





NOTA TÉCNICA

ANÁLISE SOCIOAMBIENTAL DAS FONTES ENERGÉTICAS DO PDE 2036

NOVEMBRO DE 2026

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 Rennó Siniscalchi
Carolina M. H. de G. A. F. Braga
Clayton Borges da Silva
Cristiane Moutinho Coelho
Daniel Dias Loureiro
Fernando José Soares Barros
Gabriel de Almeida de Barros
Glauce Maria Lieggio Botelho
Guilherme de Paula Salgado
Gustavo Fernando Schmidt
Hermani de Moraes Vieira
Juliana Velloso Durão
Kátia Gisele Matosinho
Leonardo de Sousa Lopes
Leyla A. Ferreira da Silva
Luciana Álvares da Silva
Luciana Athanasio de Azevedo
Marcos Ribeiro Conde
Maria Fernanda B. Pinheiro
Mariana Lucas Barroso
Mariana R. de C. Pinheiro
Nicholas Bernardes Gjorup
Paula Cunha Coutinho
Robson de Oliveira Matos
Silvana Andreoli Espig
Valentine Jahnel
Verônica S. da M. Gomes

VALOR PÚBLICO

A EPE ELABORA ANÁLISES SOCIOAMBIENTAIS DAS FONTES ENERGÉTICAS PARA O PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA (PDE), CONTRIBUINDO ASSIM COM OS ESTUDOS DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO DE MÉDIO PRAZO. AS ANÁLISES SOCIOAMBIENTAIS ELABORADAS SERVEM 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 2036. PARA CADA UMA DAS FONTES ENERGÉTICAS SÃO ANALISADOS: AS INTERFERÊNCIAS SOCIOAMBIENTAIS RELEVANTES, AS MEDIDAS MITIGADORAS RELACIONADAS, OS DESAFIOS SOCIOAMBIENTAIS, AS INICIATIVAS EM ANDAMENTO PARA RESOLUÇÃO E AS OPORTUNIDADES SOCIOAMBIENTAIS VISLUMBRADAS COM A EXPANSÃO PLANEJADA. SÃO APRESENTADOS TAMBÉM INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS DA EXPANSÃO.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

GOVERNO DO BRASIL DO LADO DO POVO BRASILEIRO

Ministro de Estado
Alexandre Silveira de Oliveira

Secretário Executivo
Gustavo Cerqueira Ataíde

Secretário Nacional de Energia Elétrica
João Daniel de Andrade Cascalho

Secretário Nacional de Geologia, Mineração e Transformação Mineral Substituto
Anderson Barreto Arruda

Secretário Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
Renato Cabral Dias Dutra

Secretária Nacional de Transição Energética e Planejamento
Mariana de Assis Espécie

Composição dos cargos em 05 de outubro de 2026

epe 20+

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 Interino
Thiago Guilherme Ferreira Prado

Diretor de Gestão Corporativa
Carlos Eduardo Cabral Carvalho

http://www.epe.gov.br

Sumário

1 Introdução 5
2 Conceitos e Métodos 5
3 Subsídios socioambientais para a expansão decenal 8
3.1 Avaliação processual das usinas hidrelétricas 8
3.2 Análise da complexidade socioambiental das unidades produtivas de petróleo e gás natural 10
4 Análise socioambiental da oferta de energia elétrica 11
4.1 Hidrelétricas 11
4.2 Pequenas Centrais Hidrelétricas e Centrais Geradoras Hidrelétricas 27
4.3 Termelétricas de fontes não renováveis 33
4.4 Termelétricas renováveis 40
4.5 Eólicas 48
4.6 Usinas Fotovoltaicas 61
4.7 Transmissão de Energia Elétrica 75
4.8 Armazenamento de energia elétrica 86
5 Análise socioambiental da produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados 88
5.1 Produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados 88
6 Análise socioambiental da oferta de biocombustíveis 102
6.1 Etanol 102
6.2 Biodiesel 111
6.3 Biometano 119
7 Conclusão 126
8 Referências bibliográficas 128

Lista de Ilustrações

Figura 1 – Análise socioambiental das fontes energéticas para compor a análise socioambiental integrada 6
Figura 2 – Fluxograma com os prazos utilizados na avaliação processual 8
Figura 3 – Localização da expansão de usinas hidrelétricas no PDE 2036 12
Figura 4 – Localização da expansão de PCHs e CGHs no PDE 2036 28
Figura 5 – Localização da expansão termelétrica de fontes não renováveis no PDE 2036 34
Figura 6 – Localização da expansão termelétrica renovável no PDE 2036 41
Figura 7 – Localização da expansão eólica no PDE 2036 49
Figura 8 – Localização da expansão fotovoltaica no PDE 2036 63
Figura 9 - Linhas de transmissão planejadas no PDE 2036 e áreas legalmente protegidas 76
Figura 10 – Esquema de usina hidrelétrica reversível de ciclo fechado 87
Figura 11 – Ampliações de refinarias e Unidades Produtivas, UPGN e terminal planejados 91
Figura 12 – Localização das usinas de etanol planejadas no PDE 2036 104
Figura 13 – Localização das usinas de biodiesel planejadas no PDE 2036 112
Figura 14 – Localização das usinas de biometano planejadas no PDE 2036 120

Lista de Quadros

Quadro 1 – Conceitos utilizados na análise socioambiental das fontes energéticas 6
Quadro 2 – Temas socioambientais e as interferências socioambientais representadas 7
Quadro 3 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão hidrelétrica 15
Quadro 4 – Principais desafios e iniciativas socioambientais relacionados à expansão hidrelétrica 21
Quadro 5 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão hidrelétrica 24
Quadro 6 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão de PCHs e CGHs 29
Quadro 7 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão de PCHs e CGHs 30
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 36
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 54
Quadro 15 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão eólica 58
Quadro 16 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão eólica 60
Quadro 17 – Principal interferência, medidas mitigadoras e tema socioambiental da expansão fotovoltaica centralizada 66
Quadro 18 – Principais desafios e iniciativas socioambientais relacionados à expansão fotovoltaica centralizada 70

Quadro 19 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão fotovoltaica centralizada 72
Quadro 20 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão da transmissão 80
Quadro 21 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão da transmissão 82
Quadro 22 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionados à expansão da transmissão 85
Quadro 23 – Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão da produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados 94
Quadro 24 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão da produção e da oferta de petróleo, gás natural e derivados 98
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 desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão da oferta de etanol 108
Quadro 27 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão da oferta de etanol 109
Quadro 28 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão do biodiesel 116
Quadro 29 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão da oferta de biodiesel 118
Quadro 30 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão do biometano 122
Quadro 31– Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão da oferta de biometano 125
Quadro 32– Matriz síntese da análise socioambiental integrada do PDE 2036 127

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Avaliação processual de UHEs do PDE 2036 9
Tabela 2 – Síntese da análise socioambiental das usinas hidrelétricas do PDE 2036 15
Tabela 3 – Indicadores socioambientais da expansão hidrelétrica 26
Tabela 4 – Síntese da análise socioambiental das PCHs e CGHs do PDE 2036 29
Tabela 5 – Indicadores socioambientais da expansão de PCHs e CGHs 32
Tabela 6 – Síntese da análise socioambiental das usinas termelétricas de fontes não renováveis do PDE 2036 35
Tabela 7 - Indicadores socioambientais da expansão termelétrica de fontes não renováveis 39
Tabela 8 - UTEs renováveis contratadas (2027-2030) por tipo de combustível e potência 41
Tabela 9 - Síntese da análise socioambiental das usinas termelétricas renováveis do PDE 2036 42
Tabela 10 – Indicadores socioambientais da expansão termelétrica renovável 47
Tabela 11 - Síntese da análise socioambiental das usinas eólicas do PDE 2036 54
Tabela 12 – Indicadores socioambientais da expansão eólica 60
Tabela 13 – Síntese da análise socioambiental das usinas fotovoltaicas do PDE 2036 64
Tabela 14 – Indicadores socioambientais da expansão solar fotovoltaica 73
Tabela 15 - Extensão das linhas de transmissão planejadas por região 77
Tabela 16 - Extensão das linhas de transmissão planejadas em áreas com restrição socioambiental 78
Tabela 17 – Síntese da análise socioambiental das linhas de transmissão do PDE 2036 79
Tabela 18 – Indicadores socioambientais da expansão da transmissão de energia elétrica 85
Tabela 19 – Síntese da análise socioambiental da produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados no PDE 2036 94
Tabela 20 – Indicadores socioambientais da expansão da produção e da oferta de petróleo, gás natural e derivados 100

Tabela 21 – Síntese da análise socioambiental de etanol do PDE 2036 106
Tabela 22 – Indicadores socioambientais da expansão do etanol 110
Tabela 23 – Síntese da análise socioambiental do biodiesel do PDE 2036 113
Tabela 24 – Indicadores socioambientais da expansão do biodiesel 118
Tabela 25– Síntese da análise socioambiental do biometano do PDE 2036 121

1 Introdução

A presente Nota Técnica traz a formulação dos subsídios socioambientais para a definição da expansão decenal e a análise socioambiental de cada fonte energética prevista no PDE 2036.

Para a formulação dos subsídios à expansão decenal foram realizadas avaliações de usinas hidrelétricas e de unidades produtivas de petróleo e gás natural. Os resultados contribuem para a definição dos projetos que compõem a expansão decenal e constam no subitem "Subsídios socioambientais para a definição da expansão" do item "3.9 – Análise Socioambiental" do Relatório Síntese do PDE 2036.

A análise socioambiental das fontes energéticas (itens 4 a 6 desta nota técnica) considera as fontes indicadas na expansão do PDE 2036, a saber: hidrelétricas, PCHs, termelétricas renováveis e não renováveis, eólicas, usinas solares fotovoltaicas, transmissão, armazenamento de energia elétrica, petróleo, gás natural e derivados, etanol, biodiesel e biometano. A consolidação da análise das fontes apresentada nesta Nota está no subitem "Análise socioambiental integrada" do item "3.9 – Análise Socioambiental" do Relatório Síntese do PDE 2036. Os conteúdos relacionados a desafios e oportunidades das fontes energéticas também alimentaram os subitens "Desafios socioambientais estratégicos" e "Oportunidades socioambientais estratégicas" do item "3.9 – Análise Socioambiental" do Relatório Síntese do PDE 2036.

2 Conceitos e Métodos

A primeira etapa da análise socioambiental refere-se à elaboração dos **subsídios socioambientais para a definição da expansão,** cujo objetivo é contribuir para a definição da expansão energética que será apresentada no PDE 2036. Esta etapa contempla:

- a **avaliação processual das usinas hidrelétricas**, destinada à estimativa do possível ano de entrada em operação das UHEs candidatas à expansão decenal; e
- a **análise de complexidade socioambiental das unidades produtivas de petróleo e gás natural**, utilizada para ajustar as previsões de produção em função das características socioambientais da área em que a unidade está inserida.

As metodologias adotadas e os respectivos resultados são apresentados no Item 3 desta Nota Técnica.

A **análise socioambiental de cada fonte energética** prevista na expansão abrange a oferta de energia elétrica (hidrelétricas, PCHs e CGHs, termelétricas de fontes não renováveis, termelétricas renováveis, eólicas, usinas solares fotovoltaicas, assim como a transmissão e o armazenamento de energia elétrica[1]); e a produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados e de biocombustíveis (etanol, biodiesel e biometano). Para cada fonte são identificados:

- as principais interferências socioambientais, os *temas socioambientais* a elas relacionados e as medidas mitigadoras associadas;
- os principais desafios socioambientais e iniciativas relacionadas; e
- as oportunidades socioambientais e a conjuntura favorável à sua concretização.

Os aspectos acima são apresentados nesta Nota Técnica nos itens 4. Análise socioambiental da oferta de energia elétrica, 5. Análise socioambiental da produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados 6. Análise socioambiental da oferta de biocombustíveis.

[1] O armazenamento de energia elétrica figura pela primeira vez na análise socioambiental e, por isso, optou-se por uma abordagem inicial.

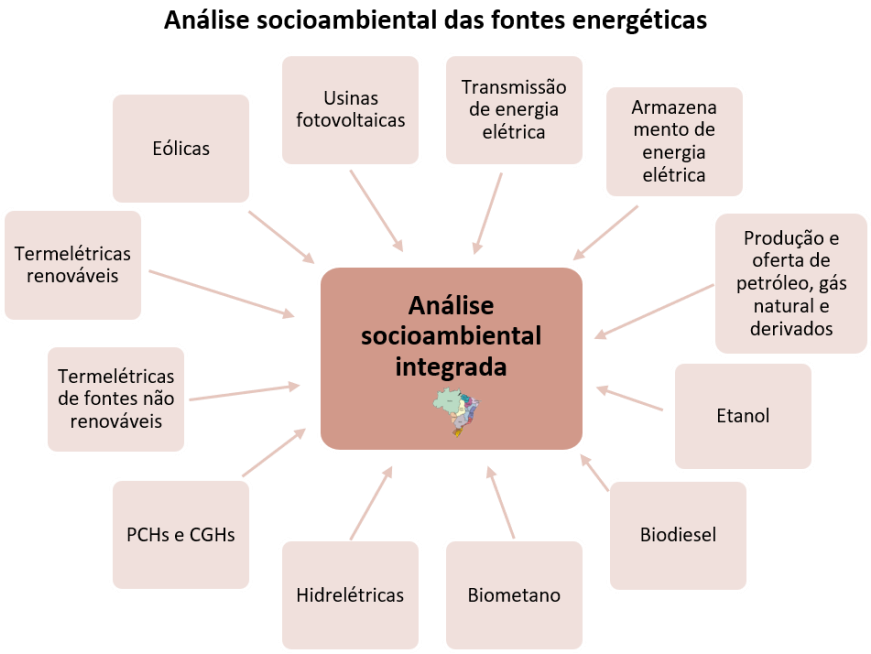


Figura 1 – Análise socioambiental das fontes energéticas para compor a análise socioambiental integrada

As análises das fontes energéticas têm como base um conjunto de conceitos e métodos, que são periodicamente revistos e aprimorados. 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 se compreender e acompanhar a evolução da fonte energética.

As interferências socioambientais associadas à expansão energética do PDE 2036 foram analisadas e sintetizadas por temas socioambientais, listados e definidos no Quadro 2.

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 de reassentamentos, 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 da gestão dos resíduos dos processos para geração de energia elétrica e produção de combustíveis.

Os conceitos e explicações apresentados nos Quadro 1 e Quadro 2 serviram como referência para a análise das fontes. Além disso, para assegurar maior padronização e comparabilidade, foi adotado o seguinte roteiro orientador para cada fonte energética:

- **Principais benefícios do uso da fonte**
- **Parque existente**
- **Expansão da fonte nos próximos 10 anos**
- **Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão da fonte**
- **Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à fonte**
- **Principais oportunidades socioambientais relacionadas à expansão da fonte e conjuntura favorável para aproveitá-las**
- **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 é feita a partir dos 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 apresenta, então, a lista de UHEs que podem entrar em operação no horizonte decenal e que serão disponibilizadas para simulação no Modelo de Decisão de Investimento (MDI)[2]. Após as simulações energéticas são definidas as UHEs que farão parte da expansão decenal no período indicativo, ou seja, de 2032 a 2036. As UHEs do período 2027-2031 já foram contratadas por meio de leilões de energia nova.

Para a avaliação processual são consideradas somente 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) e seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental (Rima). As informações sobre a situação dos projetos são obtidas em consulta às partes envolvidas, sejam Aneel, as empresas responsáveis pela elaboração dos estudos, os órgãos ambientais licenciadores ou outros 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, são contabilizados os prazos: i) para que o órgão ambiental emita o termo de referência (TR) para a elaboração do EIA/Rima e, quando necessário, a Funai emita o TR para elaboração do Estudo do Componente Indígena (ECI); ii) para que a empresa elabore o EIA/Rima, e quando necessário, o ECI; iii) para que a empresa elabore o EVTE; e iv) para a obtenção da licença prévia (LP). Já para a fase posterior ao leilão é considerado o tempo para construção da UHE.

Dependendo do projeto, foram ainda acrescentados prazos necessários para as tratativas relacionadas a interferências em unidades de conservação (UC) ou em terra indígena (TI) e atendimento a eventuais demandas judiciais, técnicas ou 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 2 apresenta o fluxograma e os prazos utilizados na avaliação processual (EPE, 2018).

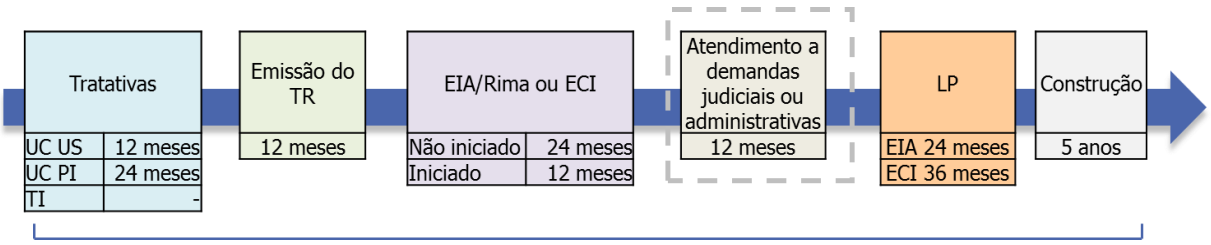


Figura 2 – Fluxograma com os prazos utilizados na avaliação processual

Em consulta realizada em janeiro de 2026, foram identificadas **17 UHEs** com potência superior a 50 MW e com registro para estudos de viabilidade na Aneel. Destas, sete não tiveram o prazo estimado para implantação por: i) estarem situadas em terras indígenas (1 UHE); ii) estarem situadas em unidades de conservação de proteção integral (3 UHEs); ou iii) terem o processo de licenciamento ambiental arquivado (3 UHEs).

[2] Modelo computacional desenvolvido pela EPE e utilizado no PDE.

Dentre os demais 10 projetos, considerando os critérios apresentados e a situação dos estudos de cada projeto, o resultado da avaliação indicou que **duas usinas hidrelétricas teriam a possibilidade de entrar em operação nos cinco últimos anos do horizonte decenal**. A Tabela 1 apresenta o resultado da avaliação processual para o PDE 2036.

Tabela 1 – Avaliação processual de UHEs do PDE 2036

UHE	Bacia Hidrográfica	UF	Pot. (MW)	Situação dos estudos	TR (meses)	EIA + ECI (meses)	Outras demandas (meses)	LP (meses)	Aval. Processual PDE 2036[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	**2035**
Bem Querer	Branco	RR	650	EVTE em revisão. EIA protocolado no Ibama e devolvido em razão da ausência do ECI. Funai sinalizou não ser possível realizar a apresentação do Plano de Trabalho do ECI às comunidades indígenas enquanto o Decreto n. 11.405/2023 estiver vigente. Sem previsão de início do ECI.	-	24		36	**2036**

[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, as duas UHEs com data de entrada em operação prevista para o horizonte decenal já tiveram o EIA/Rima entregues. 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-se, assim, o prazo de um ano para sua execução. Esse prazo contempla também os ajustes necessários no EIA e no EVTE. Somou-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 2035 como data mínima para entrada da UHE Telêmaco Borba em operação.

Já a UHE Bem Querer teve o EIA/Rima protocolado no Ibama, em 2024, e devolvido em razão da ausência do ECI. Ainda não há previsão de início do ECI, uma vez que a Funai sinalizou não ser possível apresentar o Plano de Trabalho do ECI às comunidades indígenas enquanto o Decreto n. 11.405/2023[3] estiver vigente. 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 2036 como data mínima para entrada em operação da UHE Bem Querer.

Posto isto, essas duas 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 das duas hidrelétricas indicativas: Telêmaco Borba (118 MW), em 2035, e Bem Querer (650 MW), em 2036, além de 822 MW de ações de modernização e repotenciação de usinas hidrelétricas existentes, a partir de 2032. Deve-se ressaltar que o modelo considerou também UHEs para a expansão contratada, já definida pelos leilões de energia: a UHE Estrela (48 MW), a UHE Foz do Prata (46 MW) e a ampliação de cinco UHEs existentes (2.916 MW).

[3] Dispõe sobre medidas para enfrentamento da Emergência em Saúde Pública de Importância Nacional e de combate ao garimpo ilegal no território Yanomami.

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 planejadas incluem projetos com status de blocos exploratórios (em avaliação ou não) e campos em fase de desenvolvimento (Recursos não Descobertos Contratados – RNDE e Recursos Contingentes – RC[4]). As Unidades Produtivas da União (UPUs) não possuem contratos de exploração assinados. Cabe ressaltar que, para este ciclo do PDE, foram consideradas as análises realizadas para o PDE 2035 (ver em Análise socioambiental das fontes energéticas do PDE 2035). O resultado indicou que 95 das 802 UPs contratadas foram consideradas de alta complexidade socioambiental. Para o PDE 2036, as análises de previsão de produção indicaram que 149 UPs contratadas iniciarão a produção no decênio (ver seção 3.4 Produção de Petróleo e Gás Natural do Relatório do PDE 2036).

[4] Para a descrição das diferentes categorias de recursos, ver Caderno de Previsão da Produção de Petróleo e Gás Natural deste PDE 2036.

4 Análise socioambiental da oferta de energia elétrica

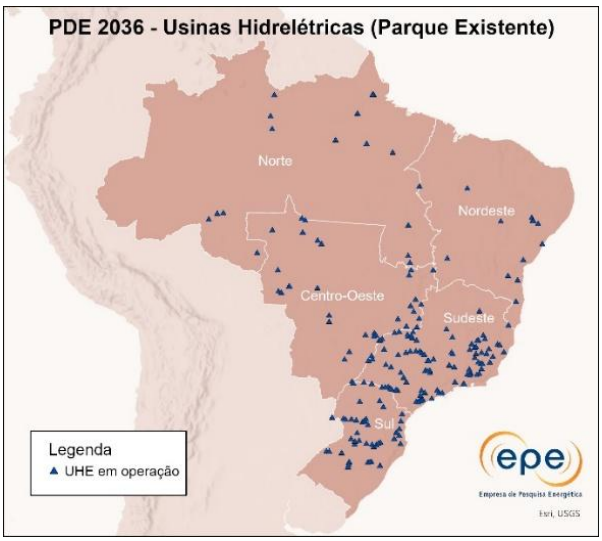
4.1 Hidrelétricas

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 fósseis (MME, 2014).
- Possuem **flexibilidade operativa**, já que são capazes de responder de forma rápida e eficaz às oscilações de tensão e frequência decorrentes de eventuais desbalanços entre oferta e demanda, ajudando a manter a estabilidade do sistema elétrico. Destacam-se também por sua eficiência para **atendimento em picos de demanda** e 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 dos 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, repotenciação e ampliação 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.
- **Ganhos de rendimento, capacidade instalada, vida útil e disponibilidade**, gerando benefícios.

Parque hidrelétrico atual

Atualmente, o parque hidrelétrico existente é composto por 220 usinas hidrelétricas (UHEs[5]) em operação, totalizando **103 GW de potência instalada** (Aneel, 2026). A maior parte das UHEs existentes está situada no Sul e Sudeste do Brasil, nas bacias do Paraná e Atlântico Sudeste. 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 cinco UHEs já foram repotenciadas no país, totalizando 3,8 GW.



[5] São consideradas como UHEs as hidrelétricas acima de 30 MW.

Expansão hidrelétrica nos próximos 10 anos

A expansão da oferta de energia elétrica prevê a **inserção de 4.600 MW de UHEs ao parque hidrelétrico brasileiro** no horizonte decenal. Na expansão contratada (2027-2031) está prevista a entrada de 3.010 MW compostos por duas novas usinas – UHE Estrela (48 MW), com previsão de operação em 2028, e UHE Foz do Prata (46 MW) em 2029 –, além da ampliação de cinco usinas existentes: UHE Jaguara (233MW), UHE São Simão (311 MW), UHE Governador Bento Munhoz (860 MW) e UHE Segredo (1.266 MW), previstas para 2030, e UHE Itaparica (247 MW), para 2031. Já para a expansão indicativa (2032-2036), estão previstos 1.590 MW, obtidos por meio da UHE Telêmaco Borba (118 MW) em 2035, da UHE Bem Querer (650 MW) em 2036, e por ações de modernização e repotenciação de usinas hidrelétricas existentes (822 MW), a partir de 2032.

A Figura 3 apresenta a distribuição espacial das UHEs previstas no PDE 2036, por região geográfica e pelo período de entrada em operação.



Figura 3 – Localização da expansão de usinas hidrelétricas no PDE 2036

A região Centro-Oeste do país abriga um projeto em implantação: a UHE Estrela, localizada no rio Verde, em Goiás. Para a região Sul, estão previstas: a UHE contratada Foz do Prata, no rio da Prata, no Rio Grande do Sul; as ampliações da UHE Governador Bento Munhoz e da UHE Segredo, ambas no rio Iguaçu, no Paraná; e a UHE indicativa Telêmaco Borba, no rio Tibagi, também no Paraná. No Sudeste estão localizadas as ampliações da UHE Jaguara, no rio Grande, na divisa dos estados de São Paulo e Minas Gerais, e da UHE São Simão, no rio Paranaíba, na divisa dos estados de Minas Gerais e Goiás. No Nordeste está localizada a ampliação da UHE Itaparica, no rio São Francisco, em Pernambuco. Na região Norte, está prevista a UHE indicativa Bem Querer, no rio Branco, em Roraima. Por fim, estão previstas ações de modernização e repotenciação no Sul, Sudeste e Centro-Oeste do país, devendo se concentrar nas bacias com maior histórico de desenvolvimento hidrelétrico.

Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão hidrelétrica

Na expansão contratada, as ampliações das cinco UHEs existentes não alteram a área do reservatório nem inundam novas áreas. A maior parte compreende novas unidades geradoras em espaços já previstos na construção das usinas. Dessa forma, para essas UHEs, as interferências socioambientais foram consideradas inexpressivas. Também para as duas novas usinas contratadas, a UHE Estrela e a UHE Foz do Prata, considerando as informações obtidas nos Estudos de Impacto Ambiental das usinas e o contexto da expansão, as interferências socioambientais foram consideradas inexpressivas.

Em relação à expansão indicativa, as principais interferências socioambientais das UHEs dizem respeito ao tema biodiversidade, com a perda e alteração de habitats a partir da supressão de vegetação nativa e do barramento do curso d'água; ao tema organização territorial, devido a potenciais conflitos de uso e ocupação do solo; e ao tema povos e terras indígenas, refletindo os possíveis impactos nessas populações. Já no caso de modernização de usinas existentes, o tema recursos hídricos tem maior relevância, com o aumento dos conflitos pelo uso da água.

O tema **biodiversidade** foi considerado relevante tanto para a região Norte quanto 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 quais ressaltam-se as alterações na dinâmica fluvial e a perda de habitats. Tais mudanças trazem consequências para os ecossistemas aquáticos e terrestres, afetando a biodiversidade como um todo.

No Norte, a UHE Bem Querer interfere numa região de grande heterogeneidade de ambientes. Já no Sul, ainda que a área alagada da UHE Telêmaco Borba seja relativamente pequena, há interferência na vegetação marginal, que constitui os principais corredores ecológicos da região. Soma-se a essa condição a importância dos remanescentes nativos ainda existentes, diante do alto nível de ameaça do bioma Mata Atlântica.

Para a UHE Bem Querer, estudos de caracterização dos habitats e ocorrência de espécies permitirão o direcionamento das medidas mitigadoras, que podem envolver, por exemplo: 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.

Já no caso da UHE Telêmaco Borba, no qual há supressão de remanescentes de vegetação nativa do bioma Mata Atlântica (regulada pela Lei n. 11.428/2006), usualmente são adotadas medidas mitigadoras para reduzir áreas sujeitas a supressão pelo projeto, e compensar a perda da vegetação em termos qualitativos e quantitativos.

Além disso, projetos hidrelétricos possuem o compromisso de adquirir terrenos no entorno do reservatório para o estabelecimento da Área de Preservação Permanente (APP), que tem uso regulado pelo Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno de Reservatório Artificial (PACUERA). 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** também se destaca na região Norte, pela UHE Bem Querer, e na região Sul, pela UHE Telêmaco Borba.

No Sul, a relevância se dá pela complexidade que o tema tem acrescentado ao processo de licenciamento ambiental da UHE Telêmaco Borba. Apesar da UHE não sobrepor a terras indígenas (as terras indígenas estão localizadas a mais de 15 km do projeto), devido a decisão judicial que declarava a bacia do rio Tibagi como território indígena, houve entendimento de que para essa usina fosse realizado um Estudo do Componente Indígena (ECI). O pedido de realização desse estudo, que tem como objetivo identificar e analisar os possíveis impactos de empreendimentos nas terras e povos indígenas, contribuiu para aumentar a complexidade do licenciamento ambiental do empreendimento.

No Norte, o tema se justifica pela proximidade da UHE Bem Querer com terras indígenas demarcadas, ainda que não haja sobreposição com elas, tanto pela complexidade inerente ao tema quanto pelo

reflexo no processo de licenciamento ambiental. Esse cenário requer a busca por um processo de diálogo com as comunidades indígenas, desde o planejamento do empreendimento até sua implantação e operação. Na atual etapa de planejamento do projeto, os critérios para elaboração do ECI estão descritos no Termo de Referência emitido pela Funai, que prevê que análises específicas sobre os povos indígenas que vivem dentro de terras indígenas serão tratadas no ECI. Já o Estudo de Impacto Ambiental (EIA), concluído em 2024, reúne informações sobre a ocupação histórica dos povos indígenas na região e contextualiza a atual dinâmica de circulação de indígenas dentro e fora das terras indígenas, além das situações em que indígenas vivem em áreas urbanas, o que evidencia uma ampla rede de circulação entre as cidades e terras indígenas. Importante destacar que para a avaliação dos possíveis impactos de empreendimentos próximos a terras indígenas, os ECIs são acompanhados pela Funai e autorizados e acompanhados pelos indígenas.

No que diz respeito ao tema **organização territorial**, na região Norte são esperadas alterações significativas para os municípios de Roraima afetados pela UHE Bem Querer, tanto em função do reassentamento involuntário de populações rurais e urbanas, como pela intensificação da ocupação desordenada e do conflito por recursos diante da atração populacional. Segundo o EIA, as alterações nas atividades produtivas, na atividade pesqueira e no turismo e lazer deverão provocar alterações na dinâmica socioeconômica, distribuídas de forma heterogênea nos municípios afetados. Como forma de reduzir ou compensar os impactos desses processos, são indicados o plano de comunicação social, o cadastro socioeconômico, a justa indenização e o suporte ao restabelecimento físico e econômico das populações afetadas, além de articulação institucional para apoio à atividade pesqueira e ao reforço da infraestrutura dos municípios.

No caso da modernização de usinas existentes, a repotenciação de UHEs busca aumentar a eficiência das usinas por meio da 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 entre a geração de energia e 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. Com a mudança do clima, tais situações podem se intensificar no futuro devido ao aumento da frequência e intensidade de períodos de escassez hídrica. Pelos motivos levantados, o tema **recursos hídricos** foi considerado relevante para as regiões 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 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. Também pode ser citada a ação de curto prazo (CP11) do Plano de Recuperação dos Reservatórios de Regularização do País (PRR)[6], em andamento, que visa o fortalecimento da governança da gestão integrada dos reservatórios do sistema elétrico, por meio do aprimoramento do ambiente de articulação entre as várias instituições ligadas à preservação dos usos múltiplos da água, com o objetivo de dar mais tempestividade às tomadas de decisão.

No que diz respeito às 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 continuamente os modelos matemáticos utilizados no planejamento da operação e da expansão do setor elétrico, tendo em vista essas questões. Nesse sentido, no âmbito do *Roadmap* para fortalecimento da Resiliência do Sistema Elétrico em resposta às mudanças climáticas (EPE, 2023), a EPE publicou

[6] https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/secretaria-nacional-energia-eletrica/plano-de-recuperacao-de-reservatorios-prr.

o factsheet “Hidreletricidade e Mudanças Climáticas”, no qual apresenta um panorama das relações entre os temas, indica como o assunto tem sido abordado pela EPE e aponta caminhos para a adaptação (EPE, 2024). Além disso, pode ser mencionado o estudo “Impactos das Mudanças Climáticas no Planejamento do Setor Elétrico Brasileiro”[7], elaborado pela EPE, GIZ e PSR e publicado em 2025, o qual traçou um diagnóstico dos possíveis impactos das mudanças climáticas sobre vazão, irradiação, vento e temperatura no Brasil. Os resultados do estudo indicaram, para as hidrelétricas, uma tendência de redução significativa das vazões médias nos subsistemas Sudeste, Norte e Nordeste (onde se concentra a maior parte da capacidade de armazenamento do sistema) e de aumento nas afluências no Sul. O estudo destacou também que os reservatórios desempenham papel estratégico para a segurança energética e que, no contexto das mudanças climáticas, a operação dos reservatórios tende a ser impactada.

Portanto, os temas **biodiversidade, povos e terras indígenas, organização territorial e recursos hídricos** se mostram relevantes para a expansão hidrelétrica decenal. Estes temas estão apresentados na Tabela 2, por região, conforme metodologia empregada na análise socioambiental integrada.

Tabela 2 – Síntese da análise socioambiental das usinas hidrelétricas do PDE 2036

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

O Quadro 3 resume as principais interferências socioambientais relacionadas à expansão hidrelétrica no PDE 2036; 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 	N: projeto localizado em região com grande heterogeneidade de ambientes S: interferência na vegetação marginal, principais corredores ecológicos da região, e importância dos remanescentes da Mata Atlântica.	- 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.

[7] https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/estudo-de-impactos-das-mudancas-climaticas-no-planejamento-da-geracao-de-energia-eletrica

Interferência	Tema	Região e justificativa	Medidas mitigadoras
Interferências em povos e terras indígenas	povos e terras indígenas 	N: proximidade do projeto com terras indígenas demarcadas S: aumento da complexidade no licenciamento ambiental.	- Medidas previstas no ECI, na etapa de projeto, e no Plano Básico Ambiental do Componente Indígena (PBAI), nas etapas de instalação e operação.
Alagamento de áreas rurais e urbanas e atração populacional	organização territorial 	N: reassentamento involuntário de populações e pressão sobre infraestrutura de equipamentos e serviços.	- Plano de comunicação social, cadastro socioeconômico, indenização e restabelecimento físico e econômico das populações afetadas. - Articulação institucional e investimento para reforço da infraestrutura sobrecarregada.
Aumento dos conflitos pelo uso da água	recursos hídricos 	SE e CO: novos padrões operativos dos reservatórios, aumento de outros usos da água e alterações climáticas.	- Participação em salas de crise e salas de acompanhamento da ANA. - Fortalecimento da governança da gestão integrada dos reservatórios para dar mais tempestividade às tomadas de decisão. - Desenvolvimento de estudos sobre mudanças climáticas e o impacto na disponibilidade hídrica. - Avaliação permanente dos modelos matemáticos de planejamento da operação e da expansão do setor elétrico.

Principais desafios e iniciativas socioambientais relacionados à expansão hidrelétrica

As hidrelétricas são, e tem sido há décadas, a principal fonte da matriz elétrica brasileira. Entretanto, embora ainda haja um considerável potencial hidrelétrico inventariado (EPE, 2025a), elas vêm reduzindo sua participação na matriz ao longo dos últimos anos. Essa redução pode ser percebida de duas maneiras: pelos leilões de energia, com apenas três UHEs vendidas[8] (147 MW) nos últimos oito anos (entre 2017 e 2025), e pelos últimos PDEs publicados, com a diminuição na indicação de usinas hidrelétricas para a expansão da geração de energia elétrica. Esse quadro é resultado tanto do crescimento significativo de outras fontes de energia, quanto dos diversos desafios associados à **implantação de novas usinas hidrelétricas**.

Apesar dos avanços em regulamentação e maior clareza de aspectos processuais nos últimos anos[9], a avaliação e o controle dos impactos socioambientais, principalmente em regiões de biodiversidade sensível ou de alta complexidade, áreas protegidas e comunidades tradicionais são um desafio. Além da dificuldade de se prosseguir com os estudos de viabilidade, a judicialização de questões no decorrer do licenciamento ambiental pode trazer insegurança jurídica e atrasos no cronograma de implantação dos projetos, com consequente elevação de custos de implantação dos empreendimentos. O Caderno de Estudos "Um olhar para as usinas hidrelétricas – Desafios e oportunidades para o aproveitamento hidrelétrico brasileiro" (EPE, 2025a) detalha o contexto atual da hidroeletricidade sob a perspectivas de tais desafios e discute o papel das hidrelétricas na operação futura do sistema.

[8] Em 2021: UHE Juruena (50 MW), em 2022: UHE Estrela (48 MW) e em 2025: UHE Foz do Prata (49,37 MW).

[9] 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; Instruções Normativas específicas de cada órgão ou entidade envolvida no licenciamento ambiental; Lei Geral do Licenciamento – Lei 15.190/2025; e guia de avaliação de impacto ambiental para usina hidrelétrica elaborado pelo Ibama, publicado em 2026).

No contexto dos desafios impostos pelas mudanças climáticas, da necessária compatibilização dos usos múltiplos da água e da ampliação da capacidade e flexibilidade do sistema elétrico brasileiro, as hidrelétricas com capacidade de armazenamento ganham relevância. E nesse sentido, instrumentos como o Plano de Recuperação de Reservatórios de Regularização (PRR), o Plano Clima Adaptação – Plano Setorial de Energia, o Plano Nacional de Transição Energética (Plante) e o planejamento energético de médio e longo prazo, em convergência com a modernização do marco legal do setor elétrico (Lei n. 15.269/2025) e da recente determinação do CNPE (Resolução n. 7/2026[10]), sinalizam uma diretriz de atuação coordenada para o desenvolvimento de estudos de projetos hidrelétricos com capacidade de armazenamento.

Parte dessa articulação para a implantação de novas UHEs, especialmente com reservatórios de regularização, vem sendo feita no âmbito do Plano de Recuperação dos Reservatórios de Regularização de Usinas Hidrelétricas do País (PRR). 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, tragam 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 emissão de licenças ambientais aos projetos de UHE com reservatório, por meio do mapeamento de gargalos 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. O acompanhamento dessas ações pode ser observado por meio dos relatórios de monitoramento publicados anualmente e do Painel de Monitoramento do PRR[11]. Ainda, de forma a divulgar as atividades e promover a integração entre as instituições que atuam na condução do Plano, foi realizado o 1º Seminário do PRR, em março de 2026.

O Plano Clima Adaptação reforça alguma dessas ações propostas no PRR dentro de metas estabelecidas e apresentadas no Plano Setorial de Energia: metas 3, 5 e 6. A meta 3 objetiva elaborar estudos para a identificação de potenciais reservatórios de regularização com o objetivo de viabilizar aqueles que apresentem benefícios para a segurança hídrica, atenuação de efeitos climáticos e para o atendimento aos múltiplos usos da água. Dentre as ações para obtenção da meta está contemplada a CP14 do PRR. Já a meta 5 trata da promoção de discussão com a sociedade civil e instituições privadas sobre aspectos relacionados à mudança do clima e aos impactos no setor de energia. Dentre suas ações é indicada a LP3 do PRR. Por fim, a meta 6 tem como objetivo avaliar, monitorar e sugerir aprimoramento do licenciamento socioambiental de empreendimentos de energia e processos adjacentes. Nela está contida a ação CP 16 do PRR. Ainda no âmbito do Plano Clima, a Estratégia Nacional de Adaptação indica como Objetivo Nacional 3 a promoção da segurança hídrica, disponibilizando água em qualidade e quantidade suficientes para os usos múltiplos, como abastecimento, produção, energia e ecossistemas.

No âmbito do Plante, dentro do pilar Segurança e resiliência do sistema energético, a linha de ação 1.2.2 trata de promover a modernização e revisão do planejamento e operação de hidrelétricas. Nela são propostas ações para planejar novos reservatórios com usos e benefícios múltiplos e para fortalecer a governança da gestão integrada dos reservatórios do setor elétrico. O Plante apresenta mapas do caminho para essas ações trazendo iniciativas para os próximos quatro anos.

A importância de identificar e desenvolver projetos hidrelétricos com capacidade de armazenamento é ainda reforçada pela Resolução CNPE nº 7, de 06 de abril de 2026. A resolução determina à EPE a realização de estudos de inventário hidrelétrico e desenvolvimento de projetos hidrelétricos com capacidade de armazenamento, visando segurança energética, hídrica e flexibilidade operativa do Sistema Interligado Nacional.

[10] Resolução CNPE n. 7/2026 - Dispõe sobre a determinação à Empresa de Pesquisa Energética - EPE para atuação na identificação e desenvolvimento de projetos hidrelétricos com capacidade de armazenamento, no âmbito do planejamento energético nacional.
[11] https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/observatorio-de-minas-e-energia/energia-eletrica/monitoramento-prr.

No que se refere ao licenciamento ambiental, a Lei n. 15.190/2025, denominada Lei Geral do Licenciamento Ambiental, apresenta uma seção destinada ao licenciamento ambiental especial para atividades ou empreendimentos estratégicos. A Lei n. 15.269/2025, que moderniza o marco regulatório do setor elétrico, estabelece que o licenciamento ambiental especial deverá ser aplicado às usinas hidrelétricas e seus reservatórios, em razão de seu caráter estratégico para a segurança hídrica e energética e estabilidade do Sistema Interligado Nacional e para a matriz energética nacional. A partir de então, a Lei Geral do Licenciamento Ambiental passou a vigorar com essa inclusão, reforçando a importância da temática. Por fim, a Lei n. 15.300/2025, que dispõe sobre a Licença Ambiental Especial (LAE), traz que o procedimento do licenciamento ambiental especial se aplica a atividades ou empreendimentos estratégicos que sejam efetiva ou potencialmente causadores de significativa degradação do meio ambiente. A Lei 15.269/2025 alterou também os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos[12] com destaque para inclusão da garantia da segurança hídrica e energética por meio do incentivo e da promoção de obras de acumulação de água.

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 lidar com este desafio, destacam-se ferramentas governamentais, tais como a ferramenta interativa BiodivEPE[13] – Biodiversidade no planejamento de projetos de energia (EPE, 2022a) e o Plano de Redução de Impactos de Hidrelétricas sobre a Biodiversidade na Amazônia (PRIM-HA)[14] (ICMBio, 2022). Vale também mencionar outras ferramentas de sustentabilidade, como os guias, os protocolos de sustentabilidade e a definição de padrões de desempenho socioambientais. Nesses documentos[15], 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.

Merece destaque também o fato de as empresas do setor reconhecerem cada vez mais a relevância e o risco de perdas da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos para seus negócios. Isso motivou o desenvolvimento de métricas e parâmetros para guiar e dar transparência aos resultados positivos dos projetos para a biodiversidade. Nesse sentido, a Taskforce on Nature-related Financial Disclosure (TNFD)[16] trouxe, em 2024, um guia voltado para o setor elétrico, apresentando suas métricas e parâmetros para a biodiversidade, diretamente voltados para o setor (TNFD, 2024). Já o Conselho Empresarial Brasileiro para a Biodiversidade (CEBDS) apresenta um conjunto de metas de conservação da biodiversidade para 2030 (CEBDS, 2024a). O conjunto inclui potencializar ações de conservação e recuperação, inserir o tema na estratégia de negócios da empresa, conhecer a diversidade biológica e disponibilizar as informações, dentre outras metas. Ainda, uma parceria entre o CEBDS, o World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) e a TNFD lançou a "Plataforma de Ação pela Natureza", com o objetivo de auxiliar o setor privado na compreensão, proteção e gestão das suas dependências e impactos sobre a biodiversidade (CEBDS, 2024b).

[12] Artigo 2 da Lei 9.433/97: Art. 2º São objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos: I - assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; II - a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo a geração de energia elétrica e o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável; III - a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais. IV - Incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais; V - garantir a segurança hídrica e energética por meio do incentivo e da promoção de obras de acumulação de água.

[13] A ferramenta BiodivEPE tem como objetivo auxiliar a sociedade a incorporar externalidades ambientais e reduzir ameaças à biodiversidade desde as fases iniciais do planejamento de projetos do setor de energia.

[14] 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.

[15] How-to guide: Hydropower Biodiversity and Invasive Species (IHA, 2021a); Good Practice Guide: Hydropower and Protected Areas (IHA, 2021c); How-to-guide: Hydropower Environmental and Social Assessment and Management (IHA, 2021b); 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).

[16] 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).

A necessidade de regulamentação do §3º do artigo 231[17] 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, permanece um desafio para o setor. Essa regulamentação, que vem sendo discutida pelo governo brasileiro, é considerada de relevância estratégica para o setor energético e mineral, 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 tanto para investidores quanto para os povos indígenas. As articulações e discussões técnicas sobre esse assunto ao longo de anos resultaram em diversos projetos de lei. Os mais recentes são os PL 684/2025, PL 900/2025 e PL 5205/2025.

O setor se depara também com a necessidade de regulamentação e diretrizes para realização de Consulta Livre, Prévia e Informada (CLPI) aos povos indígenas, quilombolas e comunidades tradicionais para a **exploração dos recursos hídricos próximos a terras indígenas**. Desde 2012, o governo tem se empenhado para sanar as indefinições[18] sobre os procedimentos de consulta prévia previstos na Convenção n. 169 da Organização Internacional do Trabalho (OIT)[19]. 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 medidas 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. Adicionalmente, o Comitê Técnico de Sustentabilidade Ambiental (CTSA) do MME criou o Subcomitê Técnico Executivo, por meio da Resolução CTSA n. 2, de 12 de junho de 2025, com o objetivo de discutir a regulamentação da Convenção n. 169 da OIT, para alinhamento interno quanto ao posicionamento do MME e suas vinculadas sobre o tema. Para subsidiar as discussões do subcomitê, foram apresentadas experiências nacionais e internacionais por parte de representantes do planejamento energético nacional, de agentes do setor e de profissionais do direito. O subcomitê elaborou relatório com as discussões do MME e suas instituições vinculadas, a serem consideradas pelas autoridades competentes para subsidiar a regulamentação da Convenção n. 169 da OIT, conforme consta na Resolução CTSA n. 2/2025.

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, por parte de instituições públicas, judiciário e da sociedade civil organizada, também tem contribuído para maior conhecimento da sociedade sobre as questões envolvidas no tema[20].

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 documentos[21] trazem exemplos e questões referentes à consideração dos povos indígenas no planejamento, construção e operação dos projetos hidrelétricos.

Por último, cabe pontuar os desafios associados à **disponibilidade hídrica para a geração hidrelétrica.** Essa 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 agrava ao considerarmos as possíveis alterações decorrentes das mudanças climáticas globais.

---

[17] 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.

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

[19] 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).

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

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

Nesse contexto, é importante ter em conta que a demanda por água no Brasil é crescente. De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), é estimado um aumento de 30% das retiradas de água entre 2024 e 2040 (ANA, 2025). Além disso, a Agência destaca 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, o Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022-2040 (MDR, 2022) é um 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. Cumpre destacar a articulação cada vez maior entre setor elétrico e órgãos relacionados aos recursos hídricos para a discussão e definição de ações buscando conciliar os interesses dos múltiplos usuários. Como exemplo, algumas ações do PRR são voltadas para a melhoria da gestão hídrica, tais como: CP2 e CP9, que tratam de aprimoramentos da representação e da base de dados das restrições hidráulicas operativas para UHEs; CP10, que busca revisar restrições operativas; e CP11, que visa fortalecer a governança da gestão integrada dos reservatórios.

Ainda cabe mencionar a relação da geração hidrelétrica com as alterações climáticas. As mudanças nos padrões de precipitação e de escoamento da água, combinadas com alterações na evapotranspiração, implicam aumento ou diminuição da geração de energia hidrelétrica, a depender da região. O estudo Impacto da Mudança Climática nos Recursos Hídricos do Brasil, publicado pela ANA, aponta que a disponibilidade hídrica pode cair mais de 40% no Norte, Nordeste e parte do Centro-Oeste até 2040, enquanto o Sul possui uma tendência de aumento da disponibilidade hídrica, embora atrelada a uma maior imprevisibilidade das condições hídricas (ANA, 2024). O aumento da variabilidade sazonal e plurianual nesta fonte de geração representa desafios significativos para a operação e planejamento de todo o sistema (IEA, 2021; EPE, 2023). Além disso, eventos extremos, como chuvas intensas, podem causar danos aos equipamentos e estruturas das usinas.

Nessa linha, desde o PDE 2031, são feitas análises de risco climático e consideração de cenários alternativos. O PDE 2036 traz uma avaliação da resiliência do cenário da expansão decenal de referência considerando cenários hidrológicos adversos.

O PRR também representa uma ferramenta importante do setor para a adaptação às mudanças climáticas, propondo ações como: monitoramento de riscos climáticos, realização de estudos sobre as mudanças no regime de vazões, aprimoramentos metodológicos a partir da consideração de cenários hidrológicos e elaboração de *Roadmap* para o Fortalecimento da Resiliência do Setor Elétrico. No âmbito dessa última ação, coordenada pela EPE, foi publicada uma série de seis *factsheets* temáticos, sendo o primeiro deles "Hidreletricidade e mudanças climáticas", que apresenta os riscos climáticos para a hidreletricidade no Brasil e aponta caminhos para a adaptação desta fonte frente às mudanças climáticas (EPE, 2024). Ainda como parte do Roadmap, encontra-se em elaboração uma nota técnica contendo uma análise sistêmica da resiliência climática do setor elétrico brasileiro, incluindo indicação de cenários e recomendações de adaptação para o SIN.

Adicionalmente, vale mencionar mais uma vez o estudo "Impactos das Mudanças Climáticas no Planejamento do Setor Elétrico Brasileiro", elaborado pela EPE-GIZ-PSR, que traçou um diagnóstico dos possíveis impactos das mudanças climáticas sobre vazão, irradiação, vento e temperatura no Brasil.

Por fim, cabe ressaltar o Plano Clima Adaptação – Plano Setorial de Energia, que destaca os possíveis riscos das mudanças climáticas para a geração hidrelétrica e prevê diversas ações de adaptação voltadas para as usinas hidrelétricas. Também no âmbito do Plano Clima, o Plano Temático de Recursos Hídricos destaca o tema geração de energia como relevante, principalmente devido a conflitos pelo uso da

água, que podem afetar a geração hidrelétrica e, nesse contexto, aponta ações direcionadas a UHEs e seus reservatórios.

O Quadro 4 resume os principais desafios socioambientais e as iniciativas associados à expansão indicada no PDE 2036.

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

Desafio	Iniciativas
Implantação de novas usinas hidrelétricas	- Ações para o desenvolvimento de estudos de projetos hidrelétricos com capacidade de armazenamento: Plano de Recuperação de Reservatórios de Regularização de usinas hidrelétricas (PRR), Plano Clima Adaptação – Plano Setorial de Energia, Plano Nacional de Transição Energética (Plante) e Resolução CNPE n. 7/26 - Licenciamento Ambiental Especial para hidrelétricas e seus reservatórios: Leis 15.190/2025, 15.269/2025 e 15.300/2025.
Compatibilização da geração de energia com a conservação da biodiversidade 	- Ferramentas interativas e de sustentabilidade para projetos hidrelétricos, que contribuem para a conservação da biodiversidade. - Desenvolvimento de métricas e parâmetros para guiar e dar transparência aos resultados positivos dos projetos para a biodiversidade. - Adoção de metas relacionadas à conservação da biodiversidade em usinas hidrelétricas.
Exploração do recurso hídrico próximo e/ou em terras indígenas 	- Esforços para a regulamentação do §3º do art. 231 da CF desde os anos 1990 até 2025. - Esforços para elaboração de normativos e recomendações para a regulamentação da Convenção n. 169 da OIT, pelo Governo Federal, tais como a criação de Subcomitê Técnico Executivo pelo MME para discussão do tema. 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 	- Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) 2022-2040. - Análise de resiliência do cenário de expansão considerando cenários hidrológicos adversos do PDE 2036. - Plano de Recuperação de Reservatórios de Regularização de usinas hidrelétricas (PRR): proposição de ações relacionadas às restrições operativas e adaptação às mudanças climáticas. - Publicação do factsheet “Hidreletricidade e mudanças climáticas”, como parte do roadmap para fortalecimento da resiliência do setor elétrico, no âmbito do PRR. - Desenvolvimento de estudos sobre mudanças climáticas e o impacto na disponibilidade hídrica. - Plano Clima Adaptação –Plano Setorial de Energia: ações de adaptação para as usinas hidrelétricas.

Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão hidrelétrica

A **repotenciação, modernização e ampliação de UHEs existentes** ganhou força nos últimos anos, tanto pelas crescentes dificuldades para se implantarem novas usinas, quanto pela possibilidade de incrementar a capacidade hidrelétrica instalada por meio da **otimização de recursos para a geração de energia**, sem as interferências e os riscos associados à construção de novas UHEs.

Estudo da (EPE, 2019) identificou um potencial de cerca de 50 GW de capacidade instalada de repotenciação, modernização e ampliação de UHEs, considerando a importância, a dimensão e a idade do parque hidrelétrico brasileiro existente. Avaliando um grupo de hidrelétricas existentes, o estudo apontou ganhos de capacidade, energia e flexibilidade para o SIN, bem como outros efeitos positivos que poderiam ser alcançados com tais medidas. Para além das melhorias no sistema energético, a opção por repotenciar, modernizar ou ampliar hidrelétricas 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.

Nesse sentido, nos últimos cinco anos, o PDE vem destacando o potencial a ser explorado por meio de ações de repotenciação, modernização e ampliação de hidrelétricas existentes. No PDE 2036 tais ações representam um percentual considerável da expansão hidrelétrica prevista no decênio (81%).

A realização do Leilão de Reserva de Capacidade na forma de Potência (LRCAP) em 2026 com a inclusão de usinas hidrelétricas existentes reforça a importância da fonte em contribuir, entre outras formas, com flexibilidade operativa para o sistema elétrico. O número de hidrelétricas contratadas (5 usinas, 2.916 MW) e cadastradas (16 usinas, 6.076 MW) mostra a movimentação do setor hidrelétrico para o tema (EPE, 2025b).

Apesar da mobilização do setor hidrelétrico para o LRCAP 2026, ainda são necessários aprimoramentos nos aspectos regulatórios e nos instrumentos de incentivos econômicos capazes de mobilizar os empreendedores para alavancar esse novo mercado (EPE, 2025a).

O Plante também reforça a temática com a linha de ação 1.2.2, que aborda modernização e revisão do planejamento e operação de hidrelétricas. Nela é proposta ação para aprimorar a operação dos reservatórios frente a eventos climáticos extremos e às necessidades do sistema, com o objetivo de acumular dados e métodos oficiais, fazer uma revisão de restrições e promover modernização e repotenciação de reservatórios existentes.

Adicionalmente, o Plano Clima Mitigação – Plano Setorial de Energia indica a modernização e repotenciação de hidrelétricas como uma das sete alavancas prioritárias até 2035. As alavancas são vetores com alto potencial de redução de emissões, sinergia institucional e viabilidade tecnológica que estruturam o esforço de curto e médio prazo para mitigação de emissões por parte do setor de energia. Incentivar a ampliação, modernização e repotenciação de hidrelétricas foi apontada como uma ação estruturante visando ganhos de eficiência energética e aumento de capacidade instalada. No Plano Clima, a meta é de expandir a capacidade instalada de hidrelétricas existentes em 6.300 MW até 2035.

Outra oportunidade interessante para os agentes é o **investimento em projetos que revertam em benefícios socioambientais adicionais**, mais notadamente por meio de ações de conservação ambiental. Em resumo, as empresas têm editado Políticas de Biodiversidade ou Sustentabilidade que incorporam princípios de conservação da biodiversidade à sua estratégia, incluindo os princípios de nenhuma perda líquida ou almejando ganhos líquidos de biodiversidade. Algumas empresas demonstram ir além dos seus compromissos legais, promovendo programas e ações socioambientais que se convertam em benefícios para a flora, fauna e comunidades na área de influência dos empreendimentos. Observa-se integração das obrigações do licenciamento ambiental dos empreendimentos com investimentos originários de receita própria e dos recursos de Pesquisa e Desenvolvimento. Nesse contexto, destacam-se o programa de

conservação da ictiofauna da Cemig, Peixe Vivo, que em 2024 completou 15 anos com resultados expressivos para a ciência e a conservação[22]; o compromisso voluntário da Engie Brasil Energia com o Instituto Água e Terra, com aporte de R$ 4,3 milhões para iniciativas de valorização do patrimônio natural em unidades de conservação no Paraná; e o projeto IBI-Furnas, desenvolvido voluntariamente pela Axia Energia (anteriormente Eletrobras Furnas) em parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais, para aprimorar metodologias de avaliação e mapeamento do impacto líquido positivo sobre a biodiversidade na bacia de drenagem da usina de Furnas, com participação da comunidade escolar e moradores.

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 nas regiões de inserção das usinas. 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 tanto por instituições financeiras, como as signatárias dos Princípios do Equador e a International Finance Corporation (IFC), quanto por instituições do próprio setor hidrelétrico, como a Hydropower Sustainability Alliance (HSA). Podem ser citados os exemplos das UHEs Santo Antônio, Jirau e Teles Pires, que atenderam a padrões de desempenho de sustentabilidade ambiental do IFC, e das UHEs Mascarenhas e Jirau, que receberam recentemente a certificação Gold no Hydropower Sustainability Standard (HSS), da HSA, para a fase de operação[23].

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 ambiente 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 n. 14.182/2021[24] 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.

Por fim, algumas ações também podem contribuir para benefícios sociais adicionais. Exemplo disso é o Acordo de Cooperação Técnica n. 14/2024, firmado entre o MME e o Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA), que busca promover o desenvolvimento sustentável da aquicultura em reservatórios hidrelétricos. A iniciativa visa ampliar a produção de peixes e outros alimentos, contribuindo para a geração de emprego, renda e segurança alimentar, além de melhorar a gestão dos reservatórios e reduzir riscos à operação das usinas. Como desdobramento do acordo, foi publicada a Portaria Interministerial MME/MPA n. 4/2026, que estabelece diretrizes para o uso de Áreas de Preservação Permanente (APPs) e das bordas de reservatórios em atividades aquícolas. A regulamentação busca integrar os setores elétrico e aquícola, permitindo a expansão da produção aquícola de forma compatível com a geração hidrelétrica, além de contribuir para a geração de emprego e renda nas regiões beneficiadas.

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**.

[22] O programa Peixe Vivo é estruturado através de três pilares: Programas de Conservação e Manejo, Pesquisa e Desenvolvimento e Relacionamento com a Comunidade. Como impactos do programa houve a redução significativa nas mortes de peixes e mais de 690 publicações de pesquisa dentro do programa.

[23] O HSS avalia tópicos relacionados a práticas sustentáveis considerando governança, preservação ambiental e relacionamento com stakeholders, dentre outros. (HSA, 2024).

[24] 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) e instituído pelo Decreto n. 10.838/2021, que regulamenta as obrigações de revitalização hídrica previstas na lei de desestatização da Eletrobras (a Lei n. 14.182/2021 citada acima).

Nesse contexto, os Planos Setoriais de Mitigação (PSM), no âmbito do Plano Clima 2024-2035, serão importantes para direcionar a implantação de medidas de redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) a partir da definição de metas para agentes setoriais. Dentre as alavancas prioritárias para descarbonização definidas no PSM Energia, constam ações que podem trazer oportunidades para a expansão hidrelétrica, caso da ação estruturante já citada que busca incentivar a ampliação, modernização e repotenciação de UHEs (ENR.E.06) e que está associada à meta da expansão da capacidade instalada de hidrelétricas até 2035.

A regulamentação de um mercado de carbono também se apresenta como um instrumento importante nessa temática, ao limitar a emissão de GEE e promover a comercialização de ativos referentes à emissão, redução ou remoção de GEE. Nesse contexto, foi instituído pela Lei n. 15.042/2024 o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), e com vistas a sua operacionalização, em 2026, foram criados grupos de trabalhos temáticos (GTs)[25] que estão subsidiando a definição de critérios técnicos para o funcionamento do mercado regulado de carbono no Brasil. Apesar dos avanços, o SBCE ainda conta com desafios até sua implementação.

Há ainda mecanismos de caráter voluntário, como a emissão de certificados de energia renovável (RECs)[26], opção para consumidores comprovarem que seu consumo de energia elétrica é proveniente de fonte renovável. A emissão desses certificados vem aumentando ao longo da última década no Brasil (Instituto Totum, 2026), e espera-se que a demanda por esse tipo de instrumento continue a crescer à medida que as empresas, de forma geral, apresentem metas voluntárias de redução de emissões.

No escopo do mercado de títulos e empréstimos verdes[27], 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 elegibilidade[28] 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 2036 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 (repotenciação/modernização e ampliação de UHEs existentes)	- Indicação de ações de repotenciação e modernização de UHEs na expansão apresentada nos últimos PDEs. - Realização do LRCAP 2026 considerando hidrelétricas existentes com contratação de cinco usinas (2.916 MW) - Plano Nacional de Transição Energética (Plante) com indicação de linha de ação para modernização e revisão da operação de hidrelétricas. - Plano Clima Mitigação – Plano Setorial de Energia considerando modernização e repotenciação de hidrelétricas como alavanca prioritária e traçando linha de ação.

[25] Resolução CTCP/SBCE nº 2/2026 – Institui o GT Aspectos Financeiros do SBCE (GT Financeiro), Resolução CTCP/SBCE nº 2/2026 – Institui o GT sobre Monitoramento, Relato e Verificação de Emissões (GT MRV) e Resolução CTCP/SBCE nº 4/2026 – Institui o GT sobre Credenciamento e Descredenciamento de Metodologias para Geração de Certificados de Redução ou Remoção Verificada de Emissões (CRVEs) (GT Metodologias).

[26] Uma empresa que deseja emitir RECs passa por uma auditoria de um emissor local. Cada REC emitido equivale a 1MWh de energia gerada.

[27] 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).

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

Oportunidades	Conjuntura favorável
Investimento em projetos que revertam em benefícios socioambientais adicionais	- Medidas voluntárias empresariais. - Padrões de desempenho de sustentabilidade definidos por instituições financeiras, como as signatárias dos Princípios do Equador e a International Finance Corporation (IFC), e instituições do setor hidrelétrico, como a Hydropower Sustainability Alliance (HSA). - 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. - Portaria Interministerial MME/MPA regulamentando a expansão da produção aquícola de forma compatível com a geração hidrelétrica.
Instrumentos voltados para a descarbonização	- Elaboração dos Planos Setoriais de Mitigação às Mudanças Climáticas, no Plano Clima 2024-2035. - Publicação da Lei n. 15.042/2024, que institui o 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 principais impactos e benefícios da expansão hidrelétrica do PDE 2036, foram avaliados os seguintes indicadores socioambientais[29]: 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 expansão hidrelétrica contratada e para os projetos previstos na expansão indicativa (UHEs Bem Querer e Telêmaco Borba). A parcela da expansão indicativa composta por modernização de hidrelétricas (822 MW) não foi considerada, uma vez que não se tem dados suficientes para cálculo dos indicadores.

Ressalta-se, ainda, que os indicadores apresentados na Tabela 3 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.

Em comparação com os indicadores socioambientais do PDE 2035, nota-se um expressivo aumento nos indicadores de benefícios socioeconômicos, especialmente o ISS gerado nas obras no decênio, que mais que dobra, e a compensação financeira no decênio (estados e municípios), que é aproximadamente 40 vezes maior. Tal aumento é reflexo da maior participação de usinas hidrelétricas na expansão contratada, em particular a ampliação de usinas existentes, que representam a entrada de 2.670 MW a partir de 2030 como resultado do LRCAP 2026. Esses indicadores evidenciam os benefícios de ações de ampliação e repotenciação de usinas hidrelétricas existentes, uma vez que aumentam a capacidade do sistema e proporcionam benefícios socioeconômicos sem os impactos socioambientais de novos projetos e implantação de reservatórios.

[29] 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.

Tabela 3 – Indicadores socioambientais da expansão hidrelétrica

Indicadores Ambientais	
Área alagada (km^2)	681
Área alagada por potência instalada (km^2/MW)	0,18 (UHEs existentes: 0,41 km^2/MW)
Perda de vegetação nativa (km^2)	461
Perda de vegetação nativa por MW (km^2 /MW)	0,12
Transformação do ambiente lótico em lêntico (km)	258
N. de UHEs com interferência em UC de proteção integral	nenhuma das 9 UHEs
N. de UHEs com interferência em UC de uso sustentável	1 das 9 UHEs
Indicadores Socioeconômicos	
População diretamente afetada (hab.)	3.217
População diretamente afetada por MW (hab./MW)	0,85
Interferência na infraestrutura (população atraída/população dos municípios)	0,12
N. de UHEs que interferem em terras ou comunidades quilombolas	nenhuma das 9 UHEs
N. de UHEs que interferem diretamente em TI	nenhuma das 9 UHEs
N. de UHEs situadas até 40 km de TI na Amazônia Legal e 15 km nas demais regiões	3 das 9 UHEs
Empregos diretos gerados no pico das obras (1)	9.769
Empregos diretos gerados no pico das obras por MW (empregos/MW)	2,56
Compensação financeira (CF) em 2036 (R$ milhões) (2) (3)	118,6 (4,6% da CF paga em 2025 por todas as UHEs em operação)
Compensação financeira para os estados no decênio (R$ milhões) (2)	162
Compensação financeira para os municípios no decênio (R$ milhões) (2)	421
ISS gerado nas obras no decênio (R$ milhões)	520,94

Notas: (1). 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 considerados. (2). Considera somente a geração das usinas cuja operação se inicia no horizonte deste PDE. Os montantes de compensação financeira foram calculados considerando a Tarifa Atualizada de Referência (TAR) fixada pela Aneel para 2025 (R$ 110,54) para todo o horizonte decenal. (3). Montante de arrecadação, no ano de 2036, da compensação financeira definida pela Lei n.7.990/1.989 e suas modificações, considerando as parcelas destinadas aos estados, municípios e à União.

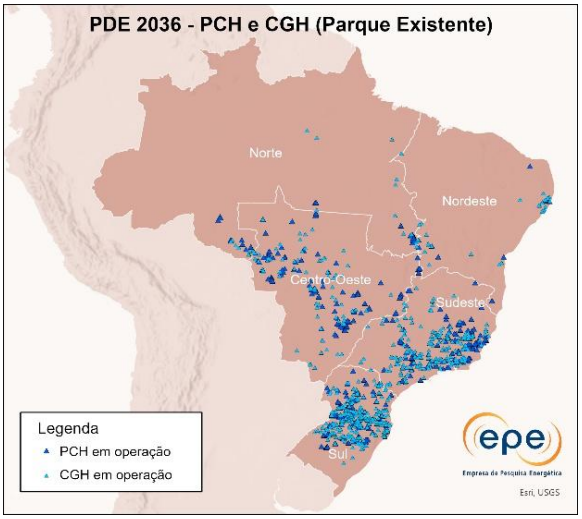
4.2 Pequenas Centrais Hidrelétricas e Centrais Geradoras Hidrelétricas

Benefícios das PCHs e CGHs

- É fonte de energia elétrica **renovável** com **baixos custos operacionais**.
- Apresentam **emissões reduzidas de gases de efeito estufa (GEE)**, contribuindo para as metas de redução estabelecidas pela Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC).
- Contribuem para a confiabilidade do sistema elétrico, graças à geração previsível, alto fator de capacidade e à flexibilidade proporcionada por reservatórios, além de outros serviços ao sistema.
- São usualmente instaladas em rios de pequeno e médio porte, **próximas aos centros de consumo**, o que diminui perdas e custos com transmissão, evitando a necessidade de longas linhas.
- A implantação desses projetos **impulsiona a economia local** e, por serem desenvolvidos com tecnologia, materiais e mão de obra nacionais, fomentam o **crescimento econômico e a geração de empregos** em toda a cadeia produtiva.
- Apresentam **vida útil elevada**, podendo ultrapassar um século sem demandar grandes reinvestimentos, o que reforça sua baixa pegada de carbono.
- Possuem reservatórios com **áreas alagadas reduzidas**, operando geralmente a fio d'água. Isso minimiza impactos socioambientais comuns a grandes reservatórios, como afetação de vegetação nativa e comunidades, além de possibilitar usos múltiplos da água.
- Por meio de **programas ambientais**, promovem o reflorestamento, a gestão da Área de Preservação Permanente (APP) do reservatório, a recuperação de nascentes e o monitoramento da qualidade da água e da fauna aquática.

Parque de PCHs e CGHs atual

A capacidade instalada de PCHs e CGHs no Brasil é de **7.023 MW** (Aneel, 2026). Essa potência é proveniente de 435 PCHs e 709 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 4.674 MW** de potência instalada, o que representa avanço de 67% em relação ao parque atual.

Na primeira metade do horizonte é considerada a entrada de **240 MW de potência, distribuídos em 18 PCHs e CGHs já contratadas,** que têm seu início de operação previsto para ocorrer entre 2027 e 2030, especialmente nas **regiões Sul e Centro-Oeste**.

Já a partir de 2030, é estimada a entrada de outros **4.433 MW de potência instalada (expansão indicativa) nos subsistemas Sudeste/Centro-Oeste e Norte**.

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).

A Figura 4 indica a localização da expansão planejada.

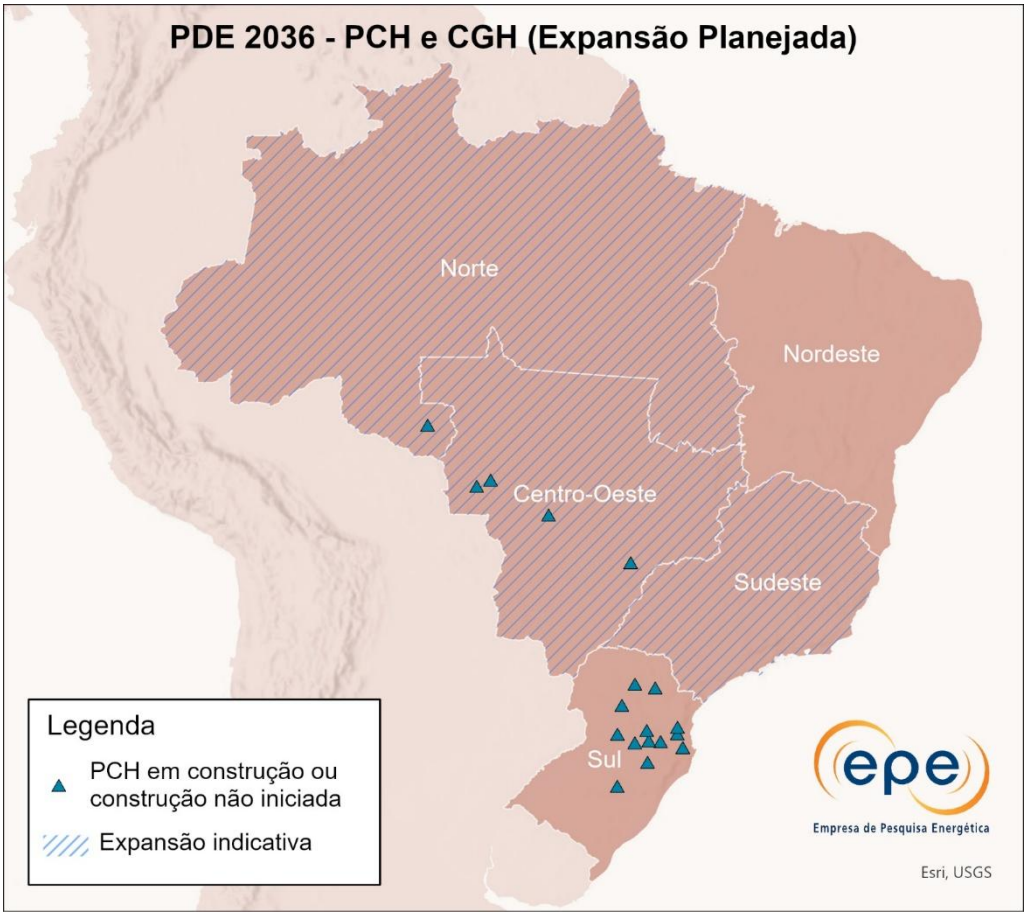


Figura 4 – Localização da expansão de PCHs e CGHs no PDE 2036

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 Sudeste, Centro-Oeste e Sul**, 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 contribuam 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 2036, conforme apresentado na Tabela 4. Já o Quadro 6 resume as principais interferências socioambientais relacionadas à expansão de PCHs e CGHs no PDE 2036. 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 4 – Síntese da análise socioambiental das PCHs e CGHs do PDE 2036

	Norte	Nordeste	Sul	Sudeste	Centro-Oeste
PCHs e CGHs	interferências 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	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. 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.	- 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

Historicamente o **processo de licenciamento ambiental** tem se apresentado como um dos desafios para ampliar a participação da fonte na matriz. De maneira geral, a implantação de PCHs e CGHs requer a elaboração de estudos ambientais complexos, além de obtenção de certidões, autorizações e manifestações de diversas instituições envolvidas, como prefeituras, órgãos gestores de recursos hídricos, Funai, Iphan e Fundação Cultural Palmares. Essas exigências resultam em processos longos, complexos e, por vezes, imprevisíveis. Há também o fato de que cada unidade da federação possui uma legislação distinta, por vezes com exigências específicas, de modo que os procedimentos de licenciamento são heterogêneos.

Nesse contexto, espera-se que a promulgação da Lei Geral do Licenciamento Ambiental (Lei n. 15.190/2025), contribua para simplificar, acelerar e padronizar o licenciamento ambiental no Brasil, especialmente no que diz respeito às PCHs. Segundo a nova lei, as modalidades de licenciamento, tipos de estudos ambientais, bem como as exigências e condicionantes requeridos, deverão ser definidas pelas

autoridades ambientais de forma proporcional ao porte e potencial poluidor da atividade. Com isso, empreendimentos caracterizados como de baixo ou médio potencial poluidor e pequeno ou médio porte, como costuma ser o caso de PCHs e CGHs, têm seus processos de licenciamento simplificados, podendo ser dispensados da elaboração de EIA/Rima, por exemplo.

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. Em 2024, por meio do Despacho 3187/2024, a Aneel definiu outros 11 estudos que são elegíveis a esse modelo, porém, até a elaboração desta nota, tais estudos não apresentaram avanços.

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). Essa Resolução 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 2036 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	- Entrada em vigor da Lei Geral do Licenciamento Ambiental, que simplifica e padroniza o processo de licenciamento. - Estudos de inventários hidrelétricos participativos – Aneel e órgãos ambientais estaduais.
Compatibilizar a conservação ambiental e a geração de energia 	- 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

Por fornecerem energia renovável com baixíssimas emissões de gases de efeito estufa (GEE), as PCHs e CGHs podem se beneficiar de **instrumentos de mercado voltados à descarbonização.**

Suas características permitem a emissão de Certificados Internacionais de Energia Renovável (I-RECs), que convertem cada megawatt-hora (MWh) gerado em um ativo ambiental negociável e valorizado por empresas comprometidas com metas voluntárias de descarbonização (Instituto Totum, 2023). Dessa forma, os I-RECs constituem uma fonte adicional de receita que fortalece a viabilidade econômica desses empreendimentos e contribui para os esforços globais de mitigação das mudanças climáticas. O mercado brasileiro de I-RECs vem apresentando forte expansão. Entre 2022 e 2025, as negociações passaram de 21,8 milhões para cerca de 64,7 milhões de certificados (Instituto Totum, 2026), representando um crescimento de quase 200% no período. Esse dinamismo evidencia um mercado ativo, com demanda crescente por parte de empresas comprometidas com metas de sustentabilidade, descarbonização e consumo de energia renovável, indicando a existência de espaço para ampliação da emissão de I-RECs no Brasil.

Além dos I-RECs, a consolidação do mercado de carbono no Brasil reforça a conjuntura favorável à valorização de empreendimentos de baixa emissão, ao criar incentivos econômicos para a redução e mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Nesse contexto, a Lei n. 15.042/2024, instituiu o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), estabelecendo as bases para a comercialização de ativos relacionados à emissão, redução e remoção de GEE. Embora o sistema ainda enfrente desafios para sua regulamentação e implementação, sua consolidação poderá ampliar a valorização de atributos ambientais associados à geração renovável.

No âmbito do Plano Clima Mitigação – Plano Setorial de Energia, a ampliação, modernização e repotenciação do parque hidrelétrico configuram-se como alavancas prioritárias para descarbonização do setor energético brasileiro. A expansão da participação de fontes renováveis na matriz energética, incluindo PCHs e CGHs, é reconhecida como instrumento central na transição para uma economia de baixo carbono, consolidando um panorama favorável à implantação de tecnologias baixas em emissões de GEE.

Adicionalmente, aponta-se como oportunidade o **investimento em projetos que resultem em benefícios socioambientais** por meio de ações de conservação e recuperação ambiental. A implantação de PCHs e CGHs impulsiona ações de conservação e recuperação ambiental na região em que os empreendimentos estão inseridos, especialmente em nascentes, margens e cabeceiras de rios. Essas iniciativas podem ser associadas a programas que promovam a valorização econômica da conservação dos recursos naturais, como aqueles relacionados ao Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), bem como a receitas decorrentes do ICMS Ecológico. Destaca-se, ainda, que o monitoramento ambiental contínuo realizado por esses empreendimentos produz informações relevantes sobre a qualidade dos recursos hídricos, a fauna e a flora locais, favorecendo a implementação de medidas de conservação que contribuem para a proteção da biodiversidade, a manutenção dos serviços ecossistêmicos e os usos múltiplos dos recursos hídricos.

O Quadro 8 resume as principais oportunidades relacionadas à expansão de PCHs e CGHs no PDE 2036 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
Acesso a instrumentos de mercado voltados à descarbonização, com geração de receitas adicionais	- Crescente demanda por Certificados de Energia Renovável (REC) - Instituição do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE) pela Lei n. 15.042/2024. - Plano Setorial de Mitigação às Mudanças Climáticas no âmbito do Plano Clima 2024–2035.
Conservação e recuperação ambiental no entorno dos empreendimentos	- Crescente valorização dos serviços ecossistêmicos e da conservação dos recursos naturais. - Possível enquadramento em programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) e incentivos associados ao ICMS Ecológico.

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 5).

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 com base em informações da Aneel (Aneel, 2024). 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 esses 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 5 – Indicadores socioambientais da expansão de PCHs e CGHs

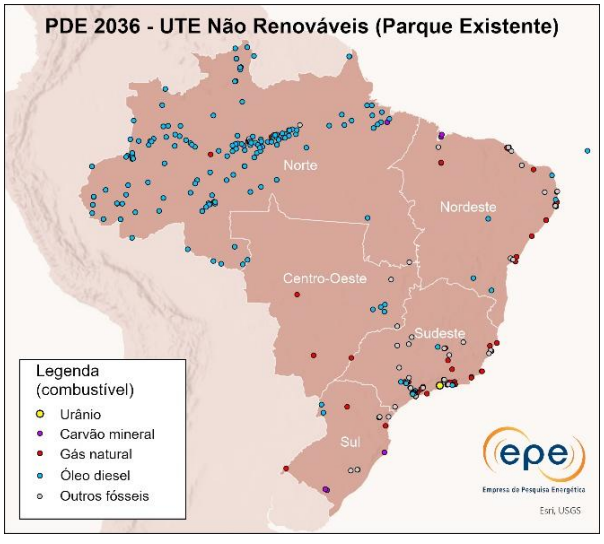
Indicadores Ambientais	
Área alagada (km²)	330
Área alagada por potência instalada (km²/MW)	0,07
Indicadores Socioeconômicos	
Empregos diretos gerados no pico das obras	93 mil
Empregos diretos gerados durante a operação (empregos/MW)	20

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, além de assegurar a continuidade do fornecimento em horários de pico de demanda elétrica.
- 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, possibilita a seleção de locais com menor sensibilidade socioambiental e conflitos 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 que contribuem para o dinamismo econômico da região e beneficiam a comunidade local como: **geração de empregos** diretos e indiretos, aumento da demanda por bens e serviços, aumento da arrecadação tributária e investimento em infraestrutura local.
- 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 atual de fonte não renovável



De acordo com o Sistema de Informações da Geração da Aneel (Aneel, 2026) a potência das usinas não renováveis outorgadas[30] em operação no país é de cerca de **19 GW para gás natural** (80 usinas), **3 GW para carvão mineral** (10 usinas), **2 GW para óleo diesel** (177 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. Essas usinas estão inseridas predominantemente nos sistemas isolados e em sua maioria possuem 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 cerca de **15 GW de novas usinas termelétricas de fontes não renováveis** (Figura 5). Na expansão de usinas novas contratadas estima-se a entrada de 13 GW de potência, distribuídos em 64 UTEs a gás natural (12 GW) e uma nuclear (1.405 MW). Já a expansão de

[30] Outorgas tipo autorização e concessão.

usinas novas indicativas contempla aproximadamente 1,4 GW de usinas a gás natural, sendo 285 MW no Sudeste/Centro-Oeste e 1,1 GW no Sul. A expansão contratada e indicativa abrange todas as regiões do país, com destaque para as maiores capacidades instaladas no Nordeste.

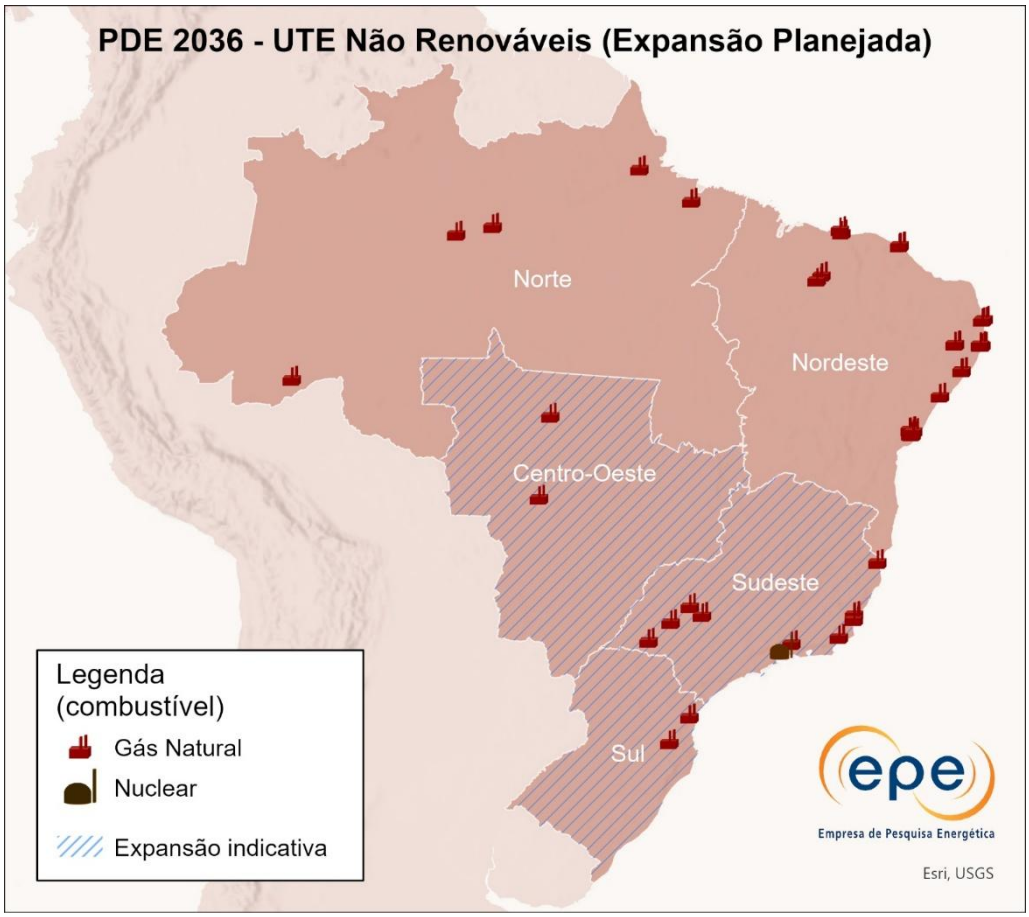


Figura 5 – Localização da expansão termelétrica de fontes não renováveis no PDE 2036

Adicionalmente, destaca-se que, ao longo do horizonte decenal, algumas usinas existentes podem sofrer alterações contratuais, e posteriormente retornar ao sistema. Cerca de 6 GW proveniente de usinas de fontes não renováveis já foram recontratadas nessas condições. Além disso, estima-se que mais 1 GW de usinas a gás natural existentes sejam recontratadas, compondo a expansão indicativa.

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

As principais interferências socioambientais de usinas termelétricas de fonte não renovável envolvem a emissão de poluentes atmosféricos e de GEE, alteração na disponibilidade de água e a geração de resíduos. Ainda que essas e outras interferências sejam mitigáveis, usualmente gerenciadas no âmbito dos projetos e no processo de 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 impactar negativamente a saúde pública. Dentre as medidas mitigadoras frequentemente adotadas 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 vigente[31] 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**

[31] Resoluções Conama n. 382/2006, n. 436/2011 e n. 491/2018.

foi considerado relevante para a região Sudeste, pois apesar do predomínio de usinas a gás natural, combustível menos poluente entre os fósseis, essas regiões apresentam grandes centros urbanos e industriais, com qualidade do ar já 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)[32], 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 e o histórico de criticidade hídrica, o tema **recursos hídricos** foi considerado relevante para a região 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 pelo Ibama quanto da CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear), responsável pelo licenciamento de segurança 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, serão armazenados em depósitos locais. Dessa forma, ainda que haja gerenciamento e fiscalização do armazenamento e disposição dos resíduos radioativos, o tema **resíduo** 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**. Esses temas estão sintetizados na Tabela 6, conforme metodologia empregada na análise socioambiental integrada do PDE.

Tabela 6 – Síntese da análise socioambiental das usinas termelétricas de fontes não renováveis do PDE 2036

	Norte	Nordeste	Sul	Sudeste	Centro-Oeste
UTEs fósseis	interferências inexpressivas	recursos hídricos	interferências inexpressivas	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

[32] *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 2036; 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	SE: expansão em regiões com qualidade do ar já afetada	- 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	SE e NE: magnitude da expansão em regiões com balanço hídrico desfavorável	- 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	- Acondicionamento e disposição das diferentes classes de resíduos radioativos segundo a 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.** Na expansão prevista de UTEs de fontes não renováveis observa-se o aumento e predomínio da participação do gás natural, o que já é favorável pelo fato de ser o combustível fóssil com menor emissão de GEE. Nesse sentido, o Programa Gás para Empregar é uma iniciativa relevante para promover ações que integrem o gás natural à estratégia nacional de transição energética (Brasil, 2023).

Ainda nesse contexto, os Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas, do Plano Clima 2024-2035, estabelecem diretrizes, objetivos e metas para atender as ambições e compromissos do país. Além disso, a implementação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), instituído pela Lei n. 15.042/2024, representa uma estratégia nacional relevante para promover a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e estimular inovações tecnológicas de baixo carbono.

Ressalta-se também que a Lei do Combustível do Futuro, Lei n. 14.993/2024, e o marco legal do hidrogênio de baixa emissão de carbono, Lei n. 14.948/2024, são iniciativas que promovem a utilização de combustíveis de baixo carbono. A regulação das atividades de hidrogênio, combustíveis sintéticos e captura e estocagem geológica de dióxido de carbono foi delegada à ANP, que já iniciou estudos e ações sobre o tema (ANP, 2024a e 2024b). Adicionalmente, o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten), sancionado pela Lei n. 15.103/2025, visa promover a geração e uso eficiente de energia de baixo carbono.

Para viabilizar a efetiva redução das emissões, é essencial que projetos considerem a adoção de tecnologias e medidas que aumentem a eficiência energética, a possibilidade de substituição completa ou parcial por combustíveis renováveis ou de baixa emissão, a implementação de tecnologias de captura e armazenamento e uso de carbono (CCS ou CCUS), e mecanismos de compensação das emissões. Dessa forma, será possível atender às exigências das políticas climáticas e mitigar possíveis riscos de conformidade e competitividade ao negócio.

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 apresentam criticidade hídrica. Segundo a ANA (2025), entre 2020 e 2024, a água retirada média anual por termelétricas passou de 80 m^3/s para 132,4 m^3/s, aumento de 65%. Ainda que o volume represente 6% do total de retiradas em 2024, é fundamental que se busque 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, reuso 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 favorecer 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 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 à 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 2036 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	- Plano Clima: Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas - Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE) - Lei do Combustível do Futuro - Marco legal do Hidrogênio - Programa Gás para Empregar	- O planejamento e execução de projetos devem considerar a adoção de medidas e tecnologias de mitigação das emissões
Redução da demanda de água		- Atentar sobre a disponibilidade hídrica na região de implantação do empreendimento. - Adotar medidas e tecnologias para a redução do consumo de água.
Aceitação da sociedade		- Implementar estratégias de comunicação para informar a sociedade sobre os benefícios socioambientais e as medidas de mitigação dos riscos.
Disposição final de resíduos radioativos	- O CNEN tem a incumbência legal de construir o Repositório Nacional de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação (RBMN). - A política brasileira sobre rejeitos de alta atividade é mantê-los em estoque.	- Informar a sociedade 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

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 e aumento do PIB nacional, além de segurança energética e alimentar.

Outra oportunidade reside na integração de combustíveis de baixo carbono aos ativos e infraestrutura termelétrica de fontes não renováveis, favorecendo a transição energética justa e inclusiva. Um exemplo é o biometano, que por ser intercambiável ao gás natural, pode ser injetado na infraestrutura de gás e queimado nas turbinas para geração elétrica. Como mencionado anteriormente, a Lei do Combustível do Futuro, o marco legal do hidrogênio de baixa emissão de carbono e o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten) representam mecanismos que favorecem o uso de combustíveis de baixo carbono.

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 relacionado ao carbono, tais como aumento da biodiversidade, redução de erosão, manutenção de recursos hídricos, geração de empregos, desenvolvimento da cadeia de bioeconomia, entre outros.

O Quadro 11 resume as principais oportunidades relacionadas à expansão termelétrica de fontes não renováveis no PDE 2036 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	- Programa Gás para Empregar, que busca ampliar disponibilidade de gás natural para os setores produtivos.
Favorecer a transição energética com a integração de combustíveis de baixo carbono aos ativos e infraestrutura	- Lei do Combustível do Futuro - Marco legal do Hidrogênio - Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten)
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 7).

O primeiro é relativo à média anual das emissões de gases de efeito estufa no Sistema Interligado Nacional no período de 2027-2036. O segundo reflete estimativa de captação e consumo de água em 2036. 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 7 - Indicadores socioambientais da expansão termelétrica de fontes não renováveis

Indicadores Ambientais	
Emissões de GEE no SIN (média anual, 2027-2036)	24 $MtCO_2eq$
Captação de água em 2036 (bilhões de L/ano) (1)	63
Consumo de água em 2036 (bilhões de L/ano) (1)	49
Indicadores Socioeconômicos	
Empregos diretos gerados no pico das obras (2)	30 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 das usinas em 60% do tempo; (ii) exclusão dos projetos que preveem 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).

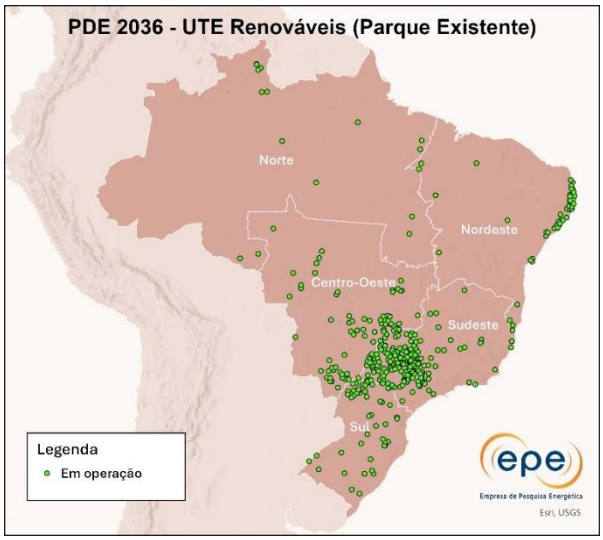
4.4 Termelétricas renováveis

Benefícios das termelétricas renováveis

- As UTEs renováveis contam com ampla **disponibilidade de recursos energéticos** em todas as regiões do país, inclusive próximo aos centros de carga e em sistemas isolados, o que garante **flexibilidade** na sua implantação.
- Permitem o aproveitamento de **resíduos como insumos energéticos**, contribuindo para a destinação adequada desses materiais e mitigando os impactos ambientais de uma disposição inadequada.
- A geração com bagaço de cana **otimiza o uso da infraestrutura existente**, aumenta a eficiência do processo e atua de forma complementar à geração hidrelétrica, especialmente no período seco.
- A variedade de substratos e combustíveis disponíveis confere **versatilidade** às UTEs, permitindo diferentes escalas de projeto e modelos de negócio para geração elétrica e energética.
- Contribuem para a **segurança energética** do sistema por possibilitarem geração contínua e geograficamente distribuída.
- Possuem potencial para **gerar emprego e renda** no interior do país, com destaque para zonas rurais e cadeias produtivas locais.
- Sendo fontes renováveis, apresentam **emissões muito baixas** ou nulas de gases de efeito estufa, favorecendo a transição para uma matriz energética de baixo carbono.

Parque termelétrico renovável atual

Atualmente no Brasil, a capacidade instalada de geração a partir de usinas termelétricas renováveis totaliza 17,6 GW (Aneel, 2026) e 416 usinas. 70% dessa capacidade utiliza o bagaço de cana-de-açúcar como combustível. Termelétricas a licor negro respondem por 21%. O restante é composto por: UTEs a biomassa florestal (7%), que incluem lenha, resíduos florestais, carvão vegetal e gás de alto forno; UTEs a biogás de 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 200 MW, distribuídos em 13 usinas. Aproximadamente 85% dessa capacidade (11 usinas) advém de resíduos sólidos urbanos (RSU). O restante das UTEs a biogás utiliza resíduos agrícolas.

As UTEs renováveis localizam-se majoritariamente 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 **4,4 GW**. Desse total, nos anos de 2027 a 2030, **589 MW já estão contratados** e distribuídos em 5 UTEs novas, porém 3 delas contam com 2 máquinas na mesma localização, totalizando 8 unidades. A expansão indicativa, que começa em 2030, é de **3.825 MW**, sendo 2.600 MW de UTEs a bagaço de cana, contemplando todas as regiões do país.

Os tipos de combustível utilizados nas UTEs contratadas estão discriminados na Tabela 8 .

Tabela 8 - UTEs renováveis contratadas (2027-2030) por tipo de combustível e potência

Combustível	Potência (MW)	Nº UTEs	Potência %
Licor negro	420	1	71%
Bagaço de cana	98	2	17%
Cavaco/resíduos florestais	50	1	9%
RSU	20	1	3%
Total	**588**	**5**	**100%**

As UTEs contratadas estão distribuídas nas regiões Sudeste: São Paulo (1); Nordeste: Bahia (1); Centro-Oeste: Goiás (1) e Mato Grosso do Sul (1); e Sul: Rio Grande do Sul (1). A Figura 6 apresenta a localização da expansão.



Figura 6 – Localização da expansão termelétrica renovável no PDE 2036

Adicionalmente, existem usinas em operação cujos contratos poderão ser renovados ao longo do horizonte decenal. Destacam-se os casos de conversão de combustível fóssil para biocombustível. Até o momento, 190 MW já foram recontratados. Além disso, estima-se a conversão de mais 2.019 MW para o uso de biocombustíveis, capacidade que comporá a expansão indicativa.

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 2036 não identificou a expansão de área para produção da biomassa com fins energéticos, estima-se que não ocorram conflitos pelo 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.

A **alteração da disponibilidade de água** 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 nas usinas a bagaço de cana, 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. 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 9 apresenta a síntese da análise socioambiental das termelétricas renováveis do PDE 2036. Como pode ser observado, as interferências dessa fonte foram consideradas inexpressivas no contexto das regiões onde está prevista a expansão.

Tabela 9 - Síntese da análise socioambiental das usinas termelétricas renováveis do PDE 2036

	Norte	Nordeste	Sul	Sudeste	Centro-Oeste
UTEs renováveis	☐ interferências inexpressivas	☐ interferências inexpressivas	☐ interferências inexpressivas	☐ interferências inexpressivas	☐ interferências 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, os desafios frequentemente 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 que não à toa representa a maior parte do montante de energia da expansão das termelétricas renováveis. No entanto, 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 ao reconhecimento dos benefícios associados ao aproveitamento dos resíduos e à melhoria da **gestão dos resíduos** sólidos urbanos e dos efluentes domésticos.

Reconhecer os benefícios socioambientais e econômicos do aproveitamento de resíduos é o ponto de partida para promover seu uso, incorporando o conceito de economia circular, e tornando os projetos atrativos e viáveis. O aproveitamento energético dos resíduos pode contribuir para a valorização de substratos que seriam descartados, podendo gerar impactos ambientais. Melhor gerenciamento ambiental urbano, com foco na coleta e na destinação final adequada dos resíduos favoreceria um aproveitamento energético mais eficiente, tanto por meio da recuperação energética 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. Em novembro de 2025, com o lançamento do Plano Nacional de Redução e Reciclagem de Resíduos Orgânicos (PLANARO), foi estabelecida a meta de valorizar 73,5% dos resíduos orgânicos urbanos (ROU) até 2050, com um objetivo intermediário de 31,6% até 2030. Este aprimoramento institucional pode impulsionar o uso de resíduos orgânicos para geração de energia.

Quanto ao tratamento de efluentes, 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 Básico[33] (Plansab), estão definidas ao menos duas estratégias voltadas para o aproveitamento energético do biogás, além de metas específicas para ampliar esse aproveitamento, assim como o tratamento e a recuperação energética dos rejeitos (MDR, 2019).

Outro desafio essencial a ser enfrentado para viabilizar o aproveitamento energético de resíduos é reconhecer seus benefícios energéticos, sociais e ambientais. As principais iniciativas nesse sentido são estruturais e partem da premissa de valorização de resíduos e da conservação ambiental. A Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA), instituída pela Lei n. 9.795/1999, promove a formação de conhecimentos, valores e atitudes voltados à conservação do meio ambiente e à sustentabilidade. A Estratégia Nacional de Economia Circular (ENEC), por sua vez, é a política do governo federal que busca transformar o modelo econômico linear em circular, promovendo o uso eficiente de recursos, a redução de resíduos e a regeneração ambiental.

De forma resumida, pode-se concluir que há necessidade de se superar importantes gargalos de infraestrutura existentes no país e de se promover uma gestão ambiental adequada, além de maior sensibilização sobre a relevância do tema. Além disso, a expansão energética a partir de resíduos é fortemente condicionada pela efetividade de políticas públicas e de controle ambiental. 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 os principais desafios relacionados à expansão termelétrica renovável no PDE 2036 e as iniciativas e recomendações associadas.

[33] 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 n. 8.141/2013, e pela Portaria Interministerial n° 571, de 05 de dezembro de 2013.

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

Desafio	Iniciativas	Recomendações
Melhorar a gestão dos resíduos	- Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) - Plano Nacional de Redução e Reciclagem de Resíduos Orgânicos (PLANARO) - Política Nacional de Saneamento Básico	- Maior comprometimento público e privado com o saneamento e a gestão de resíduos - Maior sensibilização ambiental sobre a problemática de resíduos - Maior compromisso dos agentes financeiros em facilitar o acesso à crédito
Reconhecer os benefícios do aproveitamento de resíduos	- Estratégia Nacional de Economia Circular (ENEC) - Política Nacional de Educação Ambiental	- Implantação da coleta seletiva e separação da fração orgânica dos resíduos

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.

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 utilização da fração orgânica dos RSU e de efluentes para geração de biogás pode ser considerada uma solução eficiente 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 – Planares[34] estima que 45% da composição gravimétrica dos RSU sejam de fração orgânica, que é quase toda encaminhada para aterros sanitários 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). Além disso, dependendo do substrato utilizado, haveria ainda a geração do digestato, um rico fertilizante, que poderia ser utilizado no setor agrícola brasileiro, que tem importado quantidades crescentes de fertilizantes (Brasil, 2025).

Atualmente, muitos projetos de geração a biogás em operação no país utiliza o gás metano captado em aterros sanitários para produção de energia. 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 na gestão de resíduos, de acordo com a PNRS. 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.

[34] 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.

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 nos processos também reduz a pegada de carbono dos produtos da indústria sucroalcooleira.

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.

Cabe citar ainda a importância e o ganho socioambiental do uso do digestato como adubo contribuindo para reduzir as emissões associadas à produção de fertilizantes fósseis, que hoje tem uso difundido no meio rural. De acordo com o 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. Além disso, esse aproveitamento estaria em linha com o Plano Nacional de Fertilizantes (PNF), estabelecido pelo Decreto n. 10.991/2022, *que estabelece algumas finalidades, tais como diminuir a dependência externa quanto ao fornecimento de fertilizantes nitrogenados, fosfáticos e potássicos, consideradas as oscilações de demanda e as inovações tecnológicas; e aumentar a produção e a oferta de fertilizantes orgânicos e organominerais.* Nesse sentido, o uso do digestato poderia ajudar a reduzir essa dependência externa 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 inclui projetos, compromissos, planos e outros dispositivos legais voltados para o assunto. Além da Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Lei n. 12.305/2010) e seus desdobramentos e do Novo Marco Legal do Saneamento (Lei n. 14.026/2020), vale destacar outros avanços no ambiente institucional, tais como o PLANARO, anteriormente citado.

O Plano ABC (Plano para Agricultura de Baixa Emissão de Carbono[35]) 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.

Recentemente, com o estabelecimento da Política Nacional de Transição Energética (PNTE), o Plano Nacional de Transição Energética (Plante) e o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten), objetiva-se direcionar esforços do governo e de outros atores para uma matriz energética mais sustentável, com baixa emissão de carbono, contribuindo para a neutralidade de emissões líquidas de gases de efeito estufa no país. O biogás e o biometano são mencionados como setores estratégicos no Paten.

[35] Lançado em 2010 visando ao cumprimento de metas climáticas assumidas pelo Brasil.

Em outra escala, destaca-se o Projeto GEF Biogás Brasil[36], que foi liderado pelo MCTI e teve o MME como parte do Comitê Diretor do Projeto. O Projeto, chamado Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira, busca promover e fortalecer a cadeia nacional de valor da tecnologia de biogás no Brasil (GEF Biogás Brasil, 2024).

Em relação à segunda oportunidade, 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 (PSM), no âmbito do Plano Clima 2024-2035, e o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa serão importantes para direcionar a implantação de medidas de redução de emissões de GEE. Dentre as alavancas prioritárias para descarbonização definidas no PSM Energia, constam ações que podem trazer oportunidades para a expansão de UTEs renováveis, caso da ação estruturante que busca fortalecer a produção de biomassa para uso energético (ENR.E.10).

A regulamentação de um mercado de carbono também se apresenta como um instrumento importante nessa temática, ao limitar a emissão de GEE[37] e promover a comercialização de ativos referentes a emissão, redução de emissão ou remoção de GEE. Nesse contexto, em 2024 foi instituído pela Lei n. 15.042, o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), que ainda conta com desafios para sua implementação e poderá beneficiar termelétricas renováveis.

Além disso, o uso de bioenergéticos possibilita arranjos tecnológicos interessantes, como o chamado Bioenergy with carbon capture and storage (BECCS), 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, o International Renewable Energy Certificate (I-REC), que são certificados que comprovam que a eletricidade consumida por uma empresa foi gerada a partir de fontes renováveis[38]. O processo envolve geradores de energia renovável, que vendem os certificados, e consumidores daquela energia – empresas ou indivíduos que compram os certificados –, que buscam diminuir sua pegada de carbono.

