



Água subterrânea para a sociedade, economia e ecologia do país: oportunidades e desafios

komorebi

PROF. RICARDO HIRATA
[CEPAS | Universidade de São Paulo](#)



Os números da água subterrânea no Brasil:

embora seja o recurso mais extraído do subsolo, é ainda um desconhecido

- 9º país em exploração
- Retiradas 21.100 Mm³/a (668 m³/s), suficientes para abastecer toda a população brasileira
- 52% das cidades são total ou parcialmente abastecidas com água subterrânea, atendendo a 18% de sua população
- É no abastecimento privado a força da água subterrânea

País	Extração de água subterrânea			
	Vazão anual estimada em 2010 (Mm ³ /ano)	Uso na irrigação (%)	Uso doméstico e urbano (%)	Uso industrial (%)
Índia	251.000	89	9	2
China	111.950	54	20	26
Estados Unidos	111.700	71	23	6
Paquistão	64.820	94	6	0
Irã	63.400	87	11	2
Bangladesh	30.210	86	13	1
México	29.450	72	22	6
Arábia Saudita	24.240	92	5	3
Brasil	21.100	24 (*)	66 (**) 10	
Indonésia	14.930	2	93	5
Turquia	13.220	60	32	8
Rússia	11.620	3	79	18
Síria	11.290	90	5	5
Japão	10.940	23	29	48
Tailândia	10.740	14	60	26
Itália	10.400	67	23	10

O desconhecimento do papel econômico das águas subterrâneas

- O abastecimento **privado**, através de autoabastecimento na cidade e o suprimento de água no campo são fundamentais para a **segurança hídrica** e a **produção agrícola**
- A vazão de 668 m³/s de água subterrânea gera um **valor econômico de R\$ 39,7 bilhões/ano** (cidade R\$ 32,4 bi/ano e campo R\$ 7,3 bi/ano)
- O valor de todos os **3 milhões de poços tubulares** (CAPEX) é de **R\$ 100 bilhões** (~4 anos de investimento em saneamento, 2023)

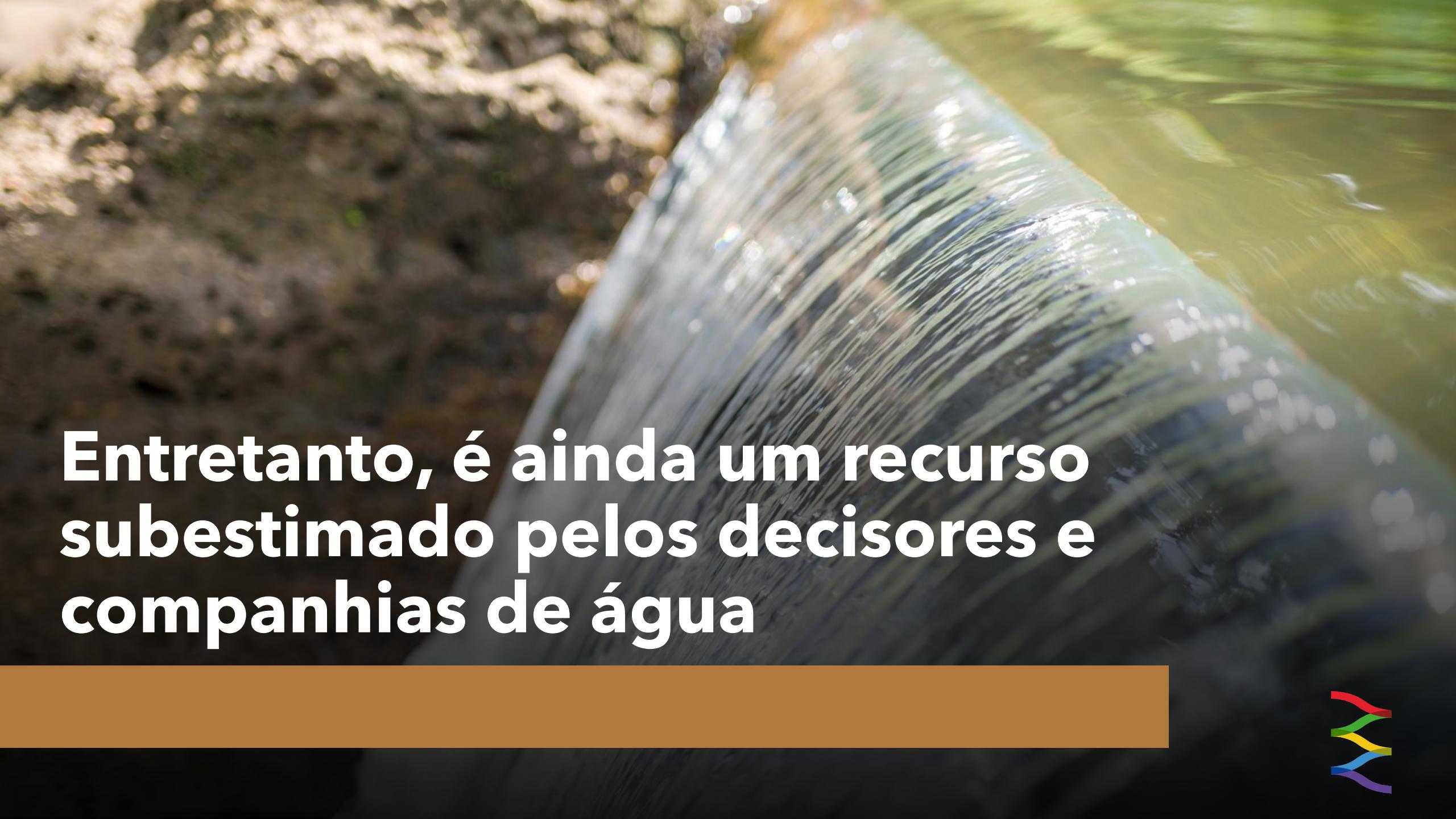


> As águas subterrâneas estão ligadas a 90% dos rios, através do fluxo de base (ANA, 2010) e 95% dos mangues e pântanos do país (Hirata et al 2019)

