



Apresentação dos resultados da Análise Climática para Santos

considerando dados observados e de modelagem

Pedro Ivo Camarinha

Por ordem do



Ministério Federal
do Meio Ambiente, Proteção da Natureza
e Segurança Nuclear

Por meio da:

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

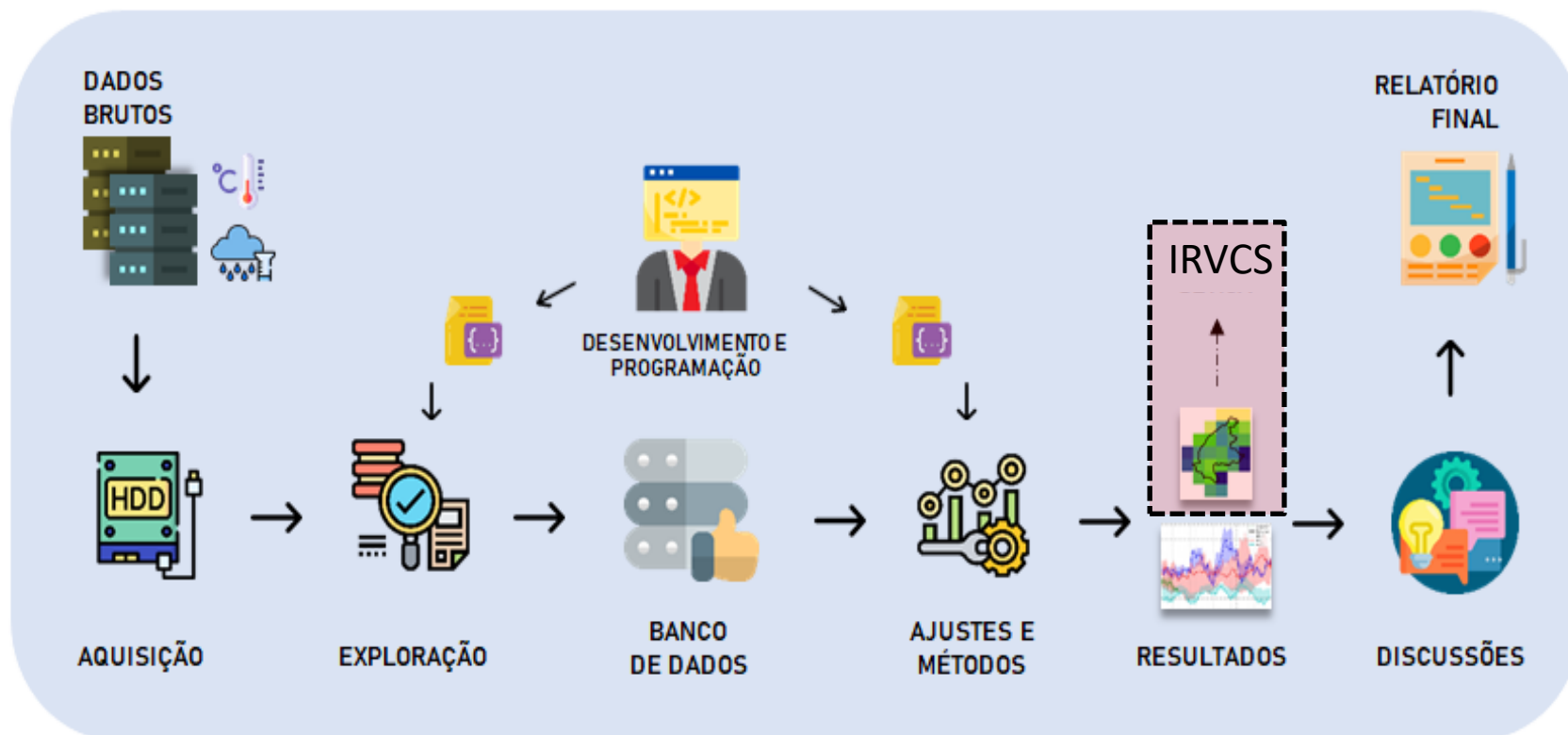


MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE



Dia de Adaptação e Resiliência Santista

ETAPAS EXECUTADAS E CONTEXTUALIZAÇÃO DENTRO DO PROJETO



Etapas para conclusão das análises climáticas, relatoria e entrega das informações espaciais para geração do IRVCS

Dia de Adaptação e Resiliência Santista

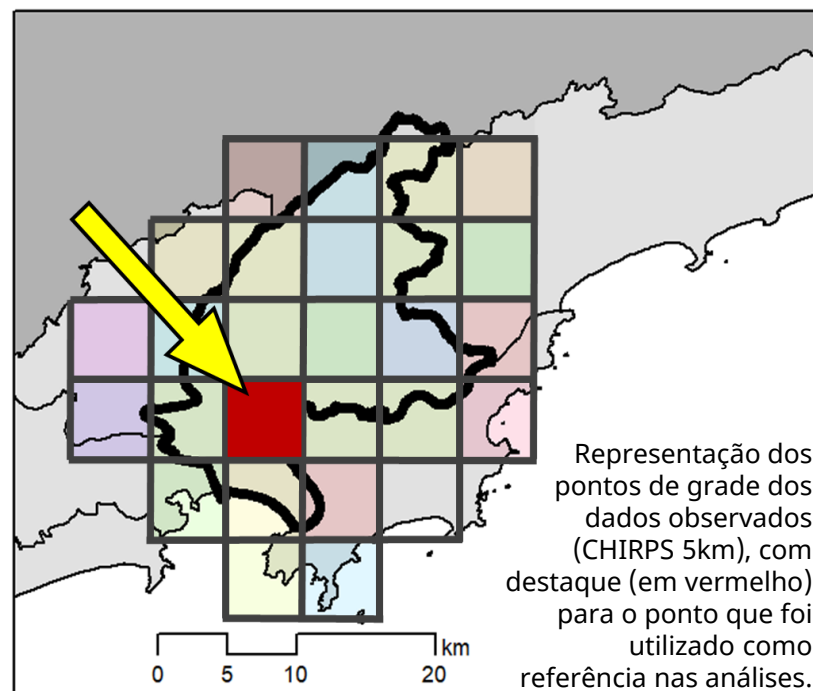
BASES DE DADOS UTILIZADA (OBSERVADOS E MODELAGEM)

Modelos climáticos utilizados

DOMÍNIO	INSTITUTO	MODELO	FORÇANTES (CMIP5)
SAM 20	INPE	ETA	BESM
			CanESM
			HadGEM2-ES
			MIROC5
SAM 22	GERICS	REMO	HadGEM2-ES
			NorESM1-M
			MPI-M-MPI-ESM-MR
	ICTP	ReGGCM 4.7	MPI-M-MPI-ESM-MR
		ReGCM4.3	HadGEM2-ES
	UCAN	WRF3.4	CCCma-CanESM2
SAM 44	SMHI	RCA4	MPI-M-MPI-ESM-MR
			CCCma-CanESM2
			CSIRO-Mk3-6-0
			EC-EARTH
			IPSL-CM5A-MR
			MIROC5
			HadGEM2-ES
			MPI-ESM-LR
			NorESM1-M
			GFDL-ESM2M

