



I Fórum
de Previsão
de Riscos
Climáticos

Como a Modelagem e a Análise de Risco apoiam a Adaptação no Brasil

Francinelli de Angeli Francisco
AdaptaBrasil MCTI INPE

Conteúdo



I Fórum
de Previsão
de Riscos
Climáticos

01 Contextualização

02 Modelagem climática

03 Análise de risco - AdaptaBrasil



Conheça a palestrante



Francinelli de Angeli Francisco

*Engenheira Florestal, graduada pela
Universidade Federal de Lavras.*

Doutora em Ciências Ambientais pela
Universidade Federal do Pará.

Atua na construção de indicadores e índices
para análise de risco, vulnerabilidades e
sustentabilidade e coordenada a capacitação
da Plataforma AdaptaBrasil, do Ministério de
Ciência, Tecnologia e Inovação com governança
pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.



Contextualização



O que são ameaças climáticas?



Por que precisamos de modelagem?



Como os modelos apoiam decisões reais?



O que são ameaças climáticas?

Mudanças climáticas: transformações a longo prazo nos padrões de temperatura e clima - atividades humanas como principal impulsionador - devido à queima de combustíveis fósseis como carvão, petróleo e gás.

Ameaça climática: é um perigo relacionado ao clima que pode afetar nossa vida

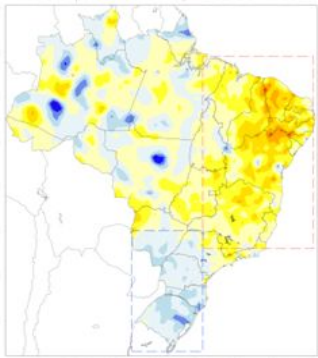
- Chuvas muito intensas;
- Secas prolongadas;
- Aumento de dias de calor extremo;
- Aumento do nível do mar;
- Eventos extremos
(tempestades, ciclones e ondas de calor)



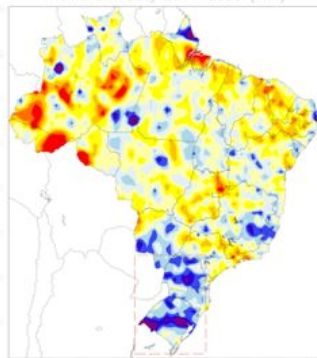
Análise dos últimos 60 anos (1960 – 2020)

Chuva: redução de até 40% interior do Nordeste;
Aumento de até 30% em áreas do Sul. O indicador
influencia na experiência de extremos de chuva no
Sul, conforme mapa precipitação máxima em 5
dias (*RX5Day*).

Anomalia percentual Precipitação 2011–2020

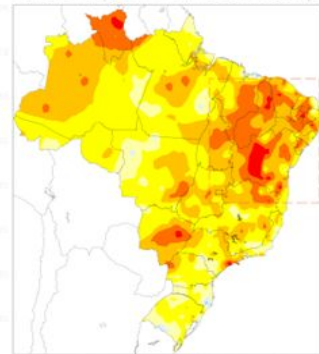


Anomalia RX5day 2011–2020 (mm)



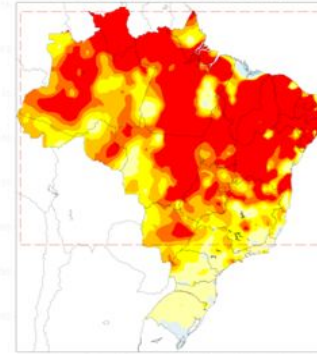
**Temperaturas
máximas:** em algumas
áreas até 3°C mais
quente

Anomalia Temperatura Máxima 2011–2020 (°C)

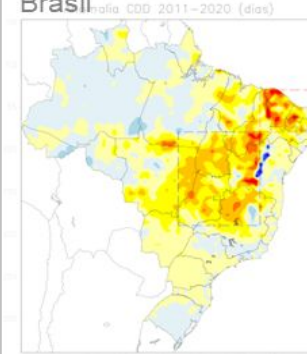


**Número de dias com
ondas de calor:** 07 no
período de referência
para 52 dias na década
recente

Anomalia WSDI 2011–2020 (dias)



**Número de dias
secos consecutivos:**
80/85 para cerca de
100 dias em áreas no
Nordeste e centro do
Brasil



Fonte: INPE/ DIIAV (2023)

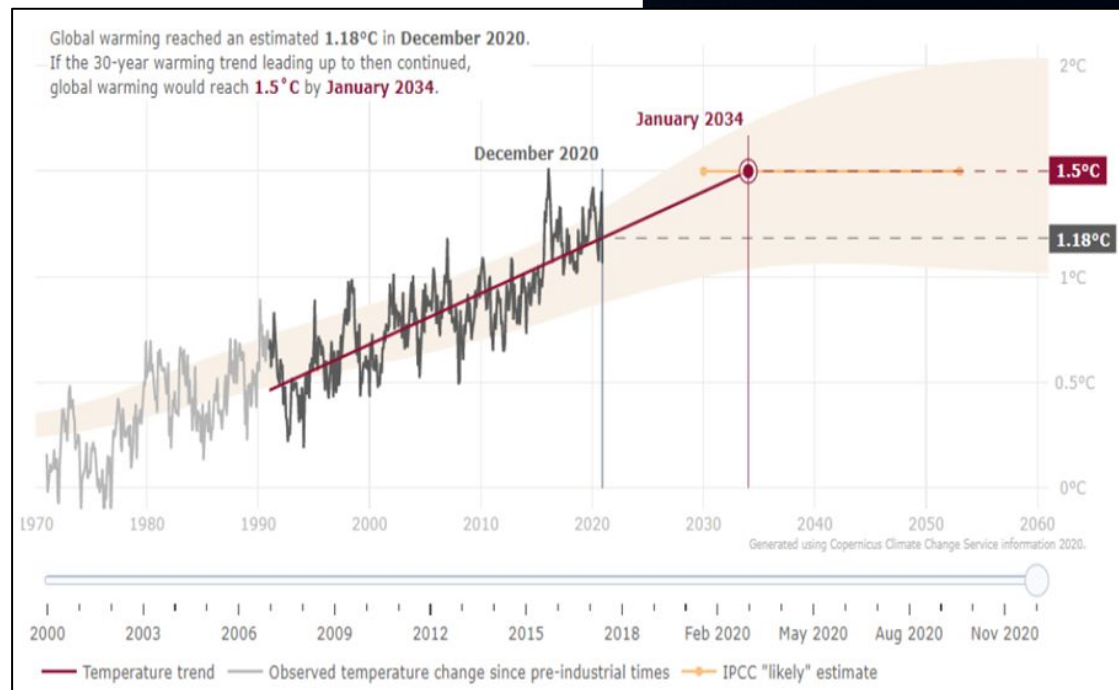


Porque precisamos de modelagem climática?

A modelagem climática é como uma “simulação do clima” que nos ajuda a prever como o planeta pode mudar nos próximos anos e décadas.

- 🔍 Entender e identificar riscos
- 📅 Planejamento
- 💰 Redução de perdas e custos

Transforma dados e ciência em informações que apoiam decisões reais.



Fonte:
2021. <https://climate.copernicus.eu/how-close-are-we-reaching-global-warming-15degc>



Xapuri (AC)



São Leopoldo (RS)



Rio Solimões



Terra indígena Kayapó (PA)



Santarém (PA)



Pantanal

Como os modelos apoiam decisões reais?

Quando entendemos o que pode acontecer, quem pode ser afetado e usamos simulações confiáveis (modelagem), conseguimos tomar decisões mais assertivas, eficientes e com redução de perdas e custos.

Tomar decisões baseadas em evidências — não em suposições



Modelagem



Breve histórico



Limitações dos modelos físicos



Futuro da modelagem com o uso de IA



Modelagem: Breve Histórico

Início do Século XX

Primeiros modelos matemáticos do clima:

Descrever o clima usando **equações físicas** que representam: movimento da atmosfera, radiação solar, temperatura, circulação dos ventos.

Décadas de 1950–1960

Modelagem climática computacional: Os **primeiros Modelos de Circulação Geral (GCMs)**, mostrando o impacto do CO₂ no aquecimento global.

Décadas de 1970–1990

Inclusão de mais partes do sistema climático:

Oceano, gelo, superfície terrestre, vegetação, ciclos de carbono.



Modelagem: Breve Histórico

WCRP — Programa Mundial de Pesquisa do Clima

Instituição internacional que coordena os modelos abaixo alinhados com o Painel Intergovernamental das Mudanças Climáticas (IPCC).

Fim dos anos 1990

Comparação e padronização internacional: **CMIP (Coupled Model Intercomparison Project)**, que permite **comparar modelos climáticos globais**, com várias fases – CMIP 5 e 6.

Iniciou em 2009

CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment): aprimorar as técnicas de **redução de escala climática regional (RCD)** e produzir uma nova geração de projeções climáticas de **alta resolução**.





ETA: Modelo atmosférico regional

Usado para simular e prever o clima e o tempo em alta resolução.

Desenvolvido nos Estados Unidos (pela NOAA) e depois adaptado, ampliado e operacionalizado pelo INPE, tornando-se um dos principais modelos regionais do país, e muito utilizado na América do Sul e especialmente no Brasil.



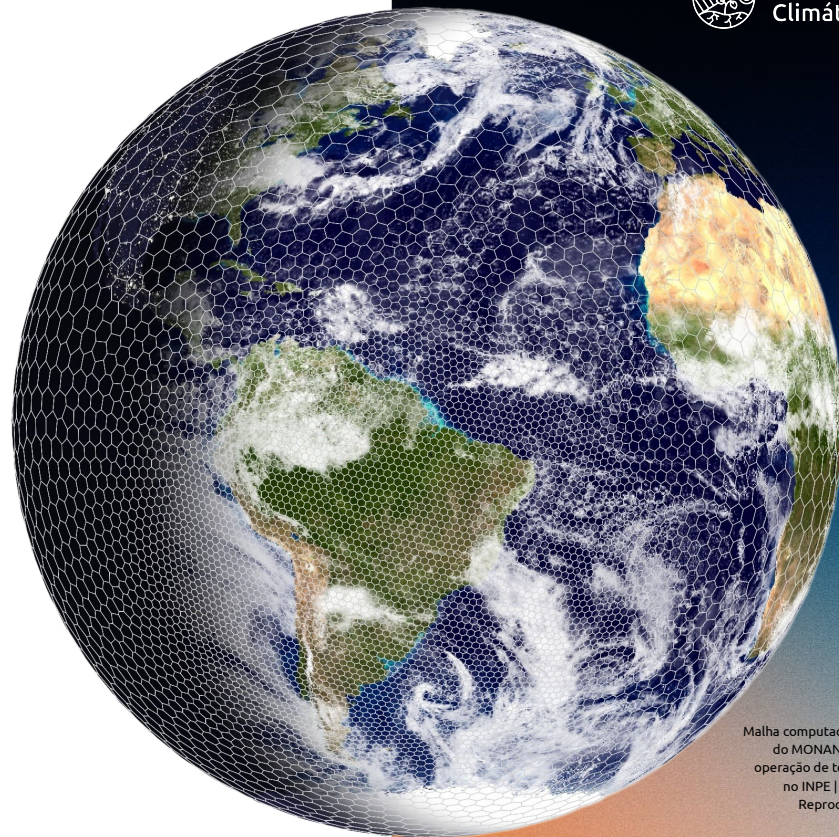
MONAN: Modelo comunitário do sistema terrestre unificado

Abrangendo escala global, continental e regional, em desenvolvimento para Brasil/América do Sul.

INPE (liderança) por meio da Divisão de Modelagem Numérica do Sistema Terrestre, sendo adaptado para as condições tropicais/subtropicais e acoplamento oceano-terra-atmosfera.

Meta: entregar previsões de altíssima resolução — por exemplo uma malha global em torno de ~10 km, com refinamento regional (~3 km) para América do Sul, para previsão de tempo, clima e ambiente.

Parte de um esforço para elevar a previsão de eventos extremos no Brasil (chuvas intensas, ondas de calor, secas) e atender demandas de setores como defesa civil, energia, agricultura.



Malha computacional
do MONAN para
operação de tempo
no INPE | Foto:
Reprodução



Limitações dos Modelos



Modelos de alta resolução exigem grande poder computacional, dados observacionais densos, calibração local — o que representa desafios logísticos e de recursos



Modelos “comunitário/unificado” - há o desafio de integração, padronização, treinamento de usuários e disseminação



Incertezas pré-existentes nos modelos já utilizados e inserção de novas nos modelos novos, especialmente em eventos extremos ou em escalas muito finas



Exige estrutura Robusta



Resolução - dependendo do objeto



I Fórum
de Previsão
de Riscos
Climáticos

Análise de risco



adaptabrasil.mcti.gov.br



Histórico AdaptaBrasil

GOVERNANÇA

Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei 12.187/2009)

Plano Nacional de Adaptação a Mudança do Clima (**PNA**) – 150/2016

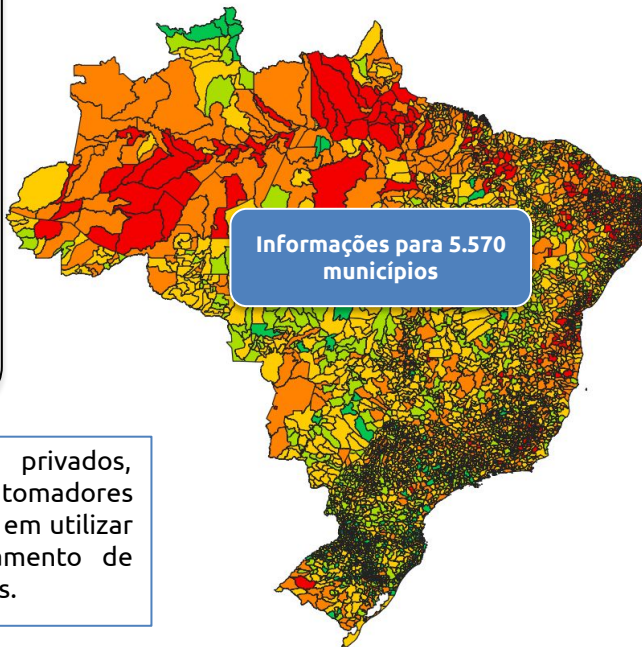
PPA 2020-2023 – Programa 1058 – **Mudança do Clima** – baixo carbono e economia resiliente

PPA 2024-2027 – Contribuição Nacionalmente Determinada (**NDC**) – **Plano Clima Adaptação** tendo o **AdaptaBrasil como subsídio**

Público alvo: Gestores públicos e privados, professores e pesquisadores, empresários, tomadores de decisão, toda a sociedade, interessados em utilizar a Plataforma AdaptaBrasil para Planejamento de Ações de Adaptação às Mudanças Climáticas.



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO



Sistema de Informações e Análises sobre Impactos das Mudanças Climáticas (AdaptaBrasil MCTI)

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, institui o AdaptaBrasil e sua estrutura de governança ([Portaria nº 3.896, de 16 de outubro de 2020.](#))

OBJETIVOS:

- Consolidar, integrar e disseminar informações.
- Possibilitar análises dos impactos da mudança do clima.
- Fornecer informações à tomadores de decisão para ações de adaptação.

EQUIPE:

- INPE
- Doutores e Mestres
- Parceiros

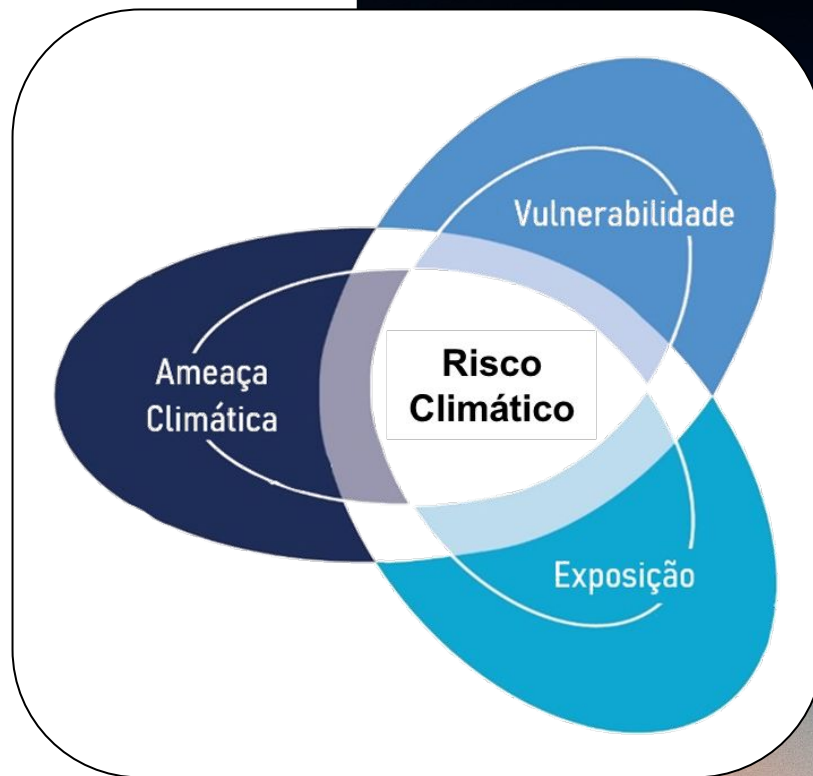
Riscos de Impactos IPCC (2014 - 2022)

Ameaça Climática: estado ou projeção de uma particularidade climática que provavelmente pode afetar o sistema socioecológico.

Exposição: A presença de pessoas; meios de subsistência; espécies ou ecossistemas; funções, serviços e recursos ambientais; a infraestrutura; ou bens económicos, sociais ou culturais em locais e ambientes que possam ser afetados negativamente.

Vulnerabilidade: aspecto intrínseco e a priori que um sistema socioecológico está propenso a ser afetado por ameaças climáticas.

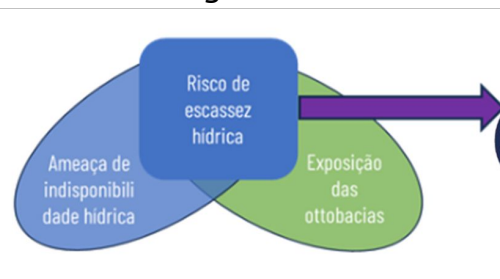
- **Sensibilidade:** grau de alteração que o sistema pode sofrer, direta ou indiretamente (positiva ou negativamente), uma vez em contato com a ameaça climática.
- **Capacidade Adaptativa:** grau em que os elementos do sistema (instituições, pessoas e organizações) estão preparados ex-ante ao possível impacto climático, lidando com oportunidades ou respondendo às consequências (capacidade de resposta).





Risco de Impacto em Cascata

Ciclo hidrológico + Sistema hidrológico



**Setor de
Recursos
Hídricos**

**Setor de
Segurança
Alimentar**

Ciclo hidrológico + Solo



Sistema humano

Modelos utilizados pelo AdaptaBrasil

4CN à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, acrônimo em inglês)

Banco de dados	Regional Climate Models (RCMs)	Global Climate Models (GCMs)
Fonte	Coordinated Regional Downscaling Experiment (CORDEX)	NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections (NEX-GDDP-CMIP6) Climate Change Dataset for Brazil (CLIMBra)
Número de modelos	14 RCMs	5 GCMs
Forçantes	CMIP5 (11 Climatic Global Model – CGMs)	CMIP6 (5 Climatic Global Model – CGMs)
Resoluções espaciais	~ 40 km	~ 20 km
Frequência	Daily	Daily
Escala temporal	Presente (1986-2005), Futuro (2030 e 2050)	Presente (1995-2014), Futuro (2030 e 2050)
Cenários de emissões	RCP4.5 (optimistic), RCP8.5 (pessimistic)	SSP126, SSP245, SSP370, SSP585
Níveis de aquecimento	----	SWL 1.5, SWL 2, SWL 3 or SWL 4

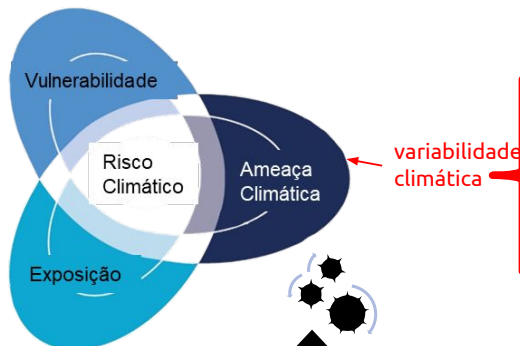
Metodologia: Ameaças Climáticas

Risco de Impacto Climático IPCC (2014-2022)

Mudança Climática

Tipos de Ameaças possíveis:

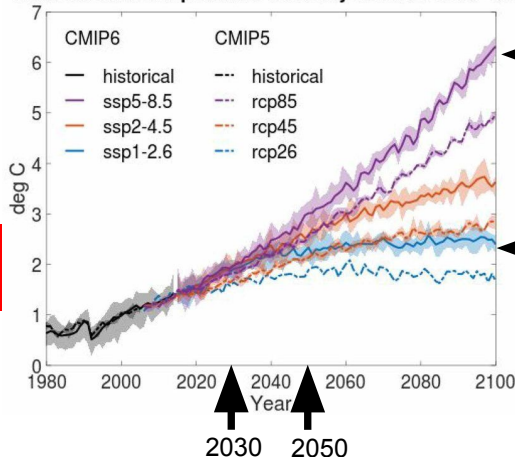
Sensibilidade e Capacidade Adaptativa



Consolidação
com especialistas

Plataforma
WEB

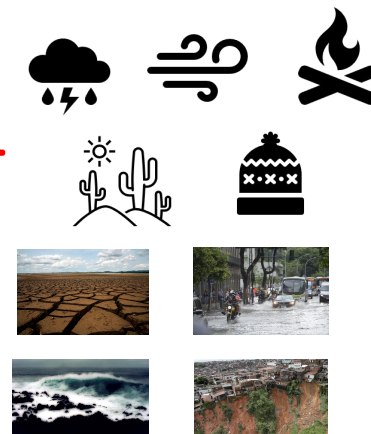
Near surface temperature anomaly relative 1850-1870



CMIP6: Nível de aquecimento global
1,5, 2, 3 e 4°

Pessimista

Otimista

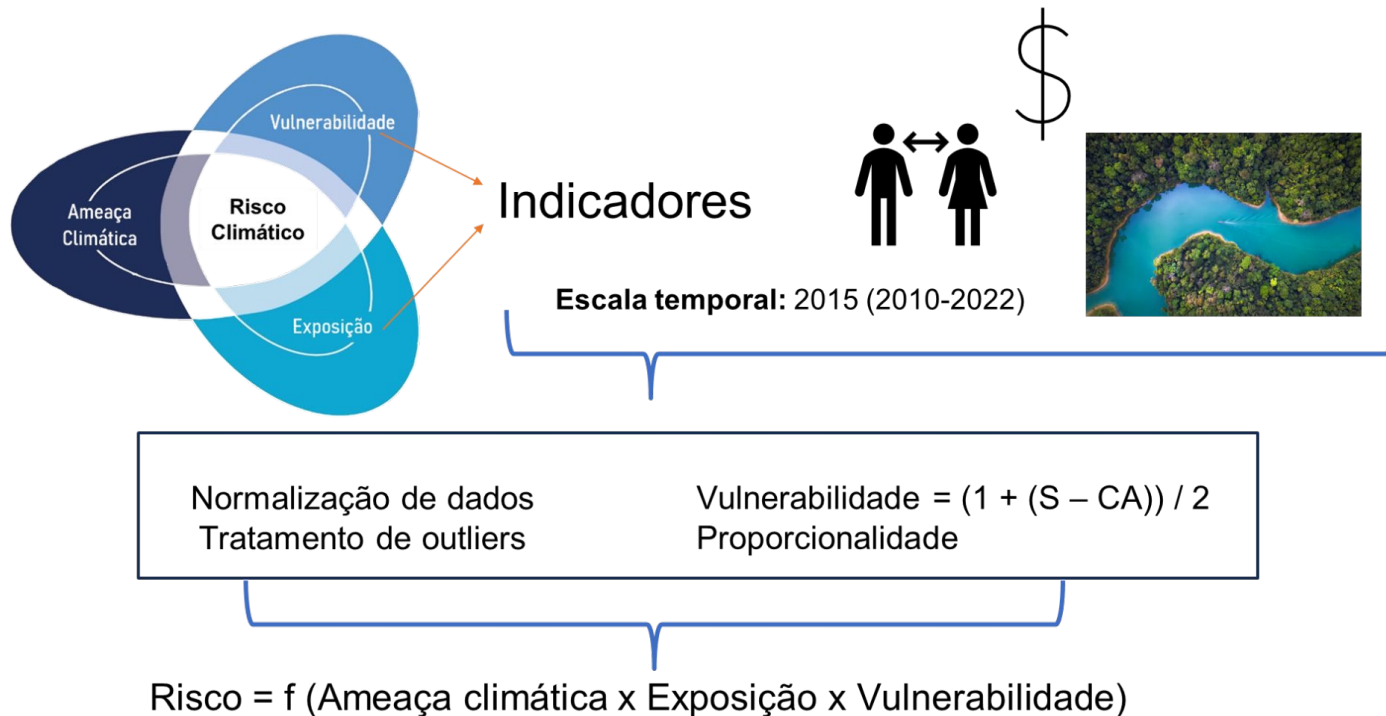


Para cada Setor Estratégico (SE) a pétala de Ameaça atende a uma análise específica, sendo fundamentada na literatura científica a escolha das melhores variáveis e índices para responder ao tipo de mudança climática esperada para aquele SE

Metodologia: Riscos de Impacto



I Fórum
de Previsão
de Riscos
Climáticos



Setores Estratégicos



I Fórum
de Previsão
de Riscos
Climáticos



Recursos Hídricos



Segurança Alimentar



Segurança Energética



Saúde



Infraestrutura Portuária



Desastres Geo-hidrológicos



Infraestrutura ferroviária



Infraestrutura Rodoviária



Biodiversidade

Risco Climático

Base conceitual conforme definições do IPCC

[Saiba mais](#)



Brasil

5570 Municípios



Indicadores de impacto

< [Todos os Impactos](#)

< [Recursos hídricos](#)



Risco de estresse hídrico

Índice de risco de impacto do estresse hídrico

Risco de impacto das mudanças climáticas no balanço hídrico dos sistemas socioecológicos, considerando a ameaça de escassez hídrica.

[Mais sobre esse dado](#)

[Vulnerabilidade](#)

[Exposição](#)

[Ameaça de escassez hídrica](#)

Selecionar visualização



Mapa



Download



Copiar URL



Localizar



Opções

Presente



Selecionar Período



Selecionar Cenário



Índice de risco de impacto do estresse hídrico

Presente



Muito baixo

0,00 a 0,19



Baixo

0,20 a 0,39



Médio

0,40 a 0,59



Alto

0,60 a 0,79

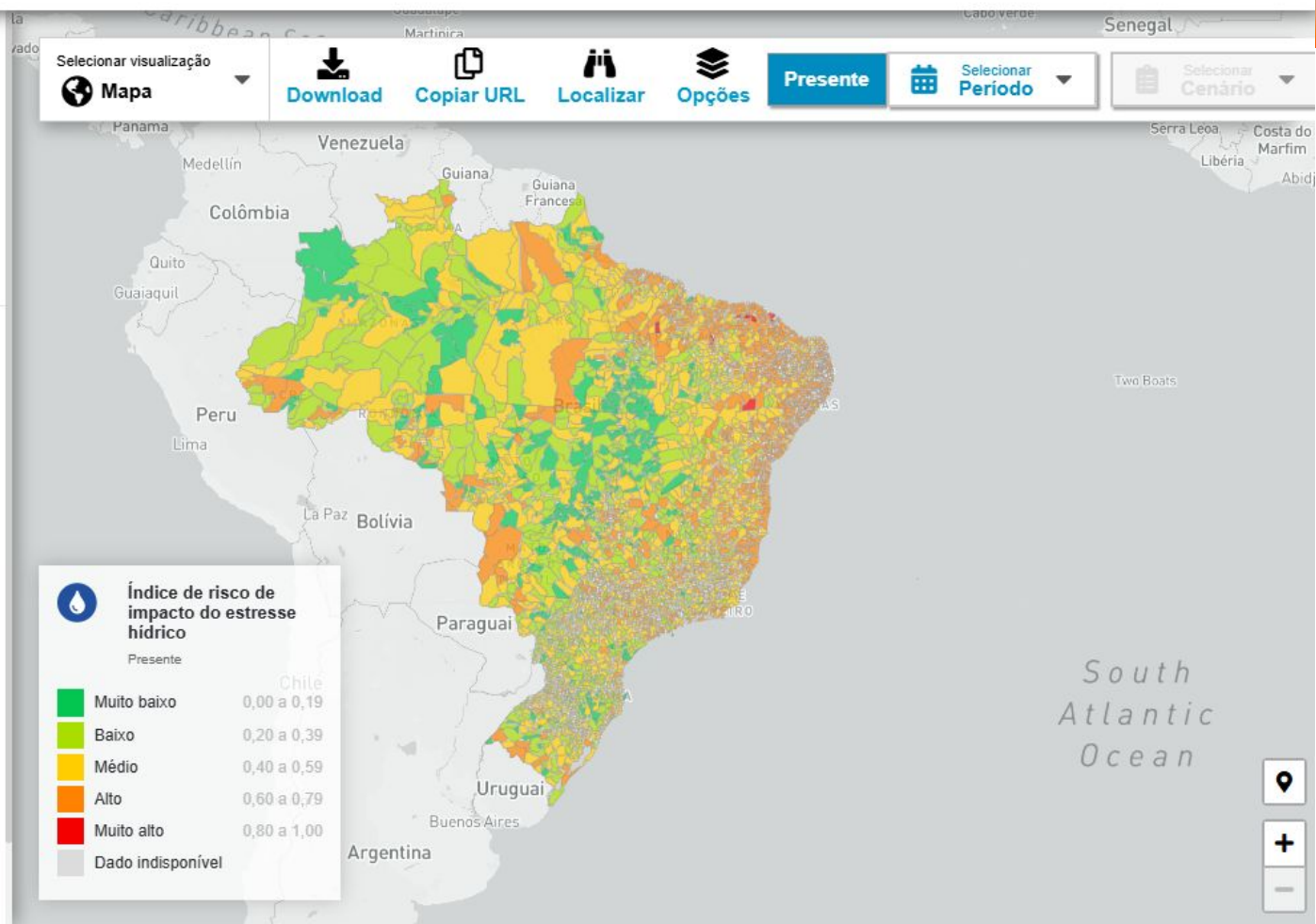


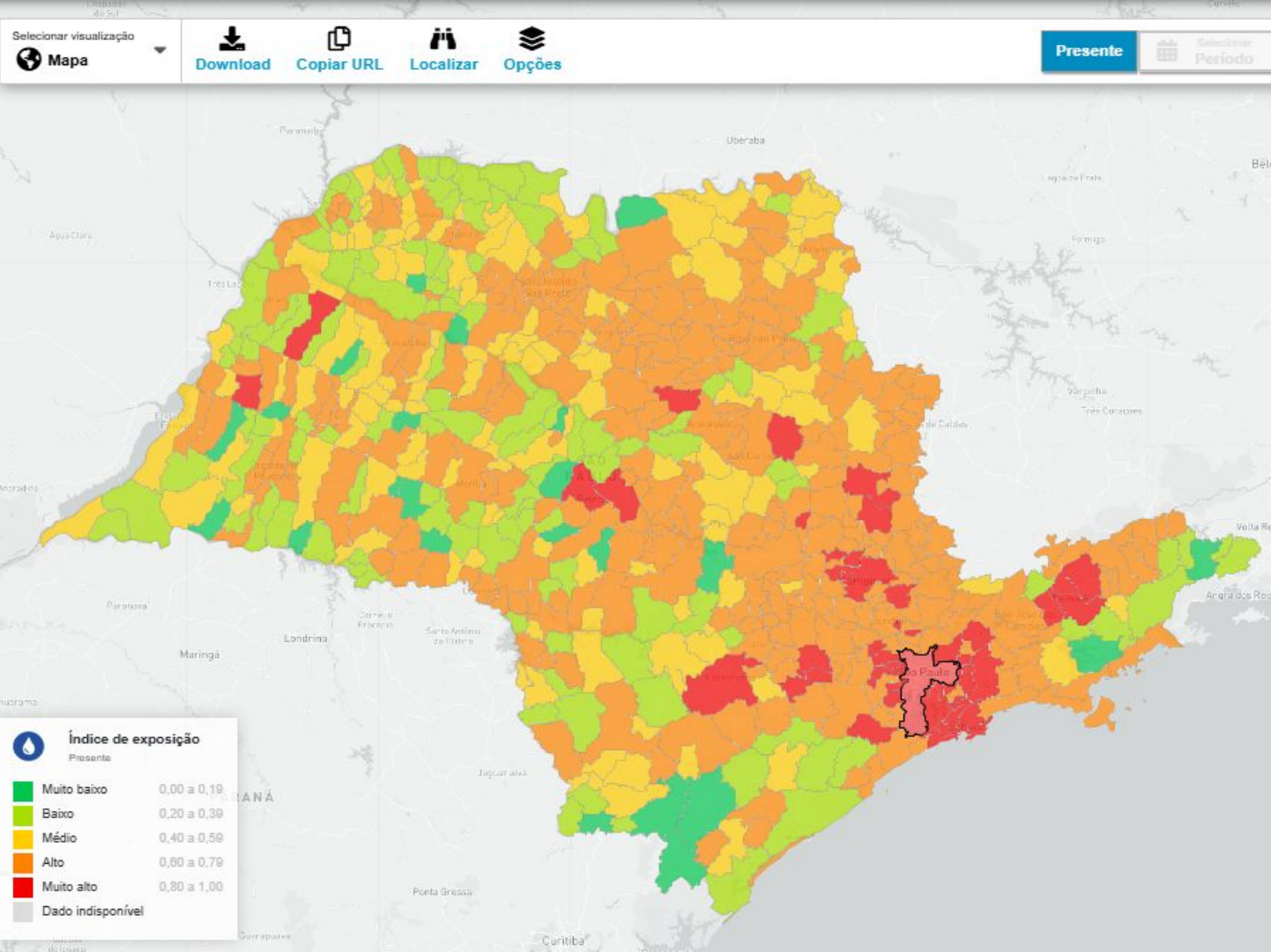
Muito alto

0,80 a 1,00



Dado indisponível







População exposta População exposta



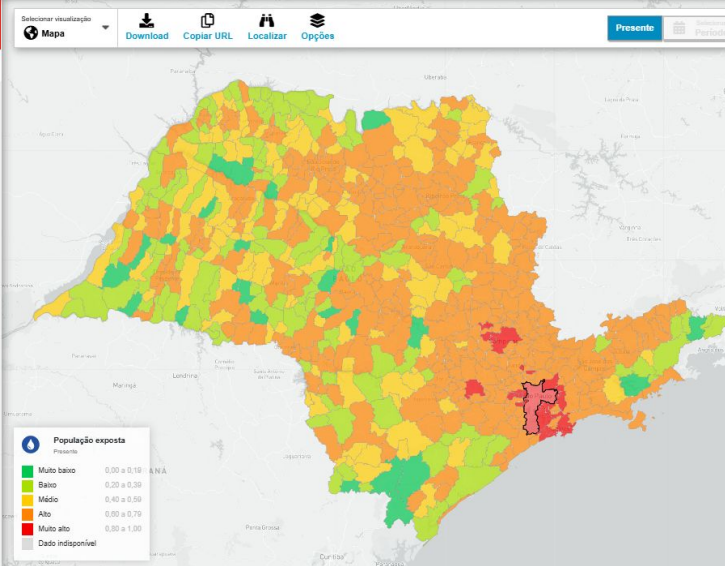
Usuários dos recursos hídricos expostos Usuários dos recursos hídricos expostos



São Paulo
SP

Risco Climático

- < Todos os Impactos
- < Recursos hídricos
- < Risco de estresse hídrico
- < Exposição



São Paulo
SP

Risco Climático

- < Todos os Impactos
- < Recursos hídricos
- < Risco de estresse hídrico
- < Exposição

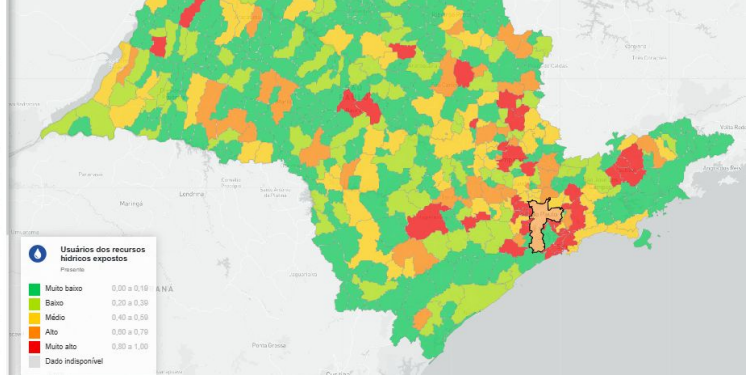


Fatores influenciadores

São Paulo
SP

Risco Climático

- < Todos os Impactos
- < Recursos hídricos
- < Risco de estresse hídrico
- < Exposição



Risco Climático

- Todos os Impactos
- Recursos hídricos
- Risco de estresse hídrico

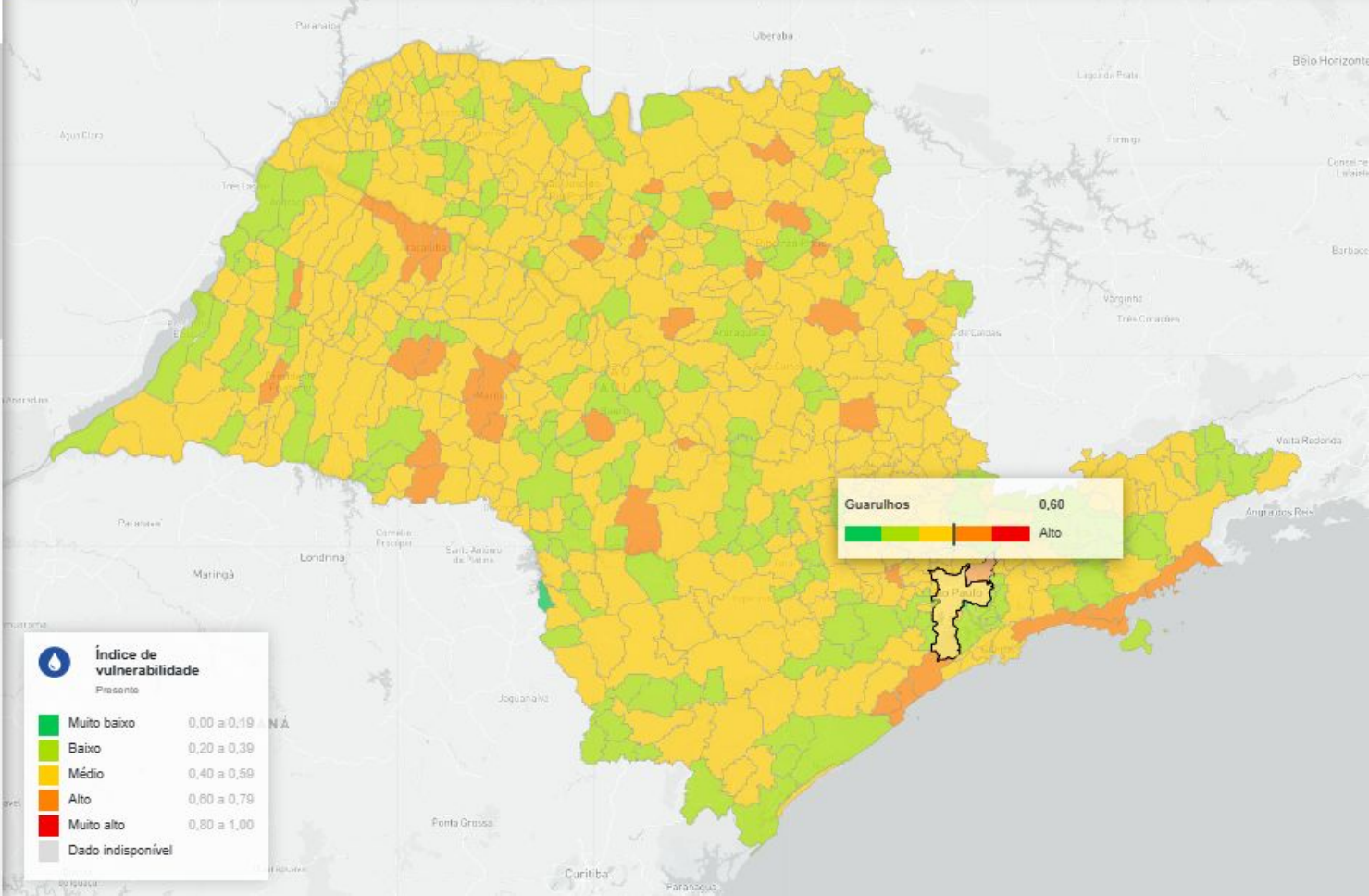


Grau de suscetibilidade de um sistema socioecológico aos efeitos das mudanças climáticas, especificamente aquelas que afetam os recursos hídricos.

Mais sobre esse dado



Fatores influenciadores



Risco Climático

Todos os Impactos

Recursos hídricos

Risco de estresse hídrico

Vulnerabilidade



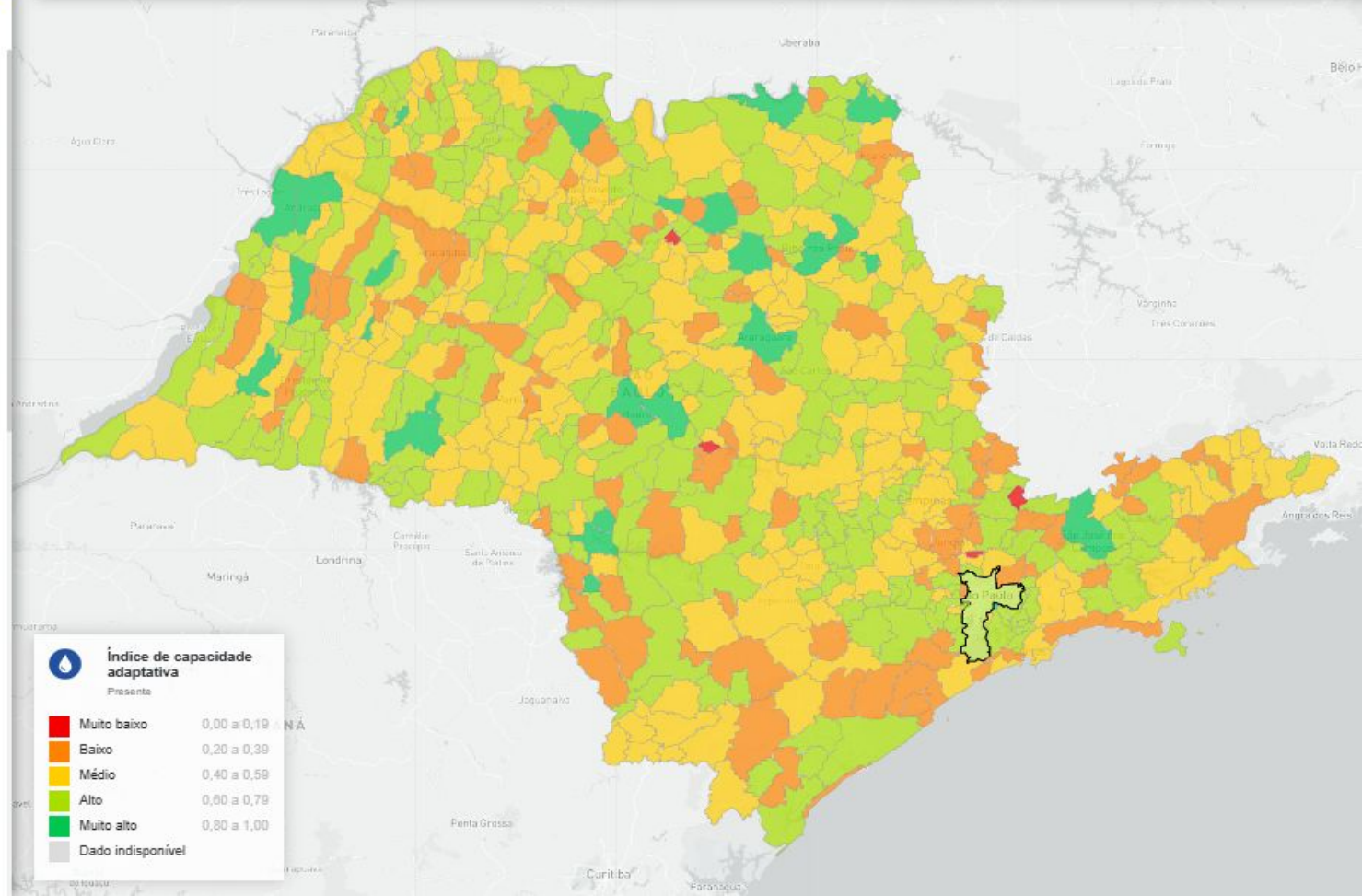
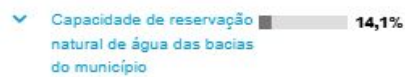
Capacidade do sistema socioecológico de se ajustar a possíveis ameaças climáticas de escassez hídrica.

Mais sobre esse dado

Composição



Fatores influenciadores



Risco Climático

- Todos os Impactos
- Recursos hídricos
- Risco de estresse hídrico
- Vulnerabilidade
- Capacidade adaptativa

Planejamento para recursos hídricos Planejamento e políticas orientadas para o setor de recursos hídricos



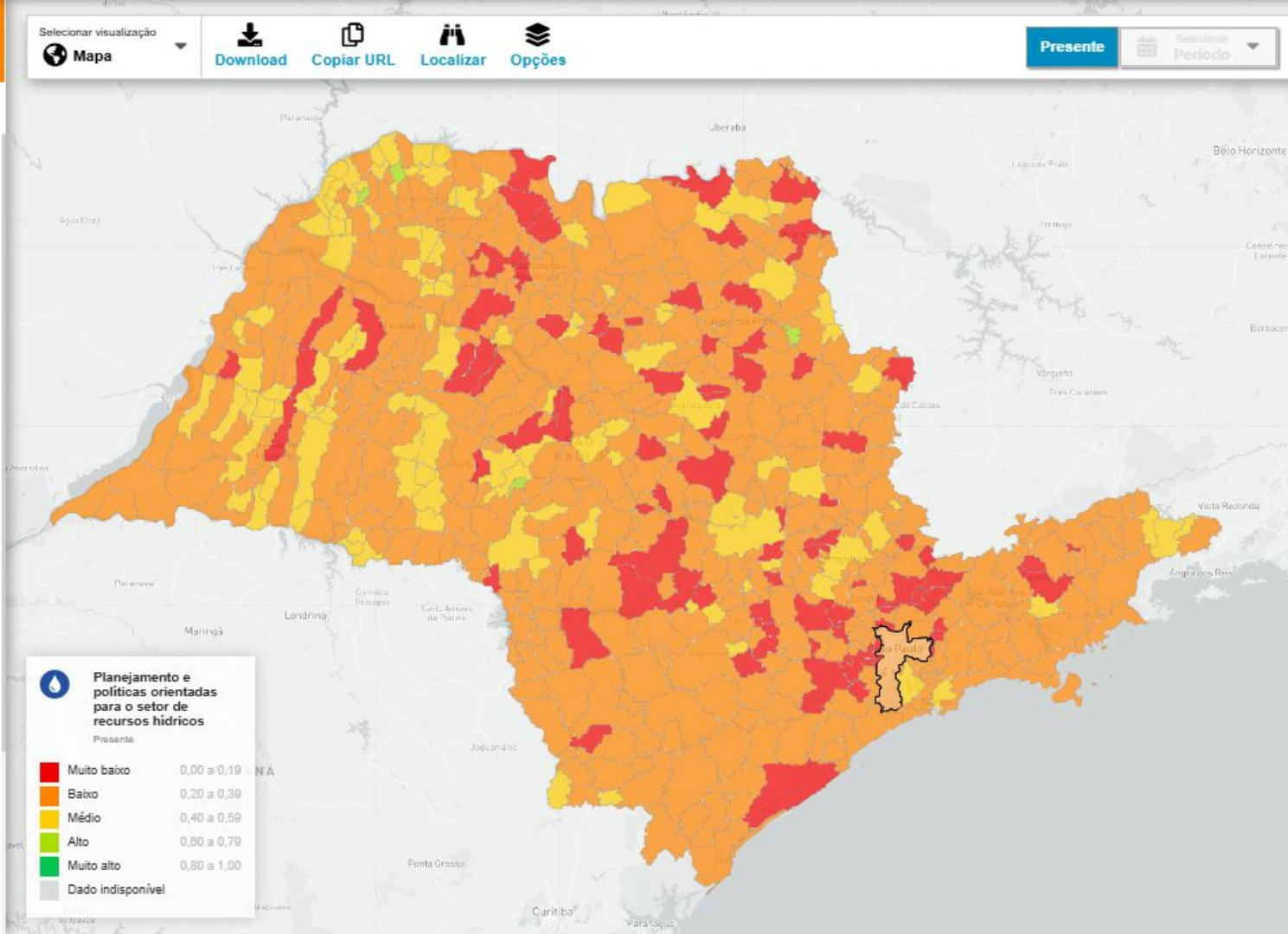
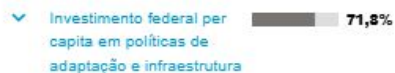
Planejamento e políticas orientadas para o setor de recursos hídricos e fortalecimento de medidas de adaptação.

[Mais sobre esse dado](#)

Composição ?



Fatores influenciadores ?



Risco Climático

- Todos os Impactos
- Recursos hídricos
- Risco de estresse hídrico
- Vulnerabilidade
- Capacidade adaptativa
- Planejamento para recursos hídricos