É importante ressaltar o contrato para gestão de recursos do Fundo Clima, gerido pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES.). As UTEs renováveis, sobretudo aquelas a partir do aproveitamento de resíduos, se encaixam em quase todos os critérios de priorização do Fundo Clima, ao combinarem mitigação e adaptação, aproveitamento de resíduos e economia circular, geração de energia renovável, produção de cobenefícios ambientais, sociais e econômicos e promoção de desenvolvimento regional. Dessa forma, contribuem diretamente para os objetivos de mitigação climática e transição energética promovidos pelo programa (BNDES, 2026).

Para finalizar, vale destacar o papel relevante que as UTE renováveis podem desempenhar para uma transição energética justa e inclusiva ao fortalecer a geração de eletricidade descentralizada e a partir de resíduos, especialmente no meio rural, onde resíduos orgânicos são abundantes. Nessa linha, o Instituto Escolhas (2020) defende o biogás como solução energética para a região Amazônica, principalmente para as cidades do interior e para as comunidades isoladas. Além disso, o biogás poderia ser um aliado ao cooperativismo no país, promovendo a melhoraria da qualidade da energia em diversas localidades rurais a partir de recursos que, caso não tratados, se tornam custo e passivo ambiental para os produtores rurais (CIBiogás, 2021).

[36] GEF significa Global Environment Facility (Fundo Global para o Meio Ambiente, em português), financiador do projeto.

[37] O mercado de carbono limita a emissão GEE ao estabelecer um teto máximo de emissões para empresas e indústrias. Empresas que ultrapassam esse limite devem comprar créditos de carbono de empresas que emitiram menos, incentivando assim a redução de emissões para evitar custos maiores.

[38] O Instituto Totum é o órgão emissor oficial dos I-RECs no Brasil, credenciado pela I-REC Standard Foundation. O Instituto audita e certifica usinas geradoras de energia renovável, valida e registra os dados na plataforma I-REC e emite os certificados.

O Quadro 13 resume as principais oportunidades relacionadas à expansão termelétrica renovável no PDE 2036 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 resíduos	- Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) - Marco do Saneamento Básico – Lei n. 14.026/2020 - PLANARO - Plano Nacional de Fertilizantes (PNF) - Plano ABC - Compromisso Global do Metano - Decreto n. 11.003/2022 - Estratégia Federal de Incentivo ao Uso Sustentável de Biogás e Biometano. - Política Nacional de Transição Energética (PNTE) - Plano Nacional de Transição Energética (Plante)
Instrumentos de descarbonização	- Plano Clima - BECCS - Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE) - Certificados de energia renovável (I-REC) - Fundo Clima

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 34.700 empregos diretos na construção de UTEs renováveis. A Tabela 10 apresenta os principais indicadores socioambientais da expansão de termelétricas renováveis.

Tabela 10 – Indicadores socioambientais da expansão termelétrica renovável

Indicadores Socioeconômicos	
Média de empregos diretos gerados na construção por potência (emprego/MW)	5,4
Total de empregos diretos gerados na construção	34.700

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 novos contratados e da expansão indicativa do horizonte decenal do PDE 2036.

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 elétrica[1].
- **Permite que os terrenos dos parques eólicos tenham outros usos**, tais como a agricultura e a pecuária.
- Gera **empregos diretos e indiretos**[2], especialmente durante a construção. Em estudo para a região Nordeste entre os anos de 2006 e 2019, estimou-se que a geração de empregos foi 26,8% maior em municípios com empreendimentos eólicos em comparação a municípios sem esses empreendimentos, principalmente nos setores de construção e indústria. O crescimento dos empregos, em termos relativos, foi maior para os de nível médio e superior, o que ilustra a contribuição do setor para a formação de capital humano[3].
- Em 2022, a implementação de parques eólicos gerou um aumento de 25% no PIB per capita nos municípios com parques em funcionamento no Brasil, mas o impacto foi maior (cerca de 29%) para municípios da região Nordeste[4]. Além disso, houve um incremento significativo, de cerca de 20%, no IDH-M (entre 2000 e 2010) nos municípios com parques eólicos em relação a municípios sem parques do mesmo estado, ou seja, **as condições de saúde, educação e renda são aprimoradas** na presença dos parques[5].
- 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. Sua contribuição para o Subsistema Nordeste é relevante; por exemplo, entre setembro e dezembro de 2024 foi maior que 90% da carga em pelo menos 40% do tempo e maior que 60% pelo menos em cerca de 75% do tempo[6].

[1]Para o ano de 2024, o montante de emissões evitadas com a geração de energia eólica no Brasil chegou a 40,2 milhões de toneladas de CO_2 (ABEEólica, 2025a).[2]Os empregos da cadeia eólica estão em sua maioria na região Nordeste e nessa região poderão alcançar, até 2034, 82% da manutenção e 61% 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, 2023). Também se observa aumento da massa salarial nos setores de construção, transporte e logística (Rodrigues *et al.*, 2019).[3]Botassio *et al.* (2022) [4]Sampaio *et al.* (2023).[5] GO Associados (2020).[6]ONS (2025).

Parque eólico atual

O Brasil dispõe de 1.136 parques eólicos em operação, distribuídos em 152 municípios, localizados predominantemente nas regiões Nordeste (91%) e Sul (8,7%) do país, totalizando 34.907 MW de potência instalada (Aneel, 2026). Na matriz elétrica brasileira, a eólica mantém o patamar de segunda maior fonte geradora de energia (EPE, 2026a).



Expansão eólica nos próximos 10 anos

A expansão eólica no PDE 2036 é relativa somente a projetos *onshore* e prevê-se a **inserção de 14.236 MW** adicionais de potência, havendo expansão contratada até o ano de 2028. Para o primeiro ciclo do horizonte decenal, está prevista a instalação de **5 novos parques eólicos e uma ampliação**, que adicionarão 236 MW ao sistema. Destaca-se que está prevista para a região Sul apenas a ampliação de um parque (Rio Grande do Sul), enquanto os novos parques previstos se localizam na região Nordeste (Rio Grande do Norte e Paraíba). Entre 2029 e 2036 está prevista ainda **expansão indicativa de 14.000 MW também no subsistema Nordeste**. A Figura 7 apresenta a localização dos parques eólicos contratados no horizonte decenal, assim como a representação da região com previsão da expansão indicativa.

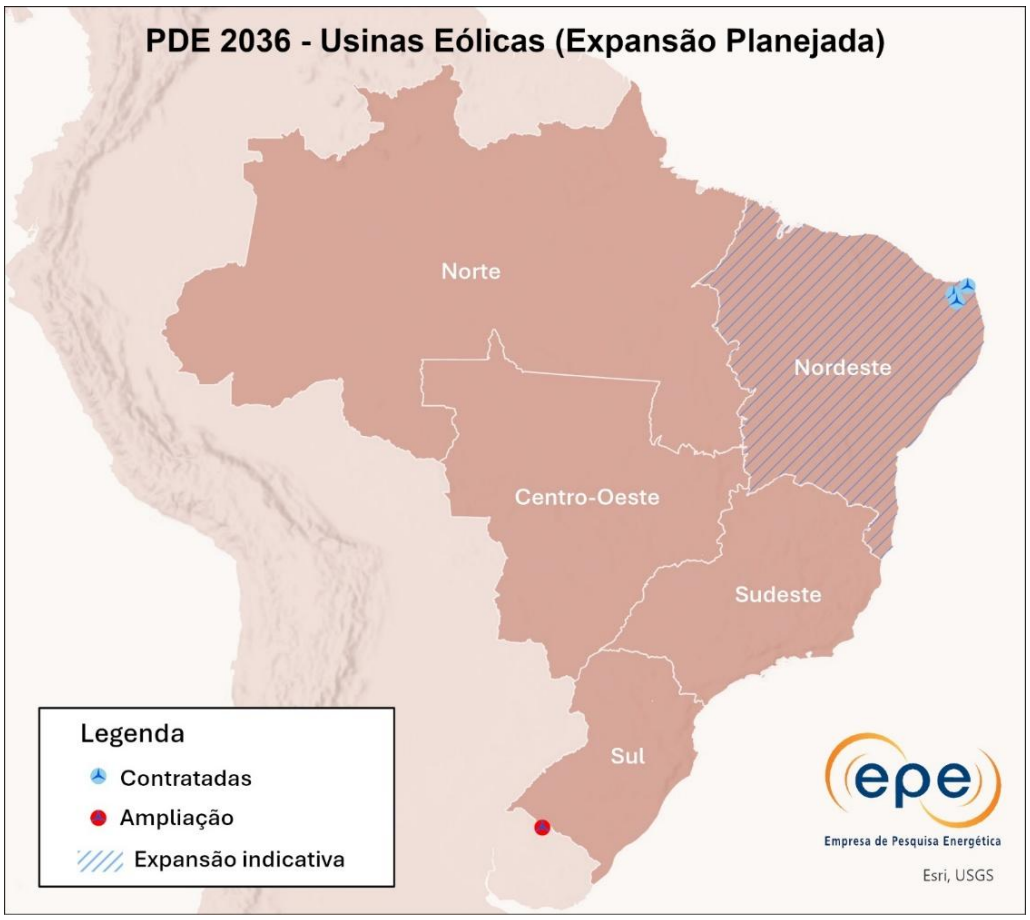


Figura 7 – Localização da expansão eólica no PDE 2036

Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão eólica

Apresentam-se a seguir as principais interferências associadas à fonte eólica e as medidas mitigadoras adotadas. O levantamento das medidas mitigadoras praticadas no Brasil foi realizado com base nas condicionantes de licenças ambientais emitidas por órgãos ambientais estaduais da região Nordeste para parques eólicos cadastrados nos leilões de energia em 2019, 2020, 2021 e 2022, uma vez que cinco dos seis parques previstos no horizonte decenal são para essa região, onde já está localizada a maioria dos parques existentes.

As interferências sobre aves e morcegos estão entre as principais preocupações ambientais associadas a parques eólicos. O ICMBio (2020), em suas orientações para avaliação e monitoramento de impactos de eólicas sobre esses grupos de organismos, recomendou evitar: (i) áreas de alta relevância ecológica (por exemplo, áreas úmidas e habitats críticos para espécies ameaçadas), (ii) elementos naturais da paisagem que potencializem impactos e risco de colisão (por exemplo, cumeadas e linhas de costa) e (iii) principais rotas migratórias de aves ou morcegos. O Instituto recomenda ainda o *micrositing* (posicionamento estratégico) de aerogeradores, vias de acesso e outros componentes do empreendimento, para evitar sítios sensíveis como abrigos, ninhais e dormitórios.

Já o Relatório de Áreas de Concentração de Aves Migratórias no Brasil (ICMBio, 2022) descreve os impactos diretos e indiretos sobre essas espécies e lista uma série de medidas mitigadoras para cada um desses impactos e por fase do empreendimento, reforçando que o planejamento da locação do parque e da disposição dos aerogeradores é fundamental para reduzi-los, especialmente com o aumento das dimensões dos aerogeradores. Alguns estudos testaram a pintura diferenciada de pás como medida mitigadora e encontraram redução na ocorrência de colisões (McIsaac, 2001; May et al., 2020); no entanto, há necessidade de realização de mais testes para demonstrar sua robustez. Os padrões de risco de colisão de aves com aerogeradores resultam de uma interação entre as características das espécies (Thaxter et al., 2017), do local e do parque eólico (Garvin et al., 2024) e, por isso, a melhor opção para mitigação deve envolver mais de uma medida (Marques et al., 2014). Ou seja, são necessários estudos locais para entender melhor os padrões e estabelecer medidas mitigatórias mais eficazes. Por exemplo (Falavigna et al., 2017) propuseram um índice de risco de colisão para a assembleia de aves que ocorrem na região de um complexo eólico no Sul do Brasil.

A incidência de morte de morcegos por barotrauma[39] ou colisão com as pás também é um impacto comumente relatado em parques eólicos, particularmente sobre as espécies migratórias e insetívoras, que capturam seu alimento durante o voo (BARROS, 2019; Agudelo et al., 2021). O desligamento das turbinas sob demanda (Voigt et al., 2022; Whitby et al., 2024), bem como evitar o funcionamento das turbinas a baixa velocidade (Conservation Evidence, 2020) são medidas mitigadoras que já se mostraram eficazes. No Brasil, têm sido utilizados equipamentos acústicos e sensores de ultrassom para detecção da presença de morcegos no entorno dos aerogeradores e subsídio a medidas mitigadoras (Vestas, 2022). (Voigt et al., 2024) ressaltaram 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. Pode-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 pela necessidade de abertura de estradas para acesso aos parques, 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. 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. Nas edições 2024 e 2025 do Brazil Windpower, foram apresentadas ações voluntárias desenvolvidas por empreendedores na região Nordeste que visaram à restauração socioecológica. Foram promovidas práticas direcionadas a recuperar o ambiente e, ao mesmo tempo, fortalecer as comunidades locais, por meio da sua participação na produção e plantio de mudas. A perda de habitat para espécies da fauna com a supressão da vegetação é abordada pelas condicionantes de licenças com propostas de planos de conservação direcionados a espécies raras, endêmicas, ameaçadas ou de interesse cultural (como Zenaida auriculata, avoante, no Nordeste).

Observa-se que a expansão eólica ocorrerá em locais predominantemente formados por vegetação xerófila típica da Caatinga, bioma rico em biodiversidade e ameaçado pelo desmatamento (MMA, 2024).

[39] Trauma interno devido à alteração de pressão causada pela rotação das lâminas dos aerogeradores.

Como parte dos parques eólicos existentes se sobrepõem a Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade (APCBs) na Caatinga, de muito alta e extremamente alta prioridades de ação (Neri et al., 2019), deve-se considerar essas áreas na alocação dos aerogeradores dos parques planejados, de forma a minimizar os efeitos cumulativos. Também em relação aos impactos de eólicas sobre a biodiversidade desse bioma, o Plano de Ação Nacional para Conservação das Aves da Caatinga (ICMBio, 2025) 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. Cabe destacar que em 2026 foi sancionada a Lei 15.430, que institui a Política Nacional para a Recuperação da Caatinga e cria o Programa Nacional para a Recuperação da Caatinga. Dentre os instrumentos da Política estão os Planos de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento da Caatinga e os Planos de Recuperação da Vegetação Nativa, nos âmbitos nacional e estadual.

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 se destaca a interferência **perda e alteração de hábitat.**

O guia para desenvolvedores de projetos eólicos e solares da União Internacional para a Conservação da Natureza – IUCN (Bennun et. al., 2021) propôs medidas mitigadoras de impactos sobre a biodiversidade para as fases de projeto (layout do parque), construção, operação e descomissionamento, indicando que a prevenção da instalação em locais de alta sensibilidade deve ser guiada por um planejamento territorial que, por sua vez, pode ser subsidiado por um processo de Avaliação Ambiental Estratégica (AAE). De maneira geral, a escolha da locação do parque e de seus componentes (turbinas, acessos etc.) foi indicada como medida mais efetiva na mitigação de impactos sobre a biodiversidade. De fato, na hierarquia da mitigação, as medidas preventivas são as mais eficazes. Segundo Sánchez (2020), "Evitar impactos requer adaptar o projeto às condições do ambiente, ao invés de adaptar o ambiente às necessidades do projeto".

Impactos sobre a paisagem são comumente descritos nos estudos ambientais de empreendimentos eólicos; no entanto, encontram-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** 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**, especialmente as comunidades integrantes de grupos sociais vulnerabilizados, como povos indígenas, quilombolas e povos e comunidades tradicionais. Dentre as situações que merecem destaque está a do impedimento do acesso e uso de áreas que, antes da implantação dos parques, eram utilizadas pelas comunidades para atividades econômicas, sociais e culturais.

No interior do Nordeste já havia conflitos antes da chegada dos parques eólicos, sobretudo com relação à disputa por terras e regularização fundiária. 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. Conforme o Relatório de Conflitos Socioambientais e Violações de Direitos Humanos em Comunidades Tradicionais Pesqueiras no Brasil (CPP, 2024), no Rio Grande do Norte, as comunidades passam, por vezes, por situações de ameaças e problemas psicológicos em decorrência dos conflitos e restrições de uso dos territórios a partir de empreendimentos não somente eólicos, mas também turísticos e de

especulação imobiliária. Na Paraíba, a mesma publicação identificou conflitos relativos à construção de portos e indústria naval, petrolífera e petroquímica e à privatização de áreas e territórios. Além desses, na Bahia também se observam conflitos relacionados à mineração. Portanto, uma vez que os conflitos sociais relacionados à fonte eólica são potencializados por outros conflitos pré-existentes e que há falta de acesso à informação qualificada, a gestão de conflitos e as estratégias de comunicação requerem atenção tanto do poder público quanto da iniciativa privada.

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. Cabe destacar que, além dos passivos socioambientais já sentidos pelas comunidades, observa-se insuficiência no acesso a informações qualificadas sobre a fonte eólica e uma variedade de problemas no licenciamento ambiental estadual, o que aumenta expectativas negativas em torno dos empreendimentos e do planejamento energético.

Devido a 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 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. Adicionalmente, são solicitadas ações de capacitação de mão-de-obra local, a 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 infraestrutura social dos municípios para lidar com a chegada dos novos projetos. Outras ações de responsabilidade social também são desenvolvidas por iniciativa das empresas. No Brazil Windpower 2025, foram apresentados projetos sociais adequados à realidade local, como o incentivo ao empreendedorismo (boleiras, plantação de batata, rendeiras, dentre outras), fornecimento de água potável (dessalinização) e a implantação de escolas de futebol e de música, além do acompanhamento da efetividade dos projetos por meio do monitoramento de indicadores.

A geração de ruído (durante as obras e na operação) e o sombreamento intermitente (também conhecido como efeito estroboscópico) 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 da evolução observada na tecnologia e *design* dos motores ao longo do tempo (Deshmukh et al, 2019). Com o atendimento à Resolução Conama n. 462/2014, tende-se a evitar ou minimizar essa interferência, posto que essa resolução estabelece e detalha os índices de ruído para empreendimentos instalados a menos de 400 metros de distância de residências. Ainda assim, o setor deve continuar buscando 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). Na edição de 2024 do Brazil Windpower, uma empresa apresentou sua experiência de reforma e reconstrução de residências nas proximidades de parques eólicos em Caetés/PE. As melhorias visavam ao conforto acústico e térmico e foram implementadas em resposta a reclamações de exposição a ruído e distúrbios do sono, em acordo com o Ministério Público, a Defensoria Pública e o órgão licenciador estadual (CPRH). Já na edição de 2025 do Brazil Windpower, outras duas empresas apresentaram ações de mitigação à poluição sonora. Uma delas, com base em mapas de ruído, alterou o layout do projeto em cinco versões, reduzindo o número de famílias impactadas de mais de 200 para 20. Outra empresa realizou diagnóstico das famílias do entorno para subsidiar a relocação por motivo de ruído e segurança, e procedeu à relocação e indenização de forma assistida, implementando programas sociais como quintais produtivos, construção de banheiros e cisternas, além de apoio na obtenção de documentos pessoais.

Visando ao contínuo aprimoramento tecnológico, 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). Durante o Brazil Windpower 2024, um membro da Comissão mencionou análises que estão sendo realizadas para subsidiar ações de mitigação do ruído, a saber: (i) estudo sobre as características dos diferentes comprimentos de onda sonora produzidos pelas turbinas; e (ii) avaliação da eventual adoção de normas IEC (Comissão Eletrotécnica Internacional). No Brazil Windpower 2025, representante da ABNT mencionou que em breve uma nova normativa sobre o assunto será colocada em consulta pública.

Um estudo de revisão recente (McKenna et al, 2025) confirma as tendências observadas sobre as principais interferências socioambientais associadas a parques eólicos e as respectivas medidas mitigadoras. Os principais impactos sobre a biodiversidade levantados foram colisões de aves e morcegos e alteração de hábitat de mamíferos terrestres e as medidas foram o desligamento sob demanda, a gestão da velocidade de desligamento e a pintura diferenciada das pás. Dentre os impactos socioeconômicos, foram destacados aqueles relacionados a questões fundiárias[40], impactos negativos ou positivos no turismo, interferência na paisagem, ruído e sombreamento intermitente. Entre as medidas mitigadoras, estão a demarcação de terras tradicionais, a criação de cobenefícios e o estabelecimento de processos participativos. Para todos esses impactos socioambientais foi destacado o planejamento espacial como importante forma de mitigação.

As principais questões ambientais associadas a projetos eólicos estão normatizadas pela Resolução Conama n. 462/2014, que estabelece a realização de EIA/Rima para parques eólicos localizados em ambientes sensíveis[41], de modo a orientar, de forma mais robusta, o dimensionamento dos impactos e, consequentemente, a proposição de medidas de controle, mitigação e compensação. A Resolução estabelece também que, para parques situados a pequena distância de residências isoladas ou comunidades, deve ser elaborado estudo de ruído. A Resolução encontra-se em revisão, com vistas à "*uniformização do conteúdo dos estudos ambientais e das exigências procedimentais entre os diferentes entes licenciadores (estaduais e federal)*". Dentre os objetivos específicos listados pelo Ibama para tal revisão, podem ser destacados: i. adequar o procedimento licenciador conforme porte do empreendimento, a relevância e a sensibilidade ambiental da área, e a população afetada pela instalação e operação; ii. prevenir a fragmentação de projetos, prática que visa simplificar artificialmente os trâmites regulatórios e que dificulta uma avaliação conjunta dos impactos cumulativos e sinérgicos; iii. exigência dos planos de descomissionamento desde a fase inicial do licenciamento; iv. novos protocolos para mitigação de impactos, incluindo estratégias para evitar colisões de aves e morcegos com aerogeradores; v. incentivar a avaliação de impactos cumulativos e sinérgicos; vi. fortalecer a visão integrada do impacto ambiental regional; e vii. melhorar a qualidade dos estudos ambientais (Conama, 2026).

Com o objetivo de avaliar a situação do licenciamento ambiental nos níveis estadual e federal, a EPE elaborou a nota técnica "Energias Eólica e Solar Fotovoltaica: Panorama da Legislação do Licenciamento Ambiental" (EPE, 2026b). As constatações da nota convergem com a análise do Ibama sobre as necessidades de aprimoramento para a energia eólica no âmbito da revisão da Resolução Conama. Para aperfeiçoar o licenciamento ambiental, os órgãos ambientais têm envidado esforços para melhorar processos (Aguiar, 2022; Wanderley, 2023), especificar procedimentos no âmbito do licenciamento ambiental de projetos eólicos (Pernambuco, 2024) e aprimorar práticas de gestão ambiental (SOARES, 2023). Durante o Brazil Windpower 2024 (Arena O&M), foram apresentados aprimoramentos nos processos de licenciamento ambiental dos estados: (i) Pernambuco estabeleceu enquadramento dos empreendimentos e determinou que a distância mínima para residências deverá ser definida pelos estudos de ruído e sombreamento intermitente (ver discussão a seguir); (ii) a Bahia criou comissão de acompanhamento dos empreendimentos, para promover o diálogo mais efetivo com as comunidades; e (iii) a Paraíba está trabalhando para instituir compensação socioambiental, revisando o *checklist* dos estudos necessá-

[40] Os autores citam, em nível internacional (o que não exclui o Brasil), a apropriação privada de terras públicas para garantir o acesso à produção de energia e, particularmente no caso brasileiro, questões relacionadas ao arrendamento de terras historicamente ocupadas por populações tradicionais.

[41] Nesses casos o licenciamento não poderá seguir o rito simplificado previsto na Resolução.

rios para o licenciamento e comparando com outros estados. Já no Brazil Windpower 2025, foram apresentados aprimoramentos adicionais: (iv) a Bahia tem evoluído na integração das diferentes políticas ambientais estaduais; (v) o Rio Grande do Norte realizou recentemente o primeiro concurso público para o órgão ambiental; e (vi) o Rio Grande do Sul afirmou que investe em processos bem instruídos e transparentes e em plano de carreira para os profissionais do órgão, o que, aliados a uma legislação clara e zoneamento consolidado, conferem robustez às licenças emitidas.

De acordo com a análise apresentada, três temas socioambientais foram considerados relevantes no contexto da expansão das eólicas neste PDE 2036, a saber: **biodiversidade, organização territorial e paisagem**. Esses temas estão sintetizados na Tabela 11, conforme metodologia empregada na análise socioambiental integrada do PDE.

Tabela 11 - Síntese da análise socioambiental das usinas eólicas do PDE 2036

	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Eólica	não há projetos planejados	 biodiversidade  org. territorial  paisagem	não há projetos planejados	não há projetos planejados	interferências inexpressivas

O Quadro 14 resume as principais interferências relacionadas à expansão eólica no PDE 2036, os temas socioambientais associados a essas interferências, conforme metodologia da análise socioambiental integrada, a justificativa pela inserção da interferência na região na qual estão previstos mais projetos e, por último, as medidas mitigadoras relacionadas às interferências listadas.

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	biodiversidade 	NE: interferência sobre a fauna e vegetação nativa	- Programas de Monitoramento - Programas de Recuperação de Áreas Degradas e de Reposição Florestal
Impacto 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 a recursos naturais. Conflitos com a comunidade local	- Comunicação social e educação ambiental - Manutenção de acessos pré-existentes - Programas socioambientais - Critérios para distanciamento dos empreendimentos de residências - Melhorias nas residências visando ao conforto acústico

Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão eólica

A Nota Técnica Análise Socioambiental das Fontes Energéticas do PDE 2034 (EPE, 2024) apresentou como um dos desafios à fonte eólica **compatibilizar a geração de energia com a conservação da biodiversidade.** Há preocupação com a conservação do bioma Caatinga (Overbeck et al., 2015; Teixeira et al., 2021) e com efeitos cumulativos sobre a fauna (Santos e Miller, 2018). É recomendável aprimorar os estudos no âmbito do licenciamento para que não se negligencie o atributo "cumulatividade" na avaliação de impacto ambiental (Espécie et al., 2018) e a elaboração de estudos regionais que avaliem as eventuais cumulatividades e sinergias entre os projetos.

Dentre as estratégias adotadas internacionalmente para evitar colisões de aves com aerogeradores, têm-se o mapeamento de sensibilidades para apoiar a alocação de novos parques e a mitigação de impactos dos parques existentes (Avistep, 2022; Gauld et al., 2022), além da instalação de sensores óticos (Bioseco, 2025) ou de radar para rastreamento de bandos de aves migratórias com paradas programadas dos aerogeradores (Strix, 2022; IdentiFlight, 2024). Também no contexto internacional, existem iniciativas para disponibilização de bases de referências bibliográficas, discussões, rede de colaboração entre especialistas e metanálises sobre efeitos ambientais de eólicas (Wren, 2025).

A necessidade de **aprimoramento do diálogo com a sociedade e gestão de conflitos** pode ser considerada outro desafio que se impõe ao setor. O item relativo à fonte eólica da Nota Técnica do PDE 2034 mencionou reportagens e relatórios dos últimos três anos que trouxeram à tona conflitos entre empreendimentos eólicos e comunidades locais, além de propostas para mitigá-los. Esses conflitos têm continuado e, em algumas regiões do País, movimentos sociais contrários à fonte reforçam impactos e expectativas negativas, principalmente de comunidades próximas a parques eólicos.

Pode ser destacado o relatório Salvaguardas Socioambientais para a Energia Renovável, elaborado 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: ordenamento territorial; informação, comunicação e participação das comunidades em todas as fases dos projetos; insatisfação com o licenciamento ambiental; preocupação com impactos ambientais e medidas mitigadoras; contratos de arrendamento mais justos; conformidade socioambiental dos projetos como condição para recebimento de outorgas pela Aneel; e prevenção e tratamento de casos de assédio e violência.

Outro documento que traz as preocupações das comunidades tradicionais com relação aos processos de implementação da fonte eólica no país é o "Conflitos Socioambientais e Violações de Direitos Humanos em Comunidades Tradicionais Pesqueiras no Brasil", publicado em 2024 pelo Conselho Pastoral dos Pescadores e Pescadoras – CPP. Segundo esse relatório, 10,2% dos conflitos com as comunidades pesqueiras no País são oriundos de projetos de usinas eólicas. Além disso, a interferência nos modos de vida de comunidades quilombolas e demais comunidades tradicionais exacerba os conflitos. Somada às restrições de acesso a áreas utilizadas pelas comunidades e impactos em suas atividades econômicas e sociais, a falta de infraestrutura de energia em suas localidades resulta em percepções negativas pelas comunidades (CPP, 2024). Por vezes, algumas comunidades são contestadas judicialmente em seus direitos de posse à terra, já que muitos não possuem documentos oficiais, apesar de lá habitarem há gerações.

Além do CPP, o Movimento dos Atingidos pelas Renováveis – MAR, criado em 2023, também pondera questões que evidenciam as preocupações com os efeitos da energia eólica sobre as populações locais. Recentemente foi realizado o 1º Encontro do Movimento dos Atingidos pelas Renováveis, em Lagoa Seca, na Paraíba, que contou com a presença de representantes de comunidades tradicionais – quilombolas, indígenas, pescadoras e pescadores artesanais, extrativistas – e organizações sociais, pesquisadores, sindicatos e pastorais dos nove estados do Nordeste (Brasil de Fato, 2025). O objetivo do encontro foi "denunciar as violações causadas pelo atual modelo de expansão das energias renováveis, que impactam a vida nas comunidades, provocando degradação ambiental, doenças causadas pelo ruído das torres eólicas – como a chamada síndrome da turbina eólica – e até a saída das pessoas dos territórios." A pauta do MAR demanda que a política energética nacional seja inclusiva, "respeitando o meio ambiente e as pessoas que vivem nos territórios". Um dos entendimentos do movimento é o de que as energias renováveis, apesar de serem conhecidas como energia limpa, trazem impactos socioambientais que não devem ser desconsiderados e carecem de uma ampla estratégia de participação social desde as etapas de planejamento dos projetos.

Outra iniciativa é o estudo "Direitos Humanos nos Setores Eólico e Solar no Brasil" (SDH Consultoria; Nordeste Potência, 2026), que recomenda que um maior número de empresas responsáveis pelos empreendimentos realize a devida diligência em direitos humanos. O estudo também indica a importância de que empresas e governos promovam a transparência de seus processos e a busca por diálogo com a sociedade.

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, o Governo Federal estabeleceu Mesa de Diálogo e promoveu discussões e oficinas interinstitucionais em busca de aprimoramentos nas políticas públicas.

O setor eólico, por sua vez, lançou seu Guia de Boas Práticas Socioambientais para o Setor Eólico (Gaja e Abeeólica 2024). O guia parte de algumas premissas para indicar as recomendações para cada questão levantada, a saber: i. para boas práticas sociais: mapeamento de oportunidades e fragilidades, melhores fluxos e ferramentas de comunicação social e 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 (desenvolvimento, implantação, operação e descomissionamento).

Ao observar as boas práticas indicadas, conclui-se que, caso 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.

Segundo o Global Wind Report (GWEC, 2025), dentre os cinco desafios que se impõem à energia eólica está "aceitação social e desinformação". A aceitação social, segundo o relatório, é frequentemente moldada por uma combinação de preocupações reais sobre uso da terra, impactos ambientais, engajamento, envolvimento e benefícios para a comunidade, bem como desinformação, que distorce fatos e pode levar à oposição direta. Para combater a desinformação, o GWEC recomenda esforços e estratégicas diversificadas, como: engajamento proativo das comunidades, fortalecimento da transparência no planejamento do projeto, contraposição à desinformação com fatos e formação de coalisões contra a desinformação (colaboração com líderes locais, jornalistas e organizações não governamentais). No relatório de 2026 (GWEC, 2026), a aceitação social aparece novamente como um dos desafios para os próximos cinco anos. Segundo a GWEC, a aceitação social e a durabilidade política moldam a velocidade, o custo e a estabilidade do desenvolvimento desse setor em longo prazo.

Visando investigar fatores que influenciam a aceitação social de parques eólicos, foi realizado na Irlanda um estudo no qual foram feitas e analisadas entrevistas com 1.109 moradores que vivem a menos de 10 km de parques eólicos naquele país. Os resultados da pesquisa e recomendações concernentes foram consolidados num artigo (Le Maitre et al., 2024) que destaca que a aceitação a longo prazo depende da confiança nas informações fornecidas pelo desenvolvedor no momento em que um novo parque eólico é proposto. Os desenvolvedores devem compreender e abordar as preocupações dos moradores locais como ponto de partida nos procedimentos de desenvolvimento do parque, tendo em vista que o primeiro contato com a comunidade local pode determinar atitudes duradouras em relação ao parque eólico. Segundo o artigo, são necessários esforços para construir relações de trabalho entre os desenvolvedores e as partes interessadas locais muitas vezes ao longo de um período mais longo e além de campanhas pontuais de compensação e comunicação.

A aceitação social dos parques eólicos no Brasil 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 transparência no processo de implantação do empreendimento (Brannstrom et al, 2022).

No que diz respeito ao tema da Consulta Livre, Prévia e Informada – CLPI nos moldes da Convenção 169 da Organização Internacional do Trabalho – OIT, algumas iniciativas buscam determinar procedimen-

tos para sua operacionalização. Esse é o caso do Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte (Idema/RN), que criou instrumentos e equipes específicas para o tratamento do tema no licenciamento ambiental de escopo estadual (IDEMA, 2024a). O órgão publicou, inclusive, cartilha com orientações para a realização da CLPI (IDEMA, 2024b). Apesar dessas iniciativas, permanece a falta de regulamentação dos procedimentos de consulta e uma série de interpretações divergentes por parte do Estado brasileiro, organizações da sociedade civil e setor produtivo.

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. Para lidar com essa questão, 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 subsidiar medidas mitigadoras ou compensatórias, de modo a **minimizar efeitos cumulativos sobre a paisagem**.

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, são os aterros sanitários (EPE, 2021). Diante desse desafio, grandes fabricantes de turbinas têm investido no aprimoramento da reciclagem das pás (Iberdrola, 2023; Goldwind, 2025), na fabricação de pás recicláveis (Mingyang, 2023; Siemens-Gamesa, 2025) e em estratégia de descarte zero (Vestas, 2020). Iniciativas realizadas no Brasil são a destinação de pás para coprocessamento na indústria de cimento (informação verbal)[42], testes químicos para a reciclagem do núcleo estrutural das pás (Lucena, 2023), testes para reaproveitamento na produção de tijolos[43]) e substituição somente da raiz (trecho inicial da pá) danificada (Canal Energia, 2026).

Outro desafio que se apresenta é o de **capacitar a mão de obra local para que possa ocupar funções mais especializadas na cadeia eólica**. 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, 2025a e b). Observam-se também programas de ensino, pesquisa e extensão em universidades locais. Além disso, tem sido crescente o reconhecimento da importância da inclusão de mulheres no setor de energia por meio de programas de treinamento e mentoria em liderança feminina nas empresas.

Por último, vale ressaltar o desafio de **adaptação da infraestrutura de geração eólica às mudanças climáticas**. No âmbito do conjunto de estudos denominado Roadmap para Fortalecimento da Resiliência do Setor Elétrico em Resposta às Mudanças Climáticas, a EPE publicou o *fact sheet* Geração Eólica e Mudanças Climáticas, que apresenta um diagnóstico com relação ao tema, e aponta algumas possíveis medidas de adaptação e mitigação (EPE, 2025b). Com relação às tendências para o clima no Brasil, a publicação apresentou resultados das projeções realizadas pelo IPCC para vento na superfície, assim como para aumento da temperatura. Também foram trazidas conclusões do Plano Clima[44] apontando para aumento dos ventos severos nas regiões Nordeste e Sul, onde se encontram os parques eólicos brasileiros.

Como possíveis alterações advindas das mudanças climáticas e possíveis impactos resultantes na geração eólica, foram elencados na referida publicação da EPE, entre outros: (i) alteração nos padrões de ventos, podendo provocar: aumento ou diminuição da geração; desligamento de aerogeradores a partir de velocidades limite (máxima e mínima); e danos às estruturas; (ii) aumento da temperatura, podendo causar redução da eficiência dos aerogeradores e equipamentos e desligamento dos equipamentos em temperaturas extremamente altas; e (iii) aumento da frequência e duração das secas, com possível redução da eficiência dos aerogeradores e deposição de poeira nas hélices devido à baixa umidade do ar.

[42] Fornecida por Ômega Geração, em 18 out. 2023.
[43] Fonte: Juliana Lucena. Participação no painel "Reciclagem de componentes eólicos". Brazil Windpower 2024.
[44] O Plano Clima é o instrumento da Política Nacional de Mudança do Clima que traz a estratégia da política climática brasileira (https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/smc/plano-clima).

Como possíveis medidas de adaptação e mitigação, o *fact sheet* da EPE listou, entre outras: investir em tecnologias para monitoramento e previsão de eventos climáticos extremos; fomentar pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias e materiais; aprimorar mecanismos de controle das turbinas para rápida resposta a mudanças de vento; considerar os impactos das mudanças climáticas nas projeções para o recurso eólico nos estudos de planejamento; considerar condições climáticas extremas no dimensionamento e nos materiais dos aerogeradores; e promover a elaboração de planos de adaptação e emergência para eventos extremos.

Uma iniciativa estratégica que pode ser mencionada é o lançamento da plataforma Ventos da Transformação (ABEeólica, 2025b). A plataforma tem por objetivo apresentar iniciativas desenvolvidas por empresas associadas em prol das comunidades vizinhas a parques eólicos e está organizada em quatro eixos: Educação e Cultura, Saúde, Geração de Renda, Infraestrutura e Conservação Ambiental.

O Quadro 15 resume os principais desafios relacionados à expansão eólica no PDE 2036 e as iniciativas e recomendações associadas.

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

Desafio	Iniciativas	Recomendações
Compatibilização da 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
Aprimoramento do diálogo com a sociedade e gestão de conflitos	- Mesa de Diálogo e Oficina Institucional (Governo Federal) - Guia de Boas Práticas Socioambientais para o Setor Eólico (ABEEólica) - Estudo "Direitos humanos nos setores eólico e solar no Brasil" (SDH Consultoria e Nordeste Potência)	- 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
Minimização dos efeitos cumulativos sobre a paisagem		- 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	- Grandes fabricantes de turbinas têm investido no aprimoramento da reciclagem das pás, na fabricação de pás recicláveis e em estratégia de descarte zero - Aproveitamento dos resíduos das pás na indústria de cimento	
Capacitação da mão de obra local para que possa ocupar funções mais especializadas	- Iniciativas de capacitação do Senai - Treinamentos e programas de mentoria em liderança feminina nas empresas de energia - Programas de ensino, pesquisa e extensão em universidades locais	
Adaptação da infraestrutura de geração eólica às mudanças climáticas		- Investir em pesquisa e inovação; aprimorar mecanismos de controle das turbinas para rápida resposta a

Desafio	Iniciativas	Recomendações
		mudanças de vento; considerar os impactos das mudanças climáticas nos estudos de planejamento; considerar condições climáticas extremas no dimensionamento e materiais dos aerogeradores

Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão eólica

Vislumbram-se quatro oportunidades socioambientais associadas à expansão eólica prevista para o decênio: **geração de empregos na gestão de resíduos, emissão de certificados de energia renovável, mercado de créditos de carbono** 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**.

O fato de a geração eólica não emitir gases de efeito estufa na operação a habilita a participar de mecanismos financeiros que permitem o reconhecimento desse benefício. A **emissão de certificados de energia renovável** é um desses mecanismos. O I-REC (International Renewable Energy Certificate) é um certificado que comprova que a eletricidade consumida por uma empresa foi gerada a partir de fontes renováveis, como a solar, eólica ou hidrelétrica[45]. O processo envolve geradores de energia renovável, que vendem os certificados, e consumidores daquela energia – empresas ou indivíduos que compram os certificados –, que buscam diminuir sua pegada de carbono.

O Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), instituído pela Lei n. 15.042/2024, estabelece o **mercado regulado de créditos de carbono** no Brasil. Tal sistema prevê a emissão de Certificados de Redução ou Remoção Verificada de Emissões (CRVEs) que serão gerados por projetos que seguirão metodologias credenciadas e passarão pelo registro do SBCE, podendo beneficiar os projetos de energias renováveis. Os CRVEs contribuirão para o cumprimento da NDC[46] do país, mas também poderão ser vendidos para o cumprimento da NDC de outros países, por meio da conversão em ITMOs[47]. Dessa forma, além do benefício da geração renovável não ficar restrita ao Brasil, ele poderá gerar uma oportunidade de retorno financeiro adicional para os projetos por meio da venda de créditos, tanto no Brasil quanto no exterior.

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).

O Quadro 16 resume as principais oportunidades relacionadas à expansão eólica no PDE 2036 e à conjuntura favorável para aproveitar as oportunidades identificadas.

[45] O Instituto Totum é o órgão emissor oficial dos I-RECs no Brasil, credenciado pela I-REC Standard Foundation. O Instituto audita e certifica usinas geradoras de energia renovável, válida e registra os dados na plataforma I-REC e emite os certificados.
[46] Contribuição Nacionalmente Determinada para a redução de emissões de gases de efeito estufa, no âmbito do Acordo de Paris.
[47] ITMO: Resultado de Mitigação Transferido Internacionalmente (do inglês, Internationally Transferred Mitigation Outcome).

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	- 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	- Sistema de emissão de certificados de energia renovável (RECs)
Mercado de créditos de carbono	- Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa, regulamentado pela Lei n. 15.042/2024
Programas de reflorestamento integrados entre empreendimentos na mesma região	- Resolução Conama n. 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 ambientais 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 12). Para a área ocupada, foi utilizado o cálculo proposto por GO Associados (2020): [0,064 x (potência instalada x 8,3)] hectares, para aerogeradores com 1,5 MW de potência ou valor superior.

Quanto à interferência em áreas legalmente protegidas, não há previsão de que algum dos seis parques eólicos se sobreponha a Unidades de Conservação (UC), Terras Indígenas (TI) ou Terras Quilombolas (TQ). Além disso, não há previsão de interferências em 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 93,5 mil empregos diretos no horizonte decenal. Os indicadores socioambientais estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Indicadores socioambientais da expansão eólica

Indicadores Ambientais	
Área total dos parques eólicos (km^2)	75,8
Número de parques eólicos com interferência em UC de uso sustentável*	Nenhum dentre os 6 parques eólicos
Número de parques eólicos com interferência em UC de proteção integral*	Nenhum dentre os 6 parques eólicos
Indicadores Socioeconômicos	
Número de parques eólicos com interferência direta em TI ou TQ ou Projetos de Assentamento*	Nenhum dentre os 6 parques eólicos
Empregos diretos (empregados/MW)	6,57

Empregos diretos gerados na construção	93,5 mil

Nota: *Indicadores referentes aos parques que compõem a expansão contratada, calculados com base em: Eletrobras (2011), MMA (2026), Funai (2026) e Incra (2026).

BOX 1 – EÓLICA OFFSHORE

Neste PDE 2036, mais uma vez, a fonte eólica offshore foi candidata à expansão da matriz elétrica, mas não foi selecionada devido aos seus custos ainda elevados. Sabe-se que o potencial eólico no mar brasileiro é alto, com estimativas que variam de cerca de 700 GW (EPE, 2020) a 1.200 GW (DNV e Banco Mundial, 2024).

A regulamentação da fonte continua evoluindo, podendo ser citada a publicação recente da Resolução CNPE nº 1 de 2026, que estabelece diretrizes para o cumprimento da Lei n. 15.097, de 10 de janeiro de 2025, e determina a adoção das medidas necessárias à regulamentação do aproveitamento de geração de energia elétrica offshore.

Para contribuir com o planejamento da fonte, a EPE elaborou a Metodologia de seleção de áreas, disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/nota-tecnica-metodologia-para-selecao-de-areas-para-oferta-para-a-geracao-eolica-offshore

Também nesse sentido, um acordo de cooperação técnica firmado entre o MME e o Banco Mundial tem resultado na elaboração de estudos fundamentais para apoiar o desenvolvimento sustentável. Sob supervisão técnica do MME e da EPE, o Estudo de Engajamento de Partes Interessadas no Desenvolvimento da Eólica Offshore no Brasil foi submetido a consulta pública, após a realização do webinar de lançamento (assista em https://www.youtube.com/watch?v=w9F2t6veVBw&t=5s). Além desse estudo, no âmbito do mesmo acordo de cooperação, está sendo elaborado o Mapeamento de Sensibilidades Ambientais e Socioeconômicas à Eólica Offshore, que subsidiará a seleção de áreas para futura oferta e cessão para empreendimentos eólicos offshore.

4.6 Usinas Fotovoltaicas

Benefícios das usinas 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 obtenção de combustíveis, não sendo necessário o gerenciamento de recursos energéticos (podem ser escassos).
- A **flexibilidade locacional e a facilidade de construção** permitem a seleção de áreas com menor sensibilidade socioambiental, como locais antropizados ou degradados e áreas com menor custo fundiário.
- Utilizam **tecnologia modular**, sendo possível a construção de usinas com arranjos diferenciados, como por exemplo instalações flutuantes ou híbridas (fotovoltaicas com eólicas, térmicas ou 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 e sistemas de armazenamento de energia, reduzindo emissões e outros impactos socioambientais relacionados à logística de combustíveis.
- Não emitem gases de efeito estufa (GEE) nem poluentes atmosféricos em sua operação. Embora haja emissões associadas à fabricação, a tecnologia solar é considerada uma das principais soluções para a **redução de emissões no setor elétrico**, especialmente quando comparada às fontes de energia não renováveis.
- 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 594 Usinas Fotovoltaicas (UFVs)[48] totalizando cerca de **22 GW de potência outorgada.**



A maior parte das UFVs existentes (cerca de 53%) situa-se na região Nordeste do país, sendo a região Sudeste a segunda com maior concentração (45%, aproximadamente). Cabe destaque a grande quantidade (211) de empreendimentos localizados em Minas Gerais, estado que contempla cerca de 40% da potência nacional. Nas regiões Centro-Oeste, Norte e Sul, são observadas 10, 4 e 2 UFVs, respectivamente.

De acordo com o MapBiomas (2025), instalações de médio a grande porte de energia fotovoltaica representavam uma área de 822 hectares ocupados em 2016 no país e em 2024 essa área já era de 35,3 mil hectares (aproximadamente 1/3 da área do município do Rio de Janeiro). Quase dois terços (62%, ou 21,8 mil hectares) estão na Caatinga, cerca de um terço (32%, ou 11,2 mil hectares) no Cerrado, e 6% (2,1 mil hectares) na Mata Atlântica. É importante destacar que esses valores contemplam os ambientes de

[48] 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, 2026), consultada em 01/05/26. No mapa são representadas apenas UFVs com coordenadas válidas na base.

contratação livre e regulado, enquanto as análises e indicadores ora apresentados consideram somente o ambiente de contratação regulado.

Expansão fotovoltaica de geração centralizada nos próximos 10 anos

Para este decênio é previsto incremento (em capacidade instalada) de **9.487 MW de usinas fotovoltaicas**. Na expansão contratada em 2027 prevê-se a entrada de cerca de **987 MW** de potência, distribuídos em **24** empreendimentos. Já para a expansão indicativa (2029-2036), estão previstos **8.500 MW**, com usinas localizadas no subsistema Sudeste/Centro-Oeste.

As unidades previstas para a primeira metade do decênio (UFVs contratadas) estão localizadas principalmente no Nordeste do Brasil, enquanto o restante situa-se no Centro-Oeste e Sudeste (Figura 8). Em relação à potência incremental prevista para as usinas contratadas, o Nordeste responde por cerca de 70%. Os empreendimentos localizam-se majoritariamente na região do semiárido brasileiro (cerca de 80% 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 31 mil habitantes[49], sendo que as instalações se situam no meio rural, geralmente próximas a cidades de pequeno porte.



Figura 8 – Localização da expansão fotovoltaica no PDE 2036

Principais interferências, medidas mitigadoras e temas socioambientais da expansão 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 diferentes magnitudes, dependendo da sensibilidade da região de implantação e por isso vale destacar os aspectos socioambientais mais relevantes associados aos novos empreendimentos.

[49] Valor calculado a partir de dados disponibilizados no portal IBGE Cidades (IBGE, 2026). Não considera uma UFV localizada na capital Campo Grande (MS).

A **perda de biodiversidade** é considerada tema relevante para a expansão da fonte na região Nordeste (Tabela 13), conforme metodologia empregada na análise socioambiental integrada do PDE 2036. Em comparação com outras fontes, as usinas fotovoltaicas possuem a maior relação área ocupada/MW, de forma que são necessárias extensas áreas para produção centralizada de energia elétrica. Com base em informações de estudos ambientais de UFVs contratadas em leilões já realizados, observa-se que os projetos das usinas no Nordeste frequentemente estavam sobrepostos a remanescentes de vegetação nativa de Caatinga[50]. É possível visualizar, por meio de imagens de satélite, o desmatamento ocasionado por usinas já instaladas neste bioma. A Caatinga passou por avançado processo de desmatamento (Letras Ambientais, 2019), e de acordo com a abordagem do Plano de Ação Brasileiro de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAB-Brasil)[51] 7,8% de sua área está em processo de degradação, sendo que menos de 3% de seu território é delimitado por unidades de conservação do grupo de Proteção Integral (CNUC, 2024).

Um estudo recente publicado pelo MapBiomas em 2025, que identificou a área ocupada por usinas fotovoltaicas no país, indicou que quase metade da área convertida para usinas fotovoltaicas era ocupada por vegetação nativa com formações savânicas[52].

A atração locacional para áreas com vegetação nativa pode ser parcialmente atribuída a um menor custo de arrendamento ou venda desses terrenos. Um estudo recente analisou Autorizações de Supressão de Vegetação (ASV) concedidas pelo órgão ambiental do Ceará e identificou o desmatamento de aproximadamente 2 mil hectares para a implantação de 27 usinas fotovoltaicas, revelando a necessidade de uma avaliação mais criteriosa da expansão da fonte (Ferreira et al., 2024).

Recentemente, identificou-se a judicialização de um processo de licenciamento no Nordeste, com a solicitação da suspensão das Licenças de Instalação (LI) e das ASV concedidas pelo órgão ambiental. Ambas visavam à implementação de empreendimento de produção de energia eólica e solar, e a judicialização ocorreu com a justificativa de que haveria a promoção de desmatamento de vegetação nativa em grande escala, assim como ameaças a espécies críticas da fauna e da flora raras e endêmicas. Tal fato reforça a necessidade de atenção às interferências sobre a biodiversidade.

A biodiversidade também pode ser afetada pela perda e fragmentação de habitats e, ainda, pelo uso de herbicidas[53], quando estes são aplicados no solo para impossibilitar eventual interferência da vegetação rasteira sobre os painéis. A remoção expressiva de vegetação nativa, conforme já verificado na instalação de algumas UFVs, pode agravar essa dinâmica. De acordo com Hamed & Alshare (2022), produtos químicos como herbicidas, supressores de poeira e inibidores de ferrugem, comumente utilizados durante a operação, podem contaminar o solo e a água, gerando consequências negativas para a biodiversidade local e regional, além de impactos sobre as comunidades do entorno.

Outro aspecto da supressão de vegetação na caatinga é sua relação com a retração da superfície de água observada nas últimas décadas, o que agrava a situação da seca na região (MapBiomas, 2025a).

Tabela 13 – Síntese da análise socioambiental das usinas fotovoltaicas do PDE 2036

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

[50] Fato 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).

[51] O PAB-Brasil 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), Fundação Apolônio Sales, apoio da Fundação Joaquim Nabuco (Fundaj), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e do Instituto Nacional do Semiárido.

[52] Esta formação se caracteriza pela vegetação com espécies arbóreas distribuídas de forma mais esparsa e em meio à vegetação herbácea-arbustiva contínua, sendo a segunda classe de floresta natural mais representativa em área no Brasil (MapBiomas, 2026).

[53] Já 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.

Para evitar ou minimizar esses impactos, deve-se priorizar a utilização de áreas já antropizadas (inclusive levando-se em conta impactos da 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 restauração, conservação e manutenção de reservas legais e Áreas de Preservação Permanente (APPs), preferencialmente mantendo conectividade entre os fragmentos de vegetação. Durante a fase de construção das usinas, podem ser feitos ajustes no 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 ou recomposição da vegetação após o descomissionamento das usinas.