Listagem dos dados observados utilizados neste estudo

Precipitação			
Fonte	Resolução espacial	Resolução temporal	Período
CHIRPS	~5 km	Diário	1981-Presente
MERGE	~10 km	Diário	2000-Presente
ERA5	~31 km	Diário	1950-Presente
Estação Pluviométrica	n/a	Diário	1940-Presente
Temperatura			
Fonte	Resolução espacial	Resolução temporal	Período
CPC	~50 km	Diário	1979-Presente



Dia de Adaptação e Resiliência Santista

Resultado da Análise Climática

Projeções Futuras x Período Histórico (1976-2005) Eventos potencialmente deflagradores de **Deslizamentos de Terra**

A primeira etapa foi feita através da quantificação de eventos de chuva que historicamente oferecem riscos à cidade de Santos.

Para isso, foi necessário **customizar variáveis de clima**, considerando relações de causa e efeito entre eventos de chuva e ocorrência de deslizamentos de terra que aconteceram no município.



Deslizamento de terra no Morro São Bento em Santos, 05/03/2020. Foto: Felixx Drone

Dia de Adaptação e Resiliência Santista

Definição dos Limiares Críticos de Precipitação

01/12/2020

SEIMCTI - 5913920 - Nota Técnica

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS
Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais
Coordenação-Geral de Pesquisa e Desenvolvimento

NOTA TÉCNICA Nº 737/2020/SEI-CEMADEN

Nº do Processo:
Documento de Referência:
Interessado:
Nº de Referência:

01242.000163/2018-40
Subprojeto REDEGEO
CEMADEN
Convênio nº 01.16.0068.00 -
FINEP/REMADEN

Assunto: Meta 4 do Projeto Redegeo (Convênio nº 01.16.0068.00 - FINEP/REMADEN) e Plano Integrado de Pesquisa e Operação - PIPO - Boletim de Serviço Nº05/2018

OBJETIVO

Esta Nota técnica tem por objetivo a entrega dos resultados do estudo de limiares de chuvas deflagradores de movimentos de massa a partir de abordagem empírica para os municípios que compõem a Baixada Santista no litoral do Estado de São Paulo, em atendimento a Meta 4 do Projeto Redegeo (Convênio nº 01.16.0068.00 - FINEP/REMADEN) e ao Plano Integrado de Pesquisa e Operação - PIPO - Boletim de Serviço Nº05/2018.

O produto apresentado formado por equações e índices de chuvas críticas para cenários de deslizamentos ocasionais, deslizamentos múltiplos e deslizamentos extremos, são voltados para a aplicação direta no Sistema de Alerta Antecipado de Deslizamentos (SAAD) do Cemaden e Defesas Cívicas Municipais e do Estado de São Paulo. Constituem-se em limiares de chuvas críticas aplicados a deslizamentos rasos de solos que são base para o estabelecimento de níveis operacionais nos sistemas de alerta antecipado de deslizamentos (SAAD). O trabalho foi elaborado pelo Cemaden em coprodução com as Defesas Cívicas dos Municípios de Cubatão, Guarujá, Santos e São Vicente.

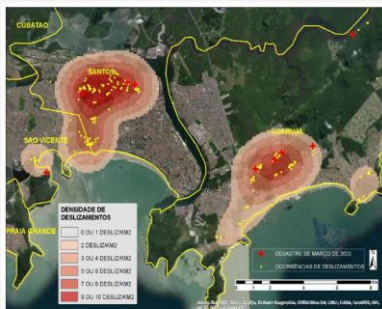
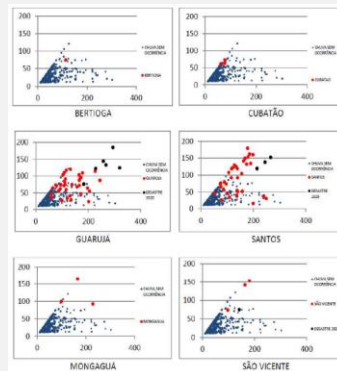


Figura 4. Densidade de ocorrências com danos por deslizamentos observados nos Municípios de Santos e Guarujá, Região Metropolitana da Baixada Santista, período 2014-2020 (mapa).



VOLUMES ACUMULADOS DE CHUVA (mm) PREVISTOS PARA ENTRADA EM CENÁRIOS DE DESLIZAMENTOS COM BASE NA SEVERIDADE

LIMIAIR 1 - DESLIZAMENTOS OCASIONAIS

$$y = 31.35 * \log_{10}(x) + 24.96$$

1h	3h	6h	12h	24h	48h	72h	96h
24.96	39.92	49.36	58.80	68.24	77.68	83.20	87.12

LIMIAIR 2 - DESLIZAMENTOS MÚLTIPLOS

$$y = 20.97 * \ln(x) + 37.313$$

1h	3h	6h	12h	24h	48h	72h	96h
37.31	60.35	74.89	89.42	103.96	118.49	126.99	133.03

LIMIAIR 3 - DESLIZAMENTOS EXTREMOS

$$y = 40.416 * \ln(x) + 53.67$$

1h	3h	6h	12h	24h	48h	72h	96h
53.67	98.07	126.09	154.10	182.11	210.13	226.52	238.14

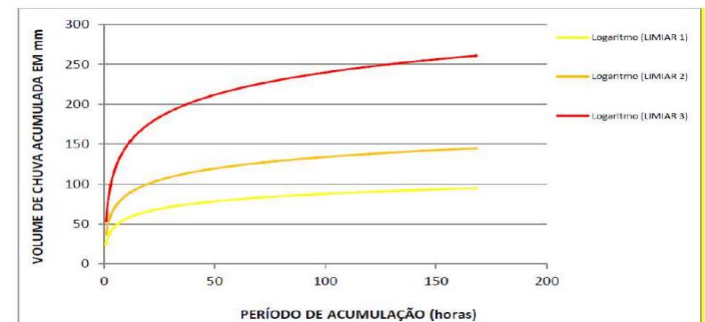


Gráfico 30. Curvas envolventórias dos limiares 1, 2 e 3 que delimitam os cenários dos deslizamentos ocasionais, múltiplos e extremos na Baixada Santista.

