



RESUMO EXECUTIVO

Impactos das Mudanças Climáticas no Planejamento do Setor Elétrico Brasileiro

O Projeto Sistemas de Energia do Futuro é fruto da Cooperação Brasil-Alemanha para o Desenvolvimento Sustentável, executado pela Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH em parceria com o Ministério de Minas e Energia (MME) e com recursos do Ministério Federal da Cooperação Econômica e do Desenvolvimento (BMZ) da Alemanha. O projeto tem como objetivo principal apoiar a integração das energias renováveis e eficiência energética no sistema brasileiro de energia.

O PROJETO

O projeto **“Impactos das Mudanças Climáticas no Planejamento do Setor Elétrico Brasileiro”** consolida os resultados de um conjunto abrangente de estudos sobre os impactos das mudanças climáticas no planejamento da expansão e na operação do setor elétrico brasileiro. Além de analisar a robustez do sistema, também avaliou-se aspectos sociais, regulatórios e de governança.

OBJETIVOS



Traçar um diagnóstico dos possíveis impactos das mudanças climáticas sobre a vazão, irradiação, vento e temperatura no Brasil



Criar uma metodologia de estudo reprodutível



Apresentar indicações para fomentar um sistema resiliente, justo e adaptado a um futuro climático incerto.



PSR

tempoOk

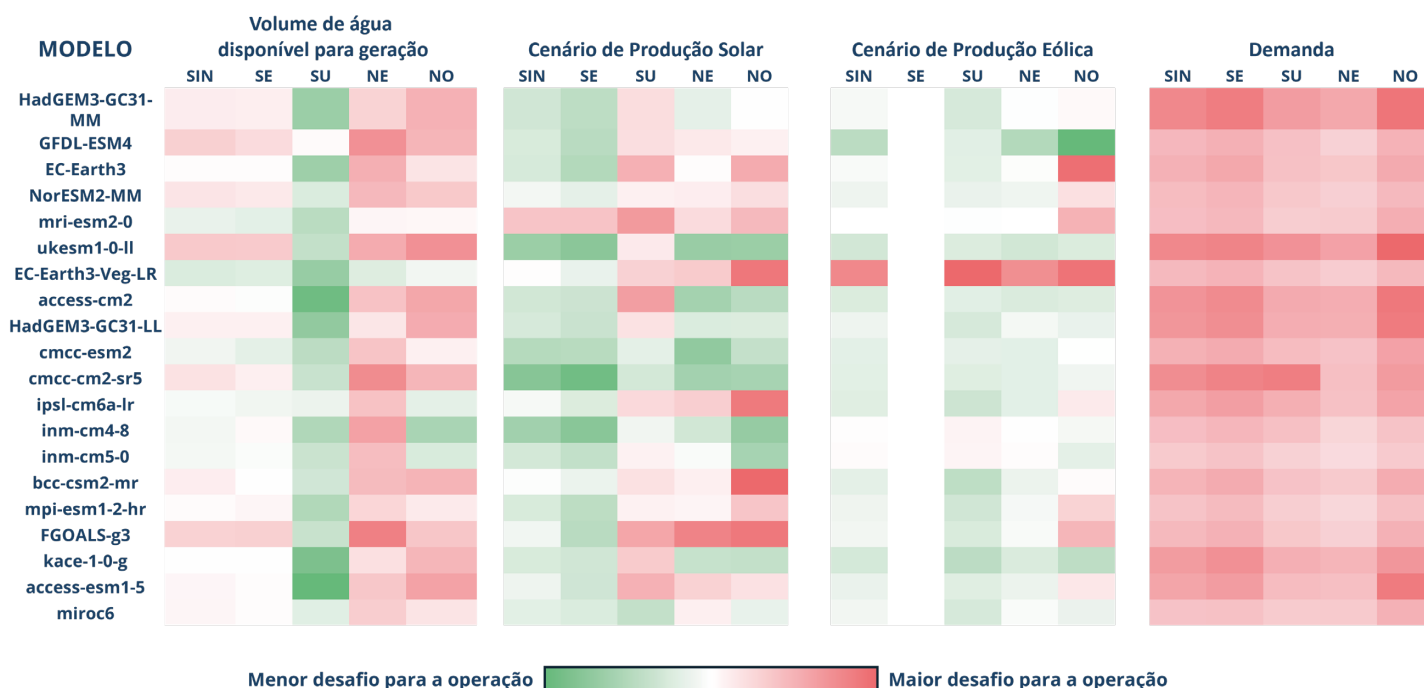


O planejamento do setor elétrico brasileiro deve considerar a possibilidade de concretização de cenários climáticos influenciados pela mudança do clima. Há indicação de viabilidade técnica e econômica da antecipação de medidas de adaptação.

IMPACTOS NOS RECURSOS ENERGÉTICOS E NA DEMANDA

As mudanças climáticas provocam incerteza com relação às características futuras dos sistemas elétricos, como disponibilidade de recursos energéticos e demanda. Tais incertezas são observadas pela dependência da trajetória climática e do modelo climático.

Análise das premissas de vazão, geração renovável e demanda de cada modelo



A base da análise considerou 24 Modelos de Circulação Global (GCMs) do projeto CMIP6*, com foco na realidade climática brasileira. Os resultados indicam uma transformação sensível dos recursos primários que sustentam o Sistema Interligado Nacional (SIN).

