



1. Dados Gerais

Título do Projeto: “INfluência das mudanças CLimáticas nos evENTos Extremos de precipitação (INCLEMENTE)”

Duração: 24 meses

Valor total: R\$ 498.418,80

Líder Técnico: Rafael Maroneze

Objetivo geral do projeto

Identificar os padrões atmosféricos que conduzem a eventos extremos de precipitação e seca no Brasil em períodos históricos e cenários futuros e seus impactos no setor energético.

Objetivo específicos

(I) Identificar os padrões sinóticos da atmosfera, como monções, bloqueios atmosféricos, oscilações, complexos convectivos, vórtices ciclônicos e zonas de convergências, associados aos eventos extremos de precipitação no Brasil, utilizando dados de estações meteorológicas e reanálise ERA5 para o período de 1982 a 2021, com ênfase nos anos de 2001, 2011, 2014, 2015, 2021.

(II) Estimativa das ocorrências espaciais e temporais de eventos extremos de precipitação em três cenários futuros (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP5-8.5) usando dados dos modelos CMIP6 com projeção para 2031 a 2060.

Resultados esperados com a pesquisa:

(I) Compreender o papel e o impacto do bloqueio atmosférico na intensidade das secas no clima presente e futuro no Brasil;

(II) Desenvolver um Índice estatístico para identificação de Bloqueio Atmosférico do Hemisfério Sul associado a possíveis secas no Brasil;

(III) Desenvolver dois índices estatísticos específicos (um para precipitação intensa e outro para secas) com intuito de identificar eventos extremos em cenários futuros no Brasil.

(IV) Produzir mapas espaciais de ocorrência de eventos extremos de precipitação e secas no período de projeção de 2031-2060, com base nos cenários SSP1-2.6, SSP2-4.5 e SSP5-8.5 do conjunto de simulações dos modelos CMIP6.



Originalidade do projeto

A caracterização de eventos de chuvas e secas extremas por meio de diferentes padrões de circulação atmosférica, em particular o papel desempenhado pelos bloqueios atmosféricos nos eventos extremos no Brasil. Considerando a extensão geográfica do país, esse papel pode não ser único, por exemplo, o mesmo evento de bloqueio pode atuar de forma diferente em localidades distintas. É importante salientar que, ainda não há consenso sobre a identificação e classificação dos eventos de bloqueio atmosférico, principalmente no Hemisfério Sul. Portanto, o projeto visa proporcionar uma melhor compreensão dos padrões meteorológicos e climatológicos associados a eventos extremos de precipitação e melhorar sua identificação em cenários futuros.

Custo total estimado (em R\$)

RUBRICA	TOTAL DO PROJETO	
HH	R\$ 360,000.00	72.2%
VD	R\$ 30,000.00	6.0%
MP	R\$ 29,108.00	5.8%
MC	R\$ -	0.0%
ST	R\$ -	0.0%
OU	R\$ 34,000.00	6.8%
OU (ADM)	R\$ 45,310.80	9.1%
TOTAL	R\$ 498,418.80	100%

2. Metodologia

Descrição da metodologia proposta

Primeiro ano

O projeto será dividido em duas fases. No primeiro ano, eventos extremos passados serão identificados e classificados. Durante o segundo ano, ocorrências futuras de eventos extremos de precipitação serão identificadas em três cenários diferentes de SSP usando simulações de GCMs CMIP6.

- Avaliação de índices estatísticos relacionados à precipitação e secas utilizando estações meteorológicas a fim de verificar o comportamento pluviométrico da área de estudo no período de 1982 a 2021. Onze (11) índices formulados e organizados pela ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices, Peterson et al., 2001) serão calculados utilizando dados pluviométricos de estações meteorológicas da Agência Nacional das Águas (ANA) e do

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A Tabela 1 mostra de forma resumida a sigla de cada dos onze índices.

Tabela 1. Índices de extremos climáticos derivados da precipitação diária fornecidos pela ETCCDI.

