

Mudança do Clima e Recursos Hídricos: avaliação e diretrizes para adaptação

Coordenação de Mudança do Clima (COMUC)
Superintendência de Estudos Hídricos e Socioeconômicos (SHE)



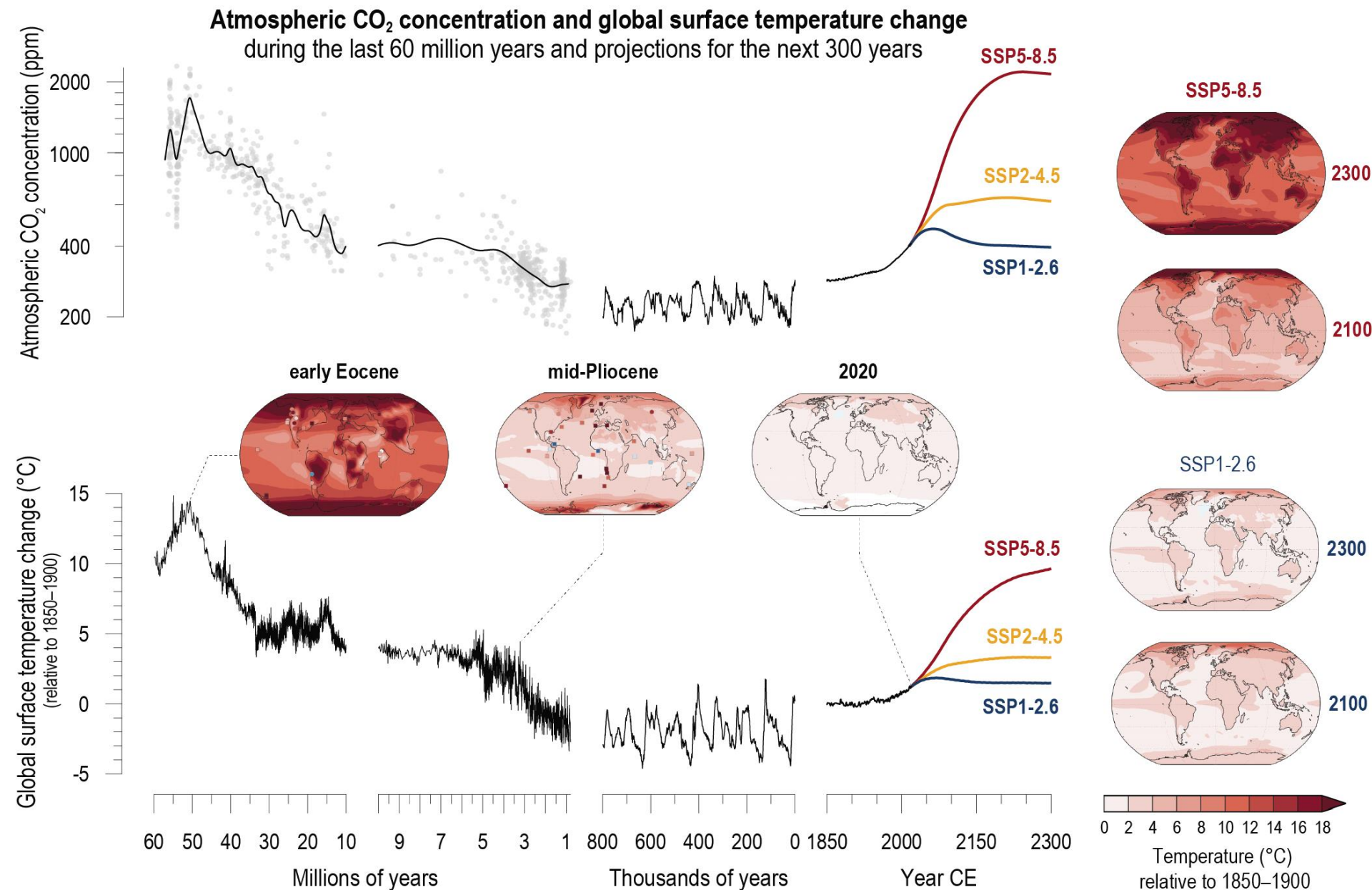
MINISTÉRIO DA
INTEGRAÇÃO E DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



7 de outubro de 2026



Mudança do Clima



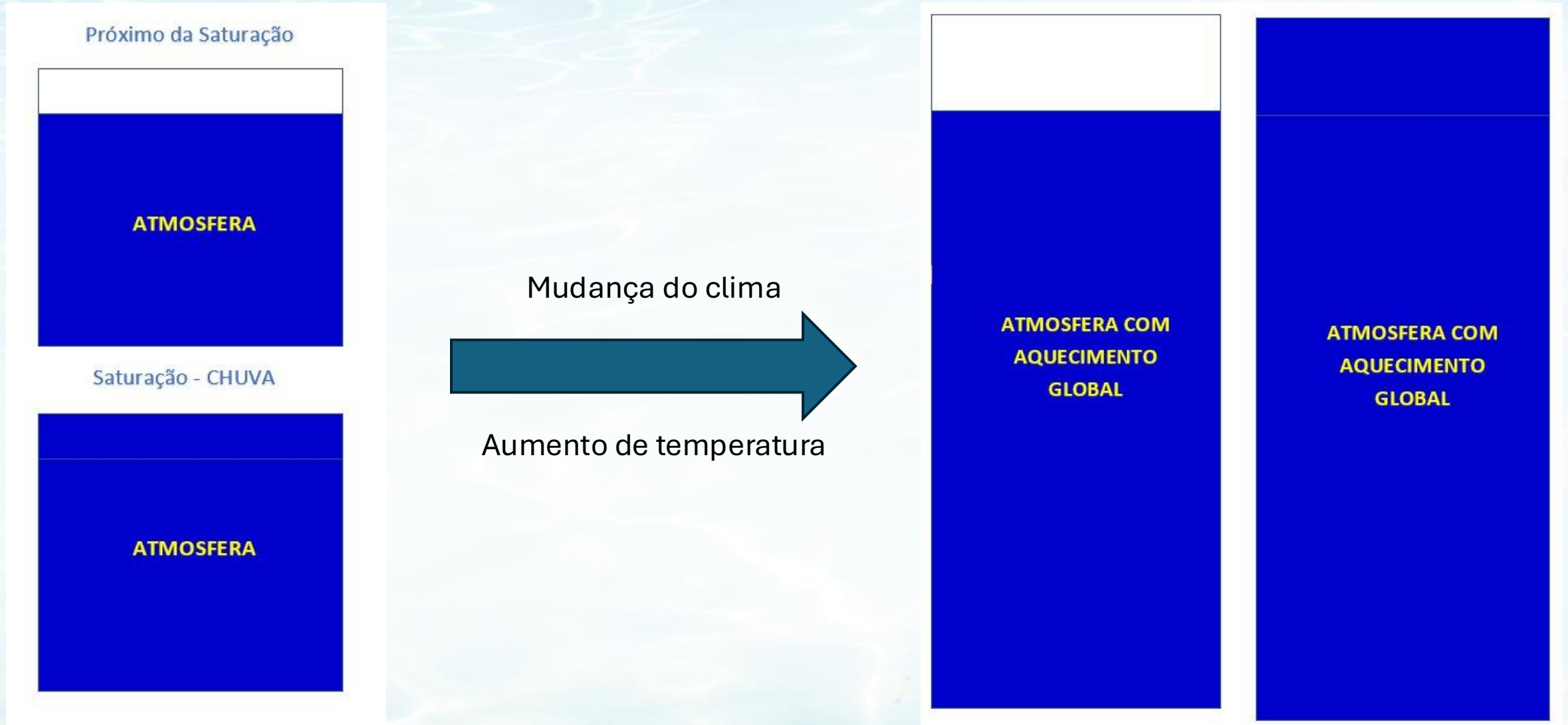
Mudança do clima:
variação
significativa e
persistente no
estado médio do
clima ou em sua
variabilidade

Ciclo Hidrológico



Ciclo Hidrológico: movimento contínuo da água entre oceanos, continentes e atmosfera