DESAFIOS PARA HIDRELÉTRICAS

O estudo mostra tendência de redução significativa das vazões médias nos subsistemas Sudeste, Norte e Nordeste, justamente onde se concentra a maior parte da capacidade de armazenamento do SIN. Em contrapartida, o Sul tende a ter aumento nas aflúências, mas em regiões com menor capacidade de regularização. Destaca-se que os reservatórios desempenham papel estratégico para a segurança energética. E, no contexto das mudanças climáticas, a operação dos reservatórios tende a ser impactada.

*CMIP6 se refere à sexta fase do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (Coupled Model Intercomparison Project), uma colaboração internacional que avalia e compara modelos climáticos. O projeto fornece projeções de mudanças climáticas passadas, presentes e futuras e é a base de relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC).



FONTES RENOVÁVEIS VARIÁVEIS

Eólica e solar não apresentam mudanças sistêmicas nos fatores de capacidade médios, mas trazem incerteza regional e entre modelos climáticos. O impacto da elevação da temperatura na eficiência dos módulos fotovoltaicos, por exemplo, tende a neutralizar eventuais aumentos na irradiação solar.



DEMANDA SOB O AUMENTO DO CALOR

A maior demanda por resfriamento levará a um aumento de 3% a 4% da demanda média nos meses mais quentes, chegando a picos de 6% em cenários de emissões elevadas (SSP585)**. O risco ao sistema é que esses picos coincidam com períodos de menor vazão, criando uma sobreposição crítica entre oferta limitada e consumo elevado.

***Cenário de altas emissões do IPCC, considerando um futuro com políticas climáticas reduzidas, crescimento econômico e populacional acelerados e alto nível de gases de efeito estufa.*

IMPACTOS NA MATRIZ ELÉTRICA

A análise comparou três estratégias de planejamento para um futuro em que a demanda elétrica dobra em relação a 2024:

01

CASO DE REFERÊNCIA: O portfólio de geração é baseado em uma política operativa que não considera antecipadamente os possíveis impactos de mudanças climáticas.