A segunda interferência diz respeito à **geração e destinação correta de resíduos**. Os painéis fotovoltaicos, embora não sejam tóxicos durante a operação, contêm materiais e metais raros que exigem manejo cuidadoso ao final de sua vida útil, ao mesmo tempo em que oferecem uma oportunidade para a recuperação de materiais escassos (Quasar, 2025). Os painéis fotovoltaicos atualmente são projetados para durar cerca de 30 anos (Irena, 2016). Porém, o descarte 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, eventos climáticos, como chuva e vento extremos, além de substituição por equipamentos mais eficientes.

No Brasil, um artigo focado na 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). Mundialmente, pouca atenção tem sido dada aos potenciais impactos socioambientais causados pelo 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.

As ações de mitigação dependem do arcabouço legal e da infraestrutura relacionados à gestão de resíduos. No Brasil ainda enfrentamos fragilidades na implementação das diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, em especial nas regiões Norte e Nordeste, que possuem maior vulnerabilidade na governança de resíduos (Jornal da USP, 2025). Dessa forma, as deficiências atuais na estrutura regulatória, econômica e logística dificultam sobremaneira a gestão adequada dos componentes descartados pelas usinas, principalmente painéis fotovoltaicos danificados ou ao final da vida útil.

Por fim, destaca-se a importância de uma abordagem antecipada, entre outras formas de minimizar a problemática dos resíduos no setor, incorporando a perspectiva da economia circular desde o *design* para possibilitar o reúso das placas e demais componentes, até ações para a reciclagem e/ou descarte correto dos resíduos eletroeletrônicos gerados na instalação, operação e descomissionamento das UFVs.

Podem-se mencionar ainda 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, assoreamento de cursos de água, aumento de residentes temporários no período de instalação, geração de expectativas na população, conflitos fundiários, interferências na mobilidade da população local do entorno das usinas, efeitos negativos sobre a fauna, poluição sonora e alteração na qualidade do ar e do solo. Podem ser mencionadas também alterações das condições de conforto térmico devido ao efeito de ilha de calor, impacto visual no caso de usinas de grande porte próximas a áreas de beleza natural e ao ofuscamento da visão provocado pela radiação refletida pela superfície dos módulos fotovoltaicos (Hamed & Alshare, 2022).

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 seus usos sociais (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 2036. 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 mais da metade da expansão contratada, onde usualmente UFVs se sobrepõem a remanescentes de vegetação nativa da caatinga.	- Priorização de áreas antropizadas. - Retirada da vegetação somente quando estritamente necessário. - Recuperação, conservação e manutenção de reservas legais e Áreas de Preservação Permanente exigidas por lei. - Plantio de espécies da flora nativa como medida compensatória.

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 fotovoltaicas, principalmente no bioma Caatinga. Como agravante, há o fato das usinas fotovoltaicas demandarem uso extensivo de área devido à baixa densidade energética da fonte[54]. O Plano de Ação Brasileiro de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAB-Brasil), com ações e parcerias em diversos estados do Nordeste é uma iniciativa relevante para a conservação da vegetação, e uma de suas ações é a construção e implementação de pacto da restauração de terras degradadas no Semiárido com o setor privado da mineração, agropecuário e de energias (Brasil, 2025). Dados mais recentes do mapeamento da cobertura vegetal e uso do solo, produzidos pelo MapBiomas, passaram a incluir uma categoria específica para áreas ocupadas por usinas fotovoltaicas. Essa iniciativa pode apoiar o monitoramento e avaliação do desmatamento, além de ampliar as possibilitar de pesquisas relacionadas às interferências ocasionadas pela ocupação das usinas. Para além disso, algumas ações podem ser recomendadas, tais como: aprimoramento da gestão territorial na região visando à conservação dos remanescentes de vegetação nativa, com atenção aos processos de licenciamento ambiental; ampliação da extensão de áreas protegidas por meio de novas unidades de conservação; 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 antropizadas[55], evitando a supressão de vegetação.

A **gestão do consumo de água** na limpeza dos painéis fotovoltaicos, especialmente nos locais com histórico de déficit hídrico, merece atenção. Nesse sentido, caso a opção para a limpeza das placas solares da usina fotovoltaica não seja água, há alternativas tecnológicas disponíveis. Existem pesquisas em anda-

[54] A densidade energética é a relação entre a energia armazenada em um sistema e a sua massa ou volume; ela indica a quantidade de energia que pode ser obtida de um determinado combustível ou recurso energético.

[55] A extensão territorial de áreas de pastagens degradadas no Nordeste brasileiro é da ordem de quatro milhões de hectares (IBGE, 2017), os quais poderiam ser utilizados para o estabelecimento de empreendimentos fotovoltaicos (Nobre et al., 2019).

mento sobre produtos 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 socioambiental 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, esses 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 de 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 fotovoltaicas, 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 Intermitente (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 placas[56], que poderão ser incentivadas por fatores como o aumento da eficiência das placas, os ganhos financeiros 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. Estimativas indicam que até 15 milhões de módulos fotovoltaicos, baterias e inversores seriam necessários para atender à demanda de universalização do Programa Luz para Todos, com a geração entre 58 e 234 mil toneladas de lixo eletrônico ao longo de 33 anos (Silva, 2024).

Hoje, os módulos fotovoltaicos não são tratados de forma explícita na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei n. 12.305/2010) nem no Decreto nº 10.240/2020, que estrutura a logística reversa de eletroeletrônicos. Na prática, não há regramento para descarte dos painéis solares, enquanto apenas alguns componentes, como inversores, podem ser parcialmente enquadrados no decreto acima mencionado.

Portanto, é importante que ocorra o aperfeiçoamento de políticas públicas existentes e o estabelecimento de novos arcabouços legais para a criação de uma cadeia de reciclagem específica para resíduos dos sistemas fotovoltaicos, de abrangência nacional, mas que também contemple as peculiaridades regionais e locais, e que responsabilize todos os agentes do setor. No Brasil, para evolução regulatória neste aspecto, seria importante a inclusão explícita de módulos fotovoltaicos na PNRS e seus regulamentos, a criação de um sistema formal de Responsabilidade Estendida do Produtor (EPR)[57] para energia solar, a implementação de entidades gestoras setoriais, a definição de metas de coleta e reciclagem específicas para o setor, a obrigatoriedade da integração do descomissionamento aos processos de licenciamento ambiental, com garantias financeiras, e o incentivo à cadeia de reciclagem e recuperação de materiais críticos como silício e prata (Quasar, 2025).

Nesse sentido, é importante mencionar alguns avanços recentes no país. O projeto de lei 3.784/2023 do Senado Federal propõe alterar a Lei n. 12.305/2010 para agregar maior clareza e estabilidade normativa ao obrigar os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de painéis solares

[56] O fenômeno das substituições precoces de painéis fotovoltaicos já ocorre nos EUA (Atasu, 2021) e na Austrália (Mathur et al., 2021).

[57] Responsabilidade Estendida do Produtor (EPR) é um princípio de política ambiental que transfere aos fabricantes e importadores a responsabilidade financeira e operacional pelo ciclo de vida pós-consumo de seus produtos, incluindo coleta, reciclagem e destinação final adequada dos resíduos, incentivando também o ecodesign e a redução de impactos ambientais ao longo da cadeia produtiva.

fotovoltaicos a estruturar e implementar sistemas de logística reversa. Há também o projeto de lei 998/2024, em tramitação na Câmara dos Deputados, que visa instituir a Política de Incentivo ao Desenvolvimento da Logística Reversa de Painéis Fotovoltaicos e o projeto de lei 391/2025. em análise na Câmara dos Deputados, que também visa explicitar a obrigatoriedade de logística reversa para painéis fotovoltaicos e prever regras e metas específicas para sua estruturação e implementação de uma cadeia de reciclagem.

Vale mencionar a Lei n. 14.260/2021, conhecida como Lei de Incentivo à Reciclagem (LIR), que 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) e tem como objetivo incentivar as indústrias e as entidades dedicadas à reutilização, ao tratamento e à reciclagem de resíduos sólidos produzidos no território nacional. Ela foi regulamentada pelo Decreto n. 12.106/2024, que detalha os incentivos fiscais e determina que as pessoas físicas e jurídicas tributadas com base no lucro real poderão deduzir parte do imposto de renda em virtude do apoio direto a projetos previamente aprovados pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.

Ao mesmo tempo, é importante citar outros avanços institucionais na área, que podem estimular desde a produção mais sustentável dos componentes da cadeia fotovoltaica até a melhor gestão de resíduos no setor. O Programa Nacional de Logística Reversa, instituído pelo Decreto n. 10.936/2022, tem como objetivo coordenar o retorno de produtos e embalagens pós-consumo ao setor empresarial para reciclagem ou destinação adequada, garantindo responsabilidade compartilhada entre fabricantes, comerciantes, consumidores e o poder público. Em relação à economia circular, em 2024 foi instituída a Estratégia Nacional de Economia Circular, por meio do Decreto n. 12.082/2024, que tem como objetivo promover a transição do modelo de produção linear para uma economia circular, de modo a incentivar o uso eficiente dos recursos naturais e das práticas sustentáveis ao longo da cadeia produtiva.

Neste contexto, destacam-se algumas iniciativas de logística reversa e reciclagem de painéis fotovoltaicos no setor privado. A primeira delas é pioneira, e vem de uma empresa instalada no estado de São Paulo em 2020, que possui parceria estratégica com empresa internacional importante na cadeia de gestão de resíduos. Ela desenvolveu uma tecnologia inteiramente mecânica e nacional que permite a reciclagem de placas diretamente nas usinas fotovoltaicas, reduzindo custos e emissões. No estado da Bahia, encontra-se outra iniciativa que oferece soluções completas de logística reversa até a reintrodução dos componentes reciclados no mercado. Há também empresas especializadas em serviços de sustentabilidade e soluções ESG, para diversos setores, que incluem os resíduos da cadeia fotovoltaica.

Cabe ressaltar que a gestão de resíduos eletroeletrônicos da cadeia fotovoltaica pode constituir 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 resíduos[58]. 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 UE. Nesse sentido, uma planta industrial voltada exclusivamente para a reciclagem de painéis fotovoltaicos foi inaugurada na França em 2018. Outra iniciativa europeia é a Photorama**,**

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

que é financiada pela UE e tem como objetivo aprimorar os processos de reciclagem de painéis fotovoltaicos e a recuperação de matérias-primas. O projeto tem como propósito desenvolver tecnologias pioneiras para a implementação de um sistema robusto e confiável de reciclagem de painéis fotovoltaicos, promover a circularidade ao reintegrar materiais raros secundários em cadeias de valor intersetoriais e impulsionar a adoção das tecnologias que serão introduzidas no mercado. Nos Estados Unidos, 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 Estados Unidos conseguem promover a recuperação significativa de materiais dos painéis fotovoltaicos de silício cristalino; mesmo assim, o desafio da gestão de resíduos fotovoltaicos ainda permanece. A China, apesar de ser líder global do mercado fotovoltaico, não possui normas específicas nem infraestrutura robusta de reciclagem de módulos fotovoltaicos. O mesmo acontece com Japão e Coréia do Sul (IEMA, 2023).

Mais alinhado ao conceito de economia circular, vale mencionar o trabalho que vem sendo desenvolvido por uma empresa holandesa que tem como propósito repensar completamente o design dos painéis solares. Em vez de tentar melhorar a reciclagem dos modelos atuais, ela busca projetar painéis desde o início para serem facilmente desmontados ao final de sua vida útil. Isso não só facilitaria e reduziria o custo da reciclagem, como também viabilizaria reparos, atualizações, recondicionamento e reutilização de componentes com maior facilidade. A empresa desenvolve módulos modulares, sem laminação adesiva, alinhados aos princípios da economia circular.

Atualmente, há vários grupos de pesquisa no mundo buscando alternativas mais eficientes de reciclagem. No Brasil, o projeto RECUPER3, desenvolvido pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) 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[59] desses resíduos[60]. 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 e a ampliação da reutilização e reciclagem dos componentes.

Vale também destacar a possibilidade de placas solares serem ainda passíveis de reúso mesmo após o período de uso indicado pelos fabricantes, como destacam Pivato et al. (2025). Esses módulos poderiam ser reutilizados, por exemplo, para gerar energia em instalações como hospitais, escolas públicas, residências de baixa renda e iluminação pública, promovendo uma solução circular que reduziria o desperdício e, ao mesmo tempo, ajudaria no enfrentamento dos desafios de acesso à energia apoiando uma transição energética justa e inclusiva. Há iniciativas em curso no país, como uma plataforma, que busca encontrar novos destinos para painéis usados, que seriam descartados, mas que ainda funcionam. Uma das plataformas que vem sendo desenvolvida objetiva conectar as usinas à projetos sociais para receberem os módulos doados ou a preços justos para democratizar o acesso à energia renovável.

Um ponto que vem ganhando cada vez mais relevância, por conta da emergência climática atual, refere-se às **emissões do ciclo de vida relacionadas aos sistemas fotovoltaicos**. Assim, é importante avaliar a origem dos painéis fotovoltaicos, a fim de evitar a importação indireta de quantidades significativas de carbono embutido nos sistemas. Nesse sentido, Constantino et al. (2018) ressaltam a importância de se avaliar a matriz energética do país de origem dos sistemas fotovoltaicos e destacam que a estratégia de alguns fabricantes de painéis fotovoltaicos de abrir fábricas em países que apresentam uma matriz elétrica de baixo fator de emissão pode contribuir significativamente para a mitigação de emissões de GEE do setor.

[59] Refere-se à recuperação de materiais com alto valor econômico presentes nos resíduos sólidos urbanos.

[60] https://www.gov.br/cetem/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/projetos-financiados-por-agencias-e-ou-recursos-publicos/em-curso/recuper3-potencial-de-circularidade-das-rotas-de-recuperacao-de-materiais-secundarios-a-partir-da-mineracao-urbana-de-residuos-eletroeletronicos-reee-no-brasil. Acesso em 06/05/2026.

Um outro tema relevante são os **aprimoramentos no licenciamento e na legislação ambiental**, necessários num contexto de expansão acentuada. De acordo com Eletrobras e EPE (2022), 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 e possibilitar maior segurança jurídica e administrativa aos empreendedores dos projetos solares (ELETROBRAS e EPE, 2022). Um levantamento recente da EPE junto aos órgãos licenciadores apontou algumas falhas principais nos estudos ambientais de empreendimentos eólicos e solares, tais como diagnósticos insuficientes ou genéricos, avaliação de impactos pouco detalhada ou não aderente à realidade, medidas mitigadoras e compensatórias genéricas ou insuficientes, falhas na delimitação das áreas de estudo e de influência, e ausência de plano de descomissionamento (EPE, 2026a).

Há ainda outros pontos que requerem atenção relacionados à fonte, tais como a gestão de impactos cumulativos e sinérgicos nas usinas híbridase 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 para uma transição energética justa e inclusiva. Desde 2024 há iniciativas relevantes para a ampliação da participação feminina, tais como o Pacto Nacional por Mais Mulheres na Energia e na Mineração, a portaria conjunta do Programa Asas para o Futuro, voltada à ampliação da participação de mulheres jovens em setores estratégicos, com ênfase na transição energética; a criação do Plano Nacional de Igualdade Salarial e Laboral entre Mulheres e Homens – Portaria Conjunta nº 2, de 07/04/2025, que estabelece diretrizes estruturantes para a redução das desigualdades salariais e laborais até 2027; e por fim, a primeira pesquisa oficial sobre gênero no setor energético, com análise comparada entre os países do G20[61], intitulada Integração do Componente de Gênero nas Políticas Energéticas dos Países do G20. Essa pesquisa tem como objetivo "realizar uma análise detalhada das estratégias adotadas pelos países do G20 para incorporar componentes de gênero em suas políticas energéticas, identificando as melhores práticas, os desafios e as oportunidades de melhoria" (MME, 2025).

Por fim, cabe destacar a iniciativa recente da sociedade civil organizada referente à publicação das "Salvaguardas socioambientais para energia fotovoltaica centralizada", que pode contribuir na gestão dos desafios elencados nessa seção, pois pode estimular o estabelecimento de garantias, controles e orientações para prevenção e mitigação de riscos em diversas áreas. A publicação apresenta "recomendações e princípios destinados à proteção de direitos humanos e ambientais", podendo ser utilizada na orientação do poder público, comunidades, agentes financiadores e organizações da sociedade civil (Nordeste Potência, 2025).

O Quadro 18 a seguir resume os principais desafios relacionados à expansão da fonte solar fotovoltaica centralizada no PDE 2036 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-Brasil). - Mapeamento feito pelo MapBiomas da alteração do uso do solo decorrente da sua ocupação por usinas	- Monitorar e avaliar a ocorrência de desmatamento na fase de construção das usinas. - Aumentar a extensão de áreas protegidas por meio da criação de unidades de conservação.

[61] https://www.gov.br/mme/pt-br/a-revolucao-brasileira-em-energia-e-mineracao/combate-a-pobreza-energetica-e-inclusao-social/pacto-nacional-por-mais-mulheres-na-energia

Desafio	Iniciativas	Recomendações
	fotovoltaicas, permitindo monitoramento e avaliação do desmatamento.	- 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 	- 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).	- Elaborar o Zoneamento Ecológico-Econômico, considerando disponibilidade hídrica. - 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 eletroeletrônicos 	- Licenças ambientais contendo condicionantes específicas. - Pesquisas com tecnologias voltadas ao aumento da durabilidade, eficiência, vida útil e melhorias em design. - Iniciativa privada oferecendo soluções de logística reversa ao setor fotovoltaico. - Projetos de lei para obrigar os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de painéis fotovoltaicos a estruturar e implementar sistemas de logística reversa. -Projeto RECUPER3 (CETEM/MCTI). -Projetos privados via Lei n. 14.260/21. - Programa Nacional de Logística Reversa - Estratégia Nacional de Economia Circular	- Consolidar a aplicação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. - Ampliar a fiscalização sobre a disposição final correta. - Promover a criação de arranjos institucionais para viabilizar a implementação de uma cadeia de reciclagem/reutilização dos sistemas fotovoltaicos. - Garantir que os estudos ambientais no âmbito dos licenciamentos estabeleçam Planos de Gestão de Resíduos e Descomissionamento de unidades de geração. - Promover iniciativas de cooperação internacional. - Fomentar pesquisas sobre reciclagem de painéis fotovoltaicos. - Elaborar arcabouço legal específico. - Incentivar iniciativas de reuso.
Licenciamento Ambiental	- Normas estaduais e municipais definindo critérios para enquadramento das usinas por meio do porte e potência.	- Normativa nacional específica para a fonte solar que traga padronização de conceitos, critérios e segurança jurídica.
Emissões do ciclo de vida dos sistemas fotovoltaicos	- Não identificadas até o momento.	- Incentivos à fabricação de sistemas fotovoltaicos cujo processo utilize fontes de energia renovável e à gestão dos resíduos com processos não emissores de GEE.

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). Nesse contexto, impactos socioambientais poderiam ser reduzidos a partir da minimização de infraestrutura e área construída, mas a avaliação de impactos socioambientais cumulativos e sinérgicos precisa ser feita.

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 energética[62] e a dependência por combustíveis fósseis nessas localidades, bem como as emissões de GEE associadas. Cabe destacar as oportunidades para a utilização da geração fotovoltaica no âmbito do Programa Energias da Amazônia[63], o qual contempla a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis no rol das suas ações e projetos elegíveis.

Já a emissão de **Certificados de Energia Renovável** pelas usinas fotovoltaicas representa uma oportunidade para geração de receitas e incentivo aos investimentos em renováveis. Também permitem a rastreabilidade da energia consumida e facilitam a contabilidade de carbono de acordo com padrões internacionais. O I-REC (*International Renewable Energy Certificate*) é um certificado que comprova que a eletricidade consumida por uma empresa foi gerada a partir de fontes renováveis, como a solar, eólica, biomassa ou hidrelétrica[64]. O processo envolve geradores de energia renovável, que vendem os certificados, e consumidores daquela energia – empresas ou indivíduos que compram os certificados –, que buscam diminuir sua pegada de carbono.

Adicionalmente, a energia fotovoltaica pode gerar **créditos de carbono** e promover novas oportunidades 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 2036 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 fotovoltaica, com possibilidade de otimização no uso dos recursos e infraestrutura.
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 e combate à pobreza energética.
Emissão de Certificados de Energia Renovável e créditos de carbono	- Certificação de renováveis em fase de ascensão[65]. - Geração solar em destaque no mercado de crédito de carbono.

[62] 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.

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

[64] O Instituto Totum é o órgão emissor oficial dos I-RECs no Brasil, credenciado pela I-REC Standard Foundation. O Instituto audita e certifica usinas geradoras de energia renovável, valida e registra os dados na plataforma I-REC e emite os certificados.

[65] https://www.ccee.org.br/pt/web/guest/-/ccee-lanca-plataforma-brasileira-para-a-certificacao-de-energia-renovavel. Acesso em maio/2025.

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 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 de aproximadamente 0,03 km^2, ou 3 hectares (Tabela 14). O segundo indicador refere-se 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 (9.487 MW). Assim, estima-se que as usinas fotovoltaicas ocuparão aproximadamente 285 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 por meio dos leilões de geração (2,8/MW), e que mencionaram esses valores nos respectivos estudos ambientais, pela expansão prevista no PDE 2036.

Tabela 14 – Indicadores socioambientais da expansão solar fotovoltaica

Indicadores Ambientais	
Área média necessária para a produção de 1 MW	0,03 km² ou 3 ha
Área ocupada pela expansão de usinas fotovoltaicas no decênio	285 km^2
Indicadores Socioeconômicos	
Empregos diretos gerados no pico das obras	26.563

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.

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

A capacidade instalada acumulada da MMGD atingiu 45 GW, em 2025, sendo que a geração fotovoltaica responde por 99%, em potência, desse montante (EPE, 2026). Este adicional de capacidade instalada de MMGD se concentrou no Centro-Sul do país (EPE, 2025). 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 em sistemas agrivoltaicos desponta como uma nova alternativa no país e já apresenta projetos piloto, possibilitando a otimização de espaços (sinergia entre geração de energia e aproveitamento agrícola). 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, e neste sentido, a geração fotovoltaica tem assumido papel relevante nos sistemas remotos.

É importante também mencionar iniciativas coletivas de geração de energia, nas quais a fonte solar se destaca, ainda de forma incipiente, mas que pode ganhar cada vez mais representatividade no setor energético. De acordo com a International Energy Agency – IEA (2023), comunidades de energia referem-se a iniciativas coletivas e lideradas por cidadãos que produzem, consomem ou compartilham energia renovável localmente e podem colocar as pessoas no centro da transição energética, reduzindo contas de luz, gerando empregos e promovendo diminuição da desigualdade.

Há outros benefícios econômicos e sociais, tais como aumento da arrecadação tributária e da demanda por bens e serviços, bem como a geração de empregos diretos e indiretos, que, segundo estimativas, estão distribuídos atualmente por mais de 46 mil empresas integradoras fotovoltaicas ativas. A participação feminina média, historicamente, permanece em 21% do total de vagas, sendo que 33% das empresas não contavam com nenhuma colaboradora mulher em 2024, demonstrando que há desafios para a equidade de gênero no setor (Greener, 2025).

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.

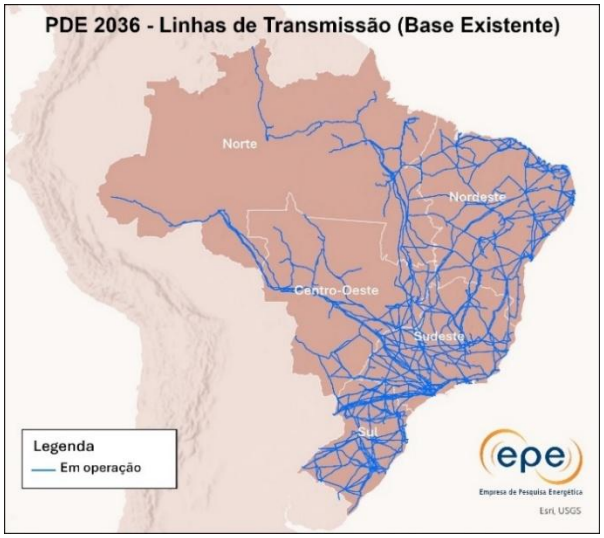
O acordo setorial de resíduos eletroeletrônicos de 2019, firmado no âmbito da PNRS, que abrange os módulos fotovoltaicos no uso doméstico, já representa um marco inicial para a formação da cadeia de gestão desse tipo de resíduo. A relevância desse tema pode ser ilustrada pela constatação de que 36% das integradoras optaram por acumular os módulos em seus estoques (sem destino final definido) e somente 5% escolheram empresas especializadas na gestão desse resíduo (Greener, 2025). Portanto, avanços ainda são necessários, como aperfeiçoamentos regulatórios, mecanismos regionalizados, fiscalização, práticas de reuso e criação de infraestrutura nacional específica para a reciclagem de painéis fotovoltaicos, entre outros.

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 **confiabilidade** ao SIN, 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 da arrecadação tributária, gerando **impactos sociais e econômicos positivos**.

Sistema de transmissão de energia elétrica atual



O Brasil possui atualmente **195.229 km de linhas de transmissão**, considerando as linhas em operação da Rede Básica, conexões de usinas e interligações internacionais (MME, 2025). 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 345 kV e 600 kV, 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, 2025), o número de localidades isoladas teve uma redução de 9% de 2024 para 2025, devido às interligações ao SIN de Cruzeiro do Sul, no Acre, e de Boa Vista, última capital estadual não conectada, e as localidades interconectadas.

Segundo dados do (ONS, 2026a), cerca de 43% da capacidade instalada de geração do SIN são provenientes de usinas hidrelétricas, sendo que nos últimos anos outras fontes renováveis vêm ganhando importância, com destaque às usinas eólicas (14%), 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, prevê a implantação de **31.936 km** entre os anos de 2027 e 2036, ou seja, uma expansão de 16% na extensão do sistema. Desse total, 20.663 km (aproximadamente 65%) estão previstos para entrar em operação até 2031, 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 70% 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.

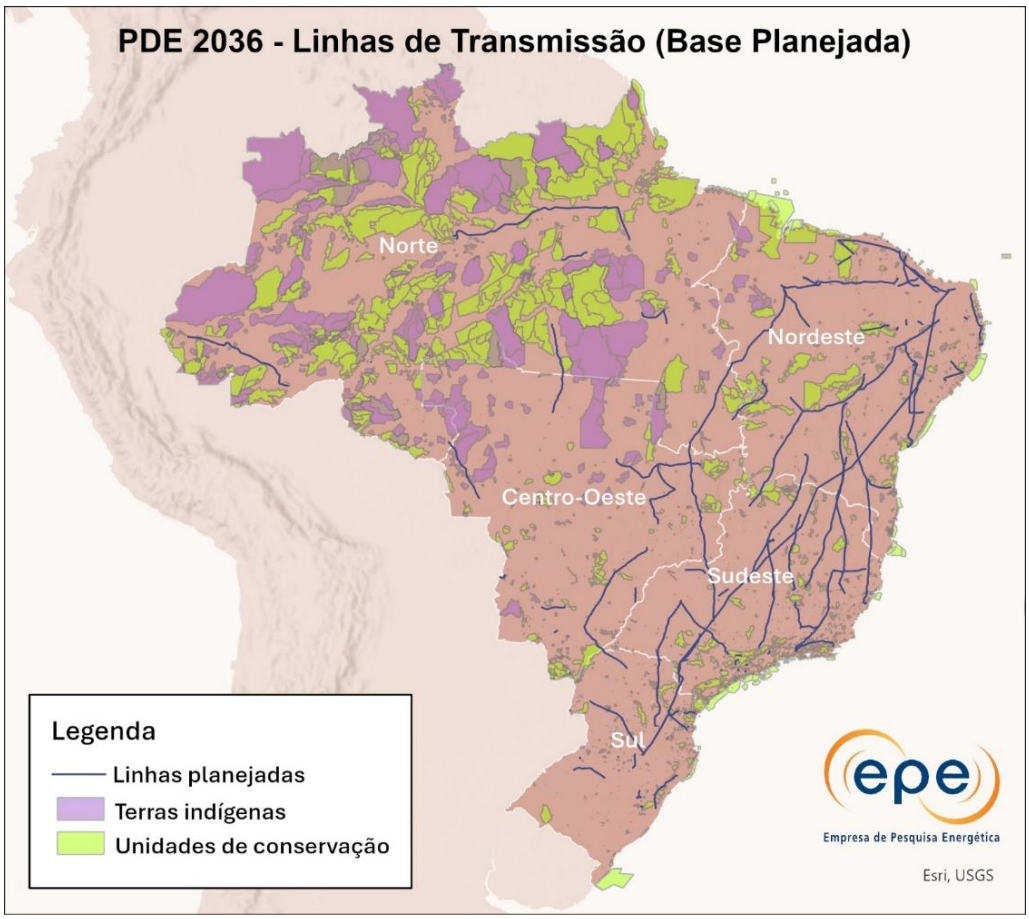


Figura 9 - Linhas de transmissão planejadas no PDE 2036 e áreas legalmente protegidas

A análise socioambiental da expansão da transmissão neste PDE 2036 apresenta as principais questões socioambientais do conjunto de LTs da Rede Básica planejado nos estudos da expansão da transmissão, 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 reconstrução, recapacitação e recondutoramento. 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 dispondo, portanto, de sua representação espacial. Por esse motivo essas LTs não foram consideradas. Partindo dessas premissas, **o universo considerado nesta análise socioambiental corresponde a 212 linhas (27.118 km de extensão)**.

A Figura 9 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.

A Tabela 15 mostra a distribuição das LTs planejadas no PDE 2036, considerando a extensão por região geográfica.

Tabela 15 - Extensão das linhas de transmissão planejadas por região

Extensão das LTs por região (km)					Total (km)
Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	
2.997	10.338	3.096	8.084	2.603	27.118

Nesse cenário, observamos a expansão da Rede Básica ocorrendo na região Norte para estabelecer reforços para resiliência no sistema de transmissão Acre e Rondônia em resposta às mudanças climáticas (AC e RO), atendimento à região metropolitana de Manaus (AM) e ao sudeste do Pará e 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 Salvador e Recife, regiões de Milagres e Crato (Ceará), sertões de Pernambuco e da Paraíba e região do Matopiba (oeste da Bahia, sudeste do Tocantins e sul do Maranhão e Piauí); suprimento às cargas de Sergipe, do extremo sul da Bahia e do leste do Maranhão; reforço às interligações regionais e solução de problema de tensão na região de Arapiraca e Penedo (Alagoas). Ainda na região Nordeste, destaca-se o estudo prospectivo para inserção de cargas eletrointensivas, especialmente aquelas associadas a plantas de produção de hidrogênio e data centers.

No Centro-Oeste, destacam-se as obras de reforço das interligações entre as regiões Norte/Nordeste, do sistema elétrico de Goiás e da região de Novo Progresso (MT). Destaca-se, também, o Estudo de Interligação Internacional Brasil-Bolívia, com objetivo de permitir o aumento de margem para a conexão de novas fontes de geração no SIN, inclusive a conexão internacional com a Bolívia.

No Sudeste, as linhas destinam-se principalmente ao escoamento do potencial solar do norte de Minas Gerais, epicentro da energia solar no Brasil; reforços do subsistema para atendimento às regiões de Niterói, Magé e São Gonçalo, no estado do Rio de Janeiro; de Capão Bonito e da região industrial de Mairiporã, Jaguari e São José dos Campos, em São Paulo; da região de Belo Horizonte e Mantiqueira, Minas Gerais; das interligações regionais Nordeste/Sudeste; das regiões de Bragança Paulista e sul de Minas Gerais; da região central de São Paulo, permitindo o suprimento de energia elétrica aos clientes de grande porte do tipo data centers; escoamento de usinas térmicas nos estados do RJ e ES; atendimento às cargas da geração elétrica da região do Triângulo Mineiro e do Alto Paranaíba; e expansão do sistema nas regiões norte de Minas Gerais e do Espírito Santo para atendimento da expansão de geração renovável, em especial das fontes solar e eólica, prevista para ocorrer na região Nordeste nos próximos anos.

Na região Sul têm destaque as LTs para escoamento da energia gerada em parques eólicos; reforço no sistema elétrico da região Oeste do Paraná e de Santa Catarina e das Interligações Regionais; suprimento às regiões norte e oeste do Rio Grande do Sul; atendimento à região metropolitana de Porto Alegre; e Interligação Internacional Brasil-Bolívia.

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. Essas 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 dos empreendimentos.

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 16.

Tabela 16 - 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 de proteção integral	0	15	0	19	0	34
UC de uso sustentável	64	550	61	306	124	1.105
Terra indígena	19	0	0	0	0	19
Terra quilombola	0	2	0	0	0	2
Assentamento do Incra	347	321	96	101	17	882

Nota: Interferências estimadas a partir de: Funai, 2026; Incra, 2026a; Incra 2026b; MMA, 2026.

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 mais de 40% da expansão da transmissão de energia associada a regiões metropolitanas e ao escoamento da geração dos parques eólicos e da geração fotovoltaica nas demais áreas. Nesse sentido, o Plano de Ação Nacional para Conservação das Aves da Caatinga (ICMBio, 2025) estabelece ações voltadas à indicação de áreas que devem ser evitadas para a implantação de empreendimentos eólicos e de linhas de transmissão de energia elétrica, com vistas à conservação da avifauna, em particular da arara-azul-de-lear (Anodorhynchus leari), espécie criticamente ameaçada de extinção.

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. Nesse contexto, vale citar que, devido à sua importância, os remanescentes de vegetação nativa da Mata Atlântica são protegidos por legislação específica (Lei n. 11.428/2006, regulamentada pelo Decreto n. 6.660/2008). Adicionalmente, devido à presença de relevo montanhoso na região Sudeste, ressalta-se a 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 sua concepção, as LTs são planejadas para desviar de áreas turísticas e de áreas urbanas para mitigar interferências na paisagem. Quando não é possível o desvio de regiões adensadas, 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 necessidade de supressão de vegetação para abertura de acessos, diante da precária acessibilidade, sobretudo em regiões serranas.

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, além daqueles para atendimento ao estado de Goiás e às regiões de Novo Progresso (no Pará) e Interligação Internacional Brasil-Bolívia. No horizonte decenal, as LTs planejadas na região não se sobrepõem a TIs, TQs e UCs de proteção integral. 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.

Além dos temas citados, cabe mencionar a sobreposição a 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, assentamentos são inevitavelmente atravessados pelas LTs, pois geralmente estão próximos a acessos viários e, também, frequentemente estão intercalados com áreas protegidas e áreas de 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. Em duas LTs, o planejamento se deu antes da criação da UC, havendo a previsão da existência de uma das LTs no decreto de criação da UC e a possibilidade de desvio em fases futuras de implantação para a outra. Sem minimizar a importância do impacto local dessas sobreposições, considerando a expansão da transmissão como um todo, essas interferências são consideradas inexpressivas.

Em relação à interferência em TI na região Norte, vale destacar que se trata do segundo circuito de uma LT em operação, cujo projeto inicial considerou torres de circuito duplo no trecho em que cruza a TI, para lançamento de um segundo circuito no futuro. No caso da travessia de TQ na região Nordeste, trata-se da reconstrução de uma LT na mesma faixa de servidão da linha que será desativada, de forma a evitar novos impactos.

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 na região Sudeste, devido à incidência de LTs em áreas urbanizadas e em regiões de beleza cênica.

A Tabela 17 apresenta a síntese da análise socioambiental integrada do PDE 2036 para a transmissão de energia elétrica. Nela estão dispostos, por região, os temas socioambientais considerados relevantes para a expansão planejada.

Tabela 17 – Síntese da análise socioambiental das linhas de transmissão do PDE 2036

	Norte	Nordeste	Sul	Sudeste	Centro-Oeste
Transmissão	interferências inexpressivas	biodiversidade	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 2036, 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: expansão em áreas de beleza cênica natural e em áreas urbanas e de expansão urbana.	Afastar o traçado da LT de áreas turísticas, de forma a minimizar o impacto visual nessas áreas. Uso de subestações e torres compactas, que ocupam menor área, ou recomendação de LTs subterrâneas em áreas urbanas e periurbanas.
Perda e alteração de habitats 	biodiversidade	NE: expansão da transmissão sobre remanescentes de vegetação nativa da Caatinga e Mata Atlântica, biomas já fragmentados e antropizados, com potencial interferência sobre áreas destinadas à conservação da avifauna. 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.	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. Supressão da vegetação apenas nas praças de torres e na faixa de serviço para o lançamento dos cabos. Evitar instalação de torres e abertura de acessos nas Áreas de Preservação Permanente (APPs) ou reduzir a largura da faixa de serviço nessas áreas. Evitar instalação de torres estaiadas em fragmentos florestais. Alteamento de torres nos locais em que a LT intercepta fragmentos florestais ou APPs, de modo a manter a distância de segurança entre os cabos e a vegetação. 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.

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

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 supressão de vegetação nativa, principalmente em regiões de difícil acesso, seja em áreas com cobertura vegetal densa 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.

As iniciativas que se destacam no âmbito da expansão da transmissão têm relação com mais de um dos desafios apontados anteriormente. Uma delas, a intensificação da **articulação entre as instituições envolvidas no planejamento, licenciamento ambiental, regulação e operação**, pode auxiliar no diagnóstico de questões relevantes para o planejamento e operação das linhas de transmissão e somar esforços e conhecimento na definição de soluções robustas e eficazes. Nesse sentido, nos últimos anos a EPE e o Ibama têm se aproximado, visando à integração entre o planejamento da transmissão e o licenciamento ambiental federal, tendo ocorrido diversas interações durante a elaboração de estudos específicos de planejamento, e troca de experiências entre a EPE e aquele órgão.

Com o objetivo de institucionalizar a integração das instituições, em janeiro de 2025 a EPE e o Ibama assinaram um acordo de cooperação técnica no âmbito do qual são realizadas consultas da EPE ao Ibama na etapa de planejamento de linhas de transmissão, especialmente em estudos de elevada complexidade socioambiental e com possibilidade de licenciamento federal. O acordo prevê também a realização de reuniões periódicas para promover o intercâmbio de experiências e conhecimento técnico das duas instituições nas questões envolvidas na transmissão.

A EPE também já interagiu, em estudos de planejamento da transmissão, com órgãos licenciadores ambientais estaduais e municipais como Cetesb/SP, Inea/RJ, Instituto Ambiental do Paraná – IAP (atual Instituto Água e Terra – IAT), Instituto Estadual de Florestas – IEF/MG, Fepam/RS, Fatma/SC (atual Instituto do Meio Ambiente – IMA) e Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade – Semmas (Manaus), bem como com órgãos intervenientes no licenciamento ambiental, como ICMBio e Instituto Florestal/SP. Nessas interações, as posições da EPE foram corroboradas, ou novas alternativas foram apontadas pelos órgãos consultados, o que, em ambos os casos, contribuiu para minimizar riscos no licenciamento e na implantação dos empreendimentos.

Uma medida para reduzir a interferência em vegetação nativa e propriedades rurais foi a elaboração, pela EPE e ONS, de uma nota técnica com critérios 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 e 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.

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, pela da redução da vida útil dos equipamentos. A **maior incidência de eventos extremos**, como chuvas intensas e inundações, incêndios florestais, ventos e descargas atmosféricas, tendem a aumentar as ocorrências de desligamentos das linhas e 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 períodos de chuvas intensas, que provocaram alagamentos e deslizamentos, com a consequente destruição de infraestruturas e interrupção de serviços essenciais, entre eles o fornecimento de 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. Em razão disso, a EPE reavaliou os traçados e locais referencias de subestações do Lote 2 (Rio Grande do Sul) do Leilão de Transmissão 02/2024, considerando informações sobre as áreas de inundação e pontos de deslizamentos de encostas decorrentes da catástrofe climática que atingiu o estudo (Galvão et al., 2026).

Segundo dados do (ONS, 2026b), as perturbações em linhas de transmissão da rede básica ocorridas em 2025 tiveram como principal fator condições meteorológicas adversas (descarga atmosférica, chuva/temporal, vento forte etc.), as quais causaram cerca de 34% dos desligamentos naquele ano.

No âmbito do conjunto de estudos denominado Roadmap para Fortalecimento da Resiliência do Setor Elétrico em Resposta às Mudanças Climáticas, a EPE (2025) publicou o *factsheet* Transmissão e Mudanças Climáticas, que apresenta um diagnóstico com relação ao tema, e aponta algumas possíveis medidas de adaptação e mitigação. Entre elas, pode-se destacar:

- Fomentar pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias para a transmissão (por exemplo, sistemas de transmissão flexíveis e novos condutores para linhas de transmissão) e redes inteligentes;
- Realizar pesquisas e aprimoramento de tecnologias para monitoramento e previsão de eventos climáticos extremos;
- Reavaliar critérios de confiabilidade do sistema frente aos novos cenários climáticos
- Reforçar as estruturas;
- Desenvolver planos de resposta a situações emergenciais.

Como resposta ao desafio de adaptação da transmissão às mudanças do clima, merece destaque também o evento "Resiliência de redes frente a fenômenos climáticos de elevada severidade", realizado pela Aneel em 2024 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 publicou a Tomada de Subsídios 002/2024, cujo objetivo foi "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 Geoespacializada 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, tecnologias utilizadas para reduzir queimadas em faixas de linhas de transmissão, sistemas de monitoramento por satélite no apoio à manutenção dos ativos de transmissão, entre outros (Aneel, 2025). O Sistema GGT monitora 104 linhas de transmissão, que totalizam 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 2036 e as iniciativas e recomendações associadas.

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

Desafio	Iniciativas	Recomendações
Conciliar a expansão das LTs com a menor interferência possível na paisagem em áreas urbanas e periurbanas ou em áreas turísticas 	(a) Fortalecimento da articulação entre instituições de planejamento, licenciamento ambiental, regulação e operação de sistemas de transmissão na fase de planejamento. Acordo de cooperação entre EPE e o Ibama. (b) Elaboração, pela EPE e ONS, de nota técnica de critérios para definição de linhas de transmissão em circuito duplo ou em dois circuitos simples.	

Desafio	Iniciativas	Recomendações
Conservação da biodiversidade por meio da redução de supressão da vegetação nativa 	Itens (a) e (b) acima.	
Planejamento e operação do sistema de transmissão sob o risco das mudanças climáticas e seus efeitos	(c) Workshop "Resiliência de redes frente a fenômenos climáticos de elevada severidade" para compartilhamento de experiências com relação a eventos extremos (Aneel). (d) Roadmap Resiliência do Setor Elétrico em Resposta às Mudanças Climáticas e *fact sheet* Transmissão e Mudanças Climáticas (EPE) (e) 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 (f) Sistema de Gestão Geoespacializada da Transmissão (GGT), publicado pela Aneel, com monitoramento de LTs, situação de limpeza das faixas de servidão, diagnóstico de desligamentos etc.	- 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. - Realizar pesquisas e aprimoramento de tecnologias para monitoramento e previsão de eventos climáticos extremos - Desenvolver planos de resposta a situações emergenciais.

Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão da transmissão

A transição energética tem ganhado destaque no debate público, com o governo brasileiro implementando políticas para promover uma matriz elétrica sustentável e de baixo carbono. Entre as principais iniciativas estão a Política Nacional de Transição Energética (PNTE), o Plano Nacional de Transição Energética (Plante) e o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten – Lei nº 15.103/2025), que buscam consolidar uma matriz mais limpa e eficiente. Um dos três pilares do Plante é a segurança e resiliência do setor energético, e esse pilar se divide em cinco blocos de ação, sendo um deles a expansão e modernização da transmissão e distribuição de energia elétrica (MME, 2026a). Na mesma linha, no âmbito do Plano Clima, a expansão significativa da rede é vista como condição indispensável para que sejam alcançadas as metas climáticas do Brasil (MMA et al., 2025).

O Programa de Transição Energética (Cebri, 2023), desenvolvido em parceria pelo Centro Brasileiro de Relações Internacionais (Cebri), a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e o Centro de Economia Energética e Ambiental (Cenergia), apresenta três cenários para o setor elétrico brasileiro, todos apontando para o crescimento da geração eólica e solar. Esse aumento de geração é acompanhado por uma consequente expansão das linhas de transmissão do SIN, tanto para reforçar os subsistemas quanto para ampliar o intercâmbio de energia entre regiões.

Nesse contexto, a expansão da rede de transmissão se mostra como uma oportunidade para a integração de fontes renováveis ao SIN, garantindo acesso à energia de qualidade, menor custo e baixa emissão de carbono, especialmente nos sistemas isolados – localidades ainda não conectadas à rede nacional. De acordo com a Nota Técnica Planejamento do Atendimento aos Sistemas Isolados – Ciclo 2025 (EPE, 2025), o Brasil possui 160 localidades isoladas, concentradas principalmente na Região Norte (Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia e Roraima) e na Ilha de Fernando de Noronha (PE). Nos últimos anos, houve uma redução de 8,6% no número dessas localidades, graças a interligações como Cruzeiro do Sul (AC),

Guajará (AC), Itapiranga (AM), Silves (AM), Cotijuba (PA), Oeiras do Pará (PA), Santa Cruz do Arari (PA) e da capital de Roraima, Boa Vista, e de localidades atendidas pelo sistema Boa Vista: Alto Alegre, Bonfim, Caracaraí, Mucajaí, Normandia, Rorainópolis e São João da Baliza.

A geração de energia nesses locais depende principalmente de termelétricas a diesel, o que eleva custos devido ao preço do combustível e de seu transporte, e gera impactos ambientais, como altas emissões de GEE, poluição atmosférica, riscos à saúde e riscos associados ao transporte rodoviário ou fluvial. Além disso, essas regiões enfrentam problemas na qualidade do fornecimento de energia, com apagões frequentes, respondendo por 10% das interrupções de energia no país em 2024 (MME, 2024). Recentemente, porém, houve avanços com a entrada de usinas a gás natural e biomassa em Roraima, reduzindo parcialmente a dependência do diesel.

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 Pará, a interligação de sistemas isolados ao SIN se mostrou economicamente mais atrativa em relação à geração isolada (EPE, 2023; EPE, 2021a e EPE, 2024a). Segundo estudo dos sistemas isolados do Amazonas e Pará (EPE, 2023), do ponto de vista socioambiental, a interligação dos sistemas isolados ao SIN, com a desativação das usinas termelétricas a diesel existentes, quando possível, contribuirá para a redução do nível de emissões de GEE e de poluição atmosférica, promovendo benefícios à saúde pública local.

Como exemplo vale citar as LT Manaus – Boa Vista (AM/RR) e a LT Rio Branco – Feijó – Cruzeiro do Sul (AC), que visam conectar regiões importantes de seus respectivos estados ao SIN. Em dezembro de 2024, a LT Feijó – Cruzeiro do Sul entrou em operação, interligando o munícipio de Cruzeiro do Sul ao SIN, reduzindo a dependência de geração de energia a partir de óleo diesel. Conforme divulgado pela Energisa (2025), Cruzeiro do Sul era o segundo maior sistema isolado do Brasil, atrás apenas de Boa Vista – Roraima. Com a conexão da região ao SIN, foi antecipado o desligamento da usina termelétrica de Cruzeiro do Sul, reduzindo em mais de 500 mil toneladas as emissões de CO_2 na Amazônia.

Em setembro de 2025, a LT Manaus – Boa Vista entrou em operação, conectando o Estado de Roraima ao SIN, reduzindo o uso de térmicas no estado, viabilizando uma redução estimada de cerca de 280 mil tCO2 e por ano (Axia Energia, 2025). Além disso, a implantação da LT Manaus – Boa Vista traz maior segurança e estabilidade de suprimento e promove a redução das despesas no SIN com encargos setoriais para a geração térmica no Estado, priorizando menor impacto ambiental e suprimento por fontes renováveis (EPE, 2026).

Essas iniciativas estão alinhadas ao Decreto n. 11.648, de 16/08/2023, que institui o Programa Energias da Amazônia, que tem como objetivo promover investimentos em ações e projetos nos Sistemas Isolados localizados na região da Amazônia Legal. Entre as diretrizes do decreto destacam-se: viabilizar a interligação de Sistemas Isolados ao SIN, promover a melhoria da qualidade do suprimento de energia elétrica e a modicidade das tarifas e preços. Nesse sentido, foi realizado o Workshop do Programa Energias da Amazônia 2026, com o objetivo de compartilhar os resultados e aprendizados das iniciativas recentes do MME na região, incluindo os 14 projetos aprovados no primeiro edital do Pró-Amazônia Legal e o Leilão de Sistemas Isolados 2025, que contratou 50 MW para atender 30 mil pessoas em localidades remotas do Amazonas e Pará (MME, 2026b).

Assim, a expansão da transmissão não só fortalece a transição energética, mas também promove inclusão e justiça social, garantindo energia limpa e acessível a regiões menos assistidas.

O Quadro 22 resume as principais oportunidades relacionadas à expansão da transmissão no PDE 2036 e os fatores conjunturais favoráveis a essas oportunidades.

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

Oportunidades	Conjuntura favorável
Reduzir emissões de GEE nos sistemas isolados **Aumentar a confiabilidade de atendimento aos sistemas isolados** **Reduzir o custo da oferta de energia**	- Interligação de Boa Vista (RR), e de Cruzeiro do Sul e Feijó (AC) ao SIN, com a implantação das LTs Manaus – Boa Vista e Rio Branco – Feijó – Cruzeiro do Sul, respectivamente - Nota Técnica Avaliação dos Benefícios Econômicos da Antecipação da Interligação de Sistemas Isolados nos Estados do Acre, Amazonas e Pará
Fortalecer a transição energética, integrando fontes de baixo carbono ao SIN e interligando os sistemas isolados	- Política Nacional de Transição Energética (PNTE) - Plano Nacional de Transição Energética (Plante) - Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten) - Programa de Transição Energética - Plano Clima - Programa Energias da Amazônia

Indicadores socioambientais da expansão da transmissão

Os indicadores socioambientais apresentados na Tabela 18 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 de cinco anos para todos os empreendimentos. O número de empregos estimado é de aproximadamente 157.000 empregos diretos, considerando um investimento de cerca de 78 bilhões de reais para o horizonte decenal.

Tabela 18 – Indicadores socioambientais da expansão da transmissão de energia elétrica

Indicadores Ambientais	
Extensão total das LTs (km)	27.118
Extensão total da incidência de LTs em UC de proteção integral (km)	34
Extensão total da incidência de LTs em UC de uso sustentável (km)	1.105
Indicadores Socioeconômicos	
Extensão total da incidência de LTs em assentamentos do Incra (km)	882
N. de LTs com interferência direta em TI	1 de 212 LTs
N. de LT situadas a menos de 5 km de TI na Amazônia Legal ou a menos de 3 km nas demais regiões (1)	6 de 212 LTs
N. de LTs com interferência direta em TQ (2)	1 de 212 LTs
Empregos diretos gerados na construção (3)	157.000

Notas: (1) Distâncias definidas no Anexo da Lei n. 15.190/2025. (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) para linhas de transmissão, ou seja, há empregos indiretos gerados ao longo do período que não estão sendo considerados.

4.8 Armazenamento de energia elétrica

Este item trata dos aspectos socioambientais dos sistemas de armazenamento de energia elétrica considerados na expansão de oferta de eletricidade do PDE 2036, a saber: baterias e usinas hidrelétricas reversíveis. Pela primeira vez a Nota Técnica de Análise Socioambiental do PDE traz uma abordagem sobre este assunto, apresentando uma análise inicial sobre os desafios socioambientais para a expansão dessas tecnologias.

Aspectos socioambientais dos Sistemas de Armazenamento de Energia por Baterias (SAEB)

Sistemas de armazenamento de energia por baterias (SAEB) foram indicados pela primeira vez na expansão decenal da oferta de eletricidade no PDE anterior, o PDE 2035. O PDE 2036 também traz essa indicação, considerando 7,2 GW de capacidade instalada de SAEB nos subsistemas Nordeste e Sudeste a partir de 2028.

Os SAEB podem contribuir para ampliar a flexibilidade, a confiabilidade e a resiliência do suprimento de energia elétrica, e por isso se apresentam como solução estratégica para o sistema elétrico brasileiro diante dos novos desafios do planejamento.

