

# GERAÇÃO TÉRMICA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Reflexões para a adaptação e ampliação da resiliência do Setor Elétrico Brasileiro

Compreender como as mudanças climáticas podem afetar a geração de energia é fundamental para subsidiar o planejamento com foco no aumento da resiliência do sistema elétrico brasileiro. Este *Fact Sheet* aborda o papel da geração de energia termelétrica no Brasil, apresenta os riscos climáticos, descreve como a EPE vem tratando esse tema e aponta caminhos para a adaptação do sistema elétrico frente às mudanças climáticas.

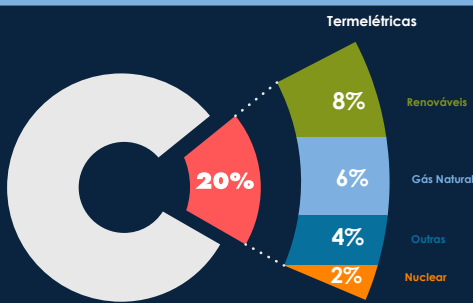
## 1 Entendendo o contexto

## 2 Identificando os Riscos Climáticos

## 3 Construindo caminhos

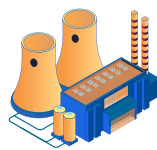
# 151 mil GWh

da energia elétrica gerada no SIN em 2024 foi atendida por geração térmica\*



\*A fitulo de comparação, em 2021, ano de escassez hídrica, esse valor foi 35% maior, com 204 mil GWh

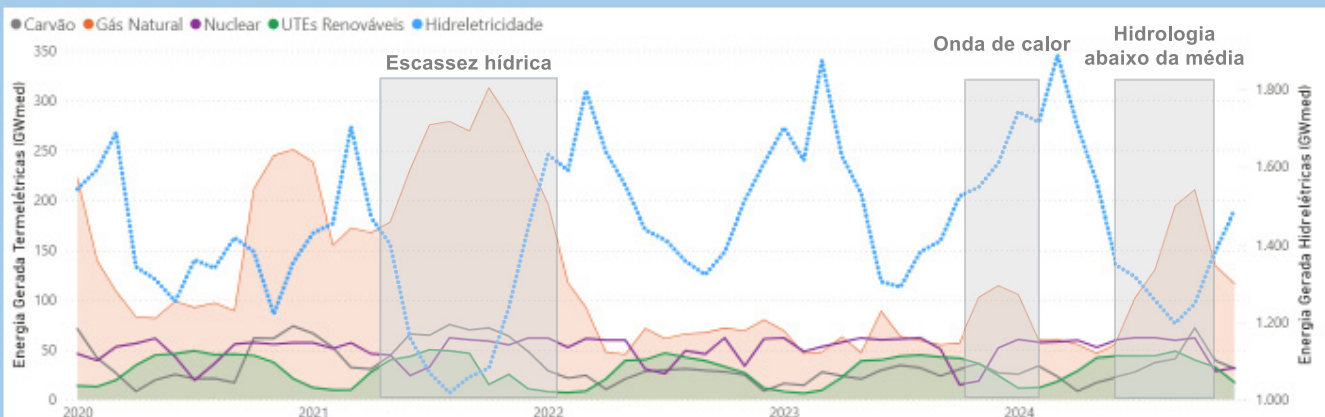
Fonte: Balanço Energético Nacional - BEN 2025 | Ano base 2024 (EPE, 2025).



A energia termelétrica é a produção de energia elétrica a partir da conversão de calor (energia térmica) em eletricidade. Algumas das principais características das usinas termelétricas (UTES) são:

- ✦ **Controlabilidade** da geração, contribuindo para a **confiabilidade e segurança energética** do sistema, especialmente nos momentos de alta demanda e de redução da geração de fontes renováveis.
- ✦ **Multifuncionalidade**, ao assegurar **suprimento contínuo** de energia e **flexibilidade operativa**.
- ✦ **Versatilidade locacional**, já que podem estar **próximas aos centros de carga** ou em regiões remotas, o que as torna fundamentais para o **atendimento aos Sistemas Isolados**.
- ✦ A energia térmica pode ser proveniente de **diversos combustíveis** (gás natural, biomassa, carvão mineral, nuclear, diesel, e outros), **diversificando a matriz energética** brasileira.