Índice	Definição do Índice	Unidade
RX1DAY	Precipitação máxima em um dia	mm
RX5DAYS	Maior acumulação de precipitação em cinco dias consecutivos no ano	mm
R95P	Precipitação total anual quando PRCP > percentil 95	mm
R99P	Precipitação total anual quando PRCP > percentil 99	mm
PRCPTOT	Precipitação total anual nos dias com PRCP ≥ 1mm	mm
SDII	Precipitação total anual dividida pelo número de dias com PRCP ≥ 1mm	mm/dia
R1mm	Contagem anual de dias quando PRCP ≥ 1mm	dias
R10mm	Contagem anual de dias quando PRCP ≥ 10mm	dias
R20mm	Contagem anual de dias quando PRCP ≥ 20mm	dias
CDD	Comprimento máximo da estiagem, ou número máximo de dias consecutivo com PRCP < 1mm	dias
CWD	Comprimento máximo de período úmido, ou número máximo de dias consecutivos com PRCP > 1mm	dias

Os índices ETCCDI são conhecidos por sua robustez na detecção de eventos extremos climáticos, visto que estima o padrão espacial das mudanças na precipitação, capturando não apenas a intensidade e a duração das chuvas, mas também a frequência de eventos de precipitação mais intensas. Deste modo torna-se uma ferramenta de grande importância para investigar as regiões de alto risco à extremos climáticos de precipitação (Tegegne et al., 2021).

Além disto, será utilizado o Índice de Seca Integrado (IDI, em inglês) que consiste na combinação do SPI (Standardized Precipitation Index) com o VHI (Vegetation Health Index). O SPI é recomendado para monitoramento de seca devido à sua simplicidade e característica multiescalar na quantificação de chuvas e seca anormais. No entanto, os dados climáticos coletados por estações meteorológicas geralmente possuem baixa resolução espacial, o que pode limitar sua aplicação em avaliações de secas de alta resolução. Por outro lado, o VHI é capaz de capturar detalhes espaciais melhorando o monitoramento e detecção de secas (Cunha et al., 2019).

- Avaliação dos índices estatísticos relacionados à precipitação e secas extremas usando dados de reanálise ERA5, adquiridos através do Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo (ECMWF) (C3S, 2021). Uma vez que a resolução espacial dos dados das estações meteorológicas não é homogênea no Brasil, com grande falta de dados nas regiões Norte e Centro-Oeste (Carvalho, 2020). Os dados de reanálise ERA5 serão usados para: 1) avaliar os dados ERA5 com os dados das estações meteorológicas, 2) avaliar os índices estatísticos com os dados ERA5, a aplicação dos índices estatísticos será repetida com os dados de reanálise ERA5.

- Avaliação da performance dos índices calculados, baseando-se na capacidade de previsão dos eventos extremos registrados no passado (Tabela 2). A partir daqueles que apresentarem melhor desempenho temporal e espacial, serão desenvolvidos dois índices: um para eventos extremos de precipitação e outro para secas. Esses dois novos índices serão utilizados para classificar os eventos extremos a serem estudados no projeto.

Tabela 2 - Eventos de Secas e chuvas extremas nos últimos anos no Brasil

Ano	Evento	Causa	Consequências
2001	Seca	Crise energética	Apagões; racionamento; impactos econômicos
2010/2011	Chuva	Enchente e deslizamentos no estado do Rio de Janeiro	Perdas de vidas; danos a sociedade; impactos econômicos
2014	Seca	Crise hídrica na Região Sudeste	Setor energético e de abastecimento de água comprometido; impactos econômicos
2015	Chuva	Enchente e temporais na Região Sul	Perdas no setor agrícolas; danos a sociedade e setor elétrico; impactos econômicos
2021	Seca	Estiagem na Região Centro-Oeste, Sudeste e Sul	Perdas no setor agrícola; setor energético comprometido e impactos econômicos
2021/2022	Chuva	Enchentes no Sul da Bahia	Perdas de vidas; danos a sociedade; impactos econômicos

- Na medida que os eventos serão classificados, cada evento será associado a um padrão específico de circulação atmosférica utilizando os dados do ERA5. Uma vez que o Bloqueio Atmosférico pode desempenhar um papel fundamental nos eventos extremos, diferentes índices utilizados na literatura para identificação de Bloqueios atmosféricos serão considerados (Tibaldi et al., 1994; Davini; D'andrea, 2016) e um será escolhido ou desenvolvido.

Segundo ano

- O conhecimento adquirido durante o primeiro ano será aplicado aos conjuntos de dados de simulações dos modelos climáticos globais do CMIP6 (Almazroui et al., 2021). Primeiramente será avaliada a capacidade de simulações históricas de reproduzir os eventos extremos identificados na etapa anterior com os dados do ERA5. Serão utilizados cada um dos modelos do conjunto, assim como a média multi-modelos. Os modelos cuja saída diferir significativamente dos dados do ERA5 serão descartados da análise.