Dia de Adaptação e Resiliência Santista

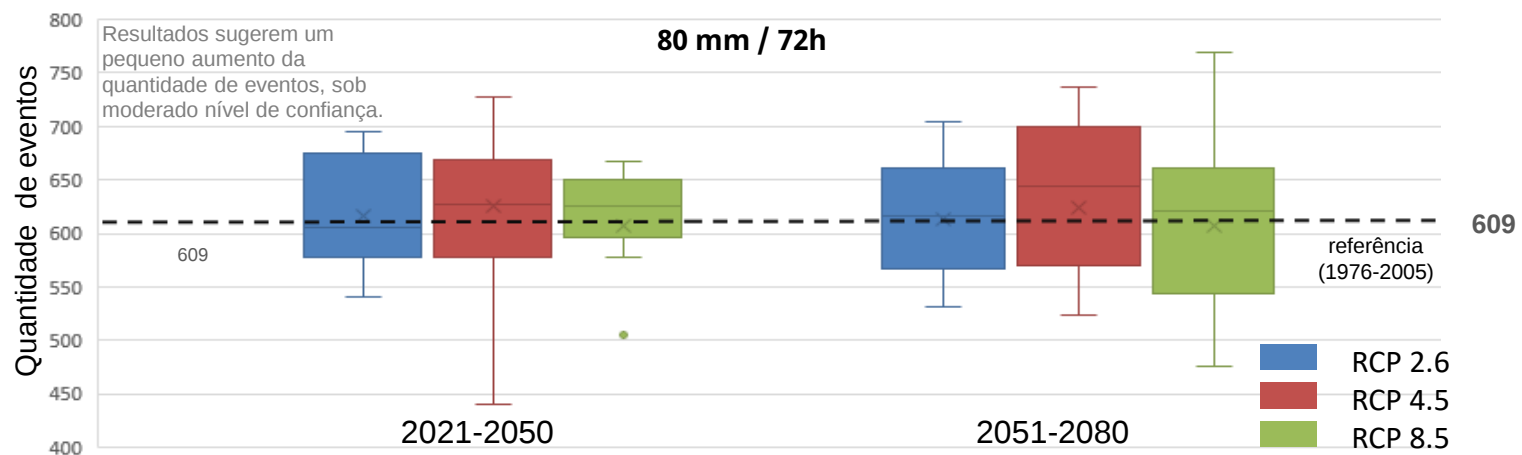
Resultados do conjunto de projeções (20 modelos)

- 80 mm em 72 horas

Impactos de pequena magnitude,
deslizamentos pontuais.

Na média global, os resultados sugerem que, no futuro, passaria **de 200 para 206 eventos a cada 10 anos**, comparando com 1976-2005.

Probabilidade de concretização
2021-2050: 64%
2051-2080: 58%



Dia de Adaptação e Resiliência Santista

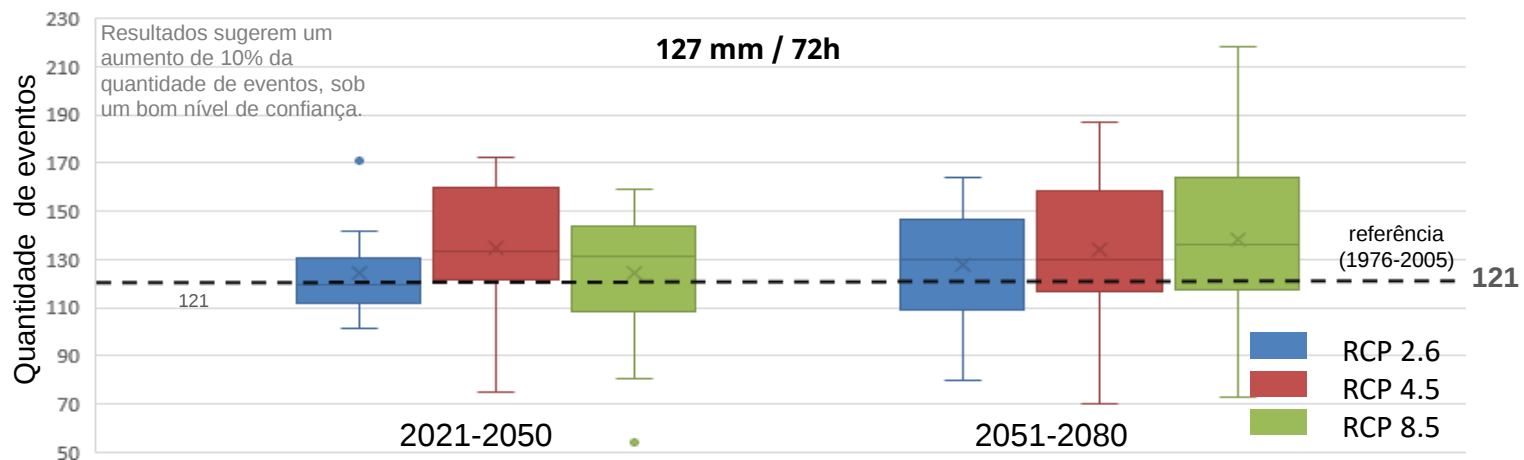
Resultados do conjunto de projeções (20 modelos)

- 127 mm em 72 horas

Impactos de magnitude moderada,
deslizamentos esparsos.

Na média global, os resultados sugerem que, no futuro, passaria **de 40 para 44 eventos a cada 10 anos**, comparando com 1976-2005.

Probabilidade de concretização
2021-2050: 65%
2051-2080: 68%



Dia de Adaptação e Resiliência Santista

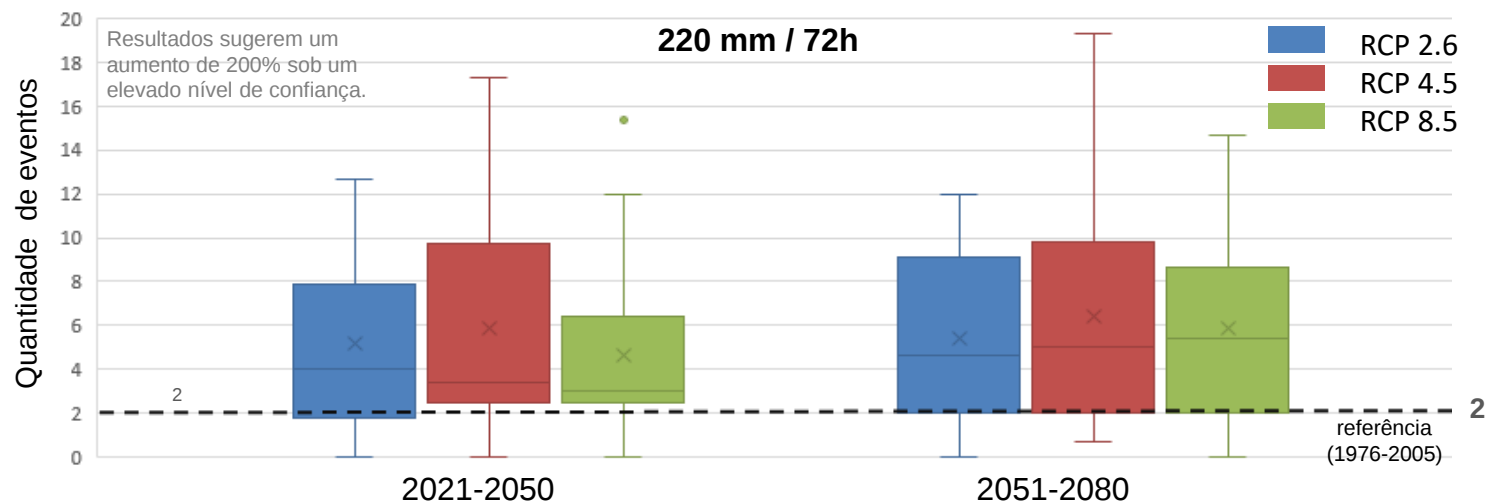
Resultados do conjunto de projeções (20 modelos)