O gráfico abaixo mostra a **geração de energia mensal (GWmed)** de hidrelétricas e de diferentes tipos de UTES. As UTES renováveis, nuclear, carvão e algumas usinas a gás natural fornecem um suprimento estável de energia. Já a geração das **UTES a gás natural flexíveis** apresenta **maior variabilidade**, pois estas são acionadas especialmente em momentos de baixa geração hidrelétrica e variações da demanda. No gráfico, se destacam eventos nos quais o **acionamento de termelétricas** foi importante para **garantir o suprimento** de energia.



Fonte: Histórico da Operação, ONS.

# O QUE VEM ACONTECENDO?

Exemplos de eventos climáticos que impactaram as termelétricas no país, tanto em relação à disponibilidade do recurso quanto em relação à geração e à logística:

**2021**

**2021**

**2023**

**2024**

**Condições climáticas adversas** impactam a safra de **cana-de-açúcar**, reduzindo cerca de 11% da geração a partir de bagaço em relação a 2020.

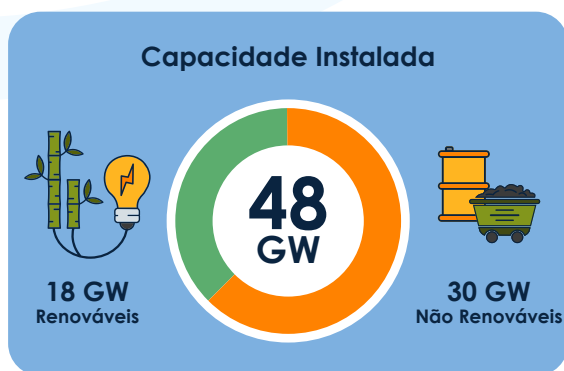
**Escassez hídrica** exige **acionamento de termelétricas**, com recordes consecutivos de geração em julho e agosto.

Onda de calor extremo no Sul e Sudeste **gera pico de demanda de energia** que resultou em **maior geração termelétrica** desde a escassez hídrica de 2021.

**Seca histórica** na região amazônica reduz o nível dos rios e **dificulta a distribuição** de óleo diesel e gás para as usinas térmicas da região.

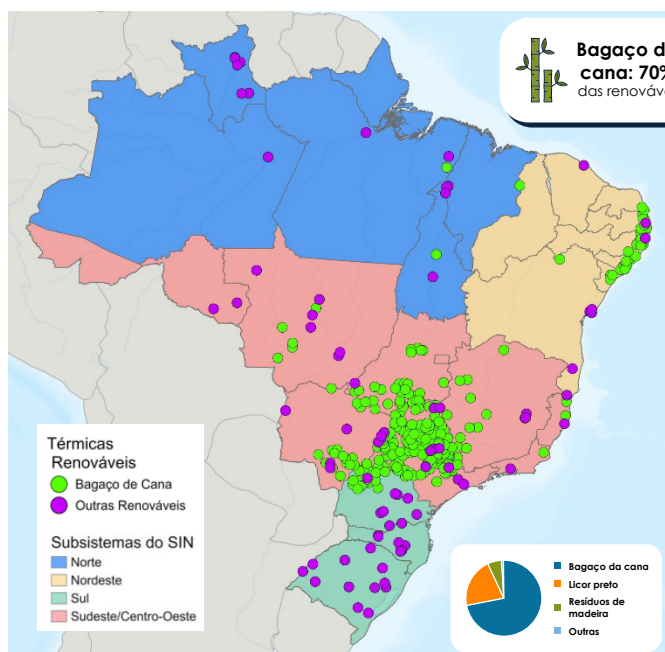
Com a perspectiva de **hidrologia abaixo da média e aumento de demanda**, optou-se por antecipar o **acionamento de UTEs** para assegurar o suprimento.