Clima e Ciclo Hidrológico



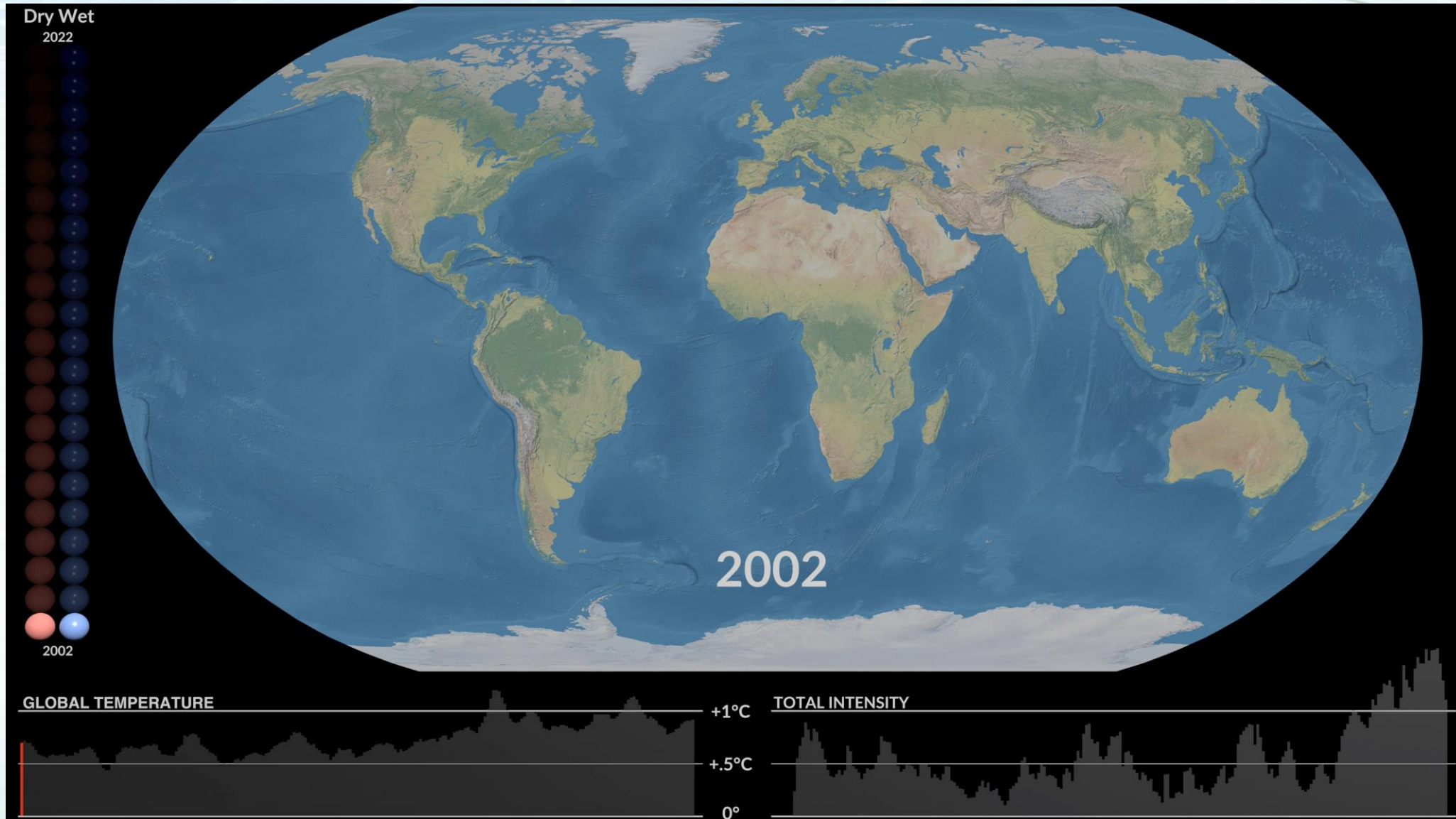
Cheias e Secas

**ATMOSFERA COM
AQUECIMENTO
GLOBAL**

**ATMOSFERA COM
AQUECIMENTO
GLOBAL**



Eventos Hidrológicos Extremos no Mundo



Fonte: [NASA/GSFC \(2023\)](#)

Impacto da Mudança Climática nos Recursos Hídricos do Brasil

Volume 2 - Extremos Hidrológicos



Organizadores:

Rodrigo Cauduro Dias de Paiva,
Walter Collischonn,
Saulo Aires de Souza e
Alexandre Abdalla Araujo

APOIO
ABRHydro
Associação Brasileira de Recursos Hídricos

UFRGS
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

IPH
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

25
anos

ANA
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS
E SANEAMENTO BÁSICO

ESTUDO DE IMPACTO DA MUDANÇA CLIMÁTICA NOS EXTREMOS HIDROLÓGICOS

http://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/acervo/detalhe/111836

ANA
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS
E SANEAMENTO BÁSICO

Cadeia de Ferramentas

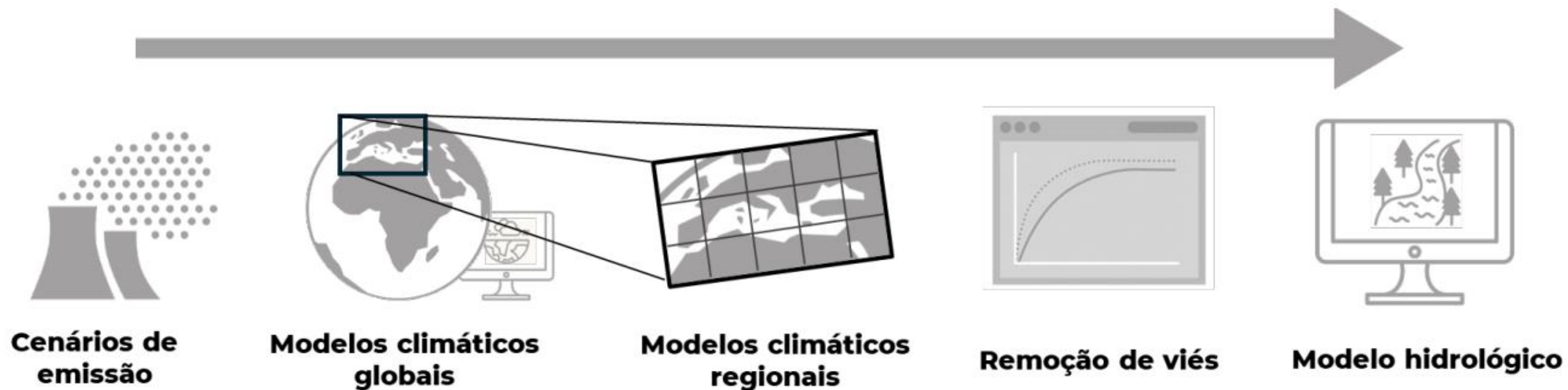


Figura 5 - Cadeia de ferramentas utilizadas para estimar mudanças hidrológicas em função das mudanças climáticas

Fonte: Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH.

Cenários de Emissões de GEE

SSP1: O caminho sustentável e “verde”

- Bens comuns globais preservados
- Limites da natureza respeitados
- Foco no bem-estar humano e não no crescimento econômico

SSP2: O “meio do caminho”

- Crescimento populacional global moderado, estabilizando-se na segunda metade do século.
- Divergência significativa na economia dos países
- Cooperação entre os estados, mas ela é pouco expandida
- Sistemas ambientais enfrentam uma certa degradação.

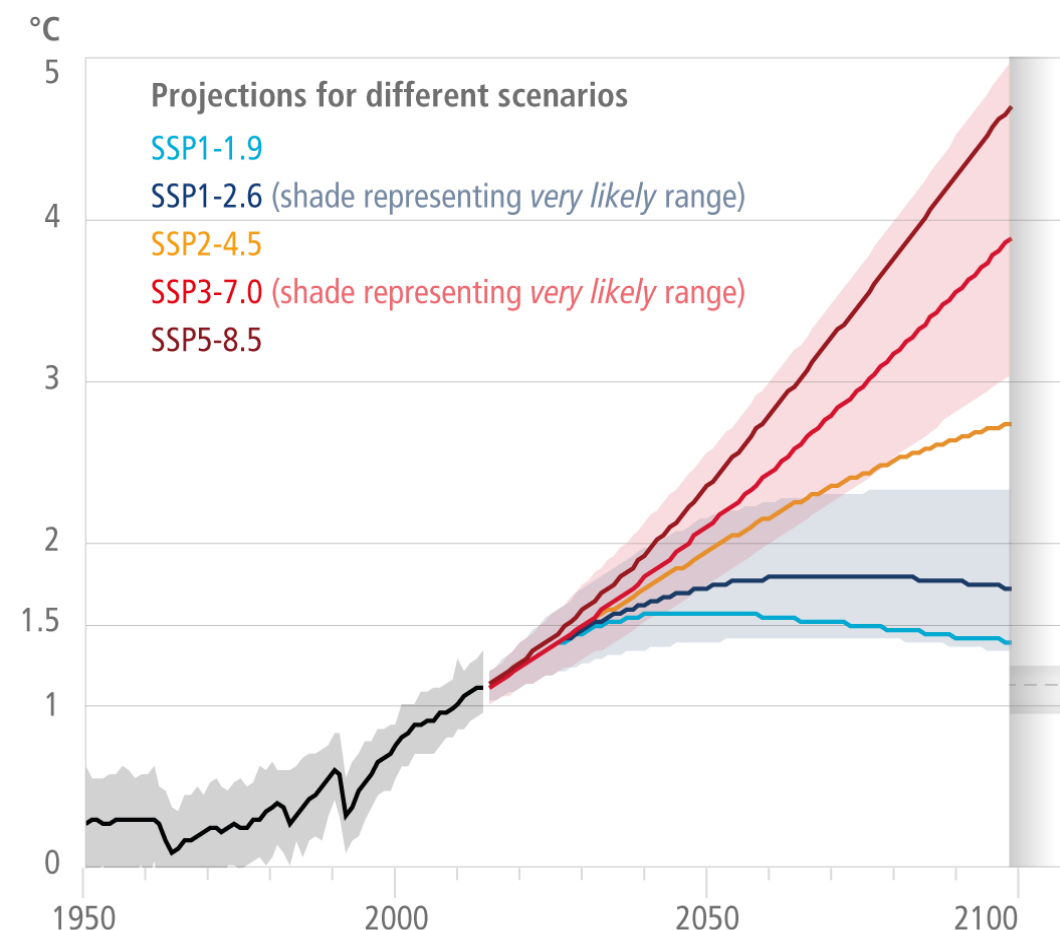
SSP3: Rivalidade regional

- Renascimento do nacionalismo e dos conflitos regionais empurra as questões globais para segundo plano
- Redução dos investimentos em educação e desenvolvimento tecnológico
- Aumento da desigualdade
- Algumas regiões sofrem danos ambientais drásticos.

SSP5: Desenvolvimento com combustíveis fósseis

- Mercados globais estão cada vez mais integrados, levando a inovações e progresso tecnológico
- Desenvolvimento socioeconômico baseado em uma exploração intensiva de combustíveis fósseis
- Alta proporção de utilização de carvão
- Estilo de vida intensivo em energia em todo o mundo

(a) Global surface temperature change
Increase relative to the period 1850–1900



Projeções Climáticas

Tabela 1 - Cenários principais de emissão de gases de efeito estufa (GEE) do CMIP6, com os valores esperados de incremento da temperatura média global em meados do século XXI (2041 a 2060) e no final do século XXI (2081 a 2100)

Nome	Emissões de GEE	Incremento da temperatura média global (2041-2060)	Incremento da temperatura média global (2081-2100)	Faixa provável de incremento de temperatura média global em °C (2081-2100)
SSP1-2.6	Emissões de GEE baixas; emissões de CO ₂ zeradas até 2075	1.7 °C	1.8 °C	1.3 - 2.4
SSP2-4.5	Emissões de GEE intermediárias; emissões de CO ₂ estáveis até 2050, depois começam a diminuir, sem atingir zero até 2100	2.0 °C	2.7 °C	2.1 - 3.5
SSP3-7.0	Emissões de GEE altas; emissões de CO ₂ duplicam até 2100	2.1 °C	3.6 °C	2.8 - 4.6
SSP5-8.5	Emissões de GEE muito altas; emissões de CO ₂ triplicam até 2075	2.4 °C	4.4 °C	3.3 - 5.7

Fonte: Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH.

