média e baixa complexidade.



Nota: SPG - Superintendência de Petróleo e Gás Natural/EPE.

Figura 7 – Etapas de análise das UPs contratadas, como subsídio à alocação temporal da previsão de início da produção

² Um play exploratório é uma parte da bacia sedimentar considerada relativamente homogênea em termos dos controles geológicos para a formação de acumulações de petróleo e gás natural (MME e EPE, 2012). (Zoneamento Nacional de Recursos de Óleo e Gás)

O Ibama realiza o licenciamento ambiental das atividades de exploração e produção (E&P) na área costeira e *offshore*, associadas ao maior volume potencial de petróleo a ser produzido no país. Para essas regiões, as Diretrizes Ambientais da 9ª Rodada de Licitações produzidas pelo Ibama apresentaram o mapeamento georreferenciado de seis níveis de exigência esperados para o licenciamento ambiental: Simplificado, Considerável, Moderado, Elevado, Muito Elevado e Extremo. Além disso, essas Diretrizes indicam também áreas com restrição permanente (conforme explicado no item anterior) e áreas com restrição temporária às atividades de E&P. Os níveis de exigência e as áreas com restrição temporária foram utilizados como critérios para classificação da complexidade das UPs *offshore* e costeiras contratadas. As Unidades de Conservação marinhas também foram apontadas como áreas sensíveis pelo Ibama na 9ª Rodada e nas seguintes. Portanto, com base nos aspectos apontados pelo Ibama, as UPs costeiras e marítimas contratadas foram analisadas conforme sua localização geográfica e eventual sobreposição com algum dos critérios apresentados na Figura 8 e classificadas em três classes de complexidade: alta, média ou baixa.

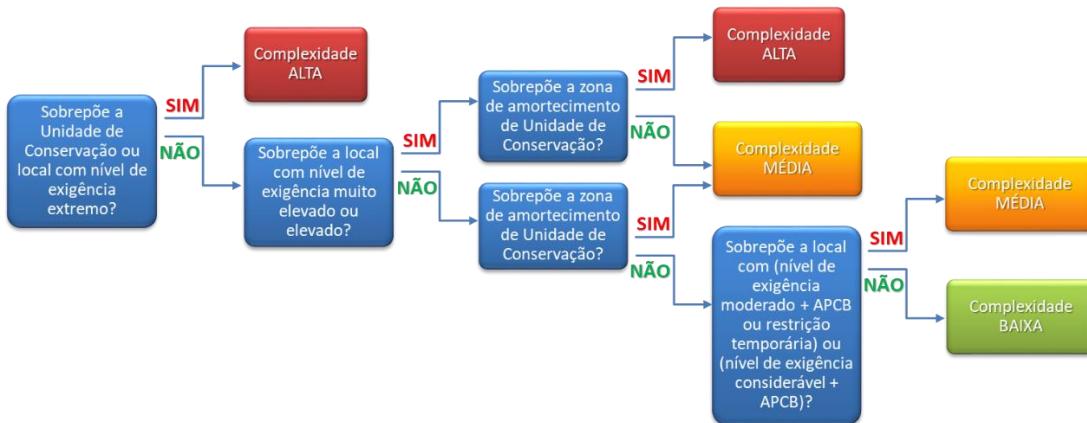


Figura 8 – Procedimento de análise das UPs *offshore* contratadas

Já as atividades *onshore* são licenciadas pelos Oemas e os critérios adotados para as UPs terrestres, sob contrato, se basearam nas preocupações recorrentes destes órgãos, manifestadas nas Diretrizes Ambientais das Rodadas de Licitações e no Licenciamento Ambiental. As preocupações mais comuns foram as UCs e as Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira (APCBs), especialmente aquelas indicativas para criação de UCs. Então, com base nos aspectos apontados pelos Oemas, as UPs terrestres contratadas foram analisadas conforme sua localização geográfica e eventual sobreposição com algum dos seguintes critérios: unidade de conservação, terra indígena, terra quilombola, APCB (criação de UC), zona de amortecimento de UC e entorno de TI (10 km na Amazônia legal e 8 km nas demais áreas, conforme referências do Anexo I da Portaria Interministerial n. 60/2015)³ (BRASIL, 2015). A partir dessa análise, as UPs *onshore* contratadas foram classificadas em três classes de complexidade: alta, média ou baixa (Figura 9).



Figura 9 – Procedimento de análise das UPs *onshore* contratadas

³ Estabelece procedimentos administrativos que disciplinam a atuação dos órgãos e entidades da administração pública federal em processos de licenciamento ambiental de competência do Ibama.

Diante dos critérios apresentados, para o PDE 2034 foram analisadas 863 UPs sob contrato, sendo 298 offshore e 565 onshore. A frequência encontrada para a classe de alta complexidade foi bastante inferior à classe de baixa sensibilidade, como apresentado na Figura 10.

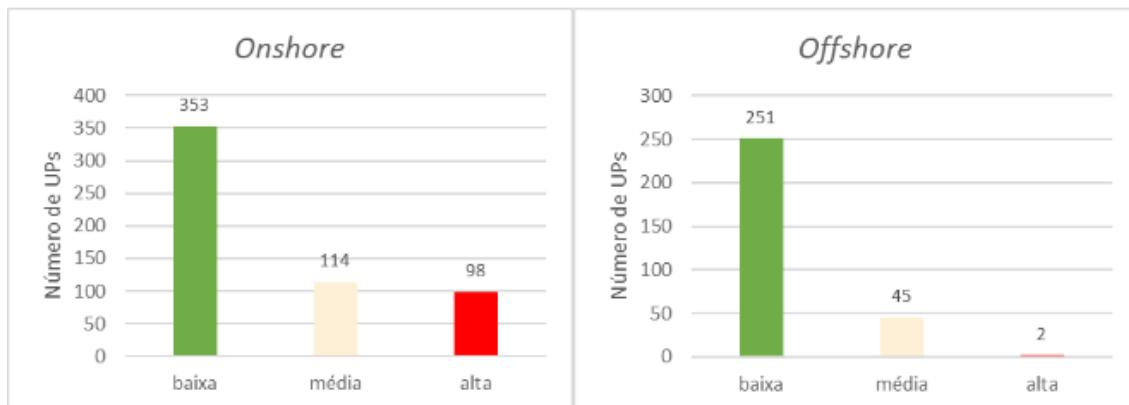


Figura 10 – Resultado da classificação de complexidade das UPs contratadas

A partir da complexidade das UPs contratadas estabelecida, foram atribuídos prazos esperados para o processo de licenciamento ambiental necessário até o início da produção comercial. Os prazos que constam da legislação foram então distribuídos pelas etapas de licenciamento ambiental, equivalentes às etapas de desenvolvimento das UPs, bem como distribuídos em três classes de complexidade ambiental, sendo tempos máximos para UPs contratadas em áreas de alta complexidade e tempos mínimos para aquelas em áreas de baixa complexidade, conforme apresentado na Tabela 3. Os prazos estimados partiram das etapas e prazos estabelecidos na Portaria MMA n. 422/2011⁴ (MMA, 2011), considerando os prazos máximos para deferimento, além da suspensão dos prazos durante a elaboração dos estudos ambientais, adotados para a classe de alta complexidade.

Tabela 3 - Etapas do Licenciamento Ambiental e prazos (em meses) distribuídos por classe de complexidade

| Complexidade | Licenciamento da Perfuração (LO) | | Licenciamento do TLD | | | | Licenciamento da produção | | | |
|--------------|----------------------------------|------------------|----------------------|----------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|----------------|-----------------------|---------------------|
| | Estudos Ambientais | Prazo de análise | Estudos Ambientais | Licença prévia | Licença de instalação | Licença de operação | Estudos Ambientais | Licença prévia | Licença de instalação | Licença de operação |
| Baixa | 6 | 6 | 6 | 0 | 1 | 1 | 6 | 6 | 1 | 1 |
| Média | 9 | 9 | 9 | 9 | 3 | 3 | 9 | 9 | 3 | 3 |
| Alta | 12 | 12 | 12 | 12 | 6 | 6 | 12 | 12 | 6 | 6 |

Nota: TLD – Teste de Longa Duração

Das 863 UPs contratadas analisadas, 100 foram classificadas como de alta complexidade. Dentre elas, 62 já possuem atividades de E&P desenvolvidas e licenciadas. Para as 38 restantes foram aplicados os prazos máximos do licenciamento, considerando que ainda seria necessário licenciar a perfuração, o TLD (Teste de Longa Duração) e a produção, totalizando 96 meses.

Ao se compararem os prazos para o licenciamento ambiental dessas 38 UPs com os prazos necessários para viabilização da produção, que consideram logística e infraestrutura de E&P, não foi necessário atribuir atrasos adicionais relacionados ao licenciamento ambiental especificamente para essas UPs, uma vez que os prazos estimados para viabilização da produção ultrapassaram 96 meses.

⁴ Dispõe sobre procedimentos para o licenciamento ambiental federal de atividades e empreendimentos de exploração e produção de petróleo e gás natural no ambiente marinho e em zona de transição terra-mar.

4 Análise socioambiental da oferta de energia elétrica

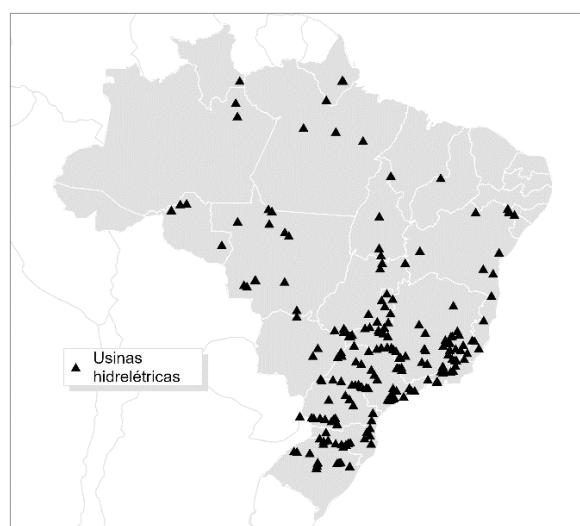
4.1 Hidrelétricas

Benefícios das hidrelétricas e da modernização de hidrelétricas existentes

- As usinas hidrelétricas utilizam **fonte renovável de energia** (usam a água como força motriz) e apresentam longa vida útil.
- Em geral, apresentam **baixa emissão de gases de efeito estufa** (CO_2 e CH_4) quando comparadas a usinas termelétricas que utilizam combustíveis fósseis⁵.
- Possuem **flexibilidade operativa**, já que são capazes de assumir, de forma rápida e eficaz, as oscilações de tensão e frequência decorrentes de eventuais desbalanços entre oferta e demanda, além de sua eficiência para **atendimento à ponta**. Destacam-se por sua **capacidade de suporte à expansão de fontes renováveis variáveis** no sistema elétrico (eólica e solar).
- Através dos reservatórios de acumulação, são capazes de **armazenar energia** por meio da água. Além disso, ao regularizar a vazão dos rios, esses reservatórios podem beneficiar outros usos de recursos hídricos (como abastecimento público, irrigação, navegação, entre outros), contribuindo assim para os usos múltiplos da água.
- Destaca-se, ainda, a importância dos reservatórios de regularização pela sua maior **capacidade de adaptação frente às mudanças climáticas** e amortecimento dos efeitos de eventos hidrológicos críticos, colaborando para a resiliência do sistema elétrico e para a segurança hídrica.
- Por fim, ressalta-se o **desenvolvimento social e econômico** obtido a partir do avanço da indústria hidrelétrica no Brasil. O investimento nessa fonte tornou o país uma referência no mercado internacional e exportador de tecnologia para outros países.
- Sobre a modernização das usinas hidrelétricas existentes são observadas algumas vantagens específicas:
- **Aumento da capacidade do sistema sem impactos socioambientais significativos**, uma vez que a capacidade do sistema aumenta sem que seja necessária a construção de novos projetos e implantação de reservatórios.
- Racionalização e **otimização do aproveitamento dos recursos hídricos**, aumentando a eficiência da geração hidrelétrica para uma mesma vazão disponível.

Parque hidrelétrico atual

A hidroeletricidade é responsável por 51% da potência instalada atualmente no Brasil (ANEEL, 2024). O parque hidrelétrico existente é composto por 220 usinas hidrelétricas (UHEs) em operação, totalizando **103 GW de potência instalada**. A maior parte das UHEs existentes está nas bacias do Paraná e Atlântico Sudeste, no Sul e Sudeste do Brasil. Em relação à modernização, o Brasil apresenta importante potencial, já que historicamente a hidroeletricidade apresenta papel primordial na geração elétrica. Levantamento realizado pela EPE (2019) identificou que cerca de 3,8 GW já foram adicionados ao sistema por meio de ações de modernização.



⁵ O Projeto Balcar (MME, 2014) realizou medições e análises dos fluxos de gases de efeito estufa em 8 reservatórios de usinas hidrelétricas brasileiras em operação. Os resultados indicaram que, com exceção da UHE Balbina, as UHEs apresentam emissões de GEEs menores do que usinas termelétricas.

Expansão hidrelétrica nos próximos 10 anos

A expansão da oferta de energia elétrica prevê a inserção de 6.479 MW ao parque hidrelétrico brasileiro no horizonte decenal. Na expansão contratada está prevista a entrada da UHE Estrela (48 MW), em 2026. Já para a expansão indicativa estão previstos 6.431 MW, sendo 118 MW obtidos por meio da UHE Telêmaco Borba (118 MW), em 2033, e 6.313 MW por ações de modernização e repotenciação de usinas hidrelétricas existentes, a partir de 2028.

A Figura 11 apresenta a distribuição espacial das UHEs previstas no PDE 2034, por região geográfica e pelo período de entrada em operação.

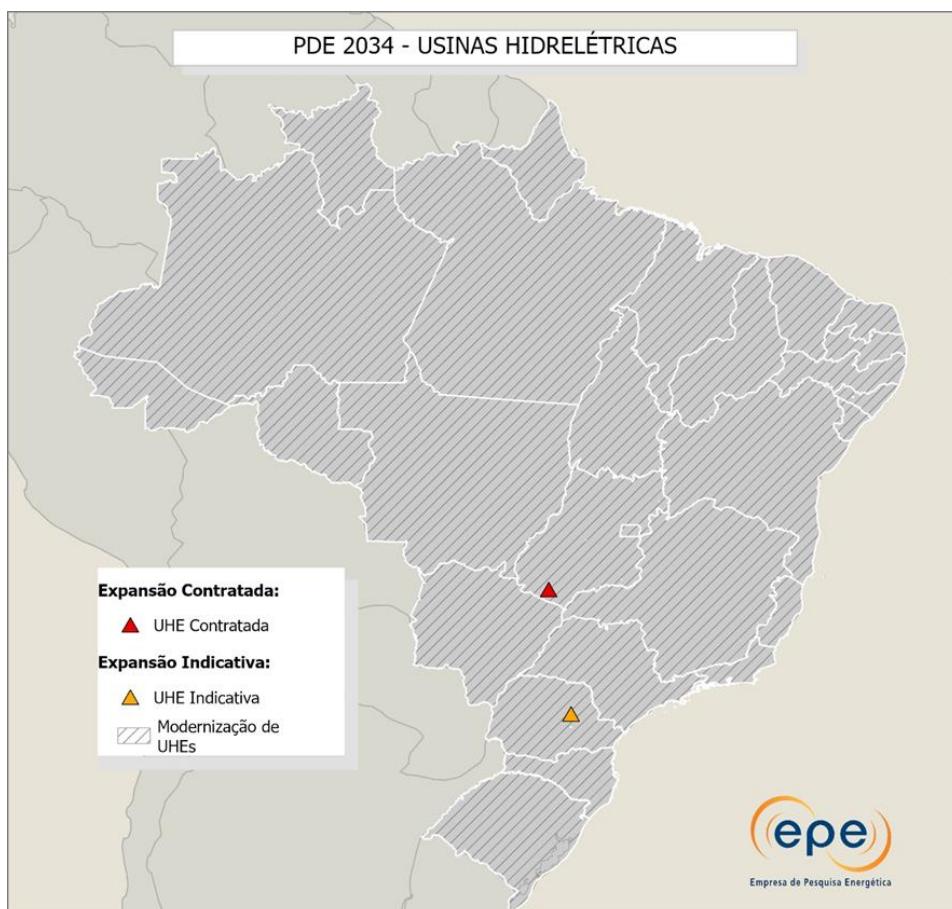


Figura 11 – Localização da expansão de usinas hidrelétricas no PDE 2034

A região Centro-Oeste do país abriga um projeto em implantação, a UHE Estrela (48 MW), situada em Goiás, no rio Verde, na bacia do rio Paranaíba. Para a região Sul, está indicada a UHE Telêmaco Borba (118 MW), no Paraná, no rio Tibagi. Além disso, para todas as regiões do país, estão previstas ações de modernização e repotenciação, devendo se concentrar nas bacias com maior histórico de desenvolvimento hidrelétrico.

Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão hidrelétrica

As principais interferências socioambientais de UHEs na expansão decenal estão relacionadas: à perda e à alteração de habitats, a partir da supressão de vegetação nativa e do barramento do curso d'água (tema biodiversidade) e às interferências com povos e terras indígenas (tema povos e terras indígenas). Para a modernização de usinas existentes, a questão é o aumento dos conflitos pelo uso da água (tema recursos hídricos).

O tema **biodiversidade** foi considerado relevante para a região Sul. A formação de reservatórios provoca uma série de efeitos decorrentes do barramento do curso d'água e da supressão da vegetação nativa. Dentre os efeitos, ressaltam-se as alterações na dinâmica fluvial e a perda de habitats, com consequências para os ecossistemas aquáticos e terrestres e para a biodiversidade como um todo.

Na região Sul, ainda que a área alagada seja relativamente pequena, há interferência na vegetação marginal, que são os principais corredores ecológicos da região, o que mostra a relevância do tema. Soma-se a essa condição a importância dos remanescentes nativos ainda existentes, diante do alto nível de ameaça do bioma Mata Atlântica.

Estudos de caracterização dos habitats e ocorrência de espécies permitirão o direcionamento das medidas mitigadoras, que podem envolver redução de área de vegetação a ser suprimida, resgates de indivíduos da flora e fauna terrestres e aquáticos, compensação florestal e apoio a ações de conservação de organismos aquáticos, por exemplo. No caso da supressão de remanescentes de vegetação nativa do bioma Mata Atlântica, regulada pela Lei n. 11.428/2006, medidas mitigadoras são usualmente adotadas para evitar ou reduzir áreas sujeitas a supressão pelo projeto, e também compensar em termos qualitativos e quantitativos a perda da vegetação. Projetos hidrelétricos possuem ainda o compromisso de adquirir terrenos para o estabelecimento da área de preservação permanente no entorno do reservatório, que tem seu uso regulado pelo Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno de Reservatório Artificial. Por fim, aplica-se a esses projetos a compensação pela perda de biodiversidade conforme estabelecido na Lei n. 9.985/2000.

O tema **povos e terras indígenas** se destaca na região Sul, pela complexidade que o tema tem acrescentado ao processo de licenciamento ambiental da UHE Telêmaco Borba. Apesar da UHE não se sobrepor a terras indígenas (as terras indígenas estão localizadas a mais de 15 km do projeto), vigora a decisão judicial que declara a bacia do rio Tibagi, onde está situada a usina, como território indígena. Com isso, hoje há um entendimento de que para esta usina deve ser realizado um Estudo do Componente Indígena (ECI) para avaliar os impactos do empreendimento nessas populações, aumentando, assim, a complexidade do licenciamento ambiental.

O ECI tem como objetivo identificar e analisar os possíveis impactos de empreendimentos nas terras e povos indígenas. Nele, exige-se: 1) a realização de diagnósticos sobre os modos de vida dos indígenas, inclusive com o mapeamento das potencialidades e ameaças às comunidades indígenas e seus territórios, e 2) a apresentação de propostas (medidas mitigadoras), a serem incorporadas pelo projeto, que resultem na eliminação, redução ou compensação dos impactos potenciais identificados. O detalhamento dessas medidas acontece na fase seguinte do licenciamento ambiental, no Projeto Básico do Componente Indígena (PBAI). Destaca-se que as medidas propostas devem ser discutidas com as comunidades para que sejam compatíveis com seus modos de vida e os planos de gestão do território.

No caso da modernização de usinas existentes, a repotenciação de UHEs busca aumentar a eficiência das máquinas e envolve a adição ou substituição de equipamentos ou pequenas intervenções na planta da usina. Dessa forma, a modernização de UHEs representa um aumento da produção de energia, otimizando o aproveitamento do recurso hídrico disponível. Todavia, novos padrões operativos dos reservatórios para atendimento à potência e requisitos de flexibilidade para o SIN podem alterar o regime hidrológico a jusante, potencializando conflitos da geração de energia com os diversos usos múltiplos existentes na bacia hidrográfica.

Em situações de escassez hídrica como a observada nos últimos anos, associada ao aumento de outros usos da água, é natural que se evidenciem os conflitos pelo uso dos recursos hídricos, trazendo desafios para a operação de UHEs. Tais situações podem se intensificar no futuro em decorrência de alterações climáticas, como aumento da frequência e intensidade de eventos extremos e alteração no padrão de vazões, e do aumento dos usos múltiplos da água. Pelos motivos levantados, o tema **recursos hídricos** foi considerado relevante para as regiões Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste.

Nesse contexto, destaca-se a importância da articulação cada vez maior entre o setor elétrico e os órgãos relacionados aos recursos hídricos para a discussão e a definição de ações buscando conciliar os interesses dos múltiplos usuários. Como exemplo, pode-se citar a participação do MME, Aneel e ONS em salas de acompanhamento e salas de crise estabelecidas pela ANA com o objetivo de solucionar conflitos potenciais ou instalados pelo uso da água e para a adoção de medidas visando aumentar a resiliência dos sistemas hídricos ante a ocorrência de eventos hidrológicos críticos. No que diz respeito a mudanças climáticas, faz-se necessário avançar nas discussões sobre os impactos do aumento da temperatura no ciclo

hidrológico e, consequentemente, na disponibilidade hídrica, e avaliar permanentemente os modelos matemáticos utilizados no planejamento da operação e da expansão do setor elétrico, tendo em vista essas questões.

Portanto, os temas **biodiversidade, povos e terras indígenas e recursos hídricos** se mostram relevantes para a expansão hidrelétrica decenal. Estes temas estão apresentados na Tabela 4, por região, conforme metodologia empregada na análise socioambiental integrada.

Tabela 4 – Síntese da análise socioambiental das usinas hidrelétricas do PDE 2034

| | Norte | Nordeste | Sul | Sudeste | Centro-Oeste |
|-----------------------------|---|--|--|--|---|
| UHEs | não há projetos planejados | não há projetos planejados |  biodiversidade  povos e terras indígenas | não há projetos planejados |  interferências inexpressivas |
| Modernização de UHEs |  interferências inexpressivas |  recursos hídricos |  interferências inexpressivas |  recursos hídricos |  recursos hídricos |

O Quadro 3 resume as principais interferências socioambientais relacionadas à expansão hidrelétrica no PDE 2034; os temas socioambientais associados a essas interferências, conforme metodologia da análise socioambiental integrada; a justificativa pela escolha da interferência na região na qual está prevista a expansão e as medidas mitigadoras relacionadas às interferências listadas.

Quadro 3 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão hidrelétrica

| Interferência | Tema | Região e justificativa | Medidas mitigadoras |
|--|---|--|---|
| Inundação e supressão de vegetação nativa |  biodiversidade | S: interferência na vegetação marginal, principais corredores ecológicos da região, e importância dos remanescentes da Mata Atlântica. | <ul style="list-style-type: none"> - Ajustes de projeto para evitar ou reduzir áreas de vegetação nativa sujeitas a supressão. - Medidas de minimização, como resgate de indivíduos da flora e fauna terrestres e aquáticos. - Medidas de compensação pela perda de vegetação, de habitat e da biodiversidade. - Estabelecimento de APP no entorno do reservatório. |
| Interferências em povos e terras indígenas |  povos e terras indígenas | S: aumento da complexidade no licenciamento ambiental. | <ul style="list-style-type: none"> - Medidas previstas no ECI, na etapa de projeto, e no Plano Básico Ambiental do Componente Indígena (PBAI), nas etapas de instalação e operação. |
| Aumento dos conflitos pelo uso da água |  recursos hídricos | SE, NE e CO: novos padrões operativos dos reservatórios, aumento de outros usos da água e alterações climáticas. | <ul style="list-style-type: none"> - Participação em salas de crise e salas de acompanhamento da ANA. - Avaliação permanente dos modelos matemáticos de planejamento da operação e da expansão do setor elétrico. |

Principais desafios e iniciativas socioambientais relacionados à expansão hidrelétrica

Nos últimos PDEs, nota-se uma redução gradual na indicação de usinas hidrelétricas para a expansão da geração de energia elétrica. Os leilões de UHEs também mostram essa redução, com apenas duas UHEs vendidas⁶ (98MW) nos últimos sete anos (entre 2017 e 2023). Esse quadro é resultado tanto do crescimento significativo de outras fontes, quanto dos diversos desafios associados à **implantação de novas usinas hidrelétricas**. Apesar de alguns desafios terem sido encaminhados nos últimos anos⁷, persistem dificuldades relacionadas à avaliação e ao controle dos impactos socioambientais, principalmente em regiões sensíveis ou de alta complexidade sob a ótica de biodiversidade, áreas protegidas e comunidades tradicionais. Alia-se a isso, a falta de integração e alinhamento das políticas setoriais e a judicialização de questões no decorrer do licenciamento ambiental, evidenciada nas múltiplas ações civis públicas instauradas pelo Ministério Público, implicando insegurança e atrasos de cronograma na implantação dos projetos, que acabam por elevar os custos de implantação dos empreendimentos e sua viabilidade econômica. As articulações e mobilizações sociais observadas também refletem uma resistência para a implantação de novas usinas.

Nesse sentido, a viabilização de novas UHEs depende da articulação entre os órgãos federais responsáveis pelo planejamento, regulação e operação do sistema elétrico e aqueles responsáveis pelo licenciamento ambiental e gestão dos recursos hídricos, para identificação das barreiras relacionadas à expansão hidrelétrica e avaliação de como superá-las.

Parte dessa articulação vem sendo feita no âmbito do Plano de Recuperação dos Reservatórios de Regularização de Usinas Hidrelétricas do País (PRR), aprovado por meio da Resolução CNPE n. 8/2022, e elaborado por um grupo de trabalho interministerial⁸ conforme diretrizes da Lei n. 14.182/2021.

Conforme estabelecido no PRR, a recuperação de reservatórios se baseia no “aprimoramento integrado das políticas, planejamento, governança e regulação do setor elétrico e dos demais setores usuários de recursos hídricos no sentido de otimizar os usos múltiplos da água, garantindo a segurança do abastecimento humano, do abastecimento industrial, da dessedentação de animais, dos serviços de navegação e de irrigação, do atendimento à demanda de energia elétrica através da hidroeletricidade, além das atividades de recreação e turismo, e de pesca e agricultura.”

O PRR engloba ações sob uma avaliação multissetorial que privilegie tanto o suprimento energético nacional quanto a preservação dos usos da água, dividida em quatro frentes: i) aspectos físicos dos reservatórios, ii) modelagens matemáticas utilizadas no setor elétrico, iii) planejamento da operação e da expansão do SIN e iv) dinâmica de operação dos reservatórios. As ações, distribuídas em horizontes de curto, médio e longo prazo, envolvem o MME, EPE, ONS, Aneel, MDR, ANA, órgãos ambientais e concessionários, por exemplo. Entende-se que o PRR pode contribuir para a implantação de novos empreendimentos hidrelétricos e para o melhor aproveitamento das instalações existentes, por meio do fortalecimento da gestão integrada dos reservatórios do sistema elétrico e do aprimoramento da articulação entre as várias instituições envolvidas.

Dentre as ações do PRR que podem contribuir para a implantação de novas usinas hidrelétricas estão as ações de curto prazo CP14, CP16 e CP19 e as de longo prazo LP2 e LP3. A CP14 tem por objetivo a identificação e priorização de estudos de potenciais novos reservatórios de regularização que, além da geração de energia elétrica, possuam benefícios para a segurança hídrica e para o atendimento aos demais usos múltiplos da água. A CP16, por sua vez, pretende propor melhorias para ampliar a eficiência da

⁶ Em 2021: UHE Juruena (50 MW) e em 2022: UHE Estrela (48 MW).

⁷ Desafios relacionados ao licenciamento ambiental: conflitos de competência entre União e estados, participação de órgãos envolvidos no licenciamento, identificação e qualificação da população atingida e baixa qualidade das avaliações de impacto ambiental. Para esses desafios foram dados encaminhamentos por meio de regulamentações diversas e proposição de guias de boas práticas (Lei Complementar n. 140/2011; Decreto n. 8.437/2015; Portaria Interministerial n. 60/2015; instruções normativas específicas de cada órgão ou entidade envolvida no licenciamento ambiental; e guia de avaliação de impacto ambiental para usina hidrelétrica elaborado pelo Ibama, com consulta pública em 2023).

⁸ Resolução CNPE n. 2/2022 - Institui Grupo de Trabalho - GT para elaboração do plano para viabilizar a recuperação dos reservatórios de usinas hidrelétricas de regularização do País, coordenado pelo MME e composto pelo MDR, EPE e ONS.

emissão de licenças ambientais aos projetos de UHE com reservatório, por meio do mapeamento de galhos nos processos de licenciamento ambiental e processos adjacentes. No âmbito da CP19, está previsto o monitoramento da implementação de novas UHEs. Por fim, as ações de longo prazo LP2 e LP3 pretendem, respectivamente, promover tratativas com os órgãos intervenientes nos processos de licenciamento ambiental, visando aprimorá-lo (considerando o mapeamento a ser realizado na CP16) e promover discussões com a sociedade sobre o papel das UHEs e reservatórios.

Outro grande desafio tanto para a expansão no horizonte decenal quanto para a expansão hidrelétrica futura, ou seja, projetos que venham a ser implementados em um horizonte além do PDE, é a **compatibilização da geração de energia com a conservação da biodiversidade**. Para este desafio, destaca-se a ferramenta interativa, lançada pela EPE, BiodivEPE⁹ – Biodiversidade no planejamento de projetos de energia. A ideia é auxiliar a sociedade a incorporar externalidades ambientais e reduzir ameaças à biodiversidade desde as fases iniciais do planejamento de projetos do setor de energia. Dessa forma, busca-se promover a sustentabilidade ao abrir possibilidades no processo de tomada de decisão sobre alocação e desenho de projeto em relação aos impactos sobre a biodiversidade (EPE, 2022a). Outra ferramenta específica para a região Norte é o Plano de Redução de Impactos de Hidrelétricas sobre a Biodiversidade na Amazônia (PRIM-HA) (ICMBio, 2022). O PRIM-HA mapeia níveis de compatibilidade entre a conservação da biodiversidade e a instalação de empreendimentos hidrelétricos, a partir de uma lista de alvos de conservação, e de mapas de sensibilidade e de exposição aos impactos.

Vale também mencionar o desenvolvimento de outras ferramentas de sustentabilidade, como os guias, os protocolos de sustentabilidade e a definição de padrões de desempenho socioambientais. Nesses documentos¹⁰, a gestão do risco sobre a biodiversidade incorpora aspectos da manutenção dos recursos ambientais, valoração dos serviços ecossistêmicos, manejo de habitat e vazões ecológicas, entre outros. Assim, são importantes para a difusão das melhores práticas internacionais nas etapas de planejamento, construção e operação de hidrelétricas.

Cada vez mais, empresas do setor reconhecem a relevância e o risco de perdas da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos para seus negócios. Esse envolvimento está refletido no Marco Global de Kunming-Montreal, consolidado na última Convenção sobre Diversidade Biológica (COP-15)¹¹ que trouxe na Meta 15 a exigência que empresas e instituições financeiras monitorem, avaliem e relatem seus riscos, dependências e impactos na biodiversidade, além de incentivar que as organizações estabeleçam metas concretas. Nesse sentido, a Taskforce on Nature-related Financial Disclosure (TNFD)¹² se propõe a desenvolver métricas e parâmetros para guiar as divulgações e dar transparência aos resultados positivos para a biodiversidade, trazendo inclusive um guia para o setor elétrico¹³.

Alinhado ao novo Marco, se destaca o Compromisso Empresarial Brasileiro para a Biodiversidade, que apresenta um conjunto de metas de conservação da biodiversidade para 2030 (CEBDS, 2022a). O conjunto inclui potencializar ações de conservação e recuperação, inserir o tema na estratégia de negócios da empresa, conhecer a diversidade biológica, disponibilizar as informações, dentre outras metas. Em 2021, o CEBDS publicou um relatório que reúne informações sobre a contribuição das empresas associadas (CEBDS, 2021). Os projetos são apresentados na plataforma da Iniciativa Brasileira de Negócios e

⁹ Para mais detalhes, acesse o vídeo de apresentação e a ferramenta BiodivEPE em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/biodivepe-biodiversidade-no-planejamento-de-projetos-de-energia>.

¹⁰ How-to guide: Hydropower Biodiversity and Invasive Species (IHA, 2021); Good Practice Guide: Hydropower and Protected Areas (IHA, 2021); How-to-guide: Hydropower Environmental and Social Assessment and Management (IHA, 2021); Quadro Ambiental e Social do Banco Mundial (Banco Mundial, 2016); Quadro de Políticas Ambientais e Sociais (BID, 2020); Padrão de Desempenho n. 6: Conservação da Biodiversidade e Gestão Sustentável de Recursos Naturais Vivos (IFC, 2012); Good Practice Handbook - Environmental Flows for Hydropower Projects (World Bank Group, 2018); Good Practice Note - Environmental, Health, and Safety Approaches for Hydropower Projects (IFC, 2018); IPBES-IPCC co-sponsored workshop report on biodiversity and climate change (IPBES-IPCC, 2021).

¹¹ O Marco Global de Kunming-Montreal foi consolidado na Décima Quinta Conferência das Partes (COP-15) da Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB) em dezembro de 2022. O CDB é um tratado da Organização das Nações Unidas e um dos mais importantes instrumentos internacionais relacionados à biodiversidade. A Convenção foi ratificada e promulgada no Brasil pelo Decreto Federal n. 2.519/1998. O Ministério de Meio Ambiente é o ponto focal para implementação da CDB no Brasil e atualmente está atualizando a Estratégia e Plano de Ação Nacionais para a Biodiversidade (EPANB) diante do novo Marco Global da Biodiversidade.

¹² A Taskforce on Nature-Related Financial Disclosure (TNFD na sigla em inglês e na tradução força-tarefa para divulgação financeira relacionada à natureza) visa estabelecer um padrão comum entre as organizações e investidores, tal como a conhecida Taskforce on Climate Related Financial Disclosures (TCFD).

¹³ O guia setorial encontra-se em elaboração (Draft sector guidance – Electric utilities and power generators) (TNFD, 2024).

Biodiversidade (CBDES, 2022b). Recentemente, uma parceria entre o CEBDS, WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) e TNFD lançou a plataforma “Ação pela Natureza” com o objetivo de auxiliar o setor privado na compreensão, proteção e gestão das suas dependências e impactos na biodiversidade (CEBDS, 2024).

Outro desafio, há bastante tempo relevante para o setor, é a necessidade de regulamentação do §3º do artigo 231¹⁴ da Constituição Federal, que trata da **exploração dos recursos hídricos em terras indígenas**, assegurando o direito de participação dos povos indígenas no processo decisório e nos resultados financeiros.

Desde 2011, o governo brasileiro vem discutindo a regulamentação, de modo a trazer mais clareza sobre os procedimentos e permissões da exploração dos recursos hídricos em terras indígenas, e consequentemente, propiciar maior segurança jurídica. As articulações e discussões técnicas, ao longo desses anos, culminaram no Projeto de Lei n. 191/2020¹⁵. Entretanto, em 2023, esse PL foi retirado de pauta do Congresso Nacional, a pedido do presidente da República. Vale destacar que existem outros PLs similares ao conteúdo expresso na proposta legislativa retirada de pauta, dentre os quais os PLs n. 2.903/2023, 1.654/2023, 2.303/2023 e 1.570/2023, que tramitam na Câmara dos Deputados.

O setor se depara também com a necessidade de diretrizes formais para realização de Consulta Prévia, Livre e Informada aos povos indígenas e tradicionais, para a **exploração dos recursos hídricos próximos a terras indígenas**. Desde 2012, o governo tem se empenhado para sanar as indefinições¹⁶ sobre os procedimentos de consulta prévia previstos na Convenção n. 169 da Organização Internacional do Trabalho (OIT)¹⁷. Em 2019, o Gabinete de Segurança Institucional da Presidência da República (GSI) coordenou os trabalhos do Governo Federal para a elaboração de uma proposta normativa que garantisse o direito de consulta livre, prévia e informada dessas comunidades, quando houvesse medidas legislativas ou administrativas suscetíveis de afetá-los. Apesar das discussões, não se consolidou uma proposta normativa. Em 2023, no âmbito das Medidas Institucionais do Novo PAC e sob a coordenação da Casa Civil, foi prevista a regulamentação da Convenção n. 169 da OIT, como uma das agendas para aperfeiçoar o marco regulatório do licenciamento ambiental, por meio da consolidação e aperfeiçoamento dos normativos correlacionados. Espera-se que uma normatização traga clareza e segurança jurídica para lidar com a questão.

A divulgação de exemplos de processos de elaboração de protocolos de consulta e de decisões judiciais sobre o tema da Consulta Prévia, Livre e Informada da Convenção n.169 da OIT também tem contribuído para maior conhecimento da sociedade sobre as questões envolvidas¹⁸.

Outra iniciativa que contribui para a divulgação das melhores práticas na implantação de projetos hidrelétricos e sua relação com povos indígenas é a publicação de guias e protocolos de sustentabilidade internacionais. Esses documentos¹⁹ trazem exemplos e questões referentes à consideração dos povos indígenas no planejamento, construção e operação dos projetos hidrelétricos.

Por último, cabe ainda pontuar os desafios associados à **disponibilidade hídrica para a geração hidrelétrica**. Esta questão se torna cada vez mais complexa, em especial em regiões com grande demanda por água, em áreas de baixa disponibilidade de água e em períodos de escassez hídrica. A situação se

¹⁴ Estabelece a obrigatoriedade de autorização do Congresso Nacional para a efetivação de aproveitamento dos recursos hídricos, incluídos os potenciais energéticos, a pesquisa e a lavra das riquezas minerais em terras indígenas, ouvidas as comunidades afetadas, ficando-lhes assegurada participação nos resultados da lavra, na forma da lei.

¹⁵ Dentre outros temas, no PL 191/2020 foram consolidadas as condições específicas para aproveitamentos de potenciais de energia hidráulica; os critérios mínimos para realização de consultas; o procedimento administrativo para autorização do Congresso Nacional; a participação nos resultados do aproveitamento de energia hidráulica; e a indenização pela restrição de usufruto de terras.

¹⁶ Definição de sujeitos de direitos, dos responsáveis pela realização das consultas, dos meios de validação, dentre outras.

¹⁷ O Decreto n. 10.088/2019 consolida atos normativos editados pelo Poder Executivo Federal que dispõem sobre a promulgação de convenções e recomendações da OIT ratificadas pela República Federativa do Brasil. O anexo LXXII apresenta a Convenção n. 169 da OIT sobre Povos Indígenas e Tribais (adotada em Genebra, em 1989, e promulgada no Brasil, em 2004).

¹⁸ [Observatório de protocolos autônomos](#) e a publicação Tribunais brasileiros e o direito à consulta prévia, livre e informada (ISA,2023).

¹⁹ How-to guide: Hydropower and Indigenous Peoples (IHA, 2021d).

agrava ao considerarmos tanto as alterações climáticas que já estão sendo observadas quanto as que são previstas para o Brasil.

Nesse contexto, é importante ter em conta que a demanda por água no Brasil é crescente. No Informe Anual da Conjuntura de Recursos Hídricos 2023 (ANA, 2024) é estimado um aumento de 30% das retiradas de água de mananciais até 2040 e é destacada a importância de ações de planejamento para promover a segurança hídrica, e proporcionar os usos múltiplos da água, considerando os efeitos das mudanças climáticas no ciclo da água.

Particularmente para a geração hidrelétrica, o aumento dos outros usos da água nas bacias hidrográficas pode resultar tanto na redução da produção de energia, em função do aumento das retiradas para os usos consuntivos a montante das hidrelétricas, quanto na ampliação da inflexibilidade da geração hidrelétrica, por meio do estabelecimento de restrições operativas às UHEs.

Nessa temática, cumpre destacar o Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022-2040 (MDR, 2022), importante instrumento para a gestão de recursos hídricos no País e que apresenta diversos aspectos relacionados à integração da Política Nacional de Recursos Hídricos com a geração de energia.

Ainda cabe mencionar a questão da geração hidrelétrica considerando as alterações climáticas. As mudanças nos padrões de precipitação e de escoamento da água, combinadas com alterações na evapotranspiração, implicam em aumento ou diminuição da geração de energia hidrelétrica, a depender da região. O aumento da variabilidade sazonal e plurianual nesta fonte de geração representa desafios significativos para a operação e planejamento de todo o sistema. Além disso, eventos extremos, como inundações e variações na temperatura, podem oferecer riscos aos equipamentos e às estruturas das usinas (IEA, 2021; EPE, 2023).

Nessa linha, no PDE 2034 foi realizada uma análise de sensibilidade com relação ao cenário de referência de oferta de energia elétrica, a fim de verificar a resiliência do sistema na ocorrência de eventos críticos de escassez hídrica, tendo como base o ano de 2021 (Ver Item 3.8, do Capítulo 3 do PDE 2034).

O PRR também representa uma ferramenta importante do setor para a adaptação às mudanças climáticas, propondo ações como: elaboração de *roadmap* para fortalecimento da resiliência do setor elétrico, monitoramento de riscos climáticos, realização de estudos sobre as mudanças no regime de vazões e aprimoramentos metodológicos a partir da consideração de cenários hidrológicos.

Por fim, cabe ressaltar a elaboração do Plano de Adaptação do setor de energia que está sendo desenvolvido na esfera do Plano Clima. Os Planos Setoriais irão compor a Estratégia Nacional de Adaptação e devem trazer ações estruturantes, medidas de adaptação às mudanças climáticas e as metas relacionadas (MMA, 2024).

O Quadro 4 resume os principais desafios socioambientais e as iniciativas associados à expansão indicada no PDE 2034.

Quadro 4 – Principais desafios e iniciativas socioambientais relacionados à expansão hidrelétrica

| Desafio | Iniciativas |
|---|--|
| Implantação de novas usinas hidrelétricas | - Plano de Recuperação de Reservatórios de Regularização de usinas hidrelétricas (PRR): articulação entre os órgãos federais responsáveis pelo sistema elétrico e pelo licenciamento ambiental e gestão dos recursos hídricos, para identificação e avaliação de barreiras relacionadas à expansão hidrelétrica. |
| Compatibilização da geração de energia com a conservação da biodiversidade |  - Ferramentas interativas e de sustentabilidade para projetos hidrelétricos, evidenciando o comprometimento com a biodiversidade. - Projetos e adoção de metas relacionadas à conservação da biodiversidade em usinas hidrelétricas. - Desenvolvimento de métricas e parâmetros para guiar e dar transparência aos resultados positivos dos projetos para a biodiversidade. |

| Desafio | Iniciativas |
|--|---|
| Exploração do recurso hídrico próximo e/ou em terras indígenas  | <ul style="list-style-type: none"> - Esforços para a regulamentação do §3º do art. 231 da CF, que culminou no PL 191/2020, retirado de pauta do Congresso Nacional. - Esforços para elaboração de normativos para a realização de consulta nos moldes da Convenção n. 169 da OIT, pelo Governo Federal. Divulgação de exemplos de protocolos de consulta e de decisões judiciais sobre a consulta prévia, livre e informada. - Publicação, pela indústria hidrelétrica, de guia de melhores práticas internacionais para projetos hidrelétricos e povos indígenas. |
| Disponibilidade hídrica para a geração hidrelétrica  | <ul style="list-style-type: none"> - Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) 2022-2040. - Análise de sensibilidade, a eventos de escassez hídrica, na oferta de energia elétrica do PDE 2034. - Plano de Recuperação de Reservatórios de Regularização de usinas hidrelétricas (PRR): proposição de ações para adaptação às mudanças climáticas. - Plano de Adaptação do setor de energia, na esfera do Plano Clima. |

Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão hidrelétrica

A ideia de **repotenciação e modernização de UHEs** ganhou força nos últimos anos, com as crescentes dificuldades para se implantar novas usinas e devido à possibilidade de se incrementar a capacidade hidrelétrica instalada por meio da **otimização de recursos para a geração de energia**, e basicamente sem as interferências e os riscos associados à construção de novas UHEs.

Com intuito de discutir a repotenciação e a modernização de UHEs, a EPE avaliou um grupo de usinas existentes e, como resultado, apontou ganhos de energia e capacidade para o SIN, bem como outros efeitos positivos que poderiam ser alcançados com tais medidas (EPE, 2019). Outro ponto ressaltado no estudo foi o potencial brasileiro ao considerarmos a importância, a dimensão e a idade do parque hidrelétrico existente (cerca de 11 GW de capacidade instalada). Nesse sentido, nos últimos três anos, o PDE vem destacando o potencial a ser explorado por meio de ações de repotenciação e modernização. No PDE 2034 tais ações representam um percentual considerável da expansão hidrelétrica prevista para o período do estudo (97%).

Como visto anteriormente, a otimização do aproveitamento do recurso hídrico aprimorará os níveis de confiabilidade e eficiência do parque hidrelétrico existente. Para além das melhorias no sistema energético, a opção por repotenciar e modernizar representa uma grande oportunidade socioambiental, na medida em que se evitam as interferências socioambientais associadas à construção de novos projetos e se busca um uso mais eficiente dos recursos naturais, sobretudo do recurso hídrico.

Iniciativas recentes mostram uma movimentação do setor hidrelétrico para a modernização de UHEs, como a ampliação da UHE Curuá-Una (PA), já concluída; e a previsão de ampliação de algumas UHEs como Foz do Areia (PR), Jaguara (SP) e Porto Primavera (SP/MS).

Alia-se a isso a previsão de um leilão de reserva de capacidade, na forma de potência, ainda esse ano (LRCAP 2024). Esse leilão irá admitir a participação de hidrelétricas existentes, que ampliem sua capacidade instalada, conferindo assim maior flexibilidade operativa ao sistema elétrico.

Entretanto, destaca-se que, de modo a alavancar esse novo mercado, ainda são necessários aprimoramentos nos aspectos regulatórios e nos instrumentos de incentivos econômicos capazes de mobilizar os empreendedores para esse fim (EPE, 2021).

Outra oportunidade interessante aos agentes é o **investimento em projetos que revertam em benefícios socioambientais adicionais**. Nos últimos anos, a dependência das hidrelétricas em relação aos

serviços ecossistêmicos tem se tornado aspecto fundamental para a gestão socioambiental das usinas. Neste panorama, ficaram mais claras as oportunidades que surgem por meio de ações voltadas para conservação da natureza e seus múltiplos benefícios. Resumidamente, as empresas têm adotado medidas voluntárias adicionais buscando ganhos líquidos de biodiversidade, a fim de melhorar a gestão dos recursos e atender padrões definidos por investidores ou pela própria empresa. Os programas abarcam ganhos relacionados à biodiversidade em si e aos serviços ecossistêmicos, contribuindo para ampliar a resiliência e a capacidade de adaptação do sistema ambiental e tornando as usinas hidrelétricas menos vulneráveis a alterações climáticas, por exemplo.

No âmbito dessas soluções, destacam-se programas de proteção e recuperação de vegetação promovidos por geradoras, como por exemplo, o Programa de Conservação de Nascentes da Engie, presente em diversos estados onde a empresa opera hidrelétricas. O programa busca promover a manutenção da qualidade e quantidade dos recursos hídricos por meio da proteção de nascentes, com base em parcerias com entidades sociais e comunidades locais. Outro exemplo, o Programa Mão na Mata, da AES Brasil, promove a revitalização da mata atlântica e cerrado oferecendo parceria com outras empresas interessadas em cumprir seus compromissos.

Outra possibilidade interessante são os programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), ancorados pela Lei n. 14.119/2021²⁰. Como usuárias da água e buscando garantir os serviços de qualidade e disponibilidade hídrica, empresas hidrelétricas têm grande potencial para investir em projetos com esse tipo de arranjo. Um caso de sucesso é o programa “Cultivando Água Boa” da UHE Itaipu Binacional, concluído em 2017.

A construção de um cenário de negócios cada vez mais sustentável e competitivo requer um maior envolvimento e comprometimento dos empreendedores com a comunidade local e com a manutenção dos recursos ambientais e serviços ecossistêmicos na região. Nesse sentido, está a possibilidade de promover a sustentabilidade da região e agregar valor socioambiental ao projeto por meio do atendimento aos padrões de desempenho de sustentabilidade ambiental definidos por instituições financiadoras como a *International Finance Corporation* (IFC) e as instituições financeiras signatárias dos Princípios do Equador. Podem ser citados os exemplos da UHE Santo Antônio, que atendeu a padrões de desempenho de sustentabilidade ambiental do IFC, e das UHEs Santo Antônio e Teles Pires, que são signatárias dos Princípios do Equador.

Todos os mecanismos mencionados estão alinhados com uma conjuntura internacional que trata e discute questões relacionadas à biodiversidade. Instituições que representam investidores, empresas, governos e sociedade civil crescentemente reconhecem a relevância do tema em função de sua interrelação com a qualidade de vida humana e do meio e buscam estratégias para avançar em soluções que incorporem a biodiversidade. Os tratados internacionais como a Convenção sobre Diversidade Biológica, a Agenda de Desenvolvimento Sustentável – Agenda 2030 e o Acordo de Paris (2015), dentre outros, são referências do arcabouço de políticas que motivam compromissos voluntários e propostas de metas a serem alcançadas no que tange à biodiversidade.

Também há expectativas de que projetos dessa natureza sejam impulsionados pelos investimentos oriundos da lei 14.182/2021²¹ e por ações previstas no PRR para revitalização e recuperação de bacias hidrográficas, resultando em ganhos socioambientais diretos. Vale destacar que o PRR também propõe ações do eixo da adaptação, fortalecendo a resiliência climática do sistema elétrico brasileiro e dos usuários da água face a situações de escassez hídrica.

Outro ponto que merece destaque é que a geração de energia renovável, de baixa emissão de GEE, permite que as UHEs se beneficiem de **instrumentos voltados para a descarbonização**.

²⁰ Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais; e altera as Leis n. 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973, para adequá-las à nova política.

²¹ Como o Programa de Revitalização dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas do Rio São Francisco e Parnaíba, coordenado pelo Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR).

Nesse contexto, os Planos Setoriais de Mitigação às Mudanças Climáticas, em elaboração no âmbito do Plano Clima 2024-2035, serão importantes para direcionar a implantação de medidas de reduções de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) a partir da definição de metas para agentes setoriais.

A regulamentação de um mercado de carbono também se apresenta como um instrumento importante nessa temática. As discussões sobre a implementação de um Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE) estão avançando. Em 2023, foi criado um Grupo Técnico de Natureza Temporária, para elaborar uma proposta de regulamentação e implementação do SBCE (Resolução CIM n. 2/2023) e aprovado, na Câmara dos Deputados, o Projeto de Lei que cria o SBCE (PL n. 2.148/2015), devendo ser avaliado no Senado Federal.

Há ainda mecanismos de caráter voluntário, como a emissão de certificados de energia renovável (RECs)²². Opções para consumidores comprovarem que seu consumo de energia elétrica é proveniente de fonte renovável, por exemplo. Para o futuro é esperada demanda crescente por esse tipo de instrumento à medida que as empresas, de forma geral, apresentem metas voluntárias de redução de emissões.

No escopo do mercado de títulos e empréstimos verdes²³, outra oportunidade interessante para o setor é o programa internacional de certificação da *Climate Bonds Initiative* (CBI). O esquema define boas práticas de mercado relativas a ações climáticas ambiciosas, elaboração de relatórios e divulgação de dados. Os critérios de elegibilidade²⁴ para energia hidrelétrica foram definidos em 2021 (CBI, 2024).

O Quadro 5 resume as principais oportunidades socioambientais identificadas com relação à expansão de UHEs no PDE 2034 e os fatores conjunturais favoráveis a seu aproveitamento.

Quadro 5 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão hidrelétrica

| Oportunidades | Conjuntura favorável |
|---|---|
| Otimização de recursos para a geração de energia (modernização de UHEs) | <ul style="list-style-type: none">- Indicação de ações de repotenciação e modernização de UHEs na expansão apresentada nos últimos PDEs.- Ampliação e modernização de usinas hidrelétricas em operação.- Previsão de um leilão de reserva de capacidade, na forma de potência, (LRCAP 2024), considerando hidrelétricas existentes. |
| Investimento em projetos que revertam em benefícios socioambientais adicionais | <ul style="list-style-type: none">- Medidas voluntárias empresariais.- Lei n. 14.119/2021, que institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais.- Padrões de desempenho de sustentabilidade definidos por instituições financeiras como International Finance Corporation (IFC) e as instituições financeiras signatárias dos Princípios do Equador.- Tratados internacionais: Convenção sobre Diversidade Biológica, Agenda 2030 e Acordo de Paris.- Investimentos oriundos da Lei n. 14.182/2021 e ações do Plano de Recuperação de Reservatórios de Regularização de usinas hidrelétricas (PRR) para revitalização e recuperação de bacias hidrográficas. |

²² Uma empresa que deseja emitir RECs passa por uma auditoria de um emissor local, em que cada REC emitido equivale a 1MWh de energia gerada.

²³ Os títulos verdes são títulos de renda fixa usados para financiar projetos ou portfólios que tenham atributos verdes (Forbes, 2020). Já o empréstimo verde é uma forma de financiamento que permite aos mutuários usarem os recursos para financiar exclusivamente projetos que fazem uma contribuição substancial para um objetivo ambiental (World Bank Group, 2021).

²⁴ The Hydropower Criteria for the Climate Bonds Standard & Certification Scheme (CBI, 2021).

| Oportunidades | Conjuntura favorável |
|---|---|
| Instrumentos voltados para a descarbonização | <ul style="list-style-type: none"> - Elaboração dos Planos Setoriais de Mitigação às Mudanças Climáticas, no Plano Clima 2024-2035. - Esforços para a implementação de um Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE). - Certificados de energia renovável (RECs). - Programa de certificação da Climate Bonds Initiative (CBI) para emissão de títulos verdes. |

Indicadores socioambientais da expansão hidrelétrica

Com o objetivo de representar os impactos e benefícios da expansão hidrelétrica do PDE 2034 foram avaliados os seguintes indicadores socioambientais²⁵: perda de vegetação nativa, transformação de ambiente lótico em lêntico, interferência em unidade de conservação, população afetada, interferência em terra indígena, interferência na infraestrutura, geração de empregos, incremento permanente na arrecadação municipal (compensação financeira) e incremento temporário na arrecadação municipal (ISS).

Destaca-se que os indicadores foram calculados apenas para a hidrelétrica contratada (UHE Estrela) e para o projeto previsto na expansão indicativa (UHE Telêmaco Borba). A parcela da expansão indicativa composta por modernização de hidrelétricas não foi considerada, uma vez que não se tem dados suficientes para cálculo dos indicadores.

Os indicadores apresentados na Tabela 5 não abordam todas as questões relativas a UHEs, mas buscam representar os principais impactos e benefícios de âmbito local que são frequentemente associados à implantação de projetos hidrelétricos.

Tabela 5 – Indicadores socioambientais da expansão hidrelétrica

| Indicadores Ambientais | |
|--|---|
| Área alagada (km ²) | 40 |
| Área alagada por potência instalada (km ² /MW) | 0,24 (UHEs existentes: 0,44 km ² /MW) |
| Perda de vegetação nativa (km ²) ⁽¹⁾ | 10 |
| Perda de vegetação nativa por MW (km ² /MW) ⁽¹⁾ | 0,09 |
| Transformação do ambiente lótico em lêntico (km) | 110 |
| N. de UHEs com interferência em UC de proteção integral | nenhuma das 2 UHEs |
| N. de UHEs com interferência em UC de uso sustentável | 1 das 2 UHEs |
| Indicadores Socioeconômicos | |
| População diretamente afetada (hab.) | 151 |
| População diretamente afetada por MW (hab./MW) | 0,91 |
| Interferência na infraestrutura (população atraída/população dos municípios) | 0,06 |
| N. de UHEs que interferem em terras ou comunidades quilombolas | nenhuma das 2 UHEs |
| N. de UHEs que interferem diretamente em TI | nenhuma das 2 UHEs |
| N. de UHEs situadas até 40 km de TI na Amazônia Legal e 15 km nas demais regiões | nenhuma das 2 UHEs |

²⁵ Os indicadores têm como base a metodologia da avaliação socioambiental de UHEs (EPE, 2012). Os indicadores foram selecionados considerando os principais impactos e benefícios associados à implantação de hidrelétricas, além de outros aspectos como sua mensuração e a existência e a qualidade de dados.

| | |
|---|--|
| Empregos diretos gerados no pico das obras ⁽²⁾ | 12.600 |
| Empregos diretos gerados no pico das obras por MW (empregos/MW) | 9,62 |
| Compensação financeira (CF) em 2034 (R\$ milhões) ⁽³⁾⁽⁴⁾ | 4,69 (0,2% da CF paga em 2023 por todas as UHEs em operação) |
| Compensação financeira para os estados no decênio (R\$ milhões) ⁽²⁾ | 4 |
| Compensação financeira para os municípios no decênio (R\$ milhões) ⁽²⁾ | 10 |
| ISS gerado nas obras no decênio (R\$ milhões) | 56,80 |

Notas: (1). Calculado apenas para uma UHE. (2). Esse dado considera apenas os empregos gerados no período de pico das obras para as duas UHEs, ou seja, há empregos gerados ao longo do período que não estão sendo considerados. (3). Considera somente a geração das usinas cuja operação se inicia no horizonte deste PDE. Os montantes de compensação financeira foram calculados considerando a TAR 2023 (R\$ 89,79) para todo o horizonte decenal. (4). Montante de arrecadação, no ano de 2034, da compensação financeira definida pela Lei n.7.990/1.989 e suas modificações, considerando as parcelas destinadas aos estados, municípios e à União.

4.2 Pequenas Centrais Hidrelétricas e Centrais Geradoras Hidrelétricas

Benefícios das PCHs e CGHs

- É fonte de energia elétrica **renovável** e de **baixo custo de operação**.
- Apresenta **baixa emissão de gases de efeito estufa (GEE)** e contribui com a estratégia de redução de emissões proposta na Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC).
- Contribuem para a estabilidade da operação do sistema elétrico, já que possuem geração previsível, com elevado fator de capacidade e alguma flexibilidade proporcionada pelos reservatórios, além de outros serviços prestados.
- São geralmente construídas em pequenos e médios rios, **próximas aos centros consumidores de energia**, o que reduz custos e perdas no sistema, uma vez que não é necessária a construção de extensas linhas de transmissão.
- A implantação dos projetos **movimenta a economia das cidades** e, como são desenvolvidas com conhecimento, tecnologia, equipamentos e materiais totalmente nacionais, **promovem o desenvolvimento econômico e a geração de empregos no país**, ao longo de toda a cadeia produtiva.
- Apresentam elevada vida útil, que pode superar os 100 anos sem a necessidade de grandes investimentos. Este ponto garante uma pegada de carbono ainda menor para a fonte.
- Possuem reservatórios com pequenas áreas alagadas, operados normalmente a fio d'água. Esta condição faz com que os impactos socioambientais frequentemente relacionados à formação de reservatórios, como a interferência em áreas de vegetação nativa ou em propriedades/população, sejam menores. Além disso, permitem os usos múltiplos dos recursos hídricos.
- Ainda, por meio de programas ambientais, promovem o reflorestamento e gestão da área de proteção permanente (APP) do reservatório, a recuperação e proteção de nascentes e o monitoramento da qualidade da água e fauna aquática.

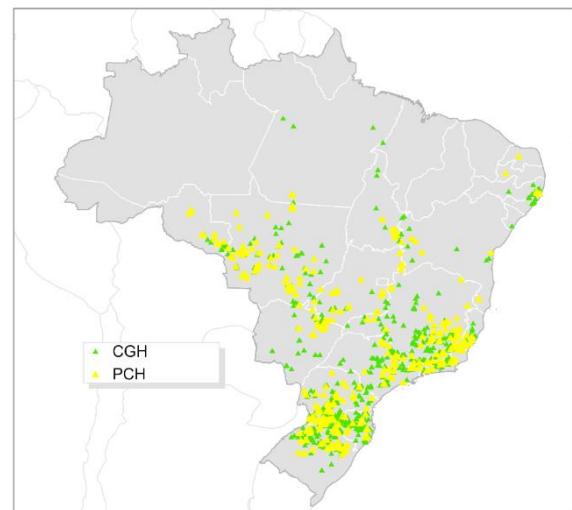
Parque de PCHs e CGHs atual

A capacidade instalada de PCHs e CGHs no Brasil é de **6.677 MW** (ANEEL, 2024a). Essa potência é proveniente de 430 PCHs e 683 CGHs, localizadas principalmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do país, como pode ser observado na figura ao lado.

Expansão de PCHs e CGHs nos próximos 10 anos

Para todo o horizonte decenal é prevista a **expansão de 3.287 MW** de potência instalada, o que representa avanço de 49% em relação ao parque atual. Na primeira metade do horizonte é considerada a entrada de **487 MW de potência, distribuídos em 38 PCHs e CGHs já contratadas**, que tem seu início de operação previsto para ocorrer entre 2025 e 2027. Já a partir de 2030, é estimada a entrada de outros **2.800 MW de potência instalada (expansão indicativa)** nos subsistemas Sudeste/Centro-Oeste e Sul. Além desse montante poderá haver expansão de CGHs que se enquadram como geração distribuída nos termos da Resolução Normativa Aneel n. 1059/2023 (ANEEL, 2023).

Nota-se que, para todo o horizonte decenal, **a maior parte da expansão**, contratada e indicativa, ocorrerá **nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste** do país. No Norte a expansão é pouco expressiva e no Nordeste não há previsão de expansão da fonte. A Figura 12 indica a localização da expansão planejada.



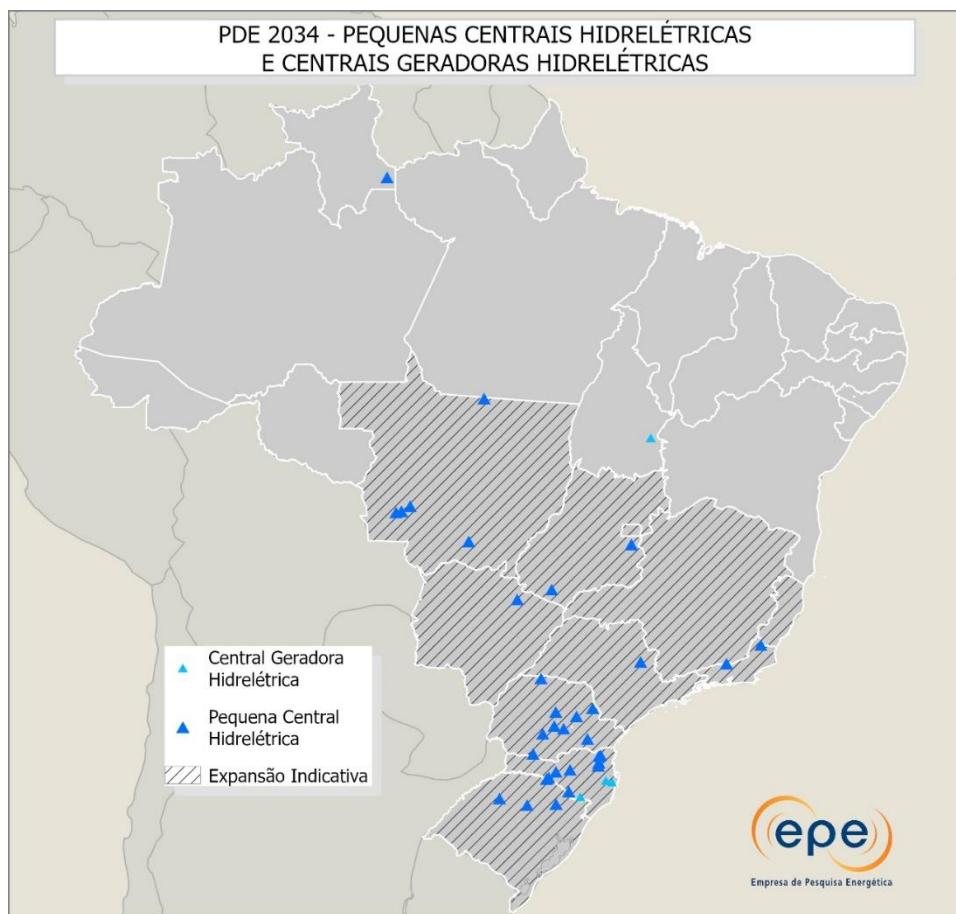


Figura 12 – Localização da expansão de PCHs e CGHs no PDE 2034

Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão de PCHs e CGHs

As principais interferências socioambientais da expansão da fonte no horizonte do Plano dizem respeito à **biodiversidade**, em função dos possíveis impactos dos projetos na vegetação nativa e na fauna aquática. Essas interferências estão relacionadas aos efeitos cumulativos e sinérgicos resultantes da concentração de projetos em um mesmo rio ou bacia hidrográfica e são particularmente importantes para as **regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste**, haja vista a expansão prevista e a grande quantidade de barragens já existentes.

Ainda que as áreas alagadas pela implantação dos projetos sejam relativamente pequenas, há interferência na vegetação marginal dos rios, ambientes que muitas vezes são os principais corredores de vegetação nativa da região e possuem grande importância ecológica. Acrescenta-se o alto nível de ameaça do bioma Mata Atlântica, presente em grande parte do Sul e Sudeste. Sobre o assunto, é importante ressaltar a necessidade de que os empreendimentos atendam à Lei da Mata Atlântica (Lei Federal n. 11.428/2006) que exige a compensação da vegetação suprimida no bioma Mata Atlântica em área equivalente àquela retirada e em condições ecológicas equivalentes. Também se pode citar a necessidade de instituição de Área de Proteção Permanente (APP) no entorno dos reservatórios, de forma que os projetos implantados contribuem para o aumento e conservação da vegetação na região.

No que diz respeito à fauna aquática, a implantação de PCHs e CGHs interfere localmente em função da formação de reservatórios e trechos de vazão reduzida (TVR). Considerando um conjunto de empreendimentos em uma mesma bacia hidrográfica, isso pode causar a fragmentação dos rios na medida em que são construídas barreiras ao deslocamento dos peixes migradores. Pode haver também alterações no fluxo hidrológico e no transporte de sedimentos. Os projetos, em geral, são implantados em rios de menor porte e regiões de cabeceira das bacias hidrográficas, áreas importantes para a fauna aquática por serem estratégicas para a reprodução de peixes. Para contornar essas interferências existe a possibilidade de se implantar Sistema de Transposição de Peixes (STP) nos rios em que ocorram espécies migradoras e manter uma vazão ecológica no TVR. No entanto, é frequente a instalação de usinas nas

cabeceiras dos rios e em locais que se apresentam como barreira natural ao deslocamento de peixes, para os quais não são necessários/recomendados STPs. Durante as fases de construção e operação dos empreendimentos, é usualmente realizado o monitoramento das espécies da ictiofauna e, quando verificada a necessidade, são propostas ações de manejo.

Com base na análise apresentada acima, o tema socioambiental **biodiversidade** foi considerado relevante para a expansão das PCHs e CGHs no PDE 2034, conforme apresentado na Tabela 6. Já o Quadro 6 resume as principais interferências socioambientais relacionadas à expansão de PCHs e CGHs no PDE 2034. Além disso, conforme metodologia da análise socioambiental integrada, são apresentados os temas e justificativas para escolha da interferência na região na qual está prevista a expansão e, por último, as principais medidas mitigadoras relacionadas às interferências listadas.

Tabela 6 – Síntese da análise socioambiental das PCHs e CGHs do PDE 2034

| | Norte | Nordeste | Sul | Sudeste | Centro-Oeste |
|-------------|--|----------------------------|--|--|--|
| PCHs e CGHs |  interações inexpressivas | não há projetos planejados |  biodiversidade |  biodiversidade |  biodiversidade |

Quadro 6 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão de PCHs e CGHs

| Interferência | Tema | Região e justificativa | Medidas mitigadoras |
|--|--|---|--|
| Interferência em vegetação nativa (Mata Atlântica) e na fauna aquática (fragmentação dos rios) |  biodiversidade | <p>S e SE: quantidade de projetos e a relevância ecológica dos remanescentes de Mata Atlântica ainda existentes, tendo em vista o grau de ameaça do bioma.</p> <p>S, SE e CO: concentração de empreendimentos planejados e existentes em uma mesma bacia, podendo gerar efeitos cumulativos e sinérgicos em função de projetos instalados em cascata.</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Compensação da vegetação suprimida no bioma Mata Atlântica, conforme legislação específica. Reposição florestal pela supressão de vegetação. - Instituição de APP no entorno do reservatório. - Possibilidade de implantação de Sistema de Transposição de Peixes (STP) nos rios em que ocorram espécies migradoras. Vale ressaltar, no entanto, a frequente instalação de usinas nas cabeceiras dos rios e locais que se apresentam como barreira natural ao deslocamento de peixes. - Monitoramento de espécies da ictiofauna e, quando necessário, indicação do manejo adequado. |

Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão de PCHs e CGHs

O processo de licenciamento ambiental tem se apresentado como um dos desafios para ampliar a participação da fonte na matriz. De maneira geral, para a implantação de PCHs e CGHs é exigida a elaboração de complexos estudos ambientais, além da necessidade de emissão de certidões e autorizações diversas e manifestações de instituições envolvidas, como prefeituras, órgãos gestores de recursos hídricos, Funai, Iphan e Fundação Cultural Palmares. As diversas exigências implicam processos longos, complexos e, por vezes, imprevisíveis. Há também o fato de que cada unidade da federação tem uma legislação distinta, por vezes com exigências específicas, de modo que os procedimentos de licenciamento são heterogêneos. A ausência de uma norma geral tem trazido insegurança e judicialização.

Sobre o assunto, existem iniciativas que visam dar celeridade, transparência, objetividade e reduzir os custos envolvidos nos processos de licenciamento ambiental. Entre elas, podemos citar a moderniza-

ção das normativas e dos processos por parte dos órgãos ambientais estaduais, a fim de aumentar a produtividade e celeridade dos processos de licenciamento ambiental de PCHs, como é o caso dos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Minas Gerais e Goiás. Nesse sentido, há uma remodelação e informatização dos processos e normatização das análises.

Também com o objetivo de otimizar e, ainda, homogeneizar os procedimentos de licenciamento ambiental de PCHs nas unidades da federação, no âmbito do GT-Energia da Associação Brasileira de Entidades Estaduais de Meio Ambiente (Abema), que conta com a participação de representantes dos órgãos ambientais estaduais, MME, Aneel e ANA, foi concluída em 2022 uma proposta para readequação do processo de licenciamento ambiental para PCHs e CGHs e critérios para a enquadramento dos projetos em processos e estudos simplificados, quando possível. O texto proposto pelo Grupo Técnico foi enviado à Abema em dezembro de 2022 para validação, apreciação e decisão, seja quanto ao encaminhamento para avaliação no âmbito do Conama, seja para avaliação da forma de outra estrutura normativa adequada ao contexto.

Ressalta-se ainda o papel dos estudos de inventários hidrelétricos participativos, cujo objetivo é ampliar a participação de representantes das instituições relacionadas ao meio ambiente no processo de aprovação, pela Aneel, dos estudos para implantação de empreendimentos hidrelétricos. Essa iniciativa tem apresentado resultados positivos, uma vez que são antecipadas discussões de questões que podem vir a dificultar o processo de licenciamento ambiental, mitigando-as, quando possível, nas etapas iniciais de concepção do projeto, e culminando em maior segurança para os empreendedores e órgãos ambientais. Até 2023, foram concluídos os estudos do rio Pardo, em Mato Grosso do Sul, e do rio Itajaí do Norte, em Santa Catarina.

Outro desafio diz respeito a **compatibilizar a conservação ambiental e a geração de energia**, sobretudo em regiões em que ocorre uma grande concentração de projetos. Para lidar com essa questão algumas iniciativas têm sido desenvolvidas, como a elaboração de estudos mais abrangentes para a definição e avaliação dos locais onde serão implantados os projetos e que consideram a bacia hidrográfica, a exemplo da Avaliação Ambiental Integrada (AAI) e do Estudo Integrado de Bacia Hidrográfica (EIBH). Esses instrumentos visam avaliar a implantação de um conjunto de empreendimentos em uma mesma bacia hidrográfica, considerando os efeitos cumulativos e sinérgicos dos impactos socioambientais ocasionados pelos projetos hidrelétricos. Neles busca-se avaliar a região de maneira mais abrangente e não individualmente por projeto.

Pode-se ainda relacionar, no caso do Rio Grande do Sul, o zoneamento dos rios estaduais em aptos e inaptos para fins de licenciamento ambiental de PCHs e CGHs (Resolução Consema/RS n. 388/2018). Por um lado, este tipo de iniciativa garante a conservação de rios e reduz o risco do empreendedor em desenvolver estudos em áreas de maior sensibilidade socioambiental; mas, por outro lado, elimina a possibilidade de desenvolver projetos eventualmente técnica e socioambientalmente viáveis. À parte essa questão, a referida Resolução Consemá é um importante normativo para o setor, ao dispor sobre os critérios e diretrizes gerais, a definição dos estudos ambientais e os procedimentos básicos a serem seguidos no licenciamento ambiental de PCHs e CGHs no Rio Grande do Sul.

O Quadro 7 resume os principais desafios relacionados à expansão de PCHs e CGHs no PDE 2034 e as iniciativas e recomendações associadas.

Quadro 7 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão de PCHs e CGHs

| Desafio | Iniciativas |
|--|---|
| Complexidades relacionadas ao processo de licenciamento ambiental | <ul style="list-style-type: none"> - Modernização das normativas e procedimentos de licenciamento ambiental, a exemplo das realizadas nos estados do RS, SC, PR, MG e GO. - Discussões no âmbito do GT-Energia da Abema para a otimização e homogeneização dos processos de licenciamento ambiental de PCHs e CGHs. - Estudos de Inventários Hidrelétricos participativos – Aneel e órgãos ambientais estaduais. |
| Compatibilizar a conservação ambiental e a geração de energia |  <ul style="list-style-type: none"> - Elaboração de estudos mais abrangentes para a avaliação do conjunto de projetos, a exemplo de AAI e EIBH. - Estabelecimento de rios não passíveis de processo de licenciamento ambiental para as PCHs e CGHs, caso do Rio Grande do Sul. |

Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão de PCHs e CGHs

O aproveitamento de reservatórios construídos para outros fins, como o abastecimento de água, para a geração de energia, além da possível reativação ou repotenciação de empreendimentos existentes, se revela como uma oportunidade de otimização do uso dos recursos hídricos e de aumento da geração de energia. Como exemplo podemos citar os casos das PCHs Guaraú (SP), Cascata (SP), Manuel Alves (TO) e Armando Ribeiro (RN).

O fato das PCHs e CGHs serem fonte renovável e de baixa emissão de GEE já permite que elas se beneficiem de instrumentos financeiros para descarbonização, como os Certificados de Energia Renovável (REC). Uma empresa que deseja ser emitente de RECs passa por uma auditoria documental pelo emissor local e cada REC equivale a 1MWh de energia gerada (INSTITUTO TOTUM, 2021). Para o futuro é esperado que a demanda por esse tipo de instrumento aumente à medida que as empresas de forma geral apresentem metas voluntárias de redução de emissões.

A implantação de PCHs e CGHs traz a oportunidade de recuperação ambiental da região em que os empreendimentos estão inseridos, especialmente as margens e cabeceiras dos rios. Essa recuperação pode estar associada a um programa de Pagamento por Serviços Ambientais - PSA ou ainda ampliar os investimentos para geração de ICMS Ecológico. Destaca-se ainda que o monitoramento ambiental contínuo realizado pelos empreendimentos permite a promoção de ações de conservação do recurso hídrico e da biodiversidade.

O Quadro 8 resume as principais oportunidades relacionadas à expansão de PCHs e CGHs no PDE 2034 e a conjuntura favorável para aproveitar as oportunidades identificadas.

Quadro 8 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionados à expansão de PCHs e CGHs

| Oportunidades | Conjuntura favorável |
|---|--|
| Otimização do uso dos recursos hídricos por meio da instalação de projetos em reservatórios existentes, além da reativação e repotenciação de PCHs | <ul style="list-style-type: none"> - Viabilização de projetos que utilizam reservatórios construídos para outros fins |

| Oportunidades | Conjuntura favorável |
|--|--|
| Instrumentos financeiros voltados para a descarbonização | <ul style="list-style-type: none"> - Planos Setoriais de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas e desenvolvimento do Mercado de Carbono - Demanda do mercado por Certificados de Energia Renovável (REC) |
| Recuperação da vegetação nativa no entorno dos empreendimentos, com benefícios socioambientais adicionais | <ul style="list-style-type: none"> - Possível implantação de programas de pagamento por serviços ambientais |

Indicadores socioambientais da expansão de PCHs e CGHs

Para representar, ainda que de modo simplificado, as alterações decorrentes da implantação das PCHs e CGHs planejadas são avaliados dois indicadores socioambientais (Tabela 7).

O primeiro é relativo à área dos reservatórios previstos e representa principalmente os impactos nos meios físico e biótico, tais como a perda de vegetação e as interferências sobre a biodiversidade local. Foi adotada para a expansão prevista a relação da área alagada por potência instalada de 0,07 km²/MW, valor obtido a partir de dados de PCHs constantes nos PDEs mais recentes, com base em informações da Aneel (ANEEL, 2024b). Para comparação, essa mesma relação para as UHEs é de 0,44 km²/MW.

O segundo indicador se refere aos empregos diretos gerados no pico das obras. Representam, em princípio, o aumento das oportunidades de trabalho e a dinamização da economia dos locais onde estes projetos se inserem. Ao longo do horizonte decenal é esperada a geração de cerca de 66 mil empregos diretos, considerando os trabalhadores no pico da obra de cada projeto. Esta estimativa considerou o valor de 20 empregos para cada MW instalado, valor médio obtido com base em informações de PCHs cadastradas em leilões de energia. Esse dado considera apenas os empregos gerados no período de pico das obras, ou seja, há empregos gerados ao longo do período que não estão sendo contabilizados.

Tabela 7 – Indicadores socioambientais da expansão de PCHs e CGHs

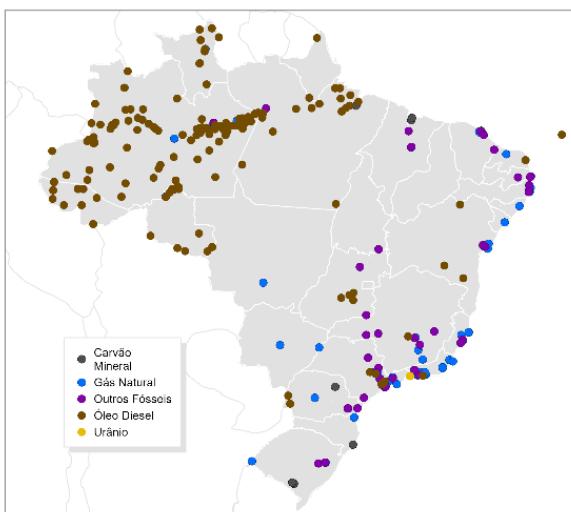
| Indicadores Ambientais | |
|---|--------|
| Área alagada (km ²) | 33,79 |
| Área alagada por potência instalada (km ² /MW) | 0,07 |
| Indicadores Socioeconômicos | |
| Empregos diretos gerados no pico das obras | 66 mil |
| Empregos diretos gerados durante a operação (empregos/MW) | 20 |

4.3 Termelétricas de fontes não renováveis

Benefícios das termelétricas de fontes não renováveis

- Apresentam características técnicas que trazem ganhos de confiabilidade ao sistema elétrico e aumentam a **segurança energética** do país.
- Possibilitam a **otimização dos recursos energéticos** no sistema interligado nacional (SIN) compensando as variabilidades e sazonalidades de outras fontes.
- Apesar da disponibilidade e transporte de combustível serem fatores relevantes para a localização das usinas, possuem **flexibilidade locacional**, podendo ser implantadas em áreas próximas aos centros de carga, reduzindo custos, perdas e impactos socioambientais inerentes a extensas linhas de transmissão.
- Necessitam de **áreas relativamente pequenas** quando comparadas a outras fontes de energia, fato que, associado à flexibilidade locacional, evita conflitos pelo uso do solo e possibilita a seleção de locais com menor sensibilidade socioambiental para sua implantação. Nesse sentido, é frequente a instalação desses empreendimentos dentro de complexos industriais ou portuários já estabelecidos.
- Existem benefícios econômicos e sociais associados à implantação e operação dos projetos termelétricos, relacionados à **geração de empregos** diretos e indiretos, ao aumento da demanda por bens e serviços, e ao aumento da arrecadação tributária, contribuindo para o dinamismo econômico da região de implantação do empreendimento.
- A depender do tipo de combustível utilizado, existem benefícios específicos adicionais. O **gás natural** se destaca entre os combustíveis fósseis por apresentar menor emissão de poluentes atmosféricos e de gases de efeito estufa (GEE). A **termonuclear** não emite diretamente poluentes atmosféricos, nem GEE, já que o calor necessário para a geração de energia elétrica não provém da queima de combustíveis, e sim da fissão nuclear.

Parque termelétrico não renovável atual



De acordo com o Sistema de Informações da Geração da Aneel (ANEEL, 2024) a potência das usinas não renováveis outorgadas em operação no país é de cerca de **18 GW para gás natural** (78 usinas), **3 GW para carvão mineral** (11 usinas), **2 GW para óleo diesel** (167 usinas), **5 GW para demais combustíveis fósseis** (52 usinas) e **2 GW para nuclear** (2 usinas). Observa-se no mapa grande concentração de UTEs a óleo diesel na região Norte. Cabe destacar que estas estão inseridas predominantemente nos sistemas isolados e sua maioria possui potência significativamente menor do que aquelas que fazem parte do SIN, à exceção daquelas localizadas em Roraima.

Expansão termelétrica nos próximos 10 anos

Neste decênio está prevista a entrada de **28.136 MW de novas usinas térmicas a gás natural** e **1.405 MW de nuclear** (Figura 13). Na expansão contratada é prevista a entrada de 6.337 MW de potência de usinas novas, distribuídos em nove UTEs a gás natural (4.932 MW) e uma nuclear (1.405 MW). Já a expansão indicativa contempla 19.340 MW de usinas a gás natural, distribuídas em todos os subsistemas: 9.591 MW no Sudeste/Centro-Oeste, 4.508 MW no Sul, 1.985 MW no Nordeste, 2.265 MW no Norte, e 991 MW em Manaus. Além disso, dez usinas a gás natural existentes venderam 3.864 MW em leilão.

Ressalta-se para esse horizonte decenal o volume considerável de términos de contratos de venda de energia e descomissionamento de usinas. Dessa forma, considerando a entrada das usinas planejadas e o descomissionamento de usinas antigas, a capacidade instalada de usinas termelétricas não renováveis deve atingir cerca de 37.500 GW em 2034.

A expansão indicativa contempla todas as regiões, mas as maiores capacidades instaladas se encontram nas regiões Sudeste e Sul, locais de maior demanda (Figura 13).

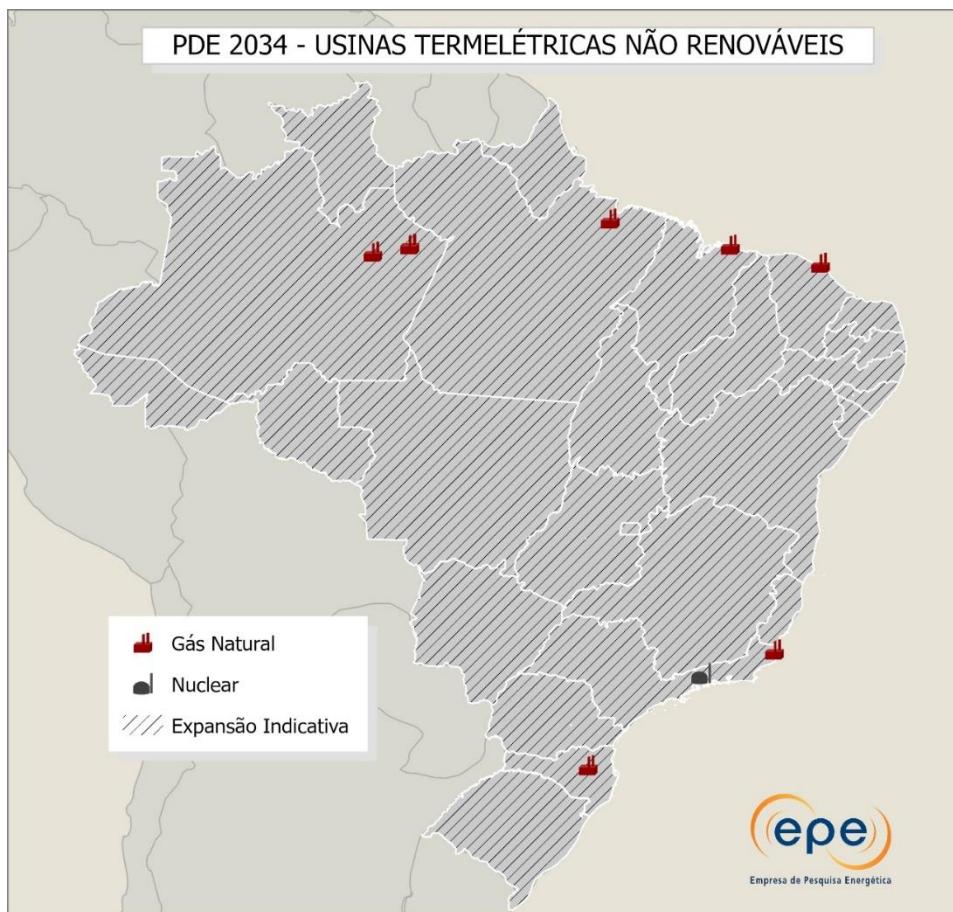


Figura 13 – Localização da expansão termelétrica de fontes não renováveis no PDE 2034

Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão termelétrica de fontes não renováveis

As principais interferências socioambientais de usinas termelétricas não renováveis envolvem a emissão de poluentes atmosféricos e de GEE, alteração na disponibilidade de água e a geração de resíduos. Ainda que estas e outras interferências sejam mitigáveis, usualmente gerenciadas no âmbito dos projetos e observadas no licenciamento ambiental, vale destacar alguns temas socioambientais relevantes para a expansão prevista.

A primeira interferência destacada corresponde às **emissões de poluentes atmosféricos** oriundas da queima de combustíveis fósseis que podem alterar a qualidade do ar local e trazer consequências à saúde pública. Dentre as medidas mitigadoras utilizadas estão a seleção de local com dispersão atmosférica favorável e afastado de núcleos populacionais, combinada com uso de tecnologias eficientes, equipamentos de abatimento de emissões e monitoramento adequado das emissões e da qualidade do ar em estações de monitoramento. Ressalta-se que essas medidas são definidas no licenciamento ambiental, considerando a legislação vigente²⁶ sobre limites de emissões e qualidade do ar, e pode incluir restrições adicionais a depender das especificidades locais. Neste sentido, o tema **qualidade do ar** foi considerado relevante para as regiões Sul e Sudeste, pois apesar do predomínio de usinas a gás natural, combustível

²⁶ Resoluções Conama n. 382/2006, n. 436/2011, n. 491/2018.

menos poluente entre os fósseis, essas regiões apresentam grandes centros urbanos e industriais com qualidade do ar afetada.

Sobre as **emissões de GEE**, cujos impactos são em escala global, é importante que os empreendimentos realizem inventários de emissões e busquem soluções de redução e compensação. Dentre as medidas possíveis estão a substituição total ou parcial por combustíveis de baixa emissão, uso de equipamentos mais eficientes, uso de tecnologias de captura e armazenamento ou uso de carbono (CCS e CCUS)²⁷, e, como última alternativa na hierarquia de mitigação, a compensação das emissões como, por exemplo, pelo investimento em projetos de conservação e restauração florestal.

Em relação à **alteração na disponibilidade de água**, cabe ressaltar que a instalação de projetos em locais onde o balanço hídrico é desfavorável, seja pela baixa disponibilidade de água ou pela elevada demanda de outros usuários, pode ocasionar conflitos pelo seu uso. Para minimizar os conflitos é importante selecionar local com disponibilidade hídrica adequada, que as outorgas concedidas considerem os usos múltiplos, e que sejam aplicadas boas práticas que minimizem o consumo de água doce, tais como o uso de fontes alternativas (água do mar, por exemplo) e reúso da água, além do emprego de tecnologias de resfriamento que requeiram menos água, como sistemas a ar ou híbridos ar-água. Por este motivo, tendo em vista a magnitude da expansão projetada para o decênio, o tema **recursos hídricos** foi considerado relevante para as regiões Sudeste, Sul e Nordeste.

Por fim, considerando a entrada da usina nuclear Angra 3 na região Sudeste, é importante mencionar a interferência de **geração de resíduos radioativos** pela sua elevada periculosidade. O acondicionamento e disposição das diferentes classes de resíduos radioativos são regidos por legislação específica e sujeitos a fiscalização; além disso, as medidas para o seu gerenciamento são tratadas e acompanhadas tanto no licenciamento ambiental quanto no licenciamento nuclear das atividades. Cabe destacar que o Ibama renovou por mais seis anos a licença de instalação da usina nuclear de Angra 3, que passa a ter validade até 2028.

Em Angra 3, os combustíveis nucleares irradiados (alta atividade) serão armazenados inicialmente em piscina próxima ao reator, indo, em seguida, para armazenamento complementar, e, por fim, para a destinação final (armazenagem ou reprocessamento) (ELETRONUCLEAR, 2014). A estimativa de quantidade gerada durante toda sua vida útil (40 anos) é de 10.880 kg de urânio 235 e 12.640 kg de plutônio total (ELETRONUCLEAR, 2015). Os demais resíduos, de média e baixa atividade, são armazenados em depósitos locais. Desta forma, ainda que haja gerenciamento e fiscalização do armazenamento e disposição dos resíduos radioativos, o tema **resíduos** foi considerado relevante para a expansão prevista no Sudeste, pela sua periculosidade.

De acordo com a análise ora apresentada, três temas socioambientais foram considerados relevantes no contexto do Plano, a saber: **qualidade do ar, recursos hídricos e resíduos**. Estes temas estão sintetizados na

Tabela 8, conforme metodologia empregada na análise socioambiental integrada do PDE.

Tabela 8 – Síntese da análise socioambiental das usinas termelétricas de fontes não renováveis do PDE 2034

| | Norte | Nordeste | Sul | Sudeste | Centro-Oeste |
|---------------------|--|---|--|--|--|
| UTEs fósseis |  interferências inexpressivas |  recursos hídricos |  qualidade do ar  recursos hídricos |  qualidade do ar  recursos hídricos |  interferências inexpressivas |
| UTE nuclear | não há projetos planejados | não há projetos planejados | não há projetos planejados |  resíduos | não há projetos planejados |

²⁷ Carbon Capture and Storage (CCS) e Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS)

O Quadro 9 resume as principais interferências socioambientais relacionadas à expansão termelétrica no PDE 2034; os temas socioambientais associados a essas interferências, conforme metodologia da análise socioambiental integrada; a justificativa pela escolha da interferência na região na qual está prevista a expansão e, por último, as medidas mitigadoras relacionadas às interferências listadas.

Quadro 9 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão termelétrica de fontes não renováveis

| Interferência | Tema | Região e justificativa | Medidas mitigadoras |
|--|-----------------------|---|---|
| Emissão de poluentes atmosféricos e emissão de GEE | qualidade do ar | S e SE: magnitude da expansão em regiões com qualidade do ar já afetada | <ul style="list-style-type: none"> - Poluentes atmosféricos locais: seleção de local com dispersão atmosférica favorável e afastado de receptores importantes, combinado com uso de tecnologias eficientes, equipamentos de abatimento de emissões e monitoramento adequado. - Para a redução das emissões de GEE: substituição total ou parcial por combustíveis de baixa emissão, uso de equipamentos mais eficientes, uso de tecnologias de captura e armazenamento ou uso de carbono (CCS e CCUS), e compensação de emissões. |
| Alteração na disponibilidade de água | recursos hídricos | S, SE e NE: magnitude da expansão em regiões com balanço hídrico desfavorável | <ul style="list-style-type: none"> - Seleção locacional, consideração dos usos múltiplos nas outorgas; adoção de boas práticas que minimizem o consumo de água doce, tais como o uso de fontes alternativas (água do mar, por exemplo) e reúso da água, além do emprego de tecnologias de resfriamento que requeiram menos água como sistemas a ar ou híbridos ar-água. |
| Geração de resíduos radioativos | resíduos | SE: elevada periculosidade do resíduo | <ul style="list-style-type: none"> - Acondicionamento e disposição das diferentes classes de resíduos radioativos segundo legislação específica e conforme estabelecido no licenciamento ambiental e nuclear. |

Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão termelétrica de fontes não renováveis

Um dos principais desafios para as termelétricas que utilizam combustíveis fósseis é a [redução das emissões de GEE](#) para minimizar as consequências das mudanças climáticas. Observa-se o aumento e predomínio da participação do gás natural na expansão prevista de UTEs, o que já é positivo pelo fato de ser o combustível fóssil com menor emissão de GEE. Neste sentido, cabe destacar o Programa Gás para Empregar, que busca promover ações que integrem o gás natural à estratégia nacional de transição energética (BRASIL, 2023).

Adicionalmente, é importante que se ampliem os esforços para reduzir essas emissões com aumento de eficiência, desenvolvimento de tecnologias de remoção de carbono com custos baixos, como captura e armazenamento e uso de carbono (CCS ou CCUS), mecanismos de compensação das emissões, além do incentivo à substituição por combustíveis renováveis ou de baixa emissão. Cabe destacar que a regulação do CCS vem sendo discutida na tramitação do Projeto de Lei n. 1.425/2022 e na Lei n. 14.993/2024, Lei do Combustível do Futuro (Brasil, 2024). O estabelecimento da regulação da atividade de CCS/CCUS é relevante para o desenvolvimento dessa tecnologia no país.

Os Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas, que estão em elaboração no âmbito do Plano Clima 2024-2035, também serão importantes para direcionar a implantação de medidas de reduções de emissões de GEE a partir da definição de metas para agentes setoriais. Além disso as discussões sobre implementação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE) estão avançando. Foi criado Grupo Técnico de Natureza Temporária para elaborar uma proposta de regulamentação e implementação do SBCE (BRASIL, 2023) e o Projeto de Lei 2.148/2015 que cria o SBCE foi aprovado na Câmara dos Deputados e será avaliado no Senado Federal. A implementação dos planos

setoriais e do mercado de carbono é importante para impulsionar a redução das emissões e atender os compromissos climáticos do país.

A **redução da demanda de água** também é um desafio, especialmente para implantação de projetos que necessitem da captação de água doce em regiões que apresentem criticidade hídrica. Em 2022, a água retirada por termelétricas nas bacias hidrográficas foi de 101 m³/s²⁸ e representou 5% da retirada total de usos consuntivos (ANA, 2024). Ainda que a representatividade seja baixa, é fundamental que se busquem minimizar possíveis conflitos pelo uso da água doce, considerando que a demanda pelo uso de água no país é crescente, que existem regiões que apresentam baixos níveis de segurança hídrica e que a expansão termelétrica prevista é significativa. É importante observar a disponibilidade hídrica na região de implantação do empreendimento e que as tecnologias de baixo consumo de água continuem a ser desenvolvidas e implementadas, além da utilização de fontes alternativas de água, como água do mar, reúso e outras medidas citadas anteriormente.

Outro desafio para as UTEs não renováveis diz respeito à **aceitação da sociedade**. Para as usinas a combustíveis fósseis, em função do contexto atual de discussão de mudanças climáticas e transição energética, há questionamentos quanto à geração de energia por meio de fontes emissoras de GEE. Para a fonte nuclear, os questionamentos estão relacionados ao risco percebido com relação à fonte. Sendo assim, estratégias de comunicação para informar a sociedade sobre seus benefícios socioambientais e das medidas de mitigação dos riscos podem auxiliar a sua aceitação.

Por fim, para as termonucleares, ainda existe o desafio da **destinação do material radioativos**. Sobre o gerenciamento de rejeitos radioativos, a CNEN tem a incumbência legal de construir o Repositório Nacional de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação (RBMN). Sobre os rejeitos de alta atividade, combustíveis irradiados, a Eletronuclear construiu, no complexo nuclear de Angra, uma Unidade de Armazenamento a Seco (UAS), para receber parte do combustível irradiado que estava armazenado nas piscinas das usinas de Angra I e II. A solução já é adotada como sistema de armazenamento temporário em vários países. Segundo a Eletronuclear, a UAS tem capacidade para o armazenamento temporário do combustível irradiado das usinas de Angra I e Angra II até 2045. Com relação ao longo prazo, Finlândia e Suécia devem ser os primeiros países a implementar uma solução definitiva para o armazenamento de rejeitos radioativos, por meio de depósitos geológicos profundos. A política brasileira ainda é de postergar a decisão sobre o reprocessamento, mantendo-os em estoque (CNEN, 2024). Sendo assim, é importante comunicar a sociedade sobre o andamento do processo de implantação do RBMN e das perspectivas sobre a disposição final ou reprocessamento do combustível irradiado.

O Quadro 10 resume os principais desafios relacionados à expansão termelétrica de fontes não renováveis no PDE 2034 e as iniciativas e recomendações associadas.

Quadro 10 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão termelétrica de fontes não renováveis

| Desafio | Iniciativas | Recomendações |
|--|--|--|
| Redução das emissões de GEE para minimizar mudanças climáticas  | <ul style="list-style-type: none">- Programa Gás para Empregar- Discussões de Projetos de Lei sobre a regulação do CCS/CCUS- Plano Clima: Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas- Projeto de Lei sobre o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE) | <ul style="list-style-type: none">- Incentivar a utilização de combustíveis renováveis ou de baixa emissão de GEE.- Promover o estabelecimento da regulação da atividade de CCS/CCUS no país.- Incentivar o desenvolvimento e aplicação de tecnologias de CCS/CCUS ou compensação das emissões.- Implementar os Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas e o Mercado de Carbono. |

²⁸ Aproximadamente 3 trilhões de litros/ano.

| Desafio | Iniciativas | Recomendações |
|--|--|--|
| Redução da demanda de água |  | <ul style="list-style-type: none"> - Atentar sobre a disponibilidade hídrica na região de implantação do empreendimento. - Incentivar a adoção de medidas e tecnologias para a redução do consumo de água. |
| Aceitação da sociedade | | <ul style="list-style-type: none"> - Implementar estratégias de comunicação para informar a sociedade sobre seus benefícios socioambientais e das medidas de mitigação dos riscos. |
| Disposição final de resíduos radioativos |  <ul style="list-style-type: none"> - O CNEN tem a incumbência legal de construir o Repositório Nacional de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação (RBMN). - Política brasileira sobre rejeitos de alta atividade é mantê-los em estoque. | <ul style="list-style-type: none"> - Comunicar sobre o andamento do processo de implantação do RBMN e das perspectivas da disposição final ou reprocessamento. |

Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão termelétrica de fontes não renováveis

A Lei n. 14.182/2021, que dispõe sobre a desestatização da Eletrobras, estipulou a contratação de UTEs a gás natural com alta inflexibilidade²⁹ em regiões que não contam com malha de gás. A instalação dessas novas usinas termelétricas pode trazer oportunidade de desenvolvimento socioeconômico nessas regiões pela implantação da infraestrutura de transporte e oferta de gás natural.

Adicionalmente, o Programa Gás para Empregar, que busca ampliar disponibilidade de gás natural para os setores produtivos (fertilizantes nitrogenados, petroquímicos e outros), tem potencial para promover a geração de empregos, aumento do PIB nacional, além de segurança energética e alimentar.

A implementação dos Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas e o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa, citados anteriormente, também apresenta oportunidades socioambientais pela arrecadação de recursos e investimento em projetos, como de compensação de emissões de GEE. Ressalta-se que o desenvolvimento de projetos de compensação pode trazer vários co-benefícios além do carbono, tais como aumento da biodiversidade, redução de erosão, manutenção de recursos hídricos, geração de empregos, desenvolvimento da cadeia de bioeconomia, entre outras.

O Quadro 11 resume as principais oportunidades relacionadas à expansão termelétrica de fontes não renováveis no PDE 2034 e a conjuntura favorável para aproveitar as oportunidades identificadas.

Quadro 11 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionados à expansão termelétrica de fontes não renováveis

| Oportunidades | Conjuntura favorável |
|---|--|
| Desenvolvimento socioeconômico regional pela ampliação da oferta de gás natural | <ul style="list-style-type: none"> - A Lei n. 14.182/2021, que dispõe sobre a desestatização da Eletrobras, estipulou a contratação de UTEs a gás natural com alta inflexibilidade em regiões que não contam com malha de gás. - Programa Gás para Empregar, que busca ampliar disponibilidade de gás natural para os setores produtivos |

²⁹ As térmicas flexíveis são usinas com características especiais de partida, parada e rampeamento rápidos, e que são fundamentais para fazerem face à intermitência das renováveis. Já as inflexíveis, em geral, despacham o tempo todo ou em grande parte dele. (PIRES & VIEIRA FILHO, 2020).

| Oportunidades | Conjuntura favorável |
|---|--|
| Geração de benefícios socioambientais na arrecadação de recursos e investimentos em projetos, como de compensação de emissões de GEE | - Implementação dos Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas e do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa. |

Indicadores socioambientais da expansão termelétrica de fontes não renováveis

No presente plano são propostos três indicadores socioambientais para representar, ainda que de modo simplificado, as alterações decorrentes da implantação das termelétricas planejadas (Tabela 9).

O primeiro é relativo à média anual das emissões de gases de efeito estufa no Sistema Interligado Nacional no período de 2025-2034. O segundo reflete estimativa de captação e consumo de água em 2034. Já o terceiro indicador se refere aos empregos diretos gerados no pico das obras e durante a operação das usinas. Ressalta-se que os benefícios econômicos e sociais advindos da contratação de mão de obra poderão ser maximizados se forem priorizadas contratações locais ou regionais.

Tabela 9 – Indicadores socioambientais da expansão termelétrica de fontes não renováveis

| Indicadores Ambientais | |
|--|-------------------------|
| Emissões de GEE no SIN (média anual, 2025-2034) | 21 MtCO ₂ eq |
| Captação de água em 2034 (bilhões de L/ano) ⁽¹⁾ | 115 |
| Consumo de água em 2034 (bilhões de L/ano) ⁽¹⁾ | 89 |
| Indicadores Socioeconômicos | |
| Empregos diretos gerados no pico das obras ⁽²⁾ | 48 mil |

Notas: (1) Cálculo com base nos fatores de consumo e captação por tipo de tecnologia e sistema de resfriamento de ANA (2019) considerando: (i) despacho 60% durante o ano; (ii) exclusão dos projetos que prevêem uso de água salgada e nuclear; e (iii) tecnologia de resfriamento por torres úmidas.

(2) Cálculo dos empregos baseado no somatório das previsões informadas nos estudos ambientais dos empreendimentos contratados complementado por estimativas a partir de valores médios informados no Sistema AEGE por tipo de UTE. (Obs.: O sistema AEGE, da EPE, tem por principal finalidade permitir aos empreendedores cadastrarem seus empreendimentos com vistas a participar dos leilões de compra de energia elétrica proveniente de novos empreendimentos de geração para o Sistema Interligado Nacional – SIN)

4.4 Termelétricas renováveis

Benefícios das termelétricas renováveis

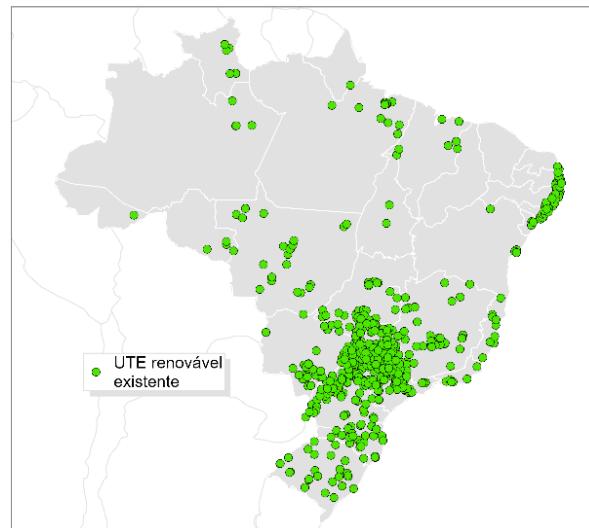
- As UTEs renováveis possuem alta **disponibilidade de recursos** em todas as regiões brasileiras, inclusive nos centros de carga e nos sistemas isolados. A distribuição dos recursos proporciona **flexibilidade locacional** para essas UTEs.
- Podem ser utilizados **resíduos como recursos energéticos**, o que é especialmente positivo para a problemática da disposição inadequada de resíduos e os impactos decorrentes.
- A geração a partir do bagaço de cana **otimiza a infraestrutura existente**, aumenta a eficiência do processo e pode complementar à geração hidrelétrica, dada a disponibilidade no período seco.
- A grande variedade de tipos de substratos e combustíveis traz como ponto positivo a **versatilidade** na escala das plantas e nos modelos de negócio, podendo ter usos diversos na geração elétrica e energética.
- As UTEs contribuem para a **segurança energética** do sistema já que é possível uma geração constante e distribuída geograficamente.
- A fonte possui potencial de **geração de emprego e renda** no interior do país, especialmente em zonas rurais.
- A fonte é renovável e suas emissões de gases de efeito estufa na geração são consideradas nulas, contribuindo para uma trajetória energética de baixo carbono.

Parque termelétrico renovável atual

Atualmente no Brasil, a capacidade instalada de geração a partir de usinas termelétricas renováveis totaliza 17,5 GW (ANEEL, 2024) e 637 usinas. Cerca de 72% dessa capacidade utiliza o bagaço de cana-de-açúcar como combustível. Termelétricas a licor negro respondem por 19%. O restante é composto por: UTEs a biomassa florestal (7%), que incluem lenha, resíduos florestais, carvão vegetal e gás de alto forno; UTEs a resíduos sólidos urbanos (1%); e UTEs que utilizam outros combustíveis renováveis, como resíduos animais e agrícolas (1%).

A capacidade instalada de usinas a biogás é de 242 MW, distribuídos em 51 usinas. Aproximadamente 83% dessa capacidade (26 usinas) advém de resíduos sólidos urbanos (RSU). O restante das UTEs a biogás utiliza resíduos agrícolas, animais e florestais.

As UTEs renováveis se concentram no estado de São Paulo e seu entorno, onde predomina a atividade sucroalcooleira.



Expansão termelétrica renovável nos próximos 10 anos

A expansão total estimada para o horizonte decenal é de **2.272 MW**. Deste total, no período entre 2023 e 2027, **534 MW já estão contratados** e distribuídos em 16 UTEs novas (453 MW) e duas UTEs a bagaço existentes que serão ampliadas (81 MW). A expansão indicativa, que começa em 2028, é de **1.738 MW**.

Os tipos de combustível utilizado nas UTEs contratadas estão discriminados na Tabela 10.

Tabela 10 – UTEs renováveis contratadas (2025-2028) por tipo de combustível e potência

| Combustível | Potência (MW) | Nº UTEs | % Potência |
|----------------------------|---------------|----------------|------------|
| Bagaço de cana | 247 | 7 ¹ | 46 |
| Capim elefante | 18 | 1 | 3 |
| Cavaco/resíduos florestais | 180 | 7 | 34 |
| Óleos vegetais | 69 | 2 | 13 |
| RSU (incineração) | 20 | 1 | 4 |
| Total contratado | 534 | 18 | 100 |

Nota: ¹Duas UTEs a bagaço representam ampliações de usinas existentes, somando 81 MW de potência.

As 16 novas UTEs contratadas estão distribuídas nas regiões Sudeste: São Paulo (4), Centro-Oeste: Goiás (2), Mato Grosso (2) e Mato Grosso do Sul (1) e na região Norte, com 7 usinas em Roraima. As usinas a serem ampliadas são a partir de bagaço e estão em SP e MS. Já a expansão indicativa (1.738 MW) deverá se localizar nas regiões Sudeste e Centro-Oeste. A Figura 14 apresenta a localização da expansão.

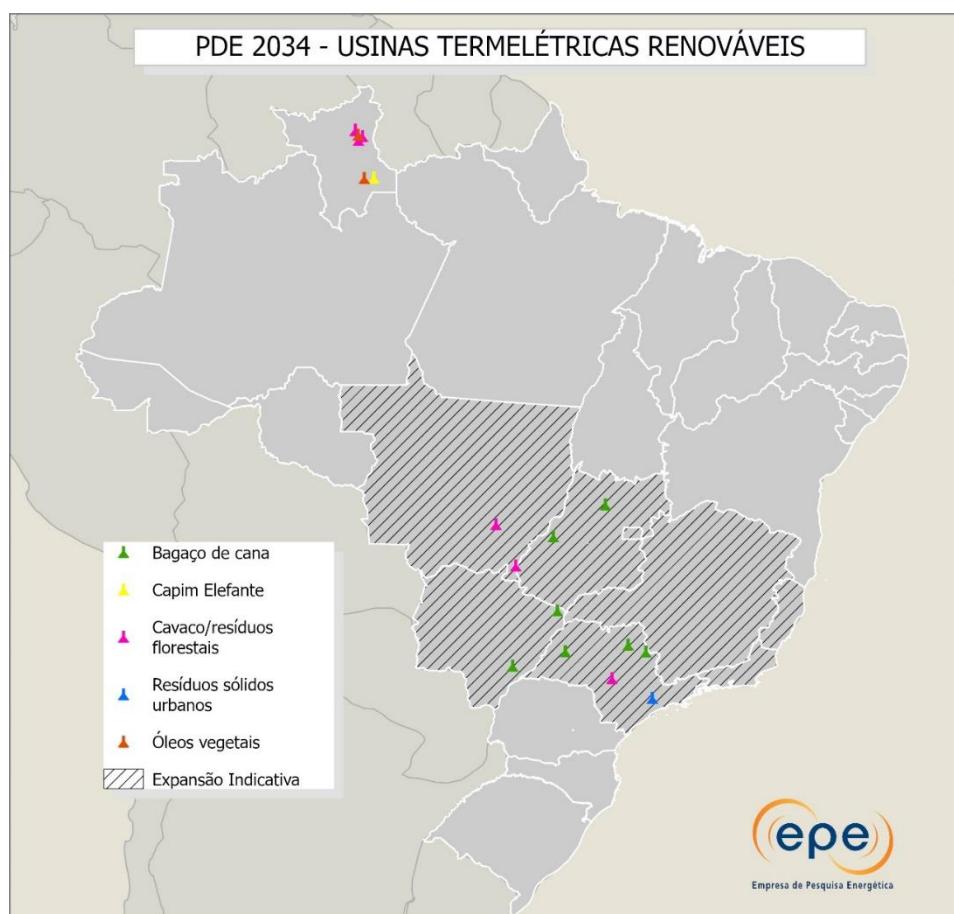


Figura 14 – Localização da expansão termelétrica renovável no PDE 2034

Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão termelétrica renovável

As interferências relativas à expansão de UTEs renováveis foram consideradas inexpressivas devido ao fato delas muitas vezes representarem justamente uma forma de mitigar e evitar possíveis problemas ambientais por conta de resíduos que, na maioria dos casos, seriam descartados de maneira inadequada.

Como o PDE 2034 não identificou a expansão de área para produção da biomassa com fins energéticos, estima-se que não ocorram conflitos para uso do solo, o que poderia ser uma interferência socioambiental significativa.

De qualquer forma, mesmo que as interferências não tenham sido consideradas relevantes, é necessário destacar alguns aspectos no contexto da expansão de termelétricas renováveis, tais como a emissão de poluentes atmosféricos, o consumo de água e a geração de resíduos e efluentes.

Sobre a **emissão de poluentes atmosféricos**, principalmente material particulado, este impacto é facilmente mitigado com o uso de equipamentos de controle, de forma a atender à legislação ambiental. Vale ressaltar que as usinas a biomassa normalmente se encontram em áreas rurais onde geralmente não há problemas relacionados à qualidade do ar.

No que se refere à **alteração da disponibilidade de água**, este é um tema geralmente importante para as usinas termelétricas. Dependendo da tecnologia de resfriamento adotada, caso haja consumo de água que impacte na disponibilidade para outros usos, sobretudo na região Sudeste, onde já há grande pressão sobre os recursos hídricos, podem ocorrer conflitos relacionados ao uso da água. Particularmente as usinas a bagaço de cana, que estão inseridas nas plantas de produção de açúcar e etanol, o consumo de água específico na unidade de cogeração é pequeno comparado ao consumo total da usina. Como a maioria das usinas têm buscado minimizar o consumo de água em seus processos, o quantitativo de recurso hídrico utilizado para geração elétrica a partir do bagaço não tem sido expressivo.

Quanto à **geração de resíduos e efluentes**, é importante destacar que grande parte desses biocombustíveis tem origem residual e seu aproveitamento energético promove melhor gestão de resíduos e efluentes, que são temas críticos no país. Obviamente, é fundamental que os empreendimentos sigam as legislações e normativas para uma adequada gestão durante sua instalação e operação. Dessa forma, as interferências socioambientais mencionadas são consideradas pouco expressivas no contexto regional, o que não significa que não mereçam atenção no nível local.

A Tabela 11 apresenta a síntese da análise socioambiental das termelétricas renováveis do PDE 2034. Como pode ser observado, as interferências dessa fonte foram consideradas inexpressivas no contexto das regiões onde está prevista a expansão.

Tabela 11 – Síntese da análise socioambiental das usinas termelétricas renováveis do PDE 2034

| | Norte | Nordeste | Sul | Sudeste | Centro-Oeste |
|-----------------|---|----------------------------|----------------------------|---|---|
| UTEs renováveis | <input type="checkbox"/> interfe rências inexpressivas | não há projetos planejados | não há projetos planejados | <input type="checkbox"/> interfe rências inexpressivas | <input type="checkbox"/> interfe rências inexpressivas |

Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados a termelétricas renováveis

De forma geral, não são observados desafios socioambientais expressivos para o aproveitamento energético de biomassa agrícola e florestal, tampouco para os resíduos dessas atividades. Efeitos das alterações climáticas podem interferir na dinâmica territorial e comercial de produtos agrícolas e, consequentemente, na produção de culturas, afetando a oferta de bioenergéticos e, indiretamente, até de resíduos, como o bagaço de cana. Eventos extremos como chuvas intensas, geadas, ventos, dentre outros podem interferir tanto nos plantios, quanto na própria usina termelétrica, causando danos e/ou redução na eficiência dos equipamentos e infraestruturas associados.

Todavia, na expansão de termelétricas que utilizam matéria-prima dessa natureza, frequentemente, os desafios estão mais relacionados a questões econômicas e logísticas. Nesse contexto, o aproveitamento energético do bagaço de cana é uma exceção, por estar apoiado num ramo industrial consolidado que é o sucroalcooleiro, e não à toa representa a maior parte do montante de energia da expansão das

termelétricas renováveis. Todavia, outros resíduos da indústria sucroalcooleira, como a palha, a ponta e a vinhaça, ainda poderiam ser mais bem utilizados para geração de energia.

Diante dos pontos levantados acima, os principais desafios socioambientais para a expansão das termelétricas renováveis estão relacionados à **gestão eficiente dos resíduos** sólidos urbanos e dos efluentes domésticos.

Um melhor gerenciamento ambiental urbano, com foco na coleta, na destinação final adequada aos resíduos e na disposição final adequada apenas aos rejeitos favoreceria um aproveitamento energético mais eficiente, tanto por meio da recuperação de resíduos (incineração) quanto por meio da produção de biogás a partir de biodigestores utilizando a fração orgânica dos resíduos.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (Lei n. 12.305/2010, regulamentada pelo Decreto n. 10.936/2022) é o principal instrumento para o gerenciamento de RSU e traz como diretriz o incentivo ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético.

Quanto ao tratamento dos esgotos, observa-se que, em 2022, 52% dos esgotos gerados no país foram tratados (MCID, 2023). Os dados demonstram o expressivo potencial que existe para gerar biogás a partir do lodo de estações de tratamento de esgoto. No documento em revisão do Plano Nacional de Saneamento Básico³⁰ (Plansab), estão definidas ao menos duas estratégias voltadas para o aproveitamento energético do biogás, além de metas específicas para ampliar o aproveitamento energético do biogás e o tratamento e a recuperação energética dos rejeitos (MDR, 2019).

Por fim, deve-se lembrar da importância da Política Nacional de Educação Ambiental (BRASIL, 1999). A consciência e o envolvimento da sociedade sobre os resíduos gerados, bem como sobre os benefícios socioambientais do seu tratamento, de sua redução e reutilização é fundamental.

De forma resumida, pode-se concluir que, para viabilizar o aproveitamento energético de resíduos, há necessidade de superar importantes gargalos de infraestrutura existentes no país e promover uma gestão ambiental adequada. Além disso, a expansão energética a partir de resíduos é fortemente condicionada pela efetividade de políticas públicas e de controle. Outro ponto sempre apontado por agentes do setor, principalmente relacionados ao biogás, se refere ao acesso a recursos financeiros, o que pode se configurar como uma das barreiras mais relevantes para a difusão de tecnologias de biogás no país.

O Quadro 12 apresenta o principal desafio relacionado à expansão termelétrica renovável no PDE 2034 e as iniciativas e recomendações associadas.

Quadro 12 – Principais desafios e iniciativas socioambientais relacionados à expansão termelétrica renovável

| Desafio | Iniciativas | Recomendações |
|-------------------------------|---|---|
| Gestão eficiente dos resíduos | Política Nacional de Resíduos Sólidos | - Maior comprometimento público e privado com o saneamento e a gestão de resíduos |
| | Política Nacional de Saneamento Básico | - Maior sensibilização ambiental sobre a problemática de resíduos |
| | Política Nacional de Educação Ambiental | - Associar melhor gestão de resíduos à agenda climática |

Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão termelétrica renovável

Foram identificadas duas oportunidades socioambientais relacionadas à expansão termelétrica renovável: a geração de energia a partir de RSU, efluentes domésticos, resíduos agropecuários e florestais; e os instrumentos de descarbonização.

³⁰ O Plano consiste no planejamento integrado do saneamento básico considerando seus quatro componentes: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, coleta de lixo e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, e possui o horizonte de 20 anos (2014 a 2033). Foi aprovado pelo Decreto nº 8.141 de 20 de novembro de 2013 e pela Portaria Interministerial nº 571 de 05 de dezembro de 2013.

A principal oportunidade socioambiental é a **geração de energia a partir de RSU e efluentes domésticos**, visto que seu desenvolvimento proporcionaria significativas melhorias socioambientais. Hoje, em muitas localidades do país, resíduos sólidos urbanos (RSU) e efluentes representam problemas socioambientais críticos. A recuperação energética dos resíduos via incineração e a utilização da fração orgânica dos RSU e demais substratos para geração de biogás podem ser consideradas soluções eficientes para transformá-los em recursos energéticos e ajudar na promoção do saneamento no país e na melhor gestão de resíduos.

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos – Planares³¹ estima que 45% da composição gravimétrica dos RSU sejam de fração orgânica e praticamente toda a fração orgânica é encaminhada para aterros sanitários controlados ou lixões. A fração orgânica dos resíduos sólidos não é considerada rejeito e não deveria ser aterrada. Caso esses resíduos orgânicos fossem destinados aos biodigestores para a produção de biogás, seria possível também reduzir as áreas necessárias para aterros sanitários e ampliar sua vida útil, mitigar as emissões de GEE e reduzir os custos de manutenção de tais unidades (MMA, 2022).

Atualmente, a maioria dos projetos de geração a biogás em operação no país utiliza o gás de aterros sanitários para produção de energia, captando o gás metano. É importante ter projetos dessa natureza em aterros já existentes, porém é necessário estimular rotas tecnológicas levando-se em conta que a disposição em aterro sanitário deve ser a última opção. Uma destinação mais eficiente permitiria que fossem escolhidas rotas de produção de energia mais adequadas.

Como o Brasil é um país agroexportador, destaca-se também o potencial e os cobenefícios socioambientais do **aproveitamento energético de resíduos agropecuários e florestais**. Há uma diversidade de resíduos agropecuários que poderiam ser direcionados para geração de energia a partir do biogás, por exemplo. Os processos produtivos sempre promoveram a geração de grande quantidade de resíduos, que podem deixar de ser um problema e se tornar uma solução ambiental, social e econômica e ainda gerar energia mais limpa e renovável.

Especificamente na indústria sucroenergética, onde se concentra o maior potencial de geração de biogás no país (EPE, 2018a), a vinhaça é um resíduo importante devido aos grandes volumes gerados e seu manejo adequado evita a contaminação do meio físico. Atualmente, grande parte da vinhaça é usada para fertirrigação. Entretanto, aproveitá-la por meio da biodigestão anaeróbica, para produção de biogás, se apresenta como uma oportunidade ambiental, econômica e social. A utilização do biogás/biometano nos processos e na logística reduz a pegada de carbono dos produtos indústria sucroalcooleira. O potencial energético é tão considerável que já foi cunhado o termo “pré-sal caipira” para destacar sua relevância (BNDES, 2021).

Há também um potencial energético significativo a partir de biomassa residual oriunda de florestas, gerada nas atividades de manejo e processamento de madeira. O aproveitamento desse tipo de resíduo pode ser especialmente interessante para a região Amazônica, onde está a maior parte dos sistemas isolados, que são basicamente atendidos por termelétricas a óleo diesel. Segundo a EPE (2018b), nessa região esse potencial atinge 2,5 GW. Além de substituir o combustível fóssil, há possibilidade de agregar valor e promover a atividade de manejo florestal sustentável.

Nessa linha, o Instituto Escolhas (2020) destaca outra oportunidade de UTE renovável para a Amazônia, defendendo o biogás como solução energética para a região, principalmente para as cidades do interior e para as comunidades isoladas. O levantamento chegou a um potencial de produção de 136 milhões m³ de biogás por ano a partir de RSU e rejeitos da piscicultura em quatro estados da Amazônia.

Cabe citar ainda a importância e o ganho socioambiental da produção de biogás a partir de diferentes resíduos orgânicos utilizando biodigestores. Além de diminuir o envio desses componentes para aterros, é gerado o digestato, que é um rico biofertilizante. Seu uso como adubo pode reduzir ainda as emissões associadas à produção de fertilizantes fósseis, que hoje tem uso difundido no meio rural. De acordo

³¹ O Planares foi aprovado pelo Decreto n. 11.043/2022. O Plano representa a estratégia nacional de longo prazo para operacionalizar as disposições legais, princípios, objetivos e diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

com BNDES (2017), há um déficit estrutural na demanda por macronutrientes no mercado brasileiro decorrente da expressividade do agronegócio e das restrições estruturais da indústria de produção de fertilizantes no país. Neste sentido, o uso do digestato poderia ajudar a reduzir esse déficit e ainda ser mais uma fonte de receita dos modelos de negócio de produção de biogás a partir do uso de biodigestores.

O panorama de oportunidades para o aproveitamento de resíduos, sejam agrícolas ou urbanos, conta com uma conjuntura que incluem projetos, compromissos, planos e outros dispositivos legais voltados para o assunto. Além da PNRS e seus desdobramentos e o Novo Marco do Saneamento (Lei n. 14.026/2020), vale destacar outros recentes avanços no ambiente institucional.

A PNRS estabeleceu diretrizes que podem estimular o desenvolvimento do uso de resíduos para geração de energia, tais como a estruturação de sistemas para aumentar a recuperação de resíduos orgânicos, e o aumento da recuperação energética de resíduos. Adicionalmente, define metas diversas relacionadas ao manejo dos RSU. A PNRS também aborda como oportunidade a expansão das unidades de tratamento biológico de resíduos agrossilvopastoris, que permitirão a reciclagem da matéria orgânica para os solos e geração de biogás e biometano como fontes sustentáveis de combustível e energia (MMA, 2022).

O Plano ABC (Plano para Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) também incentiva projetos com biogás, mais diretamente por meio de ações relacionadas ao tratamento de dejetos animais. No ano de 2021, foi lançado o Programa ABC+, que estabelece metas de redução de emissões de GEE até 2030. O Programa consiste em uma linha de crédito dentro do Plano ABC com financiamentos via Plano Safra (MAPA, 2022).

Ainda é importante mencionar que o país se comprometeu, em 2021, com o Compromisso Global do Metano liderado pelos Estados Unidos e, com isso, terá que reduzir em 30% suas emissões de metano até 2030, tendo 2020 como linha de base (Global Methane Pledge, 2022). Com isso, esperam-se mais estímulos para projetos voltados para a captação de metano e a produção de biogás.

Como desdobramento do compromisso brasileiro, o Decreto n. 11.003/2022 instituiu a Estratégia Federal de Incentivo ao Uso Sustentável de Biogás e Biometano, que tem como objetivo incentivar programas e ações para reduzir as emissões de metano brasileiras, fomentar o uso do biogás e biometano como fontes renováveis de energia e combustível e contribuir para o cumprimento dos compromissos climáticos assumidos pelo país.

A Lei do Combustível do Futuro (Lei n. 14.993/2024) inclui o “Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano” (Brasil, 2024). O Programa tem como objetivo estimular a pesquisa, a produção, a comercialização e o uso do biometano e do biogás na matriz energética brasileira. O CNPE definirá metas anuais para redução da emissão de gases do efeito estufa pelo setor de gás natural por meio do uso do biometano. A meta entrará em vigor em janeiro de 2026, com valor inicial de 1% e não poderá ultrapassar 10% (Brasil, 2024).

Em outra escala, destaca-se o Projeto GEF Biogás Brasil, que é liderado pelo MCTI e tem o MME como parte de Comitê Diretor do Projeto. O Projeto, chamado Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira, busca promover a energia de biogás e o fortalecimento da cadeia nacional de valor da tecnologia de biogás (GEF Biogás Brasil, 2024).

Finalmente, dada a sua natureza, os projetos de termelétricas renováveis são fortes candidatos para a emissão de créditos de carbono a partir de [Instrumentos de descarbonização](#). Nesse contexto, os Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas serão importantes para direcionar a implantação de medidas de redução de emissões de GEE.

O setor de energia está elaborando o seu plano de mitigação no âmbito do processo do Plano Clima (2024-2035), instrumento que guiará a política climática brasileira com estratégias nas dimensões de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. (MMA, 2024).

A regulamentação de um mercado de carbono também se apresenta como um instrumento importante nessa temática. As discussões sobre a implementação de um Sistema Brasileiro de Comércio de

Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE) estão avançando. Em 2023, foi criado um Grupo Técnico de Natureza Temporária, para elaborar uma proposta de regulamentação e implementação do SBCE (Resolução CIM, n. 2/2023) e aprovado, na Câmara dos Deputados, o Projeto de Lei que cria o SBCE (PL n. 2.148/2015), devendo ser avaliado no Senado Federal.

Além disso, o uso de bioenergéticos possibilita arranjos tecnológicos interessantes, como os BECCS (Bioenergy with carbon capture and storage), que associam a energia da biomassa à captura e ao armazenamento de carbono. O uso dessa tecnologia pode ser importante para gerar emissões líquidas negativas e contribuir para a trajetória de mitigação brasileira, considerando ainda que o País conta com vantagens competitivas no desenvolvimento de projetos de BECCS.

Há ainda mecanismos de caráter voluntário, como a certificação de energia renovável, por exemplo, os RECs³². As usinas de biogás podem solicitar a certificação GAS-REC, que rastreia, pela cadeia de fornecimento, o biogás ou o biometano produzido e os certificados podem ser comercializados com consumidores finais. Para o futuro é esperada demanda crescente por esse tipo de instrumento à medida que as empresas, de forma geral, vêm apresentando metas voluntárias de redução de emissões.

É importante ressaltar o novo contrato para gestão de recursos do Fundo Clima, gerido pelo BDNEs. As modalidades passíveis de financiamento estão divididas em seis linhas, sendo a transição energética uma delas. Nela estão previstos investimentos em atividades como coprocessamento e conversão de biomassa e resíduos em energia, dentre outras (MMA, 2024b).

O Quadro 13 resume as principais oportunidades relacionadas à expansão termelétrica renovável no PDE 2034 e a conjuntura favorável para aproveitar as oportunidades identificadas.

Quadro 13 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionados à expansão termelétrica renovável

| Oportunidades | Conjuntura favorável |
|--|---|
| Geração de energia a partir de RSU, efluentes domésticos, resíduos agropecuários e florestais | <ul style="list-style-type: none">- Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)- Marco do Saneamento Básico - Lei n. 14.026/2020- Decreto n. 11.003/2022 - Estratégia Federal de Incentivo ao Uso Sustentável de Biogás e Biometano.- Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares)- Compromisso Global do Metano- Plano ABC- Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano (Lei Combustível do Futuro) |
| Instrumentos de descarbonização | <ul style="list-style-type: none">- Plano Clima- Certificados de energia renovável (GAS-REC) |

Indicadores socioambientais da expansão termelétrica renovável

Do ponto de vista socioeconômico, deve-se observar a geração de emprego e renda com crescimento da economia local, especialmente quando os empreendimentos são instalados em regiões pouco desenvolvidas, como no meio rural. Com a expansão prevista no decênio, estima-se a geração de aproximadamente 13.500 empregos diretos na construção de UTEs renováveis. A Tabela 12 apresenta os principais indicadores socioambientais da expansão de termelétricas renováveis.

³² Certificados de Energia Renovável do I-REC Service, que é um sistema global projetado para contabilizar carbono. Uma empresa que deseja ser emitente de certificados de energia renovável (RECs) passa por uma auditoria documental pelo emissor local (Instituto Totum, 2022).

Tabela 12 – Indicadores socioambientais da expansão termelétrica renovável

| Indicadores Socioeconômicos | |
|---|--------|
| Média de empregos diretos gerados na construção por potência (emprego/MW) | 5,6 |
| Total de empregos diretos gerados na construção | 12.700 |

Nota: Cálculo dos empregos baseado nas previsões informadas no cadastramento dos empreendimentos participantes dos Leilões de Energia Elétrica do Ambiente de Contratação Regulada – ACR. O conjunto considerado foi dos empreendimentos contratados e da expansão indicativa do horizonte decenal do PDE 2034.

4.5 Eólicas

Benefícios das eólicas

- A energia eólica é **renovável**.
- **Não emite gases poluentes ou de efeito estufa** em seu processo de geração de energia elétrica¹.
- **Permite que os terrenos dos parques eólicos tenham outros usos**, tais como a agricultura e a pecuária.
- Gera **empregos diretos**², especialmente durante a construção. Há efeitos positivos também sobre os **empregos indiretos** e sobre empresas pequenas e médias, efeitos que podem durar até dois anos após a implantação de parques eólicos nos municípios, trazendo maior **dinamismo à economia local**. Além disso, já foi demonstrado incremento significativo, de cerca de 20%, no PIB (entre 1997 e 2017) e no IDH-M (entre 2000 e 2010) nos municípios com parques eólicos em relação a municípios sem parques do mesmo estado, ou seja, **evolução no orçamento municipal e nas condições de saúde, educação e renda** impulsionados pela presença dos parques³. Estudo recente demonstrou que o incremento no número de trabalhadores em municípios com parques eólicos em relação a municípios sem parques eólicos do mesmo estado foi de 12,8 empregados, que representa 52%, ou 0,25 empregos/MW, nove meses após o comissionamento. Esses números foram considerados muito baixos pelos autores. Por outro lado, esse mesmo trabalho demonstrou que a adição ao PIB municipal girou em torno de 12% no primeiro ano de comissionamento, podendo atingir 18% após cinco anos de comissionamento⁴.
- Apesar de possuir um perfil de geração variável, a exploração da energia eólica no Brasil tem contribuído de forma relevante para a **segurança operativa do SIN**, na medida em que sua geração reduz a necessidade de uso dos reservatórios hídricos e de acionamento de usinas térmicas nos períodos de hidrologia desfavorável. Por exemplo, sua contribuição para o Subsistema Nordeste entre julho e setembro de 2022 foi maior que 60% da carga em mais de 90% do tempo⁵. A variabilidade da fonte eólica pode ser atenuada pela dispersão geográfica dos parques, já que apresentam diferentes regimes sazonais e horários de vento, aumentando a estabilidade da geração eólica⁶.
- As usinas eólicas, em especial aquelas localizadas na região Nordeste, proporcionam **complementariedade com a geração hidráulica**, devido às condições favoráveis de geração de energia no período considerado seco para o SIN.

¹ Para o ano de 2021, o montante valorado de emissões evitadas com a geração de energia eólica no Brasil chegou a 0,11% do PIB brasileiro, ou R\$ 9,7 bilhões (Borges, 2022).

² Os empregos da cadeia eólica estão em sua maioria na região Nordeste e poderão alcançar, nessa região, 85% da manutenção e 60% da fabricação nacionais. Nota-se um perfil técnico dos empregados da cadeia, com 60% com nível médio de formação, o que demonstra a importância do ensino técnico. As mulheres representam pelo menos 20% dos empregos da cadeia eólica, com participação crescente (Cognitio/GIZ, 2020). Também se observa aumento da massa salarial nos setores de construção, transporte e logística (Rodrigues et al., 2019).

³ Simas e Paca (2014); Gonçalves et al. (2020); GO Associados (2020). ⁴ Scheifele e Popp (2024). ⁵ONS (2024). ⁶EPE (2024a).

Parque eólico atual

Trata-se da fonte renovável que mais tem crescido no Brasil, alcançando o patamar de segunda maior fonte geradora de energia na matriz elétrica brasileira (EPE, 2024b). Esse crescimento reflete a participação da fonte em 25 leilões de energia entre os anos de 2009 e 2024. Atualmente o país dispõe de 1.054 parques eólicos em operação distribuídos em 145 municípios localizados, predominantemente, nas regiões Nordeste (90%) e Sul (9,5%) do país, totalizando **30.957 MW de potência instalada** (ANEEL, 2024).



Expansão eólica nos próximos 10 anos

A expansão eólica no PDE 2034 é relativa somente a projetos *onshore* e prevê-se a inserção de **15.504 MW** adicionais de potência, havendo expansão contratada até o ano de 2026. Para o primeiro ciclo do horizonte decenal, está prevista a instalação de **45 novos parques eólicos**, que adicionarão 2.404 MW ao sistema. Destaca-se que a maior parte desta potência contratada está concentrada em parques localizados nos estados da região Nordeste, sendo previstos apenas três para a região Sul. Entre 2027 e 2034 está prevista ainda **expansão indicativa de 13.100 MW também no subsistema Nordeste**. A Figura 15 apresenta a localização dos parques eólicos contratados no horizonte decenal, assim como a representação da área com previsão da expansão indicativa.



Figura 15 – Localização da expansão eólica no PDE 2034

Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão eólica

As principais questões ambientais associadas a projetos eólicos estão normatizadas pela Resolução Conama n. 462/2014, conferindo maior previsibilidade ao licenciamento ambiental desses empreendimentos. O cumprimento das especificações trazidas por essa normativa, tanto pelos órgãos ambientais responsáveis pelo licenciamento, como por parte dos empreendedores, possui potencial para reduzir os impactos ambientais causados por esses projetos, além de apontar para os principais desafios relacionados a sua gestão ambiental. Portanto, a aplicação prática dessa resolução deve ser continuamente incentivada.

Apresentam-se, a seguir, as principais interferências associadas à fonte eólica, e as medidas mitigadoras adotadas. O levantamento das medidas mitigadoras foi realizado com base nas condicionantes de licenças ambientais emitidas por órgãos ambientais da região Nordeste para parques eólicos cadastrados nos leilões de energia em 2019, 2020, 2021 e 2022, uma vez que 42 dos 45 parques são previstos para esta região, onde já está localizada a grande maioria dos parques existentes.

As interferências sobre a avifauna estão entre as principais preocupações ambientais associadas a parques eólicos. Segundo ICMBio (2022), os parques eólicos representam vetores de ameaça a oito das

nove espécies de aves migratórias ameaçadas de extinção no Brasil. Os processos impactantes diretos incluem a alienação (deixar de usar a área do empreendimento), a perda de hábitat, o efeito de barreira, a eletroplessão³³ e a colisão, enquanto os indiretos compõem a alteração do habitat (perturbações, aumento de caça e introdução de espécies exóticas invasoras), a cascata trófica (alteração na disponibilidade de presas) e a poluição (luminosa e sonora), além dos impactos cumulativos. Esse mesmo relatório lista uma série de medidas mitigadoras para cada um desses impactos e por fase do empreendimento, ressaltando que o planejamento da locação é fundamental para reduzi-los, especialmente com o aumento das dimensões dos aerogeradores. A tendência de instalação de parques em serras (OLIVEIRA, 2021) também demandam maior cuidado em definir a disposição dos aerogeradores, para minimizar o risco de colisão (ICMBIO, 2022).

Os padrões de risco de colisão de aves com aerogeradores resultam de uma interação entre as características das espécies, do local e do parque eólico e, por isso, a melhor opção para mitigação deve envolver mais de uma medida (MARQUES *et al.*, 2014). Thaxter *et al.* (2017) demonstraram que espécies de aves migratórias e que utilizam habitats abertos (urbano, rural ou campos naturais) possuíram maiores taxas de colisão com aerogeradores que as demais espécies. Em trabalho recente, Garvin *et al.* (2024) demonstraram que a altura total do aerogerador, o diâmetro do rotor e a potência (MW) influenciaram diferentemente as taxas de fatalidade e a distribuição das carcaças de duas espécies de aves (um gavião e um passeriforme) e um morcego. Ou seja, são necessários estudos locais para entender melhor os padrões e estabelecer medidas mitigatórias mais eficazes.

Um trabalho desenvolvido por Falavigna *et al.* (2017), com base nas características das espécies presentes na região do Complexo Eólico Osório (RS), propôs um índice de risco de colisão das aves, que pode orientar medidas mitigadoras. Recomenda-se aos órgãos estaduais de meio ambiente que seja observada a Resolução Conama n. 462/2014, que propõe que sejam realizados EIA para parques eólicos localizados em ambientes sensíveis, de modo a melhorar o dimensionamento dos impactos e, consequentemente, a proposição de medidas de controle, mitigação e compensação. Além disso, é fundamental monitorar carcaças encontradas na fase de operação e a partir de protocolos estabelecidos com universidades ou institutos de pesquisa.

A incidência de morte por barotrauma³⁴ em morcegos, particularmente sobre as espécies insetívoras, que capturam seu alimento durante o voo, e sobre as migratórias, também é um dos impactos comumente relatados para parques eólicos. Estudos na América Latina econtraram taxas de fatalidade variando entre 2 e 57 indivíduos/MW/ano (BARROS, 2019; AGUDELO *et al.*, 2021). O desligamento das turbinas sob demanda é uma medida mitigadora que já se mostrou eficaz, por exemplo, Voigt *et al* (2022) verificaram a ocorrência de 39 mortes de morcegos/MW em dois meses em parques eólicos antigos na Alemanha que não adotavam essa medida, corroborando a importância de tal medida para a conservação desses animais. De fato, as medidas operacionais adotadas para evitar o barotrauma em morcegos possuem evidências de sua efetividade. Numa busca no banco de dados Conservation Evidence pelo termo “wind”, as únicas medidas que retornaram como efetivas e benéficas para morcegos foram: i) utilizar mecanismo que evite que as turbinas rodem abaixo da velocidade mínima de operação (travas ou inclinação das pás para que fiquem paralelas à direção do vento); e ii) aumentar a velocidade mínima de operação das turbinas (*cut-in speed*) - 10 estudos científicos nos EUA e Canadá demonstraram até 75% de redução nas taxas de fatalidades de morcegos usando uma dessas medidas ou ambas combinadas (CONSERVATION EVIDENCE, 2024). No Brasil, têm sido utilizados equipamentos acústicos e sensores de ultrassom para detecção da presença de morcegos no entorno dos aerogeradores e subsidiar medidas mitigadoras (VESTAS, 2022).

³³ Morte em consequência de descarga elétrica.

³⁴ Trauma interno devido à alteração de pressão causada pela rotação das lâminas dos aerogeradores. Os morcegos possuem mecanismos internos para evitar choques com as pás, mas não conseguem detectar mudanças de pressão repentinas em torno da turbina. Ao mesmo tempo, são suscetíveis a hemorragias internas causadas por aumento de pressão nos pulmões, o que pode ser fatal. Aves, que têm pulmões mais rígidos e robustos, não passam pelo mesmo trauma em caso de uma alteração repentina de pressão (BBCBrasil.com | Reporter BBC | Turbinas eólicas causam hemorragia em morcegos, diz estudo).

Por outro lado, a obrigatoriedade de preservação de cavernas no processo de licenciamento, estabelecida pela Resolução Conama 347/2004, auxilia a conservação de espécies de morcegos ameaçadas de extinção, no entorno dos parques eólicos. Por sua vez, os morcegos desempenham papel fundamental na conservação da comunidade troglóbia (que habita cavernas), pois são a principal fonte de energia para o ecossistema das cavernas, se alimentando no exterior e defecando no interior desses ambientes (BENTO, 2023).

O maior número de espécies de morcegos ameaçadas de extinção no Brasil ocorre na região Nordeste e o licenciamento estadual necessita de diretrizes mais robustas para uma avaliação de impactos mais adequada sobre os morcegos (BARROS e BERNARD, 2019; ICMBIO, 2022). Pereira *et al.* (2017) propõem um modelo colaborativo para a elaboração de orientações para estudos sobre morcegos durante as fases de pré-instalação, construção e operação de parques eólicos. E Voigt *et al.* (2024) ressaltam a importância de combinar várias ações e atores em prol da efetividade da mitigação de impactos de eólicas sobre morcegos: adotar medidas mitigadoras e compensatórias, guias de boas práticas, regulamentação governamental, orientações por instituições internacionais de conservação e referências de conformidade por instituições financeiras.

Devido à **interferência na fauna**, o tema **Biodiversidade** foi destacado para a expansão eólica na região Nordeste. Pôde-se observar que os órgãos ambientais brasileiros, em geral, solicitam que sejam realizados programas de monitoramento e resgate de fauna durante a operação dos parques eólicos. Alguns órgãos solicitam ainda que sejam feitos levantamentos de espécies previamente à instalação, além de indicar maior distanciamento entre os aerogeradores e destes em relação aos locais de relevância para a fauna.

A supressão de vegetação nativa é uma questão importante quando se trata de projetos eólicos, especialmente por conta da necessidade de abertura de estradas na fase de instalação desses empreendimentos, assim como para a construção de vias de acesso entre os aerogeradores. Na região Nordeste, esta questão se torna ainda mais delicada devido à quantidade de parques eólicos e suas interferências diretas sobre as diferentes fisionomias vegetais encontradas na região, além da instalação de projetos eólicos em unidades de conservação de uso sustentável. As condicionantes das licenças ambientais frequentemente exigem o resgate de flora, o controle do desmatamento durante a instalação (buscando respeitar as áreas de preservação permanente) e a condução de Programas de Recuperação de Áreas Degradadas e de Reposição Florestal.

A perda de habitat para espécies da fauna com a supressão da vegetação é abordada pelas condicionantes supramencionadas com propostas de Planos de conservação direcionados a espécies raras, endêmicas, ameaçadas ou de interesse cultural (como *Zenaida auriculata*, avoante, no Nordeste).

Tomando como referência o cenário de expansão contratada para a fonte eólica, observa-se que a maior parte da expansão ocorrerá em regiões do semiárido nordestino, locais predominantemente formados por vegetação xerófila típica da Caatinga, bioma rico em biodiversidade e ameaçado pelo desmatamento (MMA, 2024a). É preocupante perceber que há sobreposição da expansão eólica com Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade (APCBs) na Caatinga, de muito alta e extremamente alta prioridades de ação (NERI *et al.* 2019), o que demonstra a necessidade urgente de planejamento territorial nesse bioma. Também em relação aos impactos de eólicas sobre a biodiversidade desse bioma, o Plano de Ação Nacional para Conservação das Aves da Caatinga (ICMBio, 2024) possui ações que buscam indicar áreas que devem ser evitadas para implantação de empreendimentos eólicos e de linhas de transmissão de energia elétrica, com vistas à conservação das aves, em especial da arara-azul-de-lear (*Anodorhynchus leari*), espécie criticamente ameaçada de extinção.

Onças também sofrem interferência de parques eólicos, com alterações nas suas áreas e condições de vida causadas pela perda e fragmentação de hábitat (diminuição das fontes de água), pelo efeito barreira ocasionado pelos aerogeradores (aumento do gasto energético, num caminho mais longo para contornar o parque) e por distúrbios durante a construção (afugentadas para áreas com gado, são mortas por pecuaristas) (ESTEVES, 2024). Portanto, também destacam-se as interferências **perda e alteração de habitat** e **interferência em UC** igualmente associadas ao tema **Biodiversidade**. Em relação aos três

projetos previstos para a região sul, cabe destacar que o estado do Rio Grande do Sul possui critério de enquadramento para o licenciamento ambiental, que foi elaborado com base no mapeamento de sensibilidades de fatores físicos e bióticos (CONSEMA, 2020). Nesse sentido, os três projetos estão localizados em região eólica de baixa sensibilidade e para qual é prevista a elaboração de Relatório Ambiental Simplificado (RAS). Estes projetos estão localizados próximos a um parque natural do Uruguai (0 a 6 km, aproximadamente), no entanto, diante do montante total da expansão, as interferências regionais foram consideradas inexpressivas no contexto deste PDE.

Bennun et. al. (2021) propuseram medidas mitigadoras de impactos sobre a biodiversidade para as fases de: desenho de projeto (evitar locais de sensibilidade para alocação do projeto e da linha de transmissão, bem como sinalizá-la ou implantar linhas subterrâneas), construção (ex: ajustar o cronograma das atividades para evitar distúrbios em períodos sensíveis), operação (ex: desligamento sob demanda para minimizar risco de colisão) e descomissionamento (ex: recomposição da vegetação com espécies nativas). Segundo esses autores, a prevenção da instalação em locais de alta sensibilidade deve ser guiada por um planejamento territorial que, por sua vez, pode ser informado por um processo de Avaliação Ambiental Estratégica (AAE).

Impactos visuais sobre a paisagem são comumente descritos nos estudos ambientais de empreendimentos eólicos, sendo frequente encontrarem-se diferentes percepções quanto à sua natureza (positiva ou negativa) (ESPÉCIE *et al.*, 2018). Condicionantes associadas à mitigação desse impacto foram pouco frequentes nas licenças pesquisadas. Nos casos verificados, foi estabelecida vedação de instalação dos aerogeradores, e demais obras de infraestrutura, sobre dunas, em banhados, nas proximidades de praias e em outras áreas consideradas de interesse. O **impacto visual na paisagem** sobre o tema **Paisagem** foi considerado relevante para o Nordeste numa perspectiva de cumulatividade com os parques existentes.

Nos últimos anos, vêm sendo levantadas preocupações com as interferências da implantação dos empreendimentos eólicos nos **modos de vida de comunidades locais**. Dentre as situações que merecem destaque está a do impedimento do acesso e uso de áreas que, antes da implantação dos parques, eram utilizadas pela população local em sua busca de recursos para subsistência e lazer. Nas faixas litorâneas do Nordeste, alguns estudos apontam que pescadores artesanais tiveram suas atividades prejudicadas por restrições aos acessos que anteriormente eram utilizados como caminho à praia (SILVA, 2014; ARAÚJO, 2015; GÊ *et al.*, 2019). Gorayeb *et al.* (2016) indicam que essa dificuldade também vem sendo observada no acesso às lagoas interdunares que, por terem sido parcialmente aterradas, deixaram de ser os locais preferenciais de pesca dos moradores dessas comunidades nos meses em que a pescaria em alto mar não poderia ser realizada.

Processo semelhante também tem sido observado no interior do Nordeste, onde já havia conflitos antes mesmo da chegada dos parques eólicos, sobretudo com relação à disputa por terras e regularização fundiária. Por exemplo, com a implantação de parques eólicos em terras devolutas do norte da Bahia, houve registro do surgimento de novos conflitos por terra, uma vez que algumas áreas passaram a ser ocupadas e cercadas, em alguns casos, por grileiros visando ao seu posterior arrendamento (BASTOS, 2017). Tal ocorrência tem causado o impedimento do acesso dos moradores da região às áreas antes utilizadas para a atividade agropastoril, coleta de frutos e lenha, além do acesso à água.

Brannstrom *et al.* (2017) alertam que impactos diretos e de restrição de acesso a ambientes ou recursos naturais utilizados por comunidades locais tendem a criar conflitos que podem se transformar em desafio político mais amplo para o desenvolvimento contínuo da energia eólica. Dentre os 45 projetos eólicos que fazem parte da expansão contratada, a maior parte será instalada em municípios do interior da Bahia (27 parques) e no Rio Grande do Norte (11 parques), estados que já possuem parques eólicos em operação, alguns deles em locais onde já houve registro de conflitos como os citados nos parágrafos anteriores. Também são previstos projetos eólicos para municípios nos estados da Paraíba (3) e Piauí (1). Por conta de possíveis interferências na dinâmica territorial e nos modos de vida de populações locais, o tema **Organização Territorial** também foi considerado relevante para a expansão eólica neste ciclo, para

a região Nordeste. Para a região Sul, não foram identificadas interferências regionais relevantes, devido ao distanciamento dos três parques eólicos previstos em relação aos núcleos habitacionais (> 30 km).

Para mitigação dos impactos nos aspectos socioeconômicos, as condicionantes de licença prévia no Nordeste exigem a execução de vários programas, como os Programas de Comunicação Social e de Educação Ambiental. Menos frequentemente, também são solicitados Programas de Responsabilidade Social que podem tratar, por exemplo, da capacitação de mão-de-obra local, da garantia de acesso a locais relevantes para as comunidades, além de apoio a arranjos produtivos locais e parcerias público-privadas que visem à preparação da municipalidade para lidar com o aumento populacional relacionado à chegada dos novos projetos. Outras ações de responsabilidade social também são desenvolvidas por iniciativa das empresas, como descrito no item a seguir (Desafios, iniciativas e recomendações). Durante o Brazil Windpower 2023 (Congresso O&M), foram apresentados aprimoramentos nos processos de licenciamento ambiental dos estados da Paraíba, do Rio Grande do Norte e do Maranhão: maior diálogo com as comunidades; consulta livre, prévia e informada; novas resoluções; proximidade com órgãos intervenientes e zoneamento ecológico-econômico.

A geração de ruído (durante as obras e na operação) e sombreamento são interferências abordadas por alguns órgãos ambientais por meio da solicitação de distanciamento entre os aerogeradores e residências ou de edificações de permanência prolongada (unidades de saúde e escolas) e de programas de controle e monitoramento de ruído. A poluição sonora continua sendo apontada como um dos impactos locais dessa tipologia de empreendimento (ACTIONAID et al, 2024), apesar de toda evolução observada na tecnologia e *design* dos motores ao longo do tempo (DESHMUKH et al, 2019). Embora o atendimento à Resolução Conama n. 462/2014 tenda a evitar ou minimizar essa interferência, posto que estabelece e detalha os índices de ruído para empreendimentos instalados a menos de 400 m de distância de residências, o setor deve buscar novas estratégias para a mitigação desse impacto visando estabelecer o conforto acústico das comunidades localizadas no entorno de parques eólicos, já que quanto maior a turbina, mais distantes elas devem estar das residências (RODRIGUEZ, 2019). Portanto, sugere-se um contínuo aprimoramento tecnológico e do planejamento na alocação dos parques, tendo em vista evitar a poluição sonora. Nesse sentido, foi instituída a Comissão de Estudo Especial de Energia Eólica da Associação Brasileira de Normas Técnicas, que inclui a normalização de sistemas de controle e segurança e aspectos ambientais (ABNT, 2024).

O Diagnóstico Participativo e cartografia Social Costeira do Ceará, publicado recentemente, indica que os sistemas ambientais costeiros onde ocorrem mais conflitos com parques eólicos são as dunas e praias, reiterando os ruídos e bloqueios de acesso como os impactos que mais se destacaram. Especificamente para o município de Paraipaba, não foram observados conflitos com parques eólicos, o que foi atribuído à existência de Lei Municipal que determina que a instalação de eólicas deverá observar a distância mínima de 2.000 m da linha de preamar. Também foi apontada pelo estudo a possibilidade de melhoria de vida na Costa Leste do Ceará a partir da geração de emprego e renda associada aos parques eólicos, com a ressalva de que “*as atividades devem garantir a boa convivência com as comunidades do entorno e o total cumprimento das legislações ambientais*” (CEARÁ, 2024).

Ainda, foi realizado um estudo recentemente no Piauí sobre a percepção dos impactos dos parques eólicos numa comunidade onde 30 residências estavam a menos de 400 m de aerogeradores. As respostas aos questionários aplicados revelaram que havia demanda por maior acesso à informação, melhores condições de participação nas decisões e transparência no processo de implantação dos parques e por compensação adequada às interferências percebidas (ARAÚJO e GORAYEB, 2023).

Tabela 13 - Síntese da análise socioambiental das usinas eólicas do PDE 2034

| | Norte | Nordeste | Sul | Sudeste | Centro-Oeste |
|---------------|----------------------------|--|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Eólica | não há projetos planejados |  biodiversidade  org. territorial  paisagem | Interferências inex-pressivas | não há projetos planejados | não há projetos planejados |

O Quadro 14 resume as principais interferências relacionadas à expansão eólica no PDE 2034; os temas socioambientais associados a essas interferências, conforme metodologia da análise socioambiental integrada do PDE 2024; a justificativa pela inserção da interferência na região na qual está prevista a expansão e, por último, as medidas mitigadoras relacionadas às interferências listadas. Para esta fonte, as medidas mitigadoras listadas foram baseadas nas condicionantes de licenças ambientais emitidas para parques eólicos cadastrados nos leilões de energia realizados em 2019, 2020, 2021 e 2022.

Quadro 14 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão eólica

| Interferência | Tema | Região e justificativa | Medidas mitigadoras |
|---|--|--|---|
| Interferência na fauna, perda e alteração de habitat interferência em UC | biodiversidade  | NE: interferência sobre a fauna e vegetação nativa, no litoral e interior | - Programas de Monitoramento - Programas de Recuperação de Áreas Degradas e de Reposição Florestal |
| Impacto visual na paisagem | paisagem  | NE: interferência cumulativa com os projetos existentes | - Conservação de áreas de interesse |
| Alteração do modo de vida das comunidades locais | organização territorial  | NE: restrição de acesso a ambientes ou recursos naturais, no interior e no litoral | - Comunicação Social e Educação Ambiental - Manutenção de acessos pré-existentes |

Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão eólica

Deve ser incentivado aprofundar o conhecimento relacionado às espécies de aves e morcegos que habitam a região dos empreendimentos eólicos, desde a etapa do planejamento, como forma de subsidiar a adoção das medidas mais adequadas para evitar, mitigar e compensar os impactos comumente associados a esses projetos. Dentre as estratégias adotadas no contexto internacional para evitar colisões de aves com aerogeradores, têm-se a instalação de radar para rastreamento de bandos de aves migratórias, a fim de permitir paradas programadas dos aerogeradores (STRIX, 2022; IDENTIFLIGHT, 2024). Também tem sido realizado mapeamento de sensibilidades das aves à presença de aerogeradores e linhas de transmissão e de distribuição, para contribuir com o planejamento da alocação de novos parques e para a mitigação de impactos dos parques existentes (AVISTEP, 2022; GAULD *et al.*, 2022).

A minimização dos impactos da supressão da vegetação nativa sobre a fauna tem sido preocupação de algumas empresas na instalação de parques no Nordeste (p.e., IBERDROLA, 2020). No contexto regional, a expansão da fonte, somada aos parques eólicos já existentes, tem despertado a atenção sobre os possíveis efeitos cumulativos e sinérgicos na perda do habitat utilizado para nidificação pela avoante (*Zenaidura auriculata*, espécie de ave migratória), em decorrência da supressão de vegetação provocada pela concentração de parques eólicos no semiárido do Rio Grande do Norte (SANTOS e MILLER, 2018). Esta espécie tem sido monitorada pelo Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Aves Silvestres (Cemave/ICMBio), que realizou uma ação de monitoramento de colônias reprodutivas em março de 2023, tendo quantificado, inclusive, colisões com aerogeradores e linhas de transmissão (ICMBio, 2023).

O bioma Caatinga contém ecossistemas não florestais cuja conservação já foi apontada como negligenciada (OVERBECK *et al.*, 2015). Teixeira et al (2021) verificaram que somente 8 % da Caatinga era legalmente protegida em unidades de conservação (UCs) e apenas 1,3 % em UCs de proteção integral, categoria mais restritiva quanto ao uso dos recursos naturais. A baixa capacidade de regeneração da vegetação xerófita, quando comparada aos demais tipos vegetacionais, é fator que amplia os desafios relacionados à gestão ambiental dos impactos causados por projetos eólicos instalados nessas localidades. Esforços para conservação da caatinga têm sido empenhados nos últimos 10 anos por pesquisadores da UFRN, podendo ser citado projeto de restauração de áreas degradadas, utilizando novo método de desenvolvimento de mudas antes do plantio (GANADE, 2023).

Quanto à cumulatividade, é recomendável aprimorar os estudos de licenciamento para que não negligiem esse atributo de impacto ambiental (ESPÉCIE *et al.*, 2018). A elaboração de estudos regionais que avaliem as eventuais cumulatividades e sinergias entre os projetos também é recomendada. Essas preocupações compõem o desafio de **compatibilizar a geração de energia com a conservação da biodiversidade**, ao qual o setor eólico responde com as iniciativas mencionadas anteriormente.

Segundo o Global Wind Report (GWEC 2024), dentre os maiores desafios transversais para a expansão da fonte eólica no mundo estão: “andamento das autorizações” (no curto prazo, de cinco anos) e “aceitação social” (no longo prazo, para além de 10 anos).

Em relação ao desafio da **responsabilidade social** que se impõe ao setor, nos últimos três anos tornaram-se frequentes reportagens sobre conflitos entre empreendimentos eólicos e comunidades locais. Nesse mesmo sentido, quatro organizações civis se reuniram para traçar o Plano Nordeste Potência. Seu objetivo é o de *“promover debate público sobre a recuperação econômica pós-pandemia no Nordeste sob bases verdes, justas e inclusivas, em um sistema que traga benefícios para todos os estratos da sociedade”* (CBC *et al.*, 2023). O Plano se baseia em documentos, estudos e oficinas para, a partir desses insumos técnicos, apresentar *“recomendações para promover a economia regenerativa e inclusiva”*. O Relatório Técnico “Aspectos Jurídicos da Relação Contratual entre Empresas e Comunidades do Nordeste Brasileiro para a Geração de Energia Renovável: o caso da energia eólica” é um exemplo desses documentos e apresenta um mapeamento sobre contratos celebrados com pequenos proprietários da região rural do Nordeste para instalação de torres de energia eólica e linhas de transmissão de energia (INESC 2023). Como resultado, propõe seis recomendações de salvaguardas para as comunidades na relação contratual com empresas de energias renováveis: i) discriminação legal dos instrumentos contratuais aplicáveis; ii) instituição de um patamar mínimo de salvaguardas contratuais; iii) instituição de meios de acompanhamento e fiscalização das negociações; iv) criação de mecanismos de arbitragem que facilitem a revisão de cláusulas contratuais; v) maior fiscalização por parte do órgão regulador; e vi) reforço na atuação do Ministério Público.

Outro estudo apoiado pelo Plano resultou no relatório Salvaguardas Socioambientais para a Energia Renovável, elaborado por um grupo composto por comunidades afetadas por empreendimentos eólicos e linhas de transmissão da região Nordeste, suas assessorias e pesquisadores do tema (ACTIONAID *et al.* 2024). As salvaguardas refletem demandas das comunidades locais e propostas para soluções de problemas vivenciados, a saber:

- Implementar mecanismos de **ordenamento territorial** para evitar impactos sobre áreas importantes para as comunidades locais. Nesse âmbito, foram recorrentes os termos “definição locacional”, “áreas de exclusão” e “Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE)”;
- **Informação, comunicação e participação das comunidades** em todas as fases dos projetos (planejamento, instalação e operação). Nesse sentido, a Cartografia Social foi citada diversas vezes no documento como um método a ser utilizado nos estudos e análises das características socioeconômicas e culturais das regiões de implantação dos empreendimentos;

- Algumas salvaguardas refletem a **insatisfação com o licenciamento ambiental**, por deixar de abordar questões importantes para as comunidades (destacando-se possível insuficiência da mitigação de impactos e possível insuficiência dos Relatórios Ambientais Simplificados - RAS);
- Preocupação com os **impactos ambientais** e suas medidas mitigadoras, tendo sido os mais citados: poluição luminosa e particulada, efeito de ruído e infrassom, riscos aos recursos hídricos, impacto visual/paisagem, pequeno distanciamento entre aerogeradores/LTs e as moradias e locais de trabalho e compensação de impactos;
- **Contratos pelo uso da área** que sejam **justos** no que se refere a: remuneração justa, transtornos à vizinhança, vedação à renovação automática, renegociação com herdeiros, subarrendamento, paralisação do aerogerador, poluição, descomissionamento, sigilo, impostos, danos à saúde;
- Conformidades socioambientais do empreendedor como condição para concessão/renovação de **outorgas** pela Aneel;
- Ações de **prevenção e tratamento de casos de assédio e violência** contra a população local, incluindo a revogação da outorga em casos de descumprimento.

Em resposta às demandas da sociedade por uma melhor comunicação com o poder público sobre impactos e conflitos associados aos empreendimentos de energia renovável no Nordeste, foi estabelecida, em setembro de 2023, a Mesa de Diálogo "Energia Renovável: direitos e impactos" (BRASIL 2023), que já realizou reuniões para ouvir comunidades nos estados de Pernambuco, Paraíba (em outubro de 2023), Ceará (em março de 2024) e Rio Grande do Norte (em maio de 2024). O Ministério de Minas e Energia (MME) também vem promovendo discussões com as diferentes partes interessadas e entidades públicas e privadas, com vistas ao estabelecimento de diretrizes para promover a conformidade dos empreendimentos eólicos. Nesse âmbito, o MME promoveu, com apoio da EPE, a Oficina “Papéis das instituições públicas e conformidade de empreendimentos de energia eólica no Nordeste”, em setembro de 2024. A oficina teve como objetivo “promover debate técnico e institucional para aprimorar os processos institucionais de Outorga, Fiscalização, Licenciamento ambiental e financiamento de empreendimentos de energia renovável na região Nordeste, especialmente no que se refere à conformidade desses empreendimentos perante às comunidades locais”. Estiveram representadas 12 instituições públicas federais e estaduais, que partilharam entre si os aprimoramentos em seus processos institucionais na direção da conformidade socioambiental dos empreendimentos eólicos.

O setor eólico, por sua vez, lançou seu Guia de Boas Práticas Socioambientais para o Setor Eólico (GAJA e ABEEÓLICA 2024). Segundo as autoras, o guia *“pretende apresentar à sociedade exemplos de atuação socioambiental responsável de projetos de energia eólica no Brasil e inspirar outros empreendedores a também adotarem Boas Práticas Socioambientais na cultura de responsabilidade corporativa de suas empresas”*. O guia parte de algumas premissas para indicar as recomendações para cada questão levantada: i. para boas práticas sociais: mapeamento de oportunidades e fragilidades, melhores fluxos e ferramentas de comunicação social, investimento social privado; ii. para boas práticas ambientais: aplicação da hierarquia de mitigação de impactos (prevenção, mitigação e compensação); e iii. para boas práticas para processos fundiários: realizar diagnóstico da situação fundiária do território de implantação de projeto eólico e boa fé no processo de contratação. As recomendações estão organizadas por fase dos projetos:

- a) Fase de Desenvolvimento dos Projetos
 - Realizar Diagnóstico Social do Território e Mapeamento de Stakeholders
 - Comunicação Social (modelos para o uso de ferramentas de comunicação e da ouvidoria)
 - Contratação de mão de obra e serviços, e aquisição de produtos da região do empreendimento

- Elaboração do Mapa de Restrições Ambientais
- Recomendações sobre efeito estroboscópico (Identificar as áreas críticas próximas aos aerogeradores, como residências, locais de trabalho e instituições de ensino; avaliar as sombras e dispor os aerogeradores evitando áreas críticas)
- Recomendações sobre ruído (melhores alternativas tecnológicas e locacionais para implantação dos parques, prevenindo possíveis problemas causados pelo ruído)
- Elaboração dos estudos ambientais e programas ambientais do licenciamento (consulta a documentos legais e dados secundários, atividades de campo, análise técnica e compilação de resultados)
- Diagnóstico Fundiário, Plano de Ação e Formalização de Contratos - estabelecer protocolos e critérios mínimos de garantia documental para viabilizar a formalização dos contratos
- Contratação das Áreas (instrumentos contratuais mais personalizados e que considerem a existência de produção familiar no lote, idade e condições previdenciárias do proprietário, etc.; clareza e objetividade na linguagem dos termos contratuais, realização de reuniões familiares e uso de materiais informativos, com apoio visual, para discutir o instrumento; informar ao arrendante a possibilidade de ser orientado por um advogado; envio da minuta contratual com antecedência razoável à assinatura; leitura da minuta contratual com pessoa de confiança do arrendante; respeitar o equilíbrio contratual e o princípio da boa-fé, especialmente no tocante ao prazo de vigência e à remuneração, mas também penalidades, rescisão e distratos)

b) Fase de Implantação de Projetos

- Comunicação social
- Investimento social privado (eixos: agricultura familiar, segurança hídrica, desenvolvimento local e humano e crescimento inclusivo)
- Gestão de impactos sociais
- Estruturação de um Plano de Gestão Ambiental (coordenar e acompanhar as atividades de supressão vegetal, movimentação de solo e tráfego de veículos, entre outras, para mitigar, monitorar e compensar os impactos ambientais negativos)
- Criação de uma comissão de acompanhamento do empreendimento, que conte com a participação das partes interessadas
- Melhores práticas ambientais para a supressão vegetal (priorizar áreas já modificadas, evitar APPs, programa de germoplasma, uso de técnicas que minimizem a destoca da vegetação e Planos de Recuperação de Áreas Degradadas)
- Gestão das condicionantes ambientais (Fauna - afugentamento e resgate da fauna, atendimento a animais feridos ou acidentados e soltura, conscientização da força de trabalho e das comunidades e medidas para reduzir atropelamentos; Emissão de particulados e Ruído de obra – monitoramento e mecanismo de reclamação)
- Gestão de contratos (i. remunerações das propriedades - oferecer orientações sobre as possibilidades de bom uso dos recursos financeiros, controle dos pagamentos; ii. acompanhamento das ações de implantação dos aerogeradores por equipes da área social do empreendedor - evitar danos à propriedade e a itens do patrimônio de valor intangível; iii. relacionamento com os vizinhos - contínuo esclarecimento sobre os critérios técnicos envolvidos na escolha das propriedades a serem arrendadas)

c) Fase de Operação de Projetos

- Comunicação social
 - Gestão das condicionantes ambientais (atualizar periodicamente os impactos e riscos ambientais e sociais, disponibilizar os resultados dos programas estabelecidos no licenciamento ambiental e manter os mecanismos de reclamação; fauna – atualizar e adotar as melhores práticas de prevenção e mitigação, incluindo inovações tecnológicas, e compartilhar resultados e boas práticas em redes de agentes do setor)
 - Recomendações sobre ruído (monitoramento, consulta à comunidade local, discussão de medidas mitigadoras)
 - Manutenção da gestão de contratos (acompanhamento dos fluxos de gestão de desembolsos e atualizações de pagamentos aos arrendantes e manutenção de atividades de comunicação e atualização sobre o andamento das atividades do projeto junto aos proprietários)
- d) Descomissionamento de parques eólicos
- Gestão adequada dos resíduos gerados e recuperação da área degradada

Pode ser observado que, caso estas boas práticas sejam disseminadas entre as empresas, parte das demandas das comunidades locais estarão atendidas, especialmente em relação a: informação, comunicação e participação das comunidades em todas as fases dos projetos, mitigação de impactos ambientais e contratos pelo uso da terra mais justos.

Além das iniciativas na escala de projeto, a elaboração de estudos estratégicos em escala regional e iniciativas coordenadas entre empreendedores que atuem na mesma região podem otimizar os processos de diálogo com as comunidades locais, geralmente pulverizados no âmbito de cada empreendimento.

A regularização fundiária, além de evitar novos conflitos, poderia minimizar os pré-existentes e que tendem a se agravar com a chegada dos parques eólicos em municípios do Nordeste. Uma iniciativa positiva nesse sentido foi a publicação da Instrução Normativa Conjunta SDE/SDR/CDA/PGE 01/2020 do estado da Bahia, que estabelece o “procedimento de regularização fundiária em terras devolutas estaduais com potencial de geração de energia eólica”, dando preferência aos ocupantes, incluindo as comunidades tradicionais de fundos e fechos de pastos, e as comunidades tradicionais remanescentes de quilombos.

A aceitação social dos parques eólicos tem sido maior quando os impactos negativos não recaem sobre os modos de vida das comunidades e quando estas percebem benefícios econômicos relacionados às atividades de subsistência (como pesca e agricultura), obtêm segurança da posse da terra e identificam que há transparéncia no processo de implantação do empreendimento (BRANNSTROM *et al*, 2022). Buscando garantir transparéncia no processo e respeito aos modos de vida de povos indígenas e comunidades tradicionais, o Ministério Público Estadual do Rio Grande do Norte tem exigido consulta nos moldes da Convenção 169 da Organização Internacional do Trabalho – OIT sempre que a implantação de um empreendimento possa afetá-los (MADRUGA, 2023). Outra iniciativa no Rio Grande do Norte é a implementação da compensação socioambiental pelo órgão licenciador (Idema), que consiste em direcionar uma parcela do custo total do empreendimento para apoiar ou executar medidas ambientais de compensação à comunidade e aos ecossistemas atingidos (FARKATT, 2023).

A interferência na paisagem, em especial os efeitos cumulativos de vários empreendimentos numa mesma região, é uma questão pouco abordada pelos órgãos ambientais e nas discussões das questões socioambientais que permeiam o setor. Convém destacar iniciativas governamentais relacionadas à gestão territorial instituídas no Brasil com o intuito de evitar o impacto visual causado por parques eólicos e os eventuais empecilhos à expansão turística em áreas costeiras. Como exemplo, tem-se a iniciativa do município de São Miguel do Gostoso, localizado no Rio Grande do Norte, que sancionou a Lei Municipal n. 255/2014, que limita em 2 km, a partir da linha preamar, a distância para implantação de aerogeradores

e outras estruturas com altura superior a 50 metros de altura. A medida permanece válida até que venha a ser realizado o Plano de Zoneamento Ecológico-Econômico do município. Outra iniciativa que merece destaque tem sido a realização de análises de intervisibilidade³⁵ para projetos eólicos no âmbito do licenciamento ambiental praticado no Brasil, que possui potencial de fornecer subsídios para a avaliação do impacto causado por esses projetos, principalmente em áreas que possuem vocação turística (LACTEC, 2014; SIEFERT e SANTOS, 2016). Além de favorecer a proposição de formas adequadas para a mitigação do impacto, o uso dessa ferramenta pode auxiliar na comunicação sobre os impactos causados pelo projeto entre os empreendedores e as demais partes interessadas.

É recomendada a elaboração de estudos que contemplem o impacto que a inserção de empreendimentos eólicos possa gerar sobre o turismo e sobre o valor cultural dos elementos da paisagem, para subsidiar o melhor layout para cada empreendimento e para o conjunto de parques eólicos em uma região, bem como para medidas mitigadoras ou compensatórias, de modo a **minimizar efeitos cumulativos sobre a paisagem**. Recentemente foi demonstrado na Europa que a percepção dos impactos sobre a paisagem se agrava em casos em que o projeto está inserido em áreas legalmente protegidas ou santuários (VUICHARD, 2022).

Com relação à **gestão de resíduos**, o setor eólico possui um desafio associado à destinação das pás descomissionadas, cujo destino mais frequente, pela dificuldade técnica com a reciclagem (EPE, 2021), são os aterros sanitários pelo mundo. A Política Nacional dos Resíduos Sólidos – PNRS, em seu artigo 9º, estabelece diretriz da seguinte ordem de prioridade para destinação dos resíduos sólidos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento, disposição final adequada de rejeitos (BRASIL, 2010). Adicionalmente, a nota técnica EPE “Empreendimentos eólicos ao fim da vida útil: situação atual e alternativas futuras” traz recomendações para a destinação adequada de resíduos, seja na repotenciação ou no descomissionamento (EPE, 2021). A fabricante de turbinas Vestas lançou o programa “Zero-waste turbines by 2040”, através do qual se compromete com: i. a preservação de materiais e recursos, ii. produção e consumo responsáveis de pás e nacelas (incluindo reciclagem, reúso e recuperação e excluindo a incineração e deposição desses componentes em aterros sanitários) (VESTAS, 2022).

Dentre as iniciativas internacionais mais recentes está a instalação de uma nova fábrica de reciclagem de pás na Espanha, ainda neste ano de 2024 (IBERDROLA, 2023). No Brasil, poucas pás têm sido descartadas nos últimos anos, pois são remanejadas entre aerogeradores ou parques. Uma iniciativa realizada no Brasil é a destinação de pás para co-processamento na indústria de cimento, o que requer o corte cuidadoso da pá ao lado do aerogerador de onde foi removida e o transporte até a indústria que a utilizará (informação verbal)³⁶. O Instituto Federal de Pernambuco tem realizado testes químicos para a reciclagem do núcleo estrutural das pás, tendo indicado o aproveitamento desse material como carga de reforço em concreto como um caminho promissor (LUCENA, 2023a).

Outro desafio que se apresenta é o de **ampliar a capacidade de empregar mão de obra local na cadeia eólica**, que requer perfil predominantemente técnico. Nesse sentido, o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai) tem promovido iniciativas de capacitação no setor eólico, notadamente nos estados do Rio Grande do Norte e Ceará (SENAI, 2024 a, b, c e d).

Recentemente, as ações promovidas pelos agentes em prol do meio ambiente, da sociedade e da governança têm sido referidas como “iniciativas ESG” (sigla que, em Português, significa: Ambiental, Social e Governança), especialmente no contexto da discussão da transição energética. Também existem iniciativas internacionais para disponibilização de bases de referências bibliográficas, discussões, rede de colaboração entre especialistas e metanálises sobre efeitos ambientais de eólicas (TETHYS, 2022). Nesse sentido, o Guia de Boas Práticas (GAJA e ABEEÓLICA, 2024) também indica:

- boas práticas de relações institucionais (plano estratégico para ampliar o diálogo e relacionamento com os entes públicos; porta voz para o sistema de relacionamento institucional;

³⁵ Método que utiliza ferramentas computacionais para estudar os impactos visuais na paisagem, por meio da simulação de cenários, que podem ser visualizados a partir de locais de observação selecionados.

³⁶ Fornecida por Ômega Geração, em 18 out. 2023.

criação de agenda e alinhamento com as ações do projeto; prospecção de cenários e tendências; e gerenciamento de stakeholders) e

- boas práticas de gestão socioambiental em projetos eólicos - programas auxiliares para boas práticas na gestão socioambiental de projetos eólicos (plano de engajamento e comunicação, política socioambiental, ESG e os novos paradigmas de negócios, formação de comitês, certificações para a sustentabilidade, programa de gestão de processos fundiários, plano de contingenciamento de crises, consultas nos moldes da Convenção 169 da OIT, política aplicável ao tratamento de povos tradicionais, políticas de reassentamento e de realocação de população, políticas de gênero e interseccionalidades e programas de engajamento feminino e enfrentamento da violência contra a mulher).

Tais recomendações atendem às demandas por informação, comunicação e participação das comunidades em todas as fases dos empreendimentos e por prevenção e tratamento de casos de assédio e violência. Ainda no âmbito ESG, a colaboração entre o Instituto Federal de Pernambuco e empresas eólicas com atuação no estado tem promovido a capacitação de mulheres para aumentar a inclusão do setor (LUCENA, 2023b). Outro exemplo é o Parque Eólico Tucano, no Rio Grande do Norte, operado totalmente por mulheres.

Também se observam esforços dos órgãos ambientais para otimizar o processo de licenciamento ambiental como, por exemplo, a implementação de sistemas e normativas pelo Idema/RN, inclusive sobre educação ambiental no âmbito do licenciamento (AGUIAR, 2022; WANDERLEY, 2023) e do grupo de trabalho em Pernambuco, recentemente formado, para subsidiar a elaboração de normativa para projetos eólicos e solares (PERNAMBUCO, 2023). O Idema/RN também tem aprimorado suas práticas: i. a partir de 2018 começou a solicitar mais EIA/Rima, que gera compensação ambiental, ao contrário do RAS; ii. criará pelo menos mais cinco UCs na Caatinga, com recursos de compensação ambiental; e iii. irá elaborar a lista de espécies ameaçadas estadual (SOARES, 2023).

Por último, vale ressaltar o desafio de [adaptação dos aerogeradores às mudanças climáticas](#). Apesar de Jong *et al.* (2019) terem concluído que o aumento da velocidade do vento no nordeste brasileiro até 2080 poderia elevar a densidade de geração, podem ser elencadas algumas desvantagens das mudanças climáticas para a geração eólica. Considerando o aumento da temperatura média e a diminuição da umidade do ar na região Nordeste, podem ser destacadas do relatório da IAEA (2019): a modificação das propriedades físicas dos materiais e fluidos (contração e dilatação) e a deposição de poeira nas hélices (o que diminui a eficiência na geração). Para a região Sul, onde já houve perda de aerogeradores sujeitos a tempestades, podem ser mencionados os efeitos negativos de ventos extremos (redução na geração, fadiga dos equipamentos e ameaça à integridade estrutural) e da maior ocorrência de descargas elétricas (danos às pás e aos componentes elétricos e mecânicos). A Agência indica uma série de adaptações nos equipamentos para lidar com esses efeitos: modificar o desenho da turbina e cobertura das pás para evitar depósito de poeira; aumentar a frequência de limpeza e manutenção das pás; melhorar o desenho das turbinas e aplicar estruturas reforçadas para resistirem a condições extremas de vento; considerar intervalos mais amplos de temperaturas na seleção de material e lubrificantes para as turbinas; e aplicar proteção adicional contra raios e aterrramento.

O Quadro 15 resume os principais desafios relacionados à expansão eólica no PDE 2034 e as iniciativas e recomendações associadas.

Quadro 15 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão eólica

| Desafio | Iniciativas | Recomendações |
|---|---|--|
| Compatibilizar a geração de energia com a conservação da Biodiversidade  | - Rastreamento de bandos por radar e paradas programadas; uso de ultrassom para afastar morcegos da área do parque; redução da velocidade das turbinas nos horários de maior atividade de morcegos; levantamento da avifauna no entorno do parque e classificação das espécies quanto ao risco de colisão; minimizar supressão de vegetação na instalação | - Aprimorar os estudos de licenciamento para que não negligenciem a cumulatividade de impactos; elaboração de estudos regionais que avaliem as eventuais cumulatividades e sinergias entre os projetos |
| Compatibilizar a geração de energia com a responsabilidade social | - Mesa de Diálogo e Oficina Institucional (Governo Federal) - Guia de Boas Práticas Socioambientais para o Setor Eólico (Abeeólica) | - Elaborar estudos estratégicos em escala regional e promover iniciativas coordenadas entre empreendedores que atuem na mesma região para otimizar o processo de diálogo com as comunidades locais |
| Minimizar efeitos cumulativos sobre a paisagem  | - Iniciativas governamentais relacionadas à gestão territorial; análises de intervisibilidade | - Estudos ambientais que contemplem o impacto sobre o turismo e sobre o valor cultural dos elementos da paisagem, para subsidiar o melhor layout para cada empreendimento e para o conjunto de parques eólicos em uma região |
| Gestão de resíduos | - Aproveitamento dos resíduos das pás na indústria de cimento | |
| Ampliar a capacidade de empregar mão de obra local na cadeia eólica | - Iniciativas de capacitação do Senai | |
| Adaptação dos aerogeradores às mudanças climáticas | | - (IAEA): Modificar o desenho da turbina e cobertura das pás para evitar depósito de poeira; aumentar a frequência de limpeza e manutenção das pás; melhorar o desenho das turbinas e aplicar estruturas reforçadas; considerar intervalos mais amplos de temperaturas na seleção de material e lubrificantes para as turbinas; e aplicar proteção adicional contra raios e aterrramento |

Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão eólica

Foram vislumbradas três oportunidades socioambientais associadas à expansão eólica prevista para o decênio: **geração de empregos na gestão de resíduos; emissão de créditos de carbono e de certificados de energia limpa; e a realização de programas de reflorestamento coordenados.**

A manutenção preventiva e corretiva, com troca de peças, componentes e fluidos, leva à geração de resíduos, que necessita de gestão adequada. Apesar de haver um desafio associado aos resíduos gerados, principalmente no que concerne às pás dos aerogeradores, a gestão de resíduos se configura como um nicho de mercado que poderá ser ampliado, com **geração de empregos**. Além da PNRS e da Nota Técnica da EPE mencionadas no item de desafios e iniciativas, compõe a conjuntura favorável à

geração de empregos na reciclagem o recente Decreto 12.106/2024, que regulamenta o incentivo fiscal à cadeia produtiva da reciclagem, “*com vistas a fomentar o uso de matérias-primas e de insumos de materiais recicláveis e reciclados*” (BRASIL, 2024a). Tal incentivo fiscal tende a estimular a reciclagem, gerando empregos nessa atividade.

O fato de a geração eólica não emitir gases de efeito estufa na operação induziu a implementação de mecanismos financeiros que permitem o reconhecimento desse benefício. A **emissão de certificados de energia renovável** é um desses mecanismos. O I-REC Service é um sistema global de rastreamento de atributos ambientais de energia projetado para facilitar a contabilidade confiável de carbono. Uma empresa que deseja ser emitente de certificados de energia renovável (RECs) passa por uma auditoria documental pelo emissor local (cada REC equivale a 1MWh de energia gerada) (INSTITUTO TOTUM, 2021).

Nesse sentido, cabe destacar as discussões promovidas pelo MME e EPE que resultaram na publicação da Proposta de Diretrizes para a Consideração de Benefícios Ambientais no Setor Elétrico, na qual foi sugerida a adoção de um Sistema de Comércio de Emissões (SCE) como instrumento de precificação de carbono, isto é, um Mercado de Carbono Regulado em mercado de capitais organizado. Nessa proposta, os REC poderiam ser integrados ao SCE como uma opção de mitigação para o cumprimento de metas de emissões do escopo 2³⁷ (compra de energia elétrica) pelas atividades carbono-intensivas. Ao se implementar um **mercado de carbono**, seja no setor elétrico, seja num contexto multissetorial, o REC poderia ter um papel importante, oferecendo às empresas que possuem meta no mercado regulado um instrumento **alternativo mais custo-efetivo para diminuir ou zerar suas emissões relacionadas ao consumo** de energia elétrica. Caberia então ao setor elétrico prover os RECs e flexibilizar o alcance de metas das empresas participantes no SCE, ao mesmo tempo em que remunera os investimentos em geração renovável (MME, 2022a). As discussões sobre a implementação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE) estão avançando com a aprovação, pela Câmara dos Deputados, do Projeto de Lei 2.148/15, que institui o SBCE, e que está sob a apreciação do Senado Federal sob o número 182/2024. Paralelamente, no âmbito do Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM) foi criado Grupo Técnico de Natureza Temporária para elaborar uma proposta de regulamentação e implementação do SBCE (BRASIL, 2023). Outro mecanismo da conjuntura favorável à participação do setor eólico nas discussões da transição energética é a criação do GT de energia eólica no âmbito do plano para descarbonização da indústria (MDIC, 2024).

Programas de reflorestamento coordenados entre empreendimentos na mesma região trariam ganho de escala financeira (custos de implementação) e ambiental (criar corredores ou remanescentes maiores de vegetação nativa). A Resolução Conama 462/2014, em seu Anexo 1, item 7, estabelece: “*Os impactos serão avaliados considerando as áreas de influência definidas. Na avaliação dos impactos sinérgicos e cumulativos deverão ser considerados os usos socioeconômicos existentes nas áreas de influência direta e indireta, de forma a possibilitar o planejamento e integração efetiva das medidas mitigadoras*”. Importante notar que alguns órgãos ambientais já trazem a preocupação com a paisagem ecológica nas condicionantes de suas licenças ao solicitarem planos de conectividade entre os elementos da paisagem ou ao indicarem que a reserva legal do empreendimento deva ser contígua à de empreendimentos vizinhos ou de área de preservação permanente. Outra conjuntura favorável a esta oportunidade é a recomendação do Guia de Boas Práticas (GAJA e ABEEÓLICA 2024) acerca das *melhores práticas ambientais para a supressão vegetal*, que menciona “*priorizar áreas já modificadas, evitar APP, programa de germoplasma, uso de técnicas que minimizem a destoca da vegetação e Planos de Recuperação de Áreas Degradas*” para a fase de implantação dos projetos.

O Quadro 16 resume as principais oportunidades relacionadas à expansão eólica no PDE 2034 e à conjuntura favorável para aproveitar as oportunidades identificadas.