Entre as principais contribuições dos SAEB destacam-se o atendimento a demandas de ponta e contingências sistêmicas, a integração de fontes renováveis variáveis, a prestação de serviços ancilares, a mitigação de restrições elétricas de curto prazo, a postergação ou substituição de reforços na transmissão, a arbitragem de energia[66] e a ampliação da participação de fontes renováveis em sistemas isolados, reduzindo a dependência de geração a diesel.

Sob a perspectiva socioambiental, os SAEB apresentam benefícios adicionais ao favorecer a integração de fontes renováveis e a otimização da operação do sistema elétrico, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e para o cumprimento dos compromissos assumidos pelo Brasil no âmbito da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC). A inserção de tecnologias de armazenamento e de soluções que promovem flexibilidade operativa ampliam a capacidade adaptativa do sistema e representam elementos importantes para a segurança e resiliência frente a mudanças do clima e eventos de outra natureza. Além disso, sua flexibilidade locacional e reduzida necessidade de área (em comparação com outras opções tecnológicas) podem diminuir ou postergar investimentos em novas infraestruturas e evitar impactos socioambientais especialmente associados à implantação de novos projetos energéticos como linhas de transmissão.

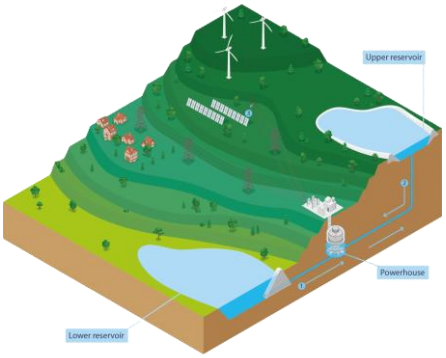
Por outro lado, os SAEB apresentam desafios socioambientais que devem ser considerados no planejamento de sua expansão, entre os quais destacam-se a demanda por minerais críticos para a fabricação das baterias, os riscos associados ao manejo e à destinação inadequada das baterias ao final da vida útil e os riscos de incêndio e explosão. Esses aspectos reforçam a importância da adoção de estratégias de economia circular, incluindo reuso, recuperação e reciclagem de materiais, e a implementação de medidas de prevenção e mitigação de riscos ao longo de todo o ciclo de vida dos sistemas.

Aspectos socioambientais dos Sistemas de Armazenamento de Energia Hidráulica (SAEH)

Como novidade, este PDE 2036 indica a inserção de 2 GW de capacidade instalada de Sistemas de Armazenamento de Energia Hidráulica (SAEH) nos subsistemas Sudeste/Centro-Oeste e Sul para o final do horizonte decenal. Embora no Brasil essa tecnologia desponte como inovadora, ela já é largamente utilizada ao redor do mundo, principalmente na China, Japão, Europa e Estados Unidos.

[66] Arbitragem de energia é a prática de comprar, armazenar e vender energia em momentos diferentes para aproveitar variações de preço ao longo do tempo.

Esses projetos, também conhecidos como usinas hidrelétricas reversíveis (UHRs), funcionam como grandes sistemas de armazenamento de energia, permitindo o bombeamento de água para um reservatório superior em períodos de excedente energético e a geração de eletricidade nos momentos em que há necessidade. Para o contexto brasileiro, os SAEHs se apresentam como alternativa atrativa para suprir as crescentes necessidades de capacidade e de flexibilidade.



Fonte: IHA

Figura 10 – Esquema de usina hidrelétrica reversível de ciclo fechado

Os possíveis impactos socioambientais de SAEHs estão relacionados tanto às condições ambientais específicas dos locais onde serão implantadas e o contexto socioeconômico, quanto às características técnicas e construtivas. A compatibilização da operação das usinas com outros usos da água pode trazer complexidades para a gestão dos recursos hídricos especialmente em locais com déficit hídrico e considerando as tendências de aumento na frequência e duração de secas. A compatibilidade do projeto com outros usuários da água deve ser avaliada em estudos para a outorga de direito de uso dos recursos hídricos.

A diversidade de arranjos dos sistemas de armazenamento hidráulico faz com que os potenciais impactos socioambientais variem significativamente entre os projetos. De forma geral, projetos com ciclo fechado, em que ambos os reservatórios se encontram fora de corpos hídricos naturais, assim como projetos que aproveitam reservatórios já existentes, tendem a apresentar menores impactos ambientais e maior facilidade de implantação.

No que diz respeito ao licenciamento ambiental, por se tratar de uma tecnologia ainda incipiente no país, os procedimentos aplicáveis ainda se encontram em processo de consolidação. Nesse cenário, espera-se que o licenciamento desses empreendimentos siga, em linhas gerais, procedimentos semelhantes aos adotados para usinas hidrelétricas convencionais, com prazos e exigências variando de acordo com a complexidade ambiental, a localização e o porte de cada projeto.

Ainda sobre o tema, avanços recentes no arcabouço legal brasileiro têm contribuído para criar condições favoráveis para a inserção da tecnologia. A Lei nº 15.269/2025, que estabeleceu diretrizes para a regulamentação das atividades de armazenamento de energia elétrica, incluiu as usinas hidrelétricas reversíveis entre os empreendimentos elegíveis ao Licenciamento Ambiental Especial (LAE), previsto na Lei n. 15.190/2025, em razão de seu caráter estratégico para a segurança energética e para a estabilidade do Sistema Interligado Nacional (SIN). Ainda que a aplicação prática desse dispositivo dependa da consolidação de entendimentos pelos órgãos ambientais competentes, tais avanços representam um importante marco para o desenvolvimento dos SAEHs no país e podem contribuir para viabilizar sua expansão nos próximos anos.

Para mais informações, recomenda-se a consulta ao Caderno de Estudos “Roadmap Usinas Hidrelétricas Reversíveis (UHR) - Perspectivas e caminhos para a inserção das usinas reversíveis no Brasil”[67].

[67] https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/caderno-de-estudos-roadmap-usinas-hidreletricas-reversiveis-uhr-perspectivas-e-caminhos-para-a-insercao-das-usinas-reversiveis-no-brasil-

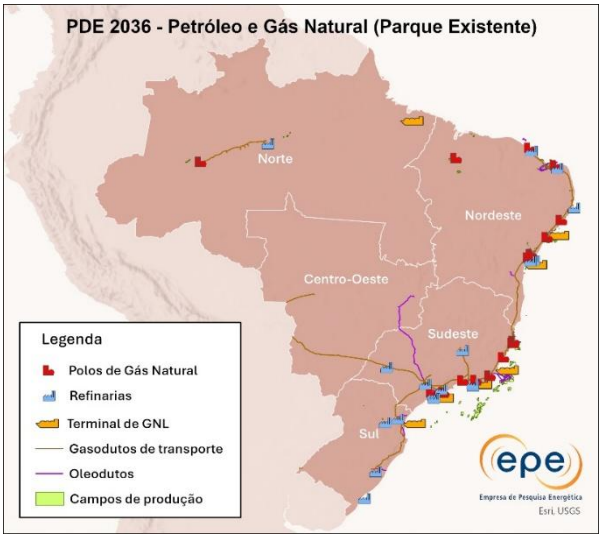
5 Análise socioambiental da produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados

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, querosene 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 (BNDES, 2023). Em 2024, pela primeira vez na história, o petróleo foi o produto mais exportado pelo Brasil em termos de valor, representando 13,3% das exportações totais. Em 2025, manteve essa posição, respondendo por 12,8% do valor total exportado (MDIC, 2026).
- 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.**
- A **geração de conhecimento técnico-científico** tem sido fomentada pela indústria do petróleo principalmente a partir da década de 1970, com o projeto REMAC (Reconhecimento Global da Margem Continental Brasileira) e passando também pelo REVIZEE (Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva) na década de 1990 / início dos anos 2000. Mais recentemente, principalmente a partir dos anos 2000, os programas de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) das diferentes operadoras de petróleo passaram a ser importantes catalisadores da capacitação de pesquisadores e sustentação de relevantes pesquisas e ações de conservação, como nos projetos Coral Vivo, Meros do Brasil, Baleia Jubarte, Mares e Albatroz, entre outros.
- 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 **dinamismo econômico da região**. Historicamente, as participações governamentais que sempre se destacaram em volume de recursos financeiros foram os *royalties* e participações especiais associados à fase de produção de petróleo e gás natural, tendo somado, em 2025, R$ 62,2 bilhões e 36,7 bilhões (ANP, 2026).

Produção atual de petróleo e gás natural e infraestrutura de abastecimento



Segundo o Anuário Estatístico 2026 da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2026), a produção nacional de petróleo em 2025 foi de 1,4 bilhão de barris e a de gás natural foi cerca de 56,5 bilhões de m3 nos 302 campos em produção, com destaque para a produção dos campos marítimos, que representaram 97,6% da produção de petróleo e 86,4% de gás natural, sendo 78,2% desses volumes referente ao pré-sal.

Segundo o Balanço Energético Nacional (EPE, 2026), em 2025 a produção foi responsável por cerca de 94% da oferta bruta de petróleo (219 x 106 m3) e a importação por apenas 6%. Desta oferta bruta, 50% foram destinados à transformação e 49% à exportação, tendo 1% de estoques, perdas e ajustes. Aproximadamente 86% do consumo final dos derivados de petróleo é energético e 71% desse volume é consumido pelo setor de transportes. Para o gás natural, a produção foi responsável por 90% da oferta bruta (65 x 109 m3) e a importação, por apenas 10%. A variação de estoques, perdas e ajustes representaram 52% da oferta bruta. Do total de gás natural consumido em 2025, o consumo final energético representou uma parcela de 48%, a transformação (produção de derivados de petróleo e geração elétrica) 51%, enquanto o consumo final não energético representou apenas 0,9%.

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 17 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 14 polos, com capacidade de 121,9 milhões de m^3/dia em 2024 (ANP, 2026). Além disso, a infraestrutura para movimentação de petróleo, gás natural e derivados é formada por dutos, terminais terrestres e aquaviários, rodovias e ferrovias. Em 2025, o Brasil dispunha de 68 terminais aquaviários e 65 terminais terrestres, totalizando 2.630 tanques. Com relação à infraestrutura de dutos, em 2025, aproximadamente 20,5 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, 2026).

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

No período decenal está previsto que **149 Unidades Produtivas contratadas** iniciarão a produção de recursos convencionais de petróleo e gás natural, além de **37 blocos em oferta permanente e 9 UPUs integrais** (UPU - Unidades Produtivas em áreas não contratadas que pertencem à União). Para as previsões da 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 e tiveram início de produção previsto para o final do horizonte, a partir de 2033 para os blocos individualizados, enquanto as UPUs principais tiveram início de produção previsto para 2036. Todas as unidades planejadas atingirão cerca de 1,3 milhão de barris/dia de petróleo e aproximadamente 60 milhões de m^3 por dia de gás natural em 2036. Já a produção total prevista para 2036 é de aproximadamente 308 milhões de m^3 por dia de gás natural e cerca de 4,9 milhões de barris/dia de petróleo. Ressalta-se que o pico

previsto para produção de petróleo ocorrerá em 2033, com 5 milhões de barris/dia e 1,8 bilhões de barris totais no ano.

As UPs contratadas terrestres planejadas estão distribuídas majoritariamente nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste. Já as UPs contratadas planejadas *offshore* estão concentradas principalmente na região Sudeste, com ocorrência também no Nordeste e na Margem Equatorial[68]. As UPUs se localizam em áreas terrestres nas regiões Nordeste e Sudeste e áreas marinhas ao longo da costa da região Sudeste. Ressalta-se que a elaboração das curvas de produção constantes do PDE 2036 considerou as análises de complexidade das UPs e UPUs realizadas para o PDE 2035.

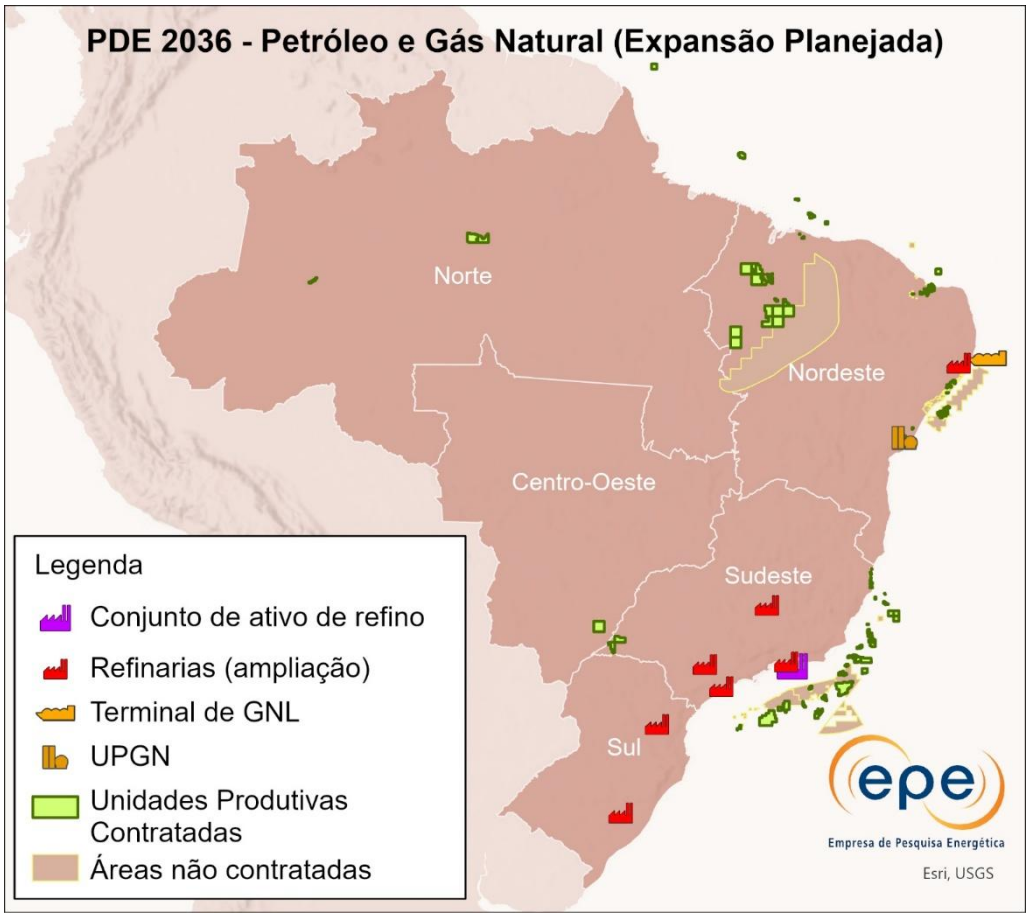
Os últimos ciclos de Oferta Permanente de Áreas resultaram na concessão de 47 Blocos Exploratórios na bacia de Pelotas e 25 na bacia da Foz do Amazonas, consideradas novas fronteiras. Para o horizonte deste PDE 2036, foi previsto o início da produção dos primeiros campos na bacia da Foz do Amazonas, além das atividades exploratórias em ambas as bacias. E&P em bacias de novas fronteiras demandam planejamento e execução mais cuidadosos e, por isso, essa questão foi considerada como desafio de compatibilizar as atividades petrolíferas com a conservação da biodiversidade, no item "Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão da produção e da oferta de petróleo, gás natural e derivados" adiante.

Em relação ao abastecimento, estão previstas **ampliações da capacidade de refino** de sete refinarias: Regap (Betim/MG, +25 mil b/d); Replan (Paulínia/SP, +31,3 mil b/d); Refap (Canoas/RS, +12 mil b/d); Reduc (Duque de Caxias/RJ, +11,3 mil b/d); Repar (Araucária/PR, +13 mil b/d); RNEST (Ipojuca/PE, +130 mil b/d – segundo trem) e RPBC (Cubatão/SP, 25 mil b/d). Além disso, estão previstos outros investimentos em refino: novas unidades de hidrotratamento de nafta, de geração de hidrogênio, de hidrotratamento de diesel e de coqueamento retardado na RNEST; ampliação da capacidade das unidades de coqueamento retardado e nova unidade de hidrotratamento de nafta na Replan; e novas unidades de hidrotratamento de diesel na Refap e na Repar.

Está previsto também o estabelecimento de um conjunto de ativos de refino, o Complexo Boaventura (Itaboraí, RJ), que se constitui na integração operacional entre Reduc e Boaventura, com a conclusão das unidades de HCC e de HDT de diesel do antigo projeto da refinaria do Comperj, além da construção de nova unidade de hidrodesparafinação por isomerização por hidrogênio (HIDW) para a produção de óleos básicos lubrificantes do Grupo II.

Quanto à infraestrutura de gás natural, estão previstos **uma unidade de processamento de gás natural (UPGN) e um Terminal de regaseificação de GNL** para o decênio (Figura 11). A UPGN planejada é a UPGN Miranga (0,59 MM m^3/dia, Pojuca/BA, prevista) e o terminal de regaseificação previsto é o de Suape (14 MM m^3/dia, Ipojuca/PE).

[68] Região que abrange a costa do Amapá ao Rio Grande do Norte.



Notas: (1) Mapeamento de Unidades Produtivas - Fontes: ANP (2025) e EPE (2025); (2) O tamanho do polígono das UPs e UPUs não é proporcional ao volume de produção ou às interferências socioambientais; (3) Áreas não contratadas = 37 Blocos em Oferta Permanente delimitados e 9 UPUs integrais.

Figura 11 – Ampliações de refinarias e Unidades Produtivas, UPGN e terminal planejados

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 da capacidade de refino, bem como da implantação da infraestrutura de gás natural 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 da cadeia de petróleo e gás natural. Considerando as sensibilidades típicas das diferentes regiões para as quais a infraestrutura está planejada no horizonte deste PDE 2036, 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 insfraestrutura e à rotina das atividades operacionais, 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 a serem considerados na Análise Socioambiental Integrada do PDE 2036.

Sobre as **atividades de E&P planejadas**, os impactos potenciais associados ao risco de acidentes com derramamento de óleo em corpos hídricos ou no mar continuam entre 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 costa[69], pois a Plataforma Continental é estreita e por isso as unidades de E&P estão localizadas relativamente próximo à costa. Entre as medidas mitigadoras desse impacto potencial, podem ser citadas: i. a instalação de BOP (*blowout preventer*)[70] 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.

Entre 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 de energia, 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. As atividades previstas para as regiões Norte e Nordeste se localizam a partir do talude, em águas profundas e ultra-profundas, áreas com menor sensibilidade ambiental, mas ainda assim merecem ser mencionadas.

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 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 constitui 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 pelas atividades. Em suma, quanto ao tema **Biodiversidade**, destaca-se a interferência na fauna nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste.

[69] 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.

[70] 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. (dicionariopetroleoegas.com.br).

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**. Ainda sobre o tema Organização Territorial, as atividades de E&P *offshore* nas regiões Norte e Nordeste, mesmo que em diferentes escalas, estão associadas à atração de população para os municípios litorâneos, o que indica a necessidade de planejamento da infraestrutura social (saúde, educação, habitação e demais serviços). Por outro lado, a possibilidade de desenvolvimento industrial, com geração de empregos, além do recebimento de *royalties*[71] (caso bem gerenciados), podem trazer benefícios socioeconômicos que contrabalanceiem as interferências negativas para ambas as regiões.

Em relação às ampliações na capacidade de **refino** e ao estabelecimento do Complexo Boaventura, todas esses ativos estão localizados principalmente em áreas industriais (uma refinaria na região Sul, duas na região Nordeste e cinco refinarias na região Sudeste, além de uma integração operacional). Portanto, não são esperados impactos regionais adicionais expressivos e seus aspectos ambientais específicos serão tratados no licenciamento ambiental. É esperada geração de empregos associados ao aumento da capacidade de refino e as estimativas são apresentadas no item "Indicadores socioambientais da expansão da produção e da oferta de petróleo, gás natural e derivados".

A **UPGN** Miranga (Pojuca/BA) será instalada no Recôncavo Baiano e considerou-se que não há impactos de abrangência regional relevantes a serem apontados. Entende-se que eventuais impactos locais poderão ser evitados ou mitigados no âmbito do licenciamento ambiental do projeto.

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. 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. Adicionalmente, 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 Socioambiental Integrada do PDE 2036, 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.

[71] 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.

A Tabela 19 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.

No Quadro 23 destacam-se as principais interferências socioambientais relacionadas à expansão da produção e oferta de petróleo e gás natural e derivados no PDE 2036; os temas socioambientais associados a essas interferências; a justificativa pela indicação da interferência na região na qual está prevista a expansão; e, por último, as medidas mitigadoras relacionadas às interferências listadas.

Tabela 19 – Síntese da análise socioambiental da produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados no PDE 2036

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

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: *offshore* – efeito cumulativo em função da quantidade de empreendimentos existentes N e NE: *offshore* – interferências associadas à atividade sísmica, à instalação de estruturas no assoalho marinho e às perfurações	- 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: *onshore* – continuação do processo histórico de atração para os centros urbanos; *offshore* – chegada das atividades de E&P em novas localidades	- Planos de comunicação - Contratação de mão de obra local - Planejamento da infraestrutura social
Alteração dos modos de vida das comunidades locais		NE: *onshore* – chegada das atividades de E&P em novas localidades; cumulatividade entre as atividades previstas; *offshore* – chegada das atividades de E&P em novas localidades	

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 o MME, ANP, IBP e Ibama. As principais iniciativas e discussões em andamento envolvem a adequação do setor à redução das emissões de gases de efeito estufa 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 *royalties* 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 **redução das emissões de gases de efeito estufa**, o setor vem sendo pressionado a contribuir com as políticas climáticas e mitigar possíveis riscos futuros de conformidade e de competitividade ao negócio.

Nesse sentido, observa-se que as empresas estão aderindo a iniciativas voluntárias e adotando ações no intuito de compatibilizar suas emissões aos objetivos dos acordos internacionais firmados pelo país e contribuir com os esforços de transição para uma economia de baixo carbono. Algumas das principais iniciativas são: Programa Brasileiro GHG Protocol, que busca estimular a elaboração de inventário de emissões de GEE (FGVces, 2025); World Bank's Global Gas Flaring Reduction Partnership (GGFR), que almeja eliminar a queima de rotina em *flare* e reduzir as emissões de metano (Banco Mundial, 2025); Oil and Gas Climate Initiative (OGCI), que busca acelerar ações para atingir o *net zero* em 2050 (OGCI, 2025); Task Force on Climate-Related Financial Disclosures (TCFD) que desenvolveu orientações para auxiliar na divulgação de riscos e oportunidades climáticas (TCFD, 2025); e Fundo de Investimento em Participações (FIP) voltado à Transição Energética e Descarbonização (BNDES, Petrobras e Finep) para financiar projetos em áreas como energias renováveis, biocombustíveis, e-fuels, hidrogênio de baixo carbono e derivados, captura, utilização e armazenamento de carbono, armazenamento de energia e eletromobilidade e soluções para descarbonização de operações (Agência BNDES de Notícias, 2026).

Entre as medidas adotadas pelas empresas para redução das emissões de GEEs das operações estão: gerenciamento e monitoramento das emissões de metano, eliminação da queima não emergencial em *flare*, eletrificação das unidades de *upstream*, captura e armazenamento de carbono (em inglês: Carbon Capture and Storage – CCS) entre outras. Em relação ao CCUS (que adiciona a utilização do carbono resultante do processo), cabe destacar que a Petrobras reinjeta o CO_2 de volta ao reservatório nos campos do pré-sal e já possui o maior programa de reinjeção de CO_2 offshore do mundo, e tem como meta alcançar volume acumulado de reinjeção de 80 $MtCO_2$ em 2025 (Petrobras, 2025a).

Adicionalmente, os Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas, publicados no âmbito do Plano Clima 2024-2035, estabelecem metas e ações importantes que direcionam a adoção de medidas de reduções de emissões de GEE, de modo a atender ao cumprimento da NDC brasileira. Outro instrumento importante será o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), instituído pela Lei n. 15.042/2024, no qual os operadores sujeitos à regulação deverão cumprir as obrigações específicas, a depender das emissões de suas instalações.

Entre outras iniciativas nacionais estão: a Resolução CNPE n. 8 de 2024, que estabelece diretrizes para a promoção da descarbonização das atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural; o Painel Dinâmico de Emissões de Gases de Efeito Estufa, que divulga as emissões de GEE das bacias de produção de petróleo e gás natural nacionais, lançado em 2025 pela ANP; 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); a Lei do Combustível do Futuro (Lei n. 14.993/2024) e o marco legal do hidrogênio de baixa emissão de carbono (Lei n. 14.948/2024), que são iniciativas que promovem a utilização de combustíveis de baixo carbono; e o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten), sancionado pela Lei n. 15.103/2025, que visa promover a geração e uso eficiente de energia de baixo carbono.

Todas essas inciativas refletem a movimentação do setor de óleo e gás para implementar medidas de mitigação das emissões e, assim, atender às regulamentações climáticas em desenvolvimento. Além de se posicionar perante a transição energética, adota 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 (BNDES, 2023).

Diante do desafio da redução das emissões de GEE, envolvendo a discussão das consequências das mudanças climáticas, recomenda-se que o setor fortaleça e aprimore a comunicação com a sociedade sobre suas iniciativas de descarbonização, bem como seu papel na transição para uma economia de baixo carbono. Nesse sentido, o documento "Rethinking Transitioning Away from Oil and Gas", publicado pela Catavento, com apoio do Instituto Clima e Sociedade (ICS) e IBP, exemplifica uma iniciativa setorial de comunicação e geração de conhecimento, contribuindo com a discussão sobre a transição energética no mundo e o posicionamento do Brasil nesse cenário (Catavento Consultoria, 2024).

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 medidas de gestão da disponibilidade hídrica nos locais onde atua; gestão de resíduos e economia circular; e ações de conservação e restauração de Biodiversidade ("alcançando ganhos de biodiversidade até 2030, com foco em florestas e oceanos") (Petrobras 2025b). O Plano de Negócios estabelece ainda uma estratégia de descomissionamento alinhada à hierarquia de resíduos e circularidade, mantendo o desmantelamento sustentável como alternativa para unidades inelegíveis ao reaproveitamento. Além das ações de reflorestamento e conservação direta dos biomas onde atua, a Petrobras investe em soluções baseadas na natureza para compensar suas emissões. Algumas iniciativas nesse sentido são: a parceria com o BNDES no âmbito da Floresta Viva (investimento em projetos de reflorestamento, com destaque para o ecossistema de manguezal) e o investimento socioambiental voluntário (apoio a organizações da sociedade civil no plantio e coleta de sementes, além de ações de proteção e monitoramento, que em 2023 beneficiaram 460 espécies da fauna e da flora na Amazônia, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica) (Petrobras, 2025c).

Também são verificadas iniciativas de articulação entre os setores de petróleo e meio ambiente: no controle de espécies exóticas (IBAMA, 2018b); no planejamento integrado entre os setores petrolífero e ambiental (Brasil, 2012; Consórcio Piatam-Coppetec e EPE, 2020; Ecology/ANP, 2020); e também nas discussões no âmbito do Planejamento Espacial Marinho (PEM), que vem sendo coordenado pela Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (Secirm) e pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA) (CIRM, 2025).

Para aprimorar os procedimentos de licenciamento ambiental de E&P, foram observadas as seguintes iniciativas recentes: elaboração de 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); elaboração dos guias de avaliação ambiental, que irão contemplar orientações específicas para sísmica, perfuração e produção de petróleo e gás natural (Ibama 2020, 2022 e 2023a); e 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 (Ibama, 2023b).

Adicionalmente, para estimular a exploração, o desenvolvimento e a produção de petróleo e gás natural de forma sustentável, foi instituído o Programa Potencializa E&P (MME, 2024), do qual destacam-se os seguintes objetivos específicos:

> *"(...) V - adotar, dentro das atribuições do Ministério de Minas e Energia, ações que conduzam a uma melhor sinergia entre a oferta de áreas e o processo de licenciamento ambiental;*
>
> *(...) VII - assegurar a observância das normas ambientais, de segurança operacional e das melhores práticas nas atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural;*

(...) IX - propor aprimoramentos para o Sistema de Oferta Permanente de áreas para exploração e produção de petróleo e gás natural;

(...) XI - promover ações para mitigar as emissões de gases do efeito estufa nas atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural; e

XII - propor ações para a utilização dos recursos do Fundo Social para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas."

Com relação a atividades de E&P em bacias de novas fronteiras, o desafio da compatibilização com a conservação da biodiversidade demanda cuidados adicionais, pois são regiões ainda pouco exploradas, o que implica riscos socioambientais mais elevados, devido à existência de lacunas de conhecimento técnico-científico. 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 acidentes e impactos sobre ambientes, espécies sensíveis e comunidades costeiras. Para essas áreas, é recomendado o desenvolvimento de estudos socioambientais estratégicos e mais amplos do que os estudos elaborados para o licenciamento ambiental de atividade específica, aliado à criação de canais de diálogo com a sociedade, medidas essas relevantes para mitigar 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 (AAAS), diagnósticos regionais, estudos de PD&I direcionados a questões ecossistêmicas e mapeamentos participativos de áreas relevantes para as comunidades locais.

No que se refere aos aspectos socioeconômicos, uma discussão relevante é na direção de se **reverter a aplicação dos *royalties* em benefícios efetivos para a população**. Apesar da sólida empregabilidade gerada pelas atividades de E&P e do recebimento de volumes significativos de rendas petrolíferas por parte dos municípios, o desenvolvimento econômico local depende da gestão adequada dos recursos. Estudos apontam que municípios beneficiados por *royalties*, sobretudo aqueles que recebem grandes volumes, apresentam um efeito positivo no aumento dos investimentos públicos (Tavares e Almeida, 2014; Reis e Santana, 2015) e, mesmo assim, os aumentos dos gastos com educação e saúde podem ser duas ordens de grandeza menores que o aumento da receita (Leão et al., 2024). Surpreendentemente, há indícios de que municípios recebedores de *royalties* podem apresentar uma redução, ainda que pouco expressiva, no seu IDH, quando comparados com municípios equivalentes que não recebem tais recursos (Tavares e Almeida, 2014).

Uma iniciativa no sentido da boa gestão municipal é a criação de fundos soberanos subnacionais, administrados por municípios ou estados, que têm 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, como é o caso dos municípios de Niterói e Maricá/RJ, Ilhabela/SP e do estado do Espírito Santo). Outra iniciativa é o "Projeto de Educação Ambiental Rendas do Petróleo – Tecendo Participação Popular", condicionante do licenciamento ambiental federal (Ibama) da produção e escoamento na bacia de Santos, que 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 crítica" 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, 2024). Em 2025, foram publicados diagnósticos setoriais em política pública, com o objetivo de detalhar a situação de temas relevantes dos nove municípios do projeto e contribuir para a construção de estratégias voltadas ao uso qualificado dos recursos públicos. Os temas escolhidos foram: "Esgotamento sanitário e abastecimento de água", "Saúde Pública", "Saneamento e endemias, com foco em Dengue, Zika e Chikungunya", "Mobilidade Urbana", "Ordenamento Territorial" e "Coleta Seletiva" (Petrobras, 2026).

O Quadro 24 resume os principais desafios relacionados à expansão da produção de petróleo e gás natural e derivados no PDE 2036 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
Redução das emissões de GEE	- Adesão a iniciativas que promovem ações para o clima: Programa Brasileiro GHG Protocol; 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); Fundo de Investimento em Participações (FIP) voltado à Transição Energética e Descarbonização (BNDES, Petrobras e Finep) - Adoção de medidas para redução das emissões de GEE das atividades, como gerenciamento e monitoramento das emissões de metano; eliminação da queima não emergencial em *flare*; eficiência energética; tecnologias de captura e armazenamento ou uso de carbono (CCS e CCUS[72]) - Plano Clima e os Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas - SBCE – Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões - Diretrizes para a promoção da descarbonização (CNPE) - Painel Dinâmico de Emissões de Gases de Efeito Estufa da ANP - Programa Gás para Empregar - Documento "The O&G industry and the transition away: dimensions, results and key messages"	- Continuar a implementar medidas de mitigação das emissões para atender às regulamentações climáticas em desenvolvimento. - Aprimorar a comunicação com a sociedade sobre suas iniciativas de descarbonização, bem como seu papel na transição para uma economia de baixo carbono.
Compatibilizar as atividades petrolíferas com a conservação da biodiversidade	- Ações de ASG da Petrobras - Descomissionamento sustentável - Articulação intersetorial - Iniciativas para aprimoramento do licenciamento ambiental - Programa Potencializa E&P	- Para bacias de novas fronteiras: desenvolvimento de estudos socioambientais estratégicos e mais amplos do que os estudos elaborados para o licenciamento ambiental de atividade específica
Reverter a aplicação dos *royalties* em benefícios efetivos para a população	- Criação de fundo soberano subnacional para resguardar reservas de *royalties* e participações especiais recebidos (municípios de Niterói e Maricá/RJ, Ilhabela/SP e Estado do Espírito Santo). - 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 *royalties* e parti-	- Levantar e implementar mecanismos, como por exemplo modificação na legislação subnacional, para indicar a destinação dos *royalties* para demandas particulares de cada município/estado. - Incentivar iniciativas que permitam monitorar a destinação das rendas petrolíferas.

[72] *Carbon Capture and Storage* (CCS) e *Carbon Capture Utilization and Storage* (CCUS)

Desafio	Iniciativas	Recomendações
	cipações especiais, fortalecendo o controle social e ampliando a participação na gestão das receitas (bacia de Campos).	- Promover fóruns de discussão que orientem a destinação dos *royalties* em nível municipal.

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 **diversificação de portfólio e prestação de serviços de baixo carbono** associada à expansão da produção e oferta de petróleo, gás natural e derivados prevista para o decênio.

Além de financiar a transição energética, 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). As empresas de petróleo têm diversificado seu portfólio no contexto da transição energética, tornando-se conhecidas como "empresas de energia". A Petrobras indica, em seu Caderno de Mudança do Clima, os seguintes eixos de atuação no sentido de aproveitar essa oportunidade que se apresenta:

- **Bioprodutos** – parcerias estratégicas e adaptação do parque de refino para produção de etanol, biodiesel e biometano; projetos para implantação de novas plantas dedicadas à produção de combustível sustentável de aviação (SAF) e diesel renovável; combustível marítimo com conteúdo renovável; coprocessamento para produção de hidrocarbonetos leves de refinaria (HLR), propeno e etileno com conteúdo renovável; processamento de óleos vegetais para produção de bioaromáticos.
- **Produtos de baixo carbono de origem mineral** – asfalto de alta penetração, ideal para serviços de reciclagem a quente de revestimentos asfálticos danificados ao permitir um maior uso de conteúdo reciclado; e cimento asfáltico que pode ser usinado e aplicado em temperaturas até 40°C menores do que as usuais, gerando economia de energia e menor emissão de GEE e vapores.
- **Produtos com emissões de GEE compensadas** – gasolina Petrobras Podium carbono neutro – emissões de GEE compensadas em todo seu ciclo de vida por meio de créditos de carbono gerados por ações de preservação florestal de biomas nacionais.
- **Hidrogênio de baixo carbono** – planta-piloto em implantação na Usina Termelétrica do Vale do Açu, no Rio Grande do Norte, com previsão de entrada em operação no primeiro trimestre de 2026.
    - **Energia elétrica** – solar fotovoltaica e eólica *onshore* até 2030 e futuras oportunidades de negócios em eólica *offshore*.
    - **CCUS** (está em estudo a viabilidade de desenvolvimento de projetos de hub de CCUS no Brasil, que visam prestar o serviço para o abatimento tanto das emissões próprias quanto de terceiros. Nesse novo modelo de negócio, o CO_2 é capturado em diferentes localidades e fontes de emissão – refinarias, indústria de cimento, de aço, de alumínio, indústria química, termelétricas, usinas de etanol, entre outros – e transportado por meio de uma malha conectada, compartilhada e otimizada de transporte, para posterior armazenamento em reservatórios geológicos, que sejam adequados e seguros (Petrobras, 2025a).

O Quadro 25 resume a principal oportunidade relacionada à expansão da produção e oferta de petróleo e gás natural e derivados no PDE 2036 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
Diversificação de portfólio e prestação de serviços de baixo carbono	- Mecanismos financeiros com compromissos de sustentabilidade

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

Tabela 20 – Indicadores socioambientais da expansão da produção e da oferta de petróleo, gás natural e derivados

Indicadores Ambientais[1]	
E&P de petróleo e gás natural	
Número de UPs com sobreposição a UC de proteção integral	1 de 149 UPs contratadas
Número de UPs com sobreposição a UC de uso sustentável	9 de 149 UPs contratadas
UPGN	
Número de UPGNs com sobreposição a UC de uso sustentável	0 de 1 planejada
Indicadores Socioeconômicos	
E&P de petróleo e gás natural	
Número de UPs com sobreposição a TI[1]	1* de 149 UPs contratadas
Número máximo de empregos diretos gerados[2]	10.400
Royalties e participações especiais – média anual (R$ bilhões)[3]	59
UPGNs	
Empregos diretos gerados no pico das obras[4]	47
Terminal de GNL (regaseificação)	
Empregos diretos gerados no pico das obras[5]	543
Refino	
Número máximo de empregos diretos gerados na operação[6]	2.770

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, 2026; Incra, 2026 e MMA, 2026. (2). Indicadores socioeconômicos estimados a partir da relação entre as curvas de produção constantes do Capítulo V "Produção de Petróleo e Gás Natural" deste PDE 2036 e os dados de empregos da RAIS. O número de empregos estimados por ano partiu da média histórica entre os anos 2016 e 2025 para a relação barril de óleo equivalente/dia (boe/dia) / empregado. Foi aplicada ainda uma eficiência de 2 % a.a. a essa relação, considerando avanços na automação e no controle de processos, bem como alta produtividade do pré-sal. Para o resultado deste indicador, foi adotada a diferença entre o valor do ano de 2028, quando a produção atinge seu pico neste PDE 2036, e o valor do ano de 2026, ano anterior ao decênio analisado. (3). *Royalties* e participações especiais destinados a estados e municípios, calculados apenas para os recursos descobertos. Atualização metodológica considerou que as estimativas de arrecadação das Participações Especiais foram calculadas com base exclusivamente nos ativos sob regime de concessão, representando uma alteração metodológica em relação ao PDE 2034, no qual a base de referência incluía também ativos sob outros regimes de contratação. A mudança visa alinhar os cálculos às diretrizes regulatórias vigentes e aprimorar a consistência das projeções. (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 a partir do aumento da capacidade de refino previsto neste PDE 2036 para sete refinarias. O número de empregos estimados por ano partiu da média histórica entre os anos 2021 e 2025 para a relação capacidade de refino (barris/dia) / empregado. Para o resultado deste indicador, foi adotada a diferença entre o valor do ano de 2031, quando a produção atinge seu pico neste PDE 2036, e o valor do ano de 2026.

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. Um indicador socioeconômico também foi calculado da mesma forma: **número de UPs contratadas com sobreposição a Terras Indígenas (TI)**. Vale ressaltar que, conforme sinalizado na Figura 11 (Nota 2), não é possível estabelecer uma relação obrigatória entre sobreposição de UPs com essas áreas 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 esse 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 correspondem aos 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 2036. 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). Para a ampliação da capacidade de refino, também foi observada a relação entre a capacidade de refino e os empregos da RAIS. Para UPGN e Terminal de GNL, o número de empregos foi estimado a partir de informações contidas em estudos ambientais de empreendimentos.

6 Análise socioambiental da oferta de biocombustíveis

6.1 Etanol

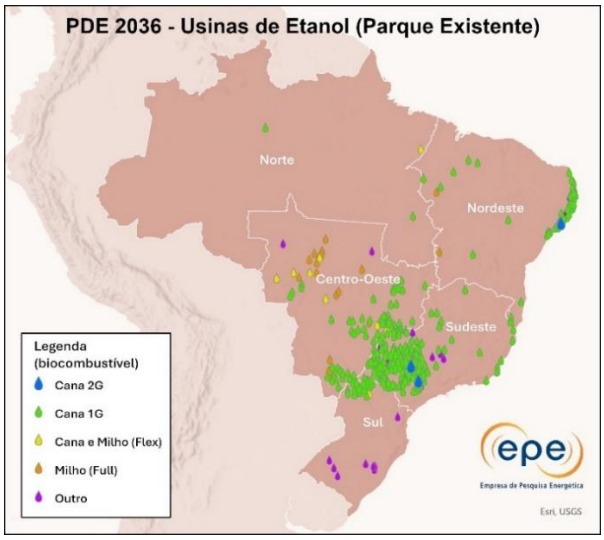
Benefícios do etanol

- O etanol é um **combustível renovável** utilizado como aditivo e substituto direto da gasolina automotiva. No Brasil, atualmente é misturado compulsoriamente à gasolina no percentual de 32%* (etanol anidro) ou utilizado puro (etanol hidratado).
- Os principais benefícios ambientais de seu uso como substituto ou adicionado à gasolina estão relacionados à **baixa emissão de poluentes atmosféricos**, como o monóxido de carbono, material particulado e óxidos de enxofre. Adicionalmente, o etanol também contribui para a **mitigação das emissões de gases de efeito estufa** (GEE), uma vez que parte do carbono liberado na sua queima é absorvido pela planta por meio do processo de fotossíntese.
- Existem também **benefícios econômicos e sociais** associados à produção de etanol pela geração de empregos diretos e indiretos, interiorização de investimentos, 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 cana da região Centro-Sul, reduzindo a volatilidade nos preços e aumentando a **segurança energética** do país.

* Em julho de 2026, o Conselho Nacional de Política Energética – CNPE aprovou a elevação temporária do teor obrigatório de etanol anidro na gasolina vendida no país, de 30% para 32% (E32). A medida vale por 180 dias, com possibilidade de uma única prorrogação pelo mesmo prazo (Jota, 2026).

Oferta atual de etanol

O volume de etanol produzido no país em 2025 foi de **36,2 bilhões de litros**, valor 3% inferior à produção de 2024 (EPE, 2026). Esse volume é majoritariamente oriundo da indústria sucroalcooleira, mas a participação do etanol de milho segue crescendo. Registram-se, em 2026, **352 usinas em operação**, sendo 316 usinas sucroenergéticas, considerando cana 1G (primeira geração), cana 2G (segunda geração) e usinas *flex* (cana e milho), além de 28 usinas de milho full e 8 que produzem etanol a partir de outras matérias-primas (figura ao lado). Das usinas produtoras de etanol, em maio de 2026, 276 possuíam Certificado da Produção Eficiente de Biocombustíveis, podendo solicitar a emissão de Créditos de Descarbonização – CBIOs (ANP, 2026a).



Com relação à área cultivada com cana-de-açúcar dedicada à produção de açúcar e etanol, para a safra 2025/2026, a estimativa é de crescimento de 2,1% em relação à safra anterior, alcançando aproximadamente 8,95 M ha. O cultivo está concentrado na região Sudeste (63%), especialmente no estado de São Paulo (Conab, 2026b).

De 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. A cultura de milho 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 significativas das rações desses animais (Embrapa, 2021).

Vale ressaltar que, a partir de 2019, a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) começou a categorizar uma terceira safra, que se estende de abril a junho e acontece majoritariamente nos estados de Bahia e Sergipe. A terceira safra alcançou 2,99 milhões de toneladas no ciclo 2024/25, 19% a mais que a safra anterior (Conab, 2026b).

Nos últimos anos tem se verificado aumento expressivo nos volumes de etanol de milho, produzidos sobretudo na segunda safra. As vantagens competitivas do etanol de milho em relação ao de cana-de-açúcar estão atreladas a características do grão, da cultura de milho e de seu processo produtivo. A rota de obtenção do etanol de milho, apesar de necessitar de mais etapas, possui como vantagens o elevado rendimento de etanol, além da produção de óleo de milho associada, bem como o aproveitamento dos coprodutos secos (ou DDGS[73]) na nutrição animal. Destaca-se também a evolução tecnológica que permite ganho de eficiência no processo com a redução no tempo de fermentação nas plantas de etanol de milho brasileiras em comparação com as dos Estados Unidos, por exemplo (Silva e Castañeda-Ayarsa, 2021).

Quanto ao rendimento do milho e da cana para a produção de etanol, uma tonelada de milho produz de 370 a 460 litros do combustível, enquanto uma tonelada de cana produz de 70 a 80 litros. Contudo, a cultura de milho tem menor rendimento por área, de 5 t/ha, contra 70 t/ha da cana. (Centro de Conhecimento em Bioenergia, 2020). Com isso, em média um hectare de cultivo de cana é capaz de produzir 4.900 a 5.600 litros de etanol, enquanto um hectare de cultivo de milho produz 1.850 a 2.300 litros do biocombustível, cerca de 40% da produtividade da cana.

O etanol de cana produzido no Brasil tem, na média, a capacidade de poupar emissões de gases do efeito estufa ligeiramente maior que o etanol de milho, considerando a pegada de carbono desde o cultivo até a queima do biocombustível nos veículos calculada conforme metodologia do RenovaBio, por meio do simulador denominado RenovaCalc (ANP, 2026b). A energia gerada pela queima do etanol de cana no Brasil poupa aproximadamente 59 g CO_2eq/MJ (gramas de CO_2 equivalente por megajoule) em comparação com a energia gerada pela gasolina. Esse valor é ligeiramente maior que o poupado com o etanol de milho, de cerca de 56 g CO_2eq/MJ. O etanol produzido em usinas flexíveis que usam tanto cana como milho como matéria prima apresenta média de 61 g CO_2eq/MJ. Estes valores apresentados referem-se à média das notas de eficiência de usinas cadastradas no RenovaBio em julho de 2026. (ANP, 2026b).

A mitigação de emissões devido ao uso do etanol no Brasil é bastante expressiva. A EPE estima que, com o uso do etanol (anidro e hidratado), foram evitadas no Brasil, somente em 2024, 65,3 $MtCO_2$, em comparação com o uso da gasolina (EPE, 2025).

Expansão da oferta de etanol nos próximos 10 anos

O cenário de oferta[74] de etanol do PDE 2036 prevê expansão da oferta de 41,6 bilhões de litros em 2026 para **53,1 bilhões de litros em 2036** (aumento de 11,5 bilhões de litros e 27,7%). O etanol oriundo de milho terá predomínio na expansão, com incremento de cerca de 10,3 bilhões de litros no decênio. Já para o etanol de cana-de-açúcar e de segunda geração (2G) é previsto um incremento de 0,6 bilhões de litros e de cerca de 0,5 bilhão de litros, respectivamente. Estima-se para o final do decênio (2036) a oferta de cerca de 30,7 bilhões de litros de etanol de cana, 21,4 bilhões de litros de etanol de milho e 0,6 bilhão de litro 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: as usinas *full*, que processam exclusivamente milho para produção de etanol; as usinas flex, que são aquelas de cana-de-açúcar adequadas para produzir etanol de milho no período da entressafra da cana; e as usinas flex *full*, que são usinas de cana e milho que operam paralelamente.

[73] Sigla em inglês para *Dried Distiller's Grains with Solubles*; em português: grãos secos com solúveis de destilaria (de milho).
[74] A oferta considera o volume total de importação e produção de etanol oriundo da cana-de-açúcar, milho, cana 2G e outras matérias-primas.

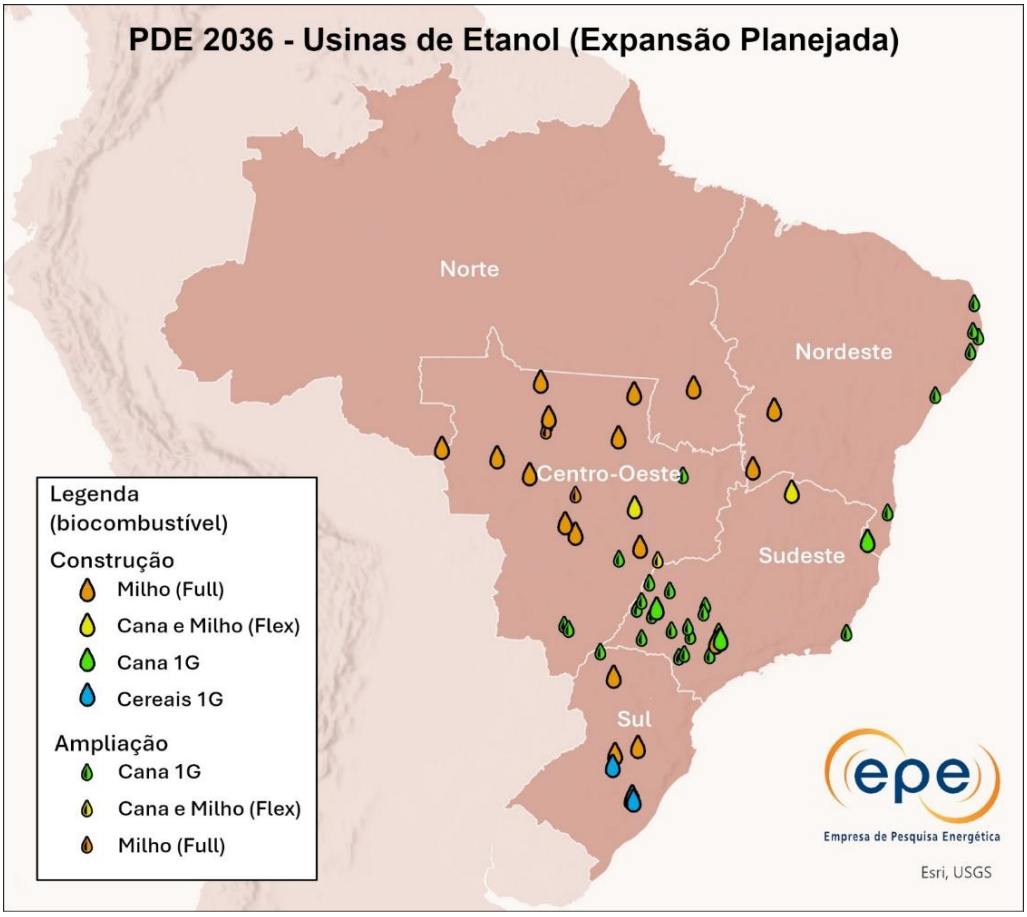


Figura 12 – Localização das usinas de etanol planejadas no PDE 2036

Para atender ao aumento da oferta de etanol previsto no horizonte decenal, está planejada a **construção de 26 usinas,** a maioria nas regiões Centro-Oeste e Sul (Figura 12). Dessas 26 usinas, 17 são exclusivas para processamento de milho (*full*), quatro para produção a partir de cereais, três dedicadas exclusivamente à cana e duas flex (cana e milho). Encontram-se em ampliação 34 usinas, a maioria no Sudeste (17) e Centro-Oeste (10). Além disso, considera-se expansão indicativa de 3,4 bilhões de litros de etanol de milho por meio de novas usinas e de ampliações de usinas existentes.

O uso rodoviário é o principal fator de crescimento da demanda pelo etanol, influenciado pela competitividade do hidratado em relação ao fóssil e pelo mandato de adição de 30% de anidro na gasolina. Considera-se também o etanol na aviação agropecuária, para uso aquaviário e como insumo para a produção de combustível sustentável de aviação (SAF) pela rota *Alcohol to Jet*.

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, as previsões do PDE 2036 indicam a predominância de milho como matéria prima na expansão da produção 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.

No que diz respeito à **geração de resíduos e efluentes**, o setor sucroalcooleiro tem avançado na busca de soluções para seu **reaproveitamento**. Entre elas destacam-se a queima de bagaço, palha e ponta para produção de bioeletricidade[75] 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[76] 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 e a capacidade de suporte do solo (com vistas a evitar excesso de aplicação em um mesmo lugar e a consequente contaminação do lençol freático), implicando busca por melhorias ou novas soluções para o problema. Estudos apontam que algumas usinas brasileiras já utilizam biodigestores para transformar vinhaça em biogás, que pode ser convertido em eletricidade ou vapor industrial, e o resíduo final pode ser usado como biofertilizante (Revista Pesquisa Fapesp, 2023; RPA News, 2024; A1 Engenharia, 2026).