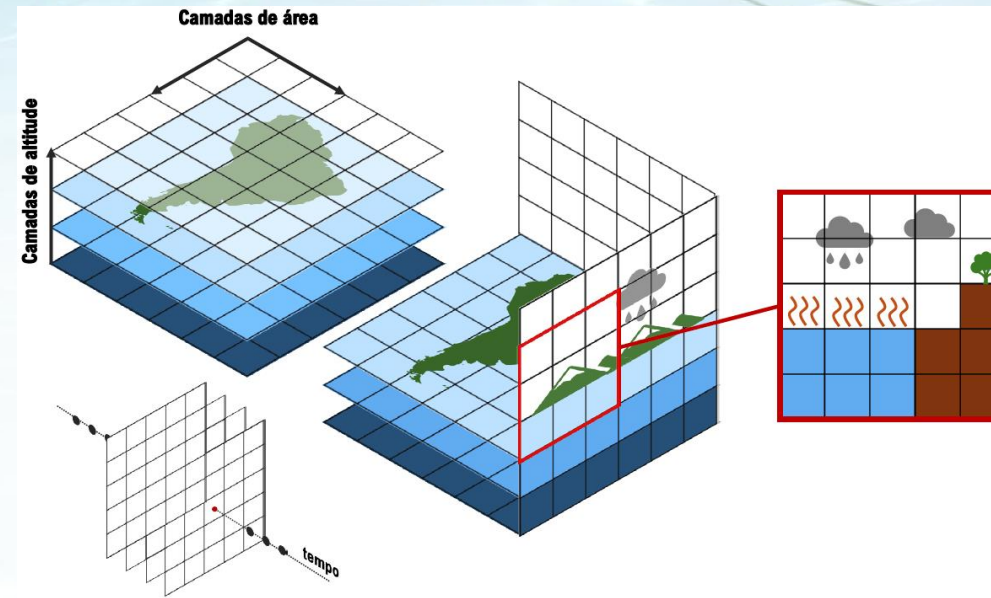


Figura 6 - Representação Esquemática de um Modelo Climático Global

Fonte: Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH.

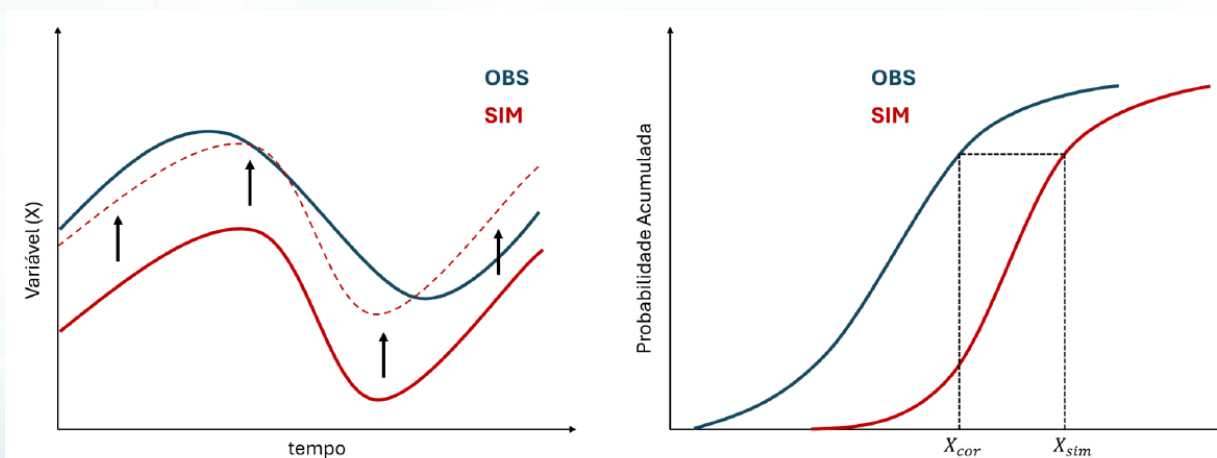


Figura 7 - Esquema representativo dos métodos de correção de viés, relacionando os dados simulados (SIM) aos observados (OBS). O gráfico à esquerda representa um método de ajuste da média da série simulada em que a linha tracejada corresponde à série corrigida, enquanto o gráfico à direita apresenta um ajuste pela distribuição de probabilidades em que X_{sim} é a variável simulada pelo modelo e X_{cor} é a variável corrigida

Fonte: Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH.

Modelo Hidrológico

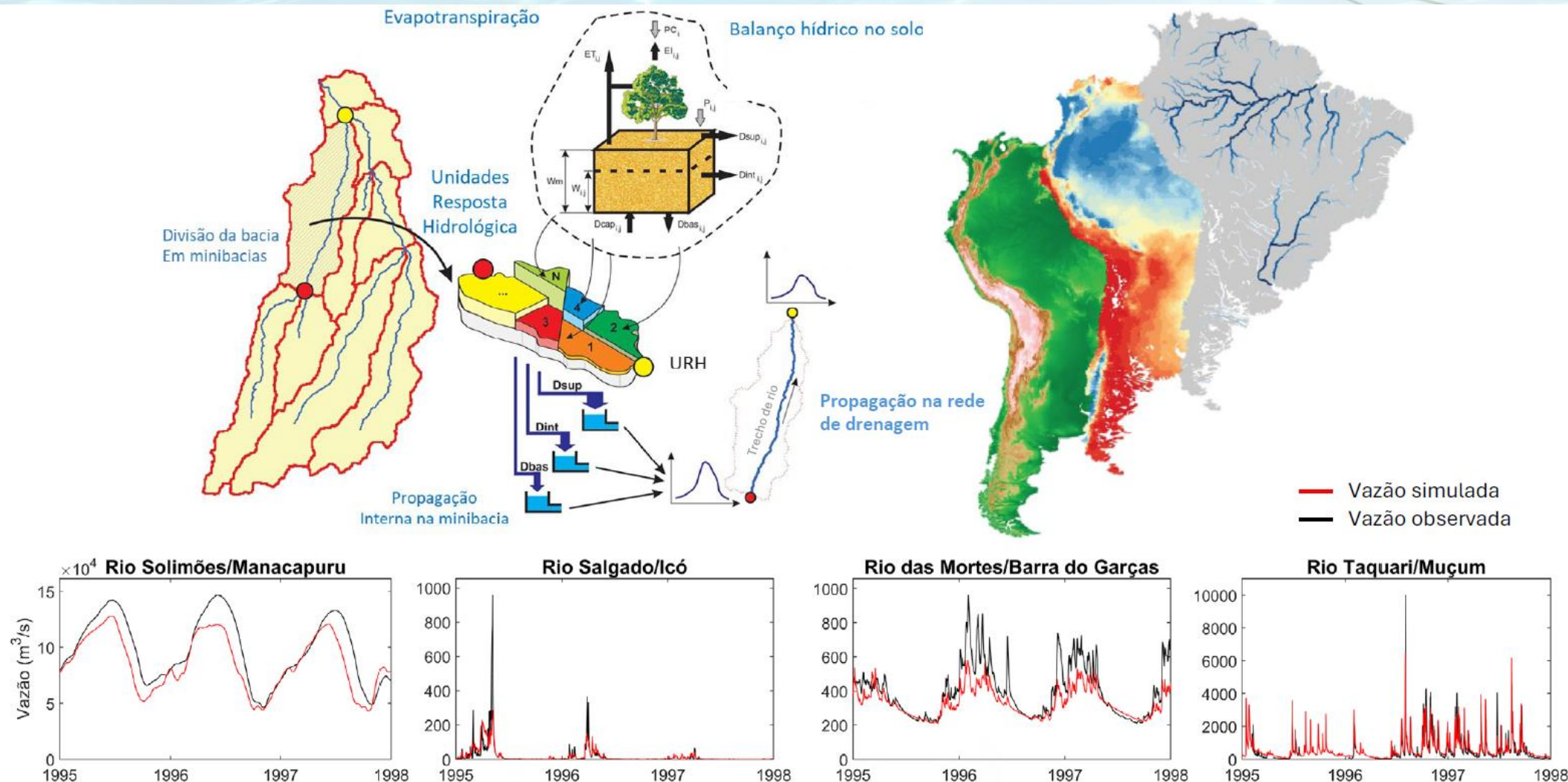


Figura 15 - Representação esquemática do Modelo de Grandes Bacias MGB. Exemplos de validações de vazões diárias simuladas (vermelho) em comparação a observações em postos fluviométricos (preto)

Fonte: Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH.

Incertezas

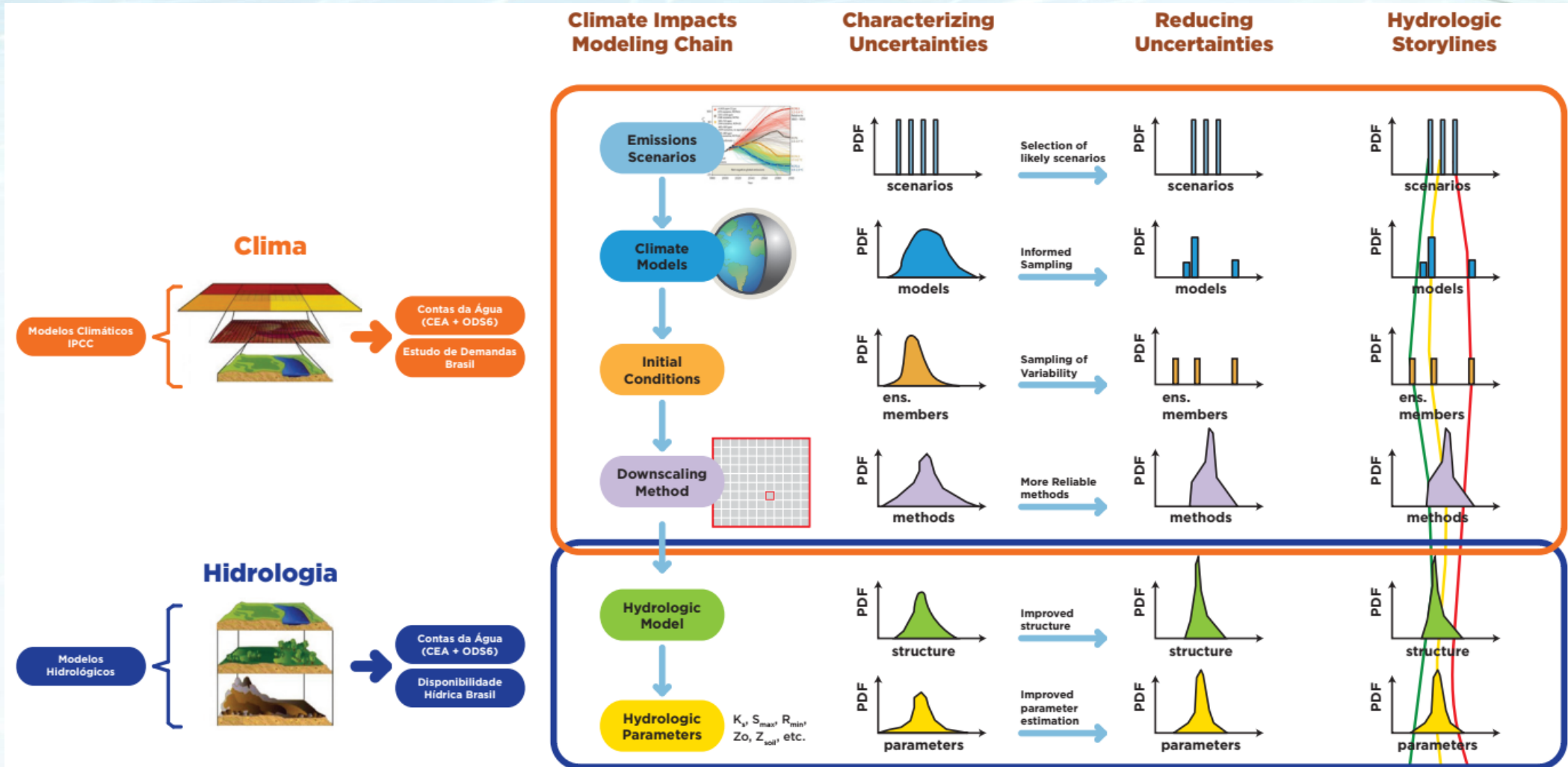


Figura 5 - Esquema que explicita as inúmeras incertezas nas avaliações dos impactos hidrológicos da mudança climática e o desenvolvimento de histórias hidrológicas quantitativas representativas.

