

GERAÇÃO SOLAR E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

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

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

1 Entendendo o contexto

Em 2024, a energia solar foi a **3ª maior** fonte geradora de eletricidade na matriz brasileira.

9,3% ou 70 mil GWh

e a **2ª maior** em capacidade instalada.

20% ou 48 GW

Balanco Energético Nacional - BEN 2025 | Ano base 2024 (EPE, 2025)

2 Identificando os Riscos Climáticos



A **energia solar fotovoltaica** é uma fonte que utiliza a luz do sol para gerar eletricidade. Devido aos **altos índices de irradiação solar** em quase todo o território nacional, o país possui um **potencial abundante** para essa fonte. Além disso, a energia solar fotovoltaica:

- ◆ É uma **fonte de geração renovável e não emissora** de gases poluentes ou de efeito estufa em sua operação, sendo importante para a **transição energética** e para a **diversificação da matriz elétrica brasileira**;
- ◆ Pode ser implantada tanto de forma **centralizada**, em grandes projetos, quanto de forma **distribuída**, por meio de mini e microgeração (MMGD), como as instaladas em residências;
- ◆ Em conjunto com baterias, pode promover **segurança energética para Sistemas Isolados**, sendo uma alternativa à geração a Diesel.

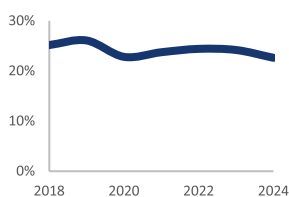
3 Construindo caminhos

Apesar de ser a 2ª fonte em capacidade instalada no Brasil em 2024, a energia solar ocupou o 3º lugar em termos de geração. A razão entre geração efetiva da fonte e a capacidade instalada (Fator de Capacidade) é baixa e se deve à sua **grande variabilidade intradiária** e à **geração nula no período noturno** em razão da ausência de irradiação solar. **Ao longo dos meses ou anos a geração média tende a ser estável.**



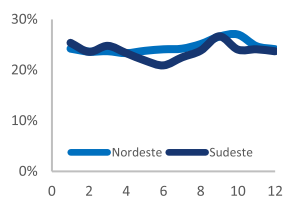
Anual

O **Fator de Capacidade Médio** de todas as usinas do SIN, de 2018 a 2024, é de **24%**, com baixa variabilidade interanual.



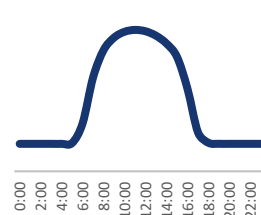
Mensal

A sazonalidade pode depender da região, conforme observado no **Fator de Capacidade Médio Mensal** das usinas do Nordeste e Sudeste.



Horário

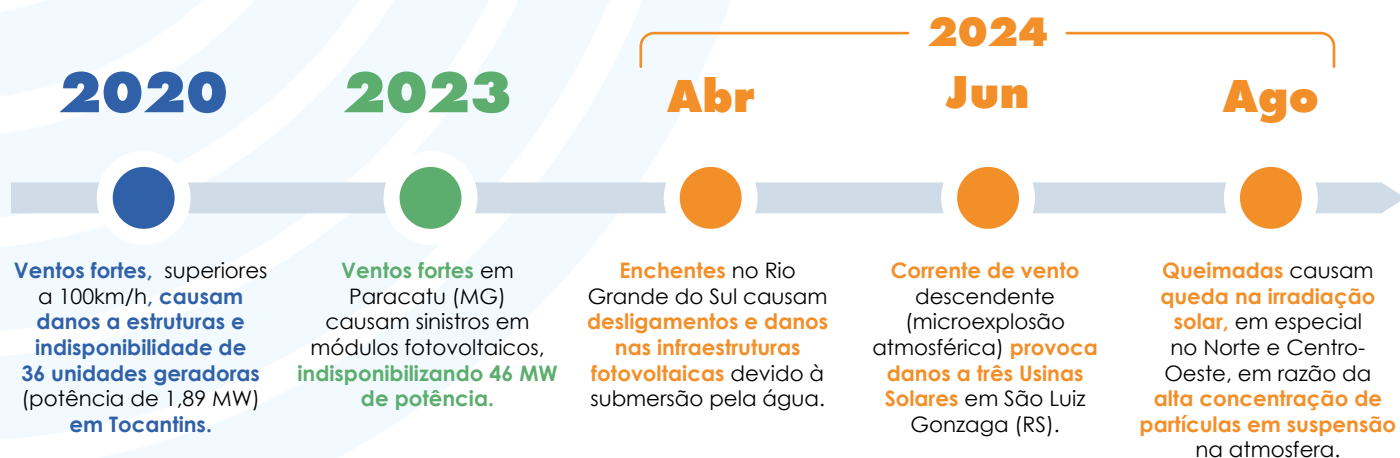
O perfil de geração de energia horário médio é similar em todo o país.