- Posteriormente, com intuito de compreender a resposta do sistema terrestre ao aumento da forçante antropogênica, os eventos extremos serão avaliados utilizando três cenários de mudanças socioeconômicas globais (SSP1–2.6, SSP2–4.5 e SSP5–8.5), para o período de projeção de 2031 a 2060. Após a identificação dos eventos extremos, serão aplicados os índices estatísticos anteriores com intuito de classificar esses eventos nos três cenários futuros aplicados para o Brasil. E por fim, pretende-se identificar os padrões atmosféricos que estão associados aos eventos extremos e elaborar mapas espaciais de possíveis evoluções das ocorrências de secas e precipitações extremas nos cenários futuros.

Referências bibliográficas

Almazroui, M. et al. Assessment of CMIP6 Performance and Projected Temperature and Precipitation Changes Over South America. *Earth Syst Environ*, v.5, p.155–183, 2021.

Añel, J.A. et al. Impacto f Cold Waves and Heat Waves on Energy Production Sector. *Atmosphere*, v.8, 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Entenda como a matriz elétrica brasileira está mudando*. 2021, disponível em < <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/08/entenda-como-a-matriz-eletrica-brasileira-esta-mudando>>. Acesso 08/01/2022.

C3S - Copernicus Climate Change Service. *ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate*. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS), 2021. Disponível em < <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>>. Acesso em 10/01/2022.

Carvalho, L.M.V. Assessing precipitation trends in the Americas with historical data: A review. *WIREs Clim Change*, v. 11, 2020.

Cavalcante, M.R.G. et al. Flash food in the mountainous region of Rio de Janeiro state (Brazil) in 2011: part I—calibration watershed through hydrological SMAP mode. *Natural Hazards*, v. 102, p. 1117-1134, 2020.

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. 2011. *January 2011 Climatanalysis Bulletin*. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0111.shtml>. Acesso em 08/01/2022.

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. 2021. *December 2021 Climatanalysis Bulletin*. Disponível em: < <http://tempo1.cptec.inpe.br/boletimtecnico/ptl>>. Acesso em 10/01/2022.

Cunha, A.P. et al. Extreme drought events over Brazil from 2011 to 2019. *Atmosphere*, v.10, p. 642, 2019.

Da Silva, D.F. et al. Caracterização de eventos extremos e suas causas climáticas com base no Índice de Precipitação para o Leste do Nordeste. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, p. 449-464, 2020.

Davini, P.; D'Andrea, F. Northern Hemisphere Atmospheric Blocking Representation in Global Climate Models: Twenty Years of Improvements. *Journal of Climate*, v. 29, p. 8823-8840. 2016.

Getirana, A. et al. Brazil is in Water Crisis – it needs a drought plan. *Nature*, v. 600, 2021.

IFRC - International Federation of Red Cross. *Brazil: Floods Emergency Plan of Action (EPoA) DREF Operation n° MDRBR010*. 2021. Disponível em: < <https://reliefweb.int/report/brazil/brazil-floods-emergency-plan-action-epoa-dref-operation-n-mdrbr010>>. Acesso em 08/01/2022.

IMF – Internacional Monetary Fund. The Economics of Climate. *Finance and Development*, v. 56, 2019.

Instituto Acende Brasil. O Plano Nacional de Energia 2050, cenários e sinais de longo prazo. *White Paper 25*, São Paulo, 24 p, 2021.

IPCC - [Intergovernmental Panel on Climate Change](https://www.ipcc.ch/). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate. *Cambridge University Press*. 2021.

Jaffe, A.M. et al. Impact of Climate Risk on the Energy System. *Council on Foreign Relations*. 2019.

Lumbroso, D.M. et al. A review of the consideration of climate change in the planning of hydropower schemes in sub-Saharan Africa. *Climatic change*, v. 133, p. 621-633, 2015.

Peterson, T.C. et al. Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998–2001. *WMO, Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071*, Geneve, 2001.

Reboita, M.S. et al. Precipitation regimes in South America: a bibliography review. *Revista Brasileira De Meteorologia*, v. 25, p.185–204, 2010.

Rodrigues, R.R.; Woollings, T. Impacto f Atmospheric Blocking on South America in Austral Summer. *Journal of Climate*, v.30, p. 1821-1837, 2017.

Tegegne, G. et al. Projected changes in extreme precipitation índices from CORDEX simulation over Ethiopia, East Africa. *Atmospheric Research*, v. 247, 2021.

Tibaldi, S. et al. Northern and Southern Hemisphere seasonal variability of blocking frequency and predictability. *Monthly Weather Review*, v. 122, p.1971-2003, 1994.

UNISDR – United Nations Office for Disaster Risk Reduction. *The human cost of weather-related disasters 1995–2015*. 2015. Disponível em: <http://www.unisdr.org/2015/docs/climatechange/COP21_WeatherDisastersReport_2015_FINAL.pdf>. Acesso em 08/01/2022.

World Bank. *Climate Change*. Outubro 2021. Disponível em <<https://www.worldbank.org/en/topic/climatechange/overview#1>>. Acesso em 10/01/2022.

Yalew, S.G. et al. Impacts of climate change on energy systems in global and regional scenarios. *Nature Energy*, v. 5, n. 10, p. 794-802, 2020.

Zandonadi, L. et al. Changes in precipitation extremes in Brazil (Paraná River Basin). *Theor Appl Climatol*, v. 123, p. 741–756, 2016.

3. Produtos e Entregáveis previstos

Entregas de relatórios de entregáveis não recorrentes devem ser encaminhados em formato .docx, para permitir formatação pela equipe da ENGIE do relatório final da ANEEL. Figuras utilizadas e outras que sejam geradas e não incluídas nos relatórios serão encaminhadas em anexos .zip com arquivo de descrição da figura. Créditos das figuras serão sempre respeitadas e referenciados em qualquer relatório ou divulgação.



No.	PRODUTOS E ENTREGÁVEIS	MÊS	FORMATO	Período de validação pela ENGIE
-	Relatórios mensais: acompanhamento físico-financeiro. Envio até 5º dia útil do mês.	Todos os meses	Arquivo .docx ou .pdf	5 dias úteis
1	Mapas espaciais e base de dados gerados dos 12 índices estatísticos identificando eventos extremos no período histórico 1982-2021 avaliados com as redes de estações meteorológicas.	Mês 2	Arquivo .docx ou .pdf	10 dias úteis
2	Entrega da avaliação dos dados ERA5 de precipitação e temperatura sobre o Brasil no período histórico 1982-2021. Mapas espaciais e base de dados gerados dos 12 índices estatísticos identificando eventos extremos no período histórico 1982-2021 avaliados com os dados ERA5.	Mês 4	Arquivo .docx ou .pdf	10 dias úteis
3	Desenvolvimento de dois índices estatísticos capazes de identificar eventos extremos de precipitação positiva e negativa no território brasileiro.	Mês 5	Arquivo .docx ou .pdf	10 dias úteis
4	Classificação dos padrões de circulação atmosférica associados aos eventos extremos identificados na análise anterior. <i>(Incluir análise de SST do Oceano Atlântico como fonte de umidade relevante para volume de água precipitável)</i>	Mês 8	Arquivo .docx ou .pdf	15 dias úteis
5	Apresentação do índice desenvolvido pelo projeto com o objetivo de identificar a existência e duração dos bloqueios atmosféricos no hemisfério sul. <i>Apresentação dos resultados em Workshop para a ENGIE</i>	Mês 10	Arquivo .docx ou .pdf	10 dias úteis
6	Relatório do primeiro ano de atividade com a caracterização de eventos extremos de precipitação anteriores e sua associação a padrões específicos de circulação atmosférica.	Mês 12	Arquivo .docx ou .pdf	10 dias úteis
7	Avaliação dos GCMs CMIP6 ao longo do período histórico usando dados ERA5.	Mês 14	Arquivo .docx ou .pdf	5 dias úteis
8	Mapa temporal e espacial de ocorrências de eventos extremos nos três diferentes cenários SSPs usando os índices estatísticos desenvolvidos durante o projeto. <i>Compartilhar os dados utilizados de input e resultados dessa avaliação em formato a combinar</i>	Mês 16	Arquivo .docx ou .pdf	10 dias úteis
9	Mapa temporal e espacial de ocorrências de padrões atmosféricos associados a eventos extremos de precipitação nos três diferentes cenários SSPs. <i>Disponibilizar os dados das variáveis em formato a combinar.</i>	Mês 20	Arquivo .docx ou .pdf	5 dias úteis
10	Entrega de mapas espaciais finais de ocorrências de eventos extremos de precipitação nos três diferentes cenários SSPs com base em índices estatísticos e padrões atmosféricos. <i>Apresentação dos resultados em Workshop para a ENGIE</i>	Mês 22	Arquivo .docx ou .pdf	5 dias úteis
11	Relatório final do projeto: destacando o impacto das mudanças climáticas no período 2031-2060 nos regimes de precipitação do Brasil.	Mês 24	Arquivo .docx ou .pdf	15 dias úteis

As entregas deverão ser encaminhadas às Contratantes até o 5º dia útil subsequente ao mês de previsão de entrega indicado na tabela acima. Faturamentos serão autorizados após a validação da entrega pelo(a) Gerente do Projeto da ENGIE.



Compartilhar conjunto de dados que sejam de interesse da equipe da ENGIE e que sejam explicitamente referenciados e usados nas entregas para derivar outras análises de interesse internos.

Recomendações ENGIE:

O projeto tem potencial para a implementação de rotinas automáticas que podem ser aplicadas operacionalmente a rodadas de modelos climáticos (ex., CFSv2). Sugerimos explorar a implementação das rotinas para visibilidade do grupo de trabalho e/ou dar suporte para a implementação na estrutura interna da ENGIE.

1. Recursos do Projeto

Composição da equipe do projeto

	MEMBRO 1	MEMBRO 2	MEMBRO 3
Nome	Rafael Maroneze	Osmar Evandro Toledo Bonfim	(a contratar)
CPF	025.██████93	228.██████25	
Perfil	Líder do Projeto	Bolsista pós-doutorado	Bolsista doutorado
Formação	DO	DO	ME
Currículo Lattes	http://lattes.cnpq.br/5444644395117575	http://lattes.cnpq.br/0484953092563459	
R\$/h	200,00	50,00	40,00
Dedicação Mensal	15 horas	160 horas	100 horas
Custo mensal	R\$ 3.000,00	R\$ 8.000,00	R\$ 4.000,00
Meses no Projeto	24	24	24
Custo Total no Projeto	R\$ 72.000,00	R\$ 192.000,00	R\$ 96.000,00


Recursos adicionais

TIPO DE RECURSO	DESCRIÇÃO DO ITEM	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	CUSTO TOTAL (R\$)	MÊS DE PREVISÃO
MP	Desktop com processador i7 9ª geração ou superior, 16 Gb de memória ou mais, disco de 1Tb ou mais, SSD de 120 Gb ou mais, placa de vídeo, monitor, mouse e teclado.	2	14.554,00	29.108,00	1
VD	Despesas para participação de conferências/congressos internacionais (Passagens aéreas para os EUA: R\$ 8.000,00; 5 Diárias: R\$ 7.000,00)	2	15.000,00	30.000,00	12 e 20
OU	Despesas para publicação de artigos científicos open access	2	17.000,00	34.000,00	12 e 20
OU(ADM)	Taxas administrativas (FLE e Unipampa, total 10% do projeto)	1	45.310,80	45.310,80	Todos os meses



Contrato N.º PGP.GPI.22.CEE260
Anexo A – Plano de Trabalho

Cronograma financeiro (previsto; em R\$)

ANO 1													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOTAL
RUBRICA	abr-22	mai-22	jun-22	jul-22	ago-22	set-22	out-22	nov-22	dez-22	jan-23	fev-23	mar-23	
HH	45.000,00	-	-	15.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00	180.000,00
VD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15.000,00	15.000,00
MP	29.108,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29.108,00
MC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ST	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17.000,00	17.000,00
OU (ADM)	7.410,80	-	-	1.500,00	1.500,00	1.500,00	1.500,00	1.500,00	1.500,00	1.500,00	1.500,00	4.700,00	24.110,80
TOTAL	81.518,80	-	-	16.500,00	16.500,00	16.500,00	16.500,00	16.500,00	16.500,00	16.500,00	16.500,00	51.700,00	265.218,80

ANO 2													
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TOTAL
RUBRICA	abr-23	mai-23	jun-23	jul-23	ago-23	set-23	out-23	nov-23	dez-23	jan-24	fev-24	mar-24	
HH	15.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00	180.000,00
VD	-	-	-	-	-	-	-	15.000,00	-	-	-	-	15.000,00
MP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ST	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OU	-	-	-	-	-	-	-	17.000,00	-	-	-	-	17.000,00
OU (ADM)	1.500,00	1.500,00	1.500,00	1.500,00	1.500,00	1.500,00	1.500,00	4.700,00	1.500,00	1.500,00	1.500,00	1.500,00	21.200,00
TOTAL	16.500,00	16.500,00	16.500,00	16.500,00	16.500,00	16.500,00	16.500,00	51.700,00	16.500,00	16.500,00	16.500,00	16.500,00	233.200,00



^{DS}
RV

^{DS}
RM

^{DS}
ACE

^{DS}
RRJ