 Investimentos em recursos hídricos

Investimento federal per capita em políticas destinados aos recursos hídricos

0,00

Muito baixo

1,00

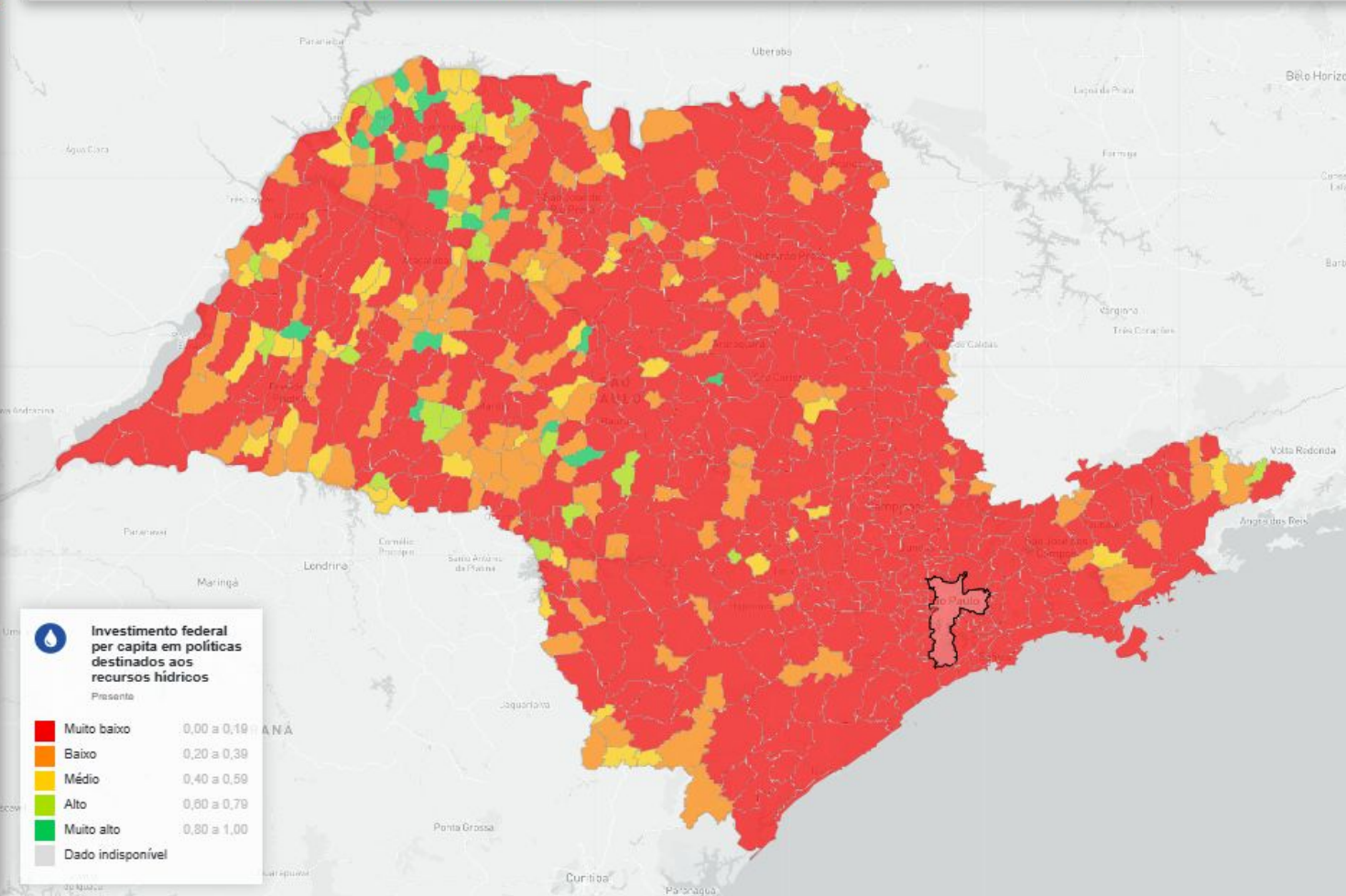
Valor per capita das transferências governamentais destinadas às políticas de recursos hídricos.

[Mais sobre esse dado](#)

 Investimento federal per capita em políticas destinados aos recursos hídricos

Presente

Muito baixo	0,00 a 0,19
Baixo	0,20 a 0,39
Médio	0,40 a 0,59
Alto	0,60 a 0,79
Muito alto	0,80 a 1,00
Dado indisponível	





Riscos relacionados a desastres geo-hidrológicos



Risco Climático

Base conceitual conforme definições do IPCC

Saiba mais

Brasil

5570 Municípios

Indicadores de impacto

- Todos os Impactos
- Desastres geo-hidrológicos

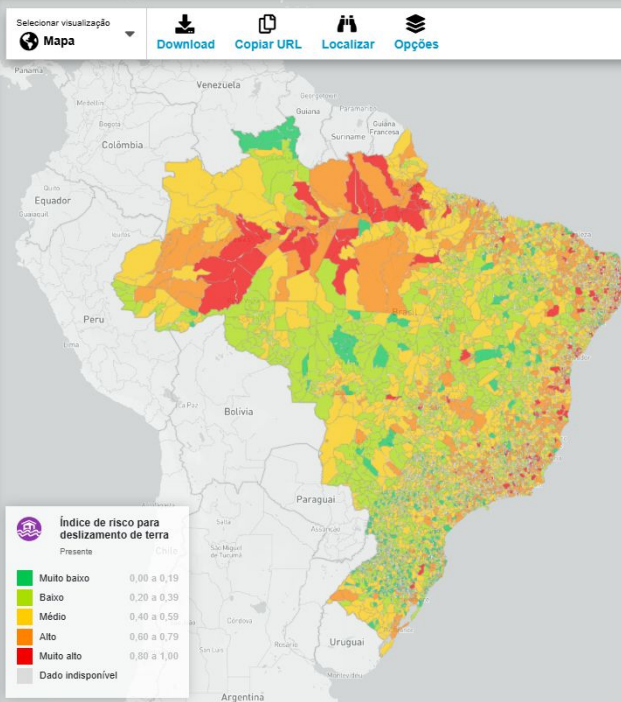
Deslizamento de terra

Índice de risco para deslizamento de terra

Risco de impacto das mudanças climáticas em sistemas socioecológicos, considerando a ameaça de desastres geo-hidrológicos no evento de deslizamento de terra.

Mais sobre esse dado

- Vulnerabilidade
- Exposição
- Ameaça



Risco Climático

Base conceitual conforme definições do IPCC

Saiba mais

Brasil

5570 Municípios

Indicadores de impacto

- Todos os Impactos
- Desastres geo-hidrológicos

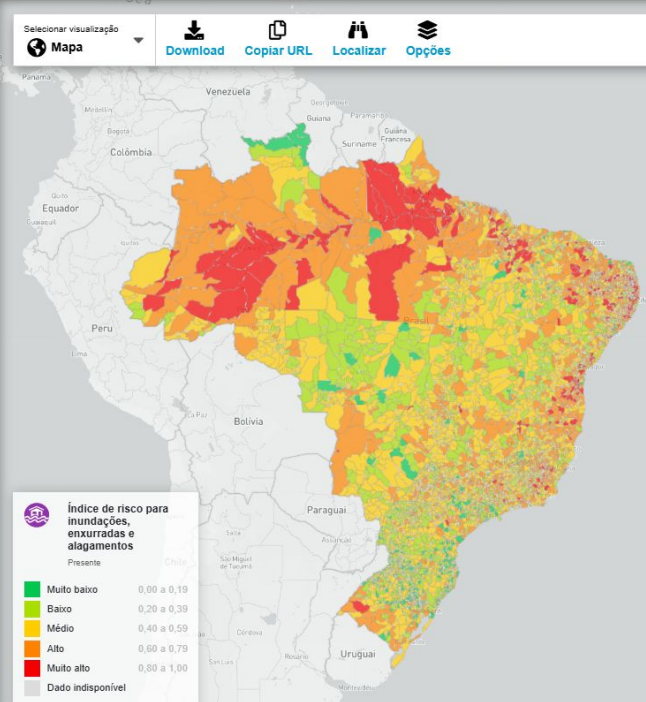
Inundações, enxurradas e alagamentos

Índice de risco para inundações, enxurradas e alagamentos

Risco de impacto das mudanças climáticas em sistemas socioecológicos, considerando a ameaça de desastres geo-hidrológicos no evento de inundações, enxurradas e alagamentos.

Mais sobre esse dado

- Vulnerabilidade
- Exposição
- Ameaça





Riscos relacionados a desastres geo-hidrológicos

Risco Climático

Base conceitual conforme definições do IPCC

[Saiba mais](#)

São Paulo ▼

645 Municípios ▼

Indicadores de impacto

- [Todos os Impactos](#)
- [Desastres geo-hidrológicos](#)