- 220 mm em 72 horas

Impactos de grande magnitude,
deslizamentos generalizados.

Na média global, os resultados sugerem que, no futuro, passaria **de 1 evento a cada 15 anos para 1 evento a cada 5 ou 6 anos**, comparando com 1976-2005.

Probabilidade de concretização
2021-2050: 77%
2051-2080: 73%



Dia de Adaptação e Resiliência Santista

Resultado da Análise Climática

Projeções Futuras x Período Histórico (1976-2005)
Eventos potencialmente deflagradores de
inundações bruscas, enxurradas e alagamentos

De modo análogo ao que foi feito para deslizamentos, definiu-se três limiares críticos para relacionar os eventos de chuva com os impactos hidrológicos causados no município. Para estes casos, a janela temporal foi de 24 horas, pois normalmente estes processos tem relação com chuvas de maior intensidade.

- 50 mm / 24h
- 80 mm / 24 h
- 110 mm / 24h



Alagamento na Av. Nossa Sra. De Fátima (23/12/2014) Foto: Moacir Junior/Folhapress

Dia de Adaptação e Resiliência Santista

Resultados do conjunto de projeções (20 modelos)

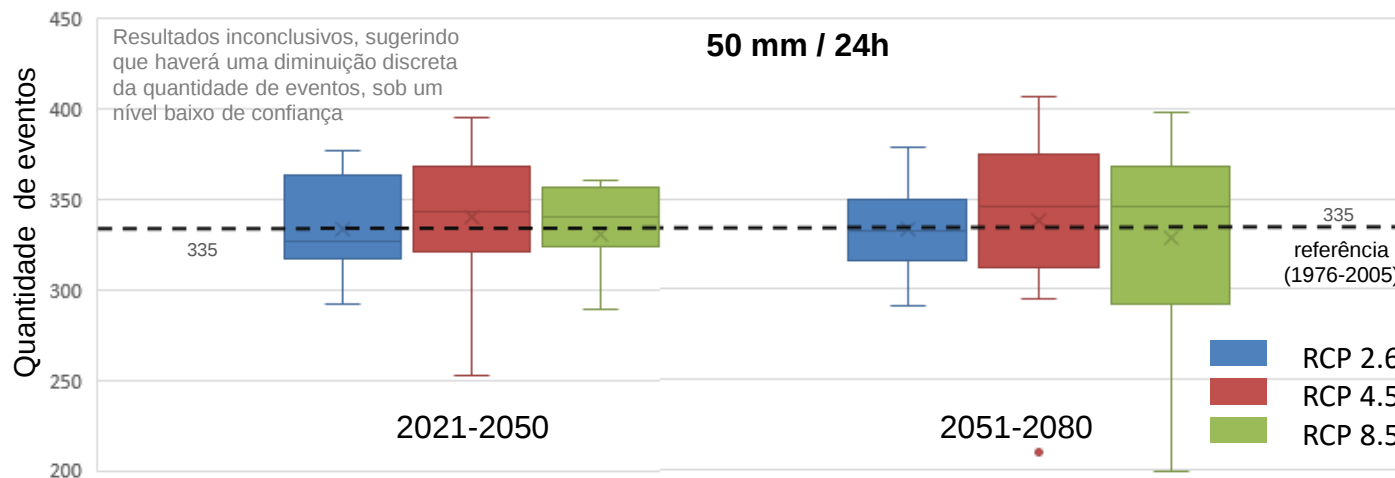
- 50 mm em 24 horas

Impactos de pequena magnitude,
alagamentos e enxurradas pontuais.

Na média global, os resultados sugerem que, no futuro, passaria **de 112 para 111 eventos a cada 10 anos**, comparando com 1976-2005.

Probabilidade de concretização
2021-2050: 52%
2051-2080: 46%

Resultados inconclusivos



Dia de Adaptação e Resiliência Santista

Resultados do conjunto de projeções (20 modelos)

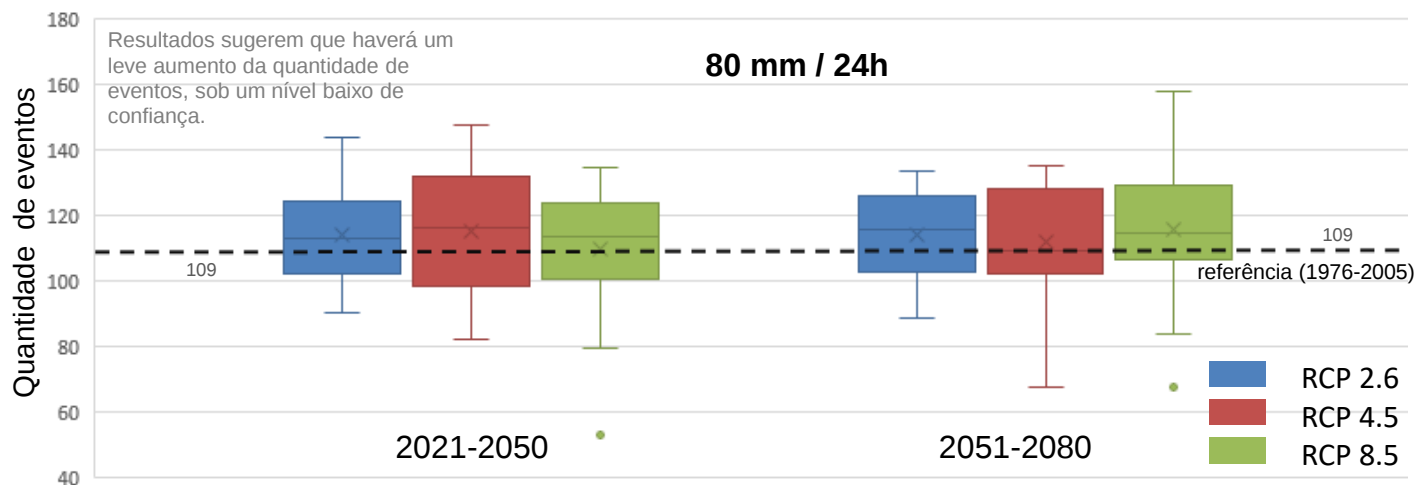
- 80 mm em 24 horas

Impactos de pequena magnitude,
alagamentos e enxurradas pontuais.