(Adaptado de Clark et al. 2016)

Balanço Hídrico

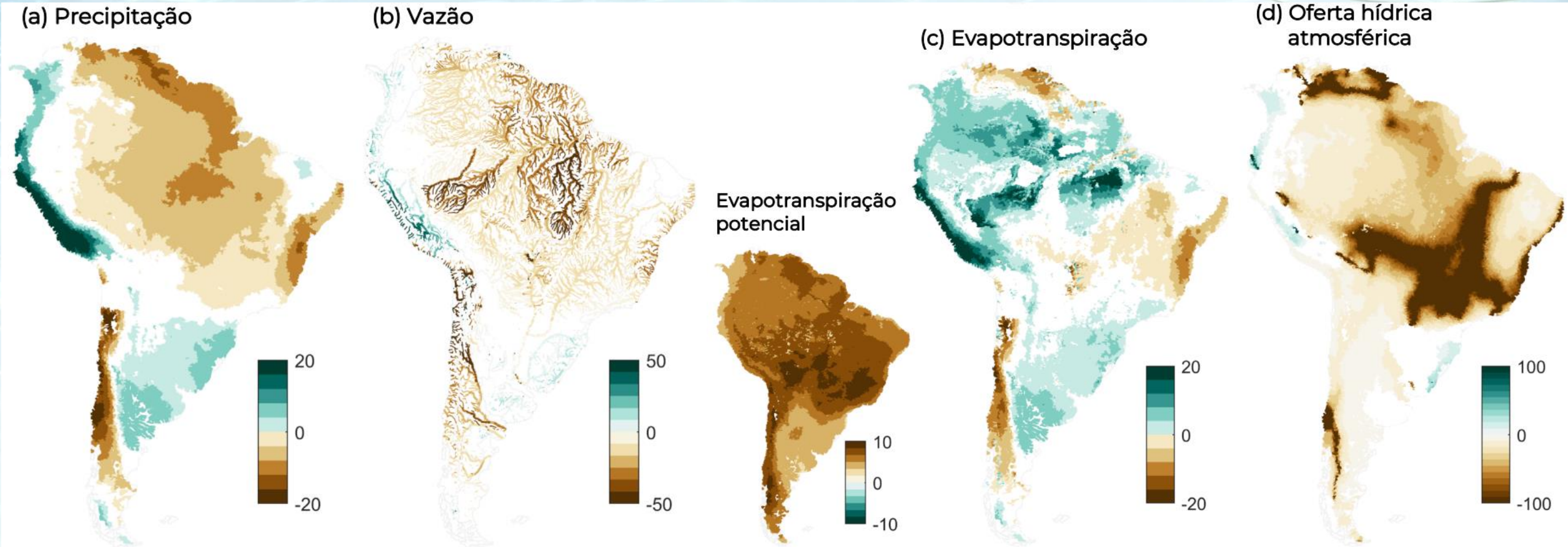


Figura 16 - Mapas de alteração percentual (%) de (a) precipitação, (b) vazão, (c) evapotranspiração real e potencial e (d) oferta hídrica atmosférica (P-PET) médias anuais, entre os períodos 1951-2014 e 2051-2100. Os mapas mostram a alteração mediana entre os 28 GCMs utilizados, e as zonas em branco correspondem a áreas de baixa concordância (<2/3 dos modelos) do sinal de alteração

Fonte: Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH.

Precipitações Máximas

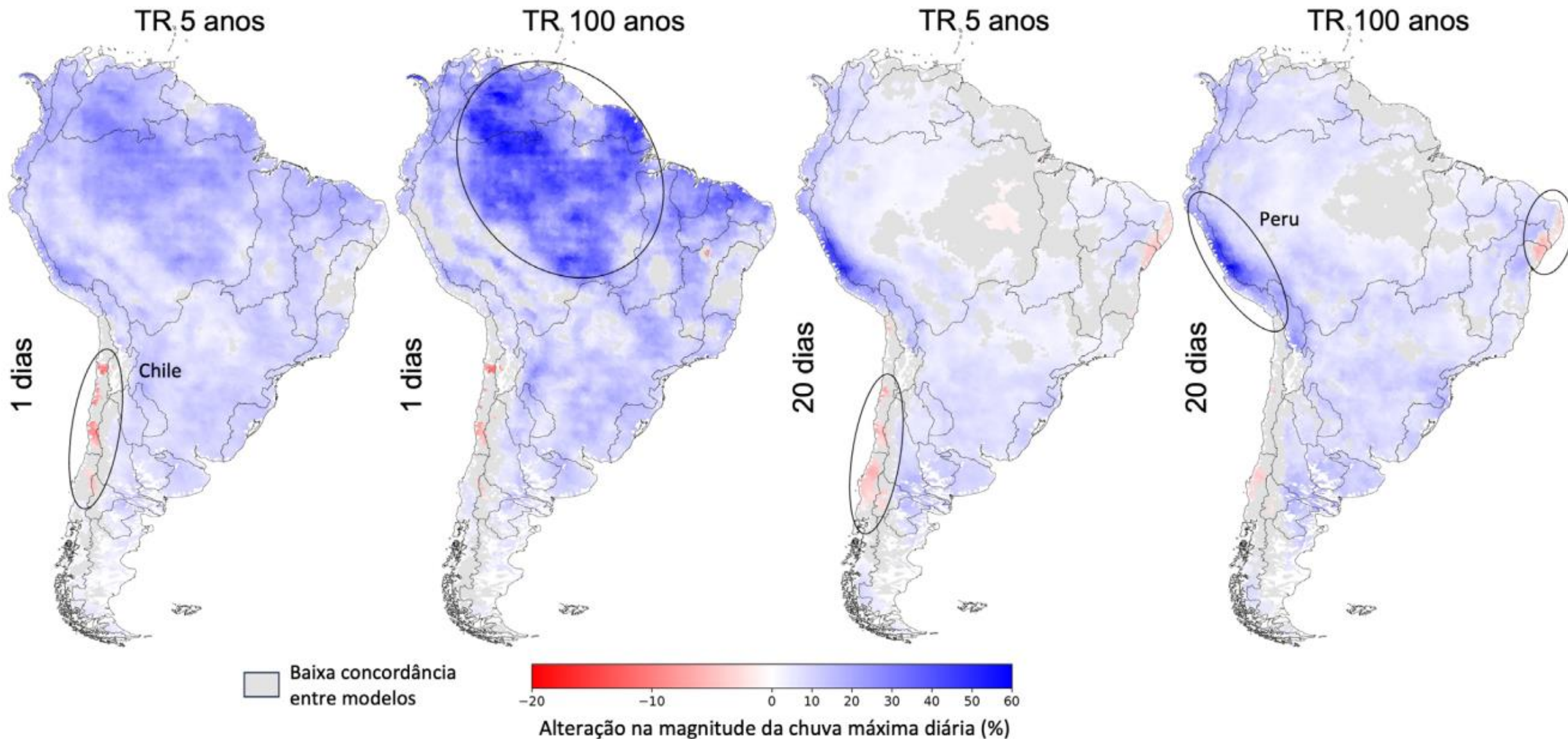
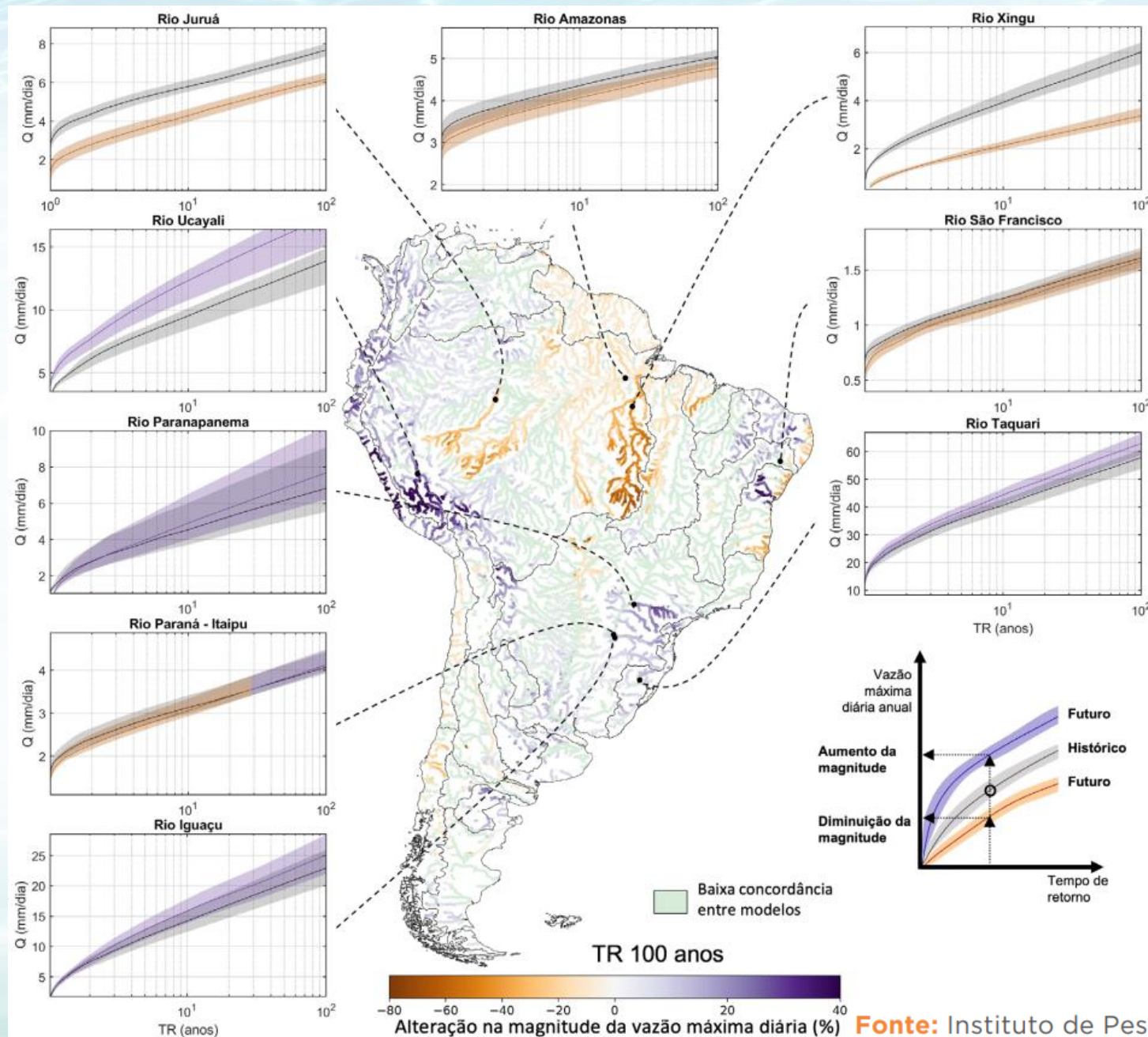