Fonte: Dados Abertos, ONS - Geração Solar Centralizada

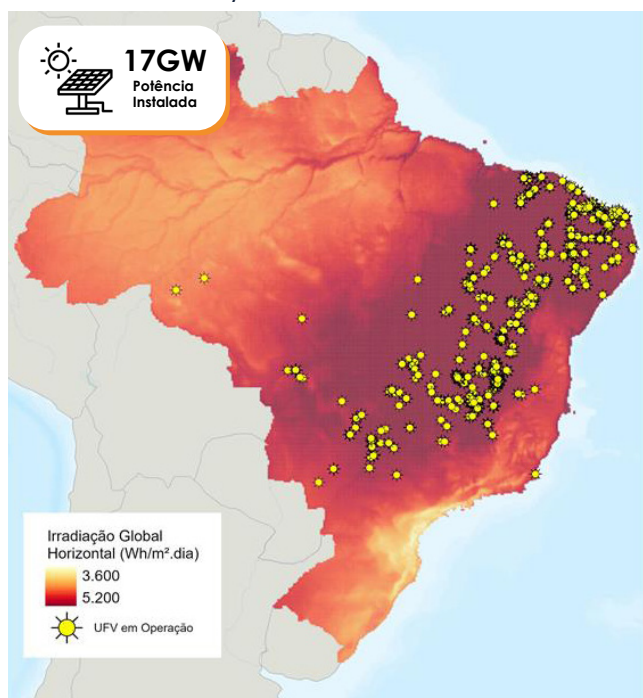
O QUE VEM ACONTECENDO?

Eventos climáticos podem impactar a geração e a estrutura dos equipamentos, e com isso demandar melhorias, adaptações ou alterações para adequá-los a situações mais severas. Alguns exemplos de eventos climáticos que impactaram a geração solar no país estão apresentados a seguir:



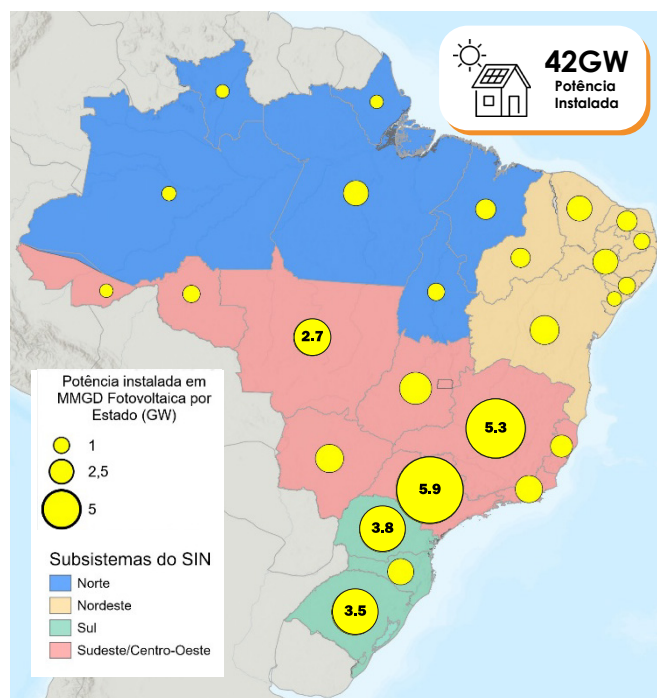
ONDE ESTÁ A GERAÇÃO SOLAR NO BRASIL?

A **geração centralizada** em operação está associada aos **locais com maiores índices de irradiação global horizontal no país**. Destacam-se os **subsistemas Nordeste e Sudeste/Centro-Oeste**.



