

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

komorebi

PROF. RICARDO HIRATA
CEPAS | Universidade de São Paulo

SACRE  soluções integradas
de água para
cidades resilientes

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

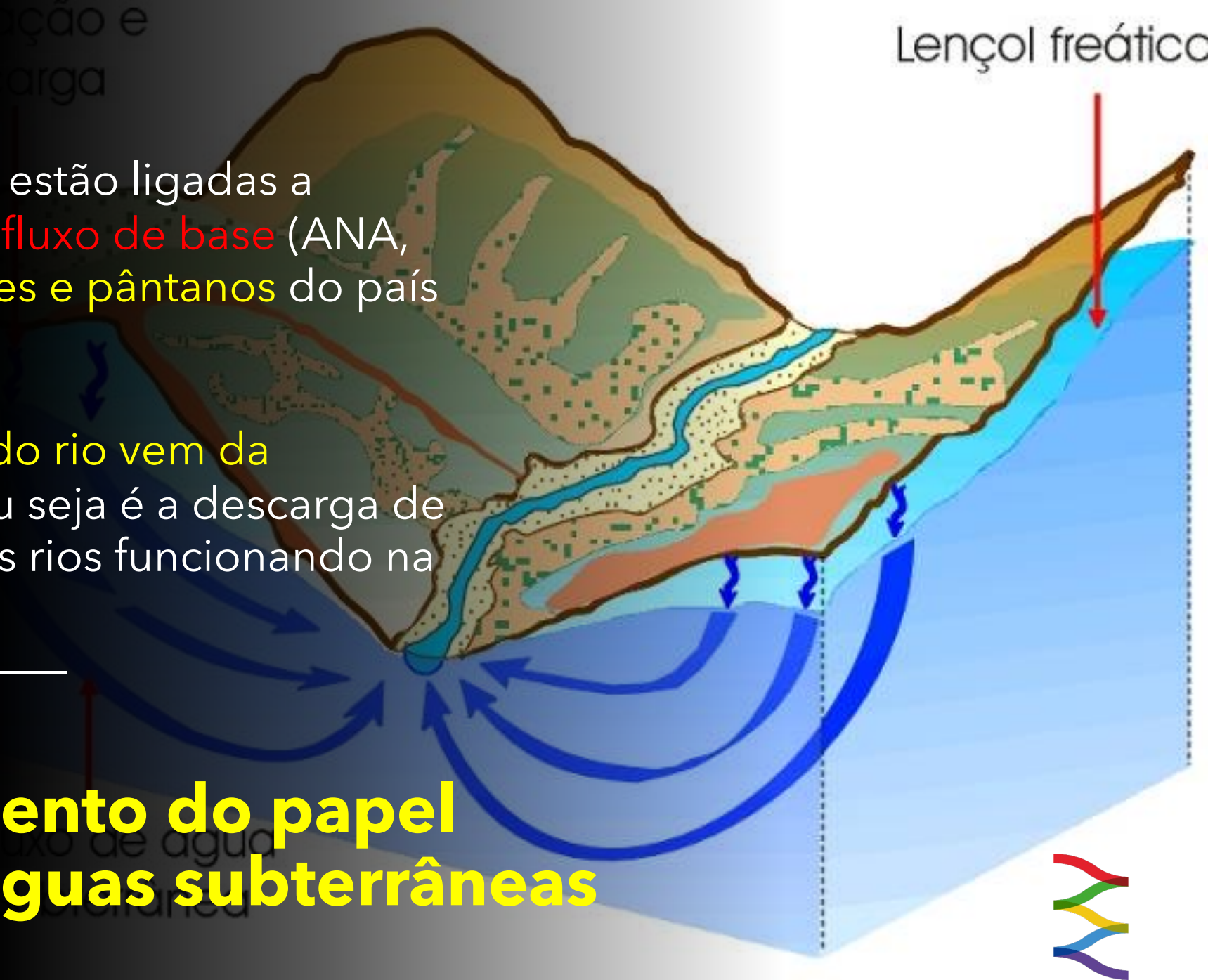
- O abastecimento **privado**, através de autoabastecimento na cidade e o suprimento de água no campo são fundamentais para a **segurança hídrica** e a **produção agrícola**
- A vazão de 668 m³/s de água subterrânea gera um **valor econômico de R\$ 39,7 bilhões/ano** (cidade R\$ 32,4 bi/ano e campo R\$ 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)

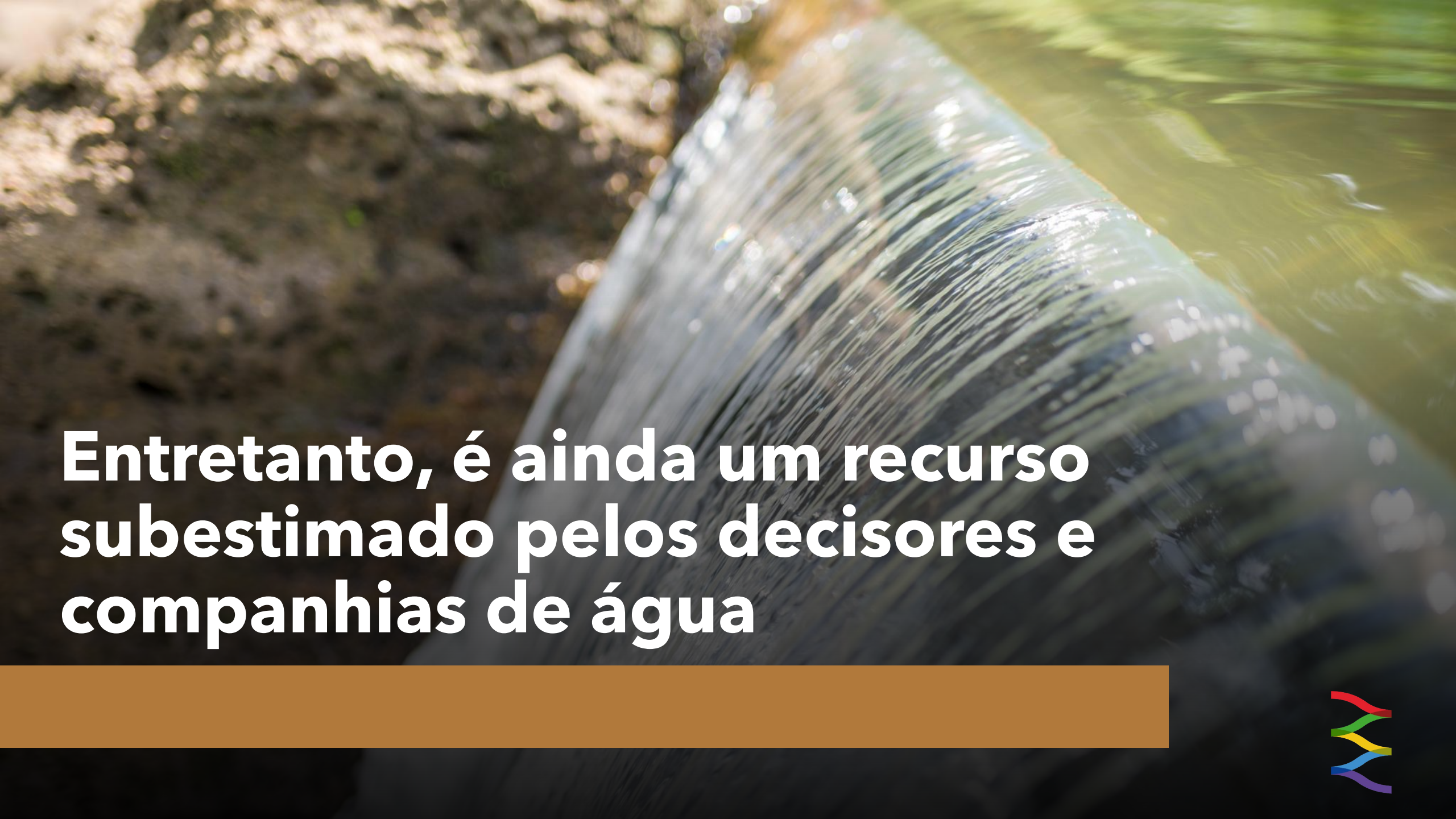


> As águas subterrâneas estão ligadas a **90% dos rios, através do fluxo de base** (ANA, 2010) e **95% dos mangues e pântanos** do país (Hirata et al 2019)

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

O desconhecimento do papel ecológico das águas subterrâneas



A close-up photograph of water cascading over a concrete dam. The water is in motion, creating white foam and ripples. The background is slightly blurred, showing more of the dam structure and the surrounding environment.

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