Figura 19 - Mudança na magnitude (%) da precipitação máxima em 1 dia e 20 dias, para períodos de retorno de 5 e 100 anos
Fonte: Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH.

Vazões de Cheia



Frequência das Cheias

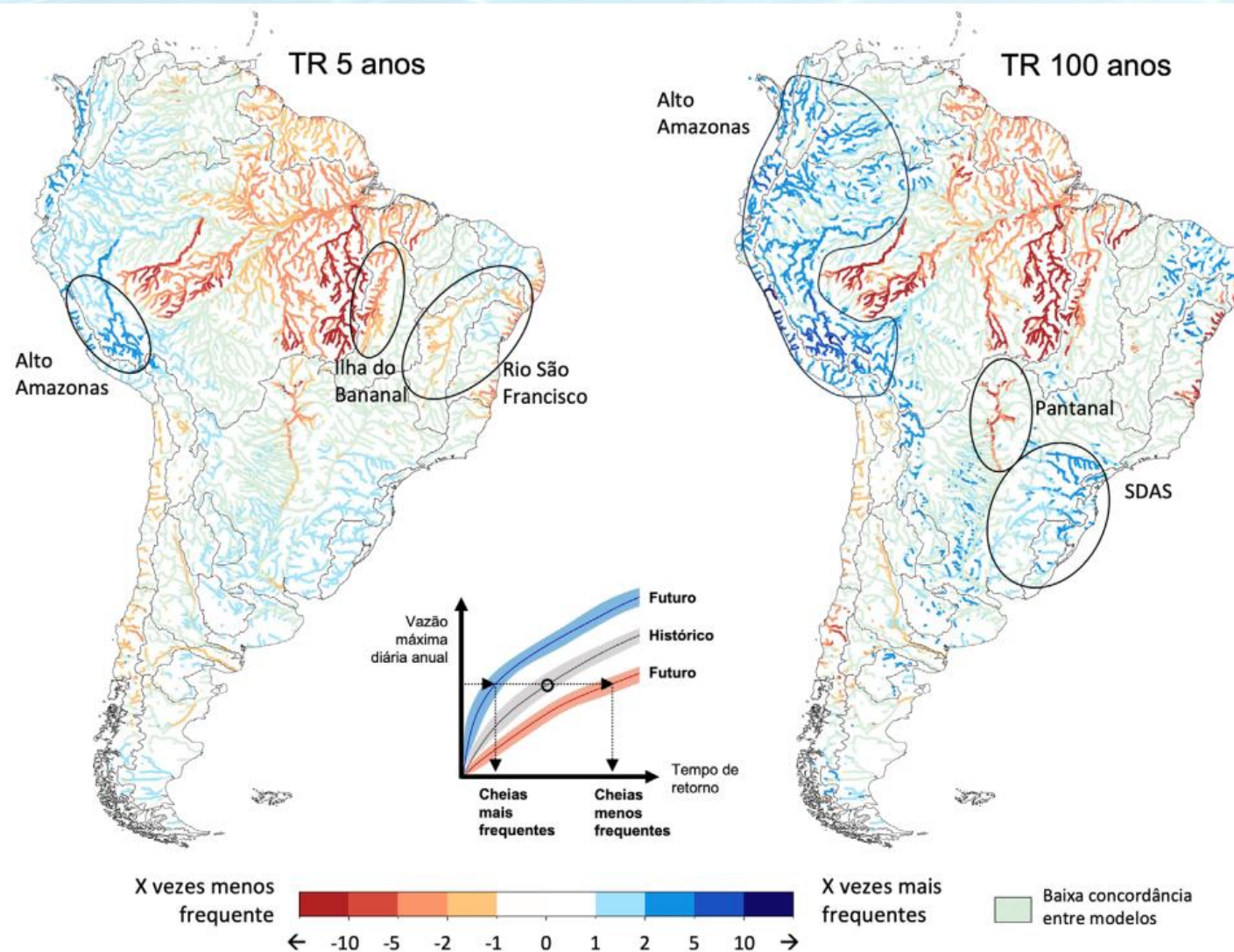
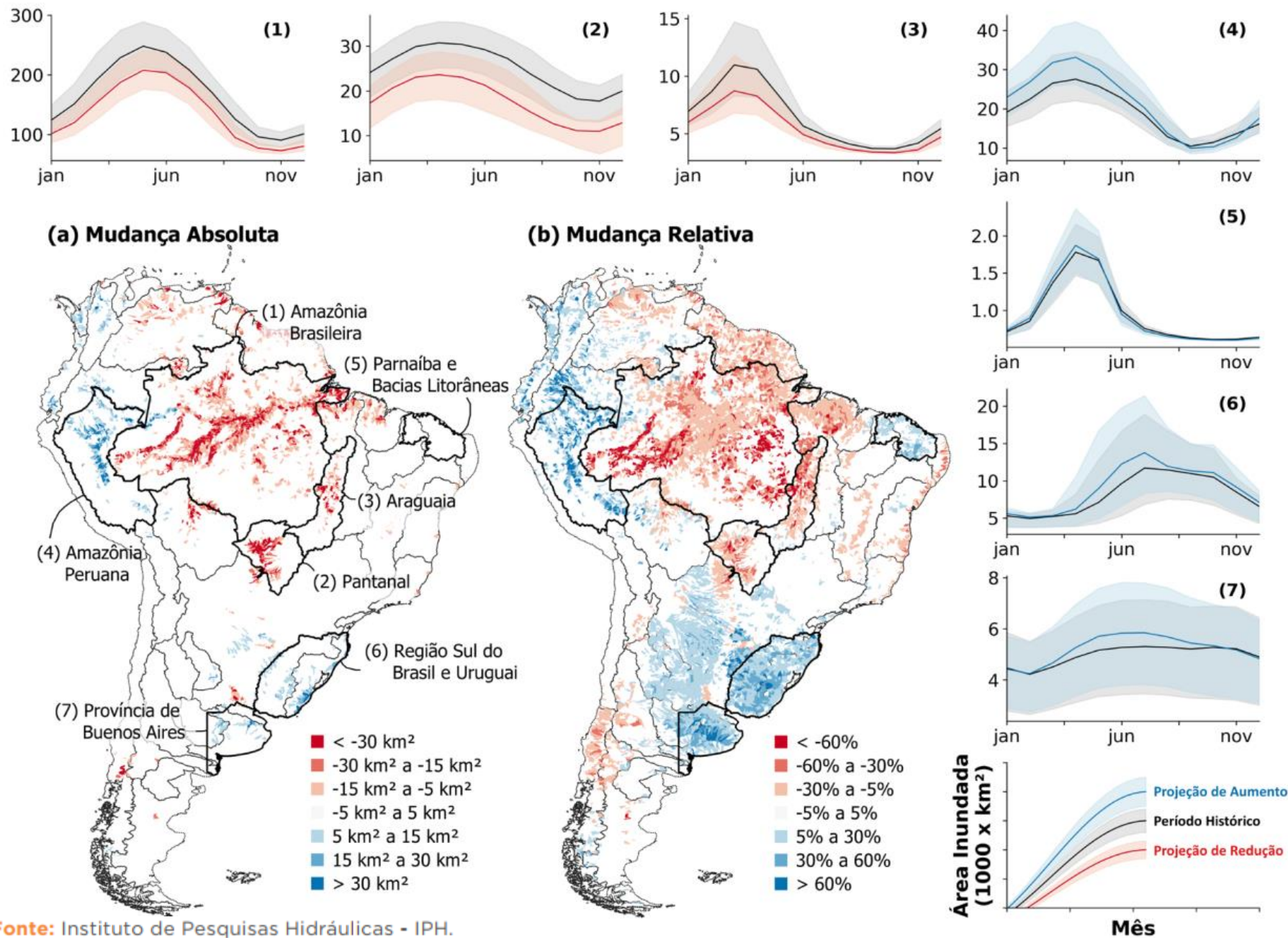