> 30-60% da vazão total do rio vem da descarga de aquíferos ou seja é a descarga de aquíferos que mantém os rios funcionando na seca

O desconhecimento do papel ecológico das águas subterrâneas





**Entretanto, é ainda um recurso
subestimado pelos decisores e
companhias de água**



O desconhecimento da relevância das águas subterrâneas na Região Metropolitana de São Paulo

- População: 22 milhões de habitantes
- Produção de abastecimento público de água: $64 \text{ m}^3/\text{s}$, 99% de fontes superficiais
- Entretanto, há >13.000 poços privados, extraíndo $>11\text{m}^3/\text{s}$
- Em vez de 1%, as águas subterrâneas respondem por **15% do abastecimento** de São Paulo; durante a crise de 2014, $>25\%$



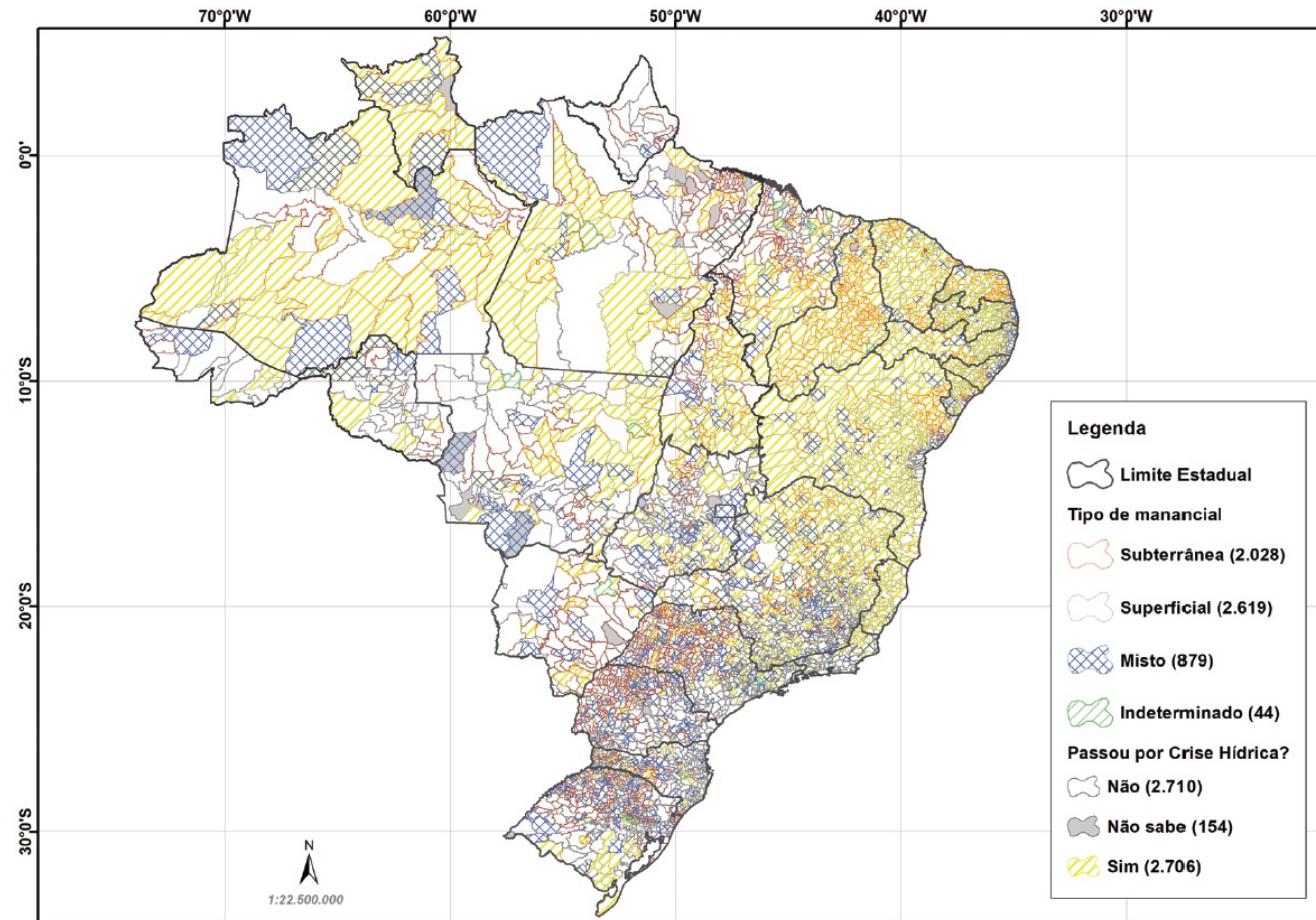
Foto: Ana Paula Hirama

O papel social da água subterrânea

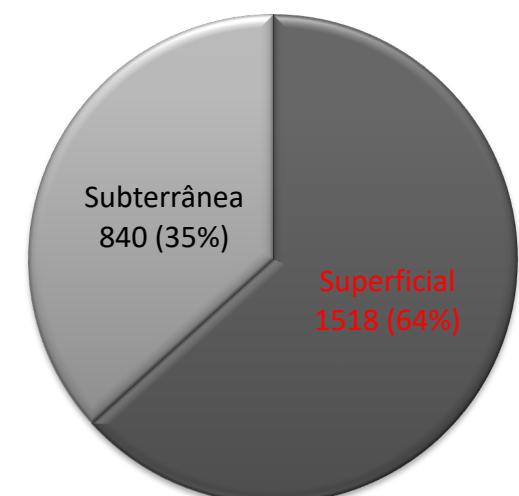
- 35 milhões de pessoas pelo país não recebem água tratada e 80% recorre às águas subterrâneas
- Papel social crucial para a sociedade, mas não observado pelas estatísticas oficiais
- A maioria tem acesso à água de baixa qualidade, em poços vulneráveis, que merece atenção de hidrogeólogos e de políticas públicas



Em 2013-2017, uma grande estiagem se abateu sobre o país, causando uma crise hídrica que afetou 50% (1.356) de suas cidades



- Cidades abastecidas apenas com **água superficial foram duas vezes mais afetadas** do que aquelas com águas subterrâneas



Dados: ANA (2010), IBGE (2017), Hirata et al (2019)

Explotação das águas subterrâneas

Embora haja problemas localizados de exploração intensiva, o Brasil ainda subutiliza as suas capacidades aquíferas



Exploração das águas subterrâneas

Ademais, o país precisa repensar o uso de suas águas, para aumentar a sua disponibilidade para usos múltiplos



Explotação das águas subterrâneas

3 ideias para melhor uso das águas subterrâneas

- a) Uso do *armazenamento aquífero* como parte do recurso
- b) Uso conjuntivo da água superficial & subterrânea
- c) Superação da incerteza geológica com gestão adaptativa



Limitar a disponibilidade de água do aquífero como uma fração da recarga faz pertermos oportunidades

Tratar a vazão explotável de um aquífero somente como entradas (recarga) e saídas (descargas) é como ter uma **poupança milionária** e não usá-la

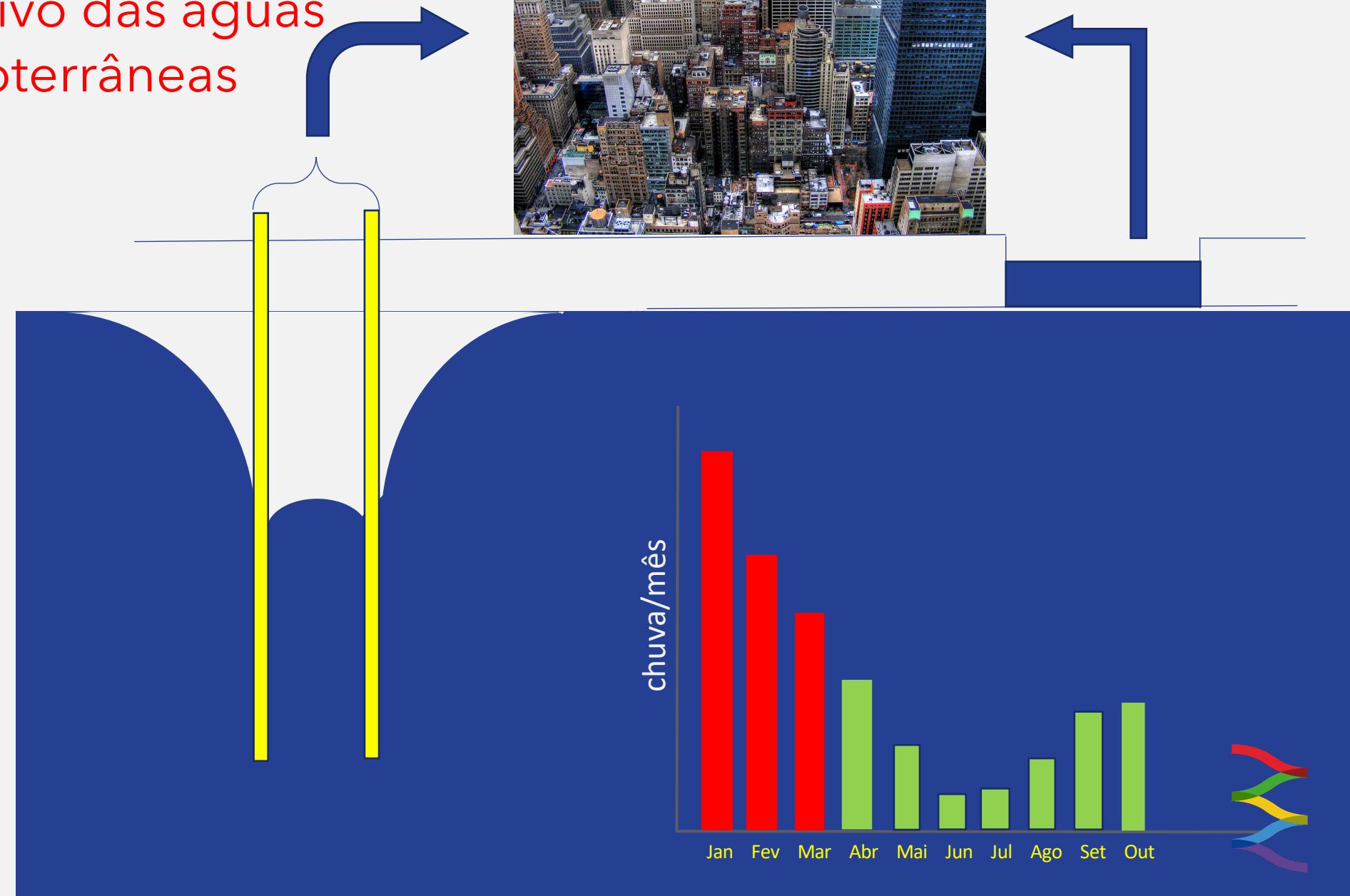


Henry Darcy

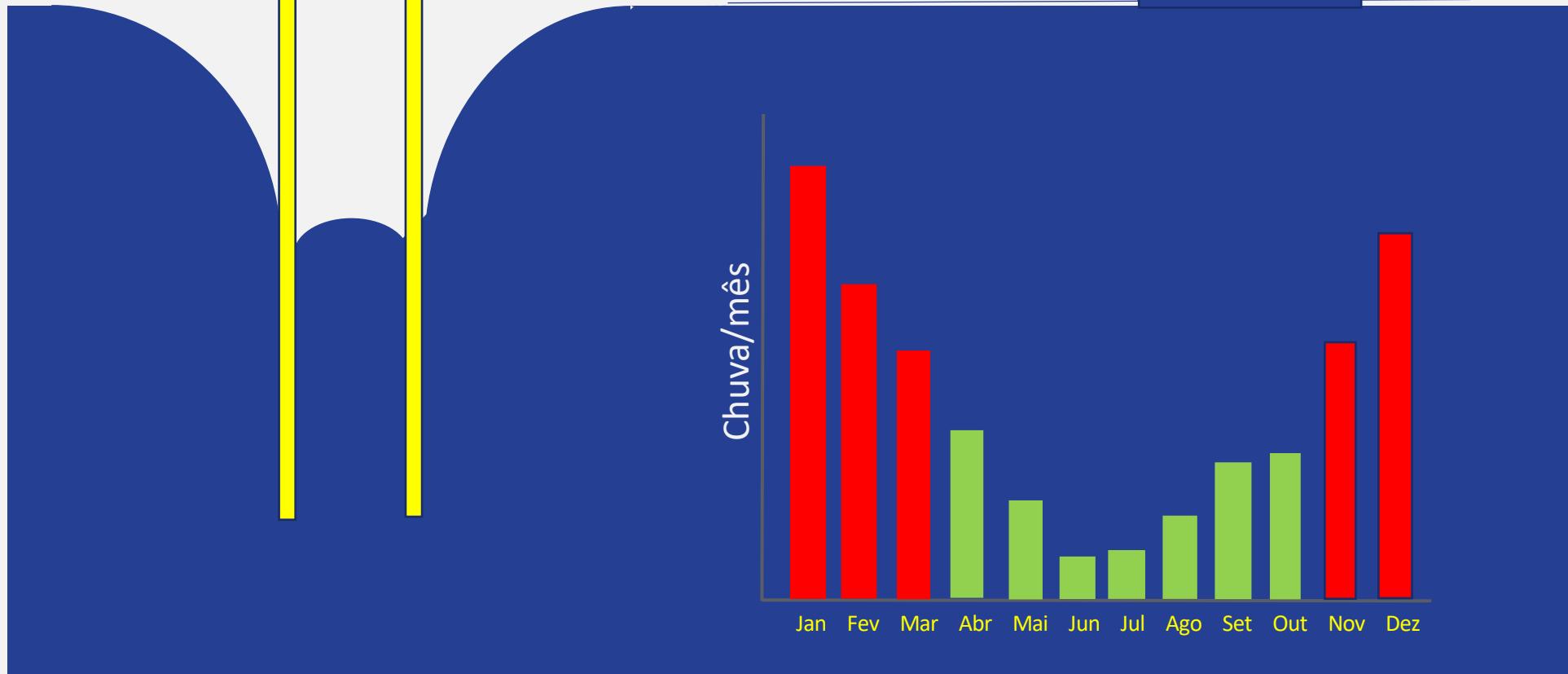
Aumentar a oferta de água com uso conjuntivo das águas superficiais e subterrâneas