## ONDE ESTÁ A GERAÇÃO TÉRMICA NO BRASIL?

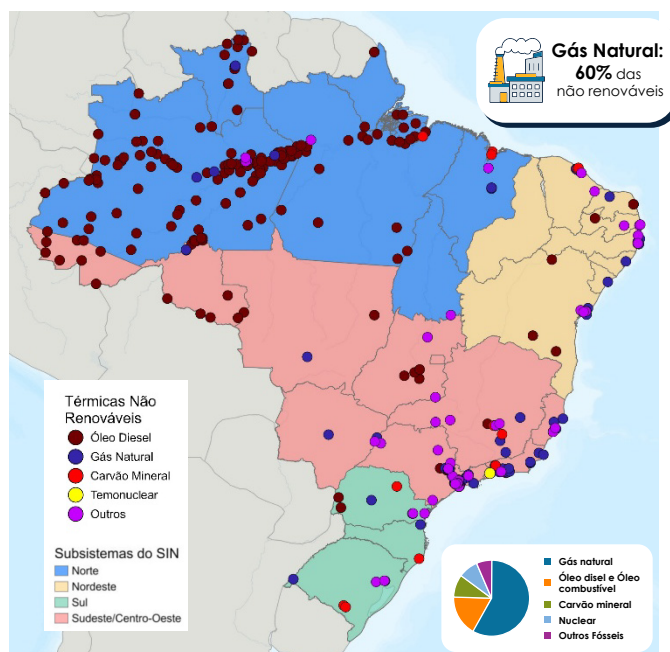


As **termelétricas renováveis** (bagaço da cana-de-açúcar e outros resíduos agrícolas e florestais, biogás, entre outros) concentram-se principalmente no subsistema **Sudeste/Centro-Oeste**, maior região produtora de **cana-de-açúcar**.

Já as **não renováveis** (gás natural, carvão mineral, óleo diesel, combustível nuclear e outros) estão distribuídas por todo o país, com maior concentração nos subsistemas **Sudeste/Centro-Oeste** e **Norte**. Atualmente, há duas usinas **termonucleares** em operação, ambas no Rio de Janeiro.



Fonte: Aneel, 2025.

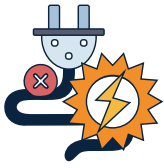


Fonte: Aneel, 2025.

A geração termelétrica é predominante nos **Sistemas Isolados**, em especial aquela a **óleo diesel** (68%). Os Sistemas Isolados são os sistemas elétricos **não conectados ao Sistema Interligado Nacional (SIN)**, localizados na Região Norte, com exceção de Fernando de Noronha, no Nordeste. Cerca de **2,6 milhões de pessoas** moram nesses locais.

# IDENTIFICANDO OS RISCOS CLIMÁTICOS

**RISCO = AMEAÇA X EXPOSIÇÃO X VULNERABILIDADE**



**Como as pessoas e atividades econômicas serão afetadas?**

*Consequências adversas para os sistemas humanos.*



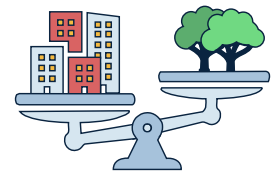
**Como será o clima?**

*Evento ou tendência física.*



**Onde?**

*Presença de pessoas, infraestruturas e serviços.*



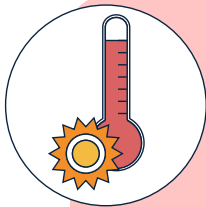
**O que potencializa?**

*Propensão a ser afetado negativamente. Sensibilidade e falta de capacidade adaptativa.*

Metodologia de avaliação de risco climático do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - IPCC.

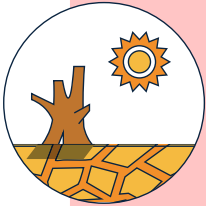
## COMO AS AMEAÇAS CLIMÁTICAS PODEM IMPACTAR A GERAÇÃO TERMELÉTRICA?

As condições climáticas podem influenciar a geração termelétrica em diferentes aspectos, como a disponibilidade de recursos, o transporte e a logística de combustível e a infraestrutura das usinas.