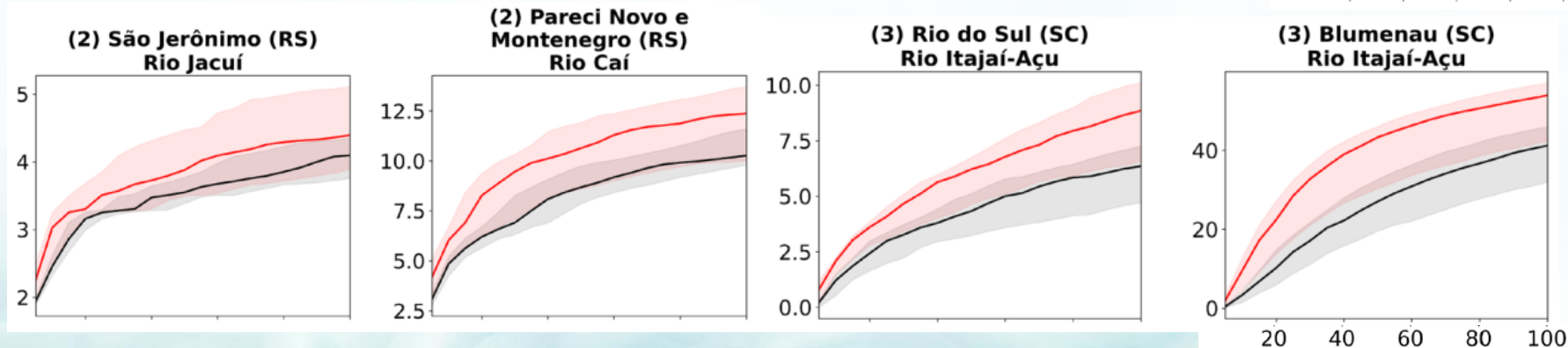
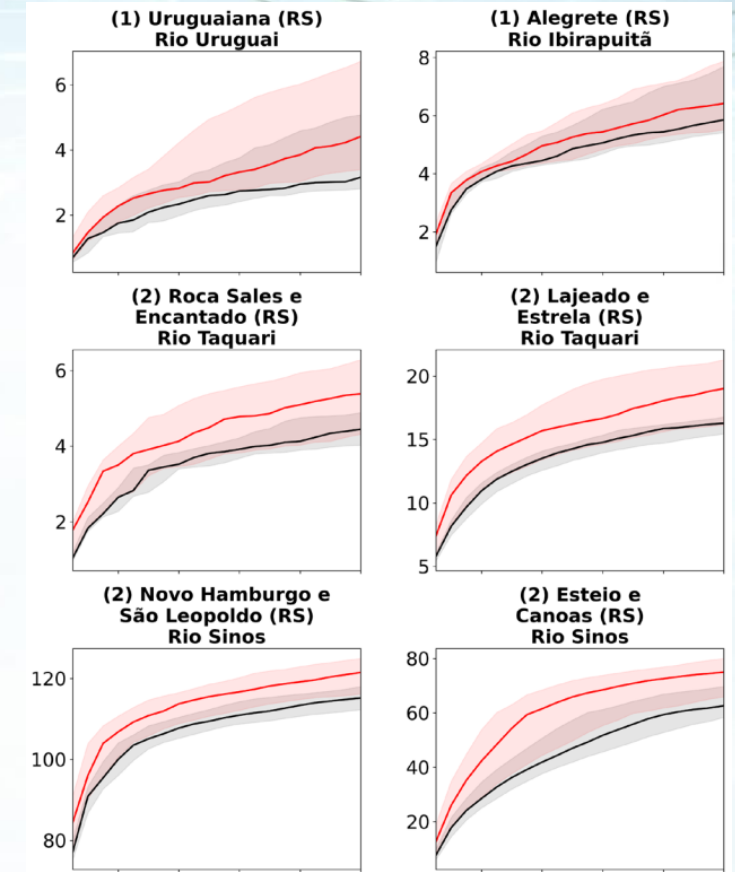
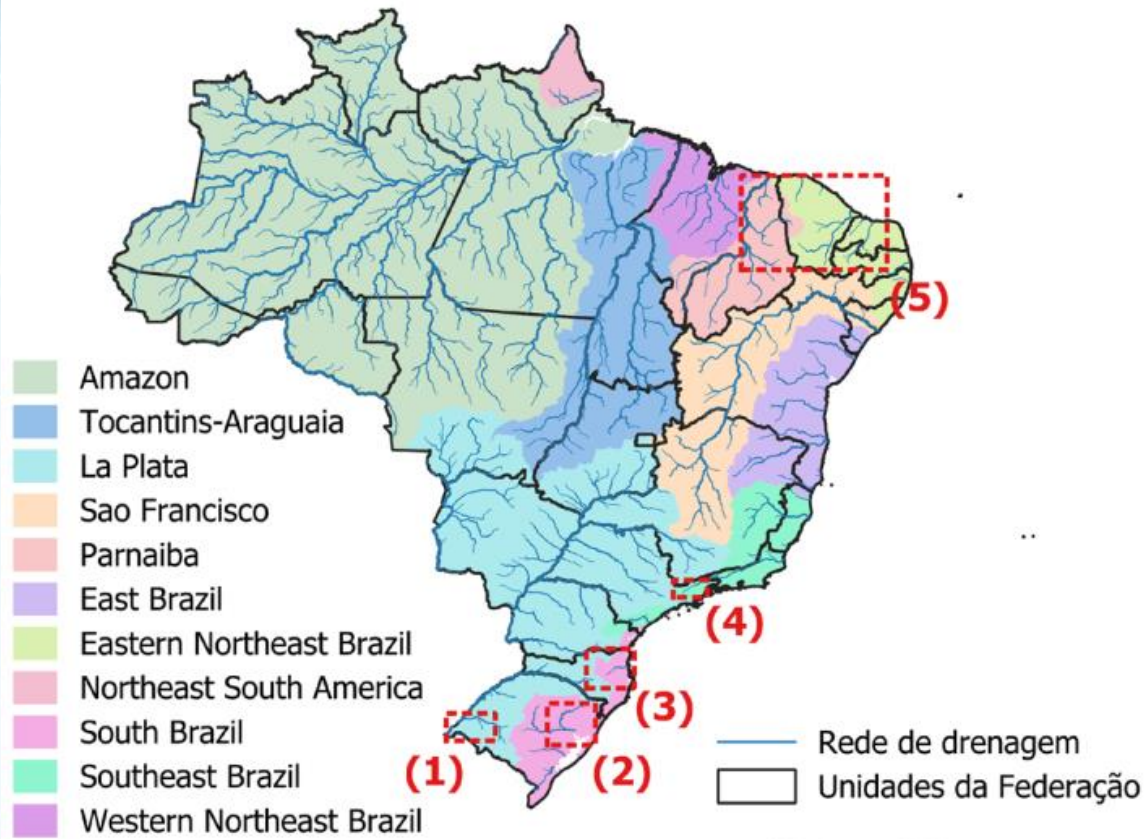
Figura 21 - Fator de alteração do tempo de retorno (FATR) das vazões máximas diárias. Os períodos de retorno futuros para eventos de referência podem ser estimados por: i) multiplicar o período de retorno de referência pelo FATR, e ii) dividir o período de retorno de referência pelo FATR negativo. No mapa, azul (vermelho) indica aumento (redução) na frequência das cheias.

Fonte: Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH.

Áreas Inundáveis

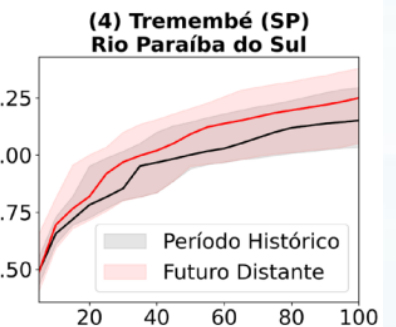
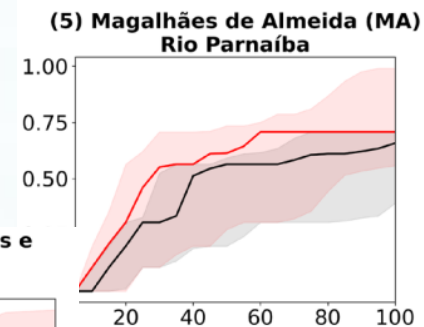
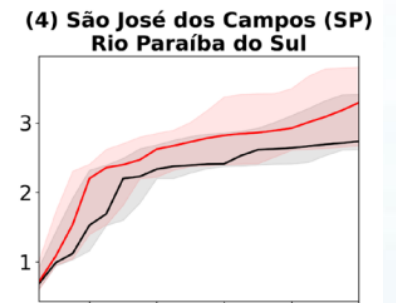
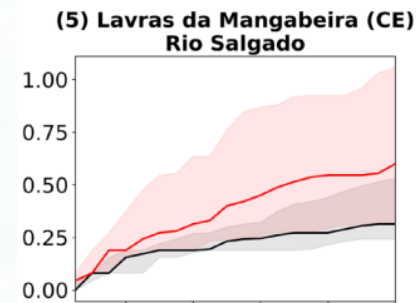
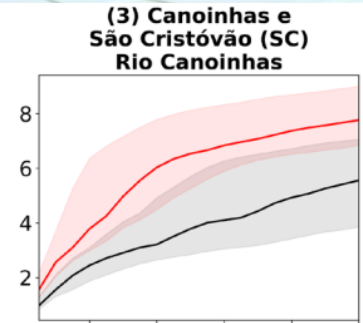
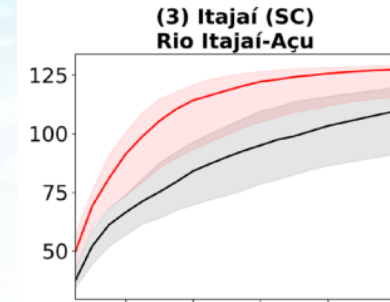
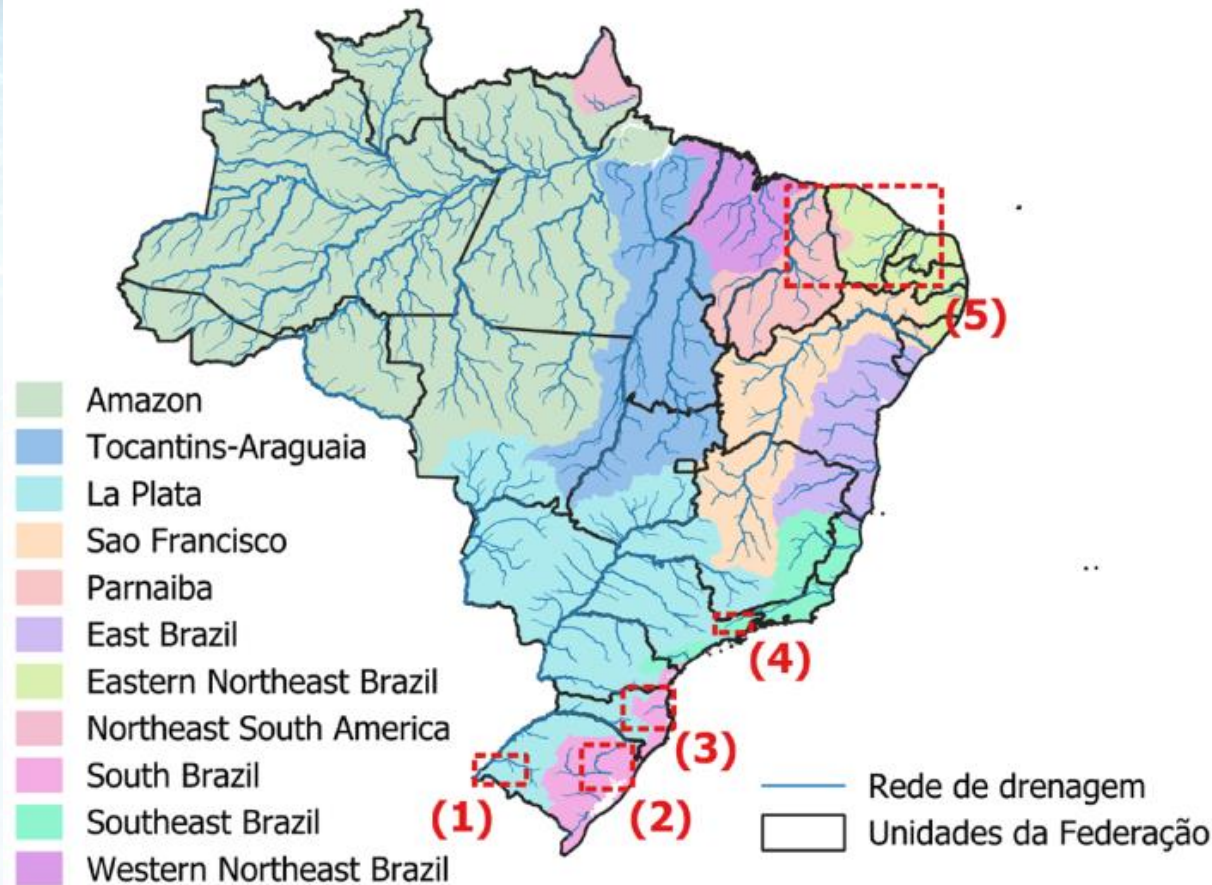


População diretamente afetada x TR

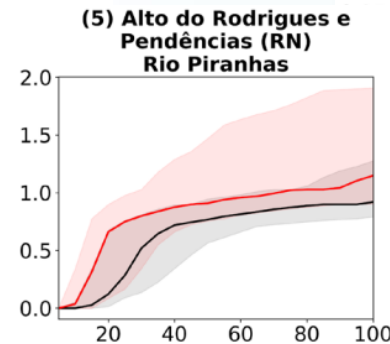
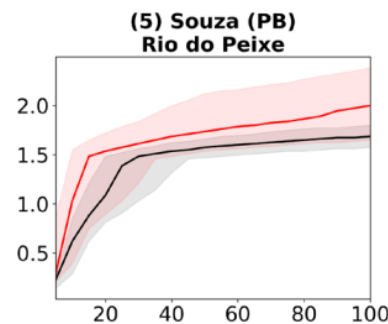
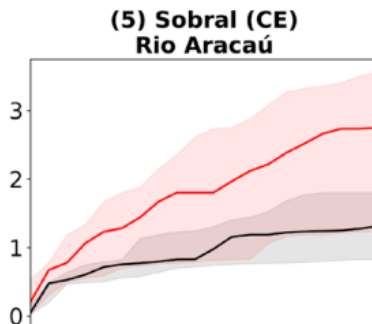
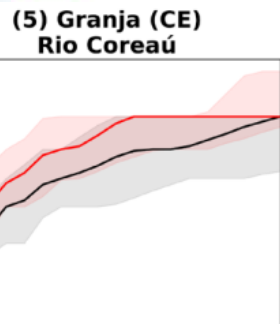


Período Histórico
Futuro Distante

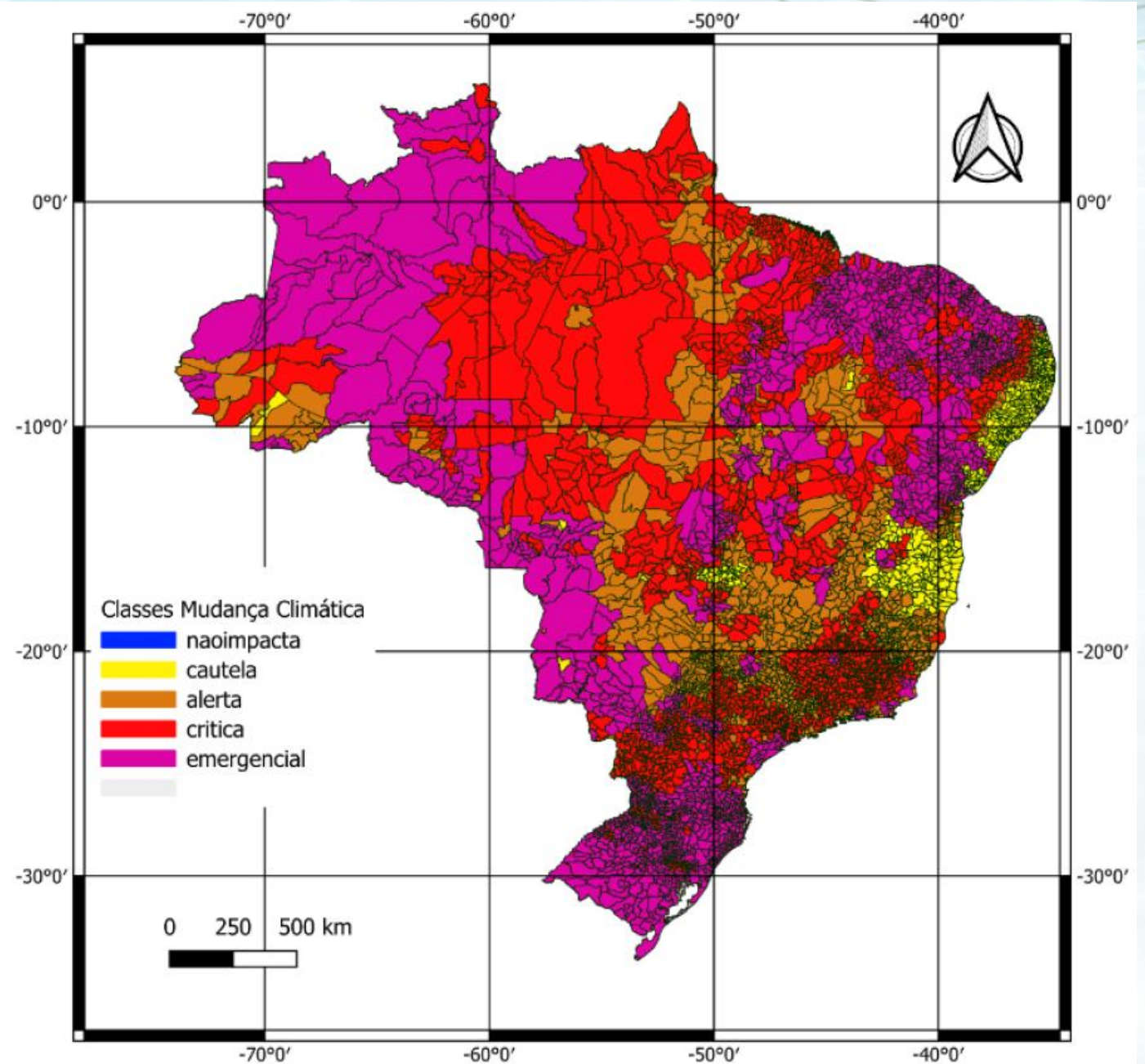
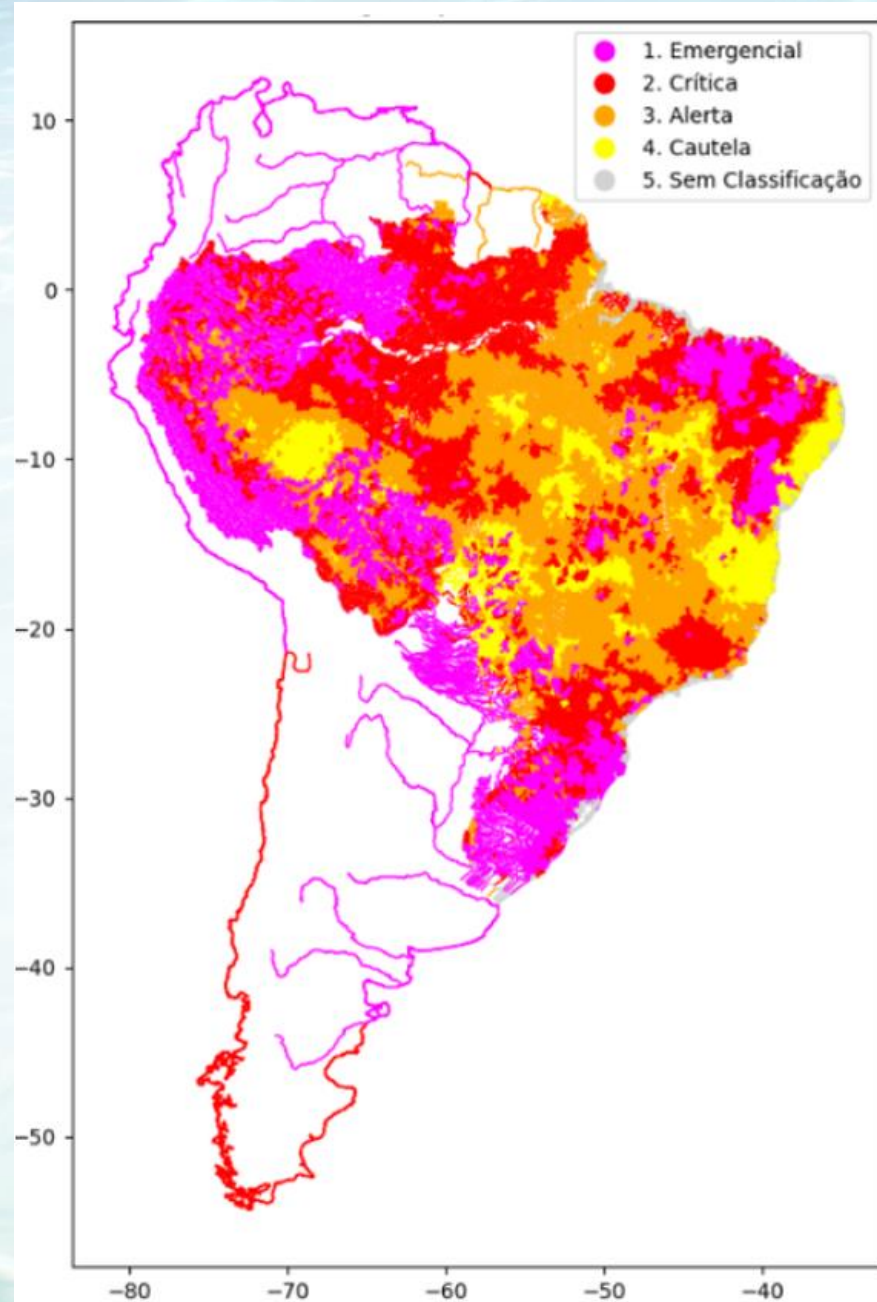
Áreas Inundáveis