³⁷ As emissões estão classificadas, de acordo com o Protocolo de Gases do Efeito Estufa (GHG Protocol, em inglês) em escopos 1, 2 e 3. O escopo 2 se refere às emissões indiretas, provenientes da energia elétrica adquirida para uso da própria companhia ([Corporate Standard | GHG Protocol](#)).

Quadro 16 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão eólica

| Oportunidades | Conjuntura favorável |
|---|--|
| Geração de empregos na gestão e aproveitamento dos resíduos gerados na manutenção de parques | <ul style="list-style-type: none"> - Política Nacional dos Resíduos Sólidos - Nota técnica “Empreendimentos eólicos ao fim da vida útil: Situação Atual e Alternativas Futuras” (EPE, 2021), com recomendações para a destinação adequada de resíduos - Decreto n. 12.106/2024 |
| Certificados de energia renovável e mercado de carbono | <ul style="list-style-type: none"> - Sistema de emissão de certificados de energia renovável (RECs) - PL 182/2024 em tramitação no Senado Federal - GT proposta de regulamentação e implementação do SBCE |
| Programas de reflorestamento integrados entre empreendimentos na mesma região | <ul style="list-style-type: none"> - Resolução Conama 462/2014, Anexo 1, item 7, indica que a avaliação dos impactos sinérgicos e cumulativos deverá considerar os usos socioeconômicos existentes nas áreas de influência direta e indireta, de forma a possibilitar o planejamento e integração efetiva das medidas mitigadoras - Há condicionantes de licenças que trazem a preocupação com a conectividade na paisagem ecológica - Melhores práticas ambientais para a supressão vegetal do Guia de Boas Práticas para o Setor Eólico (Abeeólica) |

Indicadores socioambientais da expansão eólica

Os principais indicadores socioambientais da geração eólica selecionados foram: área ocupada pelos parques eólicos, sobreposição com áreas legalmente protegidas e número de vagas de empregos diretos gerados (Tabela 14). Para a área ocupada, foi utilizado o cálculo proposto por GO Associados (2020): $[0,064 \times (\text{potência instalada} \times 8,3)]$ hectares, para aerogeradores com 1,5 MW de potência ou valor superior.

Dos 45 parques eólicos previstos nos primeiros anos do horizonte decenal, dois irão interferir em Unidades de Conservação (UC) de uso sustentável: a Área de Proteção Ambiental (APA) Lago de Sobradinho, na Bahia, e a APA Chapada do Araripe, no Ceará. Não há previsão de sobreposição com UC de proteção integral, terras indígenas, terras quilombolas ou projetos de assentamento.

Para estimar o total de empregos gerados, foram obtidos os números de empregos a serem gerados na fase de construção declarados nos estudos ambientais dos complexos eólicos vencedores de Leilões de Energia entre 2009 e 2021. A partir desse levantamento, chegou-se ao índice médio de 6,57 empregos/MW de potência planejada. Estima-se que, com isso, serão gerados cerca de 102 mil empregos diretos no horizonte decenal. Os indicadores socioambientais estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Indicadores socioambientais da expansão eólica

| Indicadores Ambientais | |
|---|--------------------------------|
| Área total dos parques eólicos (km^2) | 82 |
| Número de parques eólicos com interferência em UC de uso sustentável* | 2 dentre os 45 parques eólicos |
| Número de parques eólicos com interferência em UC de proteção integral* | Nenhum dos 45 parques eólicos |
| Indicadores Socioeconômicos | |
| Número de parques eólicos com interferência direta em TI ou TQ ou Projetos de Assentamento* | Nenhum dos 45 parques eólicos |
| Empregos diretos (empregados/MW) | 6,57 |
| Empregos diretos gerados na construção | 102 mil |

Nota: *Indicadores referentes aos parques que compõem a expansão contratada, calculados com base em: MMA (2024b), Funai (2024) e Incra (2024).

BOX 1 – EÓLICA OFFSHORE

Neste PDE 2034, mais uma vez, a fonte eólica *offshore* foi candidata à expansão da matriz elétrica, apesar de não ter sido selecionada, devido aos seus custos ainda elevados. No entanto, observa-se uma movimentação intensa do setor energético na direção de investir nessa fonte, que pode, inclusive, consorciar-se com a produção de hidrogênio de baixa emissão no Brasil (produzido por eletrólise da água utilizando energia elétrica de fontes renováveis). Esse modelo de consórcio entre eólica *offshore* e hidrogênio pode ser uma via para a descarbonização da indústria. Em 2023, a Confederação Nacional da Indústria – CNI chamou a atenção para a fase embrionária tanto das eólicas offshore quanto dos projetos de hidrogênio, o que vai requerer processos de padronização, mas também propiciará uma oportunidade de se aproveitar o conhecimento adquirido pelo mercado de eólica *onshore* (CNI, 2023). Nos últimos anos observaram-se esforços de estudos e análises da eólica *offshore* no sentido de entender seus desafios e oportunidades. O *Roadmap Eólica Offshore Brasil* (EPE, 2020) apontou potencial de cerca de 700 GW, além de ter indicado desafios regulatórios e perspectivas. Outro estudo, ainda mais recente, analisa três cenários de ritmos de implantação da fonte no Brasil, com o objetivo de considerar, de forma quantitativa, os efeitos da escala da indústria sobre custo, benefício ao consumidor, aspectos socioambientais, benefício econômico e outros aspectos (DNV e BANCO MUNDIAL, 2024). No que concerne aos aspectos socioambientais, o Ibama elaborou um estudo de *benchmarking* e o Termo de Referência padrão para os estudos ambientais que devem subsidiar o licenciamento ambiental dessa tipologia, a qual já se apresenta na forma de 97 processos de licenciamento (IBAMA, 2024). O Ibama indica a importância de se considerarem os usos múltiplos do espaço marinho no licenciamento, de forma a evitar/dirimir conflitos. Para ordenamento dos usos do espaço e recursos naturais marinhos, a elaboração do Planejamento Espacial Marinho (PEM) brasileiro vem sendo coordenada pela Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM), com apoio do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA, 2023). O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social financiou a elaboração do PEM para a região Sul do país (PEM Sul), cuja licitação foi vencida pela empresa Codex Remote (MARINHA DO BRASIL, 2024). O PEM tende a dirimir conflitos e beneficiar a aceitação social da fonte, com desdobramentos positivos para o licenciamento ambiental dos empreendimentos.

A regulamentação da fonte eólica *offshore* está tramitando no Congresso Nacional há alguns anos, tendo havido movimentação do Senado Federal para a Câmara dos Deputados e retornado ao Senado em 2023. O Projeto de Lei nº 576, de 2021, que “disciplina o aproveitamento de potencial energético *offshore*”, estava em tramitação em 08/07/2024 e seu último estado era “matéria com a relatoria” da Comissão de Serviços de Infraestrutura, em 11/04/2024 (BRASIL, 2024b). A iniciativa mais recente para contribuir com a regulamentação da fonte em nível técnico foi a criação do GT Eólicas Offshore pelo Ministério de Minas e Energia (MME), que inclui outros nove ministérios, quatro agências nacionais e mais sete instituições do executivo federal, “com o objetivo de estruturar as iniciativas técnicas para ações em nível federal voltadas para o desenvolvimento da fonte eólica offshore no Brasil” (MME, 2024). Além disso, visando contribuir com o planejamento da alocação de parques eólicos *offshore* de forma a respeitar as sensibilidades sociais e ambientais, foi lançado em junho de 2024 o relatório “Integrated Environmental & Social Sensitivity Mapping” (WORLD BANK, 2024).

Destaca-se ainda a iniciativa do Instituto Senai de Inovação em Energias Renováveis (ISI-ER) de planejar uma planta-piloto de geração eólica *offshore* no Rio Grande do Norte, com o objetivo de analisar o desempenho dos equipamentos em condições do mar equatorial brasileiro. O projeto é objeto de um memorando de intenções entre aquele estado e a Petrobras, a qual ressalta a importância de se testarem as relações do empreendimento com as comunidades e o meio ambiente. A profundidade do local da usina piloto está entre 7 e 8 metros. A planta será instalada a 20 km da costa, com dois aerogeradores (uma turbina de 8,5 MW e outra de 16 MW, totalizando 24,5 MW). Além disso, dista 4,5 km do Terminal Salineiro de Areia Branca - Porto Ilha e a energia gerada será transportada dos aerogeradores até uma subestação naquele porto. O projeto está em fase de licenciamento ambiental, tendo sido realizada reunião técnica informativa em agosto de 2024 no município de Areia Branca (SENAI ISI-ER, 2024). Sua implantação prevê dois anos de estudos, dois anos de construção e 25 anos de operação. Por se tratar de um projeto em escala de pesquisa, o Relatório Ambiental Simplificado – RAS pontua que as interferências no ecossistema local serão pontuais/localizadas. Espera-se que a implementação da fonte eólica *offshore* no país contribua com a expansão da oferta de energia elétrica renovável, rumo à transição energética mundial. Por outro lado, um desafio será o suprimento de minerais críticos para a construção dos aerogeradores e de toda a infraestrutura de conexão e suporte, cujas dimensões superam as da eólica *onshore*. Ainda, os processos minerários precisarão observar as melhores práticas socioambientais, de forma a garantir a transição energética justa.

4.6 Usinas Solares Fotovoltaicas

Benefícios das usinas solares fotovoltaicas

- A radiação solar, fonte de energia **renovável, abundante e gratuita**, é convertida diretamente em eletricidade. Assim, são evitados custos e impactos socioambientais relacionados à utilização de combustíveis fósseis, não sendo necessário o gerenciamento de recursos energéticos escassos.
- A **flexibilidade locacional e facilidade de construção** permitem a seleção de áreas com menor sensibilidade socioambiental (terrenos antropizados ou degradados), considerando a irradiação solar, os custos fundiários, a proximidade com subestações de energia entre outros.
- Utilizam **tecnologia modular**, sendo possível a construção de usinas com arranjos diferenciados, como por exemplo, instalações flutuantes ou híbridas (com eólicas, térmicas e hidrelétricas). Projetos adaptados às infraestruturas existentes e ao contexto local podem favorecer a minimização de interferências socioambientais.
- Podem ter papel relevante nos sistemas isolados por meio da **complementariedade com outras fontes** de geração de energia elétrica, reduzindo emissões e outros impactos socioambientais relacionados à logística de combustíveis.
- Em geral possuem baixo potencial de geração de impactos socioambientais na implantação, e durante a operação, pois **não há emissão de poluentes e gases de efeito estufa**.
- Demandam **tempo reduzido de instalação**, contribuindo para que as interferências socioambientais decorrentes das obras civis sejam minimizadas.
- Potencializam oportunidades nos setores da indústria e serviços nacionais promovendo geração de empregos e renda.

Parque solar fotovoltaico de geração centralizada atual

O parque solar fotovoltaico existente é composto por 459 Usinas Solares Voltaicas (UFVs)³⁸ totalizando cerca de **16,3 GW de potência outorgada**.

A maior parte das UFVs existentes (cerca de 62%) situa-se na região Nordeste do país, sendo a região Sudeste a segunda com maior concentração (36%). Cabe destaque a grande quantidade de empreendimentos localizados no noroeste de Minas Gerais. Nas regiões Centro-Oeste, Sul e Norte, são observadas três, duas e quatro UFVs, respectivamente.



Expansão fotovoltaica de geração centralizada nos próximos 10 anos

Para este decênio é previsto incremento (em capacidade instalada) de **13.147 MW de usinas fotovoltaicas**. Na expansão contratada (2025-2029), prevê-se a entrada de cerca de **4.547 MW** de potência, distribuídos em **90** empreendimentos. Já para a expansão indicativa (2030-2034), estão previstos **8.600 MW**, com usinas localizadas no subsistema Sudeste/Centro-Oeste.

³⁸ Não considera micro e minigeração distribuída (potência menor que 3 MW) e se refere às Usinas Fotovoltaicas em fase de “Operação”, de acordo com base de dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2024), consultada em 24/05/24. Além disso, incorpora UFVs contratadas com previsão de entrada em operação no ano de 2024.

As unidades previstas para a primeira metade do decênio (UFVs contratadas) estão localizadas principalmente no Nordeste do Brasil, enquanto o restante situa-se no Sudeste (Figura 16). Há ainda um complexo fotovoltaico localizado no estado de Goiás. Em relação à potência incremental prevista para as usinas contratadas, o Nordeste responde por cerca de 68%. Os empreendimentos se localizam majoritariamente na região do semiárido brasileiro (cerca de 83% da potência) e em locais afastados dos grandes núcleos urbanos. A média de população dos municípios onde serão construídas as UFVs contratadas é de cerca de 46 mil habitantes³⁹, sendo que as instalações se situam no meio rural, próximo a cidades de pequeno porte.



Figura 16 – Localização da expansão solar fotovoltaica no PDE 2034

Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão solar fotovoltaica centralizada

A principal interferência socioambiental de usinas fotovoltaicas envolve a supressão de vegetação nativa, que pode ocasionar perda de biodiversidade local. Ainda que esta e outras interferências possam ser evitadas ou mitigadas no âmbito dos projetos, elas podem ter magnitudes diferentes de acordo com a sensibilidade da região de implantação das usinas e por isso vale destacar os aspectos socioambientais mais relevantes associados aos novos empreendimentos.

A **perda de biodiversidade** é considerada tema relevante para a expansão da fonte na região Nordeste (Tabela 15), conforme metodologia empregada na análise socioambiental integrada do PDE 2024. Em comparação com outras fontes, as usinas fotovoltaicas possuem maior relação área ocupada/MW, de forma que podem ser necessárias extensas áreas para produção centralizada de energia elétrica. Com base em um banco de informações, organizado pela EPE, que reúne dados dos estudos ambientais de todas as usinas solares fotovoltaicas contratadas em leilões já realizados, observa-se que os locais dos projetos das usinas contratadas para essa região frequentemente estavam sobrepostos

³⁹Valor calculado a partir de dados disponibilizados no portal IBGE Cidades (IBGE, 2024).

com remanescentes de vegetação nativa de Caatinga⁴⁰. É possível visualizar, por meio de imagens de satélite, o desmatamento ocasionado por usinas já instaladas neste bioma. A Caatinga está em avançado processo de desmatamento e é o bioma menos protegido do país – menos de 2% de seu território é delimitado por unidades de conservação do grupo de Proteção Integral (FUNDAJ, 2019). A atração locacional para áreas com vegetação nativa pode ser parcialmente atribuída a um menor custo de arrendamento ou venda desses terrenos. O artigo “Desmatamento inherente à instalação de usinas fotovoltaicas centralizadas no estado do Ceará”, apresentado no Congresso Brasileiro de Energia Solar de 2024 (FERREIRA et al., 2024), contribui para as discussões acerca do tema, pois analisa dados sobre a expansão de usinas fotovoltaicas e o desmatamento associado, a partir da análise de documentos de autorização de supressão vegetal emitidos pelo órgão ambiental do estado do Ceará.

A biodiversidade pode ser afetada pela perda de habitats e, ainda, pelo uso de herbicidas⁴¹, quando estes são aplicados no solo para impossibilitar eventual interferência da vegetação rasteira sobre os painéis. Além disso, conforme dados do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE, 2016), mais de 70% da área da região Nordeste é suscetível à desertificação, e mais de 4% já se encontra fortemente degradada. A remoção expressiva de vegetação nativa, conforme já verificado na instalação de algumas UFVs, pode agravar essa dinâmica.

Tabela 15 – Síntese da análise socioambiental das usinas fotovoltaicas do PDE 2034

| | Norte | Nordeste | Sul | Sudeste | Centro-Oeste |
|------|----------------------------|--|----------------------------|--|--|
| UFVs | não há projetos planejados |  biodiversidade | não há projetos planejados |  interferências inexpressivas |  interferências inexpressivas |

Para evitar ou minimizar esses impactos, deve-se priorizar a utilização de áreas já antropizadas (inclusive levando-se em conta a construção das linhas de transmissão), de modo que a retirada da vegetação nativa ocorra somente quando estritamente necessário, mediante autorização concedida pelos órgãos ambientais e obedecendo às legislações aplicáveis. Adicionalmente, devem ser realizadas ações de conservação e manutenção de reservas legais e Áreas de Preservação Permanente (APPs), preferencialmente mantendo conectividade entre os fragmentos de vegetação (Quadro 17). Durante a fase de construção das usinas, podem ser feitos ajustes do cronograma das atividades para evitar distúrbios em períodos sensíveis para a fauna, além de programas de afugentamento, resgate e soltura de fauna (BENNUN et al, 2021). Há possibilidade do plantio de espécies da flora nativa, atendendo às exigências legais de reposição vegetal, como medida compensatória e recomposição da vegetação após o descomissionamento das usinas.

Há duas interferências que ainda não se configuram como relevantes, mas que demandam atenção e acompanhamento. A primeira está relacionada com o histórico de **baixa disponibilidade hídrica** na região do semiárido brasileiro, onde já existem restrições e conflitos pelo uso da água. Em um cenário de escassez hídrica (ANA, 2024), a necessidade de uso da água para a limpeza dos painéis durante a operação das usinas pode se tornar mais uma pressão. Nesse sentido, é importante avaliar previamente a disponibilidade dos recursos hídricos locais, e elaborar um plano de manejo adequado para garantir o seu uso sustentável.

A segunda contempla a **gestão de resíduos**. Mundialmente, pouca atenção tem sido dada aos potenciais impactos socioambientais por conta do gerenciamento inadequado de sistemas fotovoltaicos em final de vida útil (SALIM et al., 2019) e, no contexto brasileiro, a gestão de resíduos ainda é incipiente e necessita de aprimoramentos.

⁴⁰Fato evidenciado por meio de inspeção visual de imagens de satélite, delimitação da área dos empreendimentos apresentada nos estudos ambientais e análise de dados de uso do solo disponibilizados pelo MapBiomas (MAPBIOMAS, 2019).

⁴¹Já há linhas de herbicidas específicos para serem usadas em plantas solares fotovoltaicas ofertadas por grandes empresas, sendo necessário atenção sobre impactos ambientais do uso de tais produtos.

Os módulos fotovoltaicos atualmente são projetados para durar cerca de 30 anos (IRENA, 2016). Porém, o descarte de módulos não ocorre exclusivamente ao final de sua vida útil, pois outros fatores podem promover seu desuso precoce, como, por exemplo, avarias durante o transporte (entre importadoras, distribuidoras e integradoras), acidentes na instalação/operação de sistemas fotovoltaicos, eventos climáticos, como chuva e vento extremo, além de substituição por módulos mais eficientes.

Essa questão assume importância por conta das fragilidades na implementação das diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e pode se tornar ainda mais preocupante por exemplo em regiões isoladas ou remotas na região Norte. Portanto, deficiências na estrutura regulatória, econômica e logística dificultam a gestão adequada dos componentes descartados pelas usinas, principalmente painéis fotovoltaicos danificados ou ao final da vida útil.

A análise dos estudos ambientais de usinas vencedoras dos leilões de energia elétrica do ambiente regulado identificou que apenas 13% dos estudos ambientais de UFVs contratadas em leilões (período de 2014 a 2018) abordaram a fase de descomissionamento na avaliação de impactos (SILVA et al., 2019). Para a correta adoção de medidas de mitigação frente aos impactos, destaca-se a importância de uma abordagem antecipada, incorporando a perspectiva da economia circular desde o *design* e da produção das placas e demais componentes, até ações para o descarte correto dos resíduos eletroeletrônicos gerados na instalação, operação e descomissionamento das UFVs.

É importante mencionar que é possível identificar outros impactos socioambientais da geração fotovoltaica centralizada, relacionados principalmente às interferências típicas de obras civis de empreendimentos de grande porte. Como exemplo, podem ser citados: intensificação de processos erosivos, aumento de residentes temporários no período de instalação, geração de expectativas na população, interferências na mobilidade da população local do entorno das usinas, perturbação da fauna, poluição sonora e alteração na qualidade do ar e do solo, dentre outros. Cumpre ressaltar ainda que as interferências socioambientais são diretamente influenciadas pelo contexto local e o arranjo técnico dos empreendimentos. UFVs flutuantes em reservatórios, por exemplo, podem causar modificações no ecossistema aquático devido ao sombreamento ocasionado pela disposição dos painéis sobre o corpo d'água (EPE, 2020), além de comprometimento de usos sociais dos corpos d'água (ALMEIDA et al., 2022). Os Projetos Básicos Ambientais (PBAs) e as experiências na construção e funcionamento dos parques poderão fornecer informações importantes para avaliações mais criteriosas e detalhadas sobre as interferências socioambientais.

O Quadro 17 resume a principal interferência socioambiental relacionada à expansão das usinas fotovoltaicas no PDE 2034. Além disso, conforme metodologia da análise socioambiental integrada, é apresentado o tema relacionado a essa interferência, a principal região de ocorrência e respectiva justificativa e, por fim, as medidas mitigadoras.

Quadro 17 – Principal interferência, medidas mitigadoras e tema socioambiental da expansão fotovoltaica centralizada

| Interferência | Tema | Região e justificativa | Medidas mitigadoras |
|-------------------------------|---|---|---|
| Supressão de vegetação nativa | Biodiversidade  | NE: região que abriga aproximadamente mais da metade da expansão contratada, onde usualmente UFVs se sobrepõem a remanescentes de vegetação nativa da caatinga. | <ul style="list-style-type: none"> - Retirada da vegetação somente quando estritamente necessário. - Priorizar áreas antropizadas. - Conservação e manutenção de reservas legais e Áreas de Preservação Permanente exigidas por lei. - Plantio de espécies da flora nativa como medida compensatória. |

BOX 2 – ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS DA MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A Micro e Minigeração Distribuída (MMGD) em 2023 apresentou aumento de 68% em relação a 2022 na geração de energia, sendo que a energia solar fotovoltaica representou 96,3% da MMGD em 2023 (EPE, 2024). Este adicional de capacidade instalada de MMGD se concentrou no Centro-Sul do país (EPE, 2024). Do ponto de vista socioambiental, destaca-se o aproveitamento de edificações e equipamentos urbanos já construídos (prédios, casas, estacionamentos etc.), evitando implicações fundiárias e minimizando impactos de obras. Em áreas rurais ou periurbanas, as instalações podem ser implantadas em terrenos de menor sensibilidade socioambiental, tais como áreas degradadas ou pastagens. A geração de energia solar agrofotovoltaica desponta como uma nova alternativa no país e já apresenta projetos piloto. A MMGD permite ainda a ampliação do acesso à eletricidade em regiões remotas, sem a necessidade de extensas linhas de transmissão, com potencial de promover a inclusão socioeconômica.

Destaca-se o Programa Luz para Todos que, entre seus objetivos, visa incentivar a descarbonização energética da Amazônia Legal, por meio da utilização de fontes de energia limpa e renovável para a geração de energia elétrica. Esse programa tem permitido que a geração solar fotovoltaica assuma papel relevante nos Microssistemas Isolados de Geração e Distribuição de Energia Elétrica (MIGDI) e Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermittente (SIGFI) nessa região do país.

Há outros benefícios econômicos e sociais, tais como, a geração de empregos diretos e indiretos que, segundo estimativas, estão distribuídos atualmente por mais de 26 mil empresas integradoras fotovoltaicas ativas em todo o país, com participação feminina média de 21,5% nessa força de trabalho, (GREENER, 2024), além do aumento da arrecadação tributária e da demanda por bens e serviços.

A expansão da MMGD está acelerando as transformações estruturais no setor elétrico, atuando em linha com a transição energética e a descentralização do acesso à geração de eletricidade. Porém, os impactos socioambientais associados, sejam positivos ou negativos, ainda não estão totalmente dimensionados. Nota-se que a destinação correta de resíduos, gerados ao final da vida útil das placas ou por avarias e substituições precoces, representa um grande desafio que demanda soluções de economia circular, incentivos, regulação e fiscalização. Em comparação às usinas fotovoltaicas, a gestão desses resíduos é mais complexa porque as unidades de geração estão geograficamente dispersas e o país possui grande extensão territorial.

O acordo setorial de resíduos eletroeletrônicos de 2019, firmado no âmbito da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que abrange os módulos fotovoltaicos, já representa um marco inicial para a formação da cadeia de coleta, reciclagem e disposição adequada desse tipo de resíduo. No entanto, avanços ainda são necessários, como aperfeiçoamentos regulatórios, mecanismos regionalizados, atribuição de responsabilidade compartilhada e criação de infraestrutura industrial nacional específica para a reciclagem de painéis fotovoltaicos.

Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão fotovoltaica centralizada

A conservação de remanescentes de vegetação nativa é um desafio importante na expansão das usinas solares fotovoltaicas, principalmente no bioma Caatinga. O Plano de Ação Brasileiro de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAB), com ações e parcerias em diversos estados do Nordeste é uma iniciativa relevante para a conservação da vegetação (PAB BRASIL, 2024). Para além dele, algumas ações podem ser recomendadas, tais como: o aprimoramento da gestão territorial na região visando à conservação dos remanescentes de vegetação nativa, com atenção aos processos de licencia-

mento ambiental; a ampliação da extensão de áreas protegidas por meio de novas unidades de conservação; a criação de legislação específica para proteção da vegetação nativa no bioma Caatinga; e, por fim, a elaboração de políticas públicas específicas para priorizar a localização de usinas fotovoltaicas em áreas antropizadas⁴², evitando a supressão de vegetação que vem ocorrendo durante sua instalação.

A **gestão do consumo de água** na limpeza dos painéis fotovoltaicos torna-se relevante para as usinas em fase de planejamento, instalação ou operação, especialmente nos locais com histórico de déficit hídrico. Nesse sentido, caso a opção para a limpeza das placas solares da usina solar fotovoltaica não seja água, há alternativas tecnológicas. Existem pesquisas em andamento sobre produtos químicos que proporcionam a redução do acúmulo de sujeira sobre os painéis, além de outras iniciativas voltadas ao desenvolvimento de equipamentos e processos que dispensam água para limpeza, tais como, autolimpeza mecânica, autolimpeza eletrostática e utilização de ar pressurizado (CHITEKA, 2020 e SARAVANAN, 2018). É importante mencionar também a relevância da elaboração e revisão contínua de instrumentos de planejamento socioambientais e de recursos hídricos, como o Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE), os planos estaduais de recursos hídricos e os planos de bacia hidrográfica. A partir da identificação das potencialidades e limitações de recursos hídricos, estes instrumentos podem buscar a construção de normativas e procedimentos específicos que orientem a implantação das usinas de forma mais sustentável quanto à utilização da água. Adicionalmente, recomenda-se especial atenção dos agentes do setor e órgãos ambientais, em regiões de déficit hídrico, visando impedir o agravamento de questões relacionadas ao tema diante do aumento da intensidade dos eventos climáticos extremos, como as secas prolongadas.

Conforme mencionado, a **gestão de resíduos eletroeletrônicos** provenientes dos sistemas fotovoltaicos para geração de energia também demanda atenção dentro do horizonte decenal. As usinas solares, os sistemas de Micro e Minigeração Distribuída, além dos Microssistemas Isolados de Geração e Distribuição de Energia Elétrica (MIGDI) e Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermittente (SIGFI) já enfrentam o desafio de destinar corretamente os equipamentos danificados, pois no país ainda não há uma cadeia estruturada para reciclagem desses materiais. De acordo com Irena (2016), as estimativas de descarte de placas fotovoltaicas no Brasil apontam para 18.000 toneladas em 2040 no cenário moderado, podendo chegar a 160.000 toneladas num cenário mais agressivo. Destaca-se que essas estimativas não contemplam as substituições precoces de placas⁴³, que poderão ser incentivadas por fatores como o aumento da eficiência das placas, o balanço positivo na venda de energia para a rede, incentivos no financiamento e queda nos preços dos sistemas (ATASU, 2021). Na região norte do país esse desafio torna-se mais difícil devido, principalmente, à precariedade da gestão de resíduos em geral e aos custos altos de logística. Conforme o artigo *Photovoltaic systems, costs, and electrical and electronic waste in the Legal Amazon: An evaluation of the Luz para Todos Program*, ao longo de 33 anos, seriam geradas entre 58 e 234 mil toneladas de lixo eletrônico. Portanto, é importante o estabelecimento de políticas públicas para a criação de uma cadeia de reciclagem específica para resíduos dos sistemas fotovoltaicos, de abrangência nacional, mas que também conte com as peculiaridades regionais e locais, e o aperfeiçoamento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (Lei nº 12.305/2010). Nesse sentido, pode-se destacar o Projeto de Lei 3.784/2023 que propõe alterar a Lei 12.305/2010 para obrigar os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de painéis solares fotovoltaicos a estruturar e implementar sistemas de logística reversa. Destaca-se também uma recicladora de resíduos da geração fotovoltaica, de pequeno porte, instalada no estado de São Paulo em 2020.

É importante citar um conjunto de políticas públicas que pode favorecer o desenvolvimento e aprimoramento da gestão de resíduos na geração de energia fotovoltaica: Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares) de 2022 que foi elaborado, principalmente, para estruturar o diagnóstico e definir estratégias de longo prazo que viabilizem a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS); o Programa Nacional de Logística Reversa, também de 2022, cujos objetivos principais são otimizar a imple-

⁴² A extensão territorial de áreas de pastagens degradadas no Nordeste brasileiro é da ordem de quatro milhões de hectares (IBGE, 2017), as quais poderiam ser utilizadas para o estabelecimento de empreendimentos fotovoltaicos (NOBRE et al., 2019).

⁴³ O fenômeno das substituições precoces de painéis fotovoltaicos já ocorre nos EUA (ATASU, 2021) e na Austrália (MATHUR et al., 2021).

mentação e a operacionalização da infraestrutura física e logística, proporcionar ganhos de escala e possibilitar a sinergia entre os sistemas; e a recente publicação do Decreto nº 12.106/2024 que regulamenta o incentivo fiscal à cadeia produtiva da reciclagem instituído na Lei nº 14.260/21 que estabelece incentivos à indústria da reciclagem.

Verifica-se que a gestão de resíduos eletroeletrônicos da cadeia solar fotovoltaica constitui uma nova oportunidade de mercado no país, levando-se em conta os princípios da economia circular, que priorizam a não geração e a reutilização de resíduos⁴⁴. Vidro e alumínio compõem quase 90% dos módulos, mas eles contêm também uma pequena parcela de metais mais nobres como prata e cobre, bem como chumbo e polímeros que podem ser poluentes. Materiais raros, como rutênio, gálio, índio e telúrio são componentes essenciais em painéis fotovoltaicos e uma estratégia de economia circular poderia não apenas prevenir e mitigar problemas ambientais, mas também reduzir a demanda por materiais de terras raras. Neste sentido, é importante que haja o fomento de um setor de reciclagem especializado no país, contribuindo também para geração de empregos e renda. De acordo com Goe e Gaustad (2016), as instalações de reciclagem localizadas perto de empreendimentos fotovoltaicos representariam uma boa solução em termos ambientais e tecnológicos.

Na Europa, onde esse desafio já está mais acentuado, a União Europeia (UE) estabeleceu, em 2012, a diretiva *Waste Electrical and Electronic Equipment* (EC, 2020), a qual exige que todos os produtores que fornecem painéis fotovoltaicos para o mercado da UE financiem os custos de coleta e reciclagem no final da vida útil de painéis fotovoltaicos comercializados no mercado na Europa, abrangendo inclusive produtores localizados fora da EU. Nesse sentido, uma planta industrial voltada exclusivamente para a reciclagem de painéis fotovoltaicos foi inaugurada na França em 2018. Nos EUA, em 2022, o Departamento de Energia instituiu um Plano de Ação para tratar dessa questão, intitulado *Solar Energy Technologies Office Photovoltaics End-of-Life Action Plan* (United States, 2022). As iniciativas de reciclagem estabelecidas na Europa e EUA conseguem promover a recuperação significativa do material em painéis fotovoltaicos de silício cristalino, mesmo assim o desafio da gestão de resíduos fotovoltaicos ainda permanece⁴⁵.

Atualmente, há vários grupos de pesquisa no mundo buscando alternativas mais eficientes de reciclagem dos painéis fotovoltaicos. O projeto RECUPER3, desenvolvido pelo CETEM (Centro de Tecnologia Mineral) e contratado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), está mapeando novos caminhos na gestão de resíduos eletroeletrônicos com objetivo de identificar e avaliar o potencial das rotas de circularidade na recuperação de materiais secundários provenientes da mineração urbana desses resíduos⁴⁶. Também há iniciativas internacionais de pesquisa em novas tecnologias, voltadas para o aumento da durabilidade, da eficiência e da vida útil, além de melhorias no *design* dos equipamentos e sistemas fotovoltaicos (IRENA, 2019), as quais poderão promover a redução do volume de resíduos descartados e a ampliação da reutilização e reciclagem dos componentes das placas fotovoltaicas.

Um ponto que vem ganhando cada vez mais relevância, por conta da emergência climática atual, refere-se às **emissões do ciclo de vida relacionadas à fonte solar fotovoltaica**. De acordo com Constantino et al. (2018), a contribuição da fonte para a diminuição dos Gases de Efeito Estufa (GEE) não é uma garantia absoluta, pois é fundamental que se avalie a estrutura da matriz de fornecimento de energia elétrica do país fabricante dos sistemas solares fotovoltaicos, bem como do país onde a tecnologia será implantada. No caso do Brasil, onde a matriz elétrica possui alta participação de fontes renováveis, o incentivo ao uso de sistemas fotovoltaicos fabricados em nações cuja matriz elétrica registre altos fatores de emissão deve ser bem avaliado em termos dos impactos das concentrações de GEE e da promoção do desenvolvimento sustentável, a fim de evitar a importação indireta de quantidades significativas de carbono embutido nos sistemas. Ferramentas para quantificação das emissões de GEE na fabricação dos sistemas solares fotovoltaicos, ao longo do ciclo de vida completo, podem ser aplicados para análises

⁴⁴Segundo Irena (2016), o índice de recuperação dos painéis possui rendimentos maiores que 85% da massa total.

⁴⁵ O estudo *Sistemas Fotovoltaicos na Amazônia Legal: avaliação e proposição de políticas públicas de universalização de energia elétrica e logística reversa* apresenta mais detalhes sobre políticas internacionais de resíduos sólidos de sistemas fotovoltaicos (IEMA, 2023). [IEMA_UniversalizacaoAmazônia20230427.pdf \(energiaeambiente.org.br\)](https://www.gov.br/cetem/pt-br/assuntos/noticias/projeto-recuper3-explora-novos-horizontes-na-gestao-de-residuos-eletroeletronicos_)

⁴⁶ https://www.gov.br/cetem/pt-br/assuntos/noticias/projeto-recuper3-explora-novos-horizontes-na-gestao-de-residuos-eletroeletronicos_. Acesso em 23/08/2024.

comparativas. Atualmente, encontra-se em andamento a Taxonomia Sustentável Brasileira⁴⁷ que disponibilizará critérios e indicadores específicos para avaliar se uma atividade contribui para a sustentabilidade e poderá contemplar, em alguma medida, as emissões de GEE nas cadeias de fabricação de equipamentos para o setor de energia. Nesse contexto, soluções globais são essenciais, bem como incentivos à fabricação de placas solares fotovoltaicas cujo processo utilize fontes de energia renovável.

Um outro tema relevante são os **aprimoramentos no licenciamento e na legislação ambiental** necessários num contexto de expansão acentuada. De acordo com estudo recente, até o presente momento não existem normas específicas de abrangência nacional para empreendimentos de geração de energia por fonte solar. No entanto, nos âmbitos estadual, distrital e municipal, diversas normas específicas têm sido editadas e apresentam grande diversidade dos critérios de enquadramento, tanto em relação ao porte e potência da UFV, quanto aos procedimentos adotados no licenciamento ambiental. Uma normativa nacional para a fonte solar poderia padronizar conceitos e critérios para exigências ambientais, agregar eficiência aos procedimentos realizados pelos órgãos licenciadores, além de possibilitar maior segurança jurídica e administrativa aos empreendedores dos projetos solares (Eletrobras e EPE, 2021).

Por fim, há ainda outros pontos que requerem atenção relacionados à fonte, tais como a gestão de impactos cumulativos e sinérgicos nas usinas híbridas, a garantia da qualidade dos estudos ambientais e PBAs e a capacitação aliada à promoção da diversidade da mão-de-obra. Sobre a diversidade, por exemplo, o setor fotovoltaico brasileiro tem participação majoritária do gênero masculino em suas operações (GIZ, 2021), demonstrando a necessidade de esforços para ampliar a participação feminina.

O Quadro 18 a seguir resume os principais desafios relacionados à expansão da fonte solar fotovoltaica centralizada no PDE 2034 e as iniciativas e recomendações associadas.

Quadro 18 – Principais desafios e iniciativas socioambientais relacionados à expansão fotovoltaica centralizada

| Desafio | Iniciativas | Recomendações |
|---|---|--|
| Conservação dos remanescentes de vegetação nativa | - Plano de Ação Brasileiro de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAB) ⁴⁸ . | <ul style="list-style-type: none"> - Aumentar a extensão de áreas protegidas por meio da criação de unidades de conservação. - Criar legislações específicas para proteção da vegetação nativa nos biomas cerrado e caatinga. - Elaborar zoneamento ecológico econômico e outras políticas públicas, com atenção ao processo de licenciamento ambiental, que incentivem a implantação das usinas em áreas antropizadas e/ou degradadas. |
| Gestão do consumo de água na limpeza dos painéis fotovoltaicos | <ul style="list-style-type: none"> - Pesquisas com aplicação de produtos químicos sobre os painéis para redução do acúmulo de sujeira. - Pesquisas com equipamentos que não utilizam água para limpeza dos painéis (mecanismos automatizados, funcionamento por ar pressurizado, e outros). | <ul style="list-style-type: none"> - Elaborar o Zoneamento Ecológico Econômico. - Criar políticas públicas específicas que reforcem a importância do tema junto aos agentes do setor. - Criar normativas mais restritivas para proteger as regiões com histórico de déficit hídrico. |
| Gestão de resíduos eletróletrônicos | - Licenças ambientais contendo condicionantes específicas. | <ul style="list-style-type: none"> - Consolidar a aplicação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. - Ampliar a fiscalização sobre a disposição final correta. |

⁴⁷ <https://www.gov.br/fazenda/pt-br/orgaos/spe/taxonomia-sustentavel-brasileira>. Acesso em 23/08/2024.

⁴⁸ O PAB é uma iniciativa conjunta do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), em colaboração e parceria com a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), e o apoio da Fundação Joaquim Nabuco (Fundaj) e da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e o Ministério da Educação.

| Desafio | Iniciativas | Recomendações |
|---|---|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> - Pesquisas com tecnologias voltadas ao aumento da durabilidade, eficiência, vida útil e melhorias em design. - Iniciativa privada de pequeno porte oferecendo soluções de logística reversa ao setor fotovoltaico. - Projeto de lei para obrigar os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de painéis solares fotovoltaicos a estruturar e implementar sistemas de logística reversa. -Projeto RECUPER3 (CETEM/MCTI). | <ul style="list-style-type: none"> - Promover a criação de arranjos institucionais para viabilizar a implementação de uma cadeia de reciclagem/reutilização dos sistemas fotovoltaicos. - Garantir que os Estudos Ambientais estabeleçam Planos de Gestão de Resíduos. - Promover iniciativas de cooperação internacional. - Fomentar pesquisas sobre reciclagem de painéis fotovoltaicos. - Elaborar arcabouço legal específico. |
| Licenciamento Ambiental | <ul style="list-style-type: none"> - Normas estaduais e municipais definindo critérios para enquadramento das usinas por meio do porte e potência. | <ul style="list-style-type: none"> - Normativa nacional específica para a fonte solar que traga padronização de conceitos, critérios e segurança jurídica. |
| Emissões do ciclo de vida das placas solares fotovoltaicas | <ul style="list-style-type: none"> - Taxonomia Sustentável Brasileira (em andamento). | <ul style="list-style-type: none"> - Incentivos à fabricação de placas solares fotovoltaicas cujo processo utilize fontes de energia renovável. |

Principais oportunidades socioambientais e conjuntura relacionadas à expansão da geração fotovoltaica centralizada

A **hibridização das fontes** é uma oportunidade especial para a fonte solar, que apresenta sinergias construtivas e operativas com outras fontes (EPE, 2019). Pode-se mencionar a sinergia horária com a geração eólica no Nordeste do país e a complementariedade com usinas térmicas e em reservatórios de UHEs. Como exemplos, destacam-se a usina híbrida eólica e solar em Tacaratu (PE) e a usina Solar Flutuante no Reservatório de Sobradinho (BA). Em 2021 a Aneel publicou a Resolução Normativa n. 954, que estabeleceu tratamento regulatório para a implantação de centrais geradoras híbridas (UGH) e centrais geradoras associadas (ANEEL, 2021).

Outra oportunidade da expansão solar é utilizar a fonte como um meio para **prover energia renovável em áreas isoladas**, promovendo uma transição energética justa e inclusiva ao contribuir para o desenvolvimento socioeconômico de regiões vulneráveis, reduzir a pobreza energética⁴⁹ e a dependência por combustíveis fósseis nessas localidades, bem como as emissões de gases de efeito estufa associadas. Cabe destacar as oportunidades para a utilização da geração solar fotovoltaica no âmbito do Programa Energias da Amazônia⁵⁰ o qual contempla a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis no rol das suas ações e projetos elegíveis.

Já a emissão dos *Renewable Energy Certificates* (RECs) ou **Certificados de Energia Renovável** pelas usinas solares fotovoltaicas representa uma oportunidade para geração de receitas e incentivo aos investimentos em renováveis. Os RECs podem atender a diversas plataformas de relato de resultados socioambientais, como RE 1000, Protocolo GHG, CDP, GRI etc.⁵¹. Também permitem a rastreabilidade da energia consumida e facilitam a contabilidade de carbono compatível com vários padrões internacionais. Adicionalmente, a energia solar fotovoltaica pode gerar **créditos de carbono** e promover novas oportunidades

⁴⁹ Os indivíduos energeticamente pobres são aqueles que, em geral não acessam serviços de energia de acordo com as suas reais necessidades sociais e materiais básicas para a manutenção da sua qualidade de vida e bem-estar.

⁵⁰ https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/decreto/D11648.htm

⁵¹ Adaptado de <https://recbrazil.com.br/certificacoes.html>. Acesso em 14/12/2021.

de negócios para mitigação e inovação tecnológica no setor de renováveis, fortalecendo a trajetória de baixo carbono da economia brasileira.

O Quadro 19 resume as principais oportunidades relacionadas à expansão de UFVs no PDE 2034 e os fatores conjunturais favoráveis a essas oportunidades.

Quadro 19 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão fotovoltaica centralizada

| Oportunidades | Conjuntura favorável |
|--|--|
| Hibridização | - Existência de usinas e parques instalados que geram energia a partir de outras fontes (hídrica e eólica, por exemplo) e que poderiam agregar produção de energia solar fotovoltaica. |
| Atendimento de áreas isoladas | - O atendimento de áreas isoladas com fontes renováveis se torna importante com o crescente comprometimento na redução de emissões de gases de efeito estufa. |
| Emissão de Certificados de Energia Renovável e créditos de carbono | - Certificação de renováveis em fase de ascensão. - Solar em destaque no mercado de crédito de carbono. |

Indicadores socioambientais da expansão da geração fotovoltaica centralizada

Os indicadores socioambientais considerados têm como base o citado banco de informações, organizado pela EPE, que reúne dados dos estudos ambientais de todas as usinas solares fotovoltaicas contratadas em leilões já realizados. Um dos indicadores é o índice de área ocupada por potência instalada. O resultado aponta que a área média necessária para a produção de 1 MW é aproximadamente 0,03 km², ou 3 hectares (Tabela 16). O segundo indicador se refere à área total das plantas fotovoltaicas do horizonte decenal, que é calculado a partir da multiplicação do primeiro indicador pela expansão prevista no horizonte decenal (13.147 MW). Assim, estima-se que as usinas fotovoltaicas ocuparão aproximadamente 369 km² no período considerado.

No caso do indicador de empregos, é considerado apenas o número de empregos diretos gerados no pico das obras. Este indicador é resultado da multiplicação da média de empregos diretos gerados por potência dos empreendimentos já contratados através dos leilões de geração (2,8/MW), e que mencionaram estes valores nos respectivos estudos ambientais, pela expansão prevista no PDE 2034.

Tabela 16 – Indicadores socioambientais da expansão solar fotovoltaica

| Indicadores Ambientais | |
|---|------------------------------|
| Área média necessária para a produção de 1 MW | 0,03 km ² ou 3 ha |
| Área ocupada pela expansão de usinas fotovoltaicas no decênio | 369 km ² |
| Indicadores Socioeconômicos | |
| Empregos diretos gerados no pico das obras | 37.008 |

Nota: A base de cálculo são as informações declaradas nos estudos ambientais de todas as usinas vencedoras dos Leilões de Energia Elétrica do Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e a expansão indicativa.

4.7 Transmissão de Energia Elétrica

Benefícios da transmissão de energia elétrica

- O Sistema Interligado Nacional (SIN) é formado por uma extensa malha de linhas de transmissão (LT) que atuam em tensão igual ou superior a 230 kV, denominada Rede Básica, com a função de conectar as fontes geradoras de energia aos centros de consumo. A interligação das usinas hidrelétricas possibilita a otimização dessa geração a partir do aproveitamento da sazonalidade dos regimes hidrológicos das bacias hidrográficas, que se complementam ao longo do ano, contribuindo para a estabilidade do sistema. Portanto, um sistema de transmissão interligado garante a **gestão do despacho de geração**, que considera o armazenamento de água no conjunto dos reservatórios das usinas hidrelétricas, proporcionando ganhos significativos na geração de energia para o país.
- Com o aumento da participação de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira, a expansão do sistema de transmissão possibilita o **aproveitamento do potencial de geração eólica e solar** localizado longe dos centros de carga. Toda essa expansão configura um cenário que demanda soluções robustas e eficientes na Rede Básica para o escoamento dessa produção.
- As LTs proveem ao SIN **confiabilidade**, possibilitando que pequenas perturbações sejam superadas sem corte de carga, **e resiliência**, evitando ou reduzindo o impacto de eventos extremos no atendimento à carga, inclusive em casos de perda de elementos da Rede Básica.
- Devido à abrangência nacional, a expansão da transmissão tem o benefício da geração de empregos diretos e indiretos em diversos estados, aumento da demanda por bens e serviços e arrecadação tributária, gerando impactos sociais e econômicos positivos.

Sistema de transmissão de energia elétrica atual

O Brasil possui atualmente **185.489 km de linhas de transmissão**, considerando as linhas em operação da Rede Básica, conexões de usinas, interligações internacionais e 190 km instalados no sistema isolado de Roraima (MME, 2024). Desse total, destacam-se as classes de tensão de 230 kV e de 500/525 kV como as mais representativas em termos quantitativos, e as classes de tensão de 600 kV e 800 kV, em corrente contínua, como mais extensas.

A maior parte do Sistema Elétrico Brasileiro está conectada ao SIN, responsável por quase todo o suprimento elétrico do país, integrando diferentes fontes de geração de energia aos centros de carga. O restante faz parte dos sistemas isolados, que estão localizados majoritariamente na região Norte, principalmente nos estados do Amazonas e Roraima. Os sistemas isolados, que atualmente correspondem a menos de 1% da carga total do SIN, vêm reduzindo sua participação no atendimento às cargas devido ao aumento de interligações de localidades isoladas ao SIN e ao atendimento às comunidades via Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica – Luz Para Todos. Segundo dados do Planejamento do Atendimento aos Sistemas Isolados (EPE, 2023), o número de localidades isoladas teve uma redução de 23 % de 2022 para 2023.

Segundo dados do ONS (2024a), cerca de 49% da capacidade instalada de geração do SIN são provenientes de usinas hidrelétricas, sendo que nos últimos anos as fontes alternativas vêm ganhando importância, com destaque às usinas eólicas (13,7%), que apresentaram forte crescimento, principalmente nas regiões Nordeste e Sul e que atualmente representam o segundo lugar em participação na matriz elétrica brasileira.



Expansão da transmissão nos próximos 10 anos

Levando em conta as incertezas inerentes ao processo de planejamento, os estudos elétricos consideraram três cenários para a expansão do sistema de transmissão. A diferença entre eles se dá pela hipótese de implantação ou não de empreendimentos ainda não licitados ou autorizados (sem outorga), mantendo-se a previsão dos empreendimentos já outorgados. Sendo assim, o cenário otimista considera a implantação de todos os empreendimentos, com ou sem outorga, de acordo com a data de necessidade original prevista nos estudos de planejamento. O cenário de referência, utilizado neste PDE, é uma variação do cenário otimista, considerando uma reavaliação da data de necessidade dos empreendimentos. Por fim, o cenário pessimista desconsidera os empreendimentos sem outorga.

A expansão da rede básica de transmissão de energia elétrica, baseada no cenário de referência, entre os anos de 2025 e 2034 prevê a implantação de **30.198 km**, ou seja, uma expansão de 16% na extensão do sistema. Desse total, 24.450 km (aproximadamente 81%) estão previstos para entrar em operação até 2029, no primeiro quinquênio do horizonte decenal.

O conjunto de LTs planejadas apresenta empreendimentos em diferentes etapas de planejamento, muitos dos quais ainda nas fases iniciais dos estudos, não possuindo uma configuração locacional precisa. Contudo, ressalta-se que na etapa de planejamento desses empreendimentos procura-se desviar das áreas mais complexas do ponto de vista socioambiental, evitando-se, dessa forma, impactos socioambientais significativos. No conjunto de empreendimentos planejados, cerca de 78% estão na etapa de Relatório R3 (Definição da Diretriz de Traçado e Análise Socioambiental), que ocorre antes do leilão, ou de DUP (Declaração de Utilidade Pública), quando o empreendimento já está outorgado.

A análise socioambiental da expansão da transmissão neste PDE 2034 busca antecipar as principais questões socioambientais do conjunto de LTs da Rede Básica planejado nos estudos da expansão do sistema elétrico, conforme as especificidades de cada região. As premissas consideradas na análise socioambiental, em razão da escala de análise, não contemplaram os seccionamentos planejados nas proximidades das subestações, tampouco os projetos de recapacitação e reconduitoramento. Para as LTs em circuito duplo e os bipolos de corrente contínua contabilizou-se apenas um único circuito ou polo. Além disso, há empreendimentos nos cinco últimos anos do horizonte deste PDE (horizonte indicativo) cujos estudos de planejamento ainda não foram iniciados, não se dispõe, portanto, de sua representação espacial. Por esse motivo essas LTs não foram consideradas. Partindo dessas premissas, **o universo considerado nesta análise socioambiental corresponde a 233 linhas (24.431 km de extensão)**.

BOX 3 – ESCOAMENTO DE GERAÇÃO DO NORDESTE

Destaca-se neste PDE 2034 o incremento significativo de LTs nas regiões Sudeste e Nordeste em comparação às publicações anteriores. O aumento advém especialmente do Estudo de Escoamento de Geração na Região Nordeste, dividido em três volumes (Área Sul, Área Leste e Área Norte), que abrange LTs tanto na região Nordeste quanto na região Sudeste, e visa escoar a expansão da geração eólica e fotovoltaica contratada nessas regiões, assim como ampliar as margens para novas conexões. Outro estudo que também tem forte influência no aumento das LTs planejadas na região Sudeste é o de Expansão da Capacidade de Transmissão da Região Norte de Minas Gerais, que tem como objetivo possibilitar o escoamento da geração solar nessa região. As demais regiões não tiveram alterações significativas na extensão das LTs.

A Figura 17 apresenta a configuração de referência para o sistema de transmissão planejado e sua distribuição nas diferentes regiões do território nacional, bem como a localização das terras indígenas e das unidades de conservação.

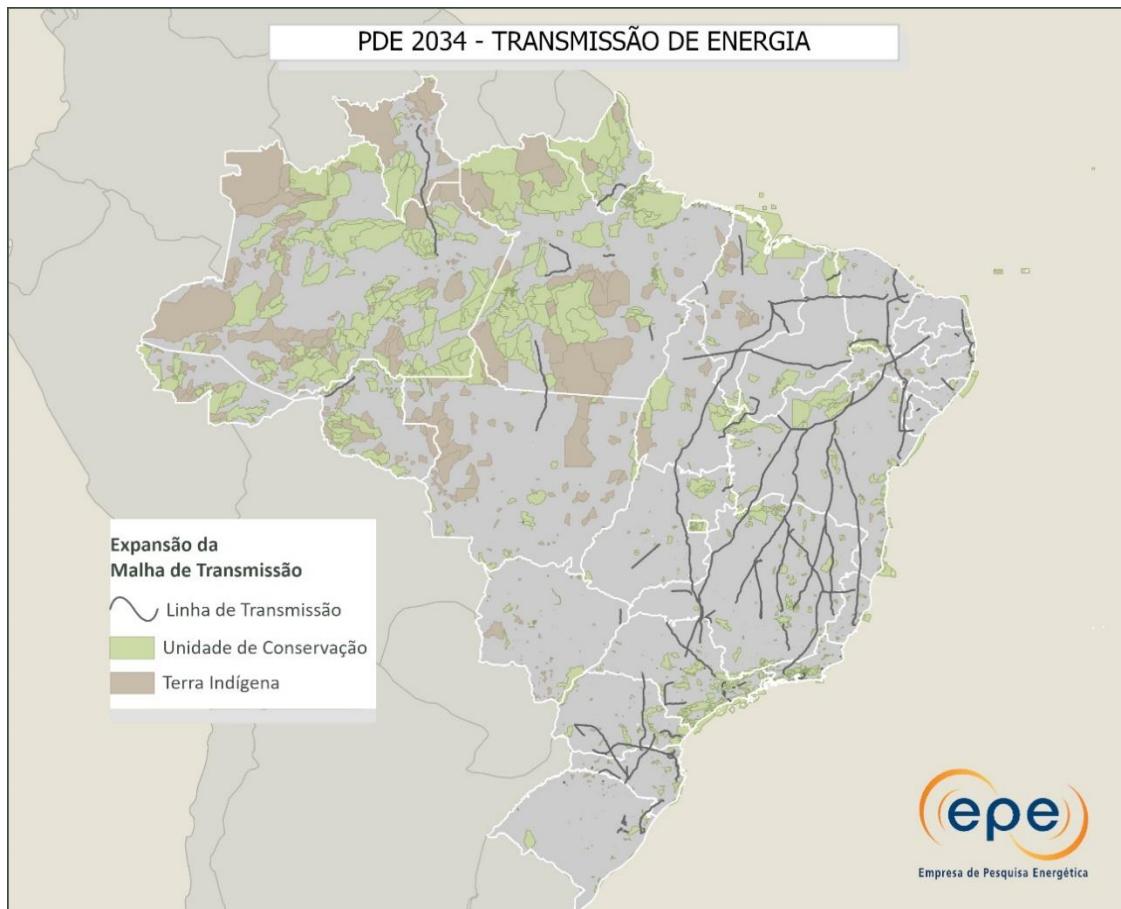


Figura 17 - Linhas de transmissão planejadas no PDE 2034 e áreas legalmente protegidas

A Tabela 17 mostra a distribuição das LTs planejadas no PDE 2034 considerando a extensão por região geográfica.

Tabela 17 - Extensão das linhas de transmissão por região

| Extensão das LTs por região (km) | | | | | Total (km) |
|----------------------------------|----------|--------------|---------|-------|---------------|
| Norte | Nordeste | Centro-Oeste | Sudeste | Sul | |
| 2.581 | 9.461 | 1.183 | 8.470 | 2.736 | 24.431 |

Nesse cenário, observamos a expansão da Rede Básica ocorrendo na região Norte com a interligação Manaus – Boa Vista e o reforço ao sistema Acre/Rondônia. Destacam-se também na região Norte o atendimento ao oeste do Pará (PA), o reforço à região de Novo Progresso (PA) e à capital Macapá (AP).

No Nordeste do país, a expansão da rede de transmissão é planejada, sobretudo, para o escoamento do potencial de energia eólica, térmica e fotovoltaica, atendimento às regiões metropolitanas de Fortaleza, João Pessoa, Maceió, Salvador e Recife, e suprimento às cargas do extremo oeste da Bahia, do leste e sul do Maranhão e Centro-Norte Piauiense.

No Centro-Oeste, destacam-se as obras de reforço das interligações entre as regiões Norte/Nordeste e Sudeste/Centro-Oeste e da região de Novo Progresso (MT), e para atendimento à região central dos estados de Mato Grosso do Sul e Goiás.

No Sudeste, as linhas destinam-se principalmente ao escoamento do potencial solar do norte de Minas Gerais, novo epicentro da energia solar no Brasil, ao reforço ao subsistema para atendimento às regiões de Niterói, Magé e São Gonçalo, no Rio de Janeiro, de Capão Bonito e à região industrial de Maioriporã, Jaguari e São José dos Campos, em São Paulo, e para escoar a energia de usinas termelétricas dos estados do Rio de Janeiro e do Espírito Santo.

Na região Sul têm destaque as LTs para escoamento da energia gerada em parques eólicos, atendimento à região serrana do Rio Grande do Sul, às regiões norte, oeste e o Vale do Itajaí em Santa Catarina e às regiões metropolitanas de Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre.

Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão da transmissão

As principais interferências socioambientais da implantação de linhas de transmissão variam entre as regiões em função da diversidade de ambientes atravessados e das distintas características de cada bioma. Diante dessas diferenças regionais, a análise socioambiental considerou, além das áreas protegidas (unidades de conservação, terras indígenas e terras quilombolas), os assentamentos do Incra, que apresentam limites bem definidos para a estimativa das interferências, e o uso e ocupação do solo. Estas interferências podem ocorrer em áreas sensíveis como, por exemplo, áreas cobertas com vegetação nativa e áreas urbanas e periurbanas, que demandam medidas para mitigação dos possíveis impactos socioambientais na construção e operação do empreendimento.

BOX 4 – A INTERLIGAÇÃO MANAUS BOA VISTA

A Interligação Manaus – Boa Vista foi licitada em 2011 e seu traçado atravessa a terra indígena Waimiri – Atroari ao longo da BR-174, única rodovia existente na região. O desvio da terra indígena implicaria a construção da LT em áreas muito remotas, demandando a abertura de novos acessos que gerariam vetores de desmatamento, e foi considerada uma alternativa de traçado de maior impacto ambiental pelo orgão ambiental licenciador. Ocorre que o trâmite da questão indígena provocou um grande atraso no licenciamento dessa LT, inicialmente prevista para entrar em operação no ano de 2016. Cabe mencionar que essa interligação é considerada estratégica por permitir que o estado de Roraima receba energia do SIN, uma vez que a capital Boa Vista é atualmente atendida pela energia de usinas termelétricas a óleo diesel, gerando um alto custo financeiro e ambiental.

O Ibama emitiu licença de instalação para a LT Manaus-Boa Vista em setembro de 2021 e atualmente as obras se encontram em andamento.

As informações relativas à extensão das LTs planejadas no horizonte decenal que incidem em unidade de conservação (UC), terra indígena (TI), terra quilombola (TQ) e assentamento do Incra, por região geográfica, são apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18 - Extensão das linhas de transmissão planejadas em áreas com restrição socioambiental

| Tipo de área atravessada | Extensão das LTs por região (km) | | | | | |
|-----------------------------|----------------------------------|----------|--------------|---------|-----|------------|
| | Norte | Nordeste | Centro-Oeste | Sudeste | Sul | Total (km) |
| UC proteção integral | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 4 |
| UC uso sustentável | 93 | 220 | 0 | 167 | 101 | 581 |
| Terra indígena | 121 | 0 | 0 | 0 | 0 | 121 |
| Terra quilombola | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 |
| Assentamento do Incra | 340 | 239 | 67 | 85 | 19 | 750 |

Nota: Interferências estimadas a partir de: FUNAI, 2024; Incra, 2024a; INCRA 2024b; MMA, 2024.

Na **região Norte**, o tema **povos e terras indígenas** é considerado relevante devido, principalmente, à sobreposição de uma LT em Terra Indígena, além de outras duas linhas que passam a menos de 8 km de distância de TIs. De acordo com a Portaria Interministerial nº 60/2015⁵², os limites de distâncias das TIs –

⁵² Estabelece procedimentos administrativos que disciplinam a atuação dos órgãos e entidades da administração pública federal envolvidos no licenciamento ambiental federal.

8 km na Amazônia Legal e 5 km nas demais regiões – são considerados como referência para a realização ou não, no âmbito do licenciamento ambiental, de estudo específico sobre as comunidades indígenas (Estudo do Componente Indígena – ECI). O tema foi considerado relevante diante da **complexidade envolvida no processo de licenciamento** da LT Lechuga – Equador (trecho da interligação Manaus – Boa Vista), considerada estratégica por permitir ao estado de Roraima receber energia do SIN.

No Nordeste, a **biodiversidade é um tema relevante** tendo em vista o atual estágio de antropização e fragmentação dos biomas Caatinga e Mata Atlântica, onde ocorre parte da expansão da transmissão associada às regiões metropolitanas, e para o escoamento de energia dos parques eólicos e da geração fotovoltaica nas demais áreas.

Na região Sudeste, destaca-se o tema biodiversidade, particularmente a interferência da expansão da transmissão em remanescentes de Mata Atlântica. Esse tema foi considerado importante na região, diante das ameaças ao bioma, que de forma geral apresenta paisagem fragmentada, com poucas áreas cobertas por vegetação nativa. Nesse contexto, vale citar que, devido à sua importância, os remanescentes de vegetação nativa da Mata Atlântica são protegidos por legislação específica (Lei nº 11.428/2006, regulamentada pelo Decreto nº 6.660/2008). Adicionalmente, devido à presença de relevo montanhoso na região Sudeste, ressalta-se a interferência para abertura de acessos em encostas e topos de morro, onde a vegetação é fundamental para a retenção de água e a estabilização do solo.

Outro tema com destaque na região Sudeste é a **interferência das LTs planejadas na paisagem**, tanto em áreas de beleza cênica natural, em especial nas regiões serranas, quanto em áreas urbanas e de expansão urbana. Cabe mencionar que desde a concepção as LTs são planejadas para desviar de áreas turísticas e de áreas urbanas para mitigar interferências na paisagem. Quando o desvio de regiões densificadas não é possível, é indicado o uso de torres e subestações compactas ou LTs subterrâneas no caso dos grandes centros, de forma a minimizar esse tipo de impacto. As LTs subterrâneas também minimizam o impacto no uso do solo urbano, pois geralmente são implantadas em vias públicas.

Na região Sul, destaca-se o tema biodiversidade, com a expansão das linhas de transmissão que se estendem por remanescentes bem preservados, principalmente de Mata Atlântica, particularmente importantes diante das constantes ameaças ao bioma. Se por um lado medidas como alteamento de torres amenizam o impacto das linhas nessas áreas, por outro, há maior necessidade de supressão de vegetação para abertura de acessos, diante da precária acessibilidade, sobretudo em regiões serranas.

Outro tema que merece destaque na região Sul é a **interferência das LTs na paisagem**, principalmente em função das linhas localizadas nas áreas de expansão urbana na Região Metropolitana de Porto Alegre e no Vale do Itajaí, em Santa Catarina, e para as áreas de relevante beleza cênica.

No Centro-Oeste, devido à posição geográfica centralizada da região, passarão os empreendimentos de transmissão planejados para reforço do intercâmbio elétrico entre as regiões Norte/Nordeste e Sudeste/Centro-Oeste, e para atendimento ao estado de Goiás e às regiões de Novo Progresso (no Pará), e central de Mato Grosso do Sul. No horizonte decenal, as LTs planejadas na região não atingem TIs, TQs e UCs de proteção integral ou de uso sustentável. Não obstante a extensão de LTs planejadas atravessando áreas de agricultura e de pastagem no Centro-Oeste, considera-se, na presente análise da expansão decenal, que as interferências socioambientais são inexpressivas no contexto geral da região.

Foi identificada a sobreposição de uma LT com Território Quilombola na região Sudeste, em Minas Gerais, ocorrida devido ao fato de a delimitação do território (RTID) ter sido disponibilizada na base de dados do Incra posteriormente ao planejamento da LT e elaboração de sua diretriz de traçado no Relatório R3. Ressalta-se que durante o licenciamento e construção a LT poderá ter seu traçado revisado e desviado do TQ. Não foram identificadas sobreposições com TQ em outras regiões, motivo pelo qual o tema foi considerado não relevante neste PDE.

Além dos temas citados, cabe mencionar a sobreposição em assentamentos do Incra, considerada não relevante devido à possibilidade de coexistência com as LTs, visto que em muitos casos é possível conciliar o uso da faixa de servidão com pequenos cultivos ou criação de rebanhos, guardadas as normas

de segurança. Na região Norte, os assentamentos são inevitavelmente atravessados pelas LTs, pois geralmente estão próximos a acessos viários e ainda formam aglomerados intercalados por áreas protegidas e áreas com vegetação nativa, que são prioritariamente evitadas.

Com relação ao tema biodiversidade, cabe mencionar que, ainda que haja interferências em UCs, a maior parte delas ocorre em APAs, categoria de uso sustentável que visa disciplinar o processo de ocupação territorial e que, em geral, já possuem algum grau de antropização. Foram observados ainda casos pontuais de sobreposição em UCs de proteção integral. Sem minimizar a importância do impacto local dessas sobreposições, considerando a expansão da transmissão como um todo, essas interferências são consideradas inexpressivas.

Resumidamente, no âmbito deste PDE, destacam-se as interferências das linhas de transmissão na **biodiversidade** nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul. As interferências em **paisagens** têm maior importância nas regiões Sudeste e Sul, devido à incidência de LTs em áreas urbanizadas e em regiões de beleza cênica. Por fim, a interferência direta de uma LT em TI e a proximidade com outras tornam o tema **povos e terras indígenas** relevante na expansão do sistema de transmissão na região Norte.

A Tabela 19 apresenta a síntese da análise socioambiental integrada do PDE 2034 para a transmissão de energia elétrica. Nela estão dispostos, por região, os temas socioambientais considerados relevantes para a expansão planejada.

Tabela 19 – Síntese da análise socioambiental das linhas de transmissão do PDE 2034

| | Norte | Nordeste | Sul | Sudeste | Centro-Oeste |
|-------------|--|--|---|---|--|
| Transmissão |  povos e terras indígenas |  biodiversidade |   paisagem biodiversidade |   paisagem biodiversidade |  interferências inexpressivas |

Notas: (1) A expressão “Interferências inexpressivas” significa que, apesar dos impactos existirem, não são tão expressivos diante da expansão e das sensibilidades regionais, não sendo identificados temas socioambientais relevantes.

O Quadro 20 resume as principais interferências socioambientais relacionadas à expansão da transmissão no PDE 2034; os temas socioambientais associados a essas interferências, conforme metodologia da análise socioambiental integrada; a justificativa pela escolha da interferência na região na qual está prevista a expansão, e por último as medidas mitigadoras relacionadas às interferências listadas.

Quadro 20 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão da transmissão

| Interferência | Tema | Região e justificativa | Medidas mitigadoras |
|----------------------------|---|---|--|
| Impacto visual na paisagem | paisagem  | SE e S: expansão em áreas de beleza cênica natural e em áreas urbanas e de expansão urbana. | Afastar o eixo do empreendimento de áreas turísticas de forma a minimizar o impacto visual sobre a atividade. Uso de subestações e torres compactas, que ocupam menor área, ou recomendação de LTs subterrâneas em áreas urbanas. |

| | | | |
|--|---|--|--|
| Perda e alteração de habitat | biodiversidade  | <p>NE: expansão da transmissão sobre remanescentes de vegetação nativa da Caatinga e Mata Atlântica, diante do atual estágio de fragmentação e antropização dos biomas.</p> <p>SE e S: expansão da transmissão em remanescentes de Mata Atlântica, que já se encontra fragmentada, e abertura de acesso em regiões de relevo acidentado.</p> | <p>Planejamento criterioso de alternativas de rotas de LTs, buscando o desvio de áreas com vegetação nativa e proximidade com acessos e a malha viária existente.</p> <p>Supressão da vegetação apenas nas praças de torres e na faixa de serviço para o lançamento dos cabos.</p> <p>Evitar instalação de torres e abertura de acessos nas Áreas de Preservação Permanente (APPs) ou reduzir a largura da faixa de serviço nessas áreas.</p> <p>Evitar instalação de torres estaiadas em fragmentos florestais.</p> <p>Alteamento de torres nos locais em que a LT intercepta fragmentos florestais ou APPs, de modo a manter a distância de segurança cabo – vegetação.</p> <p>Uso de helicóptero ou drone para lançamento de cabos em vãos situados sobre fragmentos de vegetação nativa florestal, e na manutenção e monitoramento de LTs.</p> |
| Interferência em povos e terras indígenas | povos e terras indígenas  | <p>N: interação com comunidades indígenas e complexidade envolvida no processo de licenciamento.</p> | <p>Desviar o traçado das terras indígenas na etapa de planejamento e observar as distâncias da Portaria Interministerial nº 60/2015.</p> |

Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão da transmissão

Um importante desafio está associado às **mudanças climáticas e seus efeitos sobre o sistema de transmissão** atual, bem como para o planejamento de instalações futuras. O aumento da temperatura média global pode afetar as linhas, reduzindo sua capacidade de transmissão ou mesmo levando à operação do sistema interligado acima da capacidade para a qual foi projetado, implicando aumento dos riscos de desligamentos ou dos custos, por meio da redução da vida útil dos equipamentos. A **maior incidência de eventos extremos**, como chuvas intensas e inundações, incêndios florestais, ventos, descargas atmosféricas, tendem a aumentar as ocorrências de desligamentos das linhas ou subestações, causando prejuízos econômicos e sociais.

Nos anos de 2023 e 2024, o Brasil enfrentou dois eventos marcantes de chuvas extremas com diversas consequências. Em 2023, a região do Litoral Norte de São Paulo e o Rio Grande do Sul passaram por um período intenso de chuvas provocando alagamentos e deslizamentos, com a consequente destruição de infraestruturas e interrupção de serviços essenciais, entre eles o acesso à energia elétrica. Em 2024, o Rio Grande do Sul foi novamente atingido por temporais ainda mais intensos que alagaram municípios inteiros e afetaram diversas infraestruturas, sendo que algumas subestações ficaram submersas e tiveram sua operação paralisada para evitar maiores danos e riscos à segurança do sistema. Eventos desse tipo são de difícil previsão, tornando complexo o planejamento de ações de prevenção, mitigação e contingência.

Segundo dados do ONS (2022b), as principais causas de perturbações em linhas de transmissão da rede básica foram em decorrência das condições meteorológicas adversas (descarga atmosférica, chuva/temporal, vento forte etc.), representando cerca de 30% dos desligamentos em 2021.

A expansão do sistema para atender ao aumento da carga em áreas metropolitanas traz o desafio da ampliação da rede em áreas urbanas e periurbanas, onde a disponibilidade de espaço para inserção de novos empreendimentos é, muitas vezes, limitada. Adicionam-se a isso as alterações na paisagem provocadas pelas torres, podendo levar a maior resistência por parte das populações locais. Nesse cenário, o desafio é **conciliar a expansão das LTs com a preservação da paisagem**, seja ela em áreas urbanizadas ou de interesse turístico.

Outro desafio da transmissão é a **conservação da biodiversidade**, devido à redução da supressão de vegetação nativa, principalmente em regiões de difícil acesso, seja em áreas com cobertura vegetal densa, como na região Norte, ou em áreas de relevo acidentado onde a vegetação cumpre importante papel na estabilidade das APPs, a exemplo das regiões serranas do Sudeste e do Sul. Nesses casos, a abertura de acessos para implantação do empreendimento é muitas vezes inevitável, e deve ser feita com a mínima interferência possível.

A expansão da transmissão na região Norte trouxe nos últimos anos alguns casos em que as LTs estão próximas ou interferem em Terras Indígenas. Ainda que poucos, esses casos exemplificam o desafio de se planejar empreendimentos nessas circunstâncias e os **esforços adicionais de gestão** necessários para solucionar as dificuldades, além da possibilidade de significativos atrasos em sua implantação. Nesses casos, as tratativas entre as instituições de planejamento e licenciamento devem ocorrer com o máximo de antecedência, buscando dar a maior previsibilidade possível ao processo.

As iniciativas que se destacam no âmbito da expansão da transmissão têm relação com mais de um dentre os desafios apontados anteriormente. Uma delas, a intensificação da **articulação entre as instituições**, pode auxiliar no diagnóstico de questões relevantes para o planejamento e operação das linhas de transmissão e somar forças e conhecimento na definição de soluções robustas e eficazes. No âmbito do licenciamento merecem destaque os Workshops “Integração de conhecimento sobre planejamento, regulação setorial e licenciamento ambiental federal de sistemas de transmissão de energia”, realizados em 2018 e 2021, que contaram com a participação de representantes do MME, EPE, Aneel, ONS e Ibama com o objetivo de aprimorar o planejamento e o licenciamento ambiental dos Sistemas de Transmissão de Energia. Entre os resultados do evento, desde sua primeira edição, está a realização de reuniões periódicas entre EPE/MME e Ibama, oportunidade em que são discutidas as principais questões dos empreendimentos em planejamento, motivo pelo qual essa iniciativa foi considerada como tendo relação com todos os desafios apontados.

Outra medida derivada já do primeiro evento, foi a elaboração, pela EPE e ONS, de uma nota técnica com critérios objetivos para definição de linhas de transmissão em circuito duplo ou duas LTs em circuitos simples, interligando as mesmas subestações, bem como critérios para eventual afastamento entre duas LTs em circuito simples, tema recorrente no planejamento e no licenciamento ambiental da transmissão (EPE/ONS, 2020). A adoção de circuitos duplos como premissa geral reduz consideravelmente as interferências causadas pelas LTs, em especial aquelas relacionadas à paisagem e à supressão de vegetação nativa. A adoção de duas LTs de circuitos simples passa a ser considerada exceção, mediante as devidas justificativas técnicas e socioambientais, caso a caso.

No âmbito das mudanças climáticas merece destaque o evento “Resiliência de redes frente a fenômenos climáticos de elevada severidade”, realizado pela Aneel e que contou com a participação de atores ligados à pesquisa espacial e meteorologia, além de concessionárias de transmissão e distribuição. No evento os painelistas tiveram a oportunidade de compartilhar suas experiências com as transformações do clima no contexto brasileiro, suas práticas com eventos extremos e as respectivas estratégias e planos de contingência. Nesse mesmo sentido a Aneel também publicou a Tomada de Subsídios 002/2024, cujo objetivo era “Obter subsídios para avaliar a necessidade de intervenção regulatória associada ao aumento da resiliência do sistema de distribuição e de transmissão a eventos climáticos extremos.”

A Aneel divulga anualmente, por meio de seminários, as principais informações do Sistema de Gestão Geoespecializada da Transmissão (GGT), tais como a situação de limpeza das faixas de segurança das linhas de transmissão com mais riscos de desligamentos por queimadas, diagnóstico de desligamentos das linhas de transmissão, as tecnologias utilizadas para reduzir queimadas em faixas de linhas de transmissão, o uso de sistemas de monitoramento por satélite no apoio à manutenção dos ativos de transmissão, entre outros (Aneel, 2024). O Sistema GGT monitora 102 linhas de transmissão, que representam cerca de 43 mil quilômetros e mais de 86 mil vãos, em diferentes regiões do Brasil.

O Quadro 21 resume os principais desafios relacionados à expansão da transmissão no PDE 2034 e as iniciativas e recomendações associadas.

Quadro 21 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão da transmissão

| Desafio | Iniciativas | Recomendações |
|--|---|---|
| Operação e planejamento do sistema de transmissão sob o risco das mudanças climáticas e seus efeitos | <p>(a) Fortalecimento da articulação entre instituições de planejamento de sistemas de transmissão e órgãos ambientais na fase de planejamento.</p> <p>(b) Workshop “Integração de conhecimento sobre planejamento, regulação setorial e licenciamento ambiental federal de sistemas de transmissão de energia” para aprimorar o planejamento e licenciamento ambiental dos sistemas de transmissão.</p> <p>(c) Workshop “Resiliência de redes frente a fenômenos climáticos de elevada severidade” para compartilhar experiências dos participantes com eventos extremos.</p> <p>(d) Tomada de Subsídios 002/2024, da Aneel, para avaliar a necessidade de intervenção regulatória para aumento de resiliência dos sistemas de transmissão frente a eventos extremos.</p> <p>(e) Sistema de Gestão Geoespecializada da Transmissão (GGT), publicado pela Aneel, com monitoramento de LTs, situação de limpeza das faixas de servidão, diagnósticos de desligamentos etc.</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Considerar o risco das mudanças climáticas e seus efeitos no âmbito do planejamento da transmissão. - Fomentar eventos entre as instituições do setor elétrico para troca de experiências em relação aos eventos extremos. |
| Conciliar a expansão das LTs com a menor interferência possível na paisagem em áreas urbanas e periurbanas ou em áreas turísticas | <p>Itens (a) e (b) descritos anteriormente.</p> <p>(f) Elaboração, pela EPE e ONS, de uma nota técnica de critérios para definição de linhas de transmissão em circuito duplo ou em dois circuitos simples.</p> | |



| | |
|--|---|
| Conservação da biodiversidade por meio da redução de supressão da vegetação nativa | Itens (a), (b) e (f) descritos anteriormente. |
| Planejamento de LTs que demandam interação com comunidades indígenas, levando a esforços adicionais de gestão | Itens (a) e (b) descritos anteriormente. |

Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão da transmissão

O Brasil ainda possui diversas localidades não conectadas ao Sistema Interligado Nacional, chamados sistemas isolados. De acordo com a nota técnica Planejamento do Atendimento aos Sistemas Isolados – Ciclo 2021, publicado pela EPE, existem 196 sistemas isolados no Brasil, a maior parte na região Norte, nos estados do Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia e Roraima, além da ilha de Fernando de Noronha, em Pernambuco, e uma localidade de Mato Grosso. Boa Vista é a única capital do país que ainda não faz parte do SIN (EPE, 2023). O número de localidades isoladas teve redução de 23% quando comparado ao ciclo do PDE 2022, devido principalmente às interligações de localidades ao SIN e ao atendimento via Programas de Universalização de Energia – Luz para Todos.

A geração de energia elétrica nesses locais, em sua maioria a partir de usinas termelétricas a combustíveis fósseis, é mais cara, em função do custo do combustível e de seu transporte, e gera efeitos indesejáveis como níveis de emissões de gases de efeito estufa (GEE) elevados, alteração da qualidade do ar local e possíveis riscos à saúde, além de riscos de vazamento de combustível durante seu transporte. Essas regiões também enfrentam problemas na qualidade de fornecimento da energia, com constantes apagões e quedas de energia. Em 2023, segundo dados do número de ocorrências de interrupções de energia no Sistema Elétrico Brasileiro (MME, 2023), cerca de 9% ocorreram nos sistemas isolados.

De acordo com três estudos elaborados pela EPE, Avaliação dos Benefícios Econômicos da Antecipação da Interligação de Sistemas Isolados nos estados do Amazonas, Acre e Rondônia, a interligação de sistemas isolados ao SIN se mostrou economicamente mais atrativa em relação à geração isolada (EPE, 2021a; EPE, 2020a e EPE, 2020b). Portanto, a interligação dos sistemas isolados ao SIN, quando possível, contribuirá para a redução do nível de emissões de GEE e do custo da oferta de energia, e aumenta a confiabilidade e qualidade do atendimento a essas regiões.

No caso da ilha de Fernando de Noronha, foram identificadas várias dificuldades que impedem a interligação do arquipélago ao SIN, indicando que pelos próximos anos Fernando de Noronha continuará a fazer parte dos sistemas isolados, conforme apresentado no estudo elaborado pela EPE, Fernando de Noronha - Identificação das Alternativas de Suprimento - Avaliação de médio e Longo Prazo (EPE, 2021b).

Como exemplo vale citar a LT Manaus – Boa Vista e a LT Rio Branco – Feijó – Cruzeiro do Sul, duas linhas que visam conectar regiões importantes de seus respectivos estados ao SIN.

O Quadro 22 resume as principais oportunidades relacionadas à expansão da transmissão no PDE 2034 e os fatores conjunturais favoráveis a essas oportunidades.

Quadro 22 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionados à expansão da transmissão

| Oportunidades | Conjuntura favorável |
|---|---|
| Reducir emissões de GEE nos sistemas isolados | - Interligação de Boa Vista/RR, e Cruzeiro do Sul/AC e Feijó/AC ao SIN, com a implantação das LTs Manaus – Boa Vista e Rio Branco – Feijó – Cruzeiro do Sul, respectivamente. |
| Aumentar a confiabilidade de atendimento aos sistemas isolados | - Nota Técnica Avaliação dos Benefícios Econômicos da Antecipação da Interligação de Sistemas Isolados nos estados do Acre, Amazonas e Rondônia |
| Reducir o custo da oferta de energia | - Nota Técnica Fernando de Noronha - Identificação das Alternativas de Suprimento - Avaliação de médio e longo prazo. |

Indicadores socioambientais da expansão da transmissão

Os indicadores socioambientais apresentados na Tabela 20 apontam as possíveis interferências das linhas de transmissão a partir de sua sobreposição e/ou proximidade com áreas protegidas e assentamentos rurais.

Além disso, é estimado o número total de empregos diretos gerados, cujo cálculo é baseado no Modelo de Geração de Empregos (MGE) publicado pelo BNDES na Revista do BNDES 50 (BNDES, 2018). A metodologia leva em conta o investimento realizado ao longo dos anos de construção, que no caso da transmissão foi considerado cinco anos para todos os empreendimentos. O número de empregos estimado é de aproximadamente 151.000 empregos diretos, considerando um investimento de cerca de 76 bilhões de reais para o horizonte decenal (Tabela 20).

Tabela 20 – Indicadores socioambientais da expansão da transmissão de energia elétrica

| Indicadores Ambientais | |
|--|---------------------------------------|
| Extensão total das LTs (km) | 24.431 |
| Extensão total da incidência de LTs em UC de proteção integral (km) | 4 |
| Extensão total da incidência de LTs em UC de uso sustentável (km) | 581 |
| Indicadores Socioeconômicos | |
| Extensão total da incidência de LTs em assentamentos do Incra (km) | 750 |
| N. de LTs com interferência direta em TI | 1 de 233 LTs (aproximadamente 121 km) |
| N. de LT situadas a menos de 8 km de TI na Amazônia Legal ou a menos de 5 km nas demais regiões ⁽¹⁾ | 6 de 233 LTs (aproximadamente 48 km) |
| N. de LTs com interferência direta em TQ ⁽²⁾ | 1 de 233 LTs (aproximadamente 2 km) |
| Empregos diretos gerados na construção ⁽³⁾ | 151.000 |

Notas: (1). Distâncias definidas no Anexo I da Portaria Interministerial nº 60, de 24 de março de 2015. (2). Considerando somente as áreas que possuem limites definidos a partir dos Relatórios Técnicos de Identificação e Delimitação (RTID). (3). Esse dado considera apenas os empregos diretos gerados no período de construção (5 anos), ou seja, há empregos indiretos gerados ao longo do período que não estão sendo considerados.

5 Análise socioambiental da oferta de petróleo, gás natural e biocombustíveis

5.1 Produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados

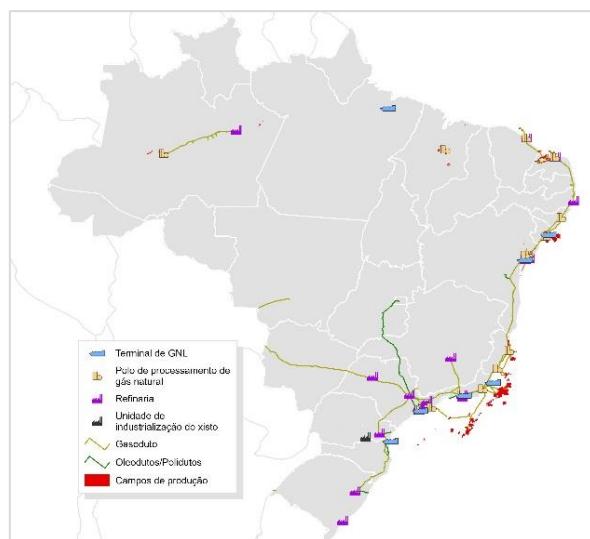
Benefícios da produção e da oferta de petróleo, gás natural e derivados

- Essas fontes possuem papel de destaque na economia mundial e são largamente empregadas em diversos setores, abrangendo **usos energéticos** para os setores residencial, industrial, agropecuário, comercial e público (gás liquefeito de petróleo, óleo diesel e óleo combustível), incluindo o setor elétrico e de transporte de pessoas e cargas (óleo diesel, gasolina, querossene de aviação e óleo combustível); e também **usos não energéticos**, como matéria-prima na indústria petroquímica, fabricação de asfaltos, lubrificantes, solventes, graxas, parafinas e outros produtos.
- O setor de petróleo e gás natural possui expressiva relevância na economia nacional, tendo sido responsável, entre 2010 e 2020, em média, por 17% do PIB industrial brasileiro. Em 2023, as exportações brasileiras de óleos brutos de petróleo/minerais betuminosos representaram 12,5% do valor total exportado pelo Brasil, ficando atrás apenas da soja (15,7%).
- O crescimento das reservas de petróleo e gás natural e a manutenção do estoque de combustíveis contribuem para o aumento da **segurança energética** do país. Adicionalmente, a **geração de eletricidade a partir do gás natural confere segurança para o sistema elétrico**, especialmente diante do crescimento da participação das fontes renováveis variáveis (principalmente eólica e solar).
- Cadeia de produção associada a um setor de exploração e produção maduro, com **domínio técnico e tecnológico do uso, transporte e armazenamento dos recursos**.
- Existem potenciais benefícios socioeconômicos regionais e locais associados a toda a cadeia do petróleo e gás natural: **geração de empregos** diretos e indiretos e **aumento da arrecadação tributária**, contribuindo para o **dynamismo econômico da região**. Historicamente, as participações governamentais que sempre se destacaram em volume de recursos financeiros foram os *royalties* e participações especiais¹ associados à fase de produção de petróleo e gás natural.

Produção atual de petróleo e gás natural e infraestrutura de abastecimento

Segundo o Anuário Estatístico 2024 da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2024a), a produção nacional de petróleo em 2023 foi de 1,2 bilhão de barris e a de gás natural foi cerca de 54,7 bilhões de m³ nos 304 campos em produção, com destaque para a produção dos campos marítimos, que representaram 97,7% da produção de petróleo e 85,8% de gás natural, sendo mais de 74,7% desses volumes referente ao pré-sal.

Segundo o Balanço Energético Nacional (EPE, 2024a), em 2023 a produção foi responsável por cerca de 94% da oferta bruta de petróleo ($211,4 \times 10^6$ m³) e a importação por apenas 6%. Desta oferta bruta, 56% foram destinados à transformação e 44% à exportação. Aproximadamente 92% do consumo final dos derivados de petróleo é energético e 72% desse volume é consumido pelo setor de transportes. Para o gás natural, a produção foi responsável por 89% da oferta bruta (61×10^9 m³) e a importação por apenas 11%. A variação de estoques, perdas e ajustes para o gás



natural somaram 50% da oferta bruta, o consumo final energético contou com uma parcela de 28%, a transformação (produção de derivados de petróleo e geração elétrica) contou com 22%, enquanto o consumo final não energético obteve apenas 1,2% da oferta bruta.

O sistema de abastecimento brasileiro é composto por refinarias e unidades de processamento de gás natural, além da infraestrutura logística associada. Visto que a produção nacional de petróleo e gás natural se concentra no mar, a infraestrutura presente se localiza predominantemente na costa. O processamento de petróleo é realizado em 18 refinarias, com capacidade instalada de 2,4 milhões de barris/dia (b/d). Adicionalmente, existe uma unidade de industrialização do xisto (Paraná Xisto), com capacidade de 6,1 mil t/dia. Já o processamento de gás natural é realizado em 12 polos, com capacidade de 98,8 milhões de m³/dia em 2023 (ANP, 2024a).

Além disso, a infraestrutura para movimentação de petróleo, gás natural e derivados é formada por dutos, terminais terrestres e aquaviários, rodovias e ferrovias. Em 2023, o Brasil dispunha de 67 terminais aquaviários e 60 terminais terrestres, totalizando 2.425 tanques. Com relação à infraestrutura de dutos, em 2023, aproximadamente 20,4 mil km foram destinados ao transporte e transferência de petróleo, gás natural, etanol e derivados. Existiam ainda sete terminais de regaseificação de gás natural liquefeito (GNL) (ANP, 2024a).

Expansão da produção e da oferta de petróleo, gás natural e derivados nos próximos 10 anos

No período decenal está previsto que **96 Unidades Produtivas contratadas** iniciarão a produção de recursos convencionais de petróleo e gás natural, além de **13 UPUs** (Unidades Produtivas em áreas não contratadas que pertencem à União, sendo **53 blocos em oferta permanente delimitados em 9 UPUs + 4 UPUs não subdivididas**). [Para as previsões de produção de petróleo e gás natural deste Plano Decenal, os blocos que estão em oferta permanente foram tratados de forma individualizada nas UPUs, quanto às previsões de volumes de produção. No entanto, todas as UPUs, incluindo estes blocos, tiveram início de produção previsto para o final do horizonte, a partir de 2033]. Essas unidades atingirão cerca de 1,3 milhão de barris/dia de petróleo e aproximadamente 99 milhões de m³ por dia de gás natural em 2034 e a produção total prevista para 2034 é de aproximadamente 315 milhões de m³ por dia de gás natural e cerca de 4,4 milhões de barris/dia de petróleo.

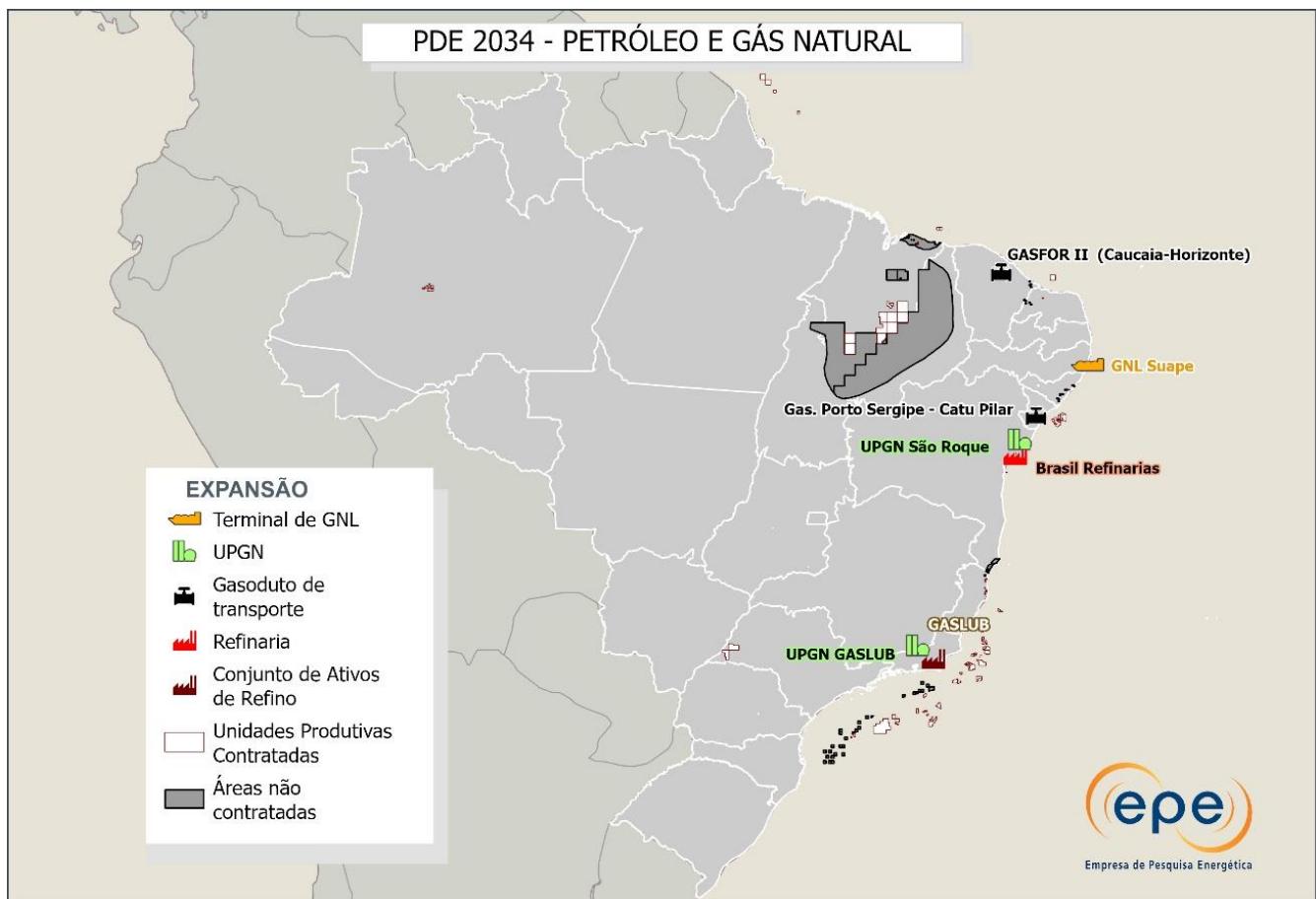
As UPs contratadas terrestres previstas estão distribuídas nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste. Já as UPs contratadas *offshore* estão concentradas principalmente na região Sudeste, com ocorrência também no Nordeste e na Margem Equatorial⁵³. As UPUs se localizam em áreas terrestres nas regiões Nordeste e Sudeste e áreas marinhas ao longo da costa das regiões Sudeste e Sul. Ressalta-se que a elaboração das curvas de produção constantes do PDE 2034 considerou a análise socioambiental prévia de 863 UPs contratadas e de áreas de exclusão sob as UPUs, conforme metodologia definida no item “Subsídios socioambientais para a expansão decenal/Análise da complexidade socioambiental das unidades produtivas de petróleo e gás” da presente nota técnica.

Em relação ao abastecimento, está prevista **uma nova refinaria**, a Brasil Refinarias (117 m³/dia, em Simões Filho/BA). Também está prevista a interligação operacional do conjunto de ativos de refino do Polo Gaslub (Itaboraí/RJ) com a Reduc (ambos no RJ), a partir da conclusão das obras das unidades Hidrocraqueamento Catalítico - HCC (U-2400) e Hidrotratamento de Diesel - HDT (U-2500) e da construção de unidade de Hidroisodesparafinação – HIDW.

Quanto à infraestrutura de gás natural, estão planejados **o terminal de regaseificação** Suape (14 MM m³/dia, em Suape/PE), previsto, **dois gasodutos de transporte e duas unidades de processamento de gás natural (UPGN)** para o decênio (Figura 18). Dos gasodutos, estão previstos o gasoduto Gasfor II entre Horizonte e Caucaia (CE), com 75 km de extensão e o gasoduto de Conexão do Terminal de GNL de

⁵³ Região que abrange a costa do Amapá ao Rio Grande do Norte.

Porto do Sergipe, com 25 km de extensão. As duas UPGNs previstas são a UPGN Gaslub (21 MM m³/dia, em Itaboraí / RJ, no polo Gaslub) e a UPGN São Roque (0,4 MM m³/dia, em Mata de São João - BA).



Notas: (1) Mapeamento de Unidades Produtivas - Fontes: ANP (2023a) e EPE (2024b); (2) O tamanho do polígono das UPS e UPUs não é proporcional ao volume de produção ou às interferências socioambientais; (3) Áreas não contratadas = 4 Unidades Produtivas da União (UPU) inteiras e 53 Blocos em Oferta Permanente delimitados em outras 9 UPUs.

Figura 18 – Unidades produtivas, UPGNs, terminal e gasodutos de transporte planejados no PDE 2034

BOX 5 – E&P EM ÁREAS DE NOVAS FRONTEIRAS

As previsões de produção de petróleo e gás natural para o decênio 2025-2034 (Capítulo 5) indicam uma queda dos volumes nos quatro últimos anos do horizonte. Para conter essa queda na produção, aquele capítulo indica que são necessários investimentos imediatos no esforço exploratório em áreas de novas fronteiras, visando viabilizar a produção nessas áreas nos próximos 10 anos. As áreas de novas fronteiras são regiões ou bacias sedimentares ainda pouco exploradas, o que implica em riscos socioambientais mais elevados, devido à existência de lacunas de conhecimento técnico-científico relevantes. Portanto, sua exploração demanda um olhar regionalizado e estratégico para subsidiar o planejamento cuidadoso das atividades de prospecção, instalação de infraestrutura e operação, de modo a prevenir impactos ambientais sobre ambientes e espécies sensíveis. Nesse sentido, o desenvolvimento de estudos socioambientais mais amplos que os estudos elaborados para o licenciamento ambiental de atividade específica pode contribuir para a minimização de riscos e conflitos socioambientais e promover a sustentabilidade. Alguns exemplos de estudos dessa natureza são: planejamento espacial marinho, avaliação ambiental estratégica, avaliação ambiental de área sedimentar, diagnósticos regionais e estudos de PD&I direcionados a questões ecossistêmicas.

Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão da produção e da oferta de petróleo, gás natural e derivados

O aumento previsto das atividades de E&P e a implantação das novas unidades de refino, dos gasodutos e dos terminais de regaseificação requerem a gestão das interferências ambientais negativas e positivas, de modo a garantir um desenvolvimento sustentável associado ao setor.

A análise de interferências socioambientais busca sinalizar as principais questões de abrangência regional que deverão ser foco de gestão por parte do poder público e dos empreendedores associadas às atividades de E&P nas UPs contratadas e à instalação de refinaria, unidades de processamento de gás natural, gasodutos e terminais de regaseificação planejados. Considerando as sensibilidades típicas das diferentes regiões para as quais as UPs contratadas estão planejadas no horizonte deste PDE 2034, indicam-se, a seguir, os principais impactos regionais reais e potenciais esperados, com o objetivo de contribuir para sua gestão. Os impactos reais são aqueles associados à instalação de infraestrutura e à rotina das atividades operacionais de E&P, enquanto os impactos potenciais são comumente aqueles associados ao risco de um acidente. Considera-se que impactos locais ou pontuais específicos serão tratados no licenciamento ambiental. Ressalta-se que os impactos potenciais são analisados nesta Nota Técnica, mas não constam da descrição dos temas socioambientais destacados para a Análise Integrada realizada no Capítulo 10 do PDE 2034.

Sobre as **atividades de E&P previstas**, os impactos potenciais associados ao risco de acidentes com derramamento de óleo em corpos hídricos ou no mar continuam dentre os que mais demandam atenção no âmbito do licenciamento ambiental. Nas áreas terrestres, destaca-se a sensibilidade a esse tipo de evento na região Norte, pela existência de ambientes únicos na Amazônia, e no Nordeste pelos conflitos pelo uso da água existentes. Já no mar, os ambientes sensíveis em ilhas e na costa do Nordeste merecem atenção em função do reduzido tempo de toque de óleo na costa⁵⁴, pois a Plataforma Continental é estreita e por isso as unidades de E&P estão localizadas relativamente próximo à costa. Entretanto, como o risco de derramamento implica impactos potenciais e não impactos reais, esse fator não constou da descrição dos temas socioambientais da Análise Integrada apresentada no Capítulo 10 do PDE 2034. Dentre as medidas mitigadoras desse impacto potencial, podem ser citadas: i. a instalação de BOP (*blowout preventer*)⁵⁵ junto à cabeça do poço, para evitar o *kick* de poço e minimizar o risco de *blowout* e ii. a elaboração dos Planos de Emergência Individuais (PEI) para cada empreendimento, conforme preconizado na Resolução Conama 398/2008 (CONAMA, 2008). Os setores de meio ambiente e energia estão sempre em articulação para aprimorar as medidas de resposta a derramamentos de óleo, sendo periodicamente discutidas as normativas e práticas promovidas pelos órgãos envolvidos com a questão: Ibama, ANP, Marinha, MME, associações do setor petrolífero e academia.

Dentre os impactos reais, aqueles associados à pesquisa sísmica no ambiente *offshore* são relevantes e incidem especialmente sobre cetáceos (baleias e golfinhos), mas também sobre peixes e outros organismos da fauna marinha. Sendo assim, o tema **Biodiversidade** se torna relevante para as regiões Norte e Nordeste, incluindo a Margem Equatorial, além da região Sudeste. Para esta fonte, o tema está associado à atividade de sísmica no mar, à instalação de estruturas no assoalho marinho (dutos e outros equipamentos) e às perfurações, que impactam a fauna bentônica. Essas interferências se destacam pelos possíveis efeitos cumulativos no Sudeste e pela sensibilidade dos ambientes no Nordeste, onde será realizada a atividade (baixa profundidade e proximidade da costa). Para a região Norte, especialmente na bacia da Foz do Amazonas, as atividades de E&P tenderão a ser realizadas a partir do talude em águas mais profundas e não tão próximas à costa. No entanto, o órgão licenciador (Ibama) demonstra preocupação com a viabilidade socioambiental das atividades naquela bacia, podendo ser destacadas: (i) a ausência de Avaliação Ambiental de ÁREA SEDIMENTAR para a bacia; (ii) a notória

⁵⁴ Parâmetro utilizado nas modelagens de dispersão de óleo para determinar as medidas de contenção ao vazamento. O tempo de toque de óleo na costa é o tempo estimado pelo modelo para que a mancha de óleo chegue à costa.

⁵⁵ O BOP (*blowout preventer*) é um equipamento utilizado na exploração de petróleo e gás, destinado a controlar a pressão do poço e evitar a ocorrência de *blowouts*, que são erupções incontroláveis de fluidos e gases para dentro do poço, e que podem eventualmente atingir a superfície, com consequências graves. (dicionariopetroleogas.com.br).

sensibilidade socioambiental da área, considerada nova fronteira para a indústria do petróleo; e (iii) a logística para o atendimento à fauna em situações de emergência (Ibama, 2023a).

Para minimização dos impactos da atividade sísmica, existem restrições temporárias associadas aos cetáceos, sirênios e quelônios a fim de se evitarem maiores impactos a esses grupos. Além disso, o Ibama elaborou o Guia de Monitoramento da Biota Marinha com os procedimentos exigidos no licenciamento ambiental nessa atividade (IBAMA, 2018a). Como subsídio a medidas mitigadoras da interferência direta sobre habitats marinhos, são realizados projetos de monitoramento, com levantamento de dados físicos, químicos e biológicos, tanto para caracterização ambiental (*baselines*) quanto para o acompanhamento dos impactos. Nos projetos, quando há necessidade de instalação de estruturas no assoalho oceânico, também é comumente realizado o levantamento das condições físicas e bióticas do trecho (por exemplo, coletas de material e utilização de veículo de operação remota – ROV) e realizados desvios no traçado em função da presença de ambientes ricos em espécies ou endemismos. Tal levantamento também possui o objetivo de avaliar o impacto do descarte de cascalho (com fluido de perfuração aderido) sobre esses organismos. Para o descomissionamento adequado das estruturas com minimização de riscos para pessoas, meio ambiente e demais atividades do entorno, a ANP possui resolução que regula o descomissionamento de instalações de exploração e produção de petróleo e gás natural, além de divulgar painel dinâmico para o acompanhamento dos programas de descomissionamento de instalações (ANP, 2024b).

Também deve ser foco de gestão a possível introdução de espécies exóticas por embarcações, com efeitos sobre recifes de corais, bancos de algas calcáreas, costões rochosos e outros ecossistemas marinhos e costeiros. Vale ressaltar que tanto a movimentação de embarcações de apoio e de navios aliviadores associados à E&P, quanto a movimentação de navios cargueiros, associados a outras atividades econômicas, podem ser responsáveis pela entrada de espécies exóticas nos ecossistemas brasileiros. A interferência na atividade pesqueira também se constitui em processo impactante, mas é tratada com programas voltados à sua mitigação, como os projetos de monitoramento junto às comunidades pesqueiras (por exemplo, projetos de monitoramento do desembarque pesqueiro – PMDP); e à sua compensação, como o desenvolvimento de projetos de educação ambiental – PEA e de compensação da atividade pesqueira – PCAP nas comunidades afetadas pelos empreendimentos. Em suma, destaca-se a interferência na fauna nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste sobre o tema **Biodiversidade**.

No que concerne às atividades *onshore*, para a região Norte, considerando o processo histórico de atração de população para os centros urbanos, núcleos de apoio às atividades de E&P, espera-se que ocorra pressão sobre serviços e infraestrutura urbana. Além disso, alerta-se para o fato de que há maior concentração de povos indígenas nessa região, o que demanda uma gestão rigorosa das atividades e um esforço de diálogo no âmbito dos projetos, para evitar interferências sobre seus modos de vida. Vale ressaltar que o Estudo Ambiental de Área Sedimentar do Solimões (EAAS Solimões) listou uma série de diretrizes estratégicas e recomendações ao licenciamento ambiental que podem dirimir conflitos e minimizar impactos ambientais (Consórcio Piatam-Coppetec e EPE, 2020). O próprio resultado de classificação de aptidão à E&P apresentado no estudo busca evitar impactos sobre os aspectos socioambientais mais relevantes da região, incluindo os modos de vida dos povos indígenas.

Já na região Nordeste, espera-se que a interferência mais expressiva da E&P seja a alteração dos modos de vida das comunidades locais, uma vez que essa tipologia de atividade não é comum no interior dessa região e possivelmente haverá cumulatividade, devido à quantidade de UPs previstas para iniciar a produção no decênio relativamente próximas entre si. Podem ser citadas como medidas mitigadoras de impactos relacionadas às boas práticas do setor a comunicação com as comunidades locais no âmbito dos projetos de E&P, realizada por meio dos planos de comunicação, e a contratação de mão de obra local. Portanto, destacam-se as interferências pressão sobre serviços e infraestrutura urbana na região Norte e alteração dos modos de vida das comunidades locais na região Nordeste, ambas sobre o tema

Organização Territorial. Por outro lado, a geração de empregos e o recebimento de *royalties*⁵⁶, caso bem gerenciados, podem trazer benefícios socioeconômicos que contrabalanceiem as interferências negativas para ambas as regiões.

Em relação ao **refino**, está prevista para a região do Recôncavo Baiano a instalação da Brasil Refinarias. Nessa região, há diversos campos de produção e outras infraestruturas do setor petrolífero. Por outro lado, o projeto é de pequena dimensão e não se esperam interferências expressivas associadas a ele. Sobre o conjunto de ativos de refino do Polo Gaslub (RJ), não são esperados impactos regionais adicionais expressivos, visto que será instalado dentro dos limites do complexo industrial existente e seus aspectos ambientais específicos serão tratados no licenciamento ambiental.

Sobre os **gasodutos de transporte e UPGNs**, considerou-se que não há impactos de abrangência regional relevantes a serem apontados. Em relação aos gasodutos, cerca de 8 km dos 75 km do gasoduto Gasfor II – Trecho Caucaia-Horizonte (CE) atingem o Corredor Ecológico do rio Pacoti (uma UC estadual). O gasoduto de Conexão do Terminal de GNL de Porto do Sergipe (SE) inicia seguindo estrada partindo do porto (vegetação de restinga), sobrepõe 2 km do seu traçado com projetos de assentamento e depois entra em área de campos de produção de petróleo e gás natural. Entende-se que eventuais impactos locais poderão ser evitados ou mitigados no âmbito do licenciamento ambiental dos projetos. Sobre a UPGN Gaslub (RJ), não são esperados impactos adicionais significativos, visto que será instalada dentro dos limites do Polo Gaslub. E quanto à UPGN São Roque (BA), a perspectiva é de que seja implantada na área da base operacional da empresa PetroReconcavo e, dessa forma, também não se esperam impactos adicionais significativos. Da mesma forma que para os gasodutos, considera-se que o processo de licenciamento ambiental trate adequadamente dos impactos associados aos projetos, sua mitigação e compensação.

O **terminal de regaseificação** previsto de Suape (PE) será alocado em região portuária já estabelecida e, portanto, não é esperada supressão de vegetação nativa de grandes extensões, que se reflete em escala regional. Mesmo assim, recomenda-se evitar a remoção de vegetação nativa, notadamente típica de mangue. Vale ressaltar a existência de ilhas e canais na região estuarina para a qual o terminal está previsto. Ainda, Suape está próximo a praias turísticas. Tais ambientes sensíveis demandam gestão da movimentação das embarcações de modo a evitar e mitigar eventuais impactos sobre a biota e as comunidades locais.

Como subsídio à Análise Integrada (Capítulo 10 do PDE 2034), foram selecionados os impactos reais de abrangência regional que mais se destacam, para permitir a compilação de temas socioambientais para o petróleo e gás natural como uma das fontes de energia analisadas. Nesse sentido, foram destacados, para a E&P, o tema **Biodiversidade** nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste e o tema **Organização Territorial** para as regiões Norte e Nordeste.

A Tabela 21 apresenta os temas socioambientais considerados relevantes na expansão prevista neste PDE para os componentes da expansão da produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados, por região, para a Análise Integrada.

No Quadro 23 destacam-se as principais interferências socioambientais relacionadas à expansão da produção de petróleo e gás natural e do abastecimento no PDE 2034; os temas socioambientais associados a essas interferências, conforme metodologia da análise socioambiental integrada do PDE; a justificativa pela escolha da interferência na região na qual está prevista a expansão; e, por último, as medidas mitigadoras relacionadas às interferências listadas, para a Análise Integrada (Capítulo 10 do PDE 2034).

⁵⁶ Conforme determina a Lei n. 9.478/1997, os *royalties* se aplicam a todos os campos de produção concedidos pela ANP. Já a participação especial é uma compensação financeira adicional aplicada a campos de grande volume de produção. Os critérios para enquadramento de um campo como de grande produção constam no Decreto n. 2.705/1998.

Tabela 21 – Síntese da análise socioambiental da produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados no PDE 2034

| | Norte | Nordeste | Sul | Sudeste | Centro-Oeste |
|--------------------------------------|---|---|---|---|----------------------------|
| E&P de petróleo e GN |  biodiversidade  organização territorial |  biodiversidade  organização territorial |  interferências inexpressivas |  biodiversidade | não há projetos planejados |
| Refinarias, UPGNs e Terminais de GNL | não há projetos planejados |  interferências inexpressivas | não há projetos planejados |  interferências inexpressivas | não há projetos planejados |
| Gasodutos | não há projetos planejados |  interferências inexpressivas | não há projetos planejados | não há projetos planejados | não há projetos planejados |

Nota: A expressão “Interferências inexpressivas” significa que, apesar dos impactos existirem, não são tão expressivos diante da expansão e das sensibilidades regionais, não sendo identificados temas socioambientais relevantes.

Quadro 23 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão da produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados

| Interferência | Tema | Região e justificativa | Medidas mitigadoras |
|--|-------------------------|--|---|
| Interferência na fauna | biodiversidade | SE: efeito cumulativo em função da quantidade de empreendimentos existentes NE: sensibilidade dos ambientes devido à baixa profundidade e proximidade da costa N: interferências em ambientes marinhos com lacunas de informação, refletindo no licenciamento ambiental da E&P | - Restrições temporárias e Guia de Monitoramento da Biota Marinha - Monitoramento de dados físicos, químicos e biológicos - Ver iniciativas no próximo item |
| Pressão sobre serviços e infraestrutura urbana | organização territorial | N: continuação do processo histórico de atração para os centros urbanos | - Planos de comunicação |
| Alteração dos modos de vida das comunidades locais | | NE: chegada das atividades de E&P em novas localidades; cumulatividade entre as atividades previstas | - Contratação de mão de obra local |

Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão da produção e da oferta de petróleo, gás natural e derivados

Para um setor maduro como o setor petrolífero, notam-se diversas iniciativas que buscam lidar com os desafios que se apresentam, fruto de discussões envolvendo principalmente MME, ANP, IBP e Ibama. As principais iniciativas e discussões em andamento envolvem a adequação do setor à transição energética e a compatibilização das atividades petrolíferas com a conservação da biodiversidade. Além disso, um desafio que sempre se apresenta ao setor é o de reverter a aplicação dos tributos em benefícios

efetivos para a população. Todos esses desafios estão relacionados à imagem do setor perante a sociedade e há preocupação em aprimorar esses aspectos.

Perante o relevante desafio da **transição energética**, observa-se que as empresas estão se adaptando e se comprometendo com ações no intuito de compatibilizar suas emissões aos objetivos dos acordos internacionais e contribuir com os esforços de transição para uma economia de baixo carbono e o setor petrolífero como um todo tem mostrado protagonismo em estimular novas técnicas e tecnologias.

Pode-se mencionar a adoção de medidas para redução das emissões de gases de efeito estufa (GEEs) das operações, como diminuição das emissões de metano, eliminação da queima não emergencial em flare, eletrificação das unidades de *upstream*, entre outras. Além disso, o setor está investindo em novas tecnologias, como: captura e armazenamento ou uso de carbono (siglas em inglês: Carbon Capture and Storage – CCS e Carbon Capture, Utilization and Storage – CCUS, respectivamente), hidrogênio e combustíveis sintéticos a partir do hidrogênio, eólica *offshore*, bioenergia, reciclagem de plástico e estações de carregamento de veículos elétricos (IEA, 2023). Neste sentido, existem diversas iniciativas que buscam mobilizar e promover a colaboração entre as empresas de O&G. Dentre as iniciativas internacionais destacam-se: World Bank's Global Gas Flaring Reduction Partnership (GGFR); Compromisso Global do Metano na COP 26; Oil and Gas Climate Initiative (OGCI); Task Force on Climate-Related Financial Disclosures (TCFD). A OGCI, por exemplo, que tem entre seus 12 membros empresas como Petrobras, Shell, TotalEnergies, entre outras atuantes no país, buscam implementar ações compatíveis com os objetivos do Acordo de Paris (OGCI, 2024).

Na ROG.e - Conectando Energias 2024 (anteriormente chamada de Rio Oil & Gas, maior evento do setor na América Latina, ocorrido em setembro de 2024), as empresas reiteraram seu papel para a transição energética justa e inclusiva e destacaram seus compromissos de descarbonização e investimento em soluções de baixo carbono. Entre as iniciativas citadas estão: novas tecnologias que aumentam a eficiência dos processos, biorefinarias, biocombustíveis e combustíveis sintéticos, digitalização, zero *flare*, eletrificação, eólica *offshore*, CCS e CCUS, robótica, produção e uso de hidrogênio, entre outros. As discussões do ESG Forum 2023 e ESG Energia e Negócios 2024 foram na mesma direção, podendo ser destacados desafios e iniciativas adicionais abordadas: adaptação de ativos antigos; otimização e automação de processos, buscando maior eficiência e redução nas emissões de GEE; importância do poder público na sinalização para promover investimentos; o desafio da descarbonização do escopo 3; disposição do BNDES em financiar a transição; geopolítica do carbono (novos planos econômicos dos EUA – Inflation Reduction Act – IRA e da Europa – Carbon Border Adjustment Mechanism – CBAM, incentivos fiscais e investimentos em capacitação); iniciativas de desenvolvimento local pelas empresas; ESG na indústria naval; necessidade de investir mais em responsabilidade social; iniciativas de proteção ambiental dos oceanos e região costeira pelas operadoras; importância do P&D para a transição; reputação e risco de imagem; importância da gestão da agenda ESG na cadeia de fornecedores.

No âmbito nacional, cabe destacar o Programa Gás para Empregar, que busca promover ações que integrem o gás natural à estratégia nacional de transição energética e favorecer o desenvolvimento de soluções de baixo carbono (CNPE, 2023; BRASIL, 2024). Outra iniciativa governamental que pode ser citada é o Painel Dinâmico de Emissões de Contratos de E&P em fase de produção da Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (ANP, 2023b). Esta ferramenta busca dar transparência sobre as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e de geração de eletricidade na produção, estimulando operações seguras e sustentáveis na indústria de petróleo e gás. Em 2021, houve uma atualização normativa relevante para viabilizar a eletrificação de plataformas e contribuir para a redução das emissões de GEE da atividade, com a publicação da Resolução Conama 501/2021, que altera a Resolução Conama 382/2006, que estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas (CONAMA, 2021). Mais recentemente, foi publicada a Resolução CNPE para promoção da descarbonização das atividades de E&P (CNPE, 2024).

Adicionalmente, os Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas, que estão em elaboração no âmbito do Plano Clima 2024-2035, definirão metas para agentes setoriais. Além disso, as

discussões sobre a implementação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE) estão avançando. Foi criado Grupo Técnico de Natureza Temporária para elaborar uma proposta de regulamentação e implementação do SBCE (MMA, 2023a) e o Projeto de Lei 2.148/15, que cria o SBCE, foi aprovado na Câmara dos Deputados e será avaliado no Senado Federal. A implementação dos planos setoriais e do mercado de carbono é importante para direcionar a implantação de medidas para redução de emissões de GEE.

A respeito do CCS, atualmente a maioria dos projetos existentes, no mundo, se concentra na recuperação avançada de petróleo nos reservatórios (EOR, do inglês *enhanced oil recovery*). No país, a Petrobras reinjeta o CO₂ de volta ao reservatório nos campos do pré-sal e já possui o maior programa de reinjeção de CO₂ offshore do mundo, tendo reinjetado 40,8 milhões de toneladas de CO₂ entre 2008 e 2022. O volume acumulado de reinjeção previsto deve atingir 80 MtCO₂ em 2025 (PETROBRAS, 2024a). A Petrobras também está desenvolvendo e implantando um piloto de CCUS em Cabiúnas no Rio de Janeiro (ANP, 2024c) e assinou um protocolo de intenções com o Governo do Espírito Santo e a Federação das Indústrias do Espírito Santo (Findes), para estudos de projetos de CCUS e hidrogênio de baixo carbono visando a descarbonização das indústrias do estado (PETROBRAS, 2024b). Além disso, a empresa também prevê o investimento em iniciativas de descarbonização das operações, bioproductos e pesquisa e desenvolvimento em baixo carbono.

O Plano Estratégico da Petrobras apresenta as seguintes metas de redução de emissões:

- Para a E&P: “Intensidade de Gases de Efeito Estufa: 15 Kg CO₂/boe até 2030; Zero queima de rotina em flare até 2030; 80 milhões tCO₂ de reinjeção em projetos de Carbon Capture, Utilization and Storage (CCUS) até 2025; Redução de 70% na intensidade das emissões de metano (vs 2015), atingindo 0,20 tCH₄/mil tHC em 2030”;
- Para o Refino: “Intensidade de Emissões ≤ 30kg CO₂eq/CWT”;
- Promoção da descarbonização da cadeia de valor: “Ambições para as emissões operacionais (escopos 1 e 2): Net Zero até 2050; não ultrapassar patamar de 2022 no quinquênio (40% de redução desde 2015) e Near Zero Methane 2030; Escopo 3: Ampliar oferta de produtos: ampliar oferta de biocombustíveis; ampliar capacidade de geração elétrica por meio de fontes renováveis; ampliar participação de produtos não energéticos resilientes à transição (por exemplo, lubrificantes, petroquímica) e Emissões como métrica de remuneração variável para 100% dos executivos e empregados” (PETROBRAS 2024a).

O uso de tecnologias como CCUS é importante para abater emissões de indústrias de difícil descarbonização e o investimento do setor de O&G no seu desenvolvimento pode promover a ampliação da sua aplicação (saiba mais no *factsheet CAPTURA E ARMAZENAMENTO DE CARBONO – EPE, 2023*). Cabe destacar que a regulamentação sobre CCUS vem sendo discutida na tramitação de Projetos de Lei (PL), como o PL n. 1.425/2022 e na Lei n. 14.993/2024, Lei do Combustível do Futuro (Brasil, 2024). O estabelecimento da regulação da atividade de CCS/CCUS é relevante para o desenvolvimento dessa tecnologia no país. A distribuição geográfica do potencial de armazenamento de carbono no Brasil pode ser consultada na base do Zoneamento Nacional de Recursos de Óleo e Gás (2021-2023) (EPE, 2024c,d). A implementação de mecanismos para compensação das emissões se torna relevante para alcançar a neutralidade líquida de carbono após o esgotamento de estratégias para efetiva descarbonização. O emprego de Soluções Baseadas na Natureza (SBN) é uma das alternativas que permitem compensar as emissões de difícil mitigação, como através de projetos de reflorestamento que removem e fixam o carbono. Destaca-se que a EPE publicou, em cooperação com o BNDES, estudo que avaliou mecanismos existentes para conectar a compensações de emissões do setor de O&G e as atividades de restauração ambiental, de forma a aproveitar as oportunidades que esses dois setores oferecem (EPE e BNDES, 2021).

Tendo como perspectiva uma transição energética justa e inclusiva, as empresas também vêm adotando práticas de ESG (sigla em inglês para Ambiental, Social e Governança) e que observam os

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Durante a realização da ROG.e 2024, do ESG Forum IBP 2023 e do ESG Energia e Negócios 2024 foram citadas iniciativas, avanços e desafios vivenciados no processo de promoção da diversidade e da inclusão na indústria, considerando as temáticas de gênero, raça, etnia, pessoas com deficiência e LGBTQIA+, além dos princípios orientadores da ONU sobre direitos humanos para empresas. No sentido de subsidiar a inclusão no setor, o Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás (IBP) possui o Comitê de Diversidade; a Cartilha de Boas Práticas para a Diversidade, Equidade e Inclusão; o Grupo de Trabalho de Raça e Etnia; o Programa de Mentoría de Liderança Feminina; e a iniciativa “O mar também é delas”, que visa ampliar a igualdade de oportunidades para mulheres que trabalham embarcadas em plataformas e sondas.

Com relação às iniciativas de Compliance, o IBP coordena a Comissão de Compliance, um fórum de discussão das políticas de conformidade e integridade praticadas pela indústria de petróleo e gás, e que possui como objetivo coordenar esforços de combate à corrupção no setor e a disseminação de conhecimento e tecnologia no campo da governança corporativa. Em 2018, lançaram o “Pacto de Integridade da Indústria de Petróleo, Gás e Biocombustíveis” e o “Guia de Boas Práticas em Integridade Corporativa para o setor de O&G”. Já a Petrobras possui um Programa de Compliance, sendo uma das ações a Due Diligence de Integridade, cujo objetivo é reforçar a segurança nas contratações de bens e serviços, além de mitigar riscos nas interações com os fornecedores. A partir de 2023 foi inserido no questionário um bloco de perguntas relacionado ao tema Direitos Humanos.

O setor de óleo e gás tem se reposicionado perante a transição energética, adotando protagonismo no financiamento de uma transição justa e inclusiva, visando à transformação para uma economia de baixo carbono, que concilie suprimento energético com sustentabilidade ambiental e social. Além de financiar a transição, a renda do petróleo pode viabilizar uma nova fase de industrialização, garantindo a participação no desenvolvimento das cadeias tecnológicas a serem desenvolvidas no contexto da transição, potencializando a geração local de renda e de empregos qualificados nas atividades econômicas em rápida transformação e aproveitando o potencial brasileiro como grande produtor global de energias competitivas e sustentáveis ambientalmente (BNDES, 2023). O atual Plano Estratégico da Petrobras 2024-28+ estabelece cinco alavancas para esse cenário, abrangendo projetos em energia eólica *offshore* e *onshore*, biorrefino, captura de carbono, produção de hidrogênio e energia solar (PETROBRAS, 2024a). Este plano reflete o papel que o setor de O&G tende a desempenhar na transição, que pode ser entendido em quatro dimensões (EPE, 2024e): i. Segurança energética – Garantir o desenvolvimento econômico, atender à demanda prevista (ritmo de declínio incerto), sustentar os níveis de emprego e renda e capacitar a mão de obra para novas atividades; ii. Capacidade de investimento em inovação – desenvolver inovações que estão em estágio de maturação; iii. Experiência em projetos intensivos em capital – desenvolvimento tecnológico, gestão de projetos, aspectos regulatórios; e iv. Adaptação e reutilização de infraestruturas – transporte e/ou armazenamento de hidrogênio e gás carbônico. Para ampliar a discussão sobre como o setor de O&G pode contribuir com a transição energética, o Ministério de Minas e Energia promoveu consulta pública que ficou aberta por 15 dias e recebeu 49 contribuições (MME, 2024).