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 cerca de 384 milhões de m³ em 2036 e um total acumulado de 3,8 bilhões de m³ ao longo do decênio. Para o etanol de milho, a vinhaça é concentrada para a produção de DDGS (*distiller's dried grains with solubles*), não representando, portanto, resíduo expressivo. Os estados que terão a maior expansão de usinas de etanol de cana no decênio – e consequentemente da produção de vinhaça – são São Paulo e Mato Grosso do Sul. Ainda assim, os percentuais de expansão da capacidade instalada podem ser considerados pequenos em relação à capacidade do parque sucroalcooleiro existente nesses estados – respectivamente 2% e 4%. No conjunto dos demais estados que possuem usinas de etanol e que têm expansão planejada no decênio, o percentual de aumento de capacidade de produção do parque sucroalcooleiro é de cerca de 2%, sendo que essa expansão estará dispersa geograficamente no território desses estados.

São Paulo e Mato Grosso do Sul, que terão os maiores aumentos percentuais na capacidade instalada de produção de etanol a partir da cana, são os estados que dispõem de legislação e normas infralegais ambientais mais avançadas com relação à vinhaça. No estado de São Paulo, a Norma Técnica Cetesb P4.231, 3ª Edição, de 2015[77], regulamenta o armazenamento, transporte, aplicação e manejo da vinhaça. Já Mato Grosso do Sul é o estado com a legislação mais completa e atualizada do país a esse respeito. A Lei Estadual n. 4661/2015 estabelece diretrizes para armazenamento, transporte, distribuição e aplicação da vinhaça para fins agrícolas, e a Resolução Semade n. 19/2015 (Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento) estabelece critérios e procedimentos em complementação à lei. Já a Resolução Semadesc n. 001/2023 (Secretaria de Meio Ambiente, Desenvolvimento, Ciência, Tecnologia e Inovação) aprimora a resolução anterior, sendo bastante completa e detalhada, e apresentando ilustrações práticas.

Considerando i) as destinações possíveis para a vinhaça (fertirrigação, adubo e uso energético, no caso das usinas sucroenergéticas) e a produção de DDGS a partir dos resíduos das usinas de etanol de milho; ii) a dispersão geográfica das usinas; e iii) a legislação rigorosa sobre o assunto nos estados com as maiores expansões previstas (SP e MS), a interferência ambiental relativa à geração de **resíduos** não foi considerada relevante no contexto da expansão decenal.

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

[75]Ver item 4.3 UTEs renováveis para mais informações.

[76]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).

[77]https://www.cetesb.sp.gov.br/dx/api/dam/v1/collections/637d7bdc-98c9-4d1a-aa1c-9e8ecdc4e9ba/items/5102f3c6-a2b0-4e7f-84b3-a86a353447c0/renditions/6f21eafb-25df-4dc3-9ba1-446e77b5d70a?binary=true.

emprego da fertirrigação. 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.

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). O consumo de água do processo industrial para fabricação do etanol de milho 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 2023/2024 se estabilizou em 0,74 m³ de água por tonelada de cana-de-açúcar processada após progressivas reduções nos anos anteriores. Tais resultados são devidos à promoção de ações de fechamento de circuito com reuso de água, aprimoramento dos processos industriais e avanço na colheita crua e limpeza da cana a seco (São Paulo, 2024). 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 2,4 e 3,5 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 Sul, que apresentam condições mais favoráveis de chuvas, o tema recursos hídricos não foi considerado relevante.

A análise dos temas socioambientais está sintetizada na Tabela 21.

Tabela 21 – Síntese da análise socioambiental de etanol do PDE 2036

	Norte	Nordeste	Sul	Sudeste	Centro-Oeste
Etanol	☐ interferências inexpressivas	☐ interferências inexpressivas	☐ interferências inexpressivas	☐ interferências inexpressivas	☐ interferências inexpressivas

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, conforme observado no item 4.4 Termelétricas Renováveis, a biodigestão da vinhaça permite iniciativas de produção de biofertilizantes, biogás e biometano, sendo este último abordado no item 6.3. Além de minimizar os riscos ambientais e a pegada de carbono dos produtos da indústria sucroalcooleira, 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 diretivas 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 de a 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). Por outro lado, análise da literatura revela divergências significativas quanto ao consumo de água na produção de etanol a partir do milho, refletindo metodologias e contextos distintos. A maioria dos estudos são baseados em realidades de outros países, o que limita sua aplicabilidade ao Brasil. A ausência de dados específicos para o contexto nacional compromete análises mais precisas. Há, portanto, a necessidade urgente de estudos direcionados à realidade brasileira. (Silva e Castañeda-Ayarsa, 2021; Cheronnet e Suwanmanee, 2017; Liu et al., 2017). 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.

Nesse sentido, a Embrapa desenvolveu um conjunto de técnicas para manejo eficiente e sustentável da irrigação do cultivo de cana-de-açúcar no Cerrado, denominado Protocolo BRCana (Embrapa, 2024; Revista Cultivar, 2024). O objetivo do protocolo é aumentar a sustentabilidade da produção de cana, reduzindo a demanda por terra e água, inclusive com menor pegada hídrica que na produção de sequeiro, reduzindo também o custo por tonelada de cana produzida.

O protocolo estabelece os níveis de água para irrigação da cana que proporcionam maior eficiência e sustentabilidade, e instrui sobre como realizar o manejo da irrigação para se se obter tais níveis. A adoção do protocolo permite a não irrigação da maior parte das áreas, e a não adoção de irrigação plena, ou seja, que atende a 100% da demanda hídrica da cana. Para tanto, são preconizadas duas práticas:

- A irrigação de salvamento, que fornece apenas 3 a 4% da demanda hídrica da cultura, porém garante seu florescimento em condições de estresse hídrico severo; e
- A irrigação deficitária, por gotejamento ou pivô, que fornece apenas 15 a 35% da demanda hídrica da cana, porém com significativos efeitos na produtividade, longevidade, eficiência no uso da terra e redução do custo da tonelada de cana, além de reduzir a demanda por corretivos, fertilizantes e diesel na produção.

Assim, o conjunto de técnicas preconizadas no Protocolo BRCana permite a redução da suscetibilidade da cultura da cana a eventos de escassez hídrica acentuada. Embora desenvolvido para o Cerrado, o protocolo pode ser aplicado a outros biomas.

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, 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. Destaca-se também o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten), sancionado pela Lei n. 15.103/2025 (Brasil, 2025), e que tem entre outros objetivos o fomento ao financiamento de projetos de desenvolvimento de tecnologias e produção de combustíveis de baixa emissão de gases de efeito estufa como etanol, combustível sustentável de aviação (SAF), biodiesel, biogás e biometano, entre outros.

O Quadro 26 resume os principais desafios relacionados à expansão da oferta de etanol no PDE 2036 e as iniciativas e recomendações associadas.

Quadro 26 – 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 reuso 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 - Protocolo BRCana	- Incentivar pesquisa, monitoramentos e implantação de práticas e tecnologias que reduzam o consumo de água - Fomentar pesquisas relativas ao consumo de água na produção de etanol de milho no Brasil
Produção de biocombustíveis em padrões mais sustentáveis	- RenovaBio - Lei Combustível do Futuro - Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten)	- 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, entre outras questões, prevê a ampliação do percentual de mistura de etanol anidro na gasolina C para até 35%[78]. Além do uso no setor rodoviário, os estudos do PDE 2036 consideram para o decênio a demanda de etanol para uso aquaviário e como insumo para a produção de SAF pela rota *Alcohol to Jet – ATJ*, (ambos somados correspondendo à demanda de cerca de 2,9 bilhões de litros de etanol em 2036).

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. 2/2021, 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,

[78] 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.

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 **uso de tecnologias BECCS** (*Bioenergy with carbon capture and storage*) com etanol representa uma oportunidade estratégica para a expansão sustentável do setor no Brasil. A indústria nacional de etanol tem grande potencial para BECCS, uma vez que o CO_2 capturado durante a fermentação tem pureza entre 95 e 98%, dispensando a necessidade de processos dispendiosos de separação dos gases (Cebri et al., 2024). Segundo Hayat (2024), a captura de CO_2 em plantas de etanol de milho é altamente eficiente e de baixo custo, com valores estimados em apenas 50 dólares por tonelada de CO_2, sendo uma das rotas mais eficazes para emissões líquidas negativas. Além disso, essa rota apresenta emissões concentradas no *downstream*, o que facilita sua captura, e tem potencial de gerar mais de 600 kg de CO_2 negativo por tonelada de matéria-prima, superando outras rotas avaliadas.

Além da venda de créditos de carbono, a tecnologia BECCS pode viabilizar a certificação de produção do etanol com pegada negativa e a geração adicional de Créditos de Descarbonização (CBios) a partir de uma melhora na Nota de Eficiência Energético-Ambiental do RenovaBio.

Encontra-se em implantação o primeiro projeto comercial de BECCS no Brasil, por uma usina de etanol de milho em Lucas do Rio Verde (MT). O carbono emitido no processo industrial será injetado nos reservatórios sedimentares da Bacia dos Parecis e a empresa comercializará os respectivos créditos de carbono. A expectativa é de que essa seja a primeira usina a produzir etanol carbono negativo em escala comercial no mundo, colocando o Brasil entre os principais protagonistas da remoção de carbono aplicada à bioenergia (Globo Rural, 2026; Canaoeste, 2026). Já no setor sucroenergético, ainda predominam iniciativas de projetos-piloto, como um no estado de São Paulo (Eixos, 2026).

A tecnologia BECCS figura nas diretrizes do Plano Clima 2024-2035, sendo apontado seu papel para o alcance das emissões líquidas zero de todos os GEE até 2050. Além da contribuição para a descarbonização da matriz energética nacional, o avanço do BECCS pode alavancar a competitividade internacional do etanol brasileiro, conciliando metas climáticas com o desenvolvimento econômico.

O Quadro 27 resume as principais oportunidades relacionadas à expansão da oferta de etanol no PDE 2036 e a conjuntura favorável para aproveitar as oportunidades identificadas.

Quadro 27 – Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas 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 - Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten) - Avanço do uso de etanol para uso em SAF e combustível de navegação
Uso de tecnologias BECCS	- Alto índice de pureza do CO2 gerado por plantas de etanol a partir da cana-de-açúcar ou milho - Em andamento o primeiro projeto comercial de BECCS em uma usina de etanol de milho e projetos-piloto para etanol de cana - Plano Clima

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 vinha sofrendo uma queda constante de 2011 a 2021 (do pico de 635 mil empregos em 2011 para 476 mil em 2021) (MTE, 2025); entretanto, voltou a crescer a partir de 2022, atingindo 533 mil em 2024 e 522 mil em 2025. 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 continue a crescer ao longo do horizonte decenal, alcançando 577 mil empregos em 2036 e uma média de 553 mil empregos/ano no decênio, refletindo o aumento da produção de etanol estimado para o período.

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

Tabela 22 – Indicadores socioambientais da expansão do etanol

Indicadores Ambientais	
Produção de vinhaça de cana-de-açúcar no decênio (bilhões de m³) (1)	3,8
Consumo de água nas usinas de cana-de-açúcar para produção de etanol no decênio (bilhões de m³) (2)	2,4 a 3,5
Indicadores Socioeconômicos	
Empregos diretos na produção sucroalcooleira (média anual no decênio) (3)	577 mil

Notas: (1) Volume acumulado considerando a produção de 12,5 l de vinhaça por litro de etanol. (2) Volume acumulado considerando a faixa de 0,7 a 1 m³ de água consumida por tonelada de cana processada (São Paulo, 2008). (3) Estimativa baseada no histórico da taxa de empregos diretos (MTE, 2025) por tonelada de cana produzida (Conab, 2025) e na evolução dos índices de mecanização da colheita.

BOX 3 – PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS, SEGURANÇA ALIMENTAR E USO EFICIENTE DA TERRA

Um estudo realizado pela Fapesp (2025) destaca que não foi encontrada correlação entre a produção de bioenergia e a concorrência com a produção de alimentos. O estudo ainda ressalta o potencial de utilização de pastagens degradadas e áreas de baixa produtividade para ampliação da produção de biocombustíveis. Nesse sentido, a publicação da EPE (2024) intitulada "Potencial das técnicas 'poupa-terra' na produção de biocombustíveis no Brasil" aponta quatro caminhos, quais sejam:

- **Ganhos de produtividade**, que poderiam resultar na produção adicional de 10 bilhões de litros de biocombustíveis**.**

- **Recuperação e uso de pastagens degradadas agricultáveis** – essas áreas ocupam cerca de 20% do território nacional, ou 177 milhões de hectares, dos quais 28 a 36 milhões de hectares estariam disponíveis para conversão agrícola. Excluindo-se as áreas no bioma Amazônia e áreas com declividade maior que 8%, tem-se 12 milhões de hectares que poderiam ter seu uso voltado para cultivos de cana, milho e soja, os quais poderiam ser usados para produzir 8 bilhões de litros de biocombustíveis.

- **Cultivo sequencial de milho e soja** numa mesma área, em sequência, ao longo do mesmo ano agrícola. O milho é utilizado para a produção de etanol, e a soja, para o biodiesel. O potencial de implementação desse tipo de cultivo representa a produção adicional de 6 bilhões de litros de biocombustíveis.

- **Aproveitamento de resíduos agrícolas disponíveis**, o que propiciaria um aumento de produção de 3 bilhões de litros de biocombustíveis.

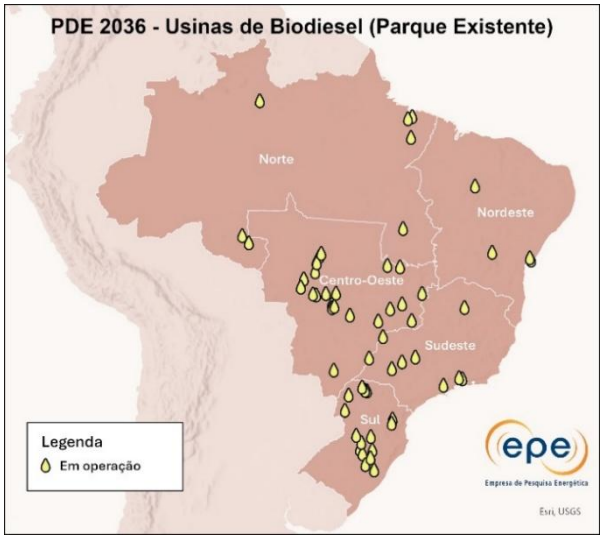
Entre os cobenefícios dessas técnicas, pode-se citar: i) produção adicional de alimento, como o farelo de soja, o DDGS e o óleo de milho; ii) acúmulo de carbono no solo pela recuperação das áreas degradadas; e iii) melhoria da qualidade do solo e da água, devido à melhoria da cobertura vegetal.

6.2 Biodiesel

Benefícios do biodiesel

- O biodiesel é um **combustível renovável**, produzido a partir de óleos vegetais, gorduras animais, materiais graxos e óleos residuais.
- Os principais benefícios ambientais do uso do biodiesel adicionado ao diesel estão relacionados à **baixa emissão de poluentes atmosféricos**, como material particulado, monóxido de carbono, dióxido de enxofre e hidrocarbonetos, o que resulta em melhorias para a saúde pública. Além disso, o biodiesel contribui para a **mitigação das emissões de gases de efeito estufa** (GEE), uma vez que parte do carbono liberado durante sua queima integra o ciclo biogênico do carbono, sendo previamente absorvido pelas plantas por meio da fotossíntese.
- O biodiesel obtido produzido a partir de óleos residuais e gorduras animais oferece uma destinação ambientalmente adequada e sustentável para esses resíduos.
- O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) fomenta a inclusão social e impulsiona a geração de empregos, principalmente no campo, como também no setor industrial.
- Considerando que parte da demanda nacional de diesel é suprida por importações, a substituição do diesel pelo biodiesel traz benefícios econômicos para o país e contribui para a redução da dependência energética do país.

Oferta atual de biodiesel



Desde agosto de 2025, **a proporção de biodiesel adicionada ao óleo diesel é de 15% em volume (B15)** conforme determinou a Resolução CNPE nº 8/2025. A produção nacional em 2025 foi de 9,9 bilhões de litros (EPE, 2026). O parque produtor conta com 66 usinas, em sua maioria nas regiões Sul e Centro-Oeste, com capacidade instalada d**e 17 bilhões de litros/ano**. A figura ao lado apresenta a localização das unidades produtoras de biodiesel existentes.

O óleo de soja se manteve como matéria-prima predominante para a produção de biodiesel em 2025, atingindo 73,3%. Outros materiais graxos corresponderam a 13,9% da produção, seguidos pela gordura bovina (6,7%) entre outras matérias-primas (ANP, 2026a). 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.

Das usinas autorizadas a exercer atividade de produção de biodiesel em maio de 2026, 43 possuíam Certificado da Produção Eficiente de Biocombustíveis e estavam habilitadas a solicitar a emissão de Créditos de Descarbonização – CBIOs (ANP, 2026b).

Segundo o Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar (MDA, 2026), em março de 2026, 57 empresas produtoras de biodiesel detinham o Selo Biocombustível Social (SBS). Para obtê-lo, os produtores devem adquirir um percentual mínimo de matéria-prima da agricultura familiar, firmar contratos de compra antecipada e oferecer assistência técnica aos agricultores. Além de benefícios fiscais, o SBS assegura às empresas acesso ao mercado, visto que 80% do biodiesel comercializado no país provém de empresas certificadas.

Com relação às emissões de gases de efeito estufa, a EPE estima que, com o uso do biodiesel, foram evitadas no Brasil, em 2024, 26,8 MtCO2 em 2024, em comparação com o uso do diesel (EPE, 2025).

Expansão da oferta de biodiesel nos próximos 10 anos

O cenário de oferta de biodiesel no PDE 2036 prevê uma expansão da produção de aproximadamente 38,4% no horizonte decenal, passando de cerca de 10,6 bilhões de litros em 2026 para **14,6 bilhões de litros em 2036**. Encontram-se em construção **9 novas usinas**, nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, além de três usinas em ampliação (duas no Sul e uma no Centro-Oeste), cuja localização é mostrada na Figura 13.

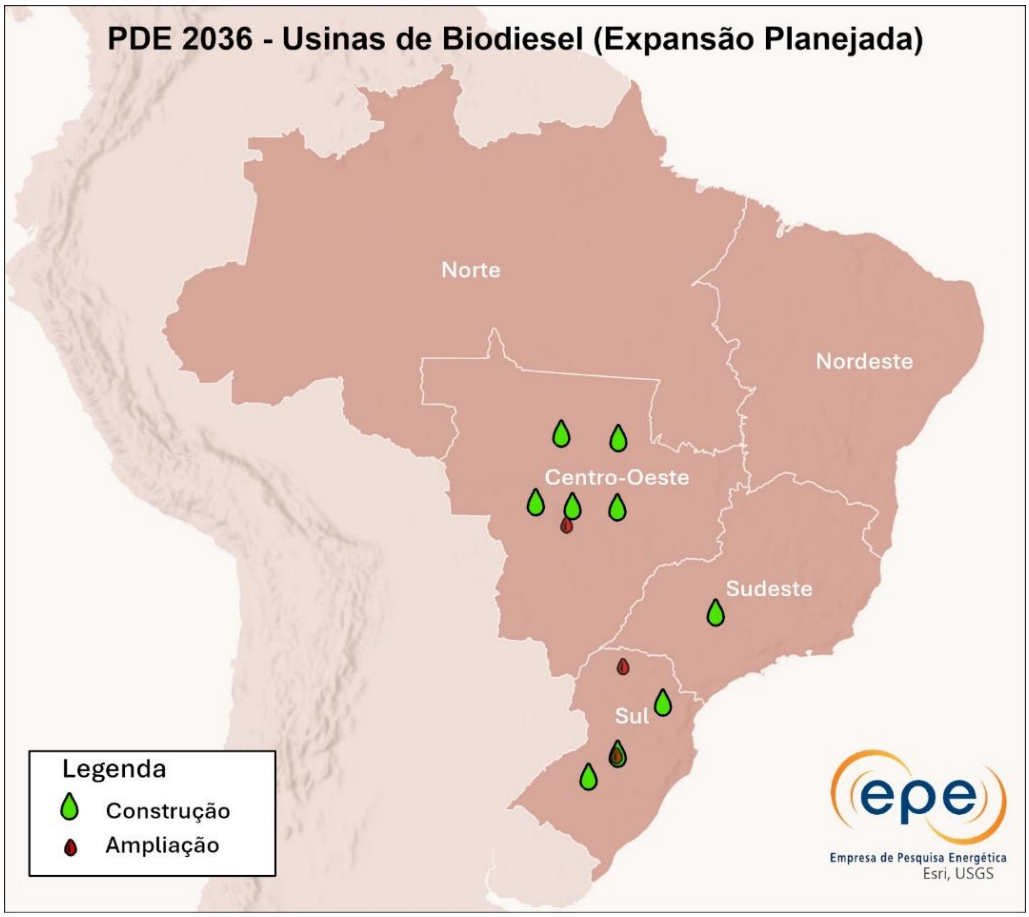


Figura 13 – Localização das usinas de biodiesel planejadas no PDE 2036

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 2036 e a previsão de consumo de diesel B e de biodiesel para transporte aquaviário, estima-se uma geração expressiva de glicerina acumulada no decênio, de aproximadamente 12,8 milhões de toneladas (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 (2026a), em 2025, foram produzidos 171,5 milhões de toneladas de soja, produção 11% superior à do ano anterior. Mais de 60% dessa produção foi exportada, e cerca de 59 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 11,9 milhões de toneladas (5% superior ao ano anterior). Cerca de 7,3 bilhões de litros de óleo de soja foram utilizados para produzir biodiesel em 2025. (Abiove, 2026b).

Tabela 23 – Síntese da análise socioambiental do biodiesel do PDE 2036

	Norte	Nordeste	Sul	Sudeste	Centro-Oeste
Biodiesel	não há projetos planejados	não há projetos planejados	☐ interferências inexpressivas	☐ interferências inexpressivas	☐ 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 Norte, Nordeste e Semi-árido, como pressupunham as diretrizes iniciais do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). Ao longo do programa foram lançados diversos incentivos para a agricultura familiar dessas regiões, mas a participação de agricultores da região Sul é majoritária, alcançando em 2025 cerca de 83% do total de famílias inseridas no programa, segundo levantamento do Ministério do Desenvolvimento Agrário. Naquele ano, as regiões Norte e Nordeste somaram cerca de 5.335 mil agricultores familiares, cerca de 13% do quantitativo total de participantes do PNPB, que era de 41.887 famílias. O valor médio da renda anual por agricultor familiar foi de R$ 162,69 mil[79].

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 2008, a participação da soja tem variado de 66 a 82% dos insumos que abastecem a produção do biodiesel, sinalizando um descompasso em relação aos objetivos iniciais do programa (Abiove, 2026b).

Neste sentido, o uso de resíduos de peixe para a produção de biodiesel também representa uma alternativa promissora para diversificar as matérias-primas do setor no Brasil, tradicionalmente dependente da soja. Essa rota contribui para a economia circular, ao valorizar subprodutos da indústria pesqueira que seriam descartados. Além disso, fortalece economias locais e reduz impactos ambientais

[79] Conforme dados fornecidos pelo Departamento de Inovação para a Produção Familiar e Transição Agroecológica (COER/DINOV/SAF/MDA) por meio de comunicação pessoal em 28/05/2026.

associados ao descarte inadequado desses resíduos. A rota possibilita o aproveitamento do resíduo em diversas regiões, desde o litoral até a Amazônia (Silveira, 2024; Anguebes-Franseschi, 2019).

Há diversas pesquisas sobre a produção de biodiesel a partir da palma-de-óleo (dendê), babaçu e macaúba, entre outras. A macaúba (*Acrocomia aculeata)* vem sendo cada vez mais estudada como alternativa ao modelo tradicional de produção de óleo vegetal. A oleaginosa é reconhecida por sua ampla distribuição no Brasil (com destaque para o Cerrado) e potencial para uso em múltiplas cadeias produtivas sustentáveis, (Pires, 2023). De acordo com Atrium e WWF-Brasil (2022), esse cultivo pode representar uma solução integrada entre produção de energia, recuperação ambiental e inclusão produtiva. O relatório destaca que a macaúba pode produzir até cinco vezes mais óleo por hectare que a soja, especialmente em áreas degradadas. Seu sistema radicular contribui para a melhoria do solo e retenção de água. A torta residual pode alimentar o gado, integrando lavoura-pecuária. Assim, a espécie impulsiona a agroindústria e promove renda em regiões pouco dinâmicas.

Um aspecto relevante relacionado ao aumento da oferta de biodiesel e à diversificação da cesta de insumos diz respeito à melhoria das condições logísticas tanto para a coleta das matérias-primas quanto para a distribuição do produto final. Nesse contexto, entre as várias estratégias voltadas à diversificação de fontes, destacam-se as iniciativas de coleta de óleo de cozinha usado. A conversão desse resíduo em biodiesel, não só evita os impactos ambientais descorrentes do descarte inadequado, como também gera um combustível renovável com valor agregado. Contudo, esse segmento enfrenta desafios logísticos significativos, especialmente devido à natureza dispersa da coleta. Para ampliar a utilização do óleo reciclado como insumo na produção de biodiesel, é fundamental investir em educação ambiental, desenvolver infraestrutura adequada e oferecer incentivos, inclusive de natureza fiscal.

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.** A glicerina bruta apresenta pureza limitada (60-80%) devido à presença de impurezas como metanol, água e sabões, o que restringe seu uso direto em aplicações industriais (Galusnyak, 2024). O processo de purificação permite o aumento do grau de pureza da glicerina, o que agrega 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.

Diante disso, diversas alternativas têm sido exploradas para a conversão da glicerina bruta em produtos de maior valor agregado. Entre essas rotas, destacam-se os processos biológicos, que envolvem fermentação para obtenção de etanol e propilenoglicol; os químicos, como reações de esterificação e oxidação; os termoquímicos, incluindo a gaseificação e pirólise para geração de energia e compostos leves; e os catalíticos, voltados à síntese de solventes, monômeros e intermediários finos. A valorização da glicerina contribui não apenas para a sustentabilidade ambiental, mas também para a viabilidade econômica da cadeia do biodiesel, ao transformar um resíduo em recurso estratégico (Galusniak,2024). Vale ressaltar que há tambem crescente interesse na produção de hidrogênio de baixo carbono a partir de glicerina, com rotas como reforma a vapor, e processos eletroquímicos e fotoquímicos (Gujar, 2025; Peralta-Reyes, 2022; Herrera-Beurnio, 2024).

Outra abordagem para a valorização da glicerina bruta é o uso na nutrição animal, especialmente em ruminantes (bovinos, ovinos e caprinos) e suínos. Estudos mostram que ela apresenta valor nutricional comparável ao de ingredientes tradicionais como milho e trigo, podendo substituir parcialmente essas fontes energéticas em determinadas formulações (Leite, 2025). Também foi observado que, caso a glicerina purificada tenha adequado grau de remoção do metanol, sua inclusão na dieta não provoca alterações metabólicas prejudiciais aos animais (Bezerra, 2023).

Sobre o **aumento da participação da agricultura familiar** para a redução das desigualdades regionais, no início de 2024 o regulamento do Selo Biocombustível Social (SBS) foi alterado pelo Decreto n. 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.

A Portaria MDA n. 28/2024 regulamenta a concessão e manutenção do SBS. Segundo a norma, até 2026, pelo menos 20% da matéria-prima deverá ser originada das regiões Norte, Nordeste e Semiárido, que recebem incentivos específicos. Para estimular a geração de renda local, os percentuais mínimos de compras nessas regiões podem ser multiplicados por fatores que chegam a 30 vezes. A portaria também permite incluir produtos da agricultura familiar além das oleaginosas, ampliando os arranjos produtivos. Outra novidade é a exigência de que o detentor do SBS firme contrato prévio com agricultores familiares ou suas organizações detentores da DAP, podendo, complementarmente, contratar cooperativas que não possuam DAP ou CAF[80]. Esses contratos devem incluir cláusulas sobre a oferta de assistência técnica e capacitação aos agricultores. A portaria estabelece ainda que o produtor de biodiesel deverá assegurar assistência técnica contínua a todas as unidades familiares de produção contratadas. Segundo dados do Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar (MDA), os dispêndios com assistência técnica aumentaram de cerca de 70 para 76 milhões de reais[81].

Além disso, a portaria incentiva que produtores de biodiesel realizem dispêndios de fomento em projetos e ações voltadas a áreas prioritárias do Norte, Nordeste ou do Semiárido, indicadas pela Secretaria de Agricultura Familiar e Agroecologia (SAF/MDA), com base em baixos indicadores de desenvolvimento socioeconômico. Esses investimentos podem contemplar insumos agrícolas, equipamentos, benfeitorias e infraestruturas ligadas à atividade agropecuária ou agroindustrial. Segundo informações do MDA[82], entre 2022 e 2024 os dispêndios com fomento aumentaram de cerca de 300 mil para 2,3 milhões de reais. Em setembro de 2025, a Portaria MDA n. 28/2024 teve alguns artigos alterados pela Portaria MDA n. 36/2025. A principal mudança foi a exigência de aprovação prévia, pela SAF/MDA, dos projetos de fomento, que antes bastava serem relatados pelos fabricantes.

Em fevereiro de 2025, o CNPE publicou a Resolução n. 1/2025, que instituiu grupo de trabalho (GT) para estudar a diversificação de matérias-primas e a inclusão de agricultores familiares e pequenos produtores na produção de biocombustíveis. Para a consecução desses objetivos, o GT deverá, entre outras ações: elaborar uma agenda de inovação para desenvolvimento de matérias-primas; retomar e expandir iniciativas de mapeamento e caracterização de matérias-primas; ampliar o zoneamento de risco climático; estruturar um programa de pesquisa e desenvolvimento e transferência de tecnologia; e desenvolver políticas públicas e programas para o desenvolvimento de cadeias produtivas, inclusive por meio de cooperativas.

Sobre a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) pelo aumento da participação de biocombustíveis, a Política Nacional de Biocombustíveis, conhecida como RenovaBio[83], 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 percentural 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

[80] Conforme definição dada pelo Decreto n. 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).
[81] Dados fornecidos pela Coordenação-Geral de Inclusão da Agricultura Familiar na Transição Energética – CGIAF/DINOV/SAF/MDA, por meio de comunicação pessoal em 30/05/2025.
[82] Idem.
[83] Lei n. 13.576/2017, que dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), e normativas posteriores.

programa foi instituído pela Resolução n. 7 de 2021 do CNPE, e pela Lei Combustível do Futuro, Lei n. 14.993/2024.

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.

Outra iniciativa refere-se à crescente inserção do biodiesel no setor de navegação. Em 2024, a ANP autorizou o primeiro teste experimental com biodiesel puro (B100) em embarcação fluvial, abrindo caminho para a avaliação técnica do combustível em aplicações marítimas. No mesmo ano, a Agência autorizou a comercialização contínua de combustível marítimo contendo 24% de biodiesel (B24), após testes conduzidos pela Petrobras entre 2022 e 2024, os quais demonstraram a inexistência de problemas operacionais em motores e sistemas das embarcações e uma redução de aproximadamente 19% nas emissões de gases de efeito estufa em comparação com o combustível convencional (Petrobras, 2023). Em 2026, a criação da Rede Brasileira de Combustível Sustentável para Navegação reforçou a articulação entre governo, empresas, centros de pesquisa e entidades setoriais para consolidar o biodiesel, entre outros biocombutíveis, como alternativas renováveis para o setor.

O Quadro 28 resume os principais desafios relacionados à expansão do biodiesel no PDE 2036 e as iniciativas e recomendações associadas.

Quadro 28 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão do biodiesel

Desafio	Iniciativas	Recomendações
Diversificação de matérias-primas (resíduos como matéria-prima / outras culturas)	- Iniciativas isoladas de coleta de óleo de cozinha residual Pesquisas em biodiesel a partir de resíduos de pesca - Estudos de viabilidade econômica de outras oleaginosas para produção de biocombustível, como é o caso da macaúba	- 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	- Pesquisas de alternativas de aproveitamento da glicerina	- Incentivar estudos e parcerias que busquem soluções que tragam maior economicidade para a purificação da glicerina. - Fomentar pesquisas e desenvolvimento tecnológico de alternativas de aproveitamento da glicerina.
Expansão dos biocombustíveis em padrões mais sustentáveis	- RenovaBio e os respectivos requisitos ambientais - Lei Combustível do Futuro - Inserção do biodiesel no setor de navegação - Criação da Rede Brasileira de Combustível Sustentável para Navegação	- Acompanhar os desdobramentos do RenovaBio sobre indicadores ambientais. - Apoiar e promover medidas que contribuam para melhorar o processo produtivo e estimulem a inovação.

Desafio	Iniciativas	Recomendações
Aumentar participação e renda da agricultura familiar na cadeia produtiva, sobretudo nas regiões Norte, Nordeste e Semiárido	- Decreto n. 11.902/2024 - 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 - Portaria MDA n. 36/2025 – Aprovação prévia dos projetos de fomento pelo MDA	- Acompanhar os desdobramentos das Portarias MDA n. 28/20024 e MDA n. 36/2025 e Resolução CNPE n. 1/2025 no incremento da participação da agricultura familiar e organizações familiares no Norte e Nordeste e no Semiárido, na e diversificação de matérias-primas.

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 2024, famílias da região Sul como fornecedoras de matérias primas (47.124 famílias, representando 82% do total de famílias)[84]; 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 MDA n. 28/2024 e Decreto n. 11.902/2024.

A expansão dos biocombustíveis tende a intensificar a competição por matérias primas tradicionalmente utilizadas nas cadeias produtivas, além de aumentar a demanda por outras matérias primas. Para minimizar riscos de concentração de oferta e promover a expansão sustentável do setor, o governo federal tem promovido iniciativas voltadas à diversificação de insumos. Nessa linha, o CNPE instituiu, por meio da Resolução n. 1/2025, um Grupo de Trabalho (GT), do qual a EPE é integrante, para estudar vias de diversificar as matérias primas e incluir agricultores familiares e pequenos produtores na cadeia de biocombustíveis.

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. 2/2021, 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.

[84] 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.

O Quadro 29 resume as principais oportunidades relacionadas à expansão da oferta de biodiesel no PDE 2036 e a conjuntura favorável para aproveitamento das oportunidades identificadas.

Quadro 29 – 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 MDA n. 28/2024 e Decreto n. 11.092/2024 - Resolução CNPE n. 1/2025, que instituiu grupo de trabalho para estudar a diversificação de matérias-primas e a inclusão de agricultores familiares e pequenos produtores na produção de biocombustíveis
Ampliar a contribuição para redução das emissões de gases de efeito estufa e de poluentes atmosféricos	- 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 24.

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 5.506 empregos diretos em 2025 (MTE, 2026). Essa estimativa não contempla os empregos gerados nas demais etapas produtivas, 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 ocupadas diretamente na cadeia produtiva do biodiesel. O mesmo estudo estimou 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. Ao movimentar o setor de serviços a jusante, a atividade contribuiu para gerar um PIB de R$ 20,3 bilhões naquele ano. Considerando os setores a montante, estima-se que para cada R$ 1 a mais de produção da atividade de fabricação de biodiesel, R$ 4,4 são acrescentados na economia como um todo. (Cepea e Abiove, 2022). Cumpre notar que a geração de empregos tende a crescer com o aumento do percentual obrigatório da mistura de biodiesel ao óleo diesel, que passou de 14 para 15% em 2025.

Tabela 24 – Indicadores socioambientais da expansão do biodiesel

Indicadores Ambientais	
Produção de glicerina como subproduto da produção de biodiesel (média anual no decênio)	12,8 Mt
Indicadores Socioeconômicos	
Empregos diretos na fabricação de biodiesel (média anual no decênio)	7 mil
Famílias fornecedoras de matéria-prima do SBS	42 mil [85]

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

[85] Conforme dados fornecidos pelo Departamento de Inovação para a Produção Familiar e Transição Agroecológica (COER/DINOV/SAF/MDA) por meio de comunicação pessoal em 28/05/2026.

BOX 4 – IMPACTOS DO ETANOL E DO BIODIESEL NA SAÚDE PÚBLICA

Um estudo da EPE (2021) estimou o **impacto na saúde humana com a utilização do etanol e biodiesel no setor de transportes** na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), com base na redução da emissão de material particulado, considerado o poluente atmosférico de maior impacto na saúde entre os gerados pela queima de combustíveis no transporte. Esse material está relacionado à ocorrência de doenças cardiovasculares e respiratórias e a diversos tipos de câncer.

O estudo da EPE utilizou a metodologia AirQ+ da Organização Mundial de Saúde – OMS, aplicando-a à RMSP, escolhida devido à disponibilidade de dados, com destaque para o inventário de poluição atmosférica da RMSP, publicado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – Cetesb. As simulações tomaram como base o ano de 2018, o mesmo considerado no inventário.

A comparação do cenário observado em 2018 de utilização de **etanol** hidratado e gasolina C, com mistura de 27% de etanol anidro, com o cenário hipotético de não utilização de etanol, somente ocorrendo o consumo de gasolina A (sem adição de etanol), resulta numa queda estimada de 2,6% da emissão total de partículas finas na atmosfera (correspondente a 7,2% da emissão de particulados pelo setor de transportes). **Estima-se que essa redução evite 371 mortes ao ano e cause um aumento na expectativa de vida da população em 13 dias.**

Com relação ao **biodiesel,** o estudo considerou o percentual obrigatório de mistura ao diesel vigente em 2018, de 10%. O estudo estimou que naquele ano a adição de biodiesel evitou 4,8% das emissões de particulado fino provenientes do setor de transportes na RMSP, contribuindo com o **acréscimo de nove dias na expectativa de vida da população, além de reduzir 244 óbitos anualmente**. O estudo também estimou que a alternativa de adição de 15% de biodiesel ao diesel traria redução adicional de 2% nas emissões veiculares de particulado, além de um aumento de mais quatro dias na expectativa de vida e, ainda, evitaria mais 104 óbitos ao ano. Atualmente o percentual obrigatório de mistura de biodiesel ao diesel é de 15%.

6.3 Biometano

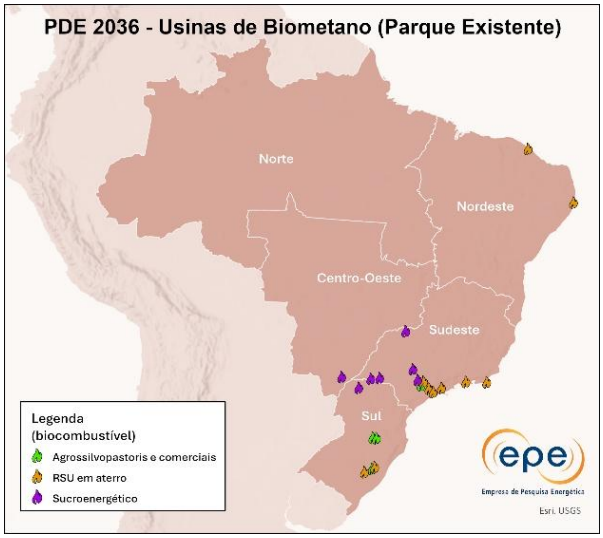
Benefícios do biometano

- Fonte de **energia renovável** que substitui o uso de combustíveis fósseis, contribuindo para a transição energética.
- Contribui com a **estratégia de redução de emissões** e permite a descarbonização dos setores industriais, de mobilidade urbana e de transporte de cargas pesadas sem grandes mudanças estruturais ou investimentos.
- Aproveita resíduos como recursos energéticos, seguindo uma **lógica circular**. Além disso, pode haver a cogeração de gás carbônico e de digestato, quando produzido a partir de biodigestores. Esses coprodutos podem representar outra fonte de recursos financeiros.
- Contribui para a **segurança energética e resiliência** do sistema ao permitir uma geração contínua e descentralizada.
- **Versatilidade** no uso de diferentes tipos de resíduos, aproveitando recursos locais e viabilizando diversos modelos de negócio.
- Por ser intercambiável com o gás natural, pode ser **integrado a infraestrutura e tecnologias existentes**, sem necessidade de adaptações significativas.
- Possui potencial de **geração de emprego e renda**, principalmente no interior do país e em zonas rurais, estimulando o desenvolvimento regional e local sustentável.

Oferta atual de biometano

A capacidade de produção de biometano atual é de 1.368 mil Nm^3/dia. Esse volume é oriundo predominantemente de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários (10 plantas), seguido pelo setor sucroenergético (7 plantas) e pelo setor de resíduos agrossilvopastoris e comerciais (4 plantas).

Das 21 plantas de biometano em operação, 11 estão localizadas na região Sudeste, sendo 9 no estado de São Paulo, 6 na região Sul, duas no Nordeste e uma no Centro-Oeste.



Expansão da oferta de biometano nos próximos 10 anos

O cenário de oferta de biometano do PDE 2036 prevê 8,5 milhões de Nm³/d em 2036, equivalente a 3,1 bilhões de Nm³/ano. A expansão prevista indica a construção de 27 novas plantas e 1 ampliação, totalizando o aumento de cerca de 2 milhões de Nm^3/dia na capacidade instalada do país. Considerando as plantas em construção, o setor agrossilvopastoril e comercial se destaca com o maior número, com 14 unidades, em seguida aterros sanitários, com 10 instalações, e 3 plantas no setor sucroenergético. Essas usinas estão previstas nas regiões Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, distribuídas em 9 estados brasileiros, sendo São Paulo (8), Santa Catarina (4) e Paraná (5) os estados com maior número de plantas previstas. Além disso, está prevista a ampliação de uma usina em aterro sanitário em São Paulo. Também estão previstos projetos indicativos totalizando 7,2 milhões Nm³/d.

A Figura 14 Figura 14apresenta a localização das usinas planejadas no decênio.

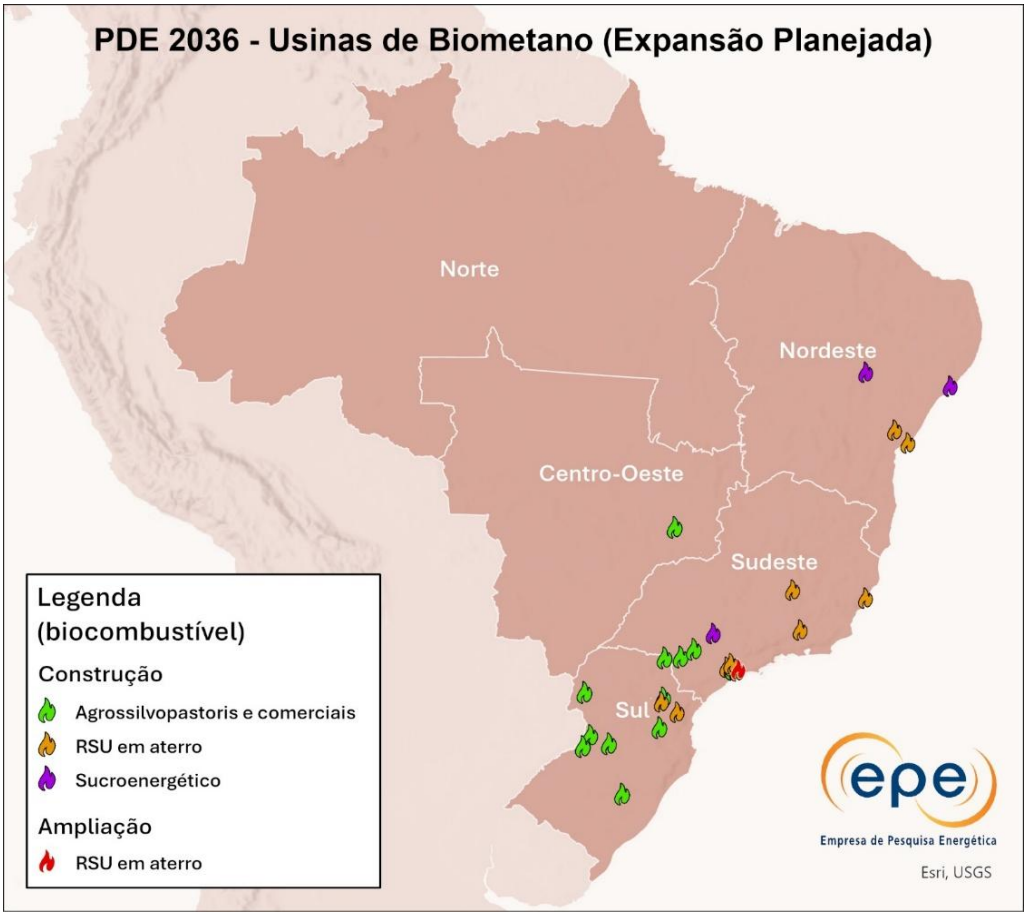


Figura 14 – Localização das usinas de biometano planejadas no PDE 2036

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

As principais interferências socioambientais da produção de biometano envolvem emissões de metano, consumo de água e geração de efluentes.

Em relação às emissões, é necessário que haja controle de **emissões de metano**, gás com potencial de aquecimento global significativamente maior que o gás carbônico. As perdas do gás podem ocorrer durante o manejo da matéria-prima, na produção do biogás, no gerenciamento de efluentes e digestato, purificação e transporte do biometano (IEA, 2025). Para mitigar essas emissões, é importante que sejam utilizadas tecnologias que minimizem as emissões e implementadas medidas de detecção e reparo de vazamentos (IEA, 2025).

Sobre o **consumo de água** é importante notar que há bastante variação, a depender do tipo de substrato, se resíduo do setor sucroalcooleiro, agrossilvipastoril ou resíduos sólidos urbanos. A literatura atual apresenta poucos dados a respeito do consumo total de água em plantas de biometano. O consumo hídrico é mais relevante na etapa de purificação do biogás, quando utilizado o processo de lavagem a água. Alguns valores encontrados sobre o consumo de água na purificação do biogás, não muito expressivos, variam entre 0,006 e 0,2 m^3/h de água por 1 Nm^3/h de biogás (Bauer et al., 2013; Florio et al., 2019; Galloni e Marcoberardino, 2024; Gong e Lunelli, 2024).

Quando o biometano é produzido a partir de biogás utilizando biodigestores, é gerado um **efluente** denominado digestato, ao qual deve ser dada destinação adequada. Dependendo dos substratos utilizados, ele pode ser aproveitado como fertilizante.

Em resumo, apesar da possibilidade de interferências socioambientais ocorrerem, elas são mitigáveis e evitáveis, se seguidas as especificações dos órgãos ambientais e reguladores. As medidas mitigadoras envolvem o monitoramento ambiental rigoroso, garantindo o controle de qualidade da produção de biometano. Vale ressaltar que os projetos se encontram dispersos geograficamente e em locais em que já são desenvolvidas atividades econômicas; sendo assim, não são esperadas interferências socioambientais relevantes no âmbito regional.

De acordo com a análise ora apresentada, não foram identificados temas socioambientais relevantes para o biometano no horizonte decenal, conforme metodologia empregada na análise socioambiental integrada do PDE e apresentado na Tabela 25.

Tabela 25– Síntese da análise socioambiental do biometano do PDE 2036

	Norte	Nordeste	Sul	Sudeste	Centro-Oeste
Biometano	não há projetos planejados	☐ interferências inexpressivas	☐ interferências inexpressivas	☐ interferências inexpressivas	☐ interferências inexpressivas

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

O primeiro desafio relacionado à expansão do biometano consiste na **ampliação de uso de diferentes substratos** em biodigestores utilizando o potencial existente no setor agrossilvopastoril, comercial e, principalmente, sucroenergético. Atualmente, o maior número de plantas está localizado em aterros sanitários, que captam o metano gerado pelos resíduos orgânicos em decomposição. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, Lei n. 12.305, 2010), o novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei n. 14.026, 2020) e o Plano Nacional de Redução e Reciclagem de Resíduos Orgânicos Urbanos (Planaro), instituído em 2025, são iniciativas que visam promover melhor gestão e aproveitamento de resíduos. Diante disso,

é recomendável o foco na coleta seletiva e destinação final adequada, com disposição em aterros sanitários apenas dos rejeitos[86], o que favoreceria um aproveitamento energético mais eficiente e circular, por meio da produção de biogás e biometano a partir de biodigestores. Além disso, é importante mencionar o potencial de biometano oriundo de Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs), que também poderia ser fonte de substratos para geração desse energético. Vale destacar também o grande potencial existente no setor agrícola, especialmente o sucroenergético (Lemos et al., 2024).

Outro desafio para as plantas de biometano é o **gerenciamento das emissões de metano**. Ainda que, para certos resíduos, a produção de biogás previna a emissão que ocorreria pela decomposição natural, vazamentos de metano, quando não mitigados ao longo da cadeia, podem comprometer o benefício da substituição do combustível fóssil (IEA, 2025). No âmbito internacional, o Brasil é signatário do Global Methane Pledge, lançado na COP26, em 2021, com o objetivo de reduzir coletivamente as emissões globais de metano em pelo menos 30% até 2030, em comparação com os níveis de 2020. Como desdobramento desse acordo foi desenvolvido o Programa Metano Zero (Brasil, 2022a). O relatório *United Nations Environment Programme Global Methane Status Report 2025* avalia o progresso global na redução das emissões de metano desde o lançamento do Global Methane Pledge, firmado em 2021. O documento conclui que houve avanços importantes em políticas e monitoramento, mas que o ritmo atual ainda é insuficiente para atingir a meta, sendo necessário ampliar o financiamento para mitigação de metano. No âmbito nacional, a Portaria MMA nº 71/2022 instituiu o Programa Nacional de Redução de Emissões de Metano (Programa Metano Zero), que oferece linhas de crédito e condições especiais de financiamento para projetos de biogás e biometano. Vale ressaltar também que o país aderiu recentemente à iniciativa "Redução de Resíduos Orgânicos de Metano", uma coalizão internacional que tem como objetivo reduzir as emissões de metano do setor de resíduos.

Sendo assim, é importante que haja incentivos e orientações para que as plantas utilizem tecnologias de baixa emissão, adotem medidas para identificar e reparar vazamentos em equipamentos, além de aprimorar o gerenciamento de resíduos.

O Quadro 30 resume os principais desafios relacionados à expansão do biometano no PDE 2036 e as iniciativas e recomendações associadas.

Quadro 30 – Principais desafios, iniciativas e recomendações socioambientais relacionados à expansão do biometano

Desafio	Iniciativas	Recomendações
Ampliação de uso de outros resíduos orgânicos em biodigestores	Política Nacional de Resíduos Sólidos Marco Legal do Saneamento Básico Planaro	Cumprimento da PNRS, separação dos resíduos orgânicos e encaminhamento para biodigestores
Emissões de metano	Global Methane Pledge Programa Metano Zero Coalizão Redução de Resíduos Orgânicos de Metano	Incentivo e orientações para que as plantas utilizem tecnologias de baixa emissão, adotem medidas para identificar e reparar vazamentos em equipamentos, além de aprimorar o gerenciamento de resíduos

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

[86] Rejeito é um tipo de resíduo sólido que não pode ser reciclado ou reaproveitado, pois todas as alternativas de tratamento e recuperação já foram esgotadas, sendo necessário um descarte final em aterros sanitários ou incineração. A principal diferença para um resíduo é que o resíduo ainda pode ser reinserido na cadeia produtiva, enquanto o rejeito não tem mais utilidade e precisa ser destinado de forma ambientalmente correta para não poluir o ambiente.

A primeira oportunidade está relacionada à **inserção de biometano na matriz de combustíveis,** contribuindo com a mitigação de emissões de GEE. O biometano começou a ganhar maior visibilidade a partir da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), instituída pela Lei nº 13.576/2017, tornando-se elegível para emitir CBIOs (Crédito de Descarbonização).

Em 2024, com o estabelecimento do Plano Nacional Integrado das Infraestruturas de Gás Natural e Biometano – PNIIGB (Decreto n. 12.153/2024), objetivou-se promover uma estratégia para o desenvolvimento da oferta, da demanda e da infraestrutura de gás natural e biometano no país (EPE, 2025b). A Lei n. 15.103/2025, que instituiu o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten), também estabelece que o biogás e o biometano são setores prioritários para o desenvolvimento de tecnologias e produção dentro da estratégia brasileira de transição energética justa e inclusiva. O programa criou o Fundo Verde, gerido pelo BNDES, que será a principal fonte de financiamento das ações planejadas e que objetiva promover o desenvolvimento de combustíveis sustentáveis e a valorização energética de resíduos sólidos (EPE, 2025a). Adicionalmente, o Programa Gás para Empregar busca integrar o gás natural à estratégia nacional de transição energética, contemplando o desenvolvimento do biogás/biometano.