Cidade
abastecida por
um rio, mas
durante a seca,
por poços
tubulares

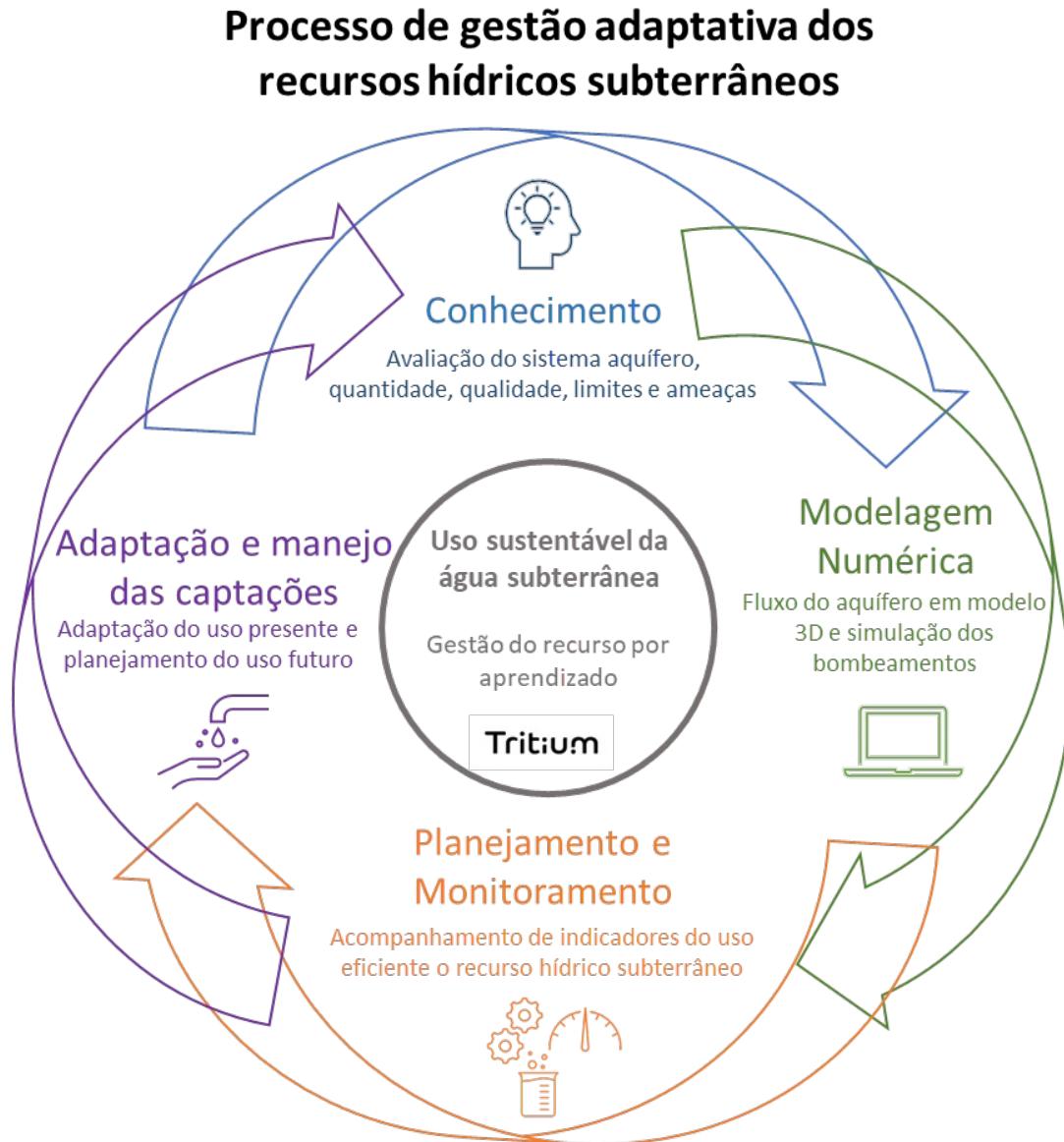
Embora o
exemplo seja
anual, poderia
ser plurianual



Recarga
com
excesso de
água



Gestão adaptativa como superação das incertezas



- A gestão adaptativa reconhece que as ações de gestão criam oportunidades para aprender e melhorar.
- O ciclo de gerenciamento adaptativo é um processo estruturado e contínuo que fornece uma base para uma tomada de decisão robusta diante da incerteza por meio do monitoramento e dos feedbacks de aprendizagem.

Buscando a resiliência hídrica com a água subterrânea

- As águas subterrâneas devem ser encaradas mais seriamente como uma **opção no abastecimento de cidades e do campo**, sobretudo no enfrentamento às mudanças climáticas, devida a sua grande **resiliência hídrica** - sobretudo em estratégias de uso conjuntivo de águas superficiais e subterrâneas
- O **autoabastecimento de poços privados** desempenha um papel crucial na segurança hídrica de cidades e deve ser incorporado às **estratégias de segurança hídrica**
- As incertezas, inerentes à geologia podem ser vencidas com uma gestão adaptativa, baseada em ações apoiadas em monitoramento (em tempo real ou quase real)



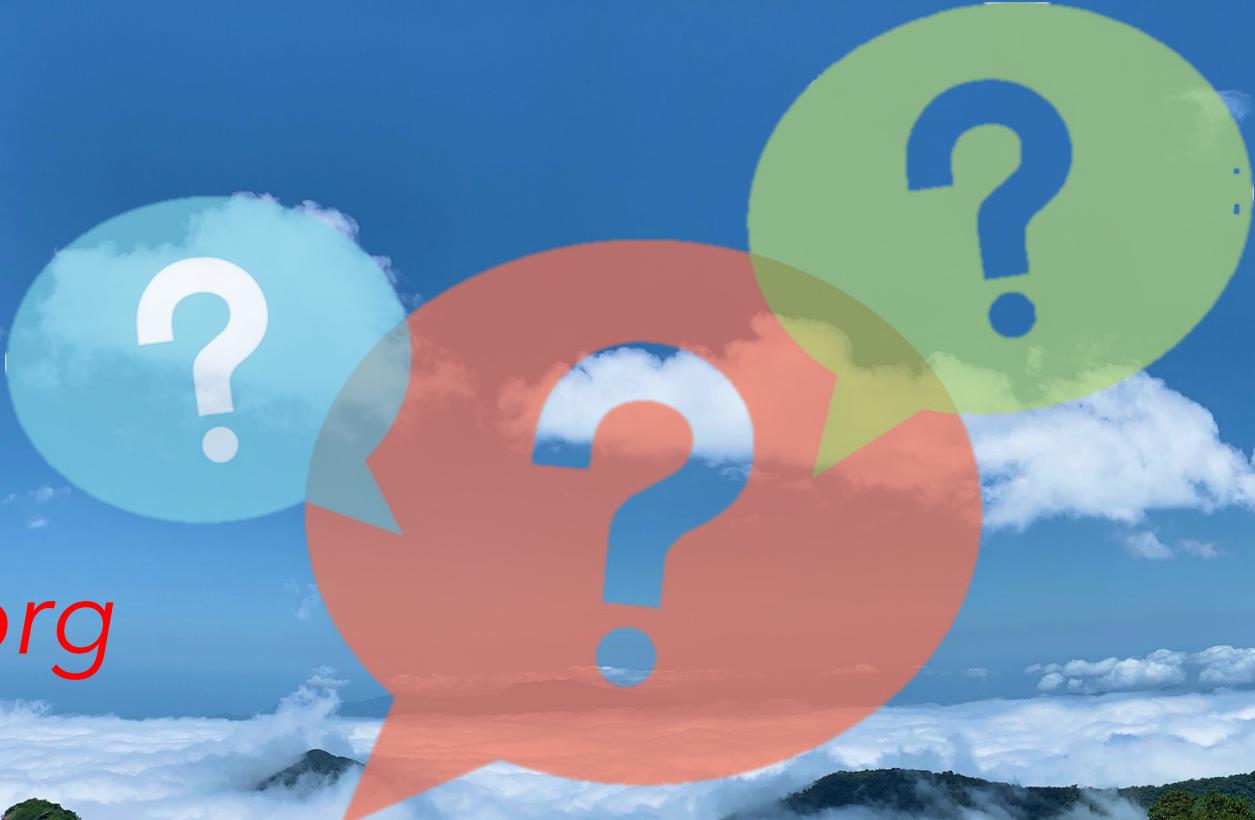
Ricardo Hirata
CEPAS|USP

rhirata@usp.br

www.projetosacre.org



soluções integradas
de água para
cidades resilientes



Contaminação dos aquíferos e das águas
subterrâneas

Consequências do desconhecimento das águas subterrâneas



Consequências do desconhecimento das águas subterrâneas

Contaminação dos aquíferos e das águas subterrâneas

Superexploração dos recursos hídricos subterrâneos



Consequências do desconhecimento das águas subterrâneas

Contaminação dos aquíferos e das águas subterrâneas

Superexploração dos recursos hídricos subterrâneos

Pelo não uso, as cidade e o campo são menos resilientes a períodos de estiagem



Consequências do desconhecimento das águas subterrâneas

Contaminação dos aquíferos e das águas subterrâneas

Superexploração dos recursos hídricos subterrâneos

Pelo não uso, as cidade e o campo são menos resilientes a períodos de estiagem

Perdas de oportunidades sociais e econômicas oferecidas pelas águas subterrâneas



Consequências do desconhecimento das águas subterrâneas

Contaminação dos aquíferos e das águas subterrâneas

Superexploração dos recursos hídricos subterrâneos

Pelo não uso, as cidades e o campo são menos resilientes a períodos de estiagem

Perdas de oportunidades sociais e econômicas oferecidas pelas águas subterrâneas

Vencer o preconceito de tratá-las como um recurso menor, menos importante e difícil de operar



Revolução silenciosa

As águas subterrâneas operam uma verdadeira **Revolução Silenciosa**, modificando a economia, a sociedade, mas longe da percepção dos decisores e usuários



Prof. Ramon Llamas



Quão importante são as águas subterrâneas para o Brasil?

- A inviabilidade das águas subterrâneas é notória e é a soma das invisibilidades na segurança hídrica, economia, ecologia, e no seu papel social

Algumas invisibilidades são menos conhecidas: águas subterrâneas e incêndios na Amazônia