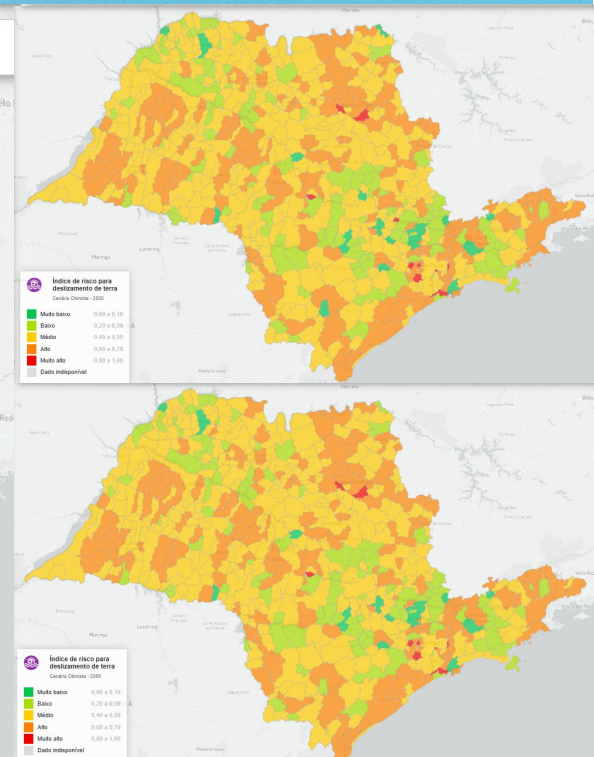
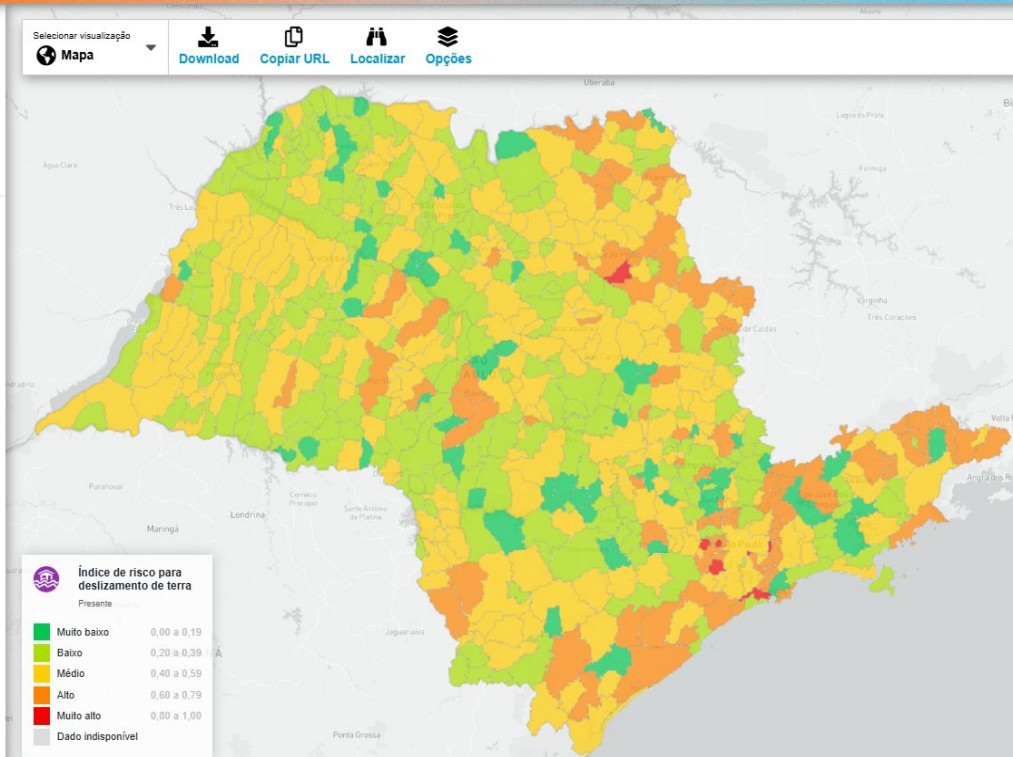
Deslizamento de terra

Índice de risco para deslizamento de terra

Risco de impacto das mudanças climáticas em sistemas socioecológicos, considerando a ameaça de desastre geo-hidrológico no evento de deslizamento de terra.

[Mais sobre esse dado](#)

- [Vulnerabilidade](#)
- [Exposição](#)
- [Ameaça](#)





Riscos relacionados a desastres geo-hidrológicos

Risco Climático

Base conceitual conforme definições do IPCC

Saiba mais

📍 São Paulo

645 Municípios

🔍 Indicadores de impacto

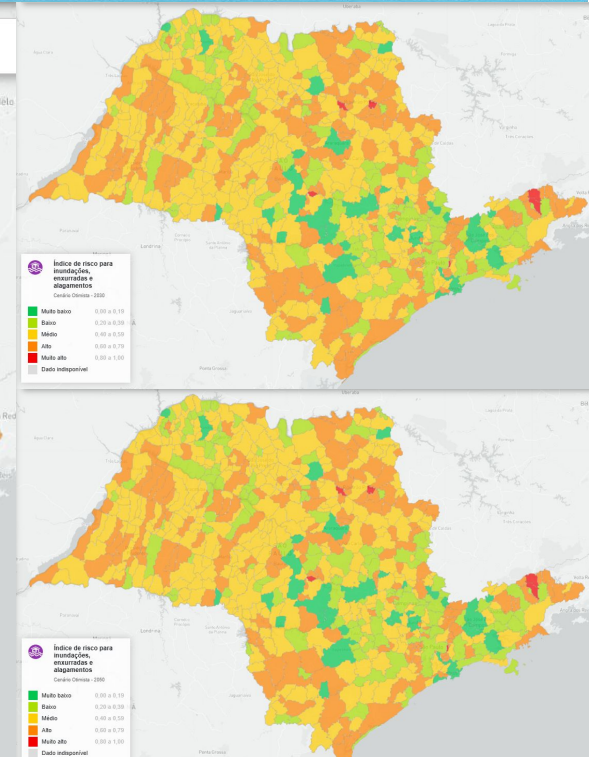
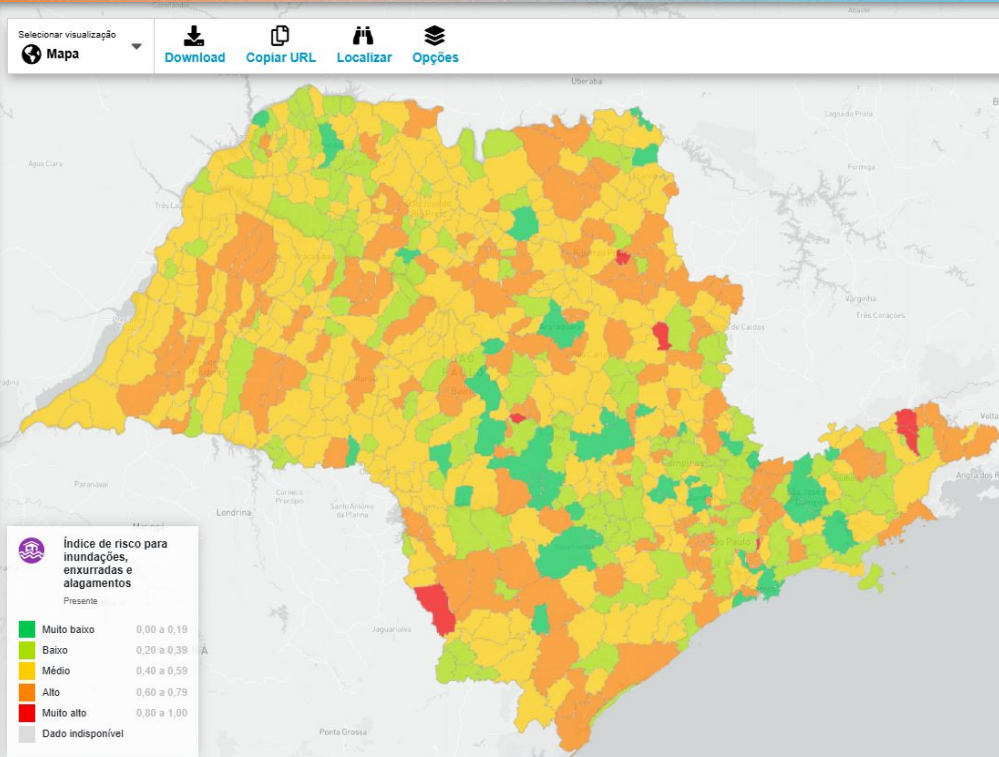
- < Todos os Impactos
- < Desastres geo-hidrológicos

Inundações, enxurradas e alagamentos Índice de risco para inundações, enxurradas e alagamentos

Risco de impacto das mudanças climáticas em sistemas socioecológicos, considerando a ameaça de desastres geo-hidrológicos no evento de inundações, enxurradas e alagamentos.

Mais sobre esse dado

- Vulnerabilidade
- Exposição
- Ameaça



O clima está mudando e os eventos extremos estão cada vez mais frequentes e intensos. Modelar o clima e entender os riscos é o primeiro passo.

A ciência, tecnologia e política pública precisam caminhar juntas para proteger vidas, reduzir desigualdades e fortalecer a resiliência do Brasil.

A adaptação começa quando transformamos informação em ação - que cada decisão, em cada nível, seja guiada pelo melhor da ciência e pelo compromisso com um Brasil mais preparado e mais resiliente.



Obrigada!

✉ francinelli.vale@inpe.br



I Fórum
de Previsão
de Riscos
Climáticos