Período Histórico
Futuro Distante



Impacto Potencial da MC em Cheias e Inundações



Critérios para Adaptação – Magnitude das Chuvas

Tabela 7 - Fatores regionais de alteração percentual (%) da magnitude da precipitação intensa de 1 e 20 dias de duração, considerando eventos frequentes e raros

Região	UF	Chuvas frequentes (TR $\leq$ 10)		Chuvas raras (TR $>$ 10)	
		1 dia	20 dias	1 dia	20 dias
Sul	RS	15	10	18	11
	SC	14	11	16	15
	PR	12	8.5	15	13
Sudeste	SP	15	3.5	21	7.0
	MG	13	3.7	16	7.6
	RJ	15	3.9	17	6.3
	ES	12	1.1	19	5.1
Centro-Oeste	MS	7.8	4.7	11	8.9
	GO	12	5.0	17	9.1
	DF	10	4.4	15	8.1
	MT	16	4.2	32	7.7
Nordeste	BA	11	6.3	16	10
	SE	3.5	0	6.1	0
	AL	4.9	0	9.5	0
	PE	17	8.5	18	12
	PB	16	7.0	20	9.4
	RN	17	6.5	29	7.8
	PI	20	5.9	31	8.9
	CE	22	5.4	40	7.7
	MA	18	3.4	31	6.4
	TO	14	2.9	21	6.0
Norte	PA_N	22	2.5	40	4.1
	PA_S	17	0.4	31	1.8
	AP	21	0.9	43	3.7
	AM_N	26	3.3	45	6.3
	AM_S	20	2.2	38	4.3
	RR	22	4.2	36	7.3
	RO	17	4.1	30	8.4
	AC	8.5	2.8	9.3	5.6

Exemplo: Um projeto de rede de drenagem no RS deve suportar eventos de chuva máxima de 1 dia, com TR de 10 anos, estimada em 100 mm a partir do histórico observado.

Para considerar o aumento na magnitude da precipitação máxima devido à mudança climática, o projetista deve considerar uma chuva de 115 mm para o dimensionamento (ou seja, um acréscimo de 15%).

Critérios para Adaptação – Frequência das Chuvas

Tabela 8 - Tempos de Retorno (anos) a serem adotados em estimativas de precipitação intensa de 1 dia de duração

TR de referência		2	5	10	25	50	100	200	500	1000
Região	UF	TR adotado para considerar mudança climática								
Sul	RS	3.5	12	30	100	250	600	1250	4000	9000
	SC	3.5	11	30	90	200	450	1250	3000	7000
	PR	3	9.0	25	70	150	350	800	2500	6000
Sudeste	SP	3.5	11	30	100	250	600	1500	5000	>10.000
	MG	3	10	25	80	200	450	1000	3000	8000
	RJ	3.5	12	30	100	250	600	1250	4000	10000
	ES	3	9	25	70	175	400	900	3000	7000
Cen- tro-Oeste	MS	2.5	8	17	50	125	250	600	1750	3500
	GO	3	10	25	90	200	500	1250	3500	9000
	DF	3	9	25	70	150	350	800	2500	5000
	MT	3.5	18	60	300	900	3000	9000	>10.000	>10.000
Nordeste	BA	3	10	25	70	175	400	900	3000	7000
	SE	2.5	6	12	35	80	175	350	900	2000
	AL	2.5	7	15	45	100	250	500	1750	3500
	PE	3.5	12	30	90	250	500	1250	3500	8000
	PB	3.5	13	35	125	300	700	1750	6000	>10.000
	RN	4	20	70	300	900	2500	8000	>10.000	>10.000
	PI	4.5	25	80	400	>1000	3500	10.000	>10.000	>10.000
	CE	5	40	150	>500	>1000	>10.000	>10.000	>10.000	>10.000
	MA	4.5	25	70	350	1000	3000	9000	>10.000	>10.000
Norte	TO	3	12	35	125	350	900	2500	8000	>10.000
	PA_N	4.5	30	100	>500	>1000	6000	>10.000	>10.000	>10.000
	PA_S	4	25	70	350	>1000	3500	10.000	>10.000	>10.000
	AP	4.5	35	150	>500	>1000	>10.000	>10.000	>10.000	>10.000
	AM_N	7	50	200	>500	>1000	>10.000	>10.000	>10.000	>10.000
	AM_S	5	35	125	>500	>1000	8000	>10.000	>10.000	>10.000
	RR	5	30	90	450	>1000	4500	>10.000	>10.000	>10.000
	RO	3.5	18	60	250	700	2000	6000	>10.000	>10.000
	AC	3	8	17	45	100	250	450	1250	3000

Exemplo: Para um projeto de rede de drenagem no Rio Grande do Sul que deve suportar eventos de chuva máxima de 1 dia, com TR de 10 anos, o projetista deve estimar a chuva, a partir do histórico observado, usando um TR de 30 anos. Dessa forma, o aumento na frequência da precipitação máxima de 1 dia devido às mudanças climáticas será considerado no projeto.

O **valor adotado** para o projeto deve ser o **mais restritivo** entre os dois critérios descritos.

Critérios para Adaptação – Magnitude das Cheias

Tabela 10 - Fatores regionais de alteração percentual (%) da magnitude das vazões máximas, considerando eventos frequentes e raros em rios de médio e grande porte (A>1000 km²)

Região	UF	Chelas frequentes (TR≤10)	Chelas raras (TR>10)
Sul	RS	14	13
	SC	17	17
	PR	18	25
Sudeste	SP	6.5	15
	MG	0	2.7
	RJ	2.6	7.3
	ES	0	0.7
Centro-Oeste	MS	0	6.2
	GO	0.7	5.9
	DF	1.8	7.2
Nordeste	MT	0	0
	BA	6.1	10
	SE	0	0
	AL	0	0
	PE	11	16
	PB	16	23
	RN	13	24
	PI	12	14
	CE	13	18
	MA	0	0
Norte	TO	0	2.1
	PA_N	0	0
	PA_S	0	0
	AP	0	0
	AM_N	0	4.4
	AM_S	0	0
	RR	0	0
	RO	0	4.6
	AC	0	0

(*) As estimativas não incluem os grandes rios listados na **Tabela 11**

Fonte: Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH.

Exemplo: Um projeto no Rio Grande do Sul deve suportar eventos de cheia com TR de 50 anos, estimado como 60 m³/s, a partir do histórico observado. O projetista deve considerar uma vazão de 67,8 m³/s para o dimensionamento (13% a mais). Dessa forma, o aumento estimado na magnitude da vazão máxima devido às mudanças climáticas será considerado.

Tabela 11 - Fatores de alteração percentual (%) da magnitude da vazão máxima nos grandes rios brasileiros, considerando eventos frequentes e raros

Rio	Chelas frequentes (TR≤10)	Chelas raras (TR>10)
Solimoes	4.2	3.6
Amazonas	0	0
Paraguai	0	0
Parana	0	0
Uruguai	15	14
Sao Francisco	0	0
Tocantins	0	0
Araguaia	0	0

Fonte: Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH.

Critérios para Adaptação – Frequência das Cheias

Tabela 12 - Tempos de Retorno (anos) a serem adotados em estimativas de vazão máxima em rios de médio e grande porte (A>1000 km²)

TR de referência		2	5	10	25	50	100	200	500	1000
Região	UF	TR adotado para considerar mudança climática								
Sul	RS	3	8	18	50	125	250	500	1500	3000
	SC	3	10	25	70	150	350	800	2500	5000
	PR	2.5	9	25	80	200	450	1250	3500	9000
Sudeste	SP	2.5	7	17	50	125	300	700	2000	5000
	MG	2	5	10	30	60	150	300	800	1750
	RJ	2.5	6	13	35	80	175	350	1000	1250
	ES	2	5	10	25	60	125	250	800	1750
Centro-Oeste	MS	2	5	10	30	70	150	300	900	2000
	GO	2	5	11	35	70	175	400	1250	2500
	DF	2	5	10	30	60	150	300	900	2000
	MT	2	5	10	25	50	125	250	700	1500
Nordeste	BA	2.5	7	13	40	80	175	400	1000	2500
	SE	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
	AL	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
	PE	2.5	9	20	70	150	350	800	2500	5000
	PB	3	11	30	90	250	600	1250	4000	10000
	RN	3	10	25	90	200	500	1250	4000	10000
	PI	2.5	8	17	60	125	300	600	1750	4000
	CE	3	10	25	80	200	500	1250	4000	9000
	MA	2	5	10	30	60	125	250	700	1500
Norte	TO	2	5	10	25	60	125	250	700	1750
	PA_N	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
	PA_S	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
	AP	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
	AM_N	2	6	12	35	80	175	400	1250	3000
	AM_S	2	5	10	25	50	100	200	600	1250
	RR	2	5	10	25	50	100	150	500	1000
	RO	2	5	10	30	70	175	350	1250	2500
	AC	2	5	10	25	50	100	200	500	1000

Exemplo: Para um projeto no Rio Grande do Sul que deve suportar eventos de cheia com TR de 50 anos, o projetista deve estimar o TR de 125 anos a partir do histórico observado. Dessa forma, o aumento estimado na frequência da vazão máxima devido às mudanças climáticas estará contemplado pelo projeto.

O **valor adotado** para o projeto deve ser o **mais restritivo** entre os dois critérios descritos.

Obrigado!

LUCAS EMANUEL PEREIRA CORDEIRO

Especialista em Regulação de Recursos Hídricos e Saneamento Básico
Coordenação de Mudança do Clima - COMUC

lucas.cordeiro@ana.gov.br
comuc@ana.gov.br



MINISTÉRIO DA
INTEGRAÇÃO E DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL