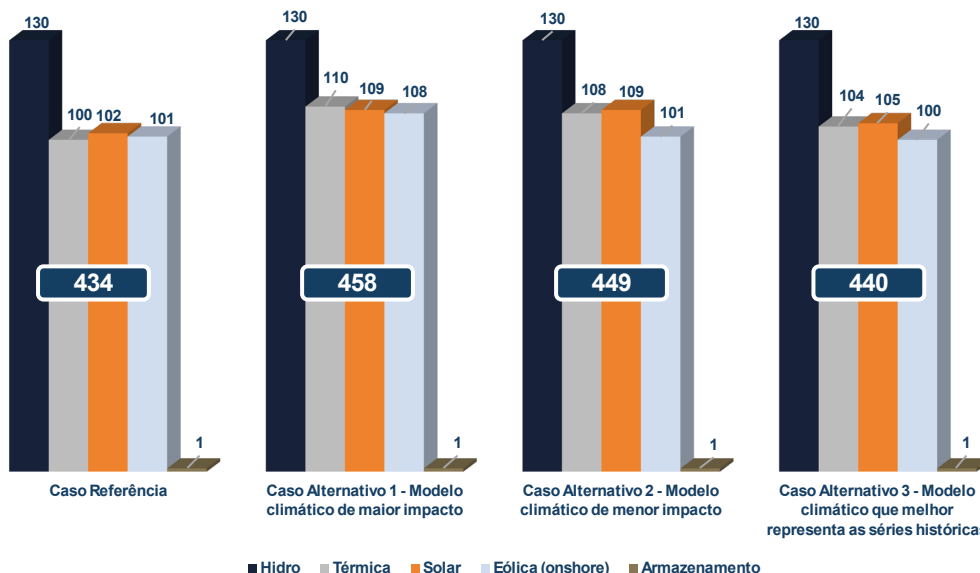
02

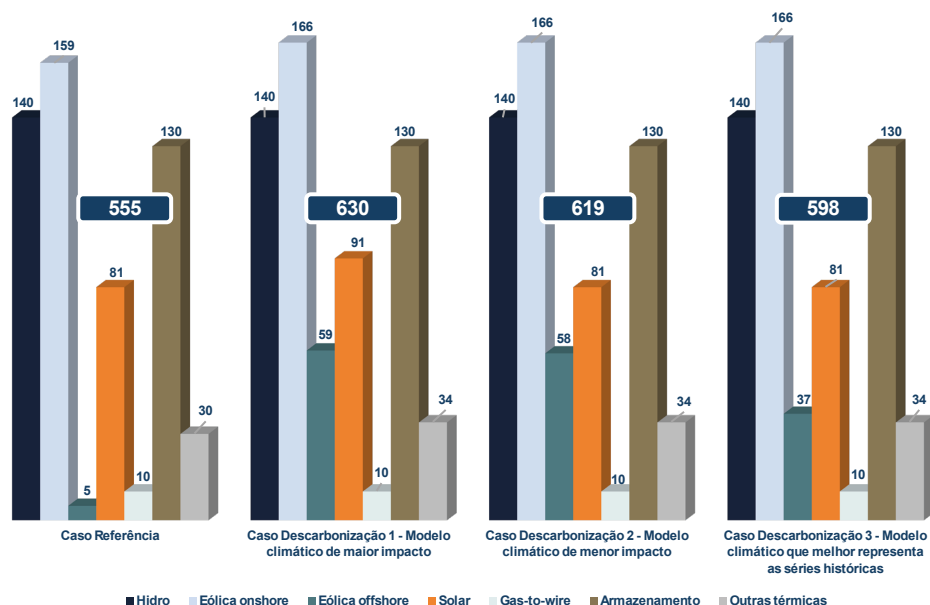
CASOS ALTERNATIVOS: Corresponde a uma estratégia de adaptação planejada. Os portfólios de geração são construídos a partir de cenários impactados pelas mudanças climáticas, considerando alternativas de custos futuros de tecnologias que alteram a expansão do Sistema Interligado Nacional (SIN).

03

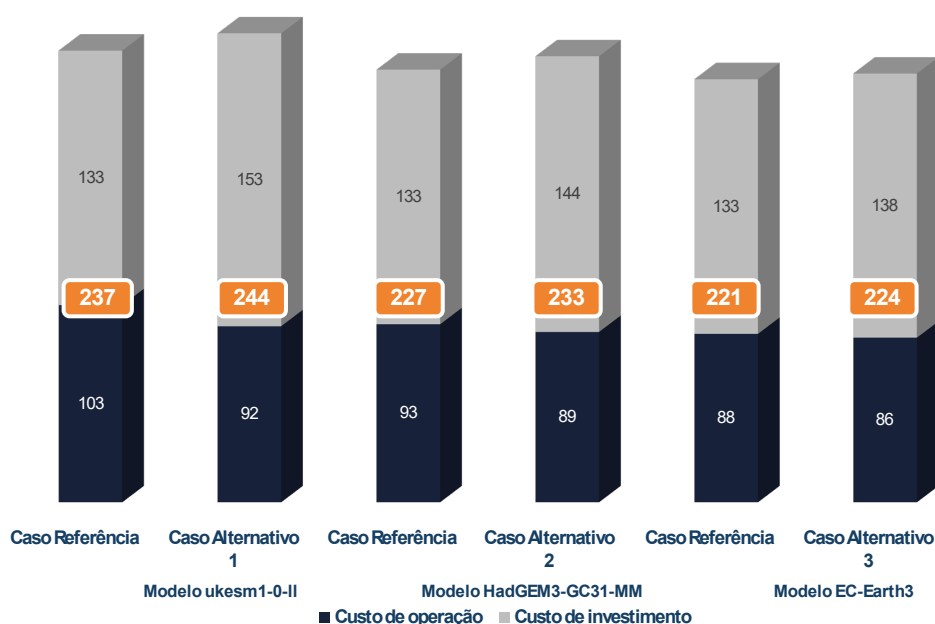
CASOS DE DESCARBONIZAÇÃO: Os portfólios de geração combinam adaptação e o objetivo de uma matriz com emissões líquidas nulas.

CAPACIDADE INSTALADA DO SIN OBTIDA PARA OS CASOS ALTERNATIVOS (EM GW)

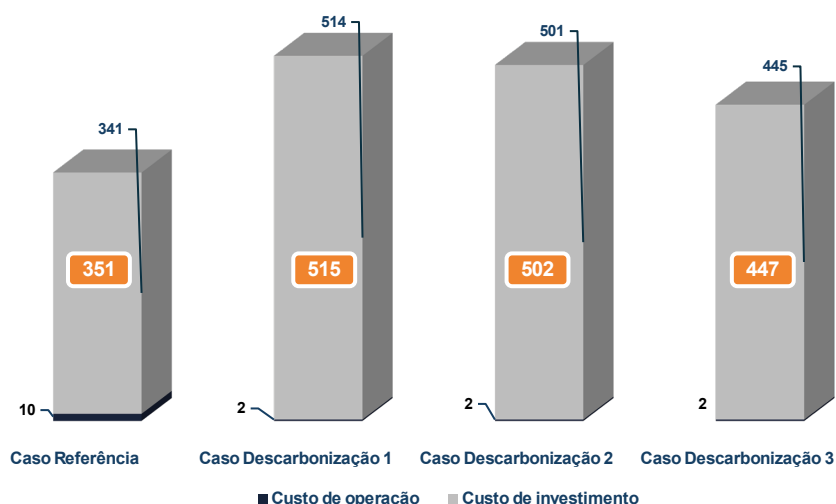




CUSTOS DE INVESTIMENTOS E DE OPERAÇÃO PARA OS CASOS DE REFERÊNCIA E ALTERNATIVOS (EM R\$ BI/ANO)



CUSTOS DE INVESTIMENTOS E DE OPERAÇÃO PARA OS CASOS DE REFERÊNCIA E DE DESCARBONIZAÇÃO (EM R\$ BI/ANO)



*O estudo definiu três tipos de portfólios de geração de energia elétrica: o de referência (utilizando os resultados do caso de referência do ano de 2034 do PDE 2034); um de portfólios de casos alternativos, que incorporam cenários obtidos com modelos de mudança climática para a janela 2040-2070; e outro de casos de descarbonização, que busca reduzir emissões descomissionando usinas térmicas na medida em que seus contratos são expirados. Os portfólios de geração de casos de descarbonização são gerados para os cenários base e para os cenários dos modelos de mudanças climáticas avaliados nos portfólios alternativos. O estudo considerou os cenários de mudança climática SSP245 e SSP585 do CMIP6.