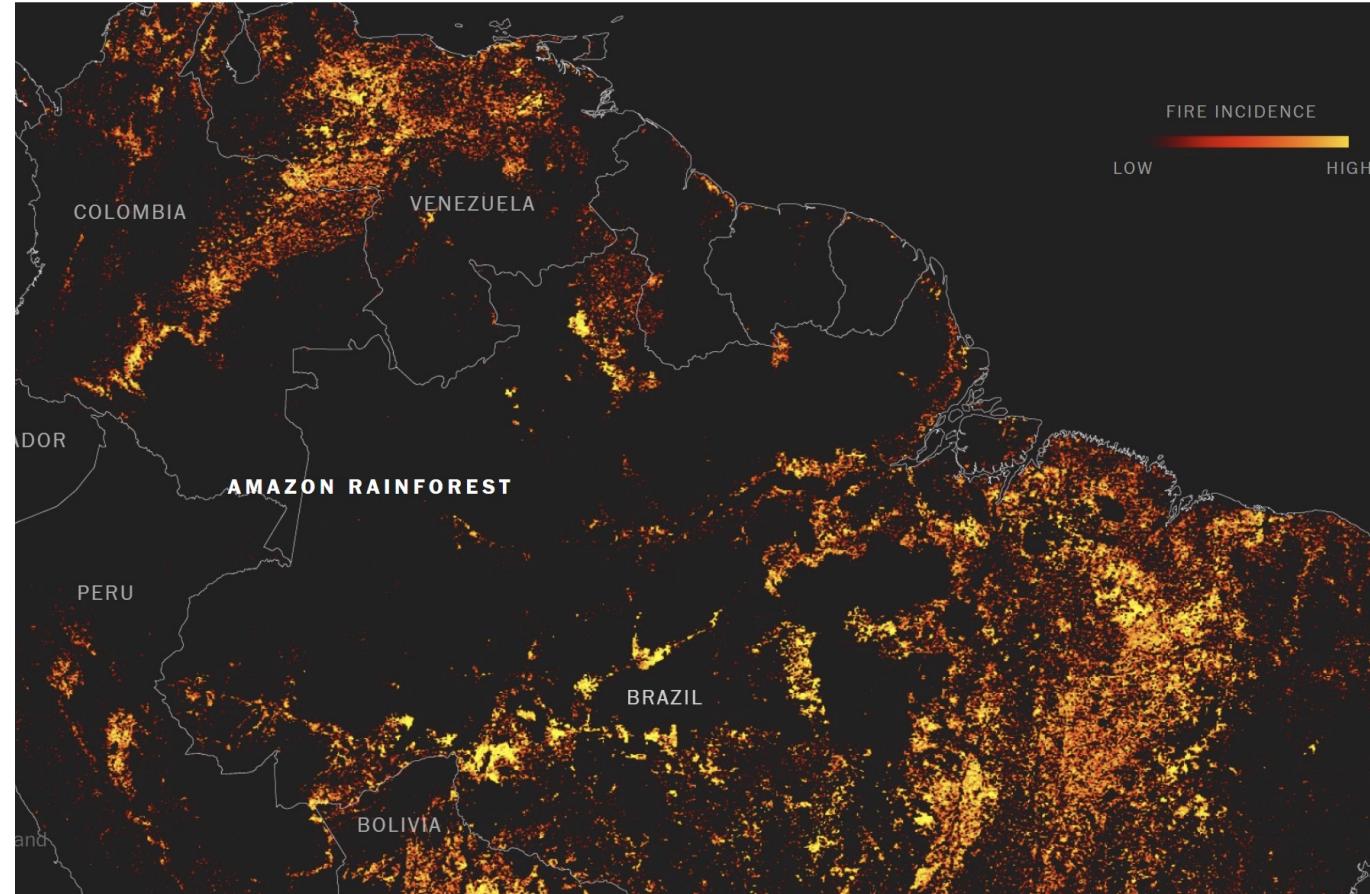
Durante o período de 2004-2016, a Amazônia experimentou vários eventos de El Niño, que causou redução das chuvas e aumento da temperatura, diminuindo a recarga dos aquíferos