A resolução nº 2 de 2021 do CNPE orientou a ANP a priorizar os recursos de PD&I a temas ligados à transição energética e foi através da Resolução nº 918/2023 da ANP que as empresas passaram a contar com maior segurança jurídica para investirem em projetos com esses objetivos. Dentre 7 instituições públicas que investiram em PD&I (2013 a 2022), a ANP foi responsável por 60% dos investimentos (EPE, 2024f). Atualmente, há 207 projetos em andamento sobre energia solar, hidrogênio, energia eólica, captura e armazenagem de carbono, modelagem e prevenção de impactos ambientais, somando mais de R\$ 1 bilhão (ANP, 2024d).

O setor também poderá beneficiar o desenvolvimento da eólica *offshore*, pela *expertise* na instalação de estruturas, logística e operações no ambiente marinho (EPE, 2020 e Brazil Energy Programme, 2020). Cabe destacar também o potencial para produção de hidrogênio de baixo carbono, como o hidrogênio produzido a partir do gás natural, que está entre as rotas vislumbradas nas diretrizes para o Programa Nacional de Hidrogênio (MME, 2021). A infraestrutura de escoamento e transporte de gás natural existente também pode ser utilizada, com adaptações ou não, para outros produtos, como,

por exemplo, o biometano (Resolução ANP n. 886/2022 e Resolução ANP n. 906/2022) e o hidrogênio. Portanto, vislumbra-se a oportunidade de aproveitamento de uma cadeia consolidada como a de Óleo e Gás (O&G) para auxiliar no desenvolvimento de fontes de energia de baixa emissão de GEE.

No que se refere aos aspectos socioeconômicos, uma discussão relevante é na direção de se **reverter a aplicação dos tributos em benefícios efetivos para a população**. Apesar da sólida empregabilidade e do recebimento de volumes significativos de rendas petrolíferas, o desenvolvimento econômico local depende da gestão adequada dos recursos. Uma iniciativa no sentido da boa gestão municipal é a criação de fundos soberanos subnacionais, administrados por municípios ou estados, que tem como fonte parte das receitas dos *royalties* e participações especiais, de modo a criar uma poupança pública para assegurar a execução de políticas para impulsionar o desenvolvimento local promovendo a diversificação e a sustentabilidade econômica da região a longo prazo (municípios de Niterói e Maricá/RJ, Ilhabela/SP e estado do Espírito Santo). A fim de contribuir na promoção de maior transparência, rastreabilidade, confiabilidade e impacto socioambiental positivo dos desembolsos de recursos da Petrobras provenientes de participações especiais, *royalties*, projetos sociais, entre outros, outra iniciativa é a de construção, pela Petrobras, da Plataforma de Pagamentos Digitais (Pag Dig) que, além de permitir rastrear, pretende tornar possível que os desembolsos sejam transformados em “moedas sociais” e em fundos comunitários, dinamizando a economia e propiciando a autonomia dos territórios envolvidos. Por fim, a iniciativa “Projeto de Educação Ambiental Rendas do Petróleo - Tecendo Participação Popular”, condicionante do licenciamento ambiental federal (Ibama) da produção e escoamento na bacia de Santos, tem como finalidade fomentar o debate público sobre a distribuição e aplicação dos recursos financeiros provenientes de *royalties* e participações especiais. Por meio do envolvimento de grupos afetados e segmentos representativos da sociedade civil, busca-se desenvolver estratégias de educação ambiental para capacitar a população a acessar informações sobre os *royalties* municipais, fortalecendo o controle social e ampliando a participação democrática na gestão dessas receitas (PETROBRAS, 2024c).

Diante do desafio de **compatibilizar as atividades petrolíferas com a conservação da biodiversidade**, as operadoras estão em constante aprimoramento de seus processos. A Petrobras incluiu no seu Plano Estratégico mais recente as seguintes medidas de proteção ao meio ambiente: “*Ser ‘Positiva em Água’ nas áreas de criticidade hídrica onde atuamos, através da redução da captação de água doce e da melhoria da disponibilidade hídrica local, contribuindo para a segurança hídrica; Minimizar a geração e maximizar o reuso, reciclagem e recuperação de resíduos, promovendo práticas de economia circular e buscando a destinação zero para aterros; Promover ações de conservação, restauração e ganhos em Biodiversidade buscando impacto líquido positivo nas regiões em que atuamos; e Aprimorar a segurança de processo, a prontidão e a resposta às contingências prevenindo e mitigando acidentes, vazamentos e impactos ambientais*” (PETROBRAS 2024a). Além das ações de reflorestamento e conservação direta dos biomas onde atua, a Petrobras, em parceria com o BNDES no âmbito da iniciativa Floresta Viva, investirá R\$100 milhões em projetos de reflorestamento pelo país. Em 2023, foram selecionados oito projetos no edital intitulado “Manguezais do Brasil”, totalizando um investimento de R\$ 47,3 milhões para os próximos quatro anos (PETROBRAS, 2024d). Ainda, a Petrobras estabeleceu o “Descomissionamento Verde de Plataformas”, que se utiliza de “*critérios técnicos para garantir respeito às práticas ASG*” e possui “*foco em geração de valor, economia circular, segurança e respeito às pessoas e meio ambiente*”.

Também são verificadas iniciativas de articulação entre os setores de petróleo e meio ambiente:

a) Especificamente no que tange a evitar ou minimizar a introdução de espécies exóticas, tem sido discutida entre os setores ambiental e energético a promoção de medidas de controle do coral-sol, organismo exótico invasor associado ao deslocamento de plataformas e embarcações. Neste sentido o MMA coordenou a elaboração do Plano de Controle Coral-Sol, instituído pela Portaria Ibama n. 3.642, de 10 de dezembro de 2018 (IBAMA, 2018b), que prevê medidas para remoção de organismos incrustantes de plataformas e evitar o transporte para áreas ainda não colonizadas.

b) O planejamento integrado entre os setores petrolífero e ambiental é também uma iniciativa. Nessa linha, estão sendo finalizadas as primeiras Avaliações Ambientais de Áreas Sedimentares (AAAS), que buscam conciliar o desenvolvimento das futuras atividades de petróleo e gás natural com os aspectos

socioambientais regionais. Os Estudos Ambientais de Área Sedimentar do Solimões e de Sergipe-Alagoas e Jacuípe foram conduzidos pela EPE e pela ANP, respectivamente, e acompanhados por Comitês Técnicos de Acompanhamento, grupos interministeriais compostos pelos Ministérios de Minas e Energia (MME) e de Meio Ambiente (MMA) e instituições vinculadas (BRASIL, 2012; CONSÓRCIO PIATAM-COPPETEC/EPE, 2020; ECOLOGY/ANP, 2020), restando apenas a criação das respectivas Comissões Interministeriais para a decisão final e conclusão dos processos dessas duas AAAS. Além de subsidiar o planejamento, a AAAS produz recomendações para o licenciamento ambiental e diretrizes para a oferta de blocos exploratórios para cada área sedimentar analisada. Para as áreas que ainda não foram submetidas à AAAS, mantém-se a manifestação conjunta prévia à oferta de blocos, realizada pela ANP e pelos órgãos ambientais (CNPE, 2017). Recomenda-se a realização de novas AAAS, de modo a compatibilizar a E&P de petróleo e gás natural com a conservação de ambientes sensíveis e reduzir incertezas e conflitos no licenciamento ambiental.

Para aprimorar os procedimentos de licenciamento ambiental de E&P, foram observadas as seguintes iniciativas recentes:

- para o ambiente *onshore*, foi elaborada proposta de Caderno de Boas Práticas no Licenciamento Ambiental das atividades de E&P, no âmbito do Programa Reate (Programa de Revitalização das Atividades de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural em Áreas Terrestres) (IBP, 2021);
- para o ambiente *offshore*, iniciativa que está sendo conduzida pela Diretoria de Licenciamento Ambiental do Ibama é a elaboração dos guias de avaliação ambiental, que irão contemplar orientações específicas para sísmica, perfuração e produção de petróleo e gás natural. Com esse trabalho, o Ibama busca promover a melhoria nos termos de referência dos estudos ambientais, garantir a maior previsibilidade e a padronização das análises técnicas e decisões, contribuindo para o aumento da qualidade dos estudos apresentados pelas operadoras (IBAMA 2020, 2022 e 2023b). Outra iniciativa do Ibama é o Plano Macro, que busca promover a integração dos procedimentos de gestão de impactos ambientais associados às atividades licenciadas nas bacias de Campos, Santos e Espírito Santo, trazendo padronização para a coleta de informações, proporcionando eficiência no tratamento de cumulatividades e otimizando a comunicação com as comunidades impactadas. O Plano Macro foi regulamentado pela Instrução Normativa n. 14, de 12 de maio de 2023 (IBAMA, 2023).

Uma iniciativa que pretende compatibilizar todos os usos do espaço e recursos naturais marinhos (incluindo as atividades petrolíferas e a conservação da biodiversidade) é o Planejamento Espacial Marinho (PEM), que vem sendo coordenado pela Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM) (CIRM, 2024), com apoio do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA, 2023). O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES financiou a elaboração do PEM para a região Sul do país (PEM Sul), cuja licitação foi vencida pela empresa Codex Remote (BNDES, 2024).

O Quadro 24 resume os principais desafios relacionados à expansão da produção de petróleo e gás natural e derivados no PDE 2034 e as iniciativas e recomendações associadas.

Quadro 24 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão da produção e da oferta de petróleo, gás natural e derivados

| Desafio | Iniciativas | Recomendações |
|--|---|--|
| Transição energética | <ul style="list-style-type: none"> - Medidas para redução das emissões de GEEs das operações, implementação de tecnologias de captura e armazenamento ou uso de carbono (CCS e CCUS⁵⁷) e diversificação de portfólio (investimento em projetos de energia renovável e no fornecimento de outros serviços de energia) - Programa Gás para Empregar - Diretrizes para a promoção da descarbonização (CNPE) - Atualização normativa para viabilizar a eletrificação de plataformas (redução das emissões de GEE) - Adesão a iniciativas que promovem ações para o clima: World Bank's Global Gas Flaring Reduction Partnership (GGFR); Compromisso Global do Metano; Oil and Gas Climate Initiative (OGCI); Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD) - Plano Clima e os Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas - Acordo de cooperação EPE - BNDES para avaliar mecanismos existentes para conectar a compensação de emissões do setor de O&G e as atividades de restauração ambiental - Adoção de práticas ESG e que observam os ODS, rumo a uma transição justa e inclusiva. - Financiamento de uma transição energética justa e inclusiva e uma nova fase de industrialização | <ul style="list-style-type: none"> - Promover a regulamentação da tecnologia de CCS - Apoiar a elaboração dos Planos Setoriais no âmbito do Plano Clima - Incentivar a regulamentação de mercado de carbono |
| Reverter a aplicação dos tributos em benefícios efetivos para a população | <ul style="list-style-type: none"> - Criação de fundo soberano subnacional para resguardar reservas de <i>royalties</i> e participações especiais recebidos (municípios de Niterói e Maricá/RJ, Ilhabela/SP e Estado do Espírito Santo). - Construção da Plataforma de Pagamentos Digitais (Pag Dig) para trazer mais transparência, rastreabilidade, confiabilidade e impacto socioambiental positivo dos desembolsos dos recursos da Petrobras e possibilitar que esses desembolsos sejam transformados em “moedas sociais” e em fundos comunitários. - Implementação do Projeto de Educação Ambiental (PEA) Rendas do Petróleo - Tecendo Participação Popular para envolver grupos afetados e segmentos representativos da sociedade civil no debate sobre distribuição e aplicação dos recursos provenientes de <i>royalties</i> e participações especiais, fortalecendo o controle social e ampliando a participação na gestão das receitas (bacia de Campos). | <ul style="list-style-type: none"> - Levantar e implementar mecanismos, como por exemplo modificação na legislação subnacional, para indicar a destinação dos <i>royalties</i> para demandas particulares de cada município/estado. - Incentivar iniciativas que permitam monitorar a destinação das rendas petrolíferas. - Promover fóruns de discussão que orientem a destinação dos <i>royalties</i> em nível municipal. |

⁵⁷ Carbon Capture and Storage (CCS) e Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS)

| Desafio | Iniciativas | Recomendações |
|---|--|---------------|
| Compatibilizar as atividades petrolíferas com a conservação da biodiversidade  | <ul style="list-style-type: none"> - Aprimoramento constante das operadoras - Ações de reflorestamento da Petrobras - Descomissionamento Verde - Plano de Controle Coral-Sol - Planejamento integrado entre os setores petrolífero e ambiental (AAAS Solimões e Sergipe-Alagoas e Jacuípe) - Caderno de Boas Práticas Reate - Guias de Avaliação Ambiental Ibama - Planejamento Espacial Marinho (PEM) | |

Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão da produção e oferta de petróleo e gás natural e derivados

Vislumbra-se a oportunidade socioambiental de **geração de conhecimento técnico-científico** associada à expansão da produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados prevista para o decênio.

O conhecimento técnico-científico tem se beneficiado ao longo dos anos a partir da coleta de dados primários para o licenciamento ambiental das atividades petrolíferas, promovida pelas Resoluções Conama e Instruções Normativas do Ibama que determinam esse procedimento. Eventos técnico-científicos, com destaque para a ROG.e, são oportunidades para a publicação dos dados. Além disso, o envolvimento de instituições de pesquisa científica em estudos ambientais associados ao setor tende a promover inovações na coleta e tratamento dos dados (EIA, programas de monitoramento ambiental, EAAS etc.).

Adicionalmente, no sentido de promover o conhecimento científico, os contratos de concessão de E&P estabelecem que as empresas devem investir 1% da receita bruta da produção dos campos que pagam Participação Especial (campos com grande volume de produção) em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I), o que é fiscalizado pela ANP⁵⁸. O painel dinâmico de Projetos de PD&I iniciados entre 2016 e 2024 fornece um panorama das temáticas abordadas. De um total de 3.957 projetos, 9% (357) pertencem ao tema “segurança e meio ambiente”, podendo ser citados os subtemas: monitoramento e remediação de áreas impactadas, modelagem e prevenção de impactos ambientais e gerenciamento de águas, efluentes e emissões de poluentes regulamentados (ANP, 2024e). Um exemplo de projeto financiado por tal verba de PD&I é o Projeto Costa Norte, que visou aumentar a compreensão da vulnerabilidade dos manguezais das bacias do Pará-Maranhão e Foz do Amazonas (ProOceano et al., 2020).

O Quadro 25 resume a principal oportunidade relacionada à expansão da produção e oferta de petróleo e gás natural e derivados no PDE 2034 e a conjuntura favorável para aproveitar a oportunidade identificada.

Quadro 25 – Principal oportunidade socioambiental e sua conjuntura relacionadas à expansão da produção e oferta de petróleo e gás natural e derivados

| Oportunidades | Conjuntura favorável |
|---|---|
| Geração de conhecimento técnico-científico | <ul style="list-style-type: none"> - Resoluções Conama e Instruções Normativas do Ibama que determinam a coleta de dados primários para o licenciamento ambiental - ROG.e e outros eventos técnico-científicos que estimulam a publicação dos dados - Envolvimento de instituições de pesquisa científica em estudos ambientais associados ao setor - Obrigação de PD&I |

⁵⁸ A Lei n. 9.478/1997 estabeleceu, dentre as atribuições da ANP, a de estimular a pesquisa e a adoção de novas tecnologias para o setor.

Indicadores socioambientais da expansão da produção e da oferta de petróleo, gás natural e derivados

Os indicadores ambientais foram calculados utilizando-se recursos de geoprocessamento, ou seja, foi analisada a eventual sobreposição entre os empreendimentos previstos para o decênio e **Unidades de Conservação (UC)**, distinguindo-as entre proteção integral e uso sustentável. Três indicadores socioeconômicos também foram calculados da mesma forma: **número de UPs contratadas com sobreposição a Terras Indígenas (TI), extensão de gasodutos em TI e extensão de gasodutos em assentamento rural**. Vale ressaltar que, conforme sinalizado na Figura 18 (Nota 2), não é possível estabelecer uma relação obrigatória entre essa sobreposição e interferências socioambientais sobre UC ou TI. Foi observada sobreposição com blocos exploratórios, que são áreas extensas sobre as quais é concedido o direito à exploração do recurso. No entanto, mesmo que este recurso esteja próximo à área de sobreposição, a perfuração direcional permite evitar a interferência direta sobre a UC ou TI.

Os indicadores socioeconômicos positivos da E&P são número de empregos e recursos financeiros gerados, ambos avaliados a partir da estimativa de produção de recursos de petróleo e gás natural no decênio. Para o cálculo das participações governamentais, consideraram-se apenas as arrecadações consolidadas dos estados e municípios provenientes de **royalties e participações especiais** sobre as receitas das atividades de E&P relativas às unidades produtivas de recursos descobertos dentro do horizonte deste PDE 2034. Ressalta-se, ainda, que as referidas arrecadações variam em função dos volumes produzidos, do regime fiscal e cambial, e dos preços praticados nos mercados nacionais e internacionais do petróleo e gás natural.

A estimativa para **geração de empregos diretos** em E&P considerou a relação entre a produção nacional de petróleo e gás natural e os dados de empregos da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) nas subclasses “Extração de petróleo e gás natural” e “Atividades de apoio à extração de petróleo e gás natural”. Identificou-se que, principalmente a partir de 2015, o perfil da relação entre o número de empregos e a produção apresentou comportamento diferente dos anos anteriores, com redução do número de empregados necessários para produção de uma mesma quantidade. Tal comportamento pode ter se dado em decorrência de diversos fatores como redução do número de empregados através de programas de demissão voluntária e aposentadoria incentivada, melhoria dos processos produtivos e aumento da eficiência dos projetos. A partir disso, para estimativa do número de empregos gerados, aplicou-se um ganho de eficiência sobre a relação entre produção e quantidade de empregos gerados, considerando os avanços na automação e no controle de processos, bem como a alta produtividade do pré-sal. Para UPGNs, Terminal de GNL e gasodutos, o número de empregos foi estimado a partir de informações contidas em estudos ambientais de empreendimentos.

Tabela 22 – Indicadores socioambientais da expansão da produção e da oferta de petróleo, gás natural e derivados

| Indicadores Ambientais¹ | |
|--|--------------------------|
| E&P de petróleo e gás natural | |
| Número de UPs com sobreposição a UC de proteção integral | 1 de 96 UPs contratadas |
| Número de UPs com sobreposição a UC de uso sustentável | 7 de 96 UPs contratadas |
| UPGN | |
| Número de UPGNs com sobreposição a UC de uso sustentável | 0 de 2 previstas |
| Gasodutos | |
| Extensão em UCs de uso sustentável | 8 km dos 100 km |
| Extensão em UCs de proteção integral | 0 km dos 100 km |
| Indicadores Socioeconômicos | |
| E&P de petróleo e gás natural | |
| Número de UPs com sobreposição a TI ¹ | 1* de 96 UPs contratadas |
| Empregos diretos gerados (valor acumulado) ² | 18 mil |
| Royalties e participações especiais – média anual (R\$ bilhões) ² | 100 |
| Gasodutos | |
| Extensão em TI ¹ | 0 km dos 100 km |
| Extensão em assentamentos rurais ¹ | 2 km dos 100 km |
| Empregos diretos gerados no pico das obras ³ | 1,4 mil |
| UPGNs | |
| Empregos diretos gerados no pico das obras ⁴ | 1 mil |
| Terminal de GNL (regaseificação) | |
| Empregos diretos gerados no pico das obras ⁵ | 814 |

Notas: * Esta UP é um bloco que foi licitado na Rodada 14 (2017) e a Terra indígena começou a constar da base georreferenciada da Funai em 2019. Portanto, o bloco foi licitado antes do conhecimento da existência da TI pela ANP. (1). Indicadores estimados a partir de: ELETROBRAS, 2011; FUNAI, 2024; INCRA, 2024 e MMA, 2024. (2). Indicadores socioeconômicos estimados a partir das curvas de produção constantes do Capítulo V “Produção de Petróleo e Gás Natural” deste PDE 2034. O número de empregos estimados por ano partiu da média histórica entre os anos 2016 e 2023 para a relação barril de óleo equivalente/dia (boe/dia) / empregado. Foi aplicada ainda uma eficiência de 2 % a.a. a essa relação. Para o resultado deste indicador, foi adotada a diferença entre o valor do ano de 2030, quando a produção atinge seu pico neste PDE 2034, e o valor do ano de 2024, ano anterior ao decênio analisado. Royalties e participações especiais destinados a estados e municípios, calculados apenas para os recursos descobertos. Atualização metodológica em relação ao PDE 2031 considerou (i) redução do deságio do petróleo nacional em relação ao Brent, devido a uma valorização da qualidade e (ii) relação de 100% entre participações especiais e royalties baseada em análises das tendências recentes. (3). Número de empregos estimados a partir da relação “14,4 empregos por quilômetro de duto” calculada a partir das seguintes referências: Biodinâmica/Petrobras (2006 e 2007), Petrobras/Piatam (2008), GNA/HabTec Mott MacDonald (2017), Rota 4 Participações AS/Mineral Engenharia e Meio Ambiente (2019) e GNA/Ecology Brasil (2020). (4) Número de empregos estimados a partir da relação “49,4 empregos por MM m³/dia de processamento” calculada a partir de GNA/Ecology Brasil (2020). (5). Número de empregos estimados a partir da relação “38,8 empregos por MM m³/dia de processamento” calculada a partir de GNA/CPEA (2017). (6) Número de empregos estimados para a Brasil Refinarias a partir da relação “0,23 empregos por barril/dia de processamento” calculada a partir de TCU (2019).

5.2 Etanol

Benefícios do etanol

- O etanol é um **combustível renovável** utilizado como aditivo e substituto direto da gasolina automotiva. No Brasil, é misturado compulsoriamente à gasolina A em percentual que varia de 20 a 30% (etanol anidro) ou utilizado puro (etanol hidratado).
- Os principais benefícios ambientais de seu uso como substituto à gasolina estão relacionados à **baixa emissão de poluentes atmosféricos**, como o monóxido de carbono, material particulado, óxidos de enxofre e compostos orgânicos voláteis, que deterioram a qualidade do ar. Adicionalmente, o etanol também contribui para a **mitigação das emissões de gases de efeito estufa** (GEE), pois parte do carbono emitido na sua queima é absorvida no cultivo da matéria-prima, por meio do processo de fotossíntese.
- Existem também **benefícios econômicos e sociais** associados à produção de etanol pela geração de empregos diretos e indiretos, demanda por bens e serviços, e arrecadação tributária, gerando impactos econômicos positivos.
- Adicionalmente, o avanço no uso do milho como matéria-prima possibilita aumentar a produção de etanol na entressafra da região Centro-Sul, reduzindo a volatilidade nos preços e aumentando a **segurança energética** do país.

Oferta atual de etanol

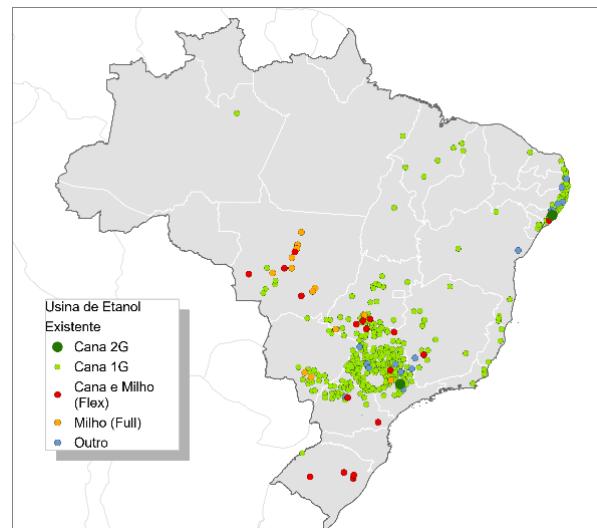
De acordo com a Análise de Conjuntura de Biocombustíveis – Ano 2023 (EPE, 2024), o volume de etanol produzido no país em 2023 foi de **35,3 bilhões de litros** (15,3% superior a 2022). Esse volume é majoritariamente oriundo da indústria sucroalcooleira, mas a participação do etanol de milho vem crescendo, atingindo 5,8 bilhões de litros. Registram-se, em 2024, **383 usinas em operação**, sendo 360 usinas sucroenergéticas, considerando cana 1G (primeira geração), cana 2G (segunda geração) e usinas flex (cana e milho), além de 14 usinas de milho full e outras 9 usinas de soja ou outros cereais (figura ao lado).

Das usinas produtoras de etanol, em setembro de 2024, 287 possuem Certificado da Produção Eficiente de Biocombustíveis e podem solicitar a emissão de Créditos de Descarbonização – CBIOs. (ANP, 2024b).

Com relação à área cultivada com cana-de-açúcar dedicada à produção de açúcar e etanol, para a safra 2023/2024, a estimativa é de aproximadamente 8,34 milhões de hectares, concentrados na região Sudeste (61%), especialmente no estado de São Paulo (CONAB, 2024a).

Nos últimos anos tem se verificado um aumento expressivo nos volumes de etanol de milho produzidos sobretudo na segunda safra. O etanol de milho tem como principais vantagens competitivas em relação à cana-de-açúcar maior rendimento de etanol, aproveitamento dos coprodutos secos na alimentação de animais, a possibilidade de armazenamento do grão e produção na entressafra. Segundo a Conab (2024b), a 2ª safra 2023/2024 de milho atingiu 16 milhões de hectares.

De uma forma geral, a produção de milho, no Brasil, é dividida em duas épocas. O plantio de verão, ou primeira safra, é realizado durante o período chuvoso, que varia entre as regiões do país. Mais recentemente, a produção anual de milho tem aumentado por conta da safrinha ou segunda safra. A safrinha refere-se ao milho de sequeiro, plantado em fevereiro ou março, geralmente depois da soja, predominantemente na região Centro-Oeste e nos estados do Paraná, São Paulo e Minas Gerais. Verificou-se, nas últimas safras, uma redução da área plantada na primeira safra, que tem sido compensada pela safrinha



e pelo aumento na produtividade no cultivo do grão. É uma importante fonte de renda para os agricultores e possui sinergia com os criadores de bovinos, suínos, aves e outros animais, representando uma parcela significativa das rações desses animais (Embrapa, 2021).

Expansão da oferta de etanol nos próximos 10 anos

O cenário de oferta⁵⁹ de etanol do PDE 2034 prevê expansão da oferta de 35,4 bilhões de litros em 2024 para **48,5 bilhões de litros em 2034** (aumento de aproximadamente 13 bilhões de litros). Diferentemente dos PDEs anteriores, o etanol oriundo de milho terá predomínio na expansão, com incremento de cerca de 7 bilhões de litros no decênio. Já para etanol de cana-de-açúcar e de segunda geração (2G) é previsto um incremento de 5,1 bilhões de litros e de 1 bilhão de litros, respectivamente. Estima-se para o final do decênio (2034) a oferta de cerca de 32,6 bilhões de litros de etanol de cana, 14,3 bilhões de litros de etanol de milho e 1,1 bilhão de litros de etanol 2G, que utilizará uma parcela do bagaço e da palha produzidos.

Existem três modelos de usinas de etanol de milho operando no Brasil: a Usina *Full*, que processa exclusivamente milho para produção de etanol; a Usina *Flex*, que são aquelas de cana-de-açúcar adequadas para produzir etanol de milho no período da entressafra da cana; e a Usina *Flex Full*, que são usinas de cana e milho que operam paralelamente.

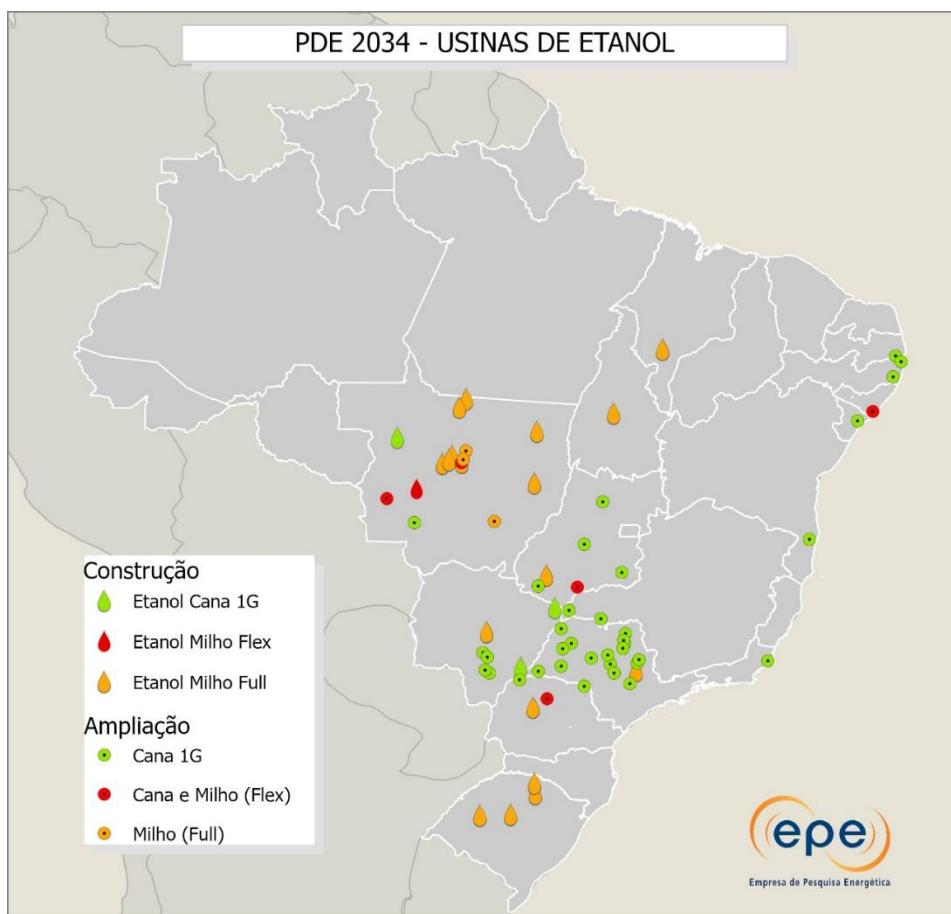


Figura 19 – Localização das usinas de etanol planejadas no PDE 2034

Para atender ao aumento da oferta de etanol previsto no horizonte decenal, está planejada a **construção de 22 usinas**, a maioria na região Centro-Oeste, em áreas de alta e média aptidão agrícola para cana-de-açúcar conforme classificação da Embrapa (2009), as quais têm se mostrado viáveis também para a produção de etanol de milho (Figura 19). Destas 22 usinas, uma possui capacidade de processamento de milho e cana-de-açúcar (flex), dezoito são exclusivas para processamento de milho (*full*) e três dedicadas exclusivamente à cana. Está prevista também a **ampliação de 43 usinas (36 de cana e 7 de milho)**, sendo 19 no Sudeste, 15 no Centro-Oeste, seis no Nordeste, e três no Sul. Além das usinas em construção

⁵⁹ A oferta considera o volume total de importação e produção de etanol oriundo da cana-de-açúcar, milho, cana 2G e outras matérias-primas.

e ampliação planejadas, foram consideradas, para atendimento da demanda no horizonte decenal, unidades indicativas de etanol de milho com capacidade de produção de 3 bilhões de litros e de processamento de 7,2 milhões de toneladas de milho, podendo ser por meio de construção de nova usina ou por ampliação de capacidade de unidade existente.

Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão da oferta de etanol

A avaliação socioambiental da expansão da oferta de etanol envolve tanto o ciclo da cultura de matéria-prima quanto as etapas de processamento. Conforme mencionado anteriormente, as previsões do PDE 2034 indicam a predominância de milho como matéria prima na expansão de etanol prevista no horizonte decenal, mas a cana-de-açúcar ainda terá um papel importante na expansão do etanol no decênio.

De modo geral, as principais interferências socioambientais da produção de etanol envolvem a geração de resíduos e efluentes e o consumo de água. No caso do setor sucroalcooleiro brasileiro, há bastante experiência acumulada, de forma que muitos impactos ambientais da cadeia de produção de açúcar e etanol foram reduzidos ao longo do tempo, tanto pela adoção de tecnologias mais eficientes, como pela evolução da legislação ambiental em nível nacional e estadual. Já no caso do etanol de milho, o país já possui vasta experiência na produção do grão e aproveita o conhecimento acumulado com a produção de etanol da cana para expandir sua produção de etanol sobretudo com milho da segunda safra, intercalado com a produção de soja, especialmente no Centro-Oeste do país.

A **geração de resíduos e efluentes** pode ser considerada a principal interferência associada à expansão planejada. Nessa seara, o setor sucroalcooleiro tem avançado na busca de soluções para o **reaproveitamento** desses resíduos e efluentes. Entre elas destacam-se a queima de bagaço, palha e ponta para produção de bioeletricidade⁶⁰ e a utilização da vinhaça, torta de filtro, cinzas e fuligem na adubação do solo. No caso do milho, os coprodutos provenientes da produção do etanol são comercializados, como o óleo de milho e produtos de nutrição animal, o que reduz a geração de resíduos.

No setor sucroalcooleiro, ainda que a fertirrigação com a vinhaça seja uma prática bem-sucedida, a técnica apresenta limitantes ambientais e econômicos, como o custo do transporte para o local de aplicação, implicando busca por melhorias ou novas soluções para o problema. A partir do indicador de produção média de cerca de 12,5 litros de vinhaça por litro de etanol produzido a partir da cana (Moraes et al., 2022), estima-se que a produção de vinhaça atinja algo em torno de 391 milhões de m³ em 2034 e um total acumulado de 3,9 bilhões de m³ ao longo dos próximos 10 anos.

Considerando esse volume, o tema **resíduos** foi considerado relevante para a região Sudeste, pela cumulatividade com as usinas existentes.

A **alteração na disponibilidade de água** também é uma interferência a ser levada em consideração nas análises da expansão do setor. Segundo a ANA (2021), o cultivo da cana-de-açúcar exige um baixo volume de água por unidade de área, e a região Centro-Sul apresenta condições favoráveis de chuvas e emprego da fertirrigação⁶¹. No processamento a captação de água vem se reduzindo significativamente por meio de legislação ambiental e cobrança pela utilização de recursos hídricos (CNI e UNICA, 2014). No caso do milho, a maior parte da matéria-prima para produção de etanol é proveniente do cultivo de segunda safra, que ocorre no período de chuvas, sem necessidade de irrigação. O consumo de água do processo industrial é demandado principalmente para a hidrólise do amido e para a geração de vapor nas caldeiras e há possibilidade de recirculação da água para redução do consumo.

No estado de São Paulo, o consumo de água nas usinas signatárias do Protocolo Agroambiental Etanol Mais Verde na safra 2022/2023 foi de 0,74 m³ de água por tonelada de cana-de-açúcar processada, com a promoção de ações de fechamento de circuito com reúso de água, aprimoramento dos processos

⁶⁰ Ver item 4.3 UTEs renováveis para mais informações.

⁶¹ A fertirrigação consiste no reúso agronômico de efluentes do processo agroindustrial (vinhaça e águas residuárias), ocorrendo sobretudo no Centro-Sul. Já a irrigação de salvamento consiste na fertirrigação consorciada com baixos volumes de água captados em mananciais, e ocorre sobretudo na Zona da Mata Nordestina (ANA, 2021).

industriais e avanço na colheita crua e limpeza da cana a seco (SÃO PAULO, 2023). Cabe destacar que nesse estado, a Resolução SMA n. 88/2008, que define as diretrizes técnicas para o licenciamento de empreendimentos do setor sucroalcooleiro, estabelece a faixa limite de 0,7 a 1 m³ de água por tonelada de cana-de-açúcar processada. Considerando essa faixa, o volume estimado de consumo de água das usinas sucroalcooleiras acumulado no horizonte decenal para a produção de etanol fica entre 2,6 e 3,7 bilhões de m³ de água. Tendo em vista os avanços alcançados na redução do consumo e o fato de a expansão prevista estar localizada principalmente nas regiões Centro-Oeste e Sudeste, que apresentam condições mais favoráveis de chuvas, o tema recursos hídricos não foi considerado relevante.

De acordo com a análise apresentada acima, apenas o tema socioambiental **resíduos** na região Sudeste foi considerado relevante no contexto do Plano. A análise dos temas socioambientais está sintetizada na Tabela 23.

Tabela 23 – Síntese da análise socioambiental de etanol do PDE 2034

| | Norte | Nordeste | Sul | Sudeste | Centro-Oeste |
|--------|--|--|--|--|--|
| Etanol |  interferências inexpressivas |  interferências inexpressivas |  interferências inexpressivas |  resíduos |  interferências inexpressivas |

O Quadro 26 resume as principais interferências socioambientais relacionadas à expansão da oferta de etanol no PDE 2034, os temas socioambientais associados a essas interferências, a justificativa pela escolha da interferência na região na qual está prevista a expansão e, por último, as medidas mitigadoras relacionadas às interferências listadas.

Quadro 26 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da oferta de etanol

| Interferência | Tema | Região e justificativa | Medidas mitigadoras |
|---------------------------------|--|---|--|
| Geração de resíduos e efluentes |  resíduos | Sudeste: cumulatividade com as usinas existentes. | - Aproveitamento de bagaço, palha e ponta da cana para produção de bioeletricidade - Uso da vinhaça na fertirrigação das culturas |

Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão da oferta de etanol

Os desafios e iniciativas socioambientais do setor se concentram principalmente na continuidade dos avanços obtidos na gestão dos insumos e resíduos, principalmente recursos hídricos e vinhaça, e no desenvolvimento da produção em padrões mais sustentáveis.

A busca por soluções para **aprimorar o manejo e o aproveitamento da vinhaça** é importante para redução dos riscos de contaminação da água e do solo. Nesse sentido, destaca-se a possibilidade de produção de vinhaça concentrada, fertilizante orgânico registrado no MAPA, o que permite viabilizar a sua aplicação em maiores distâncias (Rossetto, 2019). Cabe destacar que também existem iniciativas de produção de biogás e biofertilizantes a partir da biodigestão da vinhaça, como observado no item 4.4 Termeletricas Renováveis. Além de minimizar as interferências e os riscos ambientais, essas medidas aumentam a produtividade agrícola e trazem ganhos de eficiência ao processo. Diante do exposto, recomenda-se o fomento à pesquisa e implantação de medidas de redução da geração de vinhaça no processo produtivo, e de aproveitamento e manejo da vinhaça.

Cabe destacar a necessidade de **redução do consumo de água**. O setor avançou bastante nessa questão nos últimos anos, mas é preciso considerar que o cenário de expansão prevê aumento significativo da produção. Neste sentido, o Protocolo Agroambiental Etanol Mais Verde do estado de São Paulo, que estabelece diretrizes ambientais para as usinas e associações de fornecedores, continua sendo uma iniciativa relevante e de referência setorial para promoção da redução desses índices. Existem pesquisas

em desenvolvimento, como o aproveitamento da água contida na própria cana, que podem minimizar a captação de água para valores inferiores a 0,5m³/t de cana (CNI e UNICA, 2014).

Segundo o Atlas Irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada, da ANA (2021), o uso da água na cana-de-açúcar apresenta baixos volumes por unidade de área na maior parte das áreas de cultivo, i) pelo fato da cultura apresentar elevada resiliência ao estresse hídrico, ainda que a produtividade possa ficar reduzida; e ii) pelo uso da fertirrigação e da irrigação de salvamento, que racionalizam o uso da água. Entretanto, a cultura da cana de açúcar apresenta grande área de abrangência e, além disso, as áreas de maior hidrointensidade, apesar de ocuparem apenas 5% da área do cultivo, demandam água de um número restrito de mananciais (ANA, 2021). Sendo assim, é importante dar continuidade aos esforços de redução do consumo de água e incentivar a pesquisa, monitoramento e implantação de práticas e tecnologias que contribuam ainda mais para a queda desse índice.

Existem também outras iniciativas que contribuem para a **produção de biocombustíveis em padrões mais sustentáveis**. A Política Nacional de Biocombustíveis (Lei n. 13.576/2017), RenovaBio, busca incentivar a expansão da produção de biocombustíveis no Brasil com práticas ambientais mais adequadas. A Lei Combustível do Futuro, Lei n. 14.993/2024 (Brasil, 2024), inclui programas para promover a descarbonização da matriz energética de transporte nacional e inclui a ampliação do uso de combustíveis sustentáveis e de baixa intensidade de carbono, integrando diversas políticas públicas do setor. Pela Lei, o percentual de mistura de etanol à gasolina poderá chegar a 35%. A Lei também traz uma série de iniciativas relacionadas ao uso do combustível sustentável de aviação e de alternativas sustentáveis no transporte marítimo, etanol de segunda geração, combustíveis sintéticos, hidrogênio, ferramentas para a captura e armazenamento de carbono, entre outras.

O Quadro 27 resume os principais desafios relacionados à expansão da oferta de etanol no PDE 2034 e as iniciativas e recomendações associadas.

Quadro 27 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão da oferta de etanol

| Desafio | Iniciativas | Recomendações |
|--|--|---|
| Aprimorar o manejo e aproveitamento da vinhaça  | - Prática de reúso e concentração da vinhaça - Produção de biogás e biofertilizantes a partir da biodigestão da vinhaça | Fomentar pesquisa e implantação de medidas de redução da geração de vinhaça e de seu aproveitamento |
| Redução do consumo de água | - Protocolo Etanol Mais Verde para cana | - Incentivar pesquisa, monitoramentos e implantação de práticas e tecnologias que reduzam o consumo de água |
| Produção de biocombustíveis em padrões mais sustentáveis | - RenovaBio - Lei Combustível do Futuro | - Apoiar e promover medidas que contribuam para a descarbonização e para melhorar o processo produtivo e estimular a inovação |

Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão da oferta de etanol

A busca pela **ampliação do aproveitamento de efluentes e resíduos** abre possibilidades para aumentar a eficiência, reduzir os riscos ambientais e gerar novos produtos de valor econômico. O etanol de segunda geração (2G) é produzido a partir de resíduos da cana, como palha e bagaço, e de outras culturas, permitindo o aumento da produção de etanol sem expansão de área. Outra opção é a produção de biogás e biofertilizantes a partir da biodigestão anaeróbica da vinhaça, como observado no item 4.3 UTEs Renováveis. Essas medidas trazem ganhos de eficiência ao processo e melhoram o desempenho econômico de cada ciclo, além de minimizar os riscos ambientais. No caso do etanol de milho, o setor se beneficia da

geração de coprodutos como o óleo de milho e do DDGS (*distiller's dried grains with solubles*), utilizado para nutrição animal.

Outra oportunidade é a **ampliação da participação de etanol na matriz de combustíveis**, colaborando para a redução das emissões de GEE e de poluentes atmosféricos. A utilização de etanol em veículos flex, em mistura com gasolina ou puro, promove benefícios ambientais como a redução de emissões de GEE e poluentes atmosféricos, especialmente em áreas urbanas. Conforme mencionado anteriormente, a Lei Combustível do Futuro, Lei n. 14.993/2024 (Brasil, 2024), entre outras questões, prevê a ampliação do percentual de mistura de etanol anidro na gasolina C para até 35%⁶². Cabe destacar também que em dezembro de 2023 o CNPE aprovou a Resolução 07/2023, que instituiu um grupo de trabalho para avaliar a viabilidade técnica do uso da gasolina C com adição de 30% de etanol anidro em todo o território nacional.

O RenovaBio promove os biocombustíveis para atendimento de metas de redução de emissões de GEE, além de apresentar a vantagem de captação de recursos pelo produtor com a venda dos Créditos de Descarbonização por Biocombustíveis (CBIOs). Outro ponto favorável é a priorização indicada na Resolução CNPE n. 2 de 2021, que orienta a destinação de recursos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) regulados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) e pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) para biocombustíveis, entre outros temas relacionados ao setor de energia e à transição energética. A evolução das discussões sobre a implementação de mecanismos de precificação de carbono na economia também pode potencializar essa oportunidade.

O Quadro 28 resume as principais oportunidades relacionadas à expansão da oferta de etanol no PDE 2031 e a conjuntura favorável para aproveitar as oportunidades identificadas.

Quadro 28 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionados à expansão da oferta de etanol

| Oportunidades | Conjuntura favorável |
|--|---|
| Ampliação do aproveitamento de efluentes e resíduos | - Produção de etanol 2G a partir de resíduos - Produção de biogás e biofertilizantes a partir da vinhaça |
| Ampliação da participação de etanol na matriz de combustíveis | - RenovaBio - Lei Combustível do Futuro |

Indicadores socioambientais da expansão da oferta de etanol

No presente plano são propostos dois indicadores socioambientais para representar, ainda que de modo simplificado, as alterações decorrentes da expansão da produção de etanol. Considerando a oferta de etanol de cana e a previsão de cana a ser processada no decênio, foram estimados os indicadores de produção de vinhaça e de captação de água no setor sucroalcooleiro.

Como indicador socioeconômico há o potencial de geração de empregos no setor sucroalcooleiro, que tem sofrido queda constante nos últimos 10 anos (do pico de 635 mil empregos em 2011 para 476 mil em 2020). Isso aconteceu em virtude do aumento expressivo da mecanização da colheita nesse período e da busca por maior eficiência nos processos produtivos. Apesar dessa tendência, a expectativa é de que esse indicador volte a crescer ao longo do horizonte, atingindo uma média anual de 580 mil empregos diretos ao longo do horizonte decenal.

Os empregos relacionados à produção de etanol de milho não foram incluídos por não terem sido encontradas referências nacionais para compor este indicador.

⁶² O projeto de lei n. 528/2020 ainda propõe a instituição do Programa Nacional de Combustível Sustentável de aviação – ProBioQAV, do Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV) e do Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano.

Tabela 24 – Indicadores socioambientais da expansão do etanol

| Indicadores Ambientais | |
|--|-----------|
| Produção de vinhaça de cana-de-açúcar no decênio (bilhões de m ³) ⁽¹⁾ | 3,9 |
| Captação de água nas usinas de cana-de-açúcar para produção de etanol no decênio (bilhões de m ³) ⁽²⁾ | 2,6 a 3,7 |
| Indicadores Socioeconômicos | |
| Empregos diretos na produção sucroalcooleira (média anual no decênio) ⁽³⁾ | 580 mil |

Notas: (1) Volume acumulado considerando a produção de 12 l de vinhaça por litro de etanol.

(2) Volume acumulado considerando a faixa 0,7 - 1 m³ de água consumida por tonelada de cana processada (São Paulo, 2008).

(3) Estimativa baseada no histórico da taxa de empregos diretos (MTE, 2024) por tonelada de cana produzida (CONAB) e na evolução dos índices de mecanização da colheita.

5.3 Biodiesel

Benefícios do biodiesel

- O Biodiesel contribui para a renovabilidade da matriz. É um **combustível renovável**, produzido a partir de óleos vegetais, principalmente da soja, além de gorduras animais, materiais graxos e óleos residuais.
- Na mistura com o óleo diesel, o biodiesel oriundo de óleos vegetais tem como benefício ambiental a **menor emissão de gases poluentes e de efeito estufa**, pois parte do carbono é absorvido na fotossíntese da oleaginosa.
- O Biodiesel produzido a partir de óleos residuais e gorduras animais possibilita o aproveitamento desses resíduos.
- O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel promove a **inclusão social** e geração de emprego no campo e no setor industrial.
- Considerando que parte da demanda de diesel do país é atendida através de importação, a substituição do diesel pelo biodiesel traz **benefícios econômicos para o país e contribui para a redução da dependência energética**.

Oferta atual de biodiesel

Em 2023, a proporção de biodiesel adicionada ao óleo diesel variou de 10% em volume (B10) a 12% (B12). A produção nacional em 2023 foi de 7,5 bilhões de litros. O parque produtor contava com 61 usinas, concentradas nas regiões Sul e Centro-Oeste, com capacidade instalada de 14,6 bilhões de litros/ano (ANP, 2024). A figura ao lado apresenta a localização das unidades produtoras de biodiesel existentes.

O óleo de soja foi a matéria-prima predominante para a produção de biodiesel em 2023, atingindo 69,1%. Outros materiais graxos corresponderam a 16,3% da produção, seguidos pela gordura bovina (5,8%) entre outras matérias-primas (ANP, 2024a). Dada a trajetória apresentada ao longo dos últimos anos, a tendência é que a soja permaneça por um longo período em destaque entre os insumos usados na produção do biodiesel, embora já se observem outras matérias-primas emergindo nesse mercado.



Em 2023, das usinas autorizadas a exercer atividade de produção de biodiesel, 22 possuíam Certificado da Produção Eficiente de Biocombustíveis e estavam habilitadas a solicitar a emissão de Créditos de Descarbonização – CBIOs (ANP, 2024).

Segundo o MDA (2024), 54 empresas possuem o Selo Biocombustível Social (SBS). Para obtenção do Selo, as empresas produtoras de biodiesel precisam comprar um percentual mínimo de matéria-prima de agricultores familiares, firmar contratos de compra antecipados e prestar assistência técnica aos agricultores. Em janeiro de 2024, foi publicado o Decreto n. 11.902, com novos objetivos ao Selo Biocombustível Social. O novo decreto inclui entre os objetivos do SBS o fomento de cadeias produtivas de oleaginosas e alimentos, incentivando outros arranjos produtivos. Houve alterações nos critérios para concessão e manutenção do direito de uso do SBS, com a publicação da Portaria MDA n. 28, de 27/06/2024, que estabelece que até 2026 as regiões Norte, Nordeste e Semiárido deverão atingir 20% das compras realizadas pelos produtores de biodiesel, em conformidade com a Portaria Interministerial MME/MDA n. 2, de 03/08/2023.

Expansão da oferta de biodiesel nos próximos 10 anos

O cenário de oferta de biodiesel no PDE 2034 prevê uma expansão da produção de aproximadamente 50% no horizonte decenal, passando de cerca de 9,2 bilhões de litros, em 2024, para **13,6 bilhões de litros em 2034**. Nesse decênio, está prevista a instalação de **oito novas usinas**, com capacidade de processamento de cerca de 1 bilhão de litros por ano, distribuídas principalmente na região Centro-Oeste, que recebe quatro novas usinas. As regiões Sudeste e Norte contarão com três e uma nova usina, respectivamente. A **ampliação de nove usinas** nas regiões Sul, Sudeste, Norte e Centro-Oeste também será importante para aumentar a produção do biocombustível, adicionando 1,8 bilhões de litros por ano. Juntas, ampliação e construção de novas usinas totalizam mais de 2,8 bilhões de litros por ano em capacidade instalada para atender à demanda de biodiesel do País. A Figura 20 apresenta a localização das usinas planejadas e em ampliação no decênio.

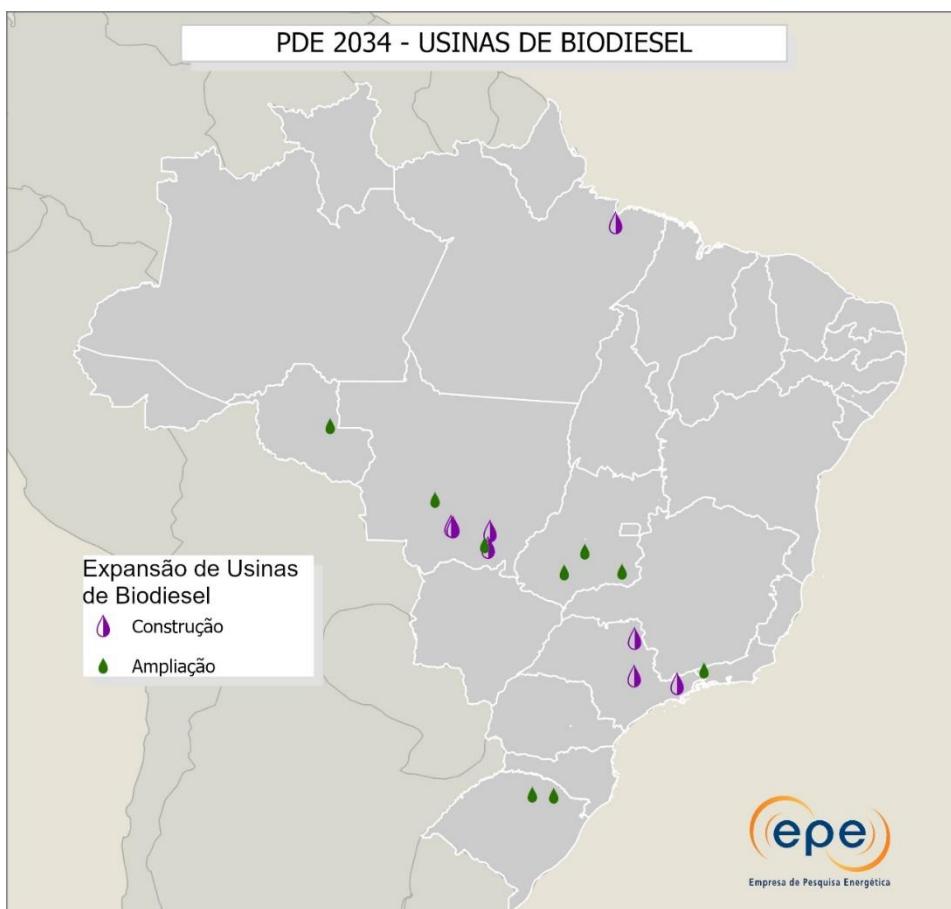


Figura 20 – Localização das usinas de biodiesel planejadas no PDE 2034

Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão do biodiesel

A principal interferência relacionada à produção de biodiesel é a **geração de resíduos e efluentes**. Entre eles, destaca-se, na etapa industrial, o manuseio de compostos perigosos, especialmente o metanol, que é altamente tóxico, e a glicerina, obtida como principal coproduto. De modo geral, o tratamento e a destinação adequada dos resíduos e efluentes são conhecidos e estabelecidos no âmbito do licenciamento ambiental do empreendimento.

Considerando o horizonte do PDE 2034, estima-se uma geração expressiva de glicerina, de aproximadamente 12,9 milhões de toneladas no acumulado (100 g/l de biodiesel). Usualmente, a glicerina pode ser encaminhada para refino e aplicada nas indústrias farmacêutica, química e de alimentos e bebidas, ou então utilizada em mistura para ração animal ou queima para geração de energia (UCHOA, 2015 e EMBRAPA, 2019). Apesar das diversas opções existentes, a quantidade elevada de glicerina estimada pode ocasionar dificuldades para sua destinação adequada. Sendo assim, esse coproduto tem

certa relevância do ponto de vista quantitativo; contudo, para efeito da análise integrada neste PDE, este impacto foi considerado inexpressivo no decênio.

Outro aspecto que levanta preocupações é a **monocultura de soja**, associada a fatores como desmatamento extensivo, contaminação da água e do solo por defensivos agrícolas e herbicidas, e erosão e compactação do solo. Entretanto, não há evidências de que a produção de biodiesel tenha alterado a curva de oferta da soja ao longo dos anos, o que restringe uma associação direta entre o biodiesel e os impactos derivados da expansão dessa cultura. Ao contrário, a produção da sojicultura tem crescido, incentivada majoritariamente pela exportação da soja in natura e do farelo para a China e outros países. Dessa forma, entende-se que **o óleo de soja utilizado para produção de biodiesel é um subproduto do setor da sojicultura e não compete com a produção de alimentos.**

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais – Abiove (2024), em 2023, foram produzidos 160,3 milhões de toneladas de soja, produção cerca de 20% superior comparada ao ano anterior. Mais da metade dessa produção foi exportada, e cerca de 54 milhões de toneladas foram processadas, o que equivale a cerca de 35% dos grãos produzidos no país. A produção de óleo de soja nesse mesmo ano foi de 10,8 milhões de toneladas (9% superior ao ano anterior). Cerca de 5 bilhões de litros de óleo de soja foram utilizados para produzir biodiesel em 2023 (ANP, 2024).

Tabela 25 – Síntese da análise socioambiental do biodiesel do PDE 2034

| | Norte | Nordeste | Sul | Sudeste | Centro-Oeste |
|-----------|---|----------------------------|---|---|---|
| Biodiesel | <input type="checkbox"/> interferências inexpressivas | não há projetos planejados | <input type="checkbox"/> interferências inexpressivas | <input type="checkbox"/> interferências inexpressivas | <input type="checkbox"/> interferências inexpressivas |

Conforme as interferências e justificativas citadas acima, não foram identificados temas relevantes para a expansão de biodiesel no decênio.

Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão do biodiesel

Na política de promoção do biodiesel ainda permanecem alguns desafios a serem superados, especialmente a diversificação da matriz de matérias-primas e o aumento da participação da agricultura familiar na cadeia produtiva, sobretudo no semi-árido e Nordeste, como pressupunham as diretrizes iniciais do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB).

A **diversificação da cesta de matérias-primas graxas** tem fundamento nas diretrizes do PNPB de inclusão social e de desenvolvimento regional por meio da promoção da agricultura familiar, sobretudo da região Nordeste. Fundamenta-se também na redução da vulnerabilidade de um combustível cuja matriz de insumos se concentra historicamente em uma única matéria prima. Desde o início do Programa, a participação da soja tem variado de 65 a 80% dos insumos que abastecem a produção do biodiesel, sinalizando um descompasso em relação aos objetivos iniciais do programa (ANP, 2024b).

Há diversas pesquisas sobre a produção de biodiesel a partir da palma-de-óleo (dendê), babaçu e macaúba, entre outras. No que diz respeito à macaúba, palmeira nativa, o relatório de 2022 da Atrium Forest Consulting (AFC) em parceria com a World Wide Fund (WWF) resume os principais aspectos sobre o tema (ATRIUM e WWF-Brasil, 2022). De acordo com esse estudo, a macaúba pode produzir cinco vezes mais óleo por hectare que a soja, sem a necessidade de avançar para novas áreas, por meio de seu cultivo consorciado a pastagens degradadas ou subutilizadas. Pesquisas indicam sua boa adaptação a áreas degradadas e resiliência a déficits hídricos. O cultivo de macaúba contribui para a melhoria da estrutura do solo e o aumento da retenção da água pluvial no solo, devido às características de seu sistema radicular. Além disso, a torta de macaúba resultante da extração do óleo serve de alimento para o gado. Desse modo, além da recuperação de áreas degradadas, essa palmeira pode contribuir para o desenvolvimento de agroindústria em regiões de economia com baixo dinamismo, promovendo a geração de emprego e renda.

Um ponto importante relativo ao aumento da oferta de biodiesel e da diversificação da cesta de insumos se refere ao melhoramento das condições de logística de coleta de matérias-primas e de distribuição do biodiesel. Nesse aspecto, entre as diversas iniciativas para diversificar matérias-primas, merecem destaque as iniciativas de coleta de óleo de cozinha usado. A transformação desse resíduo em biodiesel, além de evitar o impacto ambiental do descarte do óleo, o transforma em um combustível renovável com valor agregado. No entanto, há uma complexidade logística nesse ramo, com vários desafios, como, por exemplo, a coleta pulverizada. Promover educação ambiental, criar infraestrutura e oferecer incentivos, inclusive fiscais, são algumas das medidas essenciais para viabilizar o aumento da participação do óleo reciclado como matéria prima para produção do biodiesel.

Do ponto de vista da distribuição do biodiesel, o grande desafio seria a realização de investimentos em infraestrutura ferroviária e hidroviária para que a soja e seus derivados cheguem aos principais centros consumidores com preços mais competitivos, menor gasto de energia e menor custo ambiental.

Em relação ao aproveitamento dos volumes expressivos de glicerina, os desafios principais são a **redução dos custos da purificação e ampliação das oportunidades de aproveitamento**. O processo de purificação permite o aumento do grau de pureza da glicerina, o que agrupa valor comercial e amplia as opções de absorção pelo mercado. Entretanto, o processo de tratamento é custoso, sendo um investimento difícil, principalmente para os pequenos produtores. Sendo assim, é importante incentivar estudos e parcerias que busquem soluções que tragam maior economicidade e, consequentemente, maior aproveitamento dos coprodutos.

Paralelamente, existem pesquisas propondo novas alternativas de aproveitamento da glicerina. Dentre elas, destacam-se a conversão da glicerina em ácidos orgânicos e outros compostos de interesse comercial, uso de glicerina para aumento do tempo de ação de defensivos agrícolas e até para obtenção de gás de síntese (mistura H₂ e CO) para produção de combustíveis sintéticos, como querosene de aviação (EMBRAPA, 2019; UBRABIO, 2020 e MCTI e GIZ, 2019). Novas oportunidades de aproveitamento da glicerina podem ser descobertas por meio do fomento de pesquisas de desenvolvimento tecnológico.

Sobre o **aumento da participação da agricultura familiar** para a redução das desigualdades regionais, em agosto de 2023, foi instituída a Portaria Interministerial MME/MDA n. 2/2023, que dispõe sobre mecanismos de incremento ao fomento e aquisições provenientes da Agricultura Familiar no âmbito do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) para as regiões Norte, Nordeste e Semiárido. De acordo com esse normativo, fica estabelecido como critério adicional para manutenção do direito de uso do Selo Biocombustível Social (SBS), para fins de incremento ao fomento e às aquisições provenientes da agricultura familiar, que em 2024 pelo menos 10% dos recursos gastos pelas usinas com a manutenção do SBS deverão ter como destino os agricultores dessas três regiões alvo. Esse percentual aumenta para 15% em 2025 e 20% de 2026 em diante.

No início de 2024 o regulamento do Selo Biocombustível Social foi alterado pelo Decreto 11.902/2024, que inclui entre seus objetivos: i) fortalecer o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar e incluí-la na cadeia produtiva do biodiesel e de outros biocombustíveis; ii) fomentar as cadeias produtivas de oleaginosas e de alimentos nas Regiões Norte e Nordeste e no Semiárido, com vistas ao aumento da produtividade e da competitividade da produção familiar; e iii) fomentar projetos destinados à pesquisa, à inovação e ao desenvolvimento de novas fontes oleaginosas integrados com ações de produção familiar e transição agroecológica pela agricultura familiar e suas organizações. Além disso, a atualização desse normativo permite que as usinas negoçiem com a agricultura familiar dessas regiões matérias-primas diferentes das oleaginosas, o que pode impulsionar outros arranjos produtivos. Nessa linha, em junho de 2024 foi publicada a Portaria MDA n. 28/2024, que altera os critérios de concessão e manutenção do direito de uso do Selo Biocombustível Social. De acordo com esse normativo, o produtor de biodiesel com SBS deverá previamente firmar contrato com o agricultor familiar e/ou Organização da Agricultura Familiar⁶³ com Declaração de Aptidão ao Pronaf (DAP), considerando o ciclo de cada arranjo produtivo e poderá, complementarmente, negociar contrato com cooperativas sem Declaração de Aptidão

⁶³ Conforme definição dada pelo Decreto 11.902/2024, Organização da Agricultura Familiar é a cooperativa agropecuária da agricultura familiar detentora da Declaração de Aptidão ao Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (DAP), ou do Cadastro Nacional da Agricultura Familiar (CAF).

ao Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (DAP) e sem Cadastro Nacional da Agricultura Familiar (CAF). Os contratos preveem uma cláusula de responsabilidade do produtor de biodiesel pela prestação de serviços de assistências técnica e extensão rural (ATER) e capacitação ao agricultor familiar.

Essa portaria incentiva que o produtor de biodiesel realize, anualmente, dispêndios de fomento em projetos e ações em áreas prioritárias do Norte, Nordeste ou do Semiárido, indicadas pela Unidade Gestora do MDA e selecionadas com base em baixos indicadores de desenvolvimento socioeconômico. Os seguintes itens são permitidos para dispêndios em fomento: análise de solos; adubos; corretivos de solo; máquinas, equipamentos, benfeitorias e sistemas de geração de energia a partir de fontes renováveis, tais como solar, eólica e biogás, ligadas à atividade agropecuária ou agroindustrial; infraestruturas de comercialização de matérias-primas e produtos da agricultura familiar; armazenagem de grãos, óleos e gorduras, entre outros. A Unidade Gestora acompanha e fiscaliza a execução dos projetos e ações nas áreas prioritárias. A concessão do SBS é mantida para o produtor que comprovar anualmente percentual mínimo ponderado de dispêndios para a agricultura familiar equivalente a, pelo menos, 32% do valor total bruto do biodiesel comercializado por ele no período. Essa ponderação incentiva as regiões Norte, Nordeste e o Semiárido, na medida em que multiplica por 30 o valor efetivo de dispêndios em fomento nessas regiões e por três nas regiões Centro-Oeste e Sudeste.

A Portaria MDA n. 28/2024 estabelece ainda que o produtor de biodiesel deverá assegurar assistência contínua a toda unidade familiar de produção que firmar contrato, diretamente ou por meio de suas contratadas. Essa assistência técnica e extensão rural deve visar ao desenvolvimento de soluções tecnológicas de aumento de produtividade, incremento na renda familiar, diversificação das matérias-primas e oportunidades de acesso a outras políticas públicas e à certificação ambiental, tais como a prevista na Política Nacional de Biocombustíveis – RenovaBio. Segundo a referida portaria, nas ações de ATER deverão ser utilizadas abordagens participativas e técnicas vivenciais, que facilitem a participação dos agricultores familiares no planejamento e execução das atividades, estimulando a organização associativa e cooperativa e facilitando a participação dos agricultores familiares em feiras de tecnologia do campo.

Sobre a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) pelo aumento da participação de biocombustíveis, a Política Nacional de Biocombustíveis, conhecida como RenovaBio⁶⁴, busca fomentar a **expansão dos biocombustíveis em padrões mais sustentáveis** com a aplicação de dois instrumentos: metas nacionais de redução de emissões de (GEE) para a matriz de combustíveis e certificação da produção de biocombustíveis. A Resolução CNPE n. 3/2023 ampliou a adição de biodiesel no diesel de 10% para 12% em 2023, e estabeleceu o aumento para 13% em 2024, 14% em abril de 2025 e 15% em abril de 2026. A Resolução CNPE n. 8/2023 antecipou o percentual de 14% para março de 2024 e 15% para março de 2025. O Programa Combustível do Futuro aumenta esses percentuais, ao estabelecer a adição de biodiesel no diesel deverá alcançar 20% até 2030, podendo atingir 25% a partir de 2031. Esse programa foi instituído pela Resolução n. 7 de 2021 do CNPE, e pela Lei Combustível do Futuro, Lei n. 14.993/2024 (Brasil, 2024b).

O RenovaBio e a Lei Combustível do Futuro devem incentivar a expansão da produção de biocombustíveis no Brasil e se configuram em políticas capazes de apoiar o país no cumprimento dos compromissos internacionais assumidos para redução de GEE. No caso do biodiesel, é importante que se incentive uma maior diversificação da matriz de insumos, hoje majoritariamente composta pela soja.

O Quadro 29 resume os principais desafios relacionados à expansão do biodiesel no PDE 2034 e as iniciativas e recomendações associadas.

⁶⁴ Lei n. 13.576/2017, que dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), e normativas posteriores ([Legislação do Renovabio — Português \(Brasil\)](#) (www.gov.br))

Quadro 29 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão do biodiesel

| Desafio | Iniciativas | Recomendações |
|---|--|---|
| Diversificação de matérias-primas (resíduos como matéria-prima / outras culturas) | <ul style="list-style-type: none"> - Iniciativas isoladas de coleta de óleo de cozinha residual. - Estudos de viabilidade econômica de outras oleaginosas para produção de biocombustível, como é o caso da macaúba. | <ul style="list-style-type: none"> - Criar incentivos para outras matérias-primas para aumentar a competitividade em relação à soja. - Promover educação ambiental sobre a importância do descarte adequado de óleo residual de cozinha. - Ampliar investimentos em infraestrutura de transporte e em sistemas logísticos para ampliar a competitividade das matérias-primas e otimizar as potencialidades regionais. - Incentivar pesquisas para o desenvolvimento do zoneamento agroecológico para palmeiras nativas. |
| Redução dos custos da purificação e ampliação das oportunidades de aproveitamento da glicerina | <ul style="list-style-type: none"> - Pesquisas de alternativas de aproveitamento da glicerina. | <ul style="list-style-type: none"> - Incentivar estudos e parcerias que busquem soluções que tragam maior economia para a purificação da glicerina. - Fomentar pesquisas e desenvolvimento tecnológico de alternativas de aproveitamento da glicerina. |
| Expansão dos biocombustíveis em padrões mais sustentáveis | <ul style="list-style-type: none"> - RenovaBio e os respectivos requisitos ambientais. - Lei Combustível do Futuro. | <ul style="list-style-type: none"> - Acompanhar os desdobramentos do RenovaBio sobre indicadores ambientais. - Apoiar e promover medidas que contribuam para melhorar o processo produtivo e estimulem a inovação. |
| Aumentar participação e renda da agricultura familiar na cadeia produtiva, sobretudo nas regiões Norte, Nordeste e Semiárido | <ul style="list-style-type: none"> - Portaria Interministerial MME/MDA n. 2/2023 e Portaria MDA n. 28/2024 – fixa percentual mínimo do valor efetivo destinado ao fomento e aquisições no âmbito do SBS para as Regiões Norte, Nordeste e no Semiárido - Contratos prévios com os agricultores familiares para compra de oleaginosas (e outras matérias primas) com cláusula de responsabilidade sobre ATER e capacitação dos agricultores familiares - Decreto n. 11.902/2024, de 30/01/2024 | <ul style="list-style-type: none"> - Acompanhar os desdobramentos da Portaria Interministerial MME/MDA n. 2/2023 e Portaria MDA n. 28/2024 no incremento da participação da agricultura familiar e organizações familiares no Norte e Nordeste e no Semiárido - Incentivar novos avanços produtivos para a agricultura familiar na cadeia de oleaginosas e alimentos nas regiões Norte, Nordeste e no Semiárido. |

Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão da oferta de biodiesel

Conforme comentado no item anterior, existe potencial para ampliar a **participação da agricultura familiar na produção de biodiesel por meio do SBS**. Segundo dados preliminares do Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar (MDA) predominavam, em 2022, famílias da região Sul como

fornecedoras de matérias primas (48.081 famílias, representando 89% do total de famílias)⁶⁵; entretanto, historicamente também houve participação relevante de famílias da região Nordeste. Sendo assim, existe a oportunidade de promoção do aumento de renda e desenvolvimento econômico local pela ampliação da participação de famílias nas demais regiões, especialmente as mais vulneráveis, conforme Portaria Interministerial MME/MDA nº 2/2023, Portaria MDA nº 28/2024 e Decreto nº 11.902/2024. A principal matéria-prima comercializada pela agricultura familiar no âmbito do SBS é a soja (grãos e óleo), que em 2022 representou 89% do valor total das aquisições dessa modalidade de produtores⁶⁶.

Outra oportunidade é ampliar o papel dos biocombustíveis para **redução das emissões de GEE e de poluentes atmosféricos**. Nesse sentido, a iniciativa mais recente é Lei n. 14.993/2024, a Lei do Combustível do Futuro (Brasil, 2024b), que inclui programas de descarbonização da matriz energética de transporte nacional por meio da ampliação do uso de combustíveis sustentáveis e de baixa intensidade de carbono. A Lei estabelece que a mistura de biodiesel ao óleo diesel deverá alcançar 20% até 2030 e poderá atingir 25% a partir de 2031 e os percentuais serão definidos pelo CNPE.

Adicionalmente, o RenovaBio promove os biocombustíveis para atendimento de metas de redução de emissões de GEE, além de apresentar a vantagem de captação de recursos pelo produtor com a venda dos CBIOs. Outro ponto favorável é a priorização indicada na Resolução CNPE n. 2 de 2021, que orienta a destinação de recursos de pesquisa, desenvolvimento e inovação regulados pela Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel e pela Agência Nacional de Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis - ANP para biocombustíveis, entre outros temas relacionados ao setor de energia e à transição energética. A evolução das discussões sobre a implementação de mecanismo de precificação de carbono na economia também pode potencializar essa oportunidade.

O Quadro 30 resume as principais oportunidades relacionadas à expansão da oferta de biodiesel no PDE 2034 e a conjuntura favorável para aproveitamento das oportunidades identificadas.

Quadro 30 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão da oferta de biodiesel

| Oportunidades | Conjuntura favorável |
|---|--|
| Desenvolvimento local por meio do aumento da inclusão da agricultura familiar | - Promoção da inclusão da agricultura familiar pelo Selo Biocombustível Social – Portaria Interministerial MME/MDA n. 2/2023, Portaria MDA n. 28/2024 e Decreto 11.902/2024 |
| Ampliar a contribuição para redução das emissões de gases de efeito estufa e de poluentes atmosféricos | <ul style="list-style-type: none"> - Resolução CNPE n. 3/2023 e 8/2023 para aumento progressivo até 2026 do percentual de mistura do biodiesel no óleo diesel - RenovaBio - Resolução CNPE n. 2/2021 - P&D para biocombustíveis - Lei Combustível do Futuro. |

Indicadores socioambientais da expansão do biodiesel

No presente Plano são propostos: i) um indicador ambiental: a produção de glicerina (cerca de 13 milhões de toneladas acumuladas no decênio, descrita na seção de interferências; e ii) dois indicadores socioeconômicos: a geração de empregos diretos na fabricação de biodiesel, detalhada a seguir, e o número de famílias fornecedoras de matéria prima do Selo Biocombustível Social (SBS). Esses indicadores são apresentados na Tabela 26.

De acordo com os dados da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) do Ministério do Trabalho e Emprego, a produção de biocombustíveis, excetuando-se o etanol, gerou 4.365 empregos diretos em 2022 (MTE, 2024). Essa estimativa não contempla os empregos gerados nas demais etapas produtivas,

⁶⁵ Conforme dados fornecidos pelo Departamento de Inovação para a Produção Familiar e Transição Agroecológica (DINOV/SAF/MDA) por meio de comunicação pessoal em 11/07/2024. Os dados se baseiam em informações preliminares fornecidas pelas empresas detentoras do Selo Biocombustível Social e agentes intermediários no Sistema de Gestão de Ações do Biodiesel – Sabido.

⁶⁶ Idem.

como a etapa agrícola e a distribuição. Estudo realizado pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea) e da Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (Abiove) estima que, em 2021, cerca de 19 mil pessoas estavam diretamente ocupadas na cadeia produtiva do biodiesel. Estima-se que o PIB da fabricação de biodiesel tenha alcançado R\$ 10,5 bilhões em 2021, o que corresponde a cerca de 2% do PIB da agroindústria brasileira (CEPEA e ABIOVE, 2022). Cumpre notar que a geração de empregos pode evoluir de forma mais intensa com o aumento do percentual obrigatório da mistura de biodiesel ao óleo diesel.

Tabela 26– Indicadores socioambientais da expansão do biodiesel

| Indicadores Ambientais | |
|---|----------------------|
| Produção de glicerina como subproduto da produção de biodiesel (média anual no decênio) | 1,3 Mt |
| Indicadores Socioeconômicos | |
| Empregos diretos na fabricação de biodiesel (média anual no decênio) | 8,2 mil |
| Famílias fornecedoras de matéria-prima do SBS | 54 mil ⁶⁷ |

Fonte: EPE com base em ANP (2024), MTE (2024) e MDA (2024)

⁶⁷ Conforme dados fornecidos pelo Departamento de Inovação para a Produção Familiar e Transição Agroecológica (DINOV/SAF/MDA) por meio de comunicação pessoal em 11/07/2024. Os dados se baseiam em informações preliminares fornecidas pelas empresas detentoras do Selo Biocombustível Social e agentes intermediários no Sistema de Gestão de Ações do Biodiesel – Sabido.

6 Conclusão

A presente Nota Técnica traz as etapas 1 e 2 da análise socioambiental do PDE 2034, apresentando os subsídios para a expansão decenal e a análise socioambiental da oferta de energia elétrica e da oferta de petróleo, gás natural e biocombustíveis.

Dentro da etapa de subsídios para a expansão decenal, foram realizadas avaliações tanto para as usinas hidrelétricas quanto para as unidades produtivas de petróleo e gás natural. O resultado da avaliação processual de UHEs indicou três usinas com possibilidade de entrada de operação no horizonte. Embora essas três usinas tenham sido disponibilizadas para o modelo de expansão, apenas uma UHE indicativa foi escolhida por ele. Já a análise de complexidade indicou uma redução de 5% e 3% do volume previsto para gás natural e petróleo, respectivamente, nas áreas da União ao longo do decênio. Para as unidades produtivas contratadas, o resultado indicou um prazo adicional para o licenciamento ambiental para 38 UPs. Todavia, os prazos demandados pela logística e infraestrutura para essas UPs já superavam os tempos esperados para o licenciamento ambiental.

Na etapa de análise socioambiental da oferta de energia planejada, foram analisadas as seguintes fontes energéticas indicadas no PDE 2034: hidrelétricas, PCHs, termelétricas renováveis e não renováveis, eólicas, usinas solares fotovoltaicas, transmissão de energia elétrica, produção e oferta de petróleo gás natural e derivados, etanol e biodiesel. A partir da análise de cada uma das fontes energéticas, considerando a metodologia utilizada, chegou-se a sete temas socioambientais que sintetizam as interferências socioambientais mais significativas do conjunto planejado para o PDE 2034: biodiversidade, organização territorial, paisagem, povos e terras indígenas, qualidade do ar, recursos hídricos e resíduos.

Dentre os desafios socioambientais listados para cada uma das fontes energéticas, sobressaíram: 1) a compatibilização da produção, geração e transmissão de energia com a conservação da biodiversidade, 2) a compatibilização da geração e produção de energia com o uso da água e 3) a mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

De modo a identificar possibilidades de agregar valor socioambiental à expansão energética, também foram identificadas oportunidades socioambientais para as fontes energéticas. Entre as oportunidades, destacaram-se: 1) aproveitamento energético dos resíduos, 2) otimização de recursos e de infraestrutura e 3) mecanismos de sustentabilidade para projetos energéticos.

Neste ciclo, cabe enfatizar a importância das discussões sobre mudanças climáticas e transição energética justa e inclusiva, que permearam a análise de todas as fontes energéticas.

Ao mesmo tempo em que as mudanças climáticas se apresentam como um desafio às fontes energéticas, exigindo medidas de mitigação e adaptação, elas também se apresentam como oportunidades para algumas fontes. Nesse contexto, podem ser citadas iniciativas de descarbonização e diversos mecanismos de sustentabilidade, que contribuem para uma transição energética de baixo carbono.

Para que a transição energética também seja justa e inclusiva, contribuindo para o desenvolvimento social e econômico, com foco na redução das desigualdades, desafios ainda devem ser enfrentados, o que levou à consideração de mais um desafio na análise integrada, apresentada no documento do PDE 2034: 4) transição energética justa e inclusiva.

Dessa forma, as análises realizadas para cada fonte energética, nesta Nota Técnica, formam a base para a análise socioambiental integrada apresentada no corpo do PDE 2034 (ver Cap. 10 – Análise Socioambiental). Cabe destacar que o Plano também conta com a análise das questões de mudança do clima (Cap. 10) e da transição energética (Cap. 11 – Transição Energética).

7 Referências bibliográficas

Hidrelétricas

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2024. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2023.** Disponível em: [conjunturainforme2023.pdf \(snirh.gov.br\)](https://conjunturainforme2023.pdf(snirh.gov.br)). Acesso em: setembro de 2024.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. 2024. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA.** Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjIILWJlYmEtY-zdk%20NTQ1MTc1NjM2%20liwidCI6ljQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNz-BIMSIslmMiOjR9>. Acesso em: junho de 2024.

BANCO Mundial. 2016. **Quadro Ambiental e Social do Banco Mundial.** Environmental Social Framework Portuguese. Banco Mundial, Washington, DC. Disponível em: <https://thedocs.worldbank.org/en/doc/456161535383869508-0290022018/original/EnvironmentalSocialFrameworkPortuguese.pdf>. Acesso em: setembro de 2024.

BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento. 2020. **Quadro de Políticas Ambientais e Sociais – Setembro/2020.** Disponível em: <https://greenfinancelac.org/pt-br/recursos/publicacoes/quadro-de-politicas-ambientais-e-sociais/>. Acesso em: setembro de 2024.

BRASIL. 1988. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, de 05 de outubro de 1988.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: setembro de 2024.

_____. 1989. **Lei n. 7.990, de 28 de dezembro de 1989.** Institui, para os Estados, Distrito Federal e Municípios, compensação financeira pelo resultado da exploração de petróleo ou gás natural, de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica, de recursos minerais em seus respectivos territórios, plataformas continental, mar territorial ou zona econômica exclusiva, e dá outras providências (art. 21, XIX da CF). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7990compilado.htm. Acesso em: setembro de 2024.

_____. 1998. **Decreto n. 2.519, de 16 de março de 1998.** Promulga a Convenção sobre Diversidade Biológica, assinada no Rio de Janeiro, em 05 de junho de 1992. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2519.htm. Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2000. **Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000.** Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm. Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2006. **Lei n. 11.428, de 22 de dezembro de 2006.** Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/Lei/L11428.htm. Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2011. **Lei Complementar n. 140, de 08 de dezembro de 2011.** Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp140.htm. Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2015. **Decreto n. 8.437, de 22 de abril de 2015.** Regulamenta o disposto no art. 7º, caput, inciso XIV, alínea “h”, e parágrafo único, da Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011, para estabelecer as tipologias de empreendimentos e atividades cujo licenciamento ambiental será de competência da União. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/decreto/d8437.htm. Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2019. **Decreto n. 10.088, de 05 de novembro de 2019.** Consolida atos normativos editados pelo Poder Executivo Federal que dispõem sobre a promulgação de convenções e recomendações da Organização Internacional do Trabalho – OIT ratificadas pela República Federativa do Brasil. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.088-de-5-de-novembro-de-2019-231356812>. Acesso em: setembro de 2024.

_____. Câmara dos Deputados. 2020. **Projeto de Lei n. 191, de 2020.** Regulamenta o § 1º do art. 176 e o § 3º do art. 231 da Constituição para estabelecer as condições específicas para a realização da pesquisa e da lavra de recursos minerais e hidrocarbonetos e para o aproveitamento de recursos hídricos para geração de energia elétrica em terras indígenas e institui a indenização pela restrição do usufruto de terras indígenas. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2236765>. Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2021a. **Lei n. 14.119, de 13 de janeiro de 2021.** Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais; e altera as Leis nºs 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973, para adequá-las à nova política. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.119-de-13-de-janeiro-de-2021-298899394> Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2021b. **Lei n. 14.182, de 12 de julho de 2021.** Dispõe sobre a desestatização da empresa Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobras); altera as Leis n. 5.899, de 5 de julho de 1973, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, 10.848, de 15 de março de 2004, 13.182, de 3 de novembro de 2015, 13.203, de 8 de dezembro de 2015, 14.118, de 13 de janeiro de 2021, 9.648, de 27 de maio de 1998, e 9.074, de 7 de julho de 1995; e revoga dispositivos da Lei n. 3.890-A, de 25 de abril de 1961. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.182-de-12-de-julho-de-2021-331549377>. Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2021c. **Projeto de Lei n. 2.148, de 2015.** Prevê a redução das alíquotas de tributos sobre a receita de venda dos produtos elaborados com redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE). Disponível em: <https://www.camara.leg.br/propostas-legislativas/1548579> . Acesso em: setembro de 2024.

CBI – Climate Bonds Initiative. 2021. **The Hydropower Criteria for the Climate Bonds Standard & Certification Scheme.** March 2021, v. 1.0. Disponível em: <https://www.climatebonds.net/files/files/Hydropower-Criteria-doc-March-2021-release3.pdf>. Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2024. **The Hydropower Criteria – Climate Bonds Standard.** Disponível em: <https://www.climatebonds.net/standard/hydropower>. Acesso em: setembro de 2024.

CEBDS – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. 2021. **Como as empresas vêm contribuindo para as Metas Globais de Biodiversidade?** Disponível em: cebds.org/como-as-empresas-brasileiras-vem-contribuindo-para-as-metas-globais-de-biodiversidade-ctbio-cop15-rev.pdf Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2022a. **Compromisso Empresarial Brasileiro para a Biodiversidade.** Disponível em: [Compromisso Empresarial Brasileiro para a Biodiversidade - CEBDS](https://cebds.org/compromisso-empresarial-brasileiro-para-a-biodiversidade-2022.pdf) Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2022b. **IBNBIO – Iniciativa Brasileira de Negócios e Biodiversidade – Projetos.** Disponível em: <https://cebds.org/ibnbio/projetos/page/10>. Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2024. **Plataforma Ação pela Natureza.** Disponível em: [Plataforma Ação pela Natureza - CEBDS](https://cebds.org/plataforma-acao-pela-natureza) Acesso em: setembro de 2024.

CIM - Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima. 2023. **Resolução n. 2, de 14 de setembro de 2023.** Dispõe sobre a instituição de Grupo Técnico de Natureza Temporária com o objetivo de elaborar proposta de atualização da Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC. Disponível em: [resoluon2de14dese-tembrode2023-resoluon2de14desetembrede2023-dou-imprensanacional.pdf \(www.gov.br\)](https://www.gov.br/_abre/2023-resoluon2de14desetembrede2023-dou-imprensanacional.pdf) Acesso em: setembro de 2024.

CNPE – Conselho Nacional de Política Energética. 2022a. **Resolução n. 2, de 07 de abril de 2022.** Institui Grupo de Trabalho - GT para elaboração do plano para viabilizar a recuperação dos reservatórios de regularização do País, ao longo de até 10 (dez) anos. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe/resolucoes-do-cnpe/2022/ResolucaoCNPE_2_2022.pdf. Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2022b. **Resolução n. 8, de 11 de julho de 2022.** Aprova o plano para viabilizar a recuperação dos reservatórios de regularização de usinas hidrelétricas do País, ao longo de até 10 (dez) anos. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/despacho-do-presidente-da-republica-421614426>. Acesso em: setembro de 2024.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. 2012. **Série Estudos do Meio Ambiente – Metodologia para Avaliação Socioambiental de Usinas Hidrelétricas** (Nota Técnica DEA 17/12). Rio de Janeiro. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-253/topicos-317/20121227_1\[1\].pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-253/topicos-317/20121227_1[1].pdf). Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2018. **Metodologia para Avaliação Processual de Usinas Hidrelétricas** (Nota Técnica EPE 027/2018). Disponível em: [PDE 2027 - Análise Processual de UHEs EPE 027-2018.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PDE_2027_Analise_Processual_de_UHEs_EPE_027-2018.pdf). Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2019. **Repotenciação e Modernização de Usinas Hidrelétricas, Ganhos de Eficiência, Energia e Capacidade Instalada** (Nota Técnica EPE-DEE-088/2019-r0). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/nota-tecnica-de-repotenciacao-e-modernizacao-de-usinas-hidreletricas-ganhos-de-eficiencia-energia-e-capacidade-instalada> Acesso em: julho de 2024.

_____. 2021. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030.** Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/PDE%202030_RevisaoPosCP_rv2.pdf. Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2022a. **BiodivEPE – Biodiversidade no Planejamento de Projetos de Energia.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/biodivepe-biodiversidade-no-planejamento-de-projetos-de-energia>. Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2023. **Fortalecimento da Resiliência do Setor Elétrico em Resposta às Mudanças Climáticas - Revisão Bibliográfica.** Nota Técnica. Disponível em: Fortalecimento da Resiliência do Setor Elétrico às Mudanças Climáticas (epe.gov.br). Acesso em: setembro de 2024.

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2022. **Plano de Redução de Impactos de Hidrelétricas sobre a Biodiversidade na Amazônia – PRIM-HA.** Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/planos-de-reducao-de-impacto/prim-hidreleticas-na-amazonia>. Acesso em: setembro de 2024.

IEA - International Energy Agency. 2021. **Electricity Security, Climate Resilience.** Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/62c056f7-deed-4e3a-9a1f-a3ca8cc83813/Climate_Resilience.pdf. Acesso em: setembro de 2024.

IFC – International Finance Corporation. 2012. **Padrão de Desempenho 6: Conservação da Biodiversidade e Gestão Sustentável de Recursos Naturais Vivos.** Disponível em: [2012-ifc-performance-standard-6-pt.pdf](https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/2a7a7a7a-1a7a-4a7a-8a7a-1a7a7a7a7a7a/2012-ifc-performance-standard-6-pt.pdf?__blob=publicationFile). Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2018. **Good Practice Note – Environmental, Health, and Safety Approaches for Hydropower Projects.** March 2018. Disponível em: [Good Practice Note: Environmental, Health, and Safety Approaches for Hydropower Projects \(ifc.org\)](https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/2a7a7a7a-1a7a-4a7a-8a7a-1a7a7a7a7a7a/2012-ifc-performance-standard-6-pt.pdf?__blob=publicationFile) Acesso em: setembro de 2024.

IHA – International Hydropower Association. 2021a. **How-to Guide: Hydropower Biodiversity and Invasive Species.** London: IHA. Disponível em: [https://assets-global.website-files.com/5f749e4b9399c80b5e421384/6080315956b417e3d26a34dc_Hydropower%2BHtG%2BBiodiversity%20\(2\).pdf](https://assets-global.website-files.com/5f749e4b9399c80b5e421384/6080315956b417e3d26a34dc_Hydropower%2BHtG%2BBiodiversity%20(2).pdf) Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2021b. **How-to Guide: Hydropower Environmental and Social Assessment and Management.** London: IHA. Disponível em: [64f9d0036cb97160cc27123b_Hydropower_HtG_E&S_268x190_030821.pdf](https://www.website-files.com/64f9d0036cb97160cc27123b_Hydropower_HtG_E&S_268x190_030821.pdf) (website-files.com). Acesso em: abril de 2024.

_____. 2021c. **Good Practice Guide: Hydropower and Protected Areas.** London: IHA. Disponível em: [64f9d0036cb97160cc2712ad_Hydropower_and_Protected_Areas_Guide-LR.pdf](https://www.website-files.com/64f9d0036cb97160cc2712ad_Hydropower_and_Protected_Areas_Guide-LR.pdf) (website-files.com). Acesso em: abril de 2024.

_____. 2021d. **How to guide: Hydropower and Indigenous Peoples.** London: IHA. Disponível em: [61c08ddeb547fd00d9879d31_How-to_Guide_-_Hydropower_and_Indigenous_Peoples.pdf](https://www.website-files.com/61c08ddeb547fd00d9879d31_How-to_Guide_-_Hydropower_and_Indigenous_Peoples.pdf) (website-files.com). Acesso em: setembro de 2024.

IPPC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 2021. **IPBES-IPCC Co-Sponsored Workshop on Biodiversity and Climate Change.** Disponível em: IPBES-IPCC Co-Sponsored Workshop on Biodiversity and Climate Change | IPBES secretariat. Acesso em: setembro de 2024.

ISA – Instituto Socioambiental. 2023. **Tribunais brasileiros e o direito à consulta prévia, livre e informada.** São Paulo: ISA: Centro de Pesquisa e Extensão em Direito Socioambiental (CEPEDIS). Disponível em: <https://acervo.socioambiental.org/acervo/publicacoes-isa/tribunais-brasileiros-e-o-direito-consulta-previa-livre-e-informada>. Acesso em: setembro de 2024.

MDR – Ministério do Desenvolvimento Regional. 2022. **PNRH – Plano Nacional de recursos Hídricos. Plano de Ação: Estratégia Nacional para o gerenciamento dos recursos hídricos 2022-2040.** Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/plano-nacional-de-recursos-hidricos-1/Plano%20de%20Acao%20e%20Anexo%20Normativo%20para%20apreciacao%20do%20CNRH/plano-de-acao_pnrvh2022_cnrh-versaofinal-22-03-21.pdf. Acesso em: setembro de 2024.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Gabinete da Ministra. 2015. **Portaria Interministerial n. 60, de 24 de março de 2015.** Estabelece procedimentos administrativos que disciplinam a atuação dos órgãos e entidades da administração pública federal em processos de licenciamento ambiental de competência do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=71&data=25/03/2015>. Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2024. **Plano Clima – Adaptação.** Disponível em: [Plano Clima - Adaptação — Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima \(www.gov.br\)](https://www.gov.br/planoclima/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/plano-nacional-de-recursos-hidricos-1/Plano%20de%20Acao%20e%20Anexo%20Normativo%20para%20apreciacao%20do%20CNRH/plano-de-acao_pnrvh2022_cnrh-versaofinal-22-03-21.pdf) Acesso em: setembro de 2024.

MME – Ministério de Minas e Energia. 2014. **Projeto BALCAR – Emissões de Gases de Efeito Estufa em Reservatórios de Centrais Hidrelétricas.** Rio de Janeiro, 2014.

TNFD - Taskforce on Nature-related Financial Disclosure. 2023. Draft sector guidance - Electric utilities and power generator. Disponível em: [Draft Sector-Guidance Electricutilities-and-power-generators_Dec_2023.pdf \(forestsandfinance.org\)](https://www.forestsandfinance.org/Draft_Sector-Guidance_Electricutilities-and-power-generators_Dec_2023.pdf) Acesso em: setembro de 2024.

WORLD Bank Group. 2018. **Good Practice Handbook: Environmental Flows for Hydropower Projects.** Disponível em: https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/sustainability-at-ifc/publications/publications_handbook_eflows. Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2021. **What You Need to Know About Green Loans.** Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2021/10/04/what-you-need-to-know-about-green-loans?qterm=test=green+bond>. Acesso em: setembro de 2024.

Pequenas Centrais Hidrelétricas e Centrais Geradoras Hidrelétricas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. 2024a. **Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico – SIGEL.** Disponível em: <https://sigel.aneel.gov.br/portal/home/>. Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2024b. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA.** Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNGE3NjVmYjAtNDFkZC00MDY4LTlINTItMTVkZTU4NWYzYzFmli-widCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSlmMiOjR9> Acesso em: junho de 2024.

_____. 2023. **Resolução Normativa n. 1059, de 07 de fevereiro de 2023.** Aprimora as regras para a conexão e o faturamento de centrais de microgeração e minigeração distribuída em sistemas de distribuição de energia elétrica, bem como as regras do Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Disponível em: www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.html <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: setembro de 2024.

BRASIL. 2006. **Lei n. 11.428, de 22 de dezembro de 2006.** Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato2004-2006/2006/Lei/L11428.htm. Acesso em: setembro de 2024.

CONSEMA/RS – Conselho Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul. 2018. **Resolução CONSEMA n. 388, de 08 de novembro de 2018.** Dispõe sobre os critérios e diretrizes gerais, bem como define os estudos ambientais e os procedimentos básicos a serem seguidos no âmbito do licenciamento ambiental de Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCHs, e Centrais Geradoras Hidrelétricas – CGHs. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=370212>. Acesso em: setembro de 2024.

INSTITUTO Totum. 2022. **O que é a Certificação I-REC?** Disponível em: <https://www.institutototum.com.br/index.php/servicos/273-i-rec?jji=1630510011605> Acesso em: 14 de setembro de 2022.

Termelétricas de Fontes Não Renováveis

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2019. **Manual de Usos Consuntivos de Água no Brasil.** Brasília, DF, 2019. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/ana_manual_de_usos_consuntivos_da_agua_no_brasil.pdf. Acesso em: dezembro de 2021.

_____. 2024. **Conjuntura Recursos Hídricos no Brasil 2023.** Disponível em <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjunturainforme2023.pdf>. Acesso em: abril de 2024

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. 2024. **Sistema de Informações da Geração da ANEEL – SIGA.** Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjIILWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSlmMiOjR9>. Acesso em: junho de 2024.

BRASIL. 2021a. **Lei n. 14.120, de 1º de março de 2021.** Altera a Lei n. 9.991, de 24 de julho de 2000, a Lei n. 5.655, de 20 de maio de 1971, a Lei n. 9.427, de 26 de dezembro de 1996, a Lei n. 10.438, de 26 de abril de 2002, a Lei n. 10.848, de 15 de março de 2004, a Lei n. 12.111, de 9 de dezembro de 2009, a Lei n. 12.783, de 11 de janeiro de 2013, a Lei n. 13.203, de 8 de dezembro de 2015, e o Decreto-Lei n. 1.383, de 26 de dezembro de 1974; transfere para a União as ações de titularidade da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) representativas do capital social da Indústrias Nucleares do Brasil S.A. (INB) e da Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A. (Nuclep); e dá outras providências. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.120-de-1-de-marco-de-2021-306116199>. Câmara dos Deputados.

_____. 2021b. **Lei n. 14.182, de 12 de julho de 2021.** Dispõe sobre a desestatização da empresa Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobras); altera as Leis n. 5.899, de 5 de julho de 1973, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, 10.848, de 15 de março de 2004, 13.182, de 3 de novembro de 2015, 13.203, de 8 de dezembro de 2015, 14.118, de 13 de janeiro de 2021, 9.648, de 27 de maio de 1998, e 9.074, de 7 de julho de 1995; e revoga dispositivos da Lei n. 3.890-A, de 25 de abril de 1961. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.182-de-12-de-julho-de-2021-331549377>.

_____. 2021c. **Projeto de Lei n. 2.148, de 2015.** Prevê a redução das alíquotas de tributos sobre a receita de venda dos produtos elaborados com redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE). Disponível em: <https://www.camara.leg.br/propostas-legislativas/1548579>. Acesso em: outubro de 2021.

_____. 2022a. Senado Federal. **Projeto de Lei nº 1.425, de 2022.** Disciplina a exploração da atividade de armazenamento permanente de dióxido de carbono de interesse público, em reservatórios geológicos ou temporários, e seu posterior reaproveitamento. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/153342>. Acesso em: outubro de 2022.

_____. **Projeto de Lei n. 4.516 de 2023.** Dispõe sobre a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono, o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação, o Programa Nacional de Diesel Verde e o marco legal da captura e da estocagem geológica de dióxido de carbono. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/propostas-legislativas/2388242> Acesso em: maio de 2024.

_____. 2023. **Resolução CNPE nº 1 de 2023.** Institui o Grupo de Trabalho do Programa Gás para Empregar para elaboração de estudos visando à promoção do melhor aproveitamento do gás natural produzido no Brasil. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/gas-para-empregar/legislacao/despacho-do-presidente-da-republica/despacho-do-presidente-da-republica-dou-imprensa-nacional.pdf> Acesso em: abril de 2024

_____. 2024. **Lei n. 14.993, de 09 de outubro de 2024.** Dispõe sobre a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono e a captura e a estocagem geológica de dióxido de carbono; institui o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), o Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV) e o Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano; altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999, 8.723, de 28 de outubro de 1993, e 13.033, de 24 de setembro de 2014; e revoga dispositivo da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Disponível em: [L14993 \(planalto.gov.br\)](https://planalto.gov.br/leis/14993.html). Acesso em: outubro de 2024.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2006. **Resolução CONAMA n. 382/2006, de 26 de dezembro de 2006.** Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>. Acesso em: dezembro de 2021

_____. 2011. **Resolução CONAMA n. 436/2011, de 26 de dezembro de 2011.** Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>. Acesso em: dezembro de 2021.

_____. 2018. **Resolução CONAMA n. 491/2018, de 19 de novembro de 2018.** Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>. Acesso em: dezembro de 2021.

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear. 2024. Perguntas Frequentes. **Brasil pretende construir um depósito definitivo de rejeitos? Por quê?** Disponível em <https://www.gov.br/cnen/pt-br/canais-de-aten-dimento/perguntas-frequentes#33>. Acesso em: setembro de 2024.

ELETRONUCLEAR. 2014. **Relatório Ambiental Simplificado: Unidade de Armazenamento Complementar de Combustível Irradiado (Unidade UFC) da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA).** Angra dos Reis, 2014. Disponível em: <https://www.eletronuclear.gov.br/Paginas/default.aspx>.

_____. 2015. **Estudo de Impacto Ambiental – EIA de Angra 3.** Disponível em: <https://www.eletronuclear.gov.br/Paginas/default.aspx>. Acesso em: janeiro de 2015.

Termelétricas Renováveis

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. 2024. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA.** Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjIILWJYmEtY-zdk%20NTQ1MTc1NjM2%20liwidCI6ljQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNz-BIMSIslmMiOjR9>. Acesso em: junho de 2024.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. 2017. **Fertilizantes Organominerais de Resíduos do Agronegócio: Avaliação do Potencial Econômico Brasileiro**. Indústria química. BNDES Setorial 45, p. 137-187. Disponível em: https://web.bnDES.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/11814/1/BS%2045%20Fertilizantes%20organominerais%20de%20res%C3%ADduos%20%5B...%5D_P_BD.pdf.

_____. 2021. **BIOGÁS: evolução recente e potencial de uma nova fronteira de energia renovável para o Brasil**. BNDES Set., Rio de Janeiro, v. 27, n. 53, p. 177-216, março de 2021. Disponível em: https://web.bnDES.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/20801/1/PR_Biogas_215276_P_BD.pdf. Acesso em: 14 de setembro de 2022.

BRASIL. 1999. **Lei n.º 9.795, de 27 de abril de 1999**. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9795.htm. Acesso em: 20 de julho de 2022.

_____. 2010. **Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 20 de julho de 2022.

_____. 2020. **Lei n.º 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei n.º 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei n.º 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei n.º 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei n.º 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei n.º 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei n.º 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 20 de julho de 2022.

_____. 2021. **Lei n.º 14.120, de 1º de março de 2021**. Altera a Lei n.º 9.991, de 24 de julho de 2000, a Lei n.º 5.655, de 20 de maio de 1971, a Lei n.º 9.427, de 26 de dezembro de 1996, a Lei n.º 10.438, de 26 de abril de 2002, a Lei n.º 10.848, de 15 de março de 2004, a Lei n.º 12.111, de 9 de dezembro de 2009, a Lei n.º 12.783, de 11 de janeiro de 2013, a Lei n.º 13.203, de 8 de dezembro de 2015, e o Decreto-Lei n.º 1.383, de 26 de dezembro de 1974; transfere para a União as ações de titularidade da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) representativas do capital social da Indústrias Nucleares do Brasil S.A. (INB) e da Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A. (Nuclep); e dá outras providências. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.120-de-1-de-marco-de-2021-306116199>. Acesso em: 19 de setembro de 2022.

_____. 2022b. **Decreto n.º 11.043, de 13 de abril de 2022**. Aprova o Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2022/decreto/D11043.htm. Acesso em: 19 de setembro de 2022.

_____. 2024. **Lei n.º 14.993, de 09 de outubro de 2024**. Dispõe sobre a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono e a captura e a estocagem geológica de dióxido de carbono; institui o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), o Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV) e o Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano; altera as Leis n.ºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999, 8.723, de 28 de outubro de 1993, e 13.033, de 24 de setembro de 2014; e revoga dispositivo da Lei n.º 10.438, de 26 de abril de 2002. Disponível em: l14993.planalto.gov.br. Acesso em: outubro de 2024.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. 2018a. **O Potencial do Biogás: Oportunidades e Desafios**. Fórum Sul Brasileiro de Biogás e Biometano, Mesa Redonda: Panorama Sul Americano do Biogás e Biometano,

Foz do Iguaçu/PR, 06 de junho de 2018. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/EPE_Jos%C3%A9%20Mauro_Potencial%20do%20Biog%C3%A1s_06jun.pdf. Acesso em: 14 de setembro de 2022.

_____. 2018b. **Potencial Energético de Resíduos Florestais do Manejo Sustentável e de Resíduos da Industrialização da Madeira** (Nota Técnica EPE-DEA-NT-17/2018-r0). Disponível em <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/estudo-potencial-energetico-de-residuos-florestais-do-manejo-sustentavel-e-de-residuos-da-industrializacao-da-madeira>. Acesso em: 14 de setembro de 2022.

_____. 2022. **Proposta de diretrizes para consideração de benefícios socioambientais no setor elétrico – Lei n. 14.120/2021**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/areas-de-atuacao/estudos-socioambientais/Documents/Proposta%20Diretrizes%20Lei%2014120_posconsulta%20publica%20MME_final_abril2022rev.pdf. Acesso em: 19 de setembro de 2022.

FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos. 2022. **Desenvolvimento da Cadeia do Biogás 15/22**. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/chamadas-publicas/chamadapublica/703>. Acesso em: 13 de setembro de 2022.

GEF Biogás Brasil - Fundo Global para o Meio Ambiente. 2024. Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira. Sobre o Projeto. Disponível em: [Sobre o Projeto - GEF Biogás Brasil \(gefbiogas.org.br\)](Sobre%20o%20Projeto%20-%20GEF%20Biog%C3%A1s%20Brasil%20(gefbiogas.org.br)). Acesso em: ago. 2024.

GLOBAL Methane Pledge. 2022. **Fast action on methane to keep a 1.5°C future within reach. About the Global Methane Pledge**. Disponível em: <https://www.globalmethanepledge.org/#about>. Acesso em: 21 de julho de 2022.

INSTITUTO Escolhas. 2020. **Biogás da Amazônia: energia para mover a bioeconomia**. Disponível em: <https://www.escolhas.org/wp-content/uploads/2020/12/Biog%C3%A1s-na-Amaz%C3%A9lia-energia-para-mover-a-bioeconomia.pdf>. Acesso em: 20 de julho de 2022.

INSTITUTO Totum. 2022. **O que é a Certificação I-REC?** Disponível em: <https://www.institutototum.com.br/index.php/servicos/273-i-rec?jij=1630510011605> Acesso em: 14 de setembro de 2022.

MCID - Ministério das Cidades. 2023. Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto. Disponível em: [https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snus/produtos-do-snus/diagnosticos/DIAGNOSTICO TEMATICO VISAO GERAL AE SNIS 2023.pdf](https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snus/produtos-do-snus/diagnosticos/DIAGNOSTICO%20TEMATICO%20VISA%20GERAL%20AE%20SNIS%202023.pdf). Acesso em: setembro de 2024.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2022. **Plano ABC – Agricultura de Baixa Emissão de Carbono**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustabilidade/plano-abc/plano-abc-agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono>. Acesso em: 19 de setembro de 2022.

MDR – Ministério de Desenvolvimento Regional. 2019. **PLANSAB – Plano Nacional de Saneamento Básico**. Documento em revisão submetido à apreciação dos Conselhos Nacionais de Saúde, Recursos Hídricos e Meio Ambiente. Secretaria Nacional de Saneamento, MDR. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/plansab/Versao%20Conselhos%20Resolucao%20Alta%20Capa%20Atualizada.pdf>. Acesso em: 21 de julho de 2022.

MMA – Ministério Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. 2022. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <https://portal-api.sinir.gov.br/wp-content/uploads/2022/07/Planares-B.pdf>. Acesso em: 19 de setembro de 2022.

_____. 2024. **Plano Clima**. Disponível em: [Plano Clima — Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima \(www.gov.br\)](https://www.gov.br/planoclima). Acesso em: 10 jun. 2024.

_____. 2024, b. Governo Federal assina contrato para execução de R\$ 10,4 bilhões pelo Fundo Clima. Disponível em: [Governo Federal assina contrato para execução de R\\$ 10,4 bilhões pelo Fundo Clima — Planalto \(www.gov.br\)](https://www.gov.br/planoclima). Acesso em: 10 jun. 2024.

Eólicas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2024. CEE-252 – **Comissão de Estudo Especial de Energia Eólica**. Relatório da Secretaria – 01.03.2024. 5 páginas.

ACTIONAID et al. 2024. **Salvaguardas Socioambientais para energia renovável**. Disponível em: https://nordestepotencia.org.br/wp-content/uploads/2024/02/Salvaguardas_Socioambientais_Renovaveis.pdf. Acesso em: maio de 2024.

AGUDELO, M. S.; MABEE T. J.; PALMER R.; ANDERSON R. 2021. **Post- construction bird and bat fatality monitoring studies at wind energy projects in Latin America: A summary and review**. Heliyon 7: e07251.

AGUIAR, L. 2022. **Aprimoramentos para o Licenciamento ambiental**. 14º Fórum Nacional Eólico. Transmitido ao vivo em 29 de junho de 2022. 1 vídeo (09h:14min.) Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=dkua19tql6E>. Acesso em: julho de 2024.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. 2024. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA**. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjIILWJYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSlmMiOjR9>. Acesso em: junho de 2024.

ARAÚJO, M. A. A. 2015. **O uso do território do Rio Grande do Norte pelo setor eólio-elétrico e suas implicações nos municípios de Galinhos, Guamaré e Macau**. In: XI Encontro Nacional da ANPEGE, Presidente Prudente, de 09 a 12 de outubro de 2015. 12 p. Disponível em: <http://www.enanpege.ggf.br/2015/anais/arquivos/24/677.pdf>.

ARAÚJO; R. D.; GORAYEB, A. 2023. **Percepção dos impactos socioambientais causados por geradores eólicos no estado do Piauí, Nordeste do Brasil**. Sustainability in Debate - Brasília, v. 14, n.3, p. 70-87.

AVISTEP, 2022. **The Avian Sensitivity Tool for Energy Planning**. Disponível em: <https://avistep.birdlife.org/#general> Acesso em: julho de 2024.

BAHIA. 2020. Secretaria de Desenvolvimento Econômico; Secretaria de Desenvolvimento Rural; Coordenação de Desenvolvimento Agrário; Procuradoria Geral do Estado da Bahia. **Instrução Normativa Conjunta SDE/SDR/CDA/PGE 01/2020, de 1º de julho de 2020**. Dispõe sobre os procedimentos de regularização fundiária em terras devolutas estaduais com potencial de geração de energia eólica. Disponível em: <http://www.cda.sdr.ba.gov.br/sites/default/files/2020-07/INSTRU%C3%87%C3%83O%20NORMA-TIVA%20-%20%C3%81REAS%20ENERGIA%20EOLICA.pdf>. Acesso em: setembro de 2022.

BARROS, M. A. S. 2019. **Interações entre morcegos e turbinas eólicas no Agreste do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 265 páginas.

BARROS, M. A. S.; BERNARD, E. **Licenciamento ambiental de parques eólicos no Brasil: qualidade das diretrizes estaduais para avaliação de impacto sobre morcegos**. Brazil WindPower 10, 2019, São Paulo. Artigos Trabalhos Técnicos. São Paulo: GWEC/Grupo Canalenergia/ABEEólica. 2019. P. 504-523. Disponível em: https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2019/07/ID-53-Barros-Bernard-2019-Licenciamiento-estadual_05.06.2019.pdf.

BASTOS, F. A. P. **Refletindo sobre a soberania alimentar das comunidades tradicionais de Fundo de Pasto**. Dissertação (Mestrado em Educação do Campo). Centro de Formação de Professores, Programa de Pós-Graduação em Educação do Campo, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Amargosa, 2017, 171 p.

BENNUN, L. et. Al. 2021. **Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development. Guidelines for project developers**. IUCN, Gland, Switzerland and The Biodiversity Consultancy, Cambridge, UK. Disponível em: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2021-004-En.pdf>. Acesso em: julho de 2024.

BENTO, D. 2023. **O papel do Cecav no licenciamento ambiental.** II Workshop Potiguar de Sustentabilidade Socioambiental e Energias Renováveis. Natal, junho de 2023.

BORGES, B. **Estimativas dos impactos dinâmicos do setor eólico sobre a economia brasileira.** Trabalho preparado para a ABEEólica. Fevereiro de 2022. Disponível em: https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2022/02/Estudo-Braulio_final.pdf. Acesso em: julho de 2024.

BRANNSTROM, C.; GORAYEB, A.; MENDES, J.S.; LOUREIRO, C.; MEIRELES, A.J.A.; SILVA, E.; FREITAS, A.L.R.; OLIVEIRA, R.F. **Is Brazilian windpower development sustainable? Insights from a review of conflicts in Ceará state.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 67, 2017, p. 62-71. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116304804>. Acesso em: julho de 2024.

BRANNSTROM, C.; LEITE, N. S.; LAVOIE, A.; GORAYEB, A. **What explains the community acceptance of wind energy? Exploring benefits and livelihoods in coastal Brazil.** Energy Research & Social Science 83 (2022): 102344. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629621004357>.

BRASIL. 2010. **Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm.

_____. 2023. **Portaria SG/PR n. 165, de 8 de setembro de 2023.** Institui Mesa de Diálogo "Energia Renovável: direitos e impactos". DOU de 11 de setembro de 2023 – Edição 173 – Seção 1 – Página 1. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-sg/pr-n-165-de-8-de-setembro-de-2023-508617478>

_____. 2023. **Resolução CIM nº 4, de 14 de setembro de 2023.** Dispõe sobre a instituição de Grupo Técnico de Natureza Temporária com o objetivo de elaborar proposta de regulamentação e implementação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões – SBCE. DOU de 26/10/2023 – Edição 204 - Seção 1 - Página 23. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-n-4-de-14-de-setembro-de-2023-519092856>

_____. 2024a. **Decreto n. 12.106 de 10 de julho de 2024.** Regulamenta o incentivo fiscal à cadeia produtiva da reciclagem estabelecido na Lei nº 14.260, de 8 de dezembro de 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-12.106-de-10-de-julho-de-2024-571436965> Acesso em: julho de 2024.

_____. 2024b. **Tramitação do Projeto de Lei nº 576, de 2021.** Disciplina o aproveitamento de potencial energético offshore. Disponível em: https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/163024#tramitacao_10698620 Acesso em: maio de 2024.

CBC - CENTRO BRASIL NO CLIMA; Fundo Casa Socioambiental; GAMBÁ - Grupo Ambientalista da Bahia e Instituto Climainfo. 2023. **Plano Nordeste Potência.** Disponível em: <https://nordestepotencia.org.br/> Acesso em: maio de 2024.

CEARÁ. 2024. **Diagnóstico participativo e cartografia social costeira do Ceará.** Governo do Estado do Ceará Secretaria do Meio Ambiente e Mudança do Clima – Sema. Fortaleza – CE, 2024. Disponível em: <https://www.sema.ce.gov.br/diagnostico-participativo-e-cartografia-social-costeira-do-ceara/> Acesso em: julho de 2024.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. 2023. **Oportunidades e desafios para geração eólica offshore no Brasil e a produção de hidrogênio de baixo carbono.** Confederação Nacional da Indústria. – Brasília: CNI, 2023. Disponível em: [id_243190_oportunidades_e_desafios_para_geracao_eolica_web.pdf \(portaldaindustria.com.br\)](https://www.daindustria.com.br/id_243190_oportunidades_e_desafios_para_geracao_eolica_web.pdf). Acesso em 16 de maio de 2024.

COGNITIO Consultoria; GIZ – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. 2020. **Criação de empregos no setor eólico brasileiro: Estimativas em curto, médio e longo prazo.** 2020. 198 p.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2014. **Resolução CONAMA n. 462, de 24 de julho de 2014.** Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica em superfície terrestre, altera o art. 1º da Resolução CONAMA n.

279, de 27 de julho de 2001, e dá outras providências. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=677.

CONSEMA/RS – Conselho Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul. **Resolução CONSEMA n. 433/2020, de 12 de novembro de 2020.** Dispõe sobre os procedimentos e critérios para a instalação e o licenciamento ambiental da atividade de geração de energia a partir de fonte eólica no Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/202011/26114116-433-2020-procedimentos-e-instalacao-e-o-licenciamento-ambiental-da-atividade-de-geracao-de-energia-a-partir-de-fonte-eolica.pdf>. Acesso em: julho de 2024.

CONSERVATION Evidence. 2024. **Actions to conserve biodiversity.** (termo buscado: “wind”) 34 Actions found. Disponível em: <https://www.conervationevidence.com/data/index?Terms=%22wind%22&yt0=&sort=relevance.desc#interventions>. Acesso em: julho de 2024.

DESHMUKH, S.; BHATTACHARYA, S.; JAIN, A.; PAUL, A. R. 2019. **Wind turbine noise and its mitigation techniques: a review.** Energy Procedia 160: 633-640.

DNV Energy Systems; The World Bank Group. 2024. **Scenarios For Brazil Offshore Wind Development. Task 2 - Scenarios Report Draft.** Rio de Janeiro, 254pp.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. 2020. **Roadmap Eólica Offshore Brasil** (Nota Técnica NT-EPE-PR-001/2020-r2). Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-456/Roadmap_Eolica_Offshore_EPE_ver-sao_R2.pdf. Acesso em: maio de 2024.

_____. 2021. **Empreendimentos eólicos ao fim da vida útil: Situação Atual e Alternativas Futuras** (Nota Técnica EPE-DEE-NT-012/2021-r0). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-563/NT-EPE-DEE-012-2021.pdf>. Acesso em: julho de 2024.

_____. 2024a. **Dashboard Boletim da Energia Eólica.** Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/boletimeol/#section-compara%C3%A7%C3%A3o-entre-regi%C3%B5es>. Acesso em: maio de 2024.

_____. 2024b. **Balanço Energético Nacional. Relatório Síntese 2024 – Ano base 2023.** Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN_S%C3%ADntese_2024_PT.pdf Acesso em: junho de 2024.

ESPÉCIE, M. A.; SALIBA, A. S.; MATTOS, A. D. M.; COELHO; C. M.; ALMEIDA, E. M.; SODRÉ, F.N.G.A.S.; MORAES, J. B.; DURÃO, J. V.; PINHEIRO, M. R. C.; MATOS, R. O.; GUIMARÃES, R. V.; GOMES, V. S. M. **Avaliação de impacto ambiental em projetos eólicos no Brasil: uma análise a partir de estudos ambientais de empreendimentos vencedores nos leilões de energia.** In: 4º Congresso Brasileiro de Avaliação de Impacto, Fortaleza, 2018. 7 p. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/avaliacao-de-impacto-ambiental-em-projetos-eolicos-no-brasil-uma-analise-a-partir-de-estudos-ambientais-de-empreendimentos-vencedores-nos-leiloes-de-energia>.

ESTEVES, C. F. 2024. **Caatinga's roar: exploring the potential impact of wind farms in jaguars and pumas in Brazil.** In: WREN Webinar: Wind Energy and Terrestrial Mammals. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=LijAN2EmI4A> Acesso em: julho de 2024.

FALAVIGNA, T. J.; BARBOZA, L. C. A.; PETRY, M. V. **É Possível Prever o Risco de Colisão das Aves com as Turbinas Eólicas?** Brasil Windpower. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://www.abeeo-llica.org.br/wp-content/uploads/2017/07/E-Possivel-Prever-o-Risco-de-Colisao-das-Aves-com-as-Turbinas-Eolicas.docx>.

FARKATT, W. 2023. **Participação no Painel – Compensação ambiental e socioambiental: o que temos de novidade no cenário potiguar?** II Workshop Potiguar de Sustentabilidade Socioambiental e Energias Renováveis. Natal, junho de 2023.

FUNAI – Fundação Nacional do Índio. **Base Cartográfica Delimitação das Terras Indígenas do Brasil.** Brasília, 2022. Disponível em: <https://geoserver.funai.gov.br/geoserver/ows?service=wfs&version=2.0.0&request=GetCapabilities> Acesso em: fevereiro de 2024.

GANADE, G. 2023. **Avanços na restauração da caatinga: desafios e soluções.** Apresentação realizada no II Workshop Potiguar de Sustentabilidade Socioambiental e Energias Renováveis. Natal, junho de 2023.

GAJA Consultoria Ambiental; ABEEÓLICA - Associação Brasileira de Energia Eólica e Novas Tecnologias. 2024. **Guia de boas práticas socioambientais para o setor eólico.** Disponível em: <https://abeeolica.org.br/esg/> Acesso em: maio de 2024.

GAULD, J. G. et al. **Hotspots in the grid: Avian sensitivity and vulnerability to collision risk from energy infrastructure interactions in Europe and North Africa.** J Appl Ecol. 2022; 59: 1496–1512.

GARVIN, J. C.; SIMONIS, J. L.; TAYLOR, J. L. 2024. **Does size matter? Investigation of the effect of wind turbine size on bird and bat mortality.** Biological Conservation 291 (2024) 110474. Disponível em: <https://rewi.org/wp-content/uploads/2024/05/Investigation-of-the-effect-of-wind-turbine-size-on-bird-and-bat-mortality.pdf>. Acesso em: agosto de 2024.

GÊ, D. R. F.; CARVALHO, R. G.; SILVA; M. R. F. **Unidades de conservação e energia eólica no Rio Grande do Norte: o caso da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual Ponta do Tubarão.** In: GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C.; MEIRELES, A.J.A. (org.) Impactos socioambientais da implantação dos parques de energia eólica no Brasil, p. 251-263, 2019.

GO Associados. **Impactos socioeconômicos e ambientais da geração de energia eólica no Brasil.** São Paulo, julho de 2020. Disponível em: https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2022/04/ABEEolica_GO-Associados-V.-Final.pdf. Acesso em: julho de 2024.

GONÇALVES, S.; RODRIGUES, T. P.; CHAGAS, A. L. S. **The impact of wind power on the Brazilian labor market.** Renewable and Sustainable Energy Reviews 128 (2020): 109887. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1364032120301805?to-ken=E8D7A3561B8568AD4F5D74CDB230CE61365C397F38AEF87279D440BC717FC83C4CF0949EB1EF748CD02321BDED7F32FF&originRegion=us-east-1&originCreation=20221011202356>.

GORAYEB, A.; MENDES, J. S.; MEIRELES, A. J. A.; BRANNSTROM, C.; SILVA, E. S.; FREITAS, A. L. R. **Wind-energy development causes social impacts in coastal Ceará State, Brazil: the case of the Xavier Community.** Journal of Coastal Research, 75, p. 383-387, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/333520836_Wind-energy_Development_Causes_Social_Impacts_in_Coastal_Ceara_state_Brazil_The_Case_of_the_Xavier_Community.

GWEC – Global Wind Energy Council. 2024. **Global Wind Report.** Disponível em: <https://gwec.net/global-wind-report-2024/> Acesso em: maio de 2024.

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. 2019. **Adapting the energy sector to climate change.** IAEA 19-01258 | ISBN 978-92-0-100919-7. Disponível em: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1847_web.pdf Acesso em: julho de 2024.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis. **Mapas de projetos em licenciamento - Complexos Eólicos Offshore.** Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/laf/consultas/mapas-de-projetos-em-licenciamento-complexos-eolicos-offshore>. Acesso em: maio de 2024.

IBERDROLA Biodiversidad. 2020. **Relatório de BIODIVERSIDADE/2018-2019.** Disponível em: https://www.iberdrola.com/documents/20125/40552/Relatorio_BiodiversidadE_2018_2019.pdf/a70faea8-791a-b670-4cec-2a066b611435?t=1637324263775. Acesso em: julho de 2024.

_____. 2023. **Reciclagem das pás eólicas: um novo desafio para a energia eólica.** Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustabilidade/reciclagem-pas-eolicas>. Acesso em: maio de 2024.

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2022. **Relatório de áreas de concentração de aves migratórias no Brasil.** Cabedelo, PB: CEMAVE/ICMBio. 2022. 4ª edição. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/centros-de-pesquisa/aves-silvestres/noticias/cemave-publica-4a-edicao-do-relatorio-de-areas-de-concentracao-de-aves-migratorias-no-brasil> Acesso em: julho de 2024.

_____. 2023. **Cemave on.** Instagram, 09 de abril de 2023. @icmbio

_____. 2024. **Plano de Ação Nacional para Conservação das Aves da Caatinga.** – Matriz de Planejamento. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/pan/pan-aves-da-caatinga#:~:text=O%20Plano%20de%20A%C3%A7%C3%A3o%20Nacional,vig%C3%A1ncia%20entre%202012%20e%202016>. Acesso em: julho de 2024.

IDENTIFLIGHT. 2024. **The International Best Practice for Bird Detection and Collision Avoidance for Wind Farms.** Disponível em: <https://www.identiflight.com/#gsc.tab=0> Acesso em: julho de 2024.

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. 2022. **Base georreferenciada dos Projetos de Assentamento e Territórios Quilombolas.** Disponível em: https://certificacao.incri.gov.br/csv_shp/zip/%C3%81reas%20de%20Quilombolas.zip. Acesso: fevereiro de 2024.

INESC – Instituto de Estudos Socioeconômicos. 2023. **Relatório Técnico “Aspectos Jurídicos da Relação Contratual entre Empresas e Comunidades do Nordeste Brasileiro para a Geração de Energia Renovável: o caso da energia eólica.** Disponível em: [inesc-estudo-contratos-assentamentos-v3.pdf](https://www.inesc.pt/estudo-contratos-assentamentos-v3.pdf). Acesso: julho de 2024.

INSTITUTO Totum. 2021. **O que é a Certificação I-REC?** Disponível em: <https://www.institutototum.com.br/index.php/servicos/273-i-rec?jji=1630510011605> Acesso em: julho de 2024.

JONG, P.; BARRETO, T. B.; TANAJURA, C. A. S.; KOULOUKOUI, D.; OLIVEIRA-ESQUERRE, K. P.; KIPERSTOK, A.; TORRES, E. A. 2019. **Estimating the impact of climate change on wind and solar energy in Brazil using a South American regional climate model.** Renewable Energy 141: 390-401.

LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. **Estudo de Impacto Ambiental – EIA Complexo Eólio-Elétrico (CEE) Campos Gerais.** Curitiba. 2014.

LUCENA, J. 2023a. **Resíduo de Núcleo Estrutural de Pás Eólicas: do Aterro para a Reciclagem.** Brazil Windpower Papers, realizado em 17 de agosto de 2023.

_____. 2023b. **Mulheres na eólica: Relato de Experiência de um Projeto de Extensão Tecnológica entre o Instituto Federal de Pernambuco e Empresas do Setor Eólico Brasileiro.** Brazil Windpower Papers, realizado em 17 de agosto de 2023.

MADRUGA, M. 2023. **Participação no painel - Territórios e vozes: comunidades tradicionais na expansão dos empreendimentos em energias renováveis.** II Workshop Potiguar de Sustentabilidade Socioambiental e Energias Renováveis. Natal, junho de 2023.

MARINHA DO BRASIL. 2024. **Planejamento Espacial Marinho.** Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/secirm/psrm/pem>. Acesso em: junho de 2024.

MARQUES, A. T.; BATALHA H., RODRIGUES S., COSTA H., PEREIRA R. M. J., FONSECA C., MASCARENHAS M., BERNARDINO J. **Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies.** Biological Conservation, volume 179, november 2014, p. 40-52.

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. 2024. **PLANO CLIMA: MDIC começa a elaborar plano para descarbonizar setores industriais.** Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2024/maio/mdic-comeca-a-elaborar-plano-para-descarbonizar-setores-industriais> Acesso em: junho de 2024.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. 2023. **MMA organiza seminário para proteção e uso sustentável da costa.** Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/governo-retoma-iniciativa-para-protecao-e-uso-sustentavel-da-costa-marinha-brasileira> Acesso em: maio de 2024.

_____. 2024a. **Caatinga**. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/caatinga>. Acesso em: julho de 2024.

_____. 2024b. **Base cartográfica dos limites das Unidades de Conservação Federais**. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso em: fevereiro de 2024.

MME – Ministério de Minas e Energia. 2022a. **Proposta de Diretrizes para a Consideração de Benefícios Ambientais no Setor Elétrico – Lei n. 14.120/2021**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/meio-ambiente/beneficios-ambientais-lei-14-120-2021/consulta-publica#:~:text=%E2%80%8B0%20documento%20Proposta%20de,%2F2022%2C%20e%20respectivas%20respostas>. Acesso em: julho de 2024.

_____. 2024. **GT Eólicas Offshore**. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/dte/cgebc/gt-eolicas-offshore-1> Acesso em: julho de 2024.

NERI, M.; JAMELI, D.; BERNARD, E.; MELO, F. P. L. **Green versus green? Adverting potential conflicts between wind power generation and biodiversity conservation in Brazil**. Perspectives in Ecology and Conservation 17, 2019, p. 131–135.

OLIVEIRA, A. 2021. **Construção e implantação de parques eólicos – Dois A Engenharia**. In: 13º Fórum Nacional Eólico. 1 vídeo (10h:15mim.) Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=WEfcO1db7Bw>. Acesso em: julho de 2024.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. 2024. **Resultados da Operação - Boletins da Operação. Inserção Eólica**. Disponível em: <https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/boletim-geracao-eolica.aspx> Acesso em: maio de 2024.

OVERBECK, G. E.; VÉLEZ-MARTIN, E.; SCARANO, F. R.; LEWINSOHN, T. M.; FONSECA, C. R.; MEYER, S. T.; MULLER, S. C.; CEOTTO, P.; DADALT, L.; DURIGAN, G.; GANADE, G.; GOSSNER, M. M.; GUADAGNIN, D. L.; LORENZEN, K.; JACOBI, C. M.; WEISSER, W. W.; PILLAR, V. D. 2015. **Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems**. Diversity and Distributions, (Diversity Distrib.) (2015) 21, 1455–1460.

PEREIRA, M. J. R.; BARROS, M. A.S.; CHAVES, T. S.; RUI, A. M.; DOTTO, J. C.; BRAUN, A.; BARBOSA, J.; BERNARD, E.; AGUIAR, L. M. S.; KINDEL; A.; SANA, D. A. **Guidelines for consideration of bats in environmental impact assessment of wind farms in Brazil: a collaborative governance experience from Rio Grande do Sul state**. Oecologia Australis 21(3), p. 232-255, 2017. Disponível em: <https://revistas.ufri.br/index.php/oa/article/view/13817>. Acesso em: julho de 2024.

PERNAMBUCO, 2023. **Decreto Nº 55.863, de 28 de novembro de 2023**. Institui Grupo de Trabalho, de caráter consultivo, com o objetivo de subsidiar a elaboração de normativo estadual que estabeleça as diretrizes para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fontes eólica e solar, no Estado de Pernambuco. Disponível em: <https://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?id=75063>. Acesso em: maio de 2024.

RIO GRANDE DO NORTE. 2014. Prefeitura Municipal de São Miguel do Gostoso. **Lei Municipal n. 255, de 06 de maio de 2014**. Dispõe sobre as limitações ao uso do solo para fins de implantação de estruturas de altura própria maior que 50m e dá outras providências. Disponível em: <https://www.diariomunicipal.com.br/femurn/pesquisar>. Acesso em: julho de 2024.

RODRIGUEZ, S. **Considerations and concerns about wind turbine noise**. Brazil WindPower (Apresentação), São Paulo, 2019. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2019/07/ID-136-1551472256-Wind-Turbine-Noise-Rodriguez-Saab-BWP-2019.pdf>.

SANTOS, Neolinda Ribeiro. Equipamentos utilizados para detectar morcegos em parques eólicos no Brasil. Mensagem recebida por: norin@vestas.com em 03/11/2023.

SANTOS, W. A. A.; MILLER, F. S. **Impactos ambientais cumulativos associados as atividades eólio-elétricas no Semiárido Potiguar: um case prático**. In: I Congresso Nacional da Diversidade do Semiárido, Natal, 2018, 13 p. Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/50709>. Acesso em: julho de 2024.

SENAI ISI-ER. 2024. Instituto Senai de Inovação em Energias Renováveis. **ISI-ER detalha projeto de sítio de testes de energia eólica offshore no Rio Grande do Norte**. Disponível em:

<https://www.rn.senai.br/isi-er-detalha-projeto-de-sitio-de-testes-de-energia-eolica-offshore-no-rio-grande-norte/>. Acesso em: agosto de 2024.

SCHEIFELE, F.; Popp, D. 2024. **Not in my backyard? The local impact of wind and solar parks in Brazil**. NBER Working Paper Series. Working Paper 32274. National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA, USA, March 2024. Disponível em: https://www.nber.org/system/files/working_papers/w32274/w32274.pdf. Acesso em: maio de 2024.

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. 2024a. **EDP Renováveis, Vestas e Senai-RN abrem seleção para curso gratuito no setor de energia eólica**. Disponível em: <https://www.rn.senai.br/edp-renovaveis-vestas-e-senai-rn-abrem-selecao-para-curso-gratuito-no-setor-de-energia-eolica/>. Acesso em maio de 2024.

_____. 2024b. **Treinamento básico de segurança com certificação GWO**. Disponível em: <https://www.rn.senai.br/gwo/#1612962861567-ca805e61-0505>. Acesso em: maio 2024.

_____. 2024c. **Tecnologia em Energia Eólica**. Disponível em: <https://www.senai-ce.org.br/tecnologia-em-energia-eolica-30705>. Acesso em: maio 2024.

_____. 2024d. **Reparador de pás de aerogeradores**. Disponível em: <https://www2.senai-ce.org.br/cursos/6419/qualificacao-profissional/reparador-de-pas-de-aerogeradores>. Acesso em: maio 2024.

SIEFERT, C. A. C.; SANTOS, I. **Avaliação do impacto visual de parques eólicos na qualidade e estética da paisagem no entorno de áreas protegidas: estudo de caso do Parque Estadual do Guartelá, PR**. Revista RA'EGA, 38, p. 221-244, 2016. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/43250/30286>. Acesso em: julho de 2024.

SILVA, N. S. **Novos olhares para o litoral cearense: a produção de energia eólica e os impactos socioambientais decorrentes dos parques eólicos Volta do Rio (Acaraú) e Cajucoco (Itarema) – CE, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Centro de Ciências e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, 2014, 144 p. Disponível em: <https://siduece.uece.br/siduece/trabalhoAcademicoPublico.jsf?id=84148>. Acesso em: julho de 2024.

SIMAS, M.; PACCA, S. **Assessing employment in renewable energy technologies: A case study for wind power in Brazil**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 31, p. 83-90, 2014. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1364032113007958?token=4F8BF9A1B622365EBBD19FE4459374649869A8A144761F099529EF57FAC22C3312DC6AC7AFDC66BE110EB9A83D9B4571&originRegion=us-east-1&originCreation=20221013180401>.

SOARES, I. 2023. **Participação no Painel – Compensação ambiental e socioambiental: o que temos de novidade no cenário potiguar? II Workshop Potiguar de Sustentabilidade Socioambiental e Energias Renováveis**. Natal, junho de 2023.

STRIX. 2022. **Radar technology to prevent bird fatality**. Página inicial. Disponível em: <https://birdtrackradar.com/>. Acesso em: julho de 2024.

TEIXEIRA, L. P.; LUGHADHA, E. M.; SILVA, M. V. C.; MORO, M. F. 20221. **How much of the Caatinga is legally protected? An analysis of temporal and geographical coverage of protected areas in the Brazilian semiarid region**. Acta Botanica Brasilica - 35(3): 473-485.

TETHYS. Pacific Northwest National Laboratory – PNNL. **Working Together to Resolve Environmental Effects of Wind Energy – WREN**. 2022. Disponível em: <https://tethys.pnnl.gov/about-wren>. Acesso em: julho de 2024.

THAXTER, C. B.; GRAEME M. B.; CARR J.; BUTCHART S. H. M.; NEWBOLD T.; GREEN R. E.; TOBIAS J. A.; FODEN W. B.; O'BRIEN S.; PEARCE-HIGGINS J. W. **Bird and bat species' global vulnerability to collision mortality at wind farms revealed through a trait-based assessment**. Royal Society, 13 september 2017,

volume 284, issue 1862. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/epdf/10.1098/rspb.2017.0829>.

VESTAS. 2022. **Zero-waste turbines by 2040.** Disponível em: <https://www.vestas.com/en/media/blog/sustainability/Zero-waste-turbines-by-2040>. Acesso em: julho 2024.

VOIGT, C.; KAISER, K.; LOOK, S.; SCHARNWEBER, C.; SCHOLZ, C. 2022. **Wind turbines without curtailment produce large numbers of bat fatalities throughout their lifetime: A call against ignorance and neglect.** Global Ecology and Conservation, 37, September 2022, e02149. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989422001512>.

VOIGT, C.; BERNARD, E.; HUANG, J. C-C.; FRICK, W. F.; KERBIRIOU, C.; MACEWAN, K.; MATHEWS, F.; RODRÍGUEZ-DURÁN, A.; SCHOLZ, C.; WEBALA, P. W.; WELBERGEN, J.; WHITBY, M. 2024. **Toward solving the global green-green dilemma between wind energy production and bat conservation.** BioScience 74: 240–252.

VUICHARD, P.; BROUGHEL, A.; WÜSTENHAGEN, R.; TABI, A.; KNAUF, J. 2022. **Keep it local and bird-friendly: Exploring the social acceptance of wind energy in Switzerland, Estonia, and Ukraine.** Energy Research & Social Science 88 (2022) 102508. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629622000159?via%3Dihub> Acesso em: agosto de 2022.

WANDERLEY, I. **Participação no Painel: Educação ambiental pede a vez.** II Workshop Potiguar de Sustentabilidade Socioambiental e Energias Renováveis. Natal, junho de 2023.

WORLD BANK. 2024. **Integrated Environmental and Social Sensitivity Mapping - Guidance for Early Off-shore Wind Spatial Planning** (English). Washington, D.C.: World Bank Group. Disponível em: <http://documents.worldbank.org/curated/en/099060424173523666/P1700901ab099e04a1ad5e19ad8ccceea4a> Acesso em: julho de 2024.

Usinas Solares Fotovoltaicas

ALMEIDA, R. M.; SCHMITT R.; GRODSKY, S. M.; FLECKER A. S.; GOMES, C. P.; ZHAO, L.; LIU, H.; BARROS, N.; KELMAN, R.; MCINTYRE, P. B. 2022. **Floating solar power could help fight climate change — let's get it right.** Nature. Publicado em 07 de junho de 2022. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-022-01525-1>. Acesso em: julho de 2022.

ANA. 2024. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2024. Impacto da Mudança Climática nos Recursos Hídricos no Brasil. Brasília : ANA, 2024. Acesso em: abril de 2024. Disponível em: https://dados.snh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/31604c98-5bbe-4dc9-845d-998815607b33/attachments/Mudancas_Climaticas_25012024.pdf.

ANEEL. 2021. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2021. **Resolução Normativa ANEEL n. 954, de 30 de novembro de 2021.** Altera as Resoluções Normativas n. 77, de 18 de agosto de 2004, n. 247, de 21 de dezembro de 2006, n. 559, de 27 de junho de 2013, n. 583, de 22 de outubro de 2013, n. 666, de 23 de junho de 2015 e n. 876, de 10 de março de 2020, para estabelecer tratamento regulatório para a implantação de Central Geradora Híbrida (UGH) e centrais geradoras associadas. Disponível em: www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021954.html. Acesso em: julho de 2022.

_____. 2024. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA.** Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjIILWJIYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6ljQwZDZ-mOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSlmMiOjR9>. Acesso em: maio de 2024.

ATASU, A.; DURAN, S.; WASSENHOVE, L. N. V. **The Dark Side of Solar Power.** Harvard Business Review. Sustainable Business Practices. june 18, 2021. Disponível em: <https://hbr.org/2021/06/the-dark-side-of-solar-power>. Acesso em: agosto de 2021.

BENNUN, L., et al. 2021. **Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development. Guidelines for project developers.** Gland, Switzerland: IUCN and Cambridge, UK: The Biodiversity Consultancy. Disponível em: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2021-004-En.pdf>. Acesso em: agosto de 2022.

BRASIL. 2010. **Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 de agosto de 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: julho de 2020.

_____. **Lei nº 14.260, de 8 de dezembro de 2021.** Estabelece incentivos à indústria da reciclagem; e cria o Fundo de Apoio para Ações Voltadas à Reciclagem (Favorecicle) e Fundos de Investimentos para Projetos de Reciclagem (ProRecicle). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 de agosto de 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2021/lei/l14260.htm. Acesso em: julho de 2024.

_____. 2022. **Lei n. 14.300, de 06 de janeiro de 2022.** Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 de julho de 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>. Acesso em: agosto de 2022.

_____. Senado Federal. **Projeto de Lei nº 3.784, de 2023, de 08 de agosto de 2023.** Altera a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para obrigar os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de painéis solares fotovoltaicos a estruturar e implementar sistemas de logística reversa. Brasília: Senado Federal, 2023. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/158987#:~:text=Projeto%20de%20Lei%20n%C2%B0203784%2C%20de%202023&text=A-teria%20a%20Lei%20n%C2%BA2012.305,implementar%20sistemas%20de%20log%C3%ADstica%20re-versa>. Acesso em: julho de 2024.

_____. 2024. **Decreto nº 12.106, de 10 de julho de 2024.** Regulamenta o incentivo fiscal à cadeia produtiva da reciclagem estabelecido na Lei nº 14.260, de 8 de dezembro de 2021. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 de julho de 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2023-2026/2024/decreto/d12106.htm. Acesso em juhlo de 2024.

_____. 2024. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Plano de Ação Brasileiro de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca.** Disponível em: <https://www.pabbrasil.ufrpe.br/>. Acesso em junho de 2024.

CGEE – CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil. Brasília, DF: 2016. 252p. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10195/11009696/DesertificacaoWeb.pdf>. Acesso em: julho de 2024.

CHITEKA, K.; ARORA, R.; SRIDHARA, S. N.; ENWEREMADU, C. C. **A novel approach to Solar PV cleaning frequency optimization for soiling mitigation.** Scientific African, n. 8, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227620301976?via%3Dihub>. Acesso em: julho de 2020.

CONSTANTINO, G.; FREITAS, M.; FIDELIS, N.; PEREIRA, M. G. 2018. **Adoption of Photovoltaic Systems Along a Sure Path: A Life-Cycle Assessment (LCA) Study Applied to the Analysis of GHG Emission Impacts.** Energies, v. 11, n. 10, p. 2806, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/11/10/2806/htm>.

EC – European Commission. Environment. **Waste from Electrical and Electronic Equipment (WEEE).** 2020. Disponível em: <https://ec.europa.eu/environment/waste/weee/>. Acesso em: junho de 2020.

ELETROBRAS – CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A; EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Levantamento da legislação para licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica**

por fonte solar (Nota Técnica Conjunta Eletrobras/EPE). 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-598/NT%20Conjunta%20Eletrobras%20EPE%20Licenciamento%20UFV%20ver2022.pdf>. Acesso em: julho de 2022.

EPE. 2019. Empresa de Pesquisa Energética. **Usinas híbridas no contexto do planejamento energético** (Nota Técnica EPE-DEE-NT-029/2019-r0). 2019. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-386/EPE_DEE_NT_029_2019_r0_%20Usinas%20h%C3%ADbridas.pdf. Acesso em: setembro de 2021.

_____. 2020. **Solar Fotovoltaica Flutuante – Aspectos Tecnológicos e Ambientais relevantes ao Planejamento** (Nota Técnica EPE-DEE-NT-016/2020-r0). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-466/NT%20Solar%20Fotovoltaica%20Flutuante.pdf>. Acesso em: junho de 2020.

_____. 2024. Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional – BEN 2024. [Apresentação do Power-Point \(epe.gov.br\)](#). Acesso em: junho de 2024.

FERREIRA, R. A.; DE SOUZA, S. R.; DE MORAES; A. M.; LIRA, M. A. T.; GIRÃO, A. L. A. **Desmatamento inerente à instalação de usinas solares fotovoltaicas centralizadas no estado do Ceará. Rio Grande do Norte. 2024.** X Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2024, Rio Grande do Norte.

FUNDAJ – Fundação Joaquim Nabuco. Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Caatinga. **Caatinga: um dos biomas menos protegidos do Brasil.** Disponível em: <https://www.gov.br/fundaj/pt-br/destaques/observa-fundaj-itens/observa-fundaj/padrao-racial-de-ovinos-raca-lacaune/conselho-nacional-da-reserva-da-biosfera-da-caatinga>. Acesso em: agosto de 2020.

GIZ – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. **A mão de obra na cadeia produtiva do setor solar brasileiro.** Brasil. 2021. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/wp-content/uploads/2021/12/Estudo-Cadeia-Produtiva-Solar.pdf>.

GOE, M.; GAUSTAD, G. **Estimating direct climate impacts of end-of-life solar photovoltaic recovery.** Solar Energy Materials and Solar Cells, v. 156, p. 27-36, November 2016.

GREENER. **Estudo Estratégico - Geração Distribuída - Mercado Fotovoltaico.** Março 2024. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-geracao-distribuida-2024/> Acesso em: junho 2024.

IBGE. 2024. **IBGE Cidades.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: julho de 2024.

IEMA. Sistemas Fotovoltaicos na Amazônia Legal: avaliação e proposição de políticas públicas de universalização de energia elétrica e logística reversa. Maio, 2023. Disponível em: [IEMA_UniversalizacaoAmazonia20230427.pdf \(energiaeambiente.org.br\)](https://www.energiaeambiente.org.br/IEMA_UniversalizacaoAmazonia20230427.pdf). Acesso em: agosto 2024.

IRENA – International Energy Agency. **End-of-life management: Solar Photovoltaic Panels.** 2016. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2016/Jun/End-of-life-management-Solar-Photovoltaic-Panels>. Acesso em: julho de 2020.

_____. **Future of solar PV – Energy Transformation Pathways and solar PV.** Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. 2019. Disponível em: https://www.irena.org-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_2019.pdf. Acesso em: agosto de 2020.

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomass – Coleção 3.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil.** Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: julho de 2019.

MATHUR, D.; GREGORY, R.; HOGAN, E. **Do solar energy waste systems have a mid-life crisis? Valorising renewables and ignoring waste in regional towns in Australia's Northern Territory.** Energy Research and Social Science, v. 76, n. 101934, June 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221462962100027X>. Acesso em: setembro de 2021.

NOBRE, P.; PEREIRA, E. B.; LACERDA, F. F.; BURSZTYN, M.; HADDAD, E. A.; LEY, D. **Solar smart grid as a path to economic inclusion and adaptation to climate change in the Brazilian Semiarid Northeast**. International Journal of Climate Change Strategies and Management, v. 11, n. 4, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-09-2018-0067>. Acesso em: julho de 2020.

PAB BRASIL. Plano de Ação Brasileiro de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca. Disponível em: <https://pabbrasil.ufrpe.br/>. Acesso em 16 de maio de 2024.

SALIM, H. K.; STEWART, R. A.; SAHIN, O.; DUDLEYD M. 2019a. **Drivers, barriers and enablers to end-of-life management of solar photovoltaic and battery energy storage systems: A systematic literature review**. Journal of Cleaner Production 211, 2019, p. 537-554. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0959652618336321?token=D9E0FC3BE-ABDE78290E4E9B04FBB6901E143227C16EAFCEE3358E35715D86A4337C26A17AB47F7A303CB3AC096313953&originRegion=us-east-1&originCreation=20220922190254>.

SARAVANAN, S. V.; DARVEKAR, S. K. **Solar Photovoltaic Panels Cleaning Methods A Review**. International Journal of Pure and Applied Mathematics, v. 118, n. 24, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/338990581_Solar_Photovoltaic_Panels_Cleaning_Methods_A_Review. Acesso em: julho de 2020.

SILVA, L. A. F.; CORDEIRO, B. S.; BARRETO, A. V.; DE ALMEIDA, E. M.; DURÃO, J. V.; BOTELHO, G. M. L. **Avaliação de Impacto Ambiental em projetos fotovoltaicos centralizados no Brasil: uma análise a partir dos estudos ambientais de empreendimentos vencedores nos Leilões de Energia**. In: XXV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-458/topico-665/GMA27%20-%204712.pdf>.

SILVA, V. O.; SANTOS, F. G.; DINIZ, I. N.; BAITELO, R. L.; FERREIRA, A. L. **Photovoltaic systems, costs, and electrical and electronic waste in the Legal Amazon: An evaluation of the Luz para Todos Program**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 203, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032124004477>. Acesso em julho de 2024.

UNITED STATES. 2022. U.S. Department of Energy. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. **Solar Energy Technologies Office Photovoltaics End-of-Life Action Plan**. Disponível em: https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-03/Solar-Energy-Technologies-Office-PV-End-of-Life-Action-Plan_0.pdf. Acesso em juhlo de 2024.

Transmissão de Energia Elétrica

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024. **7º Seminário do Sistema de Gestão Geoespecializada da Transmissão (GGT)**. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/seminario-debate-resultados-do-sistema-que-monitora-linhas-de-transmissao>. Acesso em: maio de 2024.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2018. **Revista do BNDES 50 – Edição especial FAT 30 Anos**. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/16781>. Acesso em: agosto de 2022.

BRASIL. **Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11428.htm. Acesso em: agosto de 2021.

_____. **Decreto nº 6.660, de 21 de novembro de 2008**. Regulamenta dispositivos da Lei no 11.428, de 22 de dezembro de 2006, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6660.htm. Acesso em: agosto de 2021.

_____. **Portaria Interministerial nº 60, de 24 de março de 2015**. Estabelece procedimentos administrativos que disciplinam a atuação dos órgãos e entidades da administração pública federal em processos de

licenciamento ambiental de competência do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/publicacoes-svs/malaria/portaria-interministerial-no-60-de-24-de-marco-de-2015.pdf/view>. Acesso em: agosto de 2022.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Avaliação dos Benefícios Econômicos da Antecipação da Interligação de Sistemas Isolados de Rondônia** (No. EPE-DEE-NT-012/2020-r0) - 2020a. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/NT-EPE-DEE-012-2020_Antecipa%C3%A7%C3%A3o%20interliga%C3%A7%C3%A3o%20Rond%C3%B4nia.pdf. Acesso em: julho de 2021.

_____. Empresa de Pesquisa Energética. **Avaliação dos Benefícios Econômicos da Antecipação da Interligação de Sistemas Isolados do Acre** (No. EPE-DEE-NT-021/2020-r0) - 2020b. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/NT-EPE-DEE-021-2020_Antecipa%C3%A7%C3%A3o%20interliga%C3%A7%C3%A3o%20Acre.pdf. Acesso em: julho de 2021.

_____. Empresa de Pesquisa Energética. **Avaliação dos Benefícios Econômicos da Antecipação da Interligação de Sistemas Isolados do Amazonas** (Nº. EPE-DEE-NT-001/2021-r0) – 2021a. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-577/NT-EPE-DEE-001-2021_Antecipa%C3%A7%C3%A3o%20interliga%C3%A7%C3%A3o%20AM.pdf. Acesso em: julho de 2021.

_____. Empresa de Pesquisa Energética. **Fernando de Noronha - Identificação das Alternativas de Suprimento - Avaliação de médio e longo prazo** (No. EPE-DEE-DEA-DPG-NT-001/2021-r0) - 2021b. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-638/NT-EPE-DEE-DEA-DPG-001-2021_Identifica%C3%A7%C3%A3o%20Potencial%20Noronha.pdf#search=%22Fernando%20de%20Noronha%22. Acesso em: setembro de 2022.

_____. Empresa de Pesquisa Energética. **Planejamento do Atendimento aos Sistemas Isolados Horizonte 2024/2028 - Ciclo 2023** (Nº. EPE-DEE-081/2023-r0) - 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-795/Planejamento%20dos%20Sistemas%20Isolados%20-%20Ciclo%202023.pdf>. Acesso em: junho de 2024.

EPE/ONS. Empresa de Pesquisa Energética/Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Nota Técnica EPE/ONS Metodologia para Avaliação e Recomendação de Dois Circuitos Simples em Vez de Um Circuito Duplo e Afastamento Entre Circuitos** (NT nº EPE-DEE-DEA-NT-029/2020-rev0/ONS NT 0034/2020) – 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-276/topicos-525/EPE-DEE-DEA-NT-029-2020-rev0.pdf>. Acesso em: agosto de 2022.

INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, 2024a. **Projetos de Assentamento**. Disponível em: <http://acervofundiario.incra.gov.br/acervo/acv.php>. Acesso em: junho de 2024.

_____. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, 2024b. **Terras Quilombolas**. Disponível em: <http://acervofundiario.incra.gov.br/acervo/acv.php>. Acesso em: junho de 2024.

FUNAI. Fundação Nacional do Índio. **Delimitação das Terras Indígenas do Brasil**, 2024. Disponível em: <http://www.funai.gov.br/index.php/shape> Acesso em: junho de 2024.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Unidades de Conservação do Brasil**, 2024. Disponível em: <https://cnuc.mma.gov.br/> Acesso em: junho de 2024.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro – março/2024**. Brasília, 2024. p. 41. Disponível em: < <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/secretaria-nacional-energia-eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-elettrico/2024>>. Acesso em: junho de 2024.

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico, 2024a. **Capacidade Instalada no SIN – 2024/2028**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>>. Acesso em: junho de 2024.

_____. Operador Nacional do Sistema Elétrico, 2022b. **Indicadores de desempenho do SIN – Número de perturbações ocorridas na Rede Básica**. Disponível em: <https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/qualidade-do-suprimento-paineis.aspx>. Acesso em: setembro de 2022.

Produção e Oferta de Petróleo, Gás Natural e Derivados

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2022. **Resolução ANP n. 906, de 18 de novembro de 2022**. Dispõe sobre as especificações do biometano oriundo de produtos e resíduos orgânicos agrossilvopastoris e comerciais destinado ao uso veicular e às instalações residenciais e comerciais a ser comercializado em todo o território nacional. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-906-2022-dispoe-sobre-as-especificacoes-do-biometano-oriundo-de-produtos-e-residuos-orgnicos-agrossilvopastoris-e-comerciais-destinado-ao-uso-veicular-e-as-instalacoes-residenciais-e-comerciais-a-ser-commercializado-em-todo-o-territorio-nacional?origin=instituicao>. Acesso em: julho de 2024.

_____. 2022. **Resolução ANP n. 886, de 29 de setembro de 2022**. Estabelece a especificação e as regras para aprovação do controle da qualidade do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais, a ser comercializado no território nacional. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-685-2017-estabelece-as-regras-para-aprovacao-do-controle-da-qualidade-e-a-especificacao-do-biometano-oriundo-de-aterros-sanitarios-e-de-estacoes-de-tratamento-de-esgoto-destinado-ao-uso-veicular-e-as-instalacoes-residenciais-industriais-e-comerciais-a-ser-commercializado-em-todo-o-territorio-nacional?origin=instituicao&q=685/2017>. Acesso em: julho de 2024.

_____. 2023a. **Banco de Dados de Exploração e Produção (BDEP)**. Disponível em: <https://www.geo.anp.gov.br/mapview>. Acesso em: dezembro de 2023.

_____. 2023b. **Painel Dinâmico de Emissões de Contratos de E&P em fase de produção**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-dinamicos-sobre-exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/painel-dinamico-de-emissoes> Acesso em: maio de 2024.

_____. 2023c. **Resolução ANP n. 918, de 10 de março de 2023**. Regulamenta o cumprimento da obrigação de investimentos decorrente da cláusula de pesquisa, desenvolvimento e inovação dos contratos para exploração e produção de petróleo e gás natural. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-anp-n-918-de-10-de-marco-de-2023-469732665>. Acesso em: agosto de 2024.

_____. 2024a. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2023**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-2023>. Acesso em: outubro de 2024.

_____. 2024b. **Descomissionamento de instalações**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/as-suntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional/descomissionamento-de-instalacoes>. Acesso em: outubro de 2024.

_____. 2024c. **Relatório sobre a implementação do marco regulatório de CCUS no país**. Superintendência de Tecnologia e Meio Ambiente – STM. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/canais-atendimento/imprensa/relatorioccusstm24.04.09.pdf>. Acesso em: outubro de 2024.

_____. 2024d. **Cláusula que determina investimentos em PD&I completa 25 anos**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/canais-atendimento/imprensa/noticias-comunicados/clausula-que-determina-investimentos-em-pd-i-completa-25-anos>. Acesso em: maio de 2024.

_____. 2024e. **Projetos de PD&I**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/pesquisa-de-desenvolvimento-e-inovacao/investimentos-em-pd-i/novo-projetos-de-pd-i>. Acesso em: maio de 2024.

BIODINÂMICA Engenharia e Meio Ambiente/PETROBRAS. **Relatório de Impacto Ambiental – RIMA do Gasoduto Japeri-Reduc**. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **Estudo de Impacto Ambiental – EIA do Gasoduto Caraguatatuba-Taubaté**. São Paulo, 2007.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. 2023. **A transição energética e o setor de petróleo e gás brasileiro**. Textos para discussão. Disponível em: https://web.bnDES.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/23625/3/PRFol_215988_TD156_Transi%C3%A7%C3%A3o%20energ%C3%A9tica_A.pdf. Acesso em: abril de 2024.

_____. 2024. **Apoiado pelo BNDES, planejamento espacial marinho brasileiro começa no Sul do país**. Disponível em: <https://agenciadenoticias.bnDES.gov.br/detalhe/noticia/Apoiado-pelo-BNDES-planejamento-espacial-marinho-brasileiro-comeca-no-Sul-do-pais/>. Acesso em: maio de 2024.

BRASIL. 1997. **Lei n. 9.478, de 06 de agosto de 1997**. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9478.htm. Acesso em: julho de 2024.

_____. 1998. **Decreto n. 2.705, 03 de agosto de 1998**. Define critérios para cálculo e cobrança das participações governamentais de que trata a Lei n. 9.478, de 6 de agosto de 1997, aplicáveis às atividades de exploração, desenvolvimento e produção de petróleo e gás natural, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2705.htm. Acesso em: julho de 2024.

_____. 2000. **Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 de julho de 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm.

_____. 2012. **Portaria Interministerial MME e MMA n. 198, de 05 de abril de 2012**. Institui a Avaliação Ambiental de Área Sedimentar – AAAS. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 de abril de 2012, p. 98-99. Disponível em: http://antigo.mme.gov.br/web/guest/acesso-a-informacao/legislacao/portarias-interministeriais/-/document_library_display/. Acesso em: julho de 2024.

_____. 2015. MINISTÉRIOS DO MEIO AMBIENTE, DA JUSTIÇA, DA CULTURA E DA SAÚDE. **Portaria Interministerial n. 60, de 24 de março de 2015**. Estabelece procedimentos administrativos que disciplinam a atuação da Funai, da Fundação Cultural Palmares, do Iphan e do Ministério da Saúde nos processos de licenciamento ambiental de competência do Ibama. Disponível em: [Portaria Interministerial n.º 60, de 24 de março de 2015 - Comissão Pró-Índio de São Paulo \(cpisp.org.br\)](http://www.ibama.gov.br/legislacao/Portaria-Interministerial-n-60-de-24-de-marco-de-2015-Comissao-Pro-Indio-de-Sao-Paulo-(cpisp.org.br).pdf). Acesso em: julho de 2024.

_____. 2024. **Decreto n. 12.153, de 26 de agosto de 2024**. Altera o Decreto nº 10.712, de 2 de junho de 2021, que regulamenta a Lei nº 14.134, de 8 de abril de 2021, que dispõe sobre as atividades relativas ao transporte de gás natural, de que trata o art. 177 da Constituição, e sobre as atividades de escoamento, tratamento, processamento, estocagem subterrânea, acondicionamento, liquefação, regaseificação e comercialização de gás natural. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/decreto/d12153.htm#:~:text=DECRETO%20N%C2%BA%2012.153%2C%20DE%202026,de%20que%20trata%20o%20art. Acesso em: outubro de 2024.

BRAZIL Energy Programme. 2020. Great Britain & Northern Ireland for Partnership; Adam Smith International; Carbon Limiting Technologies; Hubz; e Instituto 17. **Offshore Wind assessment, port infrastructure, transmission lines, contracts and value chain**. Final Report. November 2020.

CIRM – Comissão Interministerial para os Recursos do Mar. 2024. **INFOCIRM**. Disponível em: <https://portaldeperiodicos.marinha.mil.br/index.php/infocirm/issue/archive> Acesso em: maio de 2024.

CNPE – Conselho Nacional de Política Energética. 2017. **Resolução CNPE n. 17, de 08 de junho de 2017**. Estabelece a Política de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural, define suas diretrizes e orienta o planejamento e a realização de licitações, nos termos da Lei n. 9.478, de 6 de agosto de 1997, e da Lei n. 12.351, de 22 de dezembro de 2010, e dá outra providência. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/servicos/legislacao-da-anp/rl/cnpe/resolucao-cnpe-n17-2017.pdf>. Acesso em: maio de 2024.

_____. 2023. **Resolução CNPE nº 1 de 2023**. Institui o Grupo de Trabalho do Programa Gás para Empregar para elaboração de estudos visando à promoção do melhor aproveitamento do gás natural produzido no Brasil. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/gas-para-empregar/legislacao/despacho-do-presidente-da-republica/despacho-do-presidente-da-republica-dou-imprensa-nacional.pdf>. Acesso em: abril de 2024.

_____. 2024. **Resolução CNPE n. 8, de 26 de agosto de 2024**. Estabelece diretrizes para promoção da descarbonização das atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe/resolucoes-do-cnpe/2024/resol-8-in.pdf>. Acesso em: outubro de 2024.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2008. **Resolução CONAMA n. 398, de 11 de junho de 2008**. Dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional, originados em portos organizados, instalações portuárias, terminais, dutos, sondas terrestres, plataformas e suas instalações de apoio, refinarias, estaleiros, marinas, clubes náuticos e instalações similares, e orienta a sua elaboração. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>. Acesso em: julho de 2024.

_____. 2010. **Resolução CONAMA n. 428, de 17 de dezembro de 2010**. Dispõe, no âmbito do licenciamento ambiental, sobre a autorização do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 20 de dezembro de 2010. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>. Acesso em: julho de 2024.

_____. 2021. **Resolução CONAMA n. 501, de 21 de outubro de 2021**. Altera a Resolução n. 382/2006, que estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Diário Oficial da União, 22 de outubro de 2021, Seção 01, p. 67. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>. Acesso em: julho de 2021.

CONSÓRCIO PIATAM-COPPETEC; EPE – Empresa de Pesquisa Energética. 2020. **Estudo Ambiental de Área Sedimentar do Solimões**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/estudo-ambiental-de-area-sedimentar-do-solimoes>. Acesso em: maio de 2024.

ECOLOGY Brasil; ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis. 2020. **Estudo Ambiental de Área Sedimentar das bacias sedimentares marítimas de Sergipe/Alagoas e Jacuípe**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/estudo-ambiental-de-area-sedimentar-de-sergipe-alagoas-e-jacuipe>. Acesso em: maio de 2024.

ELETROBRAS. Centrais Elétricas Brasileiras. **Base cartográfica dos limites das Unidades de Conservação Estaduais e Municipais**. 2011.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. 2020. **Roadmap Eólica Offshore Brasil: Perspectivas e caminhos para a energia eólica marítima** (Nota Técnica NT-EPE-PR-001/2020-r2). Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-456/Roadmap_Eolica_Offshore_EPE_versao_R2.pdf.

_____. 2023. Factsheet “CAPTURA E ARMAZENAMENTO DE CARBONO: Um breve guia sobre uma das alternativas-chave para a transformação do setor de óleo e gás no Brasil. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-764/FS-EPE-DPG-SPG-01_2023-CCS_PT_BR_30ago23.pdf Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2024a. **Balanço Energético Nacional 2024**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>. Acesso em: outubro de 2024.

_____. 2024b. **Base georreferenciada das Unidades Produtivas da União (UPUs)**. Disponível em: <https://gisepeprd2.epe.gov.br/WebMapEPE/>. Acesso em: julho de 2024.

_____. 2024c. CAPTURA, ARMAZENAMENTO E UTILIZAÇÃO DE CARBONO NO BRASIL: Contribuições para a seleção de áreas de interesse. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-810/CCUS_2023_Caderno_RelatorioFinal_PT_2024.pdf Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2024d. Zoneamento Nacional de Recursos de Óleo e Gás 2021-2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/zoneamento-nacional-de-recursos-de-oleo-e-gas-2021-2023>. Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2024e. **O Papel do Setor de Petróleo e Gás Natural na Transição Energética**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/o-papel-do-setor-de-petroleo-e-gas-natural-na-transicao-energetica>. Acesso em maio de 2024.

_____. 2024f. **inova-e Brasil**. Painel de indicadores de investimentos em inovação em energia no Brasil. Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/inova-e/>. Acesso em: maio de 2024.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética; BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. 2021. **Nota Técnica: Apoio à restauração florestal no brasil pelas empresas de óleo e gás por meio de créditos de carbono**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-661/NT%20EPE-BNDES-Final.pdf>. Acesso em: maio de 2024.

FUNAI – Fundação Nacional do Índio. 2024. **Base Cartográfica Delimitação das Terras Indígenas do Brasil**. Disponível em: <https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas/geoprocessamento-e-mapas>. Acesso em: fevereiro de 2024.

GNA; CPEA. 2017. **Estudo de Impacto Ambiental – EIA Terminal de Regaseificação Gás Natural Açu**. 6732 p. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/eia-rima-2017/>. Acesso em: julho 2024.

GNA; ECOLOGY Brasil. 2020. **Estudo de Impacto Ambiental – EIA Unidade de Processamento de Gás Natural (UPGN) e Infraestrutura de Gasoduto (GASINF)**. 4830 p.

GNA; HABTEC Mott MacDonald. 2017. **Estudo de Impacto Ambiental – EIA Gasoduto dos Goytacazes (GASOG)**. 2060 p. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/eia-rima-2017>. Acesso em: julho de 2024.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Diretoria de Licenciamento Ambiental. Coordenação-Geral de Empreendimentos Marinhos e Costeiros. Coordenação de Exploração de Petróleo e Gás. 2018a. **Guia de Monitoramento da Biota Marinha em Pesquisas Sísmicas Marinhas**. Outubro de 2018. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/phocadownload/licenciamento/petroleo-e-gas/diretrizes/2018-11-01-ibama-guia-de-monitoramento-da-biota-marinha-outubro.pdf>. Acesso em: junho de 2018.

_____. 2018b. **Portaria n. 3.642, de 10 de dezembro de 2018**. Aprova o Plano Nacional de Prevenção, Controle e Monitoramento do Coral-sol (*Tubastraea coccinea* e *Tubastraea tagusensis*) no Brasil – Plano Coral-sol, estabelecendo seu objetivo geral, objetivos específicos, ações, prazo de execução, coordenação e monitoria. Diário Oficial da União, 11 de dezembro de 2018, edição 237, seção 1, p. 198. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=138818>. Acesso em: julho de 2024.

_____. 2020. **Consulta Pública sobre Matriz de Referência de Petróleo e Gás – Sísmica - 1ª Etapa**. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/notas/2121-consulta-publica-sobre-matriz-de-referencia-de-petroleo-e-gas-sismica-1-etapa>. Acesso em: maio de 2024.

_____. 2022. **Ibama abre Consulta Pública sobre o Guia de Avaliação de Impacto Ambiental: Relação Causal de Referência de Petróleo e Gás – Perfuração**. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/notas/2022/ibama-abre-consulta-publica-sobre-o-guia-de-avaliacao-de-impacto-ambiental-relacao-causal-de-referencia-de-petroleo-e-gas-perfuracao>. Acesso em: maio de 2024.

_____. 2023a. **Despacho nº 15786950/2023-Gabin**. Assunto: Licenciamento ambiental para atividade de Perfuração Marítima no Bloco FZA-M-59, Bacia da Foz do Amazonas. SEI nº 15786950.

_____. 2023b. **Guia de avaliação de impacto ambiental: Relação Causal de Referência de Petróleo e Gás – Produção**. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/notas/2023/ibama-abre-consulta-publica-sobre-o-guia-de-avaliacao-de-impacto-ambiental-relacao-causal-de-referencia-de-petroleo-e-gas-producao/20230504_Guia_de_AIA_Relacao_Causal_Petroleo_e_Gas_Producao.pdf. Acesso em: maio de 2024.

_____. 2023c. **Instrução Normativa n. 14, de 12 de maio de 2023**. Institui o Plano Macrorregional de Gestão de Impactos Sinérgicos das Atividades Marítimas de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural e dá outras providências. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-n-14-de-12-de-maio-de-2023-488490184>. Acesso em: agosto de 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2019. **Malha de Setores Censitários**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html?=&t=downloads>. Acesso em: novembro de 2023.

IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás. 2021. **Caderno de Boas Prática E&P – Diretrizes para Licenciamento Ambiental de Atividades de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural em Terra – REATE 2020**. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/personalizado/uploads/2021/12/reate-2020.pdf>. Acesso em: julho de 2024.

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2023. **Planos de Manejo de Unidades de Conservação Federais**. Disponível em: <https://dados.gov.br/dataset/planos-de-manejo-de-unidades-de-conservacao-federais>. Acesso em: dezembro de 2023.

IEA – International Energy Agency. 2023. **The Oil and Gas Industry in Net Zero Transitions**. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/f065ae5e-94ed-4fcb-8f17-8ceffde8bdd2/TheOilandGasIndustryinNetZeroTransitions.pdf>. Acesso em: maio de 2024.

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. 2024. **Base georreferenciada dos Projetos de Assentamento e Territórios Quilombolas.** Disponível em: https://certificacao.incri.gov.br/csv_shp/zip/%C3%81reas%20de%20Quilombolas.zip. Acesso: fevereiro de 2024.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Portaria n. 422, de 26 de outubro de 2011.** Dispõe sobre procedimentos para o licenciamento ambiental federal de atividades e empreendimentos de exploração e produção de petróleo e gás natural no ambiente marinho e em zona de transição terra-mar. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/PT0422-261011.PDF>. Acesso em: julho de 2024.

_____. 2023a. **Grupos de Trabalho de natureza Temporária – GTT.** Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/smc/dcol/cim/grupos-de-trabalho-gtt> Acesso em: julho de 2024.

_____. 2023b. **MMA organiza seminário para proteção e uso sustentável da costa.** Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/governo-retoma-iniciativa-para-protecao-e-uso-sustentavel-da-costa-marinha-brasileira> Acesso em: maio de 2024.

_____. 2024. **Base cartográfica dos limites das Unidades de Conservação Federais.** Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso em: fevereiro de 2024.

MME – Ministério de Minas e Energia. 2021. **Programa Nacional de Hidrogênio – Proposta de Diretrizes.** Julho de 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-apresenta-ao-cnpe-proposta-de-diretrizes-para-o-programa-nacional-do-hidrogenio-pnh2/HidrogenioRelatriodiretrizes.pdf>. Acesso em: maio de 2024

_____. 2024. **Consulta Pública nº 163 de 26/04/2024. Transição Energética Justa, Inclusiva e Equilibrada.** Consulta pública para receber sugestões sobre como a Indústria de Óleo e Gás Natural pode melhor contribuir na transição energética e quais políticas públicas podem promover uma transição energética justa, inclusiva e equilibrada. Disponível em: https://antigo.mme.gov.br/pt/web/guest/servicos/consultas-publicas?p_p_id=consultapublicamportlet_WAR_consultapublicamportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&consultapublicamportlet_WAR_consultapublicamportlet_view=detalharConsulta&resourcePrimKey=6272813&detalharConsulta=true&entryId=6272815 Acesso em: julho de 2024.

OGCI – Oil and Gas Climate Initiative. 2024. **OGCI's strategy and principles.** Disponível em: <https://www.ogci.com/about/strategy-and-principles>. Acesso em: maio de 2024.

PETROBRAS/PIATAM. 2008. **Estudo prévio de impacto ambiental para construção do gasoduto Ju-ruá/Urucu.** Disponível em: http://www.ipaam.am.gov.br/wp-content/uploads/2019/12/EIA_RIMA_Ju-rua-Urucu.pdf. Acesso em: julho de 2024.

PETROBRAS. 2024a. Plano estratégico 2024 – 2028+. Disponível em: <https://www.petrobras.com.br/quem-somos/estrategia>. Acesso em: abril de 2024.

_____. 2024b. **Petrobras, Findes e Governo do Espírito Santo assinam protocolo para Captura e Armazenamento de CO2 e produção de hidrogênio de baixo carbono.** Disponível em: <https://agencia.petrobras.com.br/w/negocio/petrobras-findes-e-governo-do-espirito-santo-assinam-protocolo-para-captura-e-armazenamento-de-co2-e-producao-de-hidrogenio-de-baixo-carbono>. Acesso em: outubro de 2024.

_____. 2024c. Relatório Anual da Fase I do Projeto de Educação Ambiental Rendas do Petróleo. Disponível em: <https://comunicabaciadesantos.petrobras.com.br/pea-rendas>. Acesso em: maio de 2024.

_____. 2024d. Iniciativas de conservação e reflorestamento criam um futuro melhor. Disponível em: <https://www.petrobras.com.br/sustentabilidade/iniciativas-de-reflorestamento> Acesso em: agosto de 2024.

PROOCEANO; LAPMAR/UFPA; LAMCE COPPE/UFRJ; NEMA. 2020. **Projeto Costa Norte: Desenvolvimento de Metodologia para o entendimento dos processos costeiros e definição de vulnerabilidade das Florestas de Mangue das bacias do Pará-Maranhão e Foz do Amazonas**. Disponível em: <http://www.projetocostanorte.eco.br/>. Acesso em: maio de 2024.

ROTA 4 Participações S.A./Mineral Engenharia e Meio Ambiente. 2019. **Relatório de Impacto Ambiental – RIMA do Sistema de Escoamento e Tratamento de Gás Natural do Polo Pré-sal da Bacia de Santos – Gasoduto Rota 4**. 155 p.

TCU – Tribunal de Contas da União. Secretaria-Geral de Controle Externo. Secretaria Extraordinária de Operações Especiais em Infraestrutura. 2019. **Relatório de Fiscalização. Objeto da fiscalização: Implantação da Refinaria Abreu e Lima, em Recife (PE)**. Disponível em: https://www.camara.leg.br/internet/comissao/index/mista/orca/orcamento/OR2020/Fiscobras2019/anexo/SINTETICO/Sint%C3%A9tico_2019_95.pdf. Acesso em: julho de 2024.

Etanol

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2021. **Atlas Irrigação – Uso da Água na Agricultura Irrigada**. 2ª edição, Brasília: ANA, 2021. Disponível em: <https://portal1.snhr.gov.br/ana/apps/storymaps/stories/a874e62f27544c6a986da1702a911c6b>. Acesso em: agosto de 2024.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2024a. **Anuário Estatístico 2024**. Disponível em <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-brasileiro-do-petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis-2024#Outras>. Acesso em: julho de 2024.

_____, 2024b. **Painel Dinâmico RenovaBio**. Disponível em: [certificados-aprovados-producao.xlsx\(live.com\)](certificados-aprovados-producao.xlsx(live.com)). Acesso em: junho de 2024.

BRASIL. 2017. **Lei n. 13.576, de 26 de dezembro de 2017**. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13576.htm. Acesso em: agosto de 2024.

_____. 2024. **Lei n. 14.993, de 09 de outubro de 2024**. Dispõe sobre a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono e a captura e a estocagem geológica de dióxido de carbono; institui o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), o Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV) e o Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano; altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999, 8.723, de 28 de outubro de 1993, e 13.033, de 24 de setembro de 2014; e revoga dispositivo da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Disponível em: [L14993\(planalto.gov.br\)](L14993(planalto.gov.br)). Acesso em: outubro de 2024.

CNPE – Conselho Nacional de Política Energética. 2021a. **Resolução n. 2, de 10 de fevereiro de 2021**. Estabelece orientações sobre pesquisa, desenvolvimento e inovação no setor de energia do país. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe/resolucoes-do-cnpe/arquivos/2021/resolucao-2-cnpe.pdf>. Acesso em: agosto de 2024.

_____. 2021b. **Resolução n. 7, de 20 de abril de 2021**. Institui o Programa Combustível do Futuro, cria o Comitê Técnico Combustível do Futuro e dá outras providências. Disponível em:

<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe/resolucoes-do-cnpe/resolucoes-2021/ResCNPE72021.pdf>. Acesso em: agosto de 2024.

CNI – Confederação Nacional da Indústria; UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar. 2014. **FNS – Gestão dos Recursos Hídricos na Agroindústria Canavieira**. Água Indústria e Sustentabilidade. Disponível em: <https://unica.com.br/wp-content/uploads/2019/06/Gestao-dos-Recursos-Hidricos.pdf>. Acesso em: julho de 2024.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. 2024a. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, safra 2023/2024, 3º levantamento**. Novembro de 2023, v. 11, n. 3. Disponível em: [Conab - Safra Brasileira de Cana-de-açúcar](#) Acesso em: julho de 2024.

_____. 2024b. **Série Histórica 2ª safra do Milho**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/910-Milho>. Acesso em: julho de 2024.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2009. **Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar**. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPS-2010/14408/1/Zon-Cana.pdf>. Acesso em: agosto de 2024.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2021. **Sistemas Diferenciais de Cultivo – Milho**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/sistemas-diferenciais-de-cultivo>. Acesso em: julho de 2024.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. 2024. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – Ano 2023**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/analise-de-conjuntura-dos-biocombustiveis>. Acesso em: setembro de 2024.

FERNANDES, M. G.; OLIVEIRA, A. H. 2023. **Contaminação do solo por vinhaça: uma revisão dos impactos causados pela fertirrigação**. Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales, São José dos Pinhais, v.16, n.7, p.5394-5400. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/1148/703>. Acesso em: julho de 2024.

MTE – Ministério do Trabalho e Emprego. 2024. **Relação Anual de Informações Sociais**. CNAE 2.0. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZmJmMDVhODctMTEwOS00YTVhLWJhNzItOWE3NmVIMEwMTUxliwidCI6IjNlYzkyOTY5LTvhNTEtNGYxOC04YWM5LWVmOThmYmFmYTk3OCJ9>. Acesso em: setembro de 2024.

ROSSETTO, R. 2019. **Evolução no uso da vinhaça**. Governo do Estado de São Paulo. Disponível em: http://www stab.org.br/vinhaça_2019/raffaella_rossetto_apta.pdf. Acesso em: agosto de 2021.

SÃO PAULO. Secretaria de Estado do Meio Ambiente; Secretaria de Estado de Agricultura e Abastecimento. Gabinete do Secretário. 2018. **Resolução Conjunta SMA/SAA 3, de 06 de abril de 2018**. Aprova o regulamento das Diretivas Técnicas do Protocolo Agroambiental “Etanol Mais Verde”. Diário Oficial Poder Executivo, seção I, São Paulo, 07 de abril de 2018, 128 (64), p. 328/329. Disponível em: https://smastr16.blob.core.windows.net/etanolverde/sites/28/2020/03/resolucao-conjunta-sma-saa-3_2018-regulamento-do-protocolo-etanol-mais-verde.pdf. Acesso em: agosto de 2024.

_____. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. 2008. **Resolução SMA 88, de 19 de dezembro de 2008**. Define as diretrizes técnicas para o licenciamento de empreendimentos do setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo. DOE, 26 de março de 2009, p. 34-35. Disponível em: https://licenciamento.ctesb.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/2008_Res_SMA_88.pdf. Acesso em: agosto de 2024.

_____. Secretaria de Estado de Agricultura e Abastecimento. 2023. **Protocolo Agroambiental Etanol Mais Verde – Resultados das Safras**. São Paulo, maio de 2023. Disponível em: https://smastr16.blob.core.windows.net/etanolverde/sites/28/2023/08/apresentacao-resultados-etanol-mais-verde-safra-2022_23.pdf. Acesso em: julho de 2024.

SEABRA, J. E. A. 2017. **Avaliação técnico-econômica de opções para o aproveitamento integral da biomassa de cana no Brasil**. Revista de Economia e Sociologia Rural, 55 (3), Jul-Sep 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/CGKwfM3km7Mx49H7Xd9btQj/>. Acesso em: julho de 2024.

SILVA, H. J. T., et al. 2020. **Aspectos técnicos e econômicos da produção de etanol de milho no Brasil.** Revista de Pesquisa Agropecuária, ano. XXIX - Nº 4, 2020. Disponível em: <https://seer.sede.em-brapa.br/index.php/RPA/article/view/1567>. Acesso em: julho de 2024.

Biodiesel

ABIOVE – Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. 2024. **Estatísticas mensais do complexo soja e projeções anuais.** Junho de 2024. Disponível em: <http://abiove.org.br/estatisticas/>. Acesso em: junho de 2024.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2022. **Certificados da Produção ou Importação Eficiente de Biocombustíveis Válidos.** Disponível em: [certificados-aprovados-produtoshttps://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio/certificados-producao-importacao-eficiente-biocombustiveis/validos.xlsx \(live.com\)](https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio/certificados-producao-importacao-eficiente-biocombustiveis/validos.xlsx). Acesso em: outubro de 2022.

_____. 2024a. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2024.** <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-brasileiro-do-petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis-2024>. Acesso em: agosto de 2024.

_____. 2024b. **Painel Dinâmico de Produtores de Biodiesel.** <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-e-mapa-dinamicos-de-produtores-de-combustiveis-e-derivados/painel-dinamico-de-produtores-de-biodiesel>. Acesso em: julho de 2024.

ATRIUM Forest Consulting; WWF-Brasil. 2022. **Viabilidade da Macaúba para produção de biocombustíveis.** Disponível em: https://wwfbr.awsassets.panda.org/downloads/resumoexecutivo_macauba_final_pt.pdf. Acesso em: julho de 2022.

BRASIL. 2017. **Lei n. 13.576, de 26 de dezembro de 2017.** Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13576.htm. Acesso em: julho de 2024.

Brasil. 2024. **Decreto n. 11.902, de 30 de janeiro de 2024.** Altera o Decreto nº 10.527, de 22 de outubro de 2020, que institui o Selo Biocombustível Social e dispõe sobre os coeficientes de redução das alíquotas da Contribuição para o Programa de Integração Social e para o Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público e da Contribuição Social para o Financiamento da Seguridade Social, incidentes na produção e na comercialização de biodiesel, e sobre os termos e as condições para a utilização das alíquotas diferenciadas. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/decreto/d11902.htm. Acesso em: setembro de 2024.

_____. 2024. **Lei n. 14.993, de 09 de outubro de 2024.** Dispõe sobre a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono e a captura e a estocagem geológica de dióxido de carbono; institui o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), o Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV) e o Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano; altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999, 8.723, de 28 de outubro de 1993, e 13.033, de 24 de setembro de 2014; e revoga dispositivo da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Disponível em: [L14993 \(planalto.gov.br\)](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/decreto/d14993.htm). Acesso em: outubro de 2024.

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – ESALQ/USP; ABIOVE – Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. 2022. **PIB, Emprego e Comércio Exterior nas Cadeias Agropecuárias – Cadeia da Soja e Biodiesel.** Piracicaba, São Paulo. Disponível em: https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_Abiove_Produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20biodiesel_Marco22.pdf. Acesso em: setembro de 2022.

CNPE – Conselho Nacional de Política Energética. 2020. **Resolução n. 14, de 09 de dezembro de 2020.** Estabelece as diretrizes para a comercialização de biodiesel em todo território nacional, e dá outras providências. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/arquivos/conselhos-e-comites/res-14-cnpe.pdf>. Acesso em: julho de 2024.

_____. 2021a. **Resolução n. 2, de 10 de fevereiro de 2021.** Estabelece orientações sobre pesquisa, desenvolvimento e inovação no setor de energia do país. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe/resolucoes-do-cnpe/arquivos/2021/resolucao-2-cnpe.pdf>.

Acesso em: julho de 2024.

_____. 2021b. **Resolução n. 7, de 20 de abril de 2021.** Institui o Programa Combustível do Futuro, cria o Comitê Técnico Combustível do Futuro e dá outras providências. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe/resolucoes-do-cnpe/resolucoes-2021/ResCNPE72021.pdf>. Acesso em: julho de 2024.

_____. 2023. **Resolução n. 3, de 20 de março de 2023.** Altera a Resolução CNPE nº 16, de 29 de outubro de 2018, que dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional, e dá outras providências. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe/resolucoes-do-cnpe/2023/ResCNPE32023.pdf>. Acesso em: maio de 2024.

_____. 2023. **Resolução n. 8, de 19 de dezembro de 2023.** Reduz o prazo para os aumentos dos teores de biodiesel, previstos pela Resolução CNPE nº 16, de 29 de outubro de 2018, alterada pela Resolução CNPE nº 3, de 20 de março de 2023, com base em estudos de oferta, demanda e impactos econômicos. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe/resolucoes-do-cnpe/2023/ResolucaoCNPE8Publicada.pdf>. Acesso em: maio de 2024.

MORAES, Danielle Rodrigues. 2022. **DIR-FCEV powered by different fuels – Part I: Well-to-wheel analysis for the Brazilian and Spanish contexts.** International Journal of Hydrogen Energy, Volume 47, Issue 38, Pages 17069-17081, ISSN 0360-3199. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319922013027>. Acesso em: julho de 2024.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2019. **Cientistas produzem compostos químicos de alto valor a partir de coproduto do biodiesel.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/44763112/cientistas-produzem-compostos-quimicos-de-alto-valor-a-partir-de-coproduto-do-biodiesel>. Acesso em: julho de 2020.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. 2024. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – Ano 2023.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/analise-de-conjuntura-dos-biocombustiveis>. Acesso em: setembro de 2024.

MDA – Ministério de Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar – Secretaria de Agricultura Familiar e Cooperativismo. 2024. **Relação das Empresas Produtoras de Biodiesel detentoras do Selo Biocombustível Social.** Disponível em: https://agromapa-my.sharepoint.com/:x/g/personal/eduardo_gois_mda_gov_br/EYj3Kirq7BplI-mKhPmK5FtkBQ2v8I7vbX3yhQRr7Ks6UdA?rtime=eukhVFzS3Eg&wdLOR=c880C6DA1-7749-4D72-A881-F70C27C108FF. Acesso em: agosto de 2024.

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações; GIZ – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. 2019. **Geração de Combustíveis Sintéticos de Aviação a partir da glicerina oriunda da produção de Biodiesel.** Instituto Senai de Inovação em Energias Renováveis – ISI/ER, julho de 2019. Disponível em: <https://ptx-hub.org/wp-content/uploads/2021/03/Combustiveis-Sinteticos-de-Aviacao-a-partir-da-glicerina.pdf>. Acesso em: julho de 2022.

MME – Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2022. **Renovabio.** Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/renovabio-1>. Acesso em: outubro de 2022.

MTE – Ministério do Trabalho e Previdência. 2022. **Relação Anual das Informações Sociais**. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYTJIODQ5MWYtYzgyMi00NDA3LWJjNjAtYjI2NTI1MzViYTdliwidCl6IjNlYzkyOTY5LTvhNTEtNGYxOC04YWM5LWVmOThmYmFmYTk3OCJ9>. Acesso em: setembro de 2022.

UBRABIO – União Brasileira de Biodiesel e Bioquerosene. 2020. **Projeto BioVida utiliza resíduo da produção de biodiesel para aumentar a produtividade das lavouras**. Comunicação Ubrabio. Disponível em: <https://ubrabio.com.br/2020/11/24/projeto-biovida-utiliza-residuo-da-producao-de-biodiesel-para-aumentar-a-produtividade-das-lavouras/>. Acesso em: agosto de 2021.

UCHÔA, I. M. A. 2015. **Combustíveis base diesel microemulsionados com glicerina: formulação e avaliação de desempenho**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/22386>. Acesso em: julho de 2024.