Outro marco muito relevante para o setor foi a instituição da Lei do Combustível do Futuro (Lei n. 14.993/2024), que, entre outras medidas, criou o Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano. A lei estabelece que o CNPE deve definir anualmente a meta anual compulsória de redução de emissões de GEE no mercado de gás natural, a ser cumprida por meio da participação do biometano no consumo do gás natural, e indicou, inicialmente, que os produtores e importadores de gás natural deveriam reduzir suas emissões de GEE em 1% em 2026 com o uso de biometano. A lei foi regulamentada pelo Decreto n. 12.614/2025, que representou mais um avanço no estímulo à produção e ao consumo de biometano.

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) publicou, em 4 de março de 2026, as Resoluções ANP n. 995 e n. 996 para a implementação do Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano. A resolução n° 995 dispõe sobre a individualização das metas compulsórias anuais para produtores e importadores de gás natural pelo uso de biometano e a Resolução n° 996 regulamenta a certificação do produtor e importador de biometano com vistas à emissão do Certificado de Garantia de Origem de Biometano (CGOB), os procedimentos para geração de lastro necessários para emissão primária de CGOB, o credenciamento de agentes certificadores de origem, e dá outras providências.

Como mais um desdobramento, a Resolução n. 4/2026, do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) fixou em 0,5% a meta de redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no mercado de gás natural para 2026, de forma a adequá-la à atual capacidade de oferta (Abegas, 2026). De fato, a Lei do Combustível do Futuro estabelece que o CNPE poderá fixar valor inferior a 1% "por motivo justificado de interesse público ou quando o volume de produção de biometano impossibilitar ou onerar excessivamente o cumprimento da meta, e deverá reestabelecer esse valor após a normalização das condições que motivaram a sua alteração." Além da revisão da meta anual de redução de emissões de GEE, a Resolução CNPE n. 4/2026 determinou a constituição de uma Mesa de Monitoramento do Mercado de Biometano, coordenada pelo Ministério de Minas e Energia, com o objetivo de restabelecer a meta em 1%. Mesmo que a meta de 0,5% esteja abaixo do valor inicial estabelecido na Lei do Combustível do Futuro, ainda assim representa um avanço, por se tratar de um mecanismo regulado de descarbonização para o mercado de gás natural. A medida deverá ser cumprida por produtores e importadores (acima de 160 mil m^3/dia) de gás natural por meio da aquisição de CGOBs. O arcabouço criado pelo Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano reconhece e organiza a atuação de todos os agentes desse mercado, produtores, comercializadores, desenvolvedores de tecnologia, distribuidores, consumidores, ao inaugurar um ambiente regulado para a comercialização do atributo ambiental do biometano, por meio do CGOB.

É importante mencionar também iniciativas estaduais de fomento ao biometano. No país há políticas instituídas por sete estados brasileiros (RJ, SP, RS, PR, GO, MG e MS), que abrangem medidas de obrigatoriedade, incentivo econômico, regulação técnica, planejamento e educação ambiental em prol do

desenvolvimento do biogás e do biometano. Entre os principais instrumentos, destacam-se a definição de percentuais mínimos de aquisição e mistura de biometano ao gás canalizado, a realização de chamadas públicas para compra do insumo, bem como o estabelecimento de preços mínimos e máximos para comercialização junto às distribuidoras estaduais. De acordo com a EPE (2025a), entre janeiro de 2024 e julho de 2025, o mercado brasileiro de biometano registrou um aumento significativo nas chamadas públicas para aquisição do combustível por distribuidoras estaduais de gás canalizado e grandes consumidores institucionais.

Cabe destacar ainda os avanços do uso do biometano em frotas de veículos de transporte pesado. Algumas montadoras já ofertam veículos desse segmento movidos a biometano, ainda em escala reduzida, principalmente para o setor agrícola, em especial o sucroenergético. Apesar dessas iniciativas ainda serem pontuais, pode ser uma oportunidade relevante em termos socioambientais, pois caso sejam difundidas no setor agrícola, isso poderá representar redução no uso de combustíveis fósseis, principalmente o diesel, e consequentemente redução de emissões de GEE. Recentemente, cidades como Londrina, Curitiba e Goiânia sinalizaram a inclusão de ônibus a biometano nas suas frotas de ônibus urbana.

Uma segunda oportunidade diz respeito ao potencial do biometano **contribuir com estratégias de BECCS,** terminologia utilizada para se referir à captura e armazenamento geológico de dióxido de carbono (CCS) proveniente da biomassa (EPE, 2023). A remoção de carbono da atmosfera é um dos pilares para o cumprimento das metas climáticas de emissões líquidas nulas (net zero) (EPE, 2023; Lemos,2024). O Decreto n. 11.003/2022, que instituiu a Estratégia Federal de Incentivo ao Uso Sustentável de Biogás e Biometano (Brasil, 2022b), pode representar um instrumento institucional de apoio ao estabelecimento do biometano como energético relevante para o cumprimento dos acordos e metas climáticas. Um dos seus três objetivos é apoiar o atendimento aos compromissos assumidos pelo país no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, do Pacto Climático de Glasgow e do Compromisso Global de Metano.

Como última oportunidade, pode-se mencionar a possibilidade do biometano, pelo seu atributo ambiental de promover a redução de emissões de GEE, **participar de instrumentos de descarbonização**, tais como CBIO, emissão de certificados de energia renovável e CGOBs. Dentro do RenovaBio, o CBIO é um título emitido por empresas produtoras de biocombustíveis, que representa uma tonelada de carbono que deixa de ser emitida para a atmosfera por meio da produção e uso de biocombustíveis e que as distribuidoras podem adquirir para comprovar o cumprimento das suas metas. Atualmente, de acordo com a EPE (2024), há quatro empresas de biometano certificadas no RenovaBio, sendo uma do setor sucroenergético e três localizadas em aterros sanitários. Cabe destacar que os CBIOs das plantas de biometano têm maior média de nota de eficiência energético-ambiental (NEEA) frente aos outros biocombustíveis, rendendo mais CBIOs por megajoule (MJ) comercializado que o etanol ou o biodiesel (MME, 2024; EPE, 2025a). Com a emissão de CBIOs, as unidades produtoras certificadas podem gerar uma receita adicional por Nm^3 de biometano, tornando a sua produção mais atrativa economicamente.

Em relação aos CGOBs, ele é um instrumento regulatório que atesta a origem renovável do biometano e assegura a rastreabilidade de seu atributo ambiental. Cada certificado é lastreado em volume efetivamente produzido e comercializado de biometano, funcionando como um ativo ambiental negociável associado à molécula renovável. Ele objetiva facilitar e operar o processo de cumprimento das metas de descarbonização da cadeia de gás natural no Brasil e ainda está em fase de estruturação para ser operacionalizado. Com o estabelecimento da meta compulsória de redução de emissões de GEE no mercado de gás natural, a ser cumprida por meio da participação do biometano no consumo do gás natural, a expectativa é de que o mercado de biometano se estruture e se consolide no país.

Para finalizar, é importante mencionar os Certificados de energia renovável (REC – *Renewable Energy Certificates*), que são instrumentos criados para garantir a origem e realizar o rastreamento e a contabilidade de atributos não-energéticos referentes a uma unidade de energia. A aquisição de certificados permite declarar, para fins de inventários de emissões corporativas, que a energia consumida tem origem renovável, com fator de emissão reduzido ou igual a zero (EPE, CIBiogás e MME, 2023). O GasREC, IBpor exemplo, é uma certificação que rastreia o biogás ou o biometano proveniente de usinas de

produção pela cadeia de fornecimento, de forma a provar que o consumidor de gás se apropria da parte renovável do gás consumido (Instituto Totum, 2021).

O Quadro 31 a seguir resume as oportunidades relacionadas à expansão da oferta de biometano no PDE 2036 e a conjuntura favorável para aproveitamento das oportunidades identificadas.

Quadro 31– Principais oportunidades socioambientais e sua conjuntura relacionadas à expansão da oferta de biometano

Oportunidades	Conjuntura favorável
Inserção do biometano na matriz de combustíveis	RenovaBio Lei do Combustível do Futuro Plano Nacional Integrado das Infraestruturas de Gás Natural e Biometano – PNIIGB Gás para empregar Paten Fundo Verde Políticas estaduais existentes Oferta de veículos a biometano pelas montadoras
Contribuir com estratégias de BECCS	Decreto n. 11.003/2022 – Estratégia Federal de Incentivo ao Uso Sustentável de Biogás e Biometano
Participar de instrumentos de descarbonização	Cbio Gas-REC Certificado de garantia de origem de biometano (CGOB)

BOX 5 – COMBUSTÍVEIS DE BAIXA EMISSÃO DE GEE

O PDE 2036 também traz perspectivas sobre o desenvolvimento de outros combustíveis de baixa emissão de GEE no país. A Lei do Combustível do Futuro, Lei n. 14.993/2024, o Marco legal do hidrogênio de baixa emissão de carbono, Lei n. 14.948/2024 e o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten), sancionado pela lei n. 15.103/2025, são algumas das principais iniciativas que promovem a inserção de energias de baixo carbono na matriz. Esses energéticos contribuem para a transição justa e inclusiva ao substituir combustíveis fósseis e trazer benefícios socioambientais, tais como redução de emissões de GEE e de poluentes atmosféricos, geração de empregos e desenvolvimento econômico por meio de sua cadeia produtiva.

O Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), criado pela Lei do Combustível do Futuro, foi regulamentado em agosto de 2026. A medida visa desenvolver o mercado de combustível sustentável de aviação (SAF) no Brasil e criar condições para ampliar sua participação na aviação civil. De acordo com as projeções do PDE 2036, para o combustível sustentável de aviação (SAF), estima-se que a oferta evolua em 3,56 bilhões de litros ao longo do horizonte, sendo 6 plantas planejadas e 4 refinarias com coprocessamento. Já o diesel verde apresenta 850 milhões de litros em 2036, com produção consorciada em plantas de SAF.

Além disso, destaca-se o diesel coprocessado, estratégia que já é realizada em algumas refinarias da Petrobras por meio do programa BioRefino, e o desenvolvimento de hidrogênio de baixo carbono, com incentivo da Lei n. 14.948/2024, que instituiu a Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono e outros instrumentos relevantes para promover o desenvolvimento desse energético no país.

Um ponto de convergência relevante para a produção dos combustíveis de baixa emissão citados é a diversidade de rotas tecnológicas e matérias-primas que podem ser utilizadas para sua produção. Isso representa oportunidade estratégica de aproveitamento de recursos locais e promoção do desenvolvimento regional. Os benefícios ainda podem ser ampliados quando se prioriza o uso de resíduos como insumos, pois além de agregar valor a materiais subutilizados, contribui para a mitigação de impactos ambientais ao oferecer uma destinação mais nobre e sustentável. Dessa forma, torna-se possível alinhar ganhos socioambientais aos objetivos de mitigação de emissões, bem como ao cumprimento dos compromissos climáticos internacionais assumidos pelo país.

7 Conclusão

A presente Nota Técnica apresenta os subsídios à expansão decenal e a análise socioambiental da oferta de energia elétrica, petróleo, gás natural e biocombustíveis. Os resultados contribuem para a definição dos projetos que compõem a expansão decenal e subsidiam a análise integrada das fontes energéticas do relatório síntese do PDE 2036.

No âmbito dos subsídios à expansão decenal, foram realizadas avaliações de usinas hidrelétricas e de unidades produtivas de petróleo e gás natural. A avaliação processual das UHEs indicou duas usinas com potencial de entrada em operação no horizonte do Plano, que foram disponibilizadas ao modelo de expansão e selecionadas para compor a expansão decenal. Para as unidades produtivas contratadas, foi adotada a análise de complexidade elaborada para o PDE 2035, cujo resultado apontou prazo adicional de licenciamento ambiental para 95 unidades produtivas. Entretanto, os prazos estimados para viabilização da produção dessas unidades já superavam os tempos esperados para o licenciamento ambiental.

A análise socioambiental das fontes energéticas contemplou: hidrelétricas, PCHs, termelétricas renováveis e não renováveis, eólicas, usinas solares fotovoltaicas, transmissão, armazenamento de energia elétrica, petróleo, gás natural e derivados, etanol, biodiesel e biometano.

Na análise foram identificados sete temas socioambientais que sintetizam as principais interferências associadas ao conjunto da expansão prevista: biodiversidade, organização territorial, paisagem, povos e terras indígenas, qualidade do ar, recursos hídricos e resíduos. Uma visão integrada das interferências socioambientais das fontes energéticas pode ser observada na matriz síntese da análise socioambiental integrada (Quadro 32). A matriz consolida os temas socioambientais por fonte e região, permitindo visualizar possíveis efeitos combinados da implantação de projetos nas regiões. O resultado dessa análise conjunta pode ser encontrado no subitem “Análise socioambiental integrada” do item “3.9 – Análise Socioambiental” do Relatório Síntese do PDE 2036.

Os desafios e as oportunidades socioambientais de cada fonte energética desta Nota contribuíram para a definição dos desafios e das oportunidades socioambientais estratégicos da expansão decenal. O resultado é apresentado nos subitens “Desafios socioambientais estratégicos” e “Oportunidades socioambientais estratégicas” do item “3.9 – Análise Socioambiental” do Relatório Síntese do PDE 2036.

Quadro 32– Matriz síntese da análise socioambiental integrada do PDE 2036

Regiões → Fontes ↓	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
UHEs					
PCHs e CGHs		-			
UTEs fósseis (gás natural)					
UTE nuclear	-	-	-		-
UTEs renováveis					
Eólica	-		-	-	
Solar fotovoltaica	-				-
Transmissão					
E&P de petróleo e gás natural			-		-
Refinarias, UPGNs e terminais de GNL	-		-		
Etanol					
Biodiesel	-	-			
Biometano	-				

Legenda:

	Biodiversidade		Povos e terras indígenas		Resíduos
	Organização territorial		Qualidade do ar		Interferências inexpressivas
	Paisagem		Recursos hídricos	-	Não há previsão de expansão

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; (2) Para temas socioambientais relacionados à E&P de petróleo e gás natural e à UTE nuclear foram levadas em consideração as principais interferências associadas às atividades, não sendo considerados efeitos de eventuais acidentes; (3) O armazenamento de energia elétrica não foi incluído na matriz síntese.

Fonte: Elaboração EPE.

8 Referências bibliográficas

Hidrelétricas

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2025. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2025.** Disponível em: https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2024. **Impacto da Mudança Climática nos Recursos Hídricos do Brasil - Sumário Executivo.** Disponível em: https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjunturainforme2023.pdf. Acesso em: outubro de 2025.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. 2026. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA**. https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNGE3NjVmYjAtNDFkZC00MDY4LTliNTItMTVkZTU4NWYzYzFmIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOjR9. Acesso em: maio de 2026.

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: dezembro de 2025.

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: dezembro de 2025.

BRASIL. 1988. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, de 05 de outubro de 1988**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 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, plataforma continental, mar territorial ou zona econômica exclusiva, e dá outras providências (art. 21, XIX da CF). Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7990compilado.htm. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 1997. **Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm Acesso em: agosto de 2026.

_____. 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: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 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: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11428.htm. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 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: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11428.htm. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2015. **Decreto n. 8.437, de 22 de abril de 2015.** Regulamenta o disposto no art. 7 º, caput, inciso XIV, alínea "h", e parágrafo único, da Lei Complementar n º 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: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11428.htm. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 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: dezembro de 2025.

_____. 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: dezembro de 2025.

_____. 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: dezembro de 2025.

_____. 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: dezembro de 2025.

_____. 2021c. **Decreto n. 10.838, de 18 de outubro de 2021.** Regulamenta os art. 6º e art. 8º da Lei nº 14.182, de 12 de julho de 2021, para dispor sobre os programas de revitalização dos recursos hídricos das Bacias Hidrográficas do Rio São Francisco e do Rio Parnaíba e daquelas na área de influência dos reservatórios das Usinas Hidrelétricas de Furnas. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/decreto/d10838.htm. Acesso em: agosto de 2026.

_____. 2024. **Lei n. 15.042, de 11 de dezembro de 2024.** Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE). Disponível em: https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=15042&ano=2024&ato=997QTQE1UNZpWTb27. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2025a. **Lei nº 15.190, de 8 de agosto de 2025.** Dispõe sobre o licenciamento ambiental; regulamenta o inciso IV do § 1º do art. 225 da Constituição Federal [...] e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 ago. 2025. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/decreto/d10838.htm. Acesso em: maio 2026.

_____. 2025b. **Lei nº 15.269, de 24 de novembro de 2025.** Moderniza o marco regulatório do setor elétrico para promover a modicidade tarifária e a segurança energética, estabelece as diretrizes para a regulamentação da atividade de armazenamento de energia elétrica, prevê medidas para facilitar a comercialização do gás natural da União, cria incentivo para sistemas de armazenamento de energia em baterias,

altera a Lei nº 8.429 [...] e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 nov. 2025. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/dou/-/lei-n-15.269-de-24-de-novembro-de-2025-670727120. Acesso em: agosto 2026.

_____. 2025c. **Lei nº 15.300, de 22 de dezembro de 2025.** Dispõe sobre o licenciamento ambiental especial, para a consecução eficiente e eficaz de atividades e de empreendimentos estratégicos, nos termos que especifica; e altera as Leis nº s 15.190, de 8 de agosto de 2025, e 13.116, de 20 de abril de 2015. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 22 dez. 2025. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-15.300-de-22-de-dezembro-de-2025-677650947. Acesso em: Agosto 2026.

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/documents/Sector-Crtiera/Climate-Bonds_Hydropower_Criteria-document_Mar-2021.pdf Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2024. **The Hydropower Criteria – Climate Bonds Standard**. Disponível em: https://www.climatebonds.net/our-expertise/climate-bonds-standard-and-certification-scheme/sector-criteria/hydropower. Acesso em: dezembro de 2025.

CEBDS – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. 2024a. **Compromisso Empresarial Brasileiro para a Biodiversidade.** Disponível em: https://cebds.org/wp-content/uploads/2019/10/Compromisso-Empresaria-Brasileiro-para-a-Biodiversidade_2024-1.pdf. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2024b**. Plataforma Ação pela Natureza**. Disponível em: https://cebds.org/iniciativa/plataforma-acao-pela-natureza/ Acesso em: dezembro de 2025.

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/ResoluoCNPE_2_2022.pdf. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 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://www.in.gov.br/en/web/dou/-/despacho-do-presidente-da-republica-421614426. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2026. **Resolução n. 7, de 06 de abril de 2026**. Dispõe sobre a determinação à Empresa de Pesquisa Energética - EPE para atuação na identificação e desenvolvimento de projetos hidrelétricos com capacidade de armazenamento, no âmbito do planejamento energético nacional. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe/resolucoes-do-cnpe/2026/Resoluo72026publicada.pdf. Acesso em: agosto de 2026.

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/topico-317/20121227_1%5b1%5d.pdf. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2018. **Metodologia para Avaliação Processual de Usinas Hidrelétricas** (Nota Técnica EPE 027/2018). Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-253/topico-317/PDE 2027 - An%C3%A1lise Processual de UHEs EPE 027-2018.pdf. Acesso em: julho de 2025.

_____. 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-instaladaAcesso em: julho 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: dezembro de 2025.

_____. 2023. **Fortalecimento da Resiliência do Setor Elétrico em Resposta às Mudanças Climáticas - Revisão Bibliográfica.** Nota Técnica. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-813/NT-EPE-DEA-016-2023_R0_Final.pdf. Acesso em: maio de 2025.

_____. 2024. **Hidreletricidade e mudanças climáticas.** Factsheet. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-852/topico-736/FACT_SHEET_HIDRELETRICIDADE_E_MUDAN%C3%87AS_CLIM%C3%81TICAS.pdf. Acesso em: maio de 2025.

_____. 2025a. **Caderno de Estudos "Um olhar para as usinas hidrelétricas - Desafios e oportunidades para o aproveitamento hidrelétrico brasileiro"** (Caderno de Estudos CD-EPE-DEA-SMA-001-2025). Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-869/Caderno_de_Estudos_Um_olhar_para_as_usinas_hidrel%C3%A9tricas_jan2025.pdf. Acesso em: abril de 2025.

_____. 2025b. **Informe "Leilão de Reserva de Capacidade 2026 - Cadastramento e Habilitação Técnica dos Projetos"** (Caderno de Estudos CD-EPE-DEA-SMA-001-2025). Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-912/Informe Cadastramento LRCAP 2026.pdf Acesso em: dezembro de 2025.

Forbes. 2020. **Conheça os títulos verdes, a renda fixa ESG.** Disponível em: https://forbes.com.br/forbes-money/2020/12/conheca-os-titulos-verdes-a-renda-fixa-esg/. Acesso em: agosto de 2026. GIZ – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit e EPE - Empresa de Pesquisa Energética. 2025. **Resumo Executivo - Impactos das Mudanças Climáticas no Planejamento do Setor Elétrico Brasileiro.** Disponível em https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-914/sumario-executivo-mudancas-climaticas-cores-epe-02_v0411.pdf. Acesso em: 23 de junho de 2026.

HSA – Hydropower Sustainability Alliance. 2024. **Hydropower Sustainability Standard -Hydropower Project Directory**. Disponível em: https://www.hs-alliance.org/certified-projects. Acesso em: abril de 2025.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2026. **Guia de avaliação de impacto ambiental: relação causal de referência de Usina Hidrelétrica**. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/laf/publicacoes/arquivos/20260423_guia_aia_uhe_2026.pdf/view. Acesso em: agosto de 2026.

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/plano-de-reducao-de-impactos-sobre-a-biodiversidade/prim-hidreletricas-na-amazonia. Acesso em: dezembro de 2025.

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: dezembro de 2025.

IFC – International Finance Corporation. 2012. **Padrão de Desempenho 6: Conservação da Biodiversidade e Gestão Sustentável de Recursos Naturais Vivos**. Disponível em: https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/2010/2012-ifc-performance-standard-6-pt.pdf. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2018. **Good Practice Note – Environmental, Health, and Safety Approaches for Hydropower Projects**. March 2018. Disponível em: https://www.ifc.org/en/insights-reports/2018/publications-gpn-ehshydropwer Acesso em: dezembro de 2025.

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 (2).pdf. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2021b. **How-to Guide: Hydropower Environmental and Social Assessment and Management.** London: IHA. Disponível em: https://cdn.prod.website-files.com/64f9d0036cb97160cc26feba/64f9d0036cb97160cc27123b_Hydropower_HtG_E%26S_268x190030821.pdf. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2021c. **Good Practice Guide: Hydropower and Protected Areas.** London: IHA. Disponível em: https://cdn.prod.website-files.com/64f9d0036cb97160cc26feba/64f9d0036cb97160cc2712ad_Hydropower and Protected Areas Guide-LR.pdf. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2021d. **How to guide: Hydropower and Indigenous Peoples.** London: IHA. Disponível em: https://assets-global.website-files.com/5f749e4b9399c80b5e421384/61c08ddeb547fd00d9879d31_How-to Guide - Hydropower and Indigenous Peoples.pdf. Acesso em: dezembro de 2025.

INSTITUTO TOTUM. 2026. **NEWSLETTLER 45 - Certificados de Energia Renovável**. Disponível em: https://www.linkedin.com/pulse/newslettler-45-certificados-de-energia-renov%C3%A1vel-institu-totum-vrr9f/. Acesso em: maio de 2026.

IPPC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 2021. **IPBES-IPCC Co-Sponsored Workshop on Biodiversity and Climate Change.** Disponível em: https://www.ipbes.net/events/ipbes-ipcc-co-sponsored-workshop-biodiversity-and-climate-change. 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: dezembro de 2025.

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 de Acao e Anexo Normativo para apreciacao do CNRH/plano-de-acao_pnrhv2022_cnrh-versaofinal-22-03-21.pdf. Acesso em: dezembro de 2025.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. 2024. **Plano Clima – Adaptação**. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/smc/plano-clima/plano-clima-adaptacao Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2024. **Plano Clima – Mitigação**. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/smc/plano-clima/plano-clima-adaptacao Acesso em: dezembro de 2025.

MME – Ministério de Minas e Energia. 2014. **Projeto BALCAR – Emissões de Gases de Efeito Estufa em Reservatórios de Centrais Hidrelétricas https://www.researchgate.net/publication/262424234_Emissoes_de_gases_de_efeito_estufa_em_reservatorios_de_hidreletricas**. Rio de Janeiro, 2014.

MPA – Ministério de Pesca e Aquicultura. Gabinete do Ministro. 2024. **Acordo de Cooperação Técnica n. 14, de 2024**. Acordo de cooperação técnica que entre si celebram a União, por meio do Ministério da Pesca e Aquicultura o Ministério de Minas e Energia, para o desenvolvimento sustentável da aquicultura. Disponível em: https://www.gov.br/mpa/pt-br/acesso-a-informacao/acordos-de-cooperacao-tecnica-

2/acordo-de-cooperacao-tecnica-no-14-2024-mpa-mme e https://www.gov.br/mpa/pt-br/acesso-a-informacao/acordos-de-cooperacao-tecnica-2/SEI_35391410_Acordo_de_Cooperacao_Tecnica_14.pdf. Acesso em: agosto de 2026.

TNFD - Taskforce on Nature-related Financial Disclosure. 2024. Additional **sector guidance Electric utilities and power generators.** Disponível em: https://tnfd.global/wp-content/uploads/2024/06/Additional-Sector-Guidance-Electric-Utilities-and-Power.pdf?v=1719525999. Acesso em: maio de 2025.

WORLD Bank Group. 2018. **Good Practice Handbook: Environmental Flows for Hydropower Projects**. Disponível em: https://www.ifc.org/en/insights-reports/2018/publications-handbook-eflows. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 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: dezembro de 2025.

Pequenas Centrais Hidrelétricas e Centrais Geradoras Hidrelétricas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. 2025. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA**. Disponível em https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNGE3NjVmYjAtNDFkZC00MDY4LTliNTItMTVkZTU4NWYzYzFmIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOjR9 . Acesso em: maio de 2025.

_____. 2024. **Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico – SIGEL.** Disponível em: https://sigel.aneel.gov.br/portal/home/index.html. Acesso em: setembro 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: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.html e https://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: https://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. 2025. **O que é a Certificação I-REC?** Disponível em: https://institutototum.com.br/?jjj=1630510011605 Acesso em: setembro de 2025.

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: https://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.

_____. 2025. **Base Nacional de Referência de Usos Consuntivos da Água** Disponível em https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYTBhZDU3MGUtMzI4Mi00NTQwLTgxYWEtMTk2OGJiZDUxMWNiIiwidCI6ImUwYmI0MDEyLTgxMGItNDY5YS04YjRkLTY2N2ZjZDFiYWY4OCJ9. Acesso em: dezembro de 2025

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. 2024. **Sistema de Informações da Geração da ANEEL – SIGA**. Disponível em: https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtY-zdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMi-OjR9. Acesso em: junho de 2024.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2024a. **Relatório sobre a implementação do marco regulatório de CCUS no país.** Disponível em https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/relatorios/arquivos/relatorioccs.pdf. Acesso em: abril de 2025.

_____. 2024b. **Implementação do Marco Regulatório do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono no Brasil.** Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/relatorios/arquivos/implementacaomarcoregulatoriohidrogenio.pdf. Acesso em: abril de 2025.

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://www.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/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=1548579&fichaAmigavel=nao. Acesso em: outubro de 2021.

_____. 2022a. Senado Federal. **Projeto de Lei n° 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.

_____. 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. 14.948, de 2 de agosto de 2024.** Institui o marco legal do hidrogênio de baixa emissão de carbono; dispõe sobre a Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono; institui incentivos para a indústria do hidrogênio de baixa emissão de carbono; institui o Regime Especial de Incentivos para a Produção de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (Rehidro); cria o Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (PHBC); e altera as Leis n.º 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e 9.478, de 6 de agosto de 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l14948.htmAcesso em: abril de 2025.

_____. 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: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l14993.htm. Acesso em: abril de 2025.

_____. 2024. **Lei nº 15.042, de 11 de dezembro de 2024.** Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE); e altera as Leis nºs 12.187, de 29 de dezembro de 2009, 12.651, de 25 de maio de 2012 (Código Florestal), 6.385, de 7 de dezembro de 1976 (Lei da Comissão de Valores Mobiliários), e 6.015, de 31 de dezembro de 1973 (Lei de Registros Públicos). Disponível em: https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2024/lei-15042-11-dezembro-2024-796690-publicacaooriginal-173745-pl.html. Acesso em: abril de 2025.

_____. 2025. **Lei n. 15.103/2025 de 06 de março de 2025.** Institui o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten); e altera as Leis n.º 13.988, de 14 de abril de 2020, 11.484, de 31 de maio de 2007, 9.991, de 24 de julho de 2000, e 9.478, de 6 de agosto de 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2025/lei/l15103.htm. Acesso em: abril de 2025.

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: https://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: https://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: https://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/acesso-a-informacao/copy_of_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/Sociedade-e-Meio-Ambiente/Documents/Licenciamento Ambiental/Relat%C3%B3rio_Ambiental_Simplificado.pdf.

_____. 2015. **Estudo de Impacto Ambiental – EIA de Angra 3**. Disponível em: https://www.eletronuclear.gov.br/Sociedade-e-Meio-Ambiente/Paginas/Licenciamento.aspx. Acesso em: janeiro de 2015.

Termelétricas Renováveis

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. 2026. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA**. Disponível em: https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdk%20NTQ1MTc1NjM2%20IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOjR9. Acesso em: maio de 2026.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. 2026. **Fundo Clima - Critérios de priorização de operações.** Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-clima/fundo-clima-criterios-priorizacao. Acesso em: 26 de agosto de 2026.

_____. 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_45_Fertilizantes_organominerais_de_res%C3%ADduos %5B...%5D_P_BD.pdf.

BRASIL. 1999. **Lei n. 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: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9795.htm. Acesso em: 20 de julho de 2022.

_____. 2010. **Lei n. 12.305, de 2 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: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 20 de julho de 2022.

_____. 2020. **Lei n. 14.026, de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei n. 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. 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. 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. 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei n. 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei n. 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: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 20 de julho de 2022.

_____. 2022a. **Decreto nº 11.003, de 21 de março de 2022.** Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d11003.htm. Acesso em maio de 2025.

_____. 2022b. **Decreto n. 11.043, de 13 de abril de 2022.** Aprova o Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d11043.htm. Acesso em: 19 de setembro de 2022.

_____. 2022bc. **Decreto n. 10.991 de 11 de março de 2022. Plano Nacional de Fertilizantes. Disponível em:** https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/sdic/confert/pnf**. Acesso em: 10 de junho de 2026.**

_____. 2024a. **Decreto Federal n. 12.082**, de 27 de junho de 2024. Institui a Estratégia Nacional de Economia Circular. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/decreto/D12082.htm. Acesso em: 19 maio 2025.

_____. 2024b. **Brasil registra volume recorde na importação de fertilizantes no mês de janeiro**. Disponível em: https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/agronegocio/371183-boletim-logistico-da-conab-mostra-que-volume-de-fertilizante-importado-em-janeiro-e-recorde-no-pais.html. Acesso em 19 de maio de 2025.

_____. 2024c. **Plano Nacional de Transição Energética**. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/dte/cgate/pnte, https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/diee-1/coordenacao-geral-de-estudos-integrados/plano-nacional-de-transicao-energetica-plante/infograficos/infografico-1-plante.pdf. Acesso em: 19 de maio de 2025.

_____. 2025**. Lei nº 15.103, de 22 de janeiro de 2025.** Institui o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten); e altera as Leis nºs 13.988, de 14 de abril de 2020, 11.484, de 31 de maio de 2007, 9.991, de 24 de julho de 2000, e 9.478, de 6 de agosto de 1997. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2025/lei/l15103.htm. Acesso em maio de 2025.

_____. 2025a**.** https://www.institutoventuri.org.br/blog/governo-lanca-planaro-para-reduzir-residuos-organicos-urbanos – Governo lança PLANARO para reduzir resíduos orgânicos urbanos (Plano Naci-

onal de Redução e Reciclagem de Resíduos Orgânicos Urbanos PLANARO prevê R$12 milhões em investimento até 2050). Disponível em: https://sinir.gov.br/informacoes/plano-nacional-de-reducao-e-reciclagem-de-residuos-organicos-urbanos-planaro/?utm_source=gemini. Acesso em junho de 2026.

CIBIOGÁS. 2021. Como o biogás pode fortalecer o cooperativismo no Brasil. Disponível em: https://cibiogas.org/blog/como-o-biogas-pode-fortalecer-o-cooperativismo-no-brasil/. Acesso em: 19 de maio de 2025.

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 Mauro_Potencial do Biog%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.

GEF Biogás Brasil - Fundo Global para o Meio Ambiente. 2024. Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira. Sobre o Projeto. Disponível em: https://www.gefbiogas.org.br/sobreoprojeto.html. 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%B4nia-energia-para-mover-a-bieconomia.pdf. Acesso em: 20 de julho de 2022.

INSTITUTO Totum. 2022. **O que é a Certificação I-REC?** Disponível em: https://institutototum.com.br/?jjj=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/snis/produtos-do-snis/diagnosticos/017_DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2023_defeso.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/sustentabilidade/planoabc-abcmais/plano-abc e https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmais/abc. 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/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/plano-nacional-de-saneamento-basico-plansab/arquivos/Versao_Conselhos_Resoluo_Alta_Capa_Atualizada.pdf/view?utm_source=gemini . 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: https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/smc/plano-clima. Acesso em: 10 jun. 2024.

Eólicas

ABEEÓLICA - Associação Brasileira de Energia Eólica e Novas Tecnologias. 2025a. **Boletim Anual 2024**. Disponível em: https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2025/05/424_ABEEOLICA_BOLETIM-ANUAL-DIGITAL-2025_PT_FINAL.pdf. Acesso em: maio de 2025.

_____. 2025b. **Ventos da Transformação**. Disponível em: https://www.ventosdatransformacao.com.br/nossa-plataforma. Acesso em: janeiro de 2026.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2024. CEE-252 – **Comissão de Estudo Especial de Energia Eólica**. Relatório da Secretaria – 01.03.2024. 5 páginas. Dispoível em: https://abnt.org.br/normalizacao/comites-tecnicos/ Acesso em: setembro de 2026.

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 en- ergy projects in Latin America: A summary and review**. Disponível em : https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844021013542 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. 2026. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA**. Disponível em: https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNGE3NjVmYjAtNDFkZC00MDY4LTliNTItMTVkZTU4NWYzYzFmIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOjR9. Acesso em: maio de 2026.

AVISTEP, 2022. **The Avian Sensitivity Tool for Energy Planning**. Disponível em: https://avistep.birdlife.org/#general. Acesso em: julho de 2024.

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. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/35815/1/TESE_Mar%c3%adlia_Abero S%c3%a1 de Barros.pdf. Acesso em: setembro de 2026.

BASTOS, F. A. P. 2017. **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. Disponível em: https://www1.ufrb.edu.br/ppgeducampo/turma-iii-2015?download=40:20180608142713-flavio-andre-bastos. Acesso em: setembro de 2026.IC

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.

BIOSECO. 2025. **Solutions for bird protection.** Disponível em: https://bioseco.com/. Acesso em: setembro de 2025.

BOTASSIO, D. C.; BENEVUTO, R. G.; TAVARES, F. S. 2022. **Impacto socioeconômico dos parques eólicos: uma avaliação para políticas públicas**. 2022. Disponível em: https://www.anpec.org.br/encontro/2022/submissao/files_I/i5-57946d00969894fd4b77d9a488fe305f.pdf. Acesso em: outubro de 2025.

BRANNSTROM, C.; GORAYEB, A.; MENDES, J.S.; LOUREIRO, C.; MEIRELES, A.J.A.; SILVA, E.; FREITAS, A.L.R.; OLIVEIRA, R.F. 2017. **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/abs/pii/S1364032116304804. Acesso em: julho de 2024.

BRANNSTROM, C.; LEITE, N. S.; LAVOIE, A.; GORAYEB, A. 2022. **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 DE FATO. 2025. **Lagoa Seca (PB) recebe 1º Encontro do Movimento de Atingidos pelas Renováveis entre 23 e 25 de maio de 2025**. Disponível em: https://www.brasildefato.com.br/2025/05/21/lagoa-seca-pb-recebe-o-1o-encontro-do-movimento-de-atingidos-pelas-renovaveis-entre-os-dias-23-e-25-de-maio/

CANAL ENERGIA. 2026. **P&D da Echoenergia desenvolve solução para pás danificadas.** Disponível em: https://www.canalenergia.com.br/noticias/53350302/pd-da-echoenergia-desenvolve-solucao-para-pas-danificadas. Acesso em: junho 2026.

COGNITIO Consultoria; GIZ – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. 2023. **Criação de empregos no setor eólico brasileiro: Estimativas em curto, médio e longo prazo**. Março de 2023. Revisão da edição original de outubro/2020. 193 p. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/a0/ab/a0ab1d43-eb1d-414f-973d-ba6943b8f143/2023_empregos_no_setor_eolico.pdf. Acesso em: outubro de 2025.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2026. **Processo: 02000.003763/2024-13. Assunto: Proposta de Resolução que visa a revisão da Resolução sobre eólicas onshore - salvaguardas socioambientais**. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/index.php?option=com_sisconama&view=processo&id=2695. Acesso em: julho 2026.

CPP – Conselho Pastoral dos Pescadores e Pescadoras. 2024. Relatório 2024: **Conflitos socioambientais e violações de direitos humanos em comunidades tradicionais pesqueiras no Brasil**. Disponível em: https://cppnacional.org.br/wp-content/uploads/2025/04/3o-Relatorio-de-Conflitos-2024.pdf. Acesso em: Maio 2025.

CONSERVATION Evidence. 2020. **Actions to conserve biodiversity**. (keyword: wind; threat: energy production & mining) 11 Actions found. Disponível em: https://www.conservationevidence.com/data/index?terms=wind&threat_type_id%5B%5D=4&country%5B%5D=&result_type=interventions#search-results. Acesso em: setembro de 2025.

DESHMUKH, S.; BHATTACHARYA, S.; JAIN, A.; PAUL, A. R. 2019. **Wind turbine noise and its mitigation techniques: a review**. Disponível em: https://tinyurl.com/bdhv6hnh. Energy Procedia 160: 633-640.

DNV Energy Systems; The World Bank Group. 2024. **Scenarios For Brazil Offshore Wind Development. Task 2 - Scenarios Report Draft. Disponível em: https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/a989e1c2-5240-4e01-a4dd-3c4c5725e36a?utm_source=gemini.** Rio de Janeiro, 254pp.

ELETROBRAS. Centrais Elétricas Brasileiras. 2011. **Base cartográfica dos limites das Unidades de Conservação Estaduais e Municipais https://share.google/3TVd4y5KByL8AGwof**. 2011.

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_versao_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.

_____. 2024. **Análise socioambiental das fontes energéticas do PDE 2024**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-804/topico-725/NT_An%C3%A1lise_socioambiental_das_fontes_energ%C3%A9ticas_do_PDE_2034_NT010_24_DEA_SMA.pdf. Acesso em: maio de 2025.

_____. 2025. **Roadmap Resiliência Climática: Geração Eólica e Mudanças Climáticas**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-852/topico-736/Gera%C3%A7%C3%A3o_E%C3%B3lica_e_Mudan%C3%A7as_Clim%C3%A1ticas.pdf. Acesso em: outubro de 2025.

_____. 2026a. **Balanço Energético Nacional. Relatório Síntese 2026 – Ano base 2025**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-975/topico-847/BEN_S%C3%ADntese_2026_PT.pdf. Acesso em: junho de 2026.

_____. 2026b. **Energias Eólica e Solar Fotovoltaica: Panorama da Legislação do Licenciamento Ambiental**. NT-EPE-DEA-SMA-012/2026. Disponível: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-971/Nota_T%C3%A9cnica_DEA_12_2026_Legisla%C3%A7%C3%A3o Licenciamento Renovaveis (2).pdf. Acesso em: maio/2026.

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=LljAN2Eml4A 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.abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2017/07/E-Possivel-Prever-o-Risco-de-Colisao-das-Aves-com-as-Turbinas-Eolicas.docx. Acesso em: outubro de 2025.

FUNAI – Fundação Nacional do Índio. 2026. **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: abril de 2026.

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. 2022. **Hotspots in the grid: Avian sensitivity and vulnerability to collision risk from energy infrastructure interactions in Europe and North Africa**. Disponível em: https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2664.14160. 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://tinyurl.com/4xzzw3s2. Acesso em: agosto de 2024.

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: outubro de 2025.

GOLDWIND 2025. **Goldwind recycles turbine blades into 3d printing materials**. Disponível em: https://www.goldwind.com/en/news/focus-922518710449745920/. Acesso em: Maio 2025.

GWEC – Global Wind Energy Council. 2025. **Global Wind Report**. Disponível em: https://www.gwec.net/reports/globalwindreport. Acesso em: abril de 2025.

_____. 2026. **Global Wind Report**. Disponível em: https://www.gwec.net/reports/globalwindreport. Acesso em: maio de 2026.

IBERDROLA. 2023. **Reciclagem das pás eólicas: um novo desafio para a energia eólica**. Disponível em: https://www.iberdrola.com/quem-somos/geracao-eletrica-power/reciclagem-pas-eolicas. Acesso em: maio de 2024.

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2020. **Orientações técnicas para avaliação e monitoramento de impactos de empreendimentos de geração de energia eólica sobre a fauna, com ênfase em aves e morcegos**. Porto Alegre. Disponível em: \\epe.lan\Arquivos\!Publico\DEA\SMA\OrientacoesTecnicas_Fauna_Eolicos_zenodo.pdf. Acesso em: maio de 2025.

_____. 2022. **Relatório de áreas de concentração de aves migratórias no Brasil.** Cabedelo, PB: CEMAVE/ICMBio. 2022. 4ª edição. Disponível em: https://cemave-sede.github.io/relatorio_aves/index.html. Acesso em: outubro de 2025.

_____. 2025. **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%AAncia%20entre%202012%20e%202016. Acesso em: setembro de 2025.

IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. 2024a. **Consulta Livre, Prévia e Informada e de Boa-fé! Proposta de Diretrizes para a regulamentação dos procedimentos**. Natal, 2024.

_____. 2024b. **O que é Protocolo Autônomo de Consulta?** Natal, 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: setembro de 2025.

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. 2026. **Base georreferenciada dos Projetos de Assentamento e Territórios Quilombolas**. Disponível em: https://certificacao.incra.gov.br/csv_shp/zip/%C3%81reas%20de%20Quilombolas.zip. Acesso: abril de 2026.

ISI-ER SENAI. 2024. Instituto Senai de Inovação em Energias Renováveis**. Estudo ambiental projeto: usina eólica offshore sítio de testes de aerogeradores.** 566 páginas. Natal, julho de 2024.

_____. 2025. **Primeira licença do Brasil para projeto de energia eólica offshore é concedida ao SENAI-RN**. Disponível em: https://www.rn.senai.br/primeira-licenca-brasil-para-projeto-de-energia-eolica-offshore-e-concedida-ao-senai-rn/. Acesso em: setembro de 2025.

LE MAITRE, J.; RYAN, G.; POWER, B. 2024. **Do concerns about wind farm blow over time? Resident's acceptance over phases of project development and proximity**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 189, Part A, January 2024. Disponível em: https://tinyurl.com/5b3352vc. Acesso em: maio de 2025.

LUCENA, J. 2023. **Resíduo de Núcleo Estrutural de Pás Eólicas: do Aterro para a Reciclagem**. Brazil Windpower Papers, Disponível em: https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2023/11/6.5AP-1690547635-RESIDUO-DE-NUCLEO-ESTRUTURAL-DE-PAS-EOLICAS-DO-ATERRO-PARA-A-RECICLAGEM-formatado.pdf. Realizado em 17 de agosto de 2023.

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.

MAY, R.; NYGÅRD, T.; FALKDALEN, U.; ÅSTRÖM, J.; HAMRE, Ø; STOKKE, B. G. 2020. **Paint it black: Efficacy of increased wind turbine rotor blade visibility to reduce avian fatalities**. Disponível em: https://online-library.wiley.com/doi/full/10.1002/ece3.6592. Ecology and Evolution. 2020; 10: 8927–8935.

MCISAAC H.P. 2001. **Raptor acuity and wind turbine blade conspicuity**. Proceedings of National Avian-Wind Power Planning Meeting IV, 59-87 *Apud* Conservation Evidence. 2025. Actions to conserve biodiversity. Disponível em: https://www.conservationevidence.com/individual-study/3585. Acesso em: setembro de 2025.

MCKENNA, R.; LILLIESTAM, J.; HEINRICHS, H. U.; WEINAND, J.; SCHMIDT, J.; STAFFELL, I.; HAHMANN, A. N.; BURGHERR, P.; BURDACK, A.; BUCHA, M.; CHEN, R.; KLINGLER, M.; LEHMANN, P.; LOWITZSCH, J.; NOVO, R.; PRICE, J.; SACCHI, R.; SCHERHAUFER, P.; SCHOLL, E. M.; VISCONTI, P.; VELASCO-HERREJO, P.; ZEYRINGER, M.; CAMARGO, L. R. 2025. **System impacts of wind energy developments: Key research challenges and opportunities**. Joule 9: https://www.cell.com/joule/fulltext/S2542-4351(24)00513-0?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2542435124005130%3Fshowall%3Dtrue.

MINGYANG 2023. **Mingyang launches wind turbine blade made from recyclable materials**. Disponível em: https://www.windtech-international.com/product-news/mingyang-launches-wind-turbine-blade-made-from-recyclable-materials. Acesso em: maio 2025.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. 2024. **Caatinga**. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/caatinga. Acesso em: outubro de 2025.

_____. 2026. **Base cartográfica dos limites das Unidades de Conservação Federais**. Disponível em: http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm. Acesso em: abril de 2026.

MME – Ministério de Minas e Energia. 2025. **GT Eólicas Offshore**. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/dte/cgebc/gt-eolicas-offshore-1. Acesso em: outubro de 2025.

NERI, M.; JAMELI, D.; BERNARD, E.; MELO, F. P. L. 2019. **Green versus green? Adverting potential conflicts between wind power generation and biodiversity conservation in Brazil.** https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2530064419300537 Perspectives in Ecology and Conservation 17, 2019, p. 131–135.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. 2025. **Resultados da Operação - Inserção de geração eólica e fotovoltaica. Inserção Eólica no Nordeste**. Disponível em: https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/insercao_geracao_eolica_fotovoltaica.aspx. Acesso em: maio de 2025.

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**. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ddi.12380?msockid=3fbd9f05667c6d28009988cb67aa6c1f. Diversity and Distributions, (2015) 21, 1455–1460.

PERNAMBUCO. 2024. **Instrução Normativa CPRH nº 09/2024**. Estabelece procedimentos administrativos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia a partir de fonte eólica, em superfície terrestre. Disponível em: https://www2.cprh.pe.gov.br/wp-content/uploads/2024/10/SEI_57728238_GOVPE___Instrucao_Normativa.pdf. Acesso em: maio de 2025.

PETROBRAS. 2024. **Petrobras assina Protocolo de Intenções com o Governo do Rio de Janeiro para estudos sobre eólica offshore.** Disponível em: https://agencia.petrobras.com.br/w/inovacao/petrobras-assina-protocolo-de-intencoes-com-o-governo-do-rio-de-janeiro-para-estudos-sobre-eolica-offshore. Acesso em outubro de 2025.

PORTOS RS. 2025. **Portos RS participa de lançamento do Aura Sul Wind em Porto Alegre.** Disponível em: https://www.portosrs.com.br/site/imprensa_e_midia/noticia/2206. Acesso em outubro de 2025.

RODRIGUES, R. E. de A.; COSTA, E. M.; IRFFI, G.; PIRES, J. N. R. 2019. **Efeitos da construção de parques eólicos sobre indicadores econômicos e fiscais municipais**. Disponível em: https://www.anpec.org.br/nordeste/2019/submissao/arquivos_identificados/038-fed-bedc1f4901276c3460adaaa03e2bc.pdf. Acesso em: outubro de 2025.

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.

SAMPAIO, M.A.S.; COSTA, E.M.; IRFFI, G. **A implementação de parques eólicos e seus impactos sobre os municípios brasileiros**. 2023. Disponível em: https://www.anpec.org.br/nordeste/2023/submissao/arquivos_identificados/006-cbaa81f50127a2cb621a4acd9176e53f.pdf. Acesso em: outubro de 2025.

SANCHÉZ, L. E. 2020. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. 3ª ed. São Paulo, 496p.

SANTOS, W. A. A.; MILLER, F. S. 2018. **Impactos ambientais cumulativos associados as atividades eólio-elétricas no Semiárido Potiguar: um case prático**. In: I Congresso Nacional da Diversidade do Semiário, Natal, 2018, 13 p. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/50709. Acesso em: julho de 2024.

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. 2025a. **Treinamento básico de segurança com certificação GWO**. Disponível em: https://www.rn.senai.br/gwo/#1612962861567-ca805e61-0505. Acesso em: setembro de 2025.

_____. 2025b. **Tecnologia em energia eólica**. Disponível em: https://www.senai-ce.org.br/tecnologia-em-energia-eolica-34337. Acesso em: setembro de 2025.

SDH CONSULTORIA; NORDESTE POTÊNCIA. 2026. Direitos Humanos nos setores Eólico e Solar no Brasil. Disponível em: https://nordestepotencia.org.br/wp-content/uploads/2026/01/DH-nos-setores-eolico-e-solar-Sumario-Executivo-PT.pdf. Acesso em: junho de 2026.

SIEMENS GAMESA. 2025. **Recyclable blade: Pioneering Technology.** https://www.siemensgamesa.com/global/en/home/explore/journal/recyclable-blade.html. Acesso em: outubro de 2025.

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. **Birdtrack: Tracking life**. Disponível em: https://birdtrackradar.com/. Acesso em: setembro de 2025.

TEIXEIRA, L. P.; LUGHADHA, E. M.; SILVA, M. V. C.; MORO, M. F. 2021. **How much of the Caatinga is legally protected? An analysis of temporal and geographical coverage of protected areas in the Brazilian semiarid region**. https://www.scielo.br/j/abb/a/zH98wR9sqpC9NtbwKwd3G8d/?format=html&lang=en&ilang=pt_BR. Acta Botanica Brasilica - 35(3): 473-485.

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**. 2017. Royal Society, 13 september 2017, volume 284, issue 1862. Disponível em: https://royalsocietypublishing.org/doi/epdf/10.1098/rspb.2017.0829. Acesso em: outubro de 2025.

VESTAS. 2020. **Zero-waste turbines by 2040.** Disponível em: https://www.vestas.com/en/media/blog/sustainability/Zero-waste-turbines-by-2040. Acesso em: maio de 2025.

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**. Disponível em: https://academic.oup.com/bioscience/article/74/4/240/7639565. BioScience 74: 240–252.

WANDERLEY, I. 2023. **Participação no Painel: Educação ambiental pede a vez**. II Workshop Potiguar de Sustentabilidade Socioambiental e Energias Renováveis. Natal, junho de 2023.

WHITBY, M.; O'MARA, M.; HEIN, C.; HUSO, M.; FRICK, W. 2024. **A decade of curtailment studies demonstrates a consistent and effective strategy to reduce bat fatalities at wind turbines in North America**. Ecological Solutions and Evidence, 5(3), e12371. https://doi.org/10.1002/2688-8319.12371. Acesso em: setembro de 2025.

WREN – **Wind Energy-Environmental Research & Engagement Network**. 2025. Disponível em: https://epegovbr.sharepoint.com/sites/PDE2036_tkltol/Documentos Compartilhados/Equipe PDE 2036 - SMA/NT Analise socioambiental PDE 2036/: https:/tethys.pnnl.gov/publications/decade-curtailment-studies-demonstrates-consistent-effective-strategy-reduce-bat. Acesso em: setembro de 2025.

Usinas 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://epegovbr.sharepoint.com/sites/PDE2036_tkltol/Documentos_Compartilhados/Equipe_PDE_2036_-_SMA/NT_Analise_socioambiental PDE 2036/: https:/tethys.pnnl.gov/publications/decade-curtailment-studies-demonstrates-consistent-effective-strategy-reduce-bat . 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://epegovbr.sharepoint.com/sites/PDE2036_tkltol/Documentos_Compartilhados/Equipe_PDE_2036_-_SMA/NT Analise_socioambiental_PDE_2036/: https:/tethys.pnnl.gov/publications/decade-curtailment-studies-demonstrates-consistent-effective-strategy-reduce-bat.

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: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021954.html. Acesso em: julho de 2022.

_____. 2026. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA**. Disponível em: https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOjR9. Acesso em: maio de 2026.

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.

BIOSPHERE. 2026. Disponível em: https://www.biosphere.solar/. Acesso em: maio de 2026.

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: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: julho de 2020.

_____.2021. **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.

_____. 2022. **http://legislacao.planalto.gov.br/legisla/legislacao.nsf/Viw_Identificacao/DEC_10.936-2022?OpenDocument**. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e institui o **Programa Nacional de Logística Reversa**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 12 de janeiro de 2022. Disponível em: **https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d10936.htm**. Acesso em: maio de 2026.

_____.2023. Senado Federal. **Projeto de Lei n° 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%B0%203784%2C%20de%202023&text=Altera%20a%20Lei%20n%C2%BA%2012.305,implementar%20sistemas%20de%20log%C3%ADstica%20reversa.. Acesso em: maio de 2026.

_____. 2024. **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. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 de julho de 2024. Disponível em: https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/158987#:~:text=Projeto%20de%20Lei%20n%C2%B0%203784%2C%20de%202023&text=Altera%20a%20Lei%20n%C2%BA%2012.305,implementar%20sistemas%20de%20log%C3%ADstica%20reversa.. Acesso em julho de 2024.

_____.2024a. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei nº 998/2024, de 26/03/2024**. Institui a Política de Incentivo ao Desenvolvimento da Logística Reversa de Painéis Fotovoltaicos. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2423751. Acesso em maio de 2026.

_____.2024b. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Portaria GM/MMA Nº 1.250, de 13/12/2024**. Regula e estabelece procedimentos relativos à apresentação, análise, aprovação, ao acompanhamento, ao monitoramento, à prestação de contas, e avaliação de resultados das propostas e projetos do mecanismo de Incentivo à Indústria e à Cadeia Produtiva da Reciclagem. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/noticias/mma-publica-portaria-que-regula-a-lei-de-incentivo-a-reciclagem/PORTARIAGM_MMAN1.250DE13DEDEZEMBRODE2024PORTARI-AGM_MMAN1.250DE13DEDEZEMBRODE2024DOUImprensaNacional.pdf. Acesso em maio de 2026.

_____.2024c. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Portaria GM/MMA Nº 1.250, de 13/12/2024**. Regula e estabelece procedimentos relativos à apresentação, análise, aprovação, ao acompanhamento, ao monitoramento, à prestação de contas, e avaliação de resultados das propostas e projetos do mecanismo de Incentivo à Indústria e à Cadeia Produtiva da Reciclagem. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/noticias/mma-publica-portaria-que-regula-a-lei-de-incentivo-

a-reciclagem/PORTARIAGM_MMAN1.250DE13DEDEZEMBRODE2024PORTARI-AGM_MMAN1.250DE13DEDEZEMBRODE2024DOUImprensaNacional.pdf. Acesso em maio de 2026.

_____. 2024d. **Decreto n° 12.082, DE 27 DE JUNHO DE 2024**. Institui a Estratégia de Economia Circular. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 de junho de 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/decreto/d12082.htm. Acesso em maio de 2026.

_____. 2025. 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.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/decreto/d12082.htm. Acesso em maio de 2026.

_____. 2025a. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei nº 391/2025**. Altera a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para explicitar a obrigatoriedade de logística reversa para painéis fotovoltaicos e prever regras e metas específicas para sua estruturação e implementação. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2483680. Acesso em maio de 2026.

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. Acesso em: janeiro de 2026.

CNUC - **Cadastro Nacional de Unidades de Conservação**. Unidades de Conservação. 2024. Disponível em: https://cnuc.mma.gov.br/Acesso em maio de 2026.. Acesso em maio de 2026.

EC – European Commission. Environment. **Waste from Electrical and Electronic Equipment (WEEE)**. 2020. Disponível em: https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee_en. 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 Conjunta Eletrobras EPE Licenciamento UFV ver2022.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_Usinas h%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_Solar_Fotovoltaica_Flutuante.pdf. Acesso em: junho de 2020.

_____.2025. Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional – BEN 2025. 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: setembro de 2025.

_____.2026. Painel de Dados de Micro e Minigeração Distribuída. Disponível em: https://dashboard.epe.gov.br/apps/pdgd/. Acesso em junho de 2026.

_____. 2026a. Energias Eólica e Solar Fotovoltaica: Panorama da Legislação do Licenciamento Ambiental. NT-EPE-DEA-SMA-012/2026. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-

abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-971/Nota T%C3%A9cnica DEA 12 2026 Legisla%C3%A7%C3%A3o Licenciamento Renovaveis (2).pdf. Acesso em: maio/2026.

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 https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/2358.** X Congresso Brasileiro de Energia Solar https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/2358/2342, 2024, Rio Grande do Norte.

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. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927024816300393

GREENER. **Estudo Estratégico - Geração Distribuída - Mercado Fotovoltaico**. Março 2025. Disponível em: https://estudo-gd-2025.greener.com.br/ Acesso em: maio 2025.

HAMED, T. A., & ALSHARE, A. **Environmental impact of solar and wind energy-a review https://www.sdewes.org/jsdewes/pid9.0387**. Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, 10(2), p. 1-23. 2022.

IBGE. 2026. **IBGE Cidades**. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/. Acesso em: junho de 2026.

IEA. https://www.iea.org/commentaries/empowering-people-the-role-of-local-energy-communities-in-clean-energy-transitions. 2023. Acesso em: maio de 2026.

IEMA. Sistemas Fotovoltaicos na Amazônia Legal: avaliação e proposição de políticas públicas de universalização de energia elétrica e logística reversa. Maio, 2023. Disponível em: https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2023/04/IEMA_UniversalizacaoAmazonia20230427.pdf Acesso em: maio 2025.

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.

JORNAL DA USP. **https://jornal.usp.br/ciencias/governanca-do-lixo-norte-e-nordeste-apresentam-piores-indices/**. 2025. Disponível em: https://quasar-project.eu/wp-content/uploads/2025/09/D2.2_Deliverable_Report_final_v1.0_watermark.pdf. Acesso em: maio de 2026.

KLINGLER et. al. Large-scale green grabbing for wind and solar photovoltaic development in Brazil. Nature Sustainability. 7, 747-757 (2024). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/373945456_Large-scale_green_grabbing_for_wind_and_solar_PV_development_in_Brazil. Acesso em: outubro de 2025.

LETRAS AMBIENTAIS – Instituto Letras Ambientais. **Caatinga: um dos biomas menos protegidos do Brasil**. 2019.Disponível em: https://www.letrasambientais.org.br/posts/caatinga:-um-dos-biomas-menos-protegidos-do-brasil. Acesso em: maio de 2026.

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomas – 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.

_____. Em 38 anos o Brasil perdeu 15% de suas florestas naturais. 2023. Disponível em: https://mapbiomas.org/blog/2023/10/20/em-38-anos-o-brasil-perdeu-15-de-suas-florestas-naturais/. Acesso em: janeiro de 2026.

_____. **Brasil: quatro décadas de transformação na cobertura e uso da terra revelam desafios e oportunidades.** 2025. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/brasil-quatro-decadas-de-transformacao-na-cobertura-e-uso-da-terra-revelam-desafios-e-oportunidades/. Acesso em: agosto de 2025.

_____. **Projeto MapBiomas - Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra no Brasil - Coleção 9**. 2025a. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2025/07/Factsheet_Caatinga_17.06.pdf. Acesso em maio de 2026.

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.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Integração do Componente de Gênero nas Políticas Energéticas dos Países do G20**. Brasília: MME, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/ee/acoes-e-programas-1/parceria-energetica-brasil-alemanha/IntegraodoComponentedeGneroG20_PT.pdf. Acesso em: 25 maio 2026.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://www.emerald.com/ijccsm/article/11/4/499/127353/Solar-smart-grid-as-a-path-to-economic-inclusion. Acesso em: julho de 2020.

NORDESTE POTÊNCIA. **Salvaguardas socioambientais para energia solar fotovoltaica centralizada.** Setembro, 2025. Disponível em: https://nordestepotencia.org.br/wp-content/uploads/2025/09/SalvaguardasSolar_Digital.pdf. Acesso em 20 de outubro de 2025.

OECD. *Extended Producer Responsibility: A Guidance Manual for Governments*. Organisation for Economic Co-operation and Development. 2001. Disponível em: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2001/03/extended-producer-responsibility_g1gh2874/9789264189867-en.pdf. Acesso em maio de 2026.

PHOTORAMA. 2025. Disponível em: https://www.photorama-project.eu/

PIVATO, M.; VIDOTTO, L.; PEREIRA, F.O.R.; RÜTHER, R. **Circular solar economy: PV modules decision-making framework for reuse.** Journal of Cleaner Production. 2025. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652625002914. Acesso em: maio de 2025.

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://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618336321

QUASAR. Best Practices for Decommissioning and Repowering Utility-Scale PV Plants. 2025. Disponível em: https://quasar-project.eu/wp-content/uploads/2025/09/D2.2_Deliverable_Report_final_v1.0_watermark.pdf. Acesso em: maio de 2026.

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 - 4712.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.

SOUCIRCULAR. 2026. Disponível em: Sou Circular

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 julho de 2024.

Transmissão de Energia Elétrica

ANEEL. 2025. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2025. **8º Seminário do Sistema de Gestão Geoespacializada da Transmissão (GGT).** Disponível em: https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/apresentacoes/eventos-realizados/anteriores-a-2026/eventos-realizados-2017a2025/21-03-2025-8o-seminario-do. Acesso em: maio de 2026.

Axia Energia. 2025. **Relatório Anual de Sustentabilidade**. Disponível em: https://axia.com.br/documents/32426/441119/260512_Axia_RAS_2025_PT.pdf/180432d1-644a-3c27-297a-30a2b0f505e9. Acesso em: maio de 2026.

BNDES. 2018. 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: maio de 2026.

BRASIL. 2006. **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: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11428.htm. Acesso em: maio de 2026.

_____. 2008. **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: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/d6660.htm. Acesso em: maio de 2026.

_____. 2025. **Lei nº 15.190, de 8 de agosto de 2025.** Dispõe sobre o licenciamento ambiental; regulamenta o inciso IV do § 1º do art. 225 da Constituição Federal [...] e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 ago. 2025. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2025/lei/l15190.htm. Acesso em: maio 2026.

_____. 2024. **Plano Nacional de Transição Energética**. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/dte/cgate/pnte. Acesso em: 19 de maio de 2025.

_____. 2025. **Lei n. 15.103/2025 de 06 de março de 2025.** Institui o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten); e altera as Leis nºs 13.988, de 14 de abril de 2020, 11.484, de 31 de maio de 2007, 9.991, de 24 de julho de 2000, e 9.478, de 6 de agosto de 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2025/lei/L15103.htm. Acesso em: abril de 2025.

CEBRI. 2023. Centro Brasileiro de Relações Internacionais, 2023. Neutralidade de Carbono até 2050: Cenários para uma transição eficiente no Brasil. Disponível em: https://cebri.org/br/doc/309/neutralidade-de-carbono-ate-2050-cenarios-para-uma-transicao-eficiente-no-brasil

EPE. Empresa de Pesquisa Energética, 2021a. **Avaliação dos Benefícios Econômicos da Antecipação da Interligação de Sistemas Isolados do Acre** (No. EPE-DEE-NT-078/2021). Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-695/NT-EPE-DEE-078-2021_Antecipa%C3%A7%C3%A3o interliga%C3%A7%C3%A3o Acre.pdf. Acesso em: maio de 2025.

___. Empresa de Pesquisa Energética, 2023. **Avaliação dos Benefícios Econômicos da Antecipação da Interligação de Sistemas Isolados Propostos pela Amazonas Energia** (Nº. EPE-DEE-RE-046/2023-rev0). Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-774/EPE-DEE-NT-046-2023-rev0.pdf. Acesso em: maio de 2026.

___. Empresa de Pesquisa Energética, 2024a. **Avaliação dos Benefícios Econômicos da Interligação Conjunta dos Sistemas Isolados de Nhamunda-AM, Faro-PA e Terra Santa-PA** (Nº. EPE-DEE-NT-022/2024-rev0). Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-827/EPE-DEE-NT-022-2024-rev0-Localidades de Nhamunda-Faro-Terra Santa.pdf. Acesso em: maio de 2026.

___. Empresa de Pesquisa Energética, 2021b. **Fernando de Noronha - Identificação das Alternativas de Suprimento - Avaliação de médio e longo prazo** (No. EPE-DEE-DEA-DPG-NT-001/2021-r0). 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 Potencial Noronha.pdf#search=%22Fernando%20de%20Noronha%22. Acesso em: maio de 2026.

___. Empresa de Pesquisa Energética, 2025. **Planejamento do Atendimento aos Sistemas Isolados Horizonte 2026/2030 - Ciclo 2025** (Nº. EPE-DEE-102/2025-r0). Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-942/Caderno_Planejamento SISOL_2025_FINAL.pdf#search=Planejamento%20do%20Atendimento%20aos%20Sistemas%20Isolados. Acesso em: maio de 2026.

___. Empresa de Pesquisa Energética, 2025. **Roadmap Resiliência Climática – Transmissão e Mudanças Climáticas**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/roadmap-para-o-fortalecimento-da-resiliencia-do-setor-eletrico-em-resposta-as-mudancas-climaticas. Acesso em: maio de 2026.

___. Empresa de Pesquisa Energética, 2026. **Informe Técnico - A Interligação de Roraima ao SIN: perspectivas pós interligação e o mercado de eletricidade no estado.** Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-974/InformeT%C3%A9cnico_Interliga%C3%A7%C3%A3o_de_Roraima_vf.pdf. Acesso em: junho de 2026.

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/topico-525/EPE-DEE-DEA-NT-029-2020-rev0.pdf. Acesso em: maio de 2026.

ENERGISA. 2025. **Grupo Energisa conclui desligamento de 20 termelétricas e reduz em mais de 500 mil toneladas as emissões de CO_2 na Amazônia.** Disponível em: https://www.energisa.com.br/noticias/sustentabilidade/grupo-energisa-conclui-desligamento-de-20-termeletricas-e-reduz-em-mais. Acesso em: maio de 2026.

FUNAI. Fundação Nacional do Índio. **Delimitação das Terras Indígenas do Brasil**, 2026. Disponível em: https://www.arcgis.com/home/item.html?id=78ba481fb2904ebb9e708d9ef4a2a462#overview. Acesso em: maio de 2026.

GALVÃO, Thiago; ANDRADE, Paula; OLIVEIRA, Bernardo. **Adaptação do Planejamento da Expansão da Transmissão no Rio Grande do Sul em Decorrência do Desastre de 2024: a Experiência da Empresa de**

Pesquisa Energética. https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/planejamento-da-transmissao/estudos-de-planejamento XVI SEPOPE, Foz do Iguaçu, 2026.

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2025. **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%AAncia%20entre%202012%20e%202016 . Acesso em: setembro de 2025.

INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, 2026a. **Projetos de Assentamento**. Disponível em: http://acervofundiario.incra.gov.br/acervo/acv.php. Acesso em: maio de 2026.

_____. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, 2026b. **Terras Quilombolas**. Disponível em: http://acervofundiario.incra.gov.br/acervo/acv.php. Acesso em: maio de 2026.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Unidades de Conservação do Brasil,** 2026. Disponível em: https://cnuc.mma.gov.br/. Acesso em: maio de 2026.

MMA – Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima; MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação; MME – Ministério e Minas e Energia; Casa Civil da Presidência da República. **Plano Clima – Mitigação. Plano Setorial de Energia**. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/mudanca-do-clima/plano-setorial-energia.pdf. Acesso em: maio de 2026.

MME. Ministério de Minas e Energia, 2025. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro – dezembro/2025**. Brasília, 2025. p. 45. Disponível em: < https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/secretaria-nacional-energia-eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico/2025>. Acesso em: maio de 2026.

_____ 2024. **Portaria GM/MME Nº 818, de 31 de outubro de 2024**. Brasília. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/acesso-a-informacao/legislacao/portarias/2024/portaria-gm-mme-n-818-2024.pdf/view. Acesso em: maio de 2025

_____. 2026a. **PLANTE – Plano Nacional de Transição Energética. Volume 1 – Relatório Síntese. Versão Consulta Pública**. Disponível em: blob:https://consultas-publicas.mme.gov.br/e2709eae-58af-4520-b208-082e0f85d035. Acesso em: maio de 2026.

_____. 2026b. **Workshop Energias da Amazônia.** Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/programa-energias-da-amazonia/workshop-programa-energias-da-amazonia-2026/workshop-programa-energias-da-amazonia-2025. Acesso em: maio de 2026.

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico, 2026a. **Capacidade Instalada no SIN – 2026/2030.** Disponível em: http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros Acesso em: maio de 2026.

_____. 2026b. **Indicadores de desempenho do SIN – Número de perturbações ocorridas na Rede Básica.** Disponível em: https://epegovbr.sharepoint.com/sites/PDE2036_tkltol/Documentos Compartilhados/Equipe PDE 2036 - SMA/NT Analise socioambiental PDE 2036/%3chttps:/www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/qualidade-do-suprimento-paineis.aspx. Acesso em: maio de 2026.

Produção e Oferta de Petróleo, Gás Natural e Derivados

AGÊNCIA BNDES DE NOTÍCIAS. 2026. **BNDES, Petrobras e Finep avançam na estruturação de fundo voltado para transição energética.** Disponível em: https://www.canalrural.com.br/economia/bndes-petrobras-e-finep-avancam-em-fundo-para-transicao-energetica/. Acesso em: junho 2026.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2024a. **NOTA TÉCNICA CONJUNTA SPL/STM/SAG/SDT. Critérios socioambientais para inclusão de blocos na Oferta Permanente de Concessão**. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/rodadas-anp/oferta-permanente/opc/arquivos/da/nota-tecnica-conjunta-8-2024.pdf SEI/ANP - 4001491 - Nota Técnica Conjunta.

_____. 2024b. **Descomissionamento de instalações**. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional/descomissionamento-de-instalacoes. Acesso em: setembro de 2025.

_____. 2025. **Banco de Dados de Exploração e Produção (BDEP)**. Disponível em: https://geomaps.anp.gov.br/geoanp/. Acesso em: maio de 2026.

_____. 2026. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2025**. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-brasileiro-do-petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis-2025#Se%C3%A7%C3%A3o%202. Acesso em: julho de 2026.

BANCO MUNDIAL. 2025. **Global Flaring and Methane Reduction Partnership.** Disponível em: https://www.worldbank.org/en/programs/gasflaringreduction. Acesso em: maio de 2025.

BRASIL. 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: https://cpisp.org.br/direitosquilombolas-leis-legislacao-federal-pi60-2015/. 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%2026,de%20que%20trata%20o%20art. Acesso em: outubro de 2024.

CATAVENTO CONSULTORIA. 2024. **Rethinking Transitioning Away from Oil and Gas**. Disponível em: https://catavento.biz/wp-content/uploads/2024/12/2024_Catavento_Rethinking-transitioning-away-from-OG.pdf. Acesso em: maio de 2025.

CIRM – Comissão Interministerial para os Recursos do Mar. 2025. **CIRM – Planejamento Espacial Marinho**. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/secirm/pt-br/psrm/pem. Acesso em: setembro de 2025.

CNPE – Conselho Nacional de Política Energética. 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.

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: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=556. Acesso em: julho de 2024.

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: setembro de 2025.

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: setembro de 2025.

ELETROBRAS. Centrais Elétricas Brasileiras. 2011. **Base cartográfica dos limites das Unidades de Conservação Estaduais e Municipais**. 2011.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. 2025. **Base georreferenciada das Unidades Produtivas da União** (UPUs). Disponível em: https://gisepeprd2.epe.gov.br/WebMapEPE/. Acesso em: setembro de 2025.

_____. 2026. **Balanço Energético Nacional 2026**. Disponível em: https://gisepeprd2.epe.gov.br/WebMapEPE/. Acesso em: julho de 2026.

FGVces - Centro de Estudos em Sustentabilidade da Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas (FGV EAESP). 2025. **Programa Brasileiro GHG Protocol**. Disponível em: https://eaesp.fgv.br/centros/centro-estudos-sustentabilidade/projetos/programa-brasileiro-ghg-protocol. Acesso em: maio de 2025.

FUNAI – Fundação Nacional do Índio. 2026. **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: abril de 2026.

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) https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2020/09/EIA_COMPLETO.pdf**. 4830 p.

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: setembro de 2025.

_____. 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: 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: setembro de 2025.

_____. 2020. **Consulta Pública sobre Matriz de Referência de Petróleo e Gás – Sísmica - 1ª Etapa**. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/notas/copy_of_notas/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. **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.

_____. 2023b. **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://epegovbr.sharepoint.com/sites/PDE2036_tkltol/Documentos_Compartilhados/Equipe_PDE_2036_-_SMA/NT_Analise_socioambiental_PDE_2036/: https:/www.in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-n-14-de-12-de-maio-de-2023-488490184. Acesso em: agosto de 2024.

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.

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. 2026. **Base georreferenciada dos Projetos de Assentamento e Territórios Quilombolas**. Disponível em: https://certificacao.incra.gov.br/csv_shp/zip/%C3%81reas%20de%20Quilombolas.zip. Acesso: abril de 2026.

LEÃO, Rafael da Silveira Soares; CUNHA, Danúbia Rodrigues da; SANTOS, Cláudio Hamilton Matos dos; RABELO, Rodrigo Cavalcanti. 2024. **O impacto dos royalties da exploração de recursos naturais nas finanças públicas municipais do Brasil: estimativas a partir de instrumentos Bartik modificados https://repositorio.ipea.gov.br/entities/publication/5a390c80-0c02-4f0b-9765-d9df8a80208e**. Texto para Discussão (TD), n. 2996, Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2024.

MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. 2026. **Resultados do Comércio Exterior Brasileiro - Dados Consolidados**. Disponível em: https://balanca.economia.gov.br/balanca/publicacoes_dados_consolidados/pg.html#produtos. Acesso em: maio de 2026.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. 2011. **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.

_____. 2026. **Base cartográfica dos limites das Unidades de Conservação Federais**. Disponível em: MME - Intituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade ICMBio - Dados Geoespaciais. Acesso em: abril de 2026.

MME – Ministério de Minas e Energia. 2024. **Portaria GM/MME Nº 804, de 23 de setembro de 2024**. Institui o Programa de Incentivo e Revitalização das Atividades de E&P de Petróleo e Gás Natural - Potencializa E&P. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/mme-n-804-de-23-de-setembro-de-2024-586169369. Acesso em: maio de 2025.

OGCI – Oil and Gas Climate Initiative. 2025. **OGCI's strategy and principles**. Disponível em: https://www.ogci.com/about/strategy-and-principles. Acesso em: maio de 2025.

PETROBRAS. 2024. **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.

_____. 2025a. **Caderno de mudança do clima**. Disponível em: https://issuu.com/estantepetrobras/docs/caderno_de_mudan_a_do_clima_-_2025. Acesso em: setembro de 2025.

_____. 2025b. **Plano estratégico 2050 e Plano de Negócios 2026 – 2030**. Disponível em: https://petrobras.com.br/quem-somos/estrategia. Acesso em: dezembro de 2025.

_____. 2025c. **Iniciativas de conservação e reflorestamento criam um futuro melhor**. Disponível em: https://www.petrobras.com.br/sustentabilidade/iniciativas-de-reflorestamento. Acesso em: setembro de 2025.

_____. 2026. **Diagnósticos municipais. Projeto de Educação Ambiental Rendas do Petróleo – PEA Rendas**. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: https://pearendas.com.br/diagnosticos-municipais/. Acesso em: maio de 2026.

REIS, Diego Araujo; SANTANA, José Ricardo. 2015. **Os efeitos da aplicação dos royalties petrolíferos sobre os investimentos públicos nos municípios brasileiros https://www.scielo.br/j/rap/a/wGXy8wJK3np3YB8FsMZZCYp/?format=html&lang=pt&ilang=pt_BR**. Revista de Administração Pública, Rio de Janeiro, v. 49, n. 1, p. 91-118, fev. 2015. DOI: 10.1590/0034-76121815.

TAVARES, Felipe de Sá; ALMEIDA, Alexandre Nunes de. 2014. **Os impactos dos royalties do petróleo em gastos sociais no Brasil: uma análise usando Propensity Score Matching https://revistas.ufpr.br/ret/article/view/35147/23482**. Revista Economia & Tecnologia, Curitiba, v. 10, n. 2, p. 93-106, set. 2014. DOI: 10.5380/ret.v10i2.35147.

TCFD – Task Force on Climate-Related Financial Disclosures. **About.** Disponível em: https://www.fsb-tcfd.org/about/. Acesso em: maio de 2025.

Etanol

A1 ENGENHARIA. 2026. **Biometano: solução sustentável para o setor sucroenergético**. Disponível em: https://a1.com.br/2026/01/16/biometano-solucao-sustentavel-para-o-setor-sucroenergetico/. Acesso em: janeiro de 2026.

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.snirh.gov.br/ana/apps/storymaps/stories/a874e62f27544c6a986da1702a911c6b. Acesso em: agosto de 2024.

_____. 2026a. **Certificados da Produção ou Importação Eficiente dos Biocombustíveis.** Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio/certificados-producao-importacao-eficiente-biocombustiveis. Acesso em: maio de 2026.

_____. 2026b. **RenovaCalc**. Disponível em: https://epegovbr.sharepoint.com/sites/PDE2036_tkltol/Documentos Compartilhados/Equipe PDE 2036 - SMA/NT Analise socioambiental PDE 2036/: https:/www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio/renovacalc. Acesso em: julho de 2026.

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.

_____. 2025. **Lei n. 15.103, de 06 de março de 2025.** Institui o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten); e altera as Leis nº 13.988, de 14 de abril de 2020, 11.484, de 31 de maio de 2007, 9.991, de 24 de julho de 2000, e 9.478, de 06 de agosto de 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2025/lei/l15103.htm. Acesso em maio de 2025.

_____. 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 nº 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: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l14993.htm. Acesso em: outubro de 2024.

CANAOESTE. 2026. **BECCS avança e impulsiona mercado de créditos de carbono no etanol**. Disponível em: https://canaoeste.com.br/noticias/beccs-avanca-e-impulsiona-mercado-de-creditos-de-carbono-no-etanol/. Acesso em: julho de 2026.

CENTRO DE CONHECIMENTO EM BIOENERGIA. 2020. **Diferenças entre o etanol de milho e de cana-de-açúcar**. Viçosa: UFV, 2020. Disponível em: https://ccbioenergia.ufv.br/diferencas-entre-o-etanol-de-milho-e-de-cana-de-acucar/. Acesso em: 21 maio 2025

CHEROENNET, N.; SUWANMANEE, U. 2017. **Net energy gain and water footprint of corn ethanol production in Thailand.** Energy Procedia, v.118, p.15-20. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.003. Acesso em: maio de 2025.

CEBRI – Centro Brasileiro de Relações Internacionais; BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento; BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social; EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Programa de Transição Energética – Fase 2. Workshop 3 – BECCS, Biometano e Biocombustíveis Avançados**. Disponível em: https://cebri.org/br/doc/342/pte-2-one-page-do-workshop-3-beccs-biometano-e-biocombustiveis-avancados. Acesso em: maio de 2025.

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. 2026a. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, safra 2025/2026, 4º levantamento**. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-cana-de-acucar/arquivos-boletins/4o-levantamento-safra-2025-26/e-book_boletim-de-safras-cana_4o-lev-2025-26.pdf. Acesso em: maio de 2026.

_____. 2026b. **Série histórica terceira safra do milho**. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/series-historicas/graos/milho/milho3aseriehist.xls/view. Acesso em: maio de 2026.

EIXOS. 2026. **São Paulo firma parceria para piloto de captura de carbono na produção de etanol**. Disponível em: https://eixos.com.br/combustiveis-e-bioenergia/biocombustiveis/sao-paulo-firma-parceria-para-piloto-de-captura-de-carbono-na-producao-de-etanol/. Acesso em: julho de 2026.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2021. **Sistemas Diferenciais de Cultivo – Milho.** https://epegovbr.sharepoint.com/sites/PDE2036_tkltol/Documentos Compartilhados/Equipe PDE 2036 - SMA/NT Analise socioambiental PDE 2036/Disponível em: https:/www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/sistemas-diferenciais-de-cultivo.. Acesso em: julho de 2024.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2024. **Protocolo BRCana – Recomendação de manejo de irrigação para produção de cana-de-açúcar cultivada no Cerrado.** Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/11968/protocolo-brcana---recomendacao-de-manejo-de-irrigacao-para-producao-de-cana-de-acucar-cultivada-no-cerrado. Acesso em: julho de 2025.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. 2026. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – Ano 2025**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-987/NT-EPE-DPG-SDB-2026-05_An%C3%A1lise de Conjuntura_Ano base 2025.pdf. Acesso em: agosto de 2026.

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.

GLOBO RURAL, 2026. **FS vende 10 mil créditos de carbono de projeto de injeção do gás no subsolo**. Disponível em: https://globorural.globo.com/negocios/noticia/2026/06/fs-vende-10-mil-crditos-de-carbono-de-projeto-de-injeo-do-gs-no-subsolo.ghtml. Acesso em: julho de 2026.

HAYAT, M. A.; ALHADHRAMI, K.; ELSHURAFA, A. M. 2024. **Which bioenergy with carbon capture and storage (BECCS) pathways can provide net-negative emissions?** International Journal of Greenhouse Gas Control, v.135, 104164. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2024.104164. Acesso em maio de 2025.

JOTA. 2026. **CNPE aprova elevação temporária do teor de etanol na gasolina de 30% para 32%.** Disponível em: https://www.jota.info/coberturas-especiais/matriz/cnpe-aprova-elevacao-temporaria-do-teor-de-etanol-na-gasolina-de-30-para-32. Acesso em: julho de 2026.

LIU, X., HOEKMAN, S. K.; BROCH, A. 2017. **Potential water requirements of increased ethanol fuel in the USA.** Energy, Sustainability and Society, v.7, p.1-13. Disponível em: ResearchGate https://www.researchgate.net/publication/318172419_Potential_water_requirements_of_increased_ethanol_fuel_in_the_USA. Acesso em: maio de 2025.

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomas – Coleção 9.57 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Disponível em: https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/. Acesso em: maio de 2025.

MEKONNEN, M. M.; ROMANELLI, T. L.; RAY, C.; HOEKSTRA, A. Y.; LISKA, A. J.; NEALE, C. M. 2018. **Water, energy, and carbon footprints of bioethanol from the US and Brazil**. Environmental Science & Technology, v.52, n.24, p.14508-14518. Disponível em: https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.8b03359. Acesso em: maio de 2025.

MMA – Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. 2024. **Plano Clima – Adaptação**. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/smc/plano-clima/plano-clima-adaptacao. Acesso em: maio de 2025.

MTE – Ministério do Trabalho e Emprego. 2025. **Relação Anual de Informações Sociais**. CNAE 2.0. Disponível em: https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZmJmMDVhODctMTEwOS00YTVhLWJhNzItOWE3NmVlMWEwMTUxIiwidCI6IjNlYzkyOTY5LTVhNTEtNGYxOC04YWM5LWVmOThmYmFmYTk3OCJ9. Acesso em: setembro de 2025.

REVISTA CULTIVAR. 2024. **Pesquisa valida método de irrigação de cana como estratégia às mudanças climáticas**. Disponível em: https://revistacultivar.com.br/noticias/pesquisa-valida-metodo-de-irrigacao-de-cana-como-estrategia-as-mudancas-climaticas. Acesso em: julho de 2025.

REVISTA PESQUISA FAPESP. **Outra fábrica de biometano a partir da vinhaça**. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/outra-fabrica-de-biometano-a-partir-da-vinhaca/?utm_source=ig&utm_medium=social&utm_content=link_in_bio. Acesso em: janeiro de 2026.

ROSSETTO, R. 2019. **Evolução no uso da vinhaça.** Governo do Estado de São Paulo. Disponível em: http://www.stab.org.br/vinhaca_2019/raffaella_rossetto_apta.pdf. Acesso em: agosto de 2021.

RPA NEWS. 2024. **Adecoagro vai aumentar em até cinco vezes a produção biometano a partir da vinhaça.** Disponível em: https://revistarpanews.com.br/adecoagro-vai-aumentar-em-ate-cinco-vezes-a-producao-biometano-a-partir-da-vinhaca/. Acesso em: janeiro de 2026.

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.cetesb.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/2008_Res_SMA_88.pdf. Acesso em: agosto de 2024.

_____. Secretaria de Estado de Agricultura e Abastecimento. 2024. **Protocolo Agroambiental Etanol Mais Verde – Resultados Safra 23/24**. São Paulo, agosto de 2024. Disponível em: https://smastr16.blob.core.windows.net/home/2024/08/Resultados-Etanol-Mais-Verde-Safra-2023_24.pdf. Acesso em: março de 2025.

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, L. S.; CASTAÑEDA-AYARZA, J. A. Macro-environment analysis of the corn ethanol fuel Development in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Amsterdam, Volume 135, 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120306754. Acesso em abril de 2025.

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://rpa.sede.embrapa.br/RPA/pt_BR/article/view/1567. Acesso em: julho de 2024.

Biodiesel

ABIOVE. Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. 2026a. **Estatísticas Cadeia da Soja – Brasil – Complexo Soja Balanço Oferta/Demanda**. Disponível em: https://abiove.org.br/estatisticas-cadeia-da-soja-mensal/. Acesso em: maio de 2026.

_____. Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. 2026b. **Estatísticas Biodiesel – Produção de biodiesel por matéria-prima**. Disponível em: https://abiove.org.br/estatisticas-biodiesel-2026/. Acesso em: maio de 2026.

ANGUEBES-FRANSESCHI, F.; BASSAM, A.; ABATAL, M.; MAY TZUC, O.; AGUILAR-UCÁN, C.; WAKIDA-KUSUNOKI, A. T.; L. C. SAN PEDRO. 2019. **Physical and chemical properties of biodiesel obtained from amazon sailfin catfish (Pterygoplichthys pardalis) biomass oil**. Journal of Chemistry, v. 2019, n 1, 1-12. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2019/7829630. Acesso em: maio de 2025.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2026a. **Painel Dinâmico Produtores de Biodiesel.** Disponível em: https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiOTlkODYyODctMGJjNS00MGIyLWJmMWItNGJlNDg0ZTg5NjBlIiwidCI6IjQ0OTlmNGZmLTI0YTYtNGI0Mi1iN2VmLTEyNGFmY2FkYzkxMyJ9&pageName=ReportSection8aa0cee5b2b8a941e5e0%22. Acesso em: maio de 2026.

_____. 2026b. **Certificados da Produção ou Importação Eficiente dos Biocombustíveis.** Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio/certificados-producao-importacao-eficiente-biocombustiveis. Acesso em: maio de 2026.

ATRIUM FOREST CONSULTING; WWF-Brasil. 2022. **Viabilidade da macaúba para produção de biocombustíveis.** Disponível em: https://epegovbr.sharepoint.com/sites/PDE2036_tkltol/Documentos Compartilhados/Equipe PDE 2036 - SMA/NT Analise socioambiental PDE 2036/: 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: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13576.htm. Acesso em: julho de 2024.

BEZERRA, H. F. C. et al. 2023**. Metabolic profile of goats fed diets containing crude glycerin from biodiesel production**. Frontiers in Veterinary Science, v. 10. Disponível em: https://www.frontiersin.org/journals/veterinary-science/articles/10.3389/fvets.2023.1236542/full. Acesso em: junho de 2026.

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 nº 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: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l14993.htm. Acesso em: outubro de 2024.

_____. Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar – MDA. **Portaria nº 28, de 27 de junho de 2024.** Dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos à concessão e manutenção do direito de uso do Selo Biocombustível Social https://diariolink.com.br/resultado/8272687. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 jun. 2024. Seção 1, p. 37.

_____. Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar – MDA. **Portaria nº 36, de 9 de setembro de 2025.** Altera a Portaria MDA nº 28, de 27 de junho de 2024, que dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos à concessão e manutenção do direito de uso do Selo Biocombustível Social https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mda-n-36-de-9-de-novembro-de-2023-522171672. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 set. 2025. Seção 1, p. 131.

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.org.br/upload/kceditor/files/Cepea_Abiove_Produ%c3%a7%c3%a3o_de_biodiesel_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/ResoluoCNPE8Publicada.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. 2026. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – Ano 2025**. Disponível em: https://epegovbr-my.sharepoint.com/shared?listurl=https%3A%2F%2Fepegovbr%2Dmy%2Esharepoint%2Ecom%2Fpersonal%2Fleonardho%5Flucena%5Fepe%5Fgov%5Fbr%2FDocuments&id=%2Fpersonal%2Fleonardho%5Flucena%5Fepe%5Fgov%5Fbr%2FDocuments%2FArquivos%20de%20Chat%20do%20Microsoft%20Teams%2FNT%2DEPE%2DDPG%2DSDB%2D2026%2D05%5FAn%C3%A1lise%20de%20Conjuntur%2Epdf&parent=%2Fpersonal%2Fleonardho%5Flucena%5Fepe%5Fgov%5Fbr%2FDocuments%2FArquivos%20de%20Chat%20do%20Microsoft%20Teams&ct=1790100174563&or=Teams%2DHL&shareLink=1&ga=1&LOF=1. Acesso em: agosto de 2026.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. 2024. **Potencial das técnicas "poupa-terra" na produção de biocombustíveis no Brasil.** Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-843/FS-EPE-DPG-SDB-2024-03-Poupa_Terra.pdf. Acesso em: maio de 2025.

GALUSNYAK, S. C.; PETRESCU, L.; ARPAD, I. L.; CORMOS, C. C. 2024. **Towards value-added chemicals: Technical and environmental life cycle assessment evaluation of different glycerol valorisation pathways**. Sustainable Energy Technologies and Assessments, v.*72*, 104043. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138824004399?via%3Dihub. Acesso em: maio de 2025.

GUJAR, J. P.; MODHERA, B. 2025. **Optimizing glycerol conversion to hydrogen: A critical review of catalytic reforming processes and catalyst design strategies**. International Journal of Hydrogen Energy, v.109, p.823-850. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319925006421?via%3Dihub. Acesso em: maio de 2025.

HERRERA-BEURNIO, M. C.; LÓPEZ-TENLLADO, F. J.; HIDALGO-CARRILLO, J.; MARTÍN-GÓMEZ, J.; ESTÉVEZ, R.; URBANO, F. J.; MARINAS, A. 2024. **Glycerol photoreforming for photocatalytic hydrogen production on binary and ternary Pt-g-C3N4-TiO2 systems: a comparative study**. Catalysis Today, v. *430*, p. 114548. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0920586124000427?via%3Dihub. Acesso em: maio de 2025.

LEITE, R. G. et al. 2025. **Nutritional value of glycerin for pigs fed a mixture or an on-top diet**. Animals, v. 15, n. 10, p. 1387, 2025. Disponível em: https://www.mdpi.com/2076-2615/15/10/1387. Acesso em: junho de 2026.

MDA – Ministério de Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar – Secretaria de Agricultura Familiar e Cooperativismo. 2026. **Relação das Empresas Produtoras de Biodiesel detentoras do Selo Biocombustível Social**. Disponível em: https://www.gov.br/mda/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/programas-projetos-acoes-obras-e-atividades/selo-biocombustivel-social/documentos/RELAOATUALIZADAEMPRESASSBSJUN20252.pdf. Acesso em: maio de 2026.

MDA – Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar – MDA. **Portaria n. 28, de 27 de junho de 2024.** Dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos à concessão e manutenção do direito de uso do Selo Biocombustível Social https://diariolink.com.br/resultado/8272687. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 jun. 2024. Seção 1, p. 37.

MDA – Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar – MDA. **Portaria n. 36, de 9 de setembro de 2025.** Altera a Portaria MDA n. 28, de 27 de junho de 2024, que dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos à concessão e manutenção do direito de uso do Selo Biocombustível Social https://diariolink.com.br/resultado/8272687. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 set. 2025. Seção 1, p. 131.

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 Emprego. 2025. **Relação Anual de Informações Sociais**. CNAE 2.0. Disponível em: https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZmJmMDVhODctMTEwOS00YTVhLWJhNzItOWE3NmVlMWEwMTUxIiwidCI6IjNlYzkyOTY5LTVhNTEtNGYxOC04YWM5LWVmOThmYmFmYTk3OCJ9. Acesso em: setembro de 2025.

PETROBRAS. 2023**. Petrobras avança em testes de combustível marítimo com conteúdo renovável**. Disponível em: https://agencia.petrobras.com.br/w/sustentabilidade/petrobras-avanca-em-testes-de-combustivel-maritimo-com-conteudo-renovavel. Acesso em: junho de 2026.

PERALTA-REYES, E.; VIZARRETEA-VÁSQUEZ, D.; NATIVIDAD, R.; AIZPURU, A.; ROBLES-GÓMEZ, E.; ALANIS, C.; REGALADO-MENDEZ, A. 2022. **Electrochemical reforming of glycerol into hydrogen in a batch-stirred electrochemical tank reactor equipped with stainless steel electrodes: parametric optimization, total operating cost, and life cycle assessment**. Journal of Environmental Chemical Engineering, v.10, n.4, 108108. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343722009812?via%3Dihub. Acesso em: maio de 2025.

PIRES, P. D. C. L.; DA SILVA CÉSAR, A.; CARDOSO, A. N.; FAVARO, S. P.; CONEJERO, M. A. 2023. **Strategies to improve the competitiveness of an agroindustrial system for a macauba based oil production in Minas Gerais State, Brazil**. Land Use Policy, v. *126*, 106552. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837723000182?via%3Dihub. Acesso em: maio de 2025.

SILVEIRA, N. T.; DOS SANTOS BELLO, R. K.; NETO, V. R. P.; TIBÚRCIO, I. M.; DE SANTANA, S. H. C.; CAVALCANTI, L. A. P. 2024. **Avaliação da produção de biodiesel a partir das vísceras de Oreochromis niloticus (Linnaeus, 1758).** Meio Ambiente (Brasil), v.6, n.2. Disponível em: https://meioambientebrasil.com.br/index.php/MABRA/article/view/470. Acesso em: maio de 2025.

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/items/2a7d46e6-0a5b-4ed2-b71e-697fd65fcede. Acesso em: julho de 2024.

Biometano

ABEGAS. 2026. **CNPE fixa meta de redução de 0,5% nas emissões do mercado de gás natural para 2026.** Disponível em: https://www.abegas.org.br/arquivos/99735. Acesso em: agosto de 2026.

AIE – Agência Internacional de Energia. 2020. **Outlook for biogas and biomethane: Prospects for organic growth.** Disponível em: https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth. Acesso em maio de 2025.

_____. 2023. **Renewables 2023. Special section: Biogas and Biomethane.** Disponível em: https://www.iea.org/reports/renewables-2023/special-section-biogas-and-biomethane. Acesso em maio de 2025.

_____. 2025. **Global Methane Tracker 2025**. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/2c0cf2d5-3910-46bc-a271-1367edfed212/GlobalMethaneTracker2025.pdf. Acesso em maio de 2025

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2025. **Renovabio**. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio. Acesso em maio de 2025.

_____. 2020. **Biometano**. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/programa-incentivo-biometano/legislacao. Acesso em maio de 2025.

_____. 2026. **Biometano**. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/programa-incentivo-biometano/legislacao. Acesso em maio de 2026.

BAUER, F.; PERSSON, T.; HULTEBERG, C.; TAMM, D. **Biogas upgrading – technology overview, comparison and perspectives for the future**. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/programa-incentivo-biometano/legislacao. Biofuels, Bioproducts and Biorefining, Wiley, v. 7, n. 5, p. 499-511, 2013. DOI: 10.1002/bbb.1423. Acesso em: setembro de 2025.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. 2024. **A hora do biometano no Brasil. Textos para discussão 159.** Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/24146/1/PRFol_216049_TD n. 159_A hora do biometano no Brasi.pdf. Acesso em maio de 2025.

BRASIL. 2022a. **Programa Metano Zero**. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/smc/dpmi/ozonio/repositorio/publicacoes/ProgramaMetanoZero.pdf. Acesso em maio de 2025.

_____. 2022b. **Decreto nº 11.003, de 21 de março de 2022.** Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d11003.htm. Acesso em maio de 2025.

_____. 2022c. **MMA lança Escolas +Verdes para estimular ações sustentáveis na educação**. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/assuntos/noticias/2022/escolas-verdes-estimularao-acoes-sustentaveis-na-educacao. Acesso em maio de 2025.

_____. 2023. **Resolução CNPE n. 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: setembro de 2025.

_____. 2025. **Lei n. 15.103, de 06 de março de 2025.** Institui o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten); e altera as Leis nº 13.988, de 14 de abril de 2020, 11.484, de 31 de maio de 2007, 9.991, de 24 de julho de 2000, e 9.478, de 06 de agosto de 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2025/lei/l15103.htm. Acesso em maio de 2025.

_____. 2025a. **Lei n. 12.614, de 05 de setembro de 2025.** Regulamenta a Lei nº 14.993, de 8 de outubro de 2024, para dispor sobre o Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano, e altera o Decreto nº 10.712, de 2 de junho de 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2025/decreto/d12614.htm. Acesso em setembro de 2025.

_____. 2025b. **Governo Federal lança iniciativa para promover o uso de energia limpa proveniente de biodigestores em Cozinhas Solidárias — Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e**

Combate à Fome. Disponível em: https://www.gov.br/mds/pt-br/noticias-e-conteudos/desenvolvimento-social/noticias-desenvolvimento-social/governo-federal-lanca-iniciativa-para-promover-o-uso-de-energia-limpa-proveniente-de-biodigestores-em-cozinhas-solidarias.. Acesso em maio de 2025.

_____. 2025c**. Plano Nacional de Redução e Reciclagem de Resíduos Orgânicos Urbanos prevê R$ 12 bilhões em investimentos até 2050 — Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima**. Disponível em: https://sinir.gov.br/informacoes/plano-nacional-de-reducao-e-reciclagem-de-residuos-organicos-urbanos-planaro/. Acesso em Junho e 2026.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. 2023. **Captura e armazenamento de carbono biogênico: Bio-CCS.** Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-767/FS-EPE-DPG-SDB-2023-05-BioCCS.pdf. Acesso em maio de 2025.

_____. 2024. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis 2023**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/analise-de-conjuntura-dos-biocombustiveis-2023. Acesso em maio de 2025.

_____. 2025a. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis 2024**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/analise-de-conjuntura-dos-biocombustiveis-2024. Acesso em agosto de 2025.

_____. 2025b. **Plano Nacional Integrado das Infraestruturas de Gás Natural e Biometano – PNIIGB**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-875/topico-760/Webinar_Lan%C3%A7amento_da_ChP_de_Informa%C3%A7%C3%B5es_PNIIGB_final.pdf. Acesso em maio de 2025.

FERREIRA, S. F.; BULLER, L. S.; BERNI, M.; FORSTER-CARNEIRO, T. 2019. **Environmental impact assessment of end-uses of biomethane**. Journal of Cleaner Production. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619315501. Acesso em: maio de 2025.

FLORIO, C.; FIORENTINO, G.; CORCELLI, F.; ULGIATI, S.; DUMONTET, S.; GÜSEWELL, J.; ELTROP, L. **A life cycle assessment of biomethane production from waste feedstock through different upgrading technologies**. Disponível em: https://www.mdpi.com/1996-1073/12/4/718. Energies, MDPI, v. 12, n. 4, art. 718, 2019. DOI: 10.3390/en12040718. Acesso em: setembro de 2025.

GALLONI, M.; DI MARCOBERARDINO, G. **Biogas upgrading technology: conventional processes and emerging solutions analysis**. Disponível em: https://www.mdpi.com/1996-1073/17/12/2907. Energies, MDPI, v. 17, n. 12, art. 2907, 2024. DOI: 10.3390/en17122907. Acesso em: setembro de 2025.

WORLD BIOGAS ASSOCIATION. 2026. Benchmarking Internacional de Políticas, Regulamentações e Tecnologias de Biogás: Como ele se compara ao panorama brasileiro. Disponível em: https://www.gefbiogas.org.br/. Acesso em: maio de 2026.

GLOBAL METHANE PLEDGE. 2021**. About the Global Methane Pledge**. Disponível em: https://www.globalmethanepledge.org/#about. Acesso em maio de 2025.

GONG, R.; LUNELLI, B.H. 2024. **Exergy Analysis of Biogas Production from Sugarcane Vinasse**. Bioenerg. Res. 17, 1208–1216. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s12155-022-10558-3. Acesso em maio de 2025.

INSTITUTO TOTUM. 2025. **O que é o Gas-Rec?** Disponível em: https://institutototum.com.br/totum-services/gas-rec/. Acesso em maio de 2025.

KEOGH, N.; CORR, D.; MONAGHAN, R. F. D. **An environmental and economic assessment for biomethane injection and natural gas heavy goods vehicles.** Applied Energy, v. 360, p. 122800, 2024. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261924001831. Acesso em: maio de 2025.

LEMOS, G. L.; CARDOSO, M. F. O.; COSTA, H. K. de M. 2024. **Biogás e biometano no Brasil: panorama e perspectivas https://repositorio.usp.br/item/003211575.** Desenvolvimento e Meio Ambiente, 63, 464-485. Acesso em maio de 2025.

MMA – Ministério de Meio Ambiente e Mudança do Clima. PORTARIA MMA Nº 71, DE 21 DE MARÇO DE 2022. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mma-n-71-de-21-de-marco-de-2022-387378473. Acesso em maio de 2026.

MMA. Governo federal adere à iniciativa internacional para reduzir emissões de metano. Disponível em: https://folhadomeio.com/2025/03/governo-federal-adere-a-iniciativa-internacional-para-reduzir-emissoes-de-metano/. Acesso em maio de 2026.

MME EPE & CIBIOGÁS. 2023. **Panorama do Biometano: Setor sucroenergético.** Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-781/Panorama de Biometano.pdf. Acesso em maio de 2025.

MME – Ministério de Minas e Energia. 2024. **Projeção de Oferta de Biometano.** Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/eventos/serie-de-workshops-proximos-passos-combustivel-do-futuro-e-novas-politicas-do-setor-de-oleo-e-gas/workshop-biometano/06-mesa-2-heloisa-borges-bastos-esteves-epe.pdf. Acesso em maio de 2025.

MME - Ministério de Minas e Energia. 2025. **MME promove debate sobre decreto do biometano em audiência pública com ampla participação do setor**. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-promove-debate-sobre-decreto-do-biometano-em-audiencia-publica-com-ampla-participacao-do-setor. Acesso em maio de 2025.

MME - Ministério de Minas e Energia. 2026. **CNPE define meta de descarbonização para o mercado de gás natural por meio do biometano em 2026**. Disponível em: https://www.energia-news.com.br/2026/04/cnpe-define-meta-de-descarbonizacao-para-o-mercado-de-gas-natural/

ONU.Global Methane Status Report *2025*. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2025. Disponível em: https://www.unep.org/resources/report/global-methane-status-report-2025?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: maio 2026.

RAVINA, M.; GENON, G. 2015. **Global and local emissions of a biogas plant considering the production of biomethane as an alternative end-use solution.** Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615004242. Journal of Cleaner Production, 102, 115–126. Acesso em: maio de 2025.

Box "Combustíveis de baixa emissão de GEE"

FAPESP. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. Pesquisa em Bioenergia (BIOEN). 2025. **Biofuels as an immediate and effective solution for decarbonization of transportation – Factsheet**. Disponível em: https://bioenfapesp.org/biofuels-as-an-immediate-and-effective-solution-for-decarbonization-of-transportation-factsheet/. Acesso em: maio de 2025.