Na média global, os resultados sugerem que, no futuro, passaria **de 36 para 38 eventos a cada 10 anos**, comparando com 1976-2005.

Probabilidade de concretização
2021-2050: 62%
2051-2080: 57%

Incremento discreto



Dia de Adaptação e Resiliência Santista

Resultados do conjunto de projeções (20 modelos)

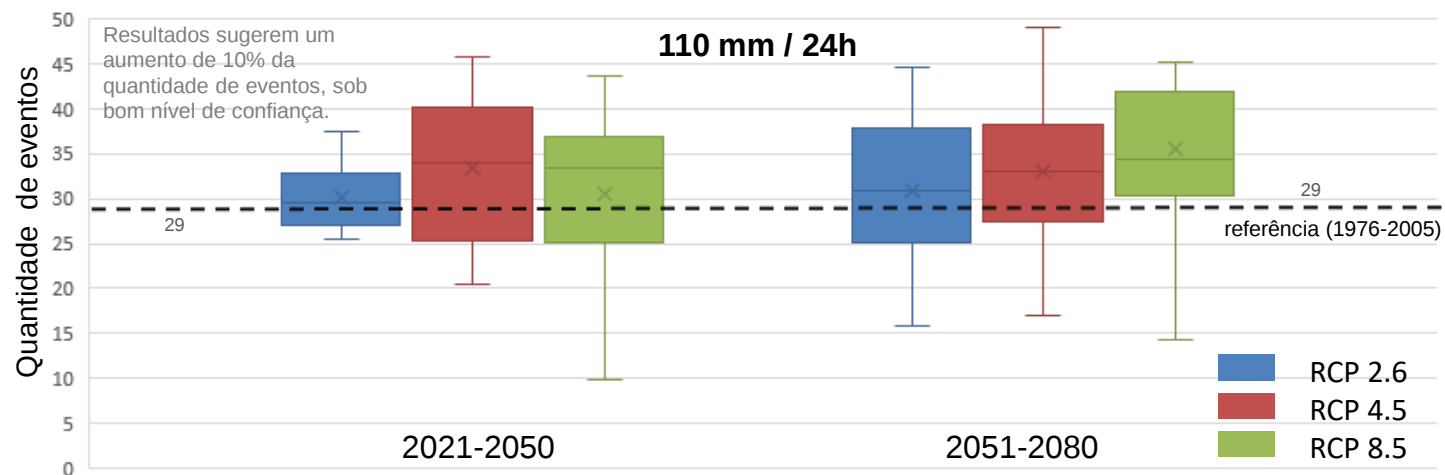
- 110 mm em 24 horas

Impactos de pequena magnitude,
alagamentos e enxurradas pontuais.

Na média global, os resultados sugerem que, no futuro, passaria **de 10 para 11 eventos a cada 10 anos**, comparando com 1976-2005.

Probabilidade de concretização
2021-2050: 65%
2051-2080: 75%

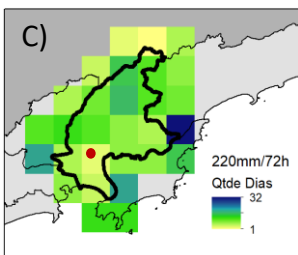
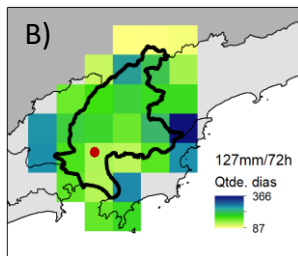
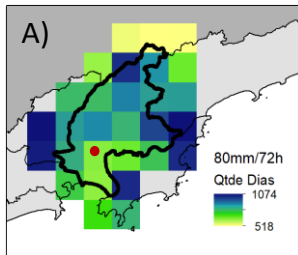
Incremento moderado



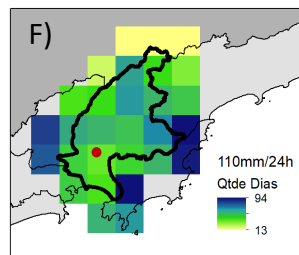
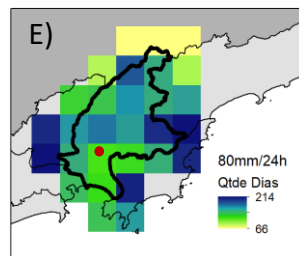
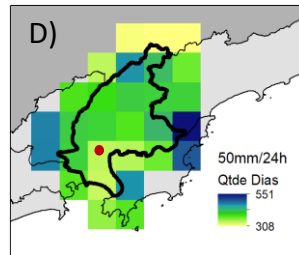
Dia de Adaptação e Resiliência Santista

Espacialização dos eventos extremos. CHIRPS (1976-2005)

Eventos relacionados
a deslizamentos



Eventos relacionados
a enxurradas, etc.



Considerando todos os resultados de modelagem obtidos, nos dois horizontes temporais e nos dois cenários RCPs, identificou-se 3 cenários prováveis, baseado nas estatísticas finais:

- Cenário **“realista”**: mediana dos incrementos de todos os cenários RCPs;
- Cenário **“pessimista”**: estabelecido pela média dos quantis 0.15
- Cenário **“otimista”**: estabelecido pela média dos quantis 0.85

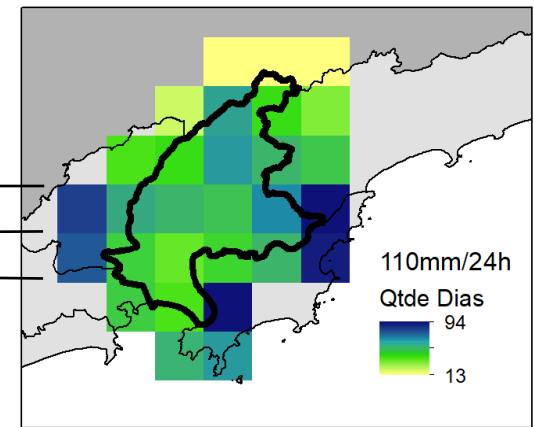
CENÁRIOS	LIMIARES EM 72H			LIMIARES EM 24H		
	80 mm	127 mm	220 mm	50 mm	80 mm	110 mm
Pessimista	+12%	+30%	+400%	+10%	+20%	+36%
Realista	+1%	+8%	+200%	zero	+4%	+11%
Otimista	-7%	-8%	-35%	-9%	-10%	-14%