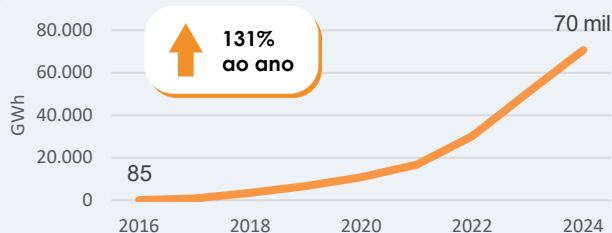
Geração Fotovoltaica Centralizada e Irradiação Global Horizontal. Fonte: Aneel (2025) e Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017)

A **Mini e Micro Geração Distribuída (MMGD)** localiza-se majoritariamente em áreas urbanas, em especial nos **subsistemas Sudeste/Centro-Oeste e Sul**.



Geração Fotovoltaica Distribuída (MMGD). Fonte: Aneel (ago/2025)

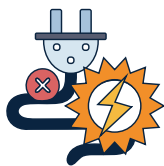
A geração de energia fotovoltaica, tanto centralizada quanto distribuída, **aumentou exponencialmente** ao longo dos últimos anos. Entre 2016 e 2024, a oferta da fonte solar fotovoltaica **cresceu em média 131%** ao ano e em 2024 a **MMGD** foi responsável por **5,6%** de toda a geração de eletricidade no Brasil.



Fonte: Anuário Estatístico de Energia 2025 (EPE, 2025)

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 SOLAR FOTOVOLTAICA?



O aumento da **nebulosidade** reduz a irradiação solar, diminuindo a geração de energia fotovoltaica, enquanto a redução da nebulosidade favorece a geração.

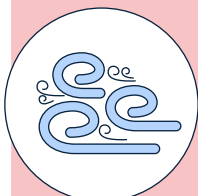


A combinação de altas temperaturas, clima seco e incidência de ventos (**clima de incêndio**), favorece a ocorrência de queimadas, que podem causar danos às usinas e aumentar a emissão de particulados na atmosfera, reduzindo a geração.



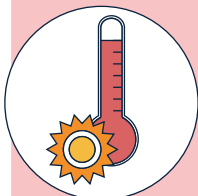
Aumento da magnitude e duração das chuvas extremas

- ◆ Deslizamentos de encostas, enxurradas, inundações e chuvas de granizo podem causar danos nas estruturas e nos módulos fotovoltaicos;
- ◆ Descargas atmosféricas podem causar danos às estruturas e incêndios;



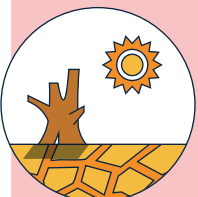
Aumento de ventos severos

- ◆ Podem causar danos físicos nas estruturas de geração, tanto nas usinas de maior porte quanto na geração distribuída;



Aumento da temperatura

- ◆ Redução da eficiência e degradação dos módulos fotovoltaicos e equipamentos;

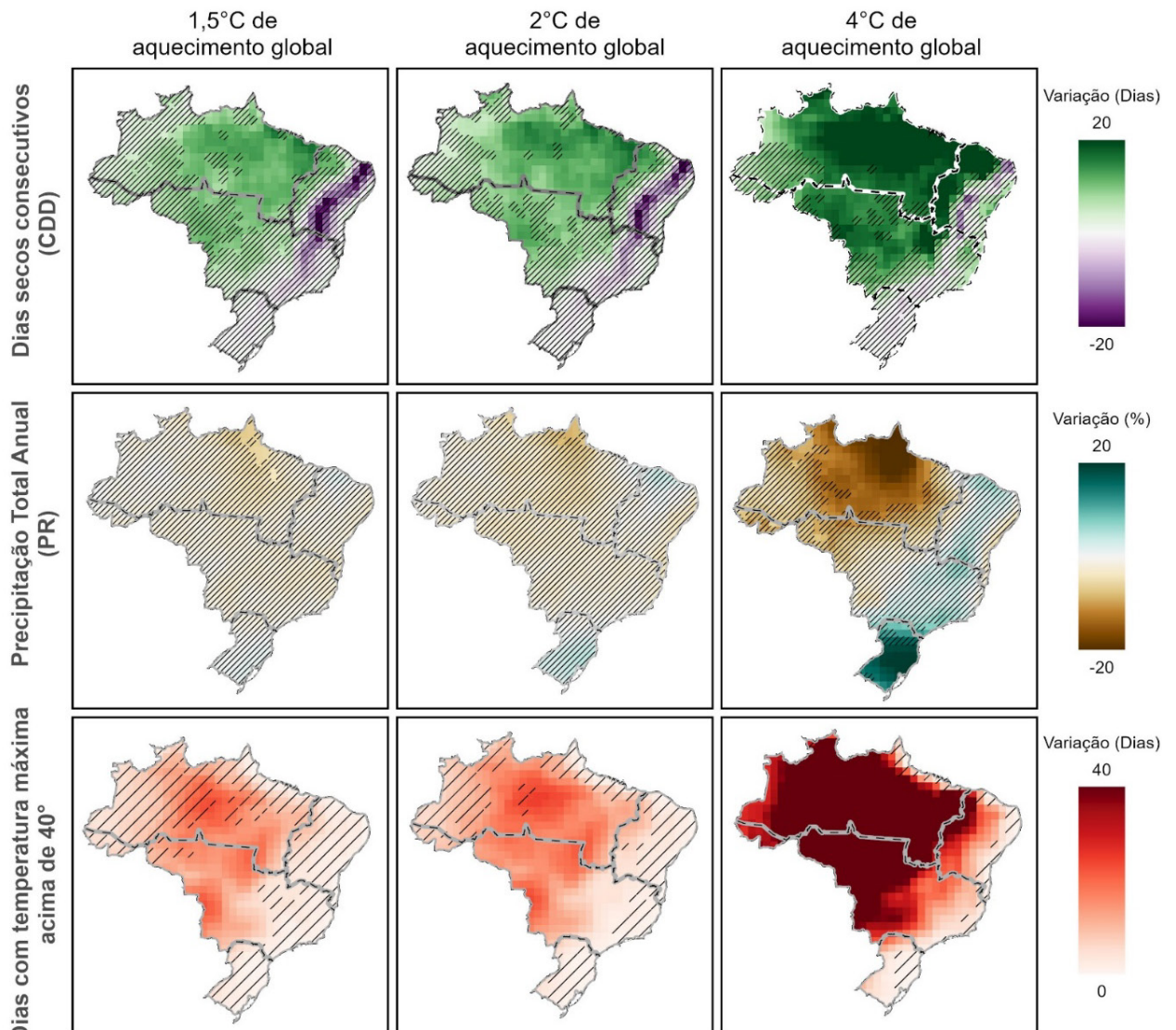


Aumento da frequência e duração das secas

- ◆ Pode reduzir a disponibilidade de água para a limpeza dos módulos.

QUAIS SÃO AS TENDÊNCIAS PARA O CLIMA NO BRASIL?

Os resultados **das projeções realizadas pelo IPCC** apontam para as seguintes tendências para **variáveis climáticas** relevantes para a geração solar:



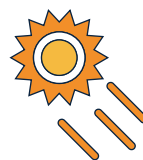
Variações projetadas para os níveis de aquecimento global de 1,5°C, 2°C e 4°C em relação a 1995-2014.

Incerteza

Atlas Interativo (IPCC, 2021)

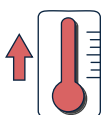


Aumento nas condições favoráveis ao **clima de incêndio** nas regiões **Norte, Nordeste** e parte do **Centro-Oeste** (alta confiança)



Aumento da **irradiação na superfície** na regiões **Norte, Nordeste** e parte do **Centro-Oeste** (média confiança)

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 dos ventos severos nas regiões Sudeste, Sul, Norte e Nordeste (alta confiança)



Aumento das chuvas extremas nas regiões Sudeste, Sul e Norte (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 CARACTERÍSTICAS PODEM DEIXAR A GERAÇÃO SOLAR MAIS VULNERÁVEL AOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS?

Dependência de um recurso natural variável

A geração de energia fotovoltaica depende diretamente da irradiação solar na superfície que, por sua vez, tem relação com a presença de nuvens e de aerossóis na atmosfera. Dessa forma, a quantidade de energia gerada varia, tanto positivamente quanto negativamente, de acordo com as condições climáticas locais.

Infraestrutura dimensionada para condições climáticas diferentes das que podem ocorrer em função das mudanças climáticas

A disposição dos sistemas em grandes áreas descampadas (para evitar sombreamento) pode deixá-los mais expostos à ocorrência de eventos extremos como descargas atmosféricas, ventos fortes, chuvas de granizo e inundações. Além disso, os equipamentos elétricos são dimensionados para determinadas faixas de temperatura. Ultrapassados esses limites, pode haver redução da eficiência de geração.

E a MMGD?



Em geral, as estruturas dos módulos fotovoltaicos usados em instalações de pequeno porte possuem menor robustez, o que pode torná-los **mais suscetíveis a falhas** em casos de eventos extremos, como ventos fortes, granizo ou chuvas intensas.

E os Sistemas Isolados?



Em sistemas isolados, a geração fotovoltaica é uma alternativa a geradores termelétricos. **Eventuais danos aos módulos fotovoltaicos**, especialmente durante eventos climáticos severos, podem **comprometer o abastecimento local de energia elétrica ou a manutenção dos equipamentos**.

PRINCIPAIS RISCOS CLIMÁTICOS ASSOCIADOS À GERAÇÃO SOLAR:

- ✦ **Redução da geração** em função do aumento da temperatura, nebulosidade e de particulados na atmosfera;
- ✦ **Danos às infraestruturas.**

PRINCIPAIS OPORTUNIDADES ASSOCIADAS À GERAÇÃO SOLAR:

- ✦ Ampliação da geração solar em função do aumento da irradiação na superfície.

CARACTERÍSTICAS E TENDÊNCIAS DOS SUBSISTEMAS

Subsistema Norte



Subsistema com poucas centrais geradoras em operação, porém relevantes para o **atendimento aos Sistemas Isolados**. Apesar de próxima à linha do Equador, a região tem menores índices de radiação solar comparada a outras regiões do país, principalmente devido à alta nebulosidade.

A tendência de **aumento da irradiação solar**, juntamente com as tendências de **redução de precipitação média** e **aumento do número de dias secos** (que podem resultar em redução da nebulosidade) pode favorecer a geração solar. Por outro lado, as tendências de **aumento do clima de incêndio** e de **temperatura** podem reduzir a geração.

O subsistema Nordeste apresenta os **maiores índices de irradiação solar** do país e, conseqüentemente, tem a maior quantidade de centrais fotovoltaicas em operação. Essa região semiárida possui baixa nebulosidade e alta incidência de irradiação solar o ano todo.

Apesar do potencial aumento de geração proporcionado pela tendência de aumento da irradiação na superfície, as projeções apontam para o aumento da temperatura, o que pode reduzir a eficiência dos módulos, e das condições favoráveis ao clima de incêndio, o que pode representar uma adversidade.

Subsistema Nordeste



Subsistema com **grande quantidade de centrais geradoras** em operação e **altamente relevante em MMGD**. Minas Gerais apresenta a **maior potência instalada** do país, tanto em **geração centralizada** quanto em **MMGD**, enquanto **São Paulo** é o **líder nacional em instalações e potência de MMGD**.

Essa região recebe maior incidência de radiação solar no outono e inverno, quando a precipitação é baixa e o número de dias com céu claro é maior. Com a tendência de **aumento de duração das secas e de irradiação** na superfície, a geração fotovoltaica pode ser favorecida. Por outro lado, **ventos e chuvas extremas** podem afetar as estruturas, principalmente de **MMGD**, e o **aumento da temperatura** pode reduzir a eficiência.

Subsistema SE/CO



Apesar de **não ter centrais fotovoltaicas acima de 5 MW** em operação, o subsistema Sul tem **a segunda maior capacidade instalada de MMGD** do país.

A região apresenta os **menores valores de irradiação** global do Brasil devido às características de clima temperado e à influência de sistemas frontais, que **favorecem a nebulosidade**. Essas características podem ser intensificadas pela tendência de **aumento na precipitação anual**. A tendência de aumento na **frequência de ventos e chuvas extremos** representa desafios adicionais para a geração fotovoltaica.

Subsistema Sul



CONSTRUINDO CAMINHOS

QUAIS OS DESAFIOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS PARA A GERAÇÃO SOLAR?

Incertezas nas previsões de geração e cenários futuros

A **disponibilidade e a variabilidade** do recurso solar estão relacionadas às **condições de tempo e clima da região**, uma vez que sistemas meteorológicos provocam alterações na nebulosidade, nos regimes dos ventos, nas concentrações dos gases e aerossóis, entre outros fatores que impactam a incidência de radiação solar na superfície terrestre. Esses aspectos tornam **bastante complexa a previsão e projeção da geração solar no futuro**, uma vez que os modelos climáticos não capturam adequadamente fenômenos atmosféricos locais.

Equilíbrio entre Riscos x Investimentos

No contexto das mudanças climáticas será necessário investir em **adaptação das estruturas e incorporar novas tecnologias** na geração solar. Além disso, a maior exposição a eventos extremos pode exigir **manutenções mais frequentes**, aumentando os custos operacionais. Assim, o grande desafio será **equilibrar os riscos climáticos com os investimentos necessários**, buscando soluções que garantam a continuidade da geração solar sem comprometer a modicidade tarifária.

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. No PDE 2034, a EPE sintetiza as oportunidades tecnológicas frente a diferentes caminhos possíveis para processos de descarbonização, incluindo as potencialidades da energia solar, e aponta que as mudanças climáticas podem impactar a disponibilidade de recurso para a geração solar.



O **Plano Nacional de Energia – PNE** busca orientar a **estratégia de longo prazo do setor energético** no Brasil. O PNE 2050 trouxe como desafios as **incertezas** sobre o efeito das **mudanças climáticas** na oferta de energia e a garantia da segurança do abastecimento em eventos extremos. No PNE 2055, em elaboração, as **questões climáticas** têm sido fundamentais na discussão de **cenários futuros**.



Está em desenvolvimento, em parceria com a GIZ e com apoio do MME, INPE e ANA, o estudo **“Impactos das Mudanças Climáticas no Planejamento da Geração de Energia Elétrica”**, que visa avaliar a **resiliência da matriz elétrica** considerando o efeito das **mudanças climáticas** na disponibilidade de **recursos energéticos renováveis**, incluindo a geração solar, assim como na demanda de energia elétrica.



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** (em revisão após Consulta Pública), que incorpora diversas iniciativas relacionadas à adaptação.

O QUE PODE SER FEITO?



Avançar na regulamentação

- ◆ Promover regulamentação que incentive medidas de adaptação.
- ◆ Aprimorar regulação considerando atributos e requisitos do sistema.
- ◆ Implementação de sistemas de certificação com especificações técnicas e padrões de qualidade para micro e minigeração distribuída.



Aprimorar metodologias

- ◆ Aprimorar modelos climáticos para melhor representação do contexto brasileiro.
- ◆ Considerar os impactos das mudanças climáticas nas projeções do recurso solar nos estudos de planejamento.
- ◆ Aprimorar a representação da geração solar nos modelos de planejamento e operação do sistema.
- ◆ Estabelecer diretrizes visando à adaptação e dimensionamento dos projetos.



Fortalecer infraestruturas

- ◆ Reforçar as estruturas e adotar equipamentos e materiais mais resistentes às condições climáticas futuras.
- ◆ Avaliar continuamente as estruturas e equipamentos e adotar medidas preventivas.
- ◆ Promover a elaboração de planos de adaptação e emergência para eventos extremos.



Promover tecnologia e inovação

- ◆ Fomentar pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias e materiais.
- ◆ Buscar arranjos flexíveis para aumentar a resiliência dos projetos às condições climáticas futuras (armazenamento, smartgrids, integração com outras renováveis).
- ◆ Investir em tecnologias para monitoramento e previsão de variáveis relevantes para a geração solar e de eventos climáticos extremos.



Ampliar comunicação

- ◆ Promover eventos para discussão dos impactos das mudanças climáticas na geração solar e disseminar melhores práticas.
- ◆ Promover a educação ambiental e integração junto às populações do entorno.

Coordenação Geral

Thiago Guilherme Ferreira Prado
Thiago Ivanoski Teixeira

Coordenação Executiva

Elisangela 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

André Viola Barreto
Bruno Faria Cunha
Davi Jose Alvarez Magalhaes
Gabriel Konzen
Gustavo Pires da Ponte
Juliana Velloso Durão
Leonardo de Sousa Lopes
Leyla Adriana Ferreira da Silva
Lucas Simões de Oliveira
Mariana R. de Carvalhaes Pinheiro
Rafaela Veiga Pillar
Roney Nakano Vitorino

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.