Redução das chuvas em até 40%



Aumento da temperatura em até 3°C

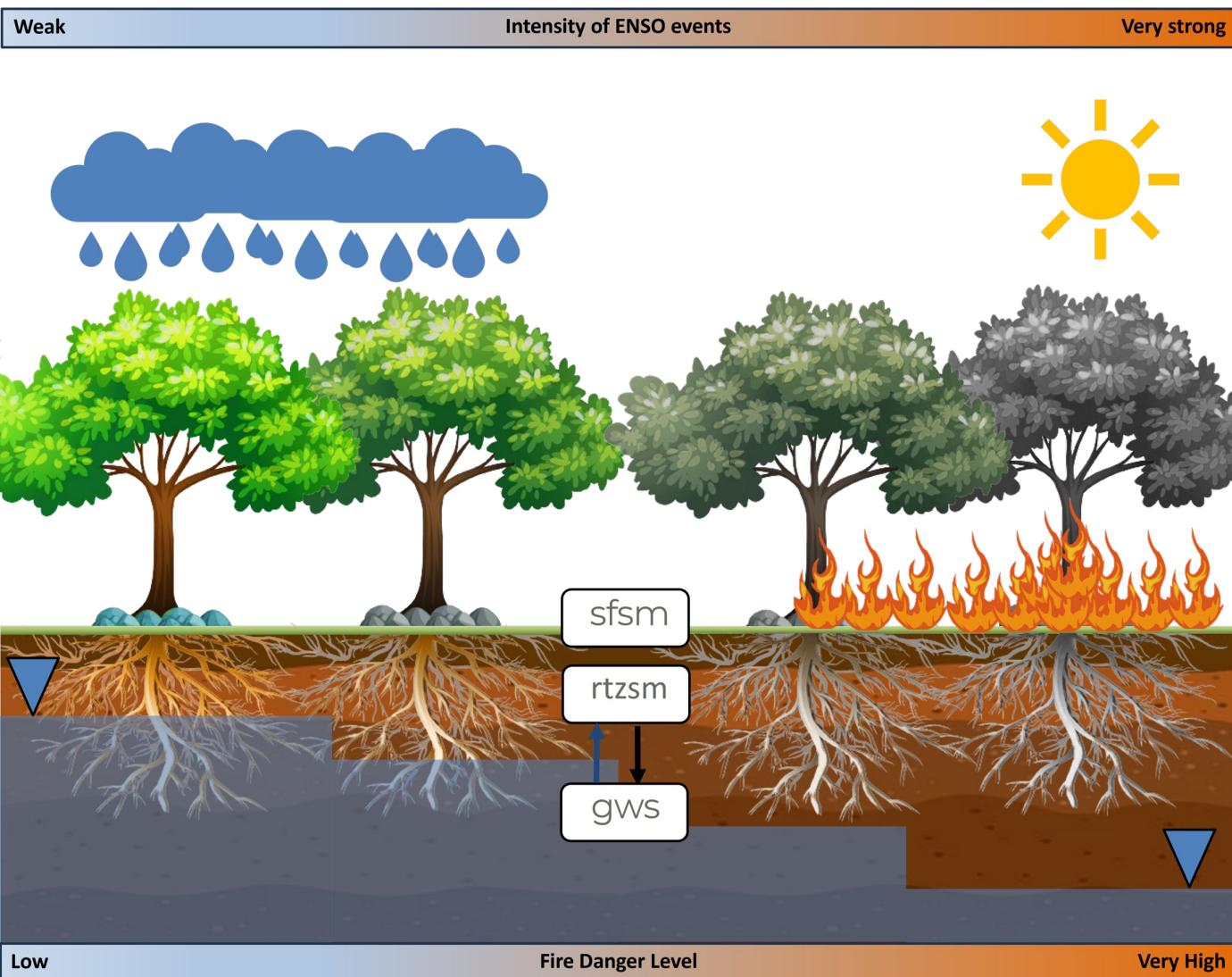


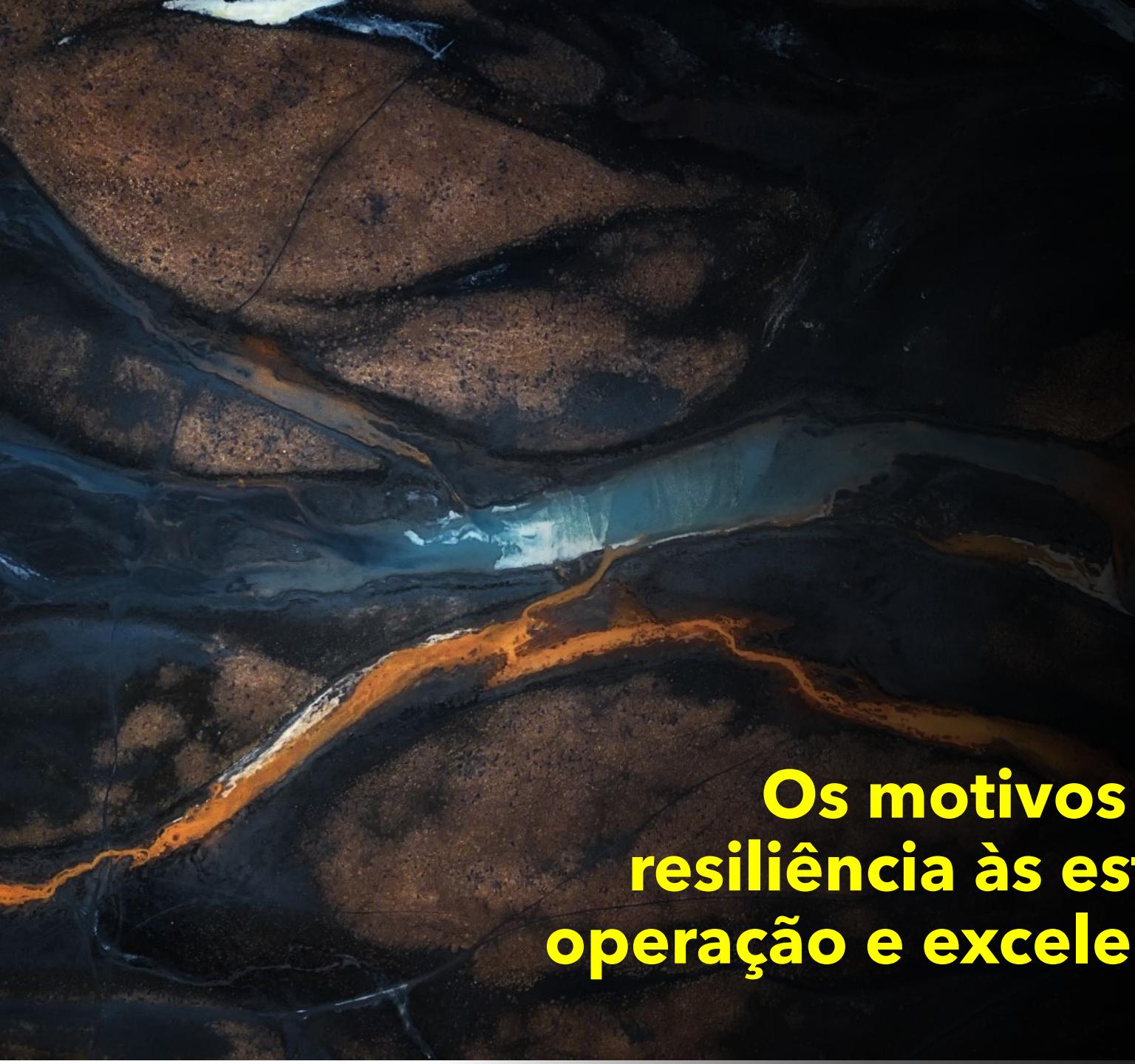
Estudo de Conicelli et al (2024) mostra que o El Niño não apenas cria secas, mas amplifica significativamente a relação aquífero e incêndios

- 🔥 **Compounding Effect:** El Niño creates both meteorological drought and higher temperatures, accelerating groundwater depletion
- ⚡ **Atmospheric Conditions:** El Niño alters atmospheric circulation, creating drier, hotter conditions that increase fire spread potential
- ⌚ **Legacy Effect:** Consecutive El Niño events prevent full groundwater recovery, creating cumulative vulnerability

Fire activity increased by up to 215% during strong El Niño years

A relação do nível freático e a incidência de incendios





O uso da água subterrânea tem crescido mais que a demanda por água no país

Os motivos estão no baixo custo, resiliência às estiagens, facilidade de operação e excelente qualidade natural