Dia de Adaptação e Resiliência Santista

Exemplo de aplicação das estatísticas obtidas para espacialização do resultado para cenários futuros

CENÁRIOS	LIMIARES EM 72H			LIMIARES EM 24H		
	80 mm	127 mm	220 mm	50 mm	80 mm	110 mm
Pessimista	+12%	+30%	+400%	+10%	+20%	+36%
Realista	+1%	+8%	+200%	zero	+4%	+11%
Otimista	-7%	-8%	-35%	-9%	-10%	-14%

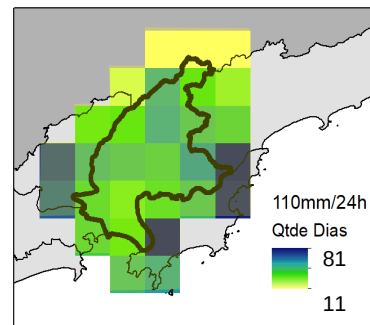
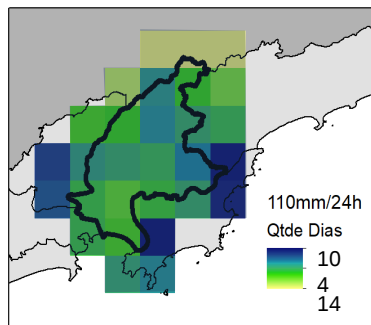
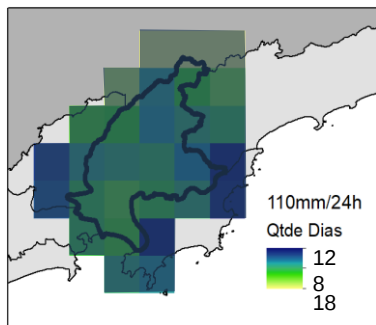
Resultado do período histórico (1976-2005)



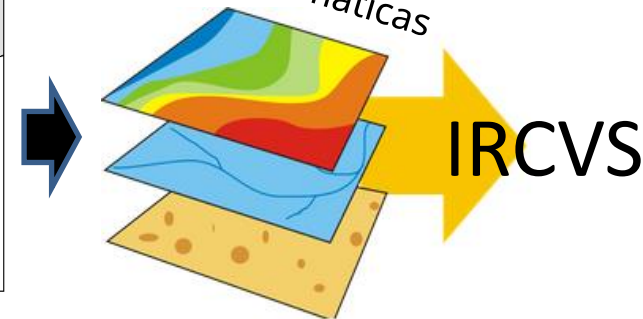
+36%

+11%

-14%



variáveis
não climáticas



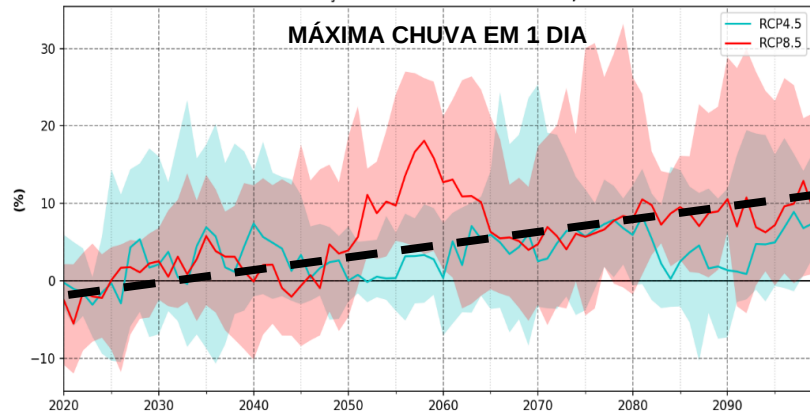
ÍNDICES DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO



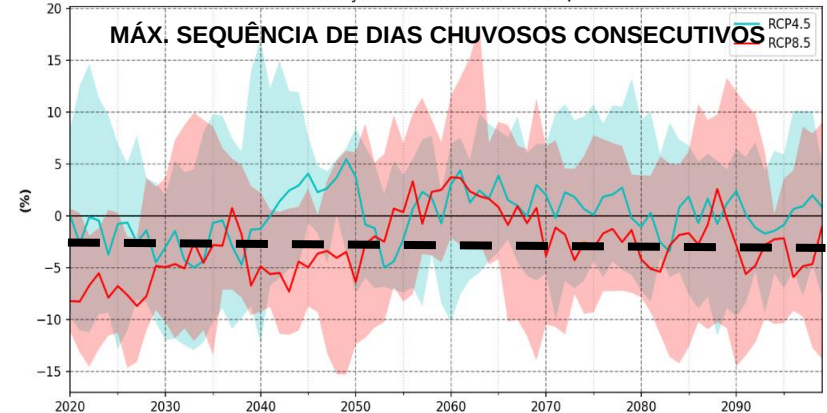
Dia de Adaptação e Resiliência Santista

Resultados dos Índices de Eventos Extremos de Precipitação

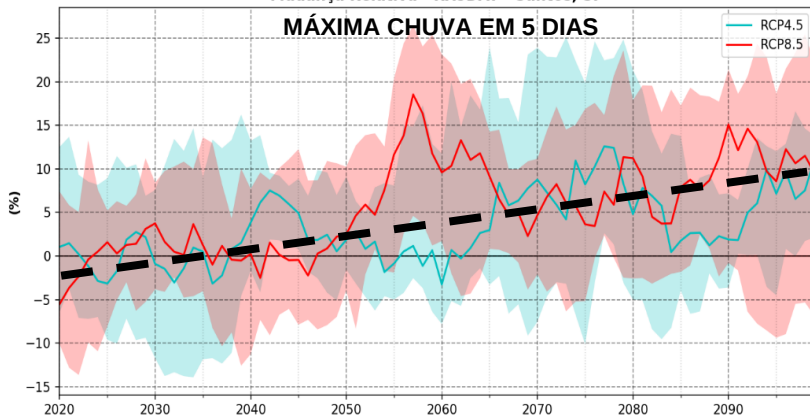
Mudança Relativa - RX1DAY - Santos, SP



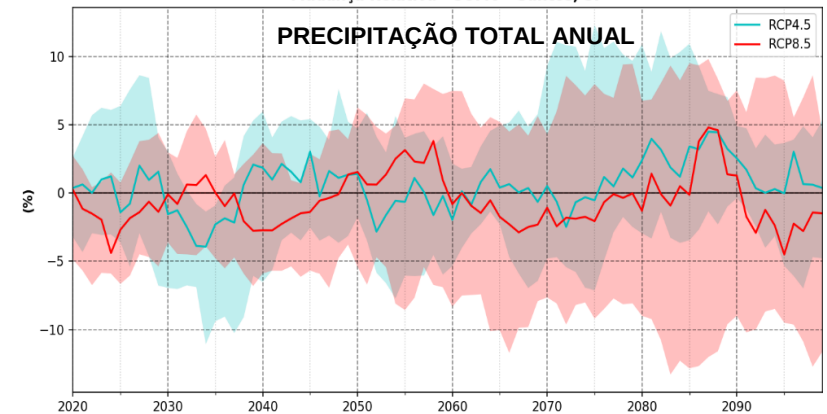
Mudança Relativa - CWD - Santos, SP



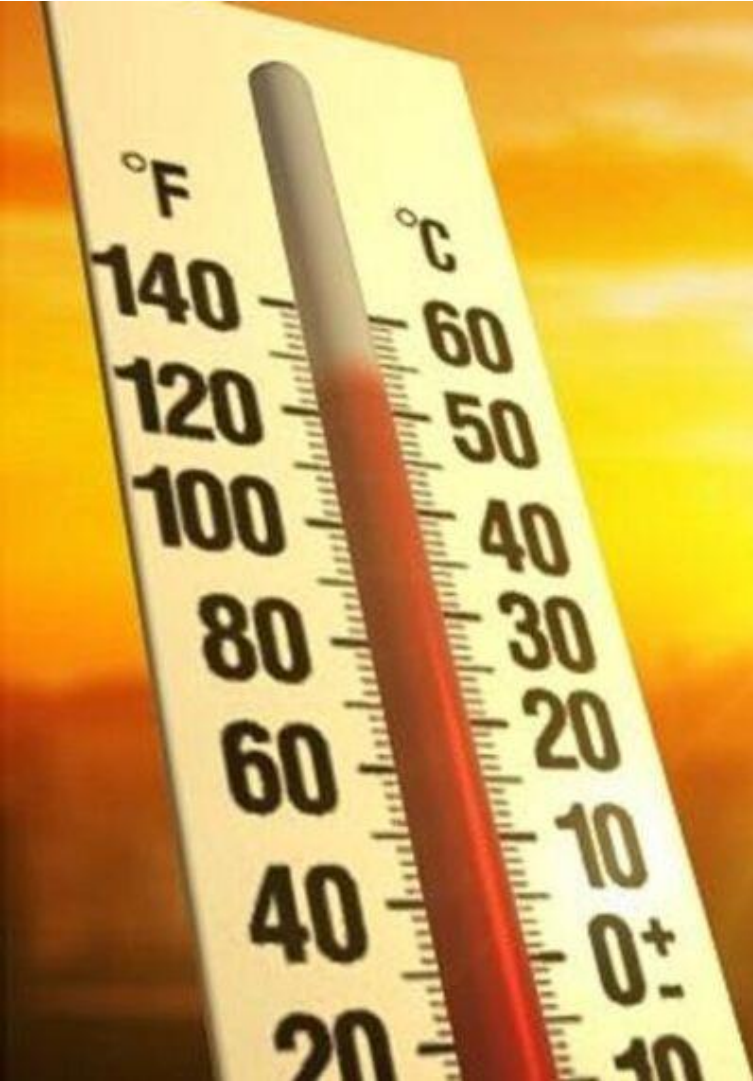
Mudança Relativa - RX5DAY - Santos, SP



Mudança Relativa - SUMV - Santos, SP



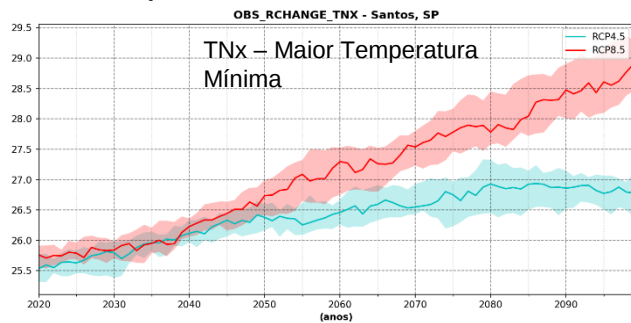
ÍNDICES DE EVENTOS EXTREMOS DE TEMPERATURA



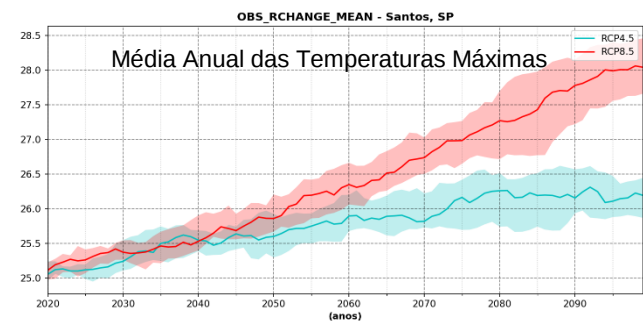
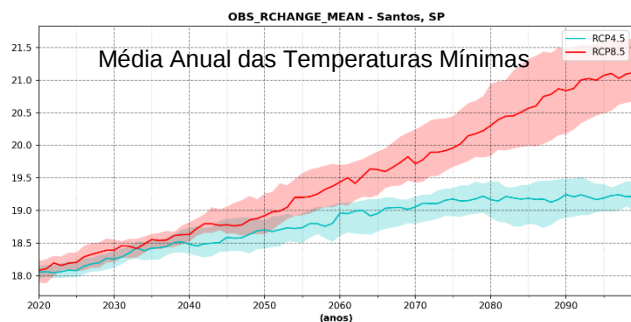
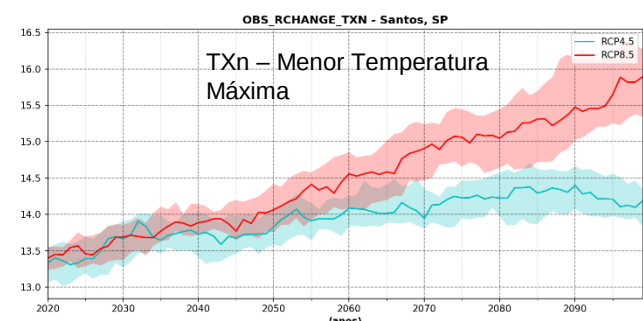
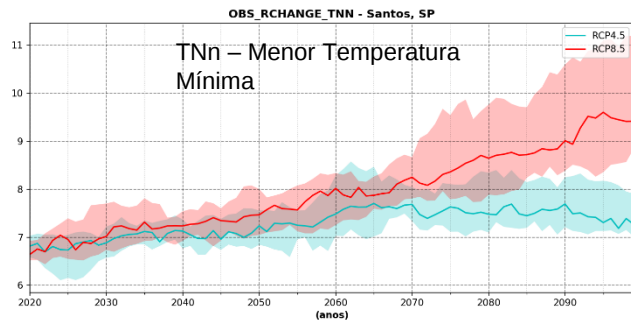
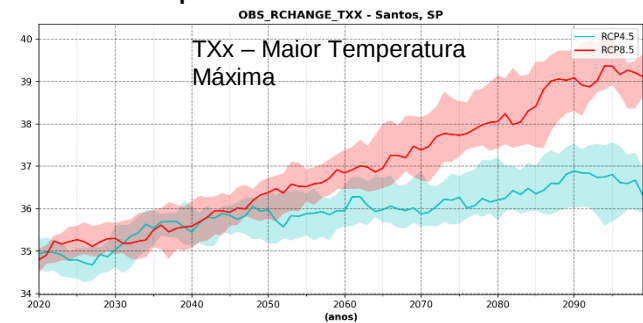
Dia de Adaptação e Resiliência Santista