INCERTEZA ADICIONAL

A indefinição em relação às condições climáticas futuras e seus efeitos resulta em um grau adicional de **incerteza para o planejamento do setor elétrico brasileiro**. Dessa forma, estratégias de adaptação podem ser utilizadas para mitigação de possíveis incrementos de custos operacionais e sociais no futuro.

CAMINHO DA ADAPTAÇÃO

Os cenários adotados no caso alternativo indicam a expansão de até 31 GW de capacidade instalada adicionais, combinando as fontes eólica e solar e geração despachável, para o atendimento dos critérios de confiabilidade do sistema (Probabilidade de perda de carga - LOLP > 5%). Nos cenários com mudanças climáticas revela-se uma mudança de paradigma: o período chuvoso, antes considerado seguro, passa a ser o mais crítico pela combinação de aumento da demanda e redução de afluência em relação ao caso de referência.

O DESAFIO DA DESCARBONIZAÇÃO

A transição para uma matriz neutra em emissões é tecnicamente viável, porém a custos mais elevados. O trade-off entre sustentabilidade e custo torna a coordenação regulatória ainda mais crucial.

CONCLUSÕES

01

A avaliação da operação do caso de referência indica, no longo prazo, que planejar a expansão e a operação do sistema sem considerar os cenários de mudança climática pode resultar em aumento de custos operativos e violações de critérios de confiabilidade.

02

Antecipar os cenários de mudanças climáticas no cálculo da política operativa indica uma redução de até 13% dos custos de operação nessas condições, o que representa um efeito médio de redução de 7% nas tarifas. Nota-se, no entanto, que nestes cenários o critério de confiabilidade ainda ultrapassa o limite de 5% nas simulações realizadas.

03

Incorporar os cenários de mudanças climáticas na etapa de cálculo da expansão da geração do sistema garante um aumento de capacidade que permite que os critérios de suprimento sejam respeitados. Considerar as mudanças climáticas no planejamento da expansão não é um custo, mas um investimento que diminui impactos operativos e sociais maiores no futuro

04

A construção de um portfólio de geração com emissões neutras e que atenda aos critérios de suprimento pode requerer um investimento adicional expressivo para a implantação de 121 GW, com destaque para tecnologias de armazenamento. Apesar de ser um sistema com custo de operação reduzido, é observado um aumento de 70% dos custos totais (R\$ 144 bilhões), sob as condições do cenário base.



DIMENSÃO SOCIAL DA CRISE CLIMÁTICA

Os impactos climáticos não são neutros: tendem a desproporcionalmente atingir os mais vulneráveis. Povos indígenas, quilombolas, populações urbanas de baixa renda, mulheres, crianças e idosos enfrentam riscos agravados.

RISCOS EM CASCATA

01

Segurança hidroenergética (maior impacto no orçamento de famílias de baixa renda)

02

Segurança alimentar (quebras de safra de alimentos básicos, gerando inflação de alimentos)

03

Saúde pública (expansão de doenças transmitidas por vetores, como a dengue)

RECOMENDAÇÕES

01

Incorporar nos modelos de expansão e operação regimes climáticos distintos e suas transições, utilizar ferramentas analíticas apropriadas e aplicar índices de assertividade para priorizar modelos climáticos com maior aderência a dados históricos, reduzindo incertezas nas projeções.

02

Revisitar continuamente critérios de planejamento energético avaliando também sensibilidades e riscos associados às mudanças climáticas

03

Fazer refinamento constante dos dados de bacias hidrográficas disponíveis no país, aprimorando os resultados dos modelos setoriais e avaliando a competição pelo seu uso nos períodos de escassez.

04

Incorporar no modelo de expansão a opção de investir em recursos do lado da demanda como alternativa à construção de nova geração, avaliando o custo total do sistema.

05

Aumentar a resiliência da infraestrutura ao aprimorar novos mecanismos de remuneração de serviços como capacidade, flexibilidade e serviços ancilares.