### Aumento da temperatura

- ◆ Redução da eficiência de sistemas e equipamentos.
- ◆ Alterações nas condições de cultivo e produtividade, afetando, por exemplo, a oferta de bioeletricidade.



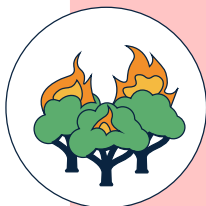
### Aumento da frequência e duração das secas

- ◆ Redução da disponibilidade de água para sistemas de resfriamento.
- ◆ Impactos no transporte aquaviário de combustíveis, afetando principalmente as usinas térmicas isoladas.
- ◆ Alterações nas condições de cultivo e produtividade, afetando, por exemplo, a oferta de bioeletricidade.



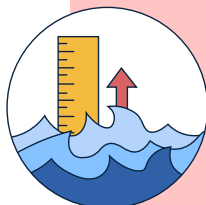
### Aumento da magnitude e duração das chuvas extremas

- ◆ Alagamentos nas instalações e infraestruturas associadas.
- ◆ Impactos na logística de transportes, afetando a oferta de combustíveis.
- ◆ Alterações nas condições de cultivo e produtividade, afetando, por exemplo, a oferta de bioeletricidade.
- ◆ Eventos extremos, como secas e chuvas, podem danificar infraestruturas de coleta de biogás e afetar a composição dos resíduos, reduzindo a geração de energia a partir de aterros.



### Aumento de queimadas

- ◆ Danos às culturas e degradação das condições do solo, reduzindo a oferta de bioeletricidade.

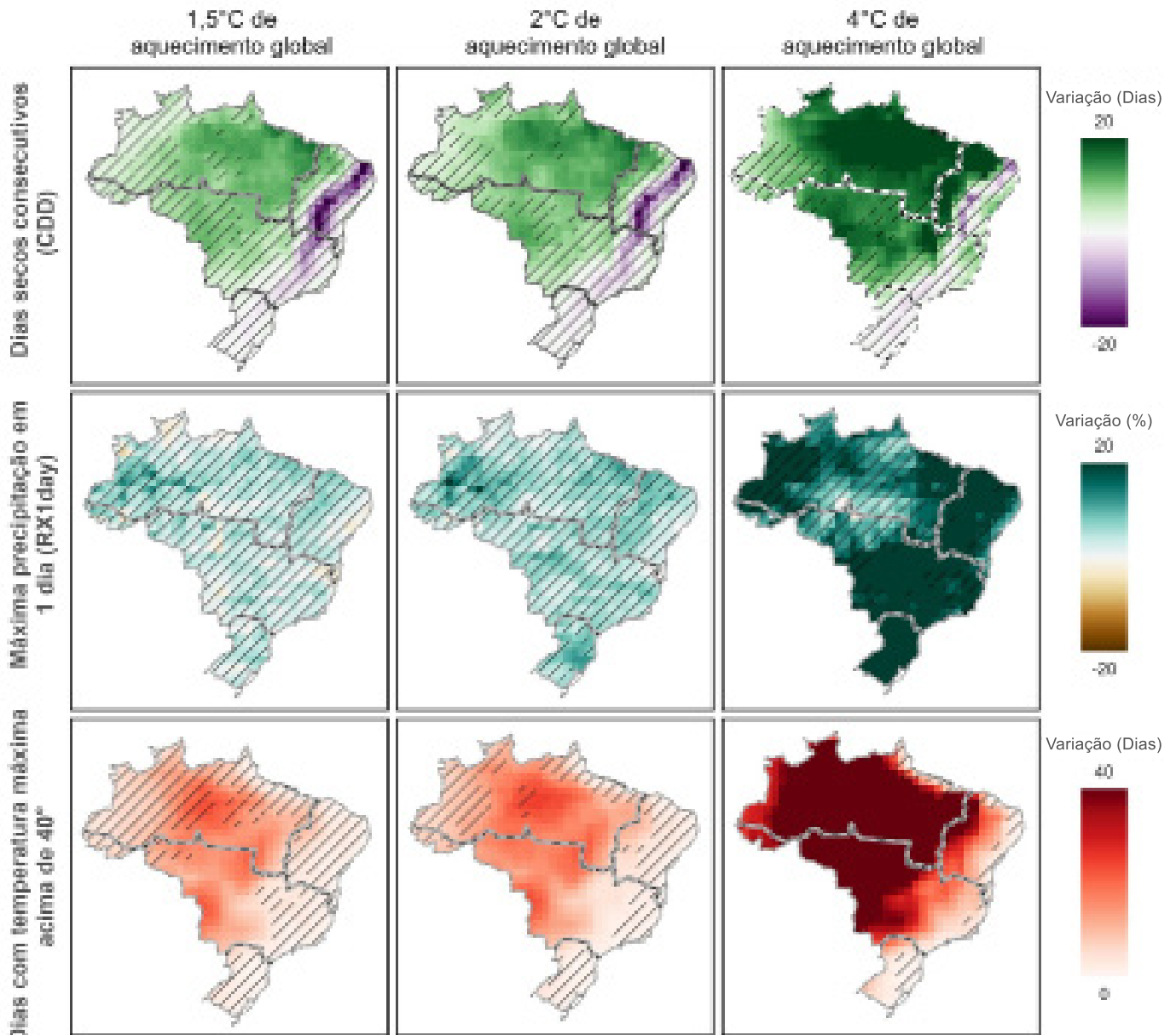


### Aumento do nível dos oceanos

- ◆ Danos às estruturas de usinas e de portos próximos à costa.

# QUAIS SÃO AS TENDÊNCIAS PARA O CLIMA NO BRASIL?

Os resultados **das projeções realizadas pelo IPCC<sup>1</sup>** apontam para as seguintes tendências para **variáveis climáticas** relevantes para a geração termelétrica:



1 - Ensemble CMIP6, cenário de emissão SSP5-8.5, cenário de referência "1995-2014"

Incerteza

Atlas Interativo (IPCC, 2021)

Além disso, no âmbito do Plano Clima, a **Estratégia Nacional de Adaptação** apresenta as seguintes tendências:

**Aumento da temperatura média em todas as regiões** (alta confiança)

**Aumento das chuvas extremas nas regiões Sudeste, Sul e Norte** (alta confiança)

**Aumento da duração e frequência das secas nas regiões Nordeste, Centro-Oeste, e Sudeste** (alta confiança)

Vulnerabilidade é a propensão ou predisposição a ser afetado negativamente. Abrange conceitos como sensibilidade ou susceptibilidade a danos e falta de capacidade de resposta e adaptação (IPCC, 2021).



## QUAIS AS CARACTERÍSTICAS QUE PODEM DEIXAR AS USINAS TERMELÉTRICAS MAIS VULNERÁVEIS AOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS?

### Características de projeto

A **tecnologia empregada**, a **idade do ativo**, os **materiais construtivos** e os padrões normativos adotados podem influenciar na **vulnerabilidade das usinas** em relação a eventos extremos.

### Localização de empreendimentos

Usinas e estruturas em **áreas costeiras** ou **sujeitas à inundaçã**o podem ser afetadas pelo **aumento do nível do mar** e pela ocorrência de **chuvas extremas**.

### Logística de abastecimento de combustível

Eventos extremos, como inundações, secas e queimadas, podem impactar **rotas de fornecimento de combustível**, principalmente para os **sistemas isolados**, onde a logística é mais complexa e há poucas alternativas de rotas.

### Vulnerabilidade das culturas bioenergéticas às alterações do clima

Eventos climáticos extremos como **seca prolongada**, **onda de calor**, **chuva intensa**, geada e queimada tendem a impactar a disponibilidade de biomassa, por conta de **perdas de safra**, **redução na produção** e aumento da irrigação, por exemplo. Já as alterações graduais nos padrões de chuva e temperatura podem **afetar os ciclos produtivos** e a **aptidão agrícola**, deslocando ou até inviabilizando áreas de cultivo.

### E as usinas nucleares?



As usinas nucleares são plantas projetadas para resistir a eventos climáticos de uma magnitude muito maior do que as demais infraestruturas que fazem parte do setor elétrico. De fato, as usinas nucleares são consideradas as estruturas mais resistentes do setor elétrico, pois incorporam diversos fatores de segurança capazes de desligar a usina em situações de emergência, evitando acidentes.

## PRINCIPAIS RISCOS CLIMÁTICOS ASSOCIADOS À GERAÇÃO TÉRMICA:

- ✦ Redução da geração e danos às infraestruturas
- ✦ Dificuldade na logística de abastecimento de combustível às usinas
- ✦ Redução na disponibilidade do recurso para bioeletricidade

## CARACTERÍSTICAS E TENDÊNCIAS DOS SUBSISTEMAS



O subsistema **Norte** é marcado pela grande presença de **Sistemas Isolados**, onde as usinas termelétricas a diesel são fundamentais para o abastecimento e por esse motivo quaisquer alterações podem ter seus efeitos amplificados. Tendências como **aumento da frequência e duração das secas** podem afetar a **navegabilidade dos rios**, dificultando a **chegada desse combustível** às usinas. Similarmente, o aumento de **chuvas extremas** pode causar o bloqueio de **rotas rodoviárias**.

O subsistema **Nordeste** é o que tem a **menor parcela da geração termelétrica** no SIN. Nele, destaca-se a tendência de aumento da **frequência e duração das secas na região de maior escassez hídrica do País**. Em situações críticas, a geração termelétrica pode ser afetada com a potencialização de **conflitos pelo uso da água**.



O subsistema **Sudeste/Centro-Oeste** possui a **maior capacidade termelétrica instalada** no Brasil. As usinas **termelétricas renováveis a biomassa** se concentram nesta região. Assim, destacam-se as tendências de **aumento de temperatura, seca e chuvas extremas** que impactam diretamente as condições agrícolas e podem afetar a bioeletricidade. Além disso, os **conflitos pelo uso da água** podem se intensificar em períodos de seca e restringir a geração termelétrica na região mais populosa do País.

No subsistema Sul, o aumento da duração e magnitude de **chuvas extremas** pode causar danos relevantes, **como o alagamento de usinas e outras estruturas**. Além disso, as chuvas podem interferir na **logística de transporte de combustíveis**. Em contrapartida, a geração de usinas térmicas locais pode trazer segurança em caso de eventos extremos.



Em todos os subsistemas existe **tendência de aumento da temperatura e ondas de calor**, o que afeta a geração termelétrica como um todo, tanto pela **redução da sua eficiência** quanto pelo seu **acionamento mais frequente** para auxiliar no **equilíbrio entre oferta e demanda** de energia elétrica.

# CONSTRUINDO CAMINHOS

## QUAIS OS DESAFIOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS PARA A GERAÇÃO TERMELÉTRICA?

### O paradoxo da segurança energética e da mitigação das emissões

Atualmente, as termelétricas fósseis são **fundamentais para garantir a segurança** do sistema elétrico brasileiro, sendo mais acionadas particularmente em **situações críticas**, como em períodos de **escassez hídrica** em que há **redução da geração hidrelétrica** ou em eventos de **calor extremo** que resultam em **picos de demanda**. Por outro lado, as **emissões associadas à geração termelétrica fóssil contribuem para as mudanças do clima** que, cada vez mais, exigem medidas de adaptação do sistema elétrico para **garantir o fornecimento contínuo e confiável de energia**.

### As incertezas dos impactos climáticos sobre a disponibilidade da biomassa

Embora haja consenso de que as mudanças climáticas interferem diretamente na produção agrícola, há grandes **incertezas quanto à intensidade e à distribuição dos impactos**, já que eles podem variar consideravelmente entre regiões, culturas e sistemas de produção. A **complexidade das interações que envolvem a atividade agrícola** traz **alta imprevisibilidade** sobre fatores determinantes para a **disponibilidade da biomassa**, tais como: produtividade, aptidão agrícola, ciclos produtivos, dentre outros. Além disso, alterações nas condições agrícolas podem implicar em **grandes desafios de adaptação dos métodos de cultivo**, que naturalmente resultam em um **aumento dos custos de produção**. Essa imprevisibilidade também impacta a garantia de suprimento para a bioeletricidade nos leilões de energia.

### O abastecimento dos Sistemas Isolados

Os **Sistemas Isolados** atualmente enfrentam questões relacionadas à **qualidade do fornecimento de energia** (com quedas e apagões frequentes) e ao **preço elevado**. Parte do fornecimento de combustível nesses locais se dá por meio hidroviário, assim a maior ocorrência de eventos extremos de cheias e secas pode dificultar ou até mesmo **impossibilitar o transporte fluvial**, resultando numa **energia mais cara** e menos acessível, comprometendo a **segurança do abastecimento**.

### A gestão de conflitos pelo uso da água

A maior parte das usinas termelétricas em operação no Brasil adota **sistemas de resfriamento que demandam grandes volumes de água** e que podem ser ainda mais exigidos com a elevação da temperatura. Esse aumento da temperatura provoca a **redução da eficiência** dos equipamentos e o **aumento do consumo de água**. Em áreas que já apresentam algum nível de escassez hídrica, isso pode **umentar a pressão de conflitos pelo uso da água**. Para diminuir esses conflitos, é possível **umentar o investimento em novas usinas com tecnologias de resfriamento que não utilizem água** ou, dependendo da localização, priorizar a água do mar. Porém, **esses investimentos podem acarretar em custos elevados e aumentar o preço da energia produzida**.

## COMO O TEMA TEM SIDO ABORDADO PELA EPE?

Clique nas imagens para saber mais.



O **Plano Decenal de Energia – PDE** avalia as **perspectivas de expansão** do setor de energia para os próximos 10 anos. Nas modelagens que subsidiam o plano são previstas termelétricas de combustíveis variados, o que pode contribuir para aumentar a diversificação e resiliência da matriz. No PDE 2034, um dos enfoques foi o aumento da **resiliência do sistema elétrico** frente a **eventos climáticos extremos**. Foi realizada uma **simulação** utilizando um **cenário hidrológico crítico**, buscando-se avaliar o impacto de **medidas operativas relacionadas à geração termelétrica** para aumentar a disponibilidade de potência do SIN.



O **Plano Nacional de Energia – PNE 2050** busca orientar a **estratégia de longo prazo do setor energético no Brasil**. O documento destaca a importância de aprimorar e ampliar a base de informação, ferramentas computacionais e metodologias e fomentar estudos envolvendo cenários extremos.



O **Plano Clima** é o instrumento da Política Nacional de Mudança do Clima que traz a estratégia da política climática brasileira. Neste contexto, a EPE participou da elaboração do **Plano Clima Adaptação do Setor de Energia**, que incorpora diversas iniciativas relacionadas à adaptação.



Os relatórios anuais de **Planejamento dos Sistemas Isolados (SISOL)** são publicações de avaliação técnica das propostas de **planejamento do atendimento ao SISOL**. Nesses relatórios a EPE analisa as propostas dos Agentes de Distribuição, buscando alinhar desenvolvimento econômico, sustentabilidade, **segurança energética e acesso à energia em áreas isoladas**.



A EPE publica **Notas Técnicas** de **projeções de preços dos combustíveis nos Sistemas Isolados e avaliações de benefícios de interligações ao SIN**. Esses estudos subsidiam o planejamento energético do Brasil e contribuem para fortalecer a segurança do suprimento, **aumentando a resiliência desses sistemas**.



O estudo **Escassez Hídrica em 2021 - Diagnóstico e Oportunidades para o Planejamento da Expansão da Oferta de Eletricidade** analisou fatores estruturais que possam ter contribuído para os desafios no fornecimento de energia durante a seca de 2020/2021.



Está em desenvolvimento um projeto para estruturação e modelagem de **base de dados de indicadores** e estatísticas socioambientais de **riscos climáticos, mitigação e adaptação** às mudanças climáticas no setor de energia, com o objetivo de oferecer ferramenta que possibilite identificar tendências e monitorar informações de interesse para o **planejamento energético nacional sob a ótica de mudanças climáticas**.

A EPE é responsável por realizar **diversos estudos dos Leilões para contratação de energia e potência**, que tem como principal objetivo fortalecer a resiliência do sistema elétrico em determinadas situações. Como exemplo, cabe citar o **Leilão dos Sistemas Isolados de 2025**, que buscou soluções alternativas para **garantir o suprimento** das localidades; e o **Leilão de Reserva de Capacidade de Potência de 2021**, que introduziu novos critérios no certame com o objetivo de aumentar a segurança do SIN.

# O QUE PODE SER FEITO?



## Promover tecnologia e inovação

- ◆ Fomentar pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias e materiais.
- ◆ Investir em monitoramento e previsão de eventos climáticos extremos.
- ◆ Investir em soluções para reduzir o uso da água para resfriamento.
- ◆ Investir em tecnologias de adaptação para a produção de biomassa (métodos de cultivo, melhoramento genético, etc).
- ◆ Incentivar pesquisas de soluções híbridas e ou de geração local para os sistemas isolados.



## Avançar na regulamentação

- ◆ Desenvolver novos desenhos de mercado visando a resiliência sistêmica.
- ◆ Criar incentivos regulatórios para adoção de ações de adaptação para os projetos/empreendimentos.



## Aprimorar metodologias

- ◆ Estabelecer diretrizes para alocação e dimensionamento de novos projetos.
- ◆ Considerar os impactos das mudanças climáticas nas projeções dos recursos energéticos nos estudos de planejamento.
- ◆ Elaborar orientações para a análise da resiliência climática de ativos.



## Fortalecer infraestruturas

- ◆ Reforçar as infraestruturas e adotar equipamentos mais resistentes a eventos extremos e a condições climáticas futuras.
- ◆ Monitorar e sistematizar dados relativos a ameaças, vulnerabilidades e riscos.
- ◆ Promover a elaboração de planos de adaptação e emergência para eventos extremos.
- ◆ Investir em redundâncias nos Sistemas Isolados.



## Ampliar comunicação

- ◆ Criar comitês para monitoramento de riscos climáticos e resposta a eventos extremos.
- ◆ Articular com atores envolvidos nas áreas de energia, recursos hídricos, meio ambiente e outras.
- ◆ Promover a educação ambiental e capacitação técnica para produtores de biomassa.

### Coordenação Geral

Thiago Guilherme Ferreira Prado  
Thiago Ivanoski Teixeira

### Coordenação Executiva

Elsangela Medeiros de Almeida

### Equipe Técnica

Ana Dantas Mendez de Mattos  
Alfredo Lima Silva  
Clarice Buarque de Macedo Lira  
Clarice Augusta Carvalho Cardoso  
Gustavo Fernando Schmidt  
João Maurício Lapa (estagiário)  
Luciana Athanasio de Azevedo

Maria Clara Tenório (estagiária)  
Paula Cunha Coutinho (coord.)

### Participação

Aline Couto Amorim  
Caio Monteiro Leocádio  
Clayton Borges da Silva  
Daniel Dias Loureiro  
Davi José Marques Vieira  
Filipe Soares da Cruz  
Gabriela Nascimento da Silva  
Guilherme C. Naresse  
Guilherme de Paula Salgado  
Hermani M. Vieira  
Hermes Trigo da Silva  
Laura C. Daltro Cardoso  
Marcos Ribeiro Conde

Mariana Lucas Barroso  
Mauro Rezende Pinto  
Michele Almeida de Souza  
Nathália Tavares  
Patrícia Asfor Parente  
Rachel Martins Henriques  
Rafael Pinho Furtado  
Renata A. Moreira da Silva  
Roney Nakano Vitorino  
Thiago Lima S. Mourão  
Tiago Veiga Madureira

### Assessoria de Comunicação Social

Maura Cruz Xerfan (coordenação)  
Aretha de Souza Vidal Campos  
(atendimento)  
Adriano Veloso (projeto gráfico)

A EPE se exime de quaisquer responsabilidades sobre decisões ou deliberações tomadas com base no uso das informações contidas neste informe, assim como pelo uso indevido dessas informações.