Resultados dos Índices de Eventos Extremos de Temperatura

Temperatura **Mínima** Diária



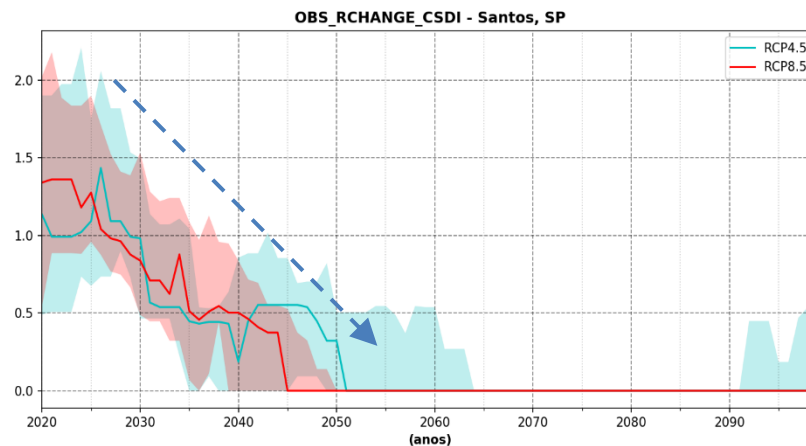
Temperatura **Máxima** Diária



Dia de Adaptação e Resiliência Santista

Resultados dos Índices de Eventos Extremos de Temperatura

A partir de 2050, praticamente nenhuma projeção indica que existirão anomalias deste tipo.



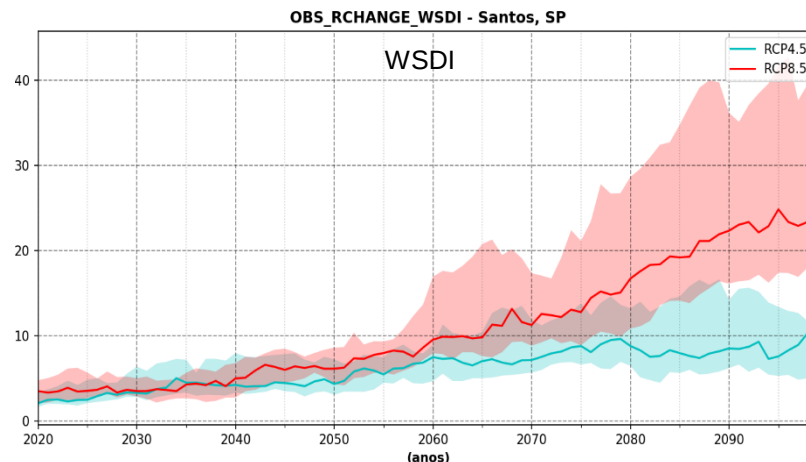
“Períodos frios” (CSDI)



Frequência na normal histórica era de 0.8 eventos ao ano (4 a cada 5 anos).

2060: Entre 10 e 7 vezes por ano.

2100 (RCP 8.5): 25 vezes por ano.



“Períodos frios” (WSDI)



Dia de Adaptação e Resiliência Santista

Conclusões Gerais

Até 2050 é esperado que haja um **leve** aumento dos eventos extremos de precipitação e de temperatura, independentemente de qual será a trajetória de emissões a serem seguidas globalmente (considerando o RCP 4.5 e 8.5).

A partir de 2050 e até o final do século, as trajetórias de emissões indicaram uma maior relação com os eventos extremos de temperatura, sendo que o cenário RCP 4.5 indica uma estabilização dos aumentos entre 2050-2100, ao passo que o cenário **RCP 8.5 sugere a continuidade do aumento da frequência e magnitude dos eventos extremos de temperatura**, principalmente no que diz respeito aos “períodos quentes” e ondas de calor.

Já para as análises de precipitação, entre 2050-2080, o cenário de emissões que prevê um menor aumento de temperatura global (RCP 4.5) não garante que haverá menos eventos extremos de chuva quando comparado com cenário de maior aquecimento (RCP 8.5). **As análises mostraram que para cada limiar avaliado, os dois cenários indicam sempre o aumento da frequência de eventos, mas não há consenso entre qual deles é o pior cenário**, ou seja, qual deles indicaria a maior quantidade de eventos extremos.

Os impactos da mudança do clima em Santos são **mais evidentes quanto maior for a severidade do evento analisado**, destacando-se aqueles que ultrapassam limiares de 220 mm / 72h por conta do alto potencial de impactos associado e ao elevado aumento de frequência (de 1 a cada 15 anos para 1 a cada 4 ou 5 anos).

Para os eventos relacionados com inundações bruscas, enxurradas e alagamentos, também há sinalização de aumentos consideráveis tanto na frequência quanto na magnitude (Rx1day), o que também poderá trazer diversos transtornos e impactos se medidas de adaptação e redução de risco não forem implementadas.

Além disso, os resultados também sugerem que haverá impactos na distribuição temporal das chuvas, sendo que os **eventos mais brandos e que acontecem ao longo de vários dias chuvosos tendem a acontecer menos, ao passo que os eventos se tornarão cada vez mais intensos** (volumosos e em poucos dias e horas), além de que os dias chuvosos tendem a ser separados por uma maior sequência de dias de estiagem, provavelmente com dias muito mais quentes que o normal.

Dia de Adaptação e Resiliência Santista

**Agradecemos o apoio, em especial do INPE,
CEMADEN, GIZ, Prefeitura Municipal de Santos,
Defesa Civil de Santos e Comissão Municipal de
Mudanças Climáticas de Santos.**

Obrigado!

Pedro Camarinha

pedro.camarinha@cemaden.gov.br

Por ordem do



Ministério Federal
do Meio Ambiente, Proteção da Natureza
e Segurança Nuclear

da República Federal da Alemanha

Por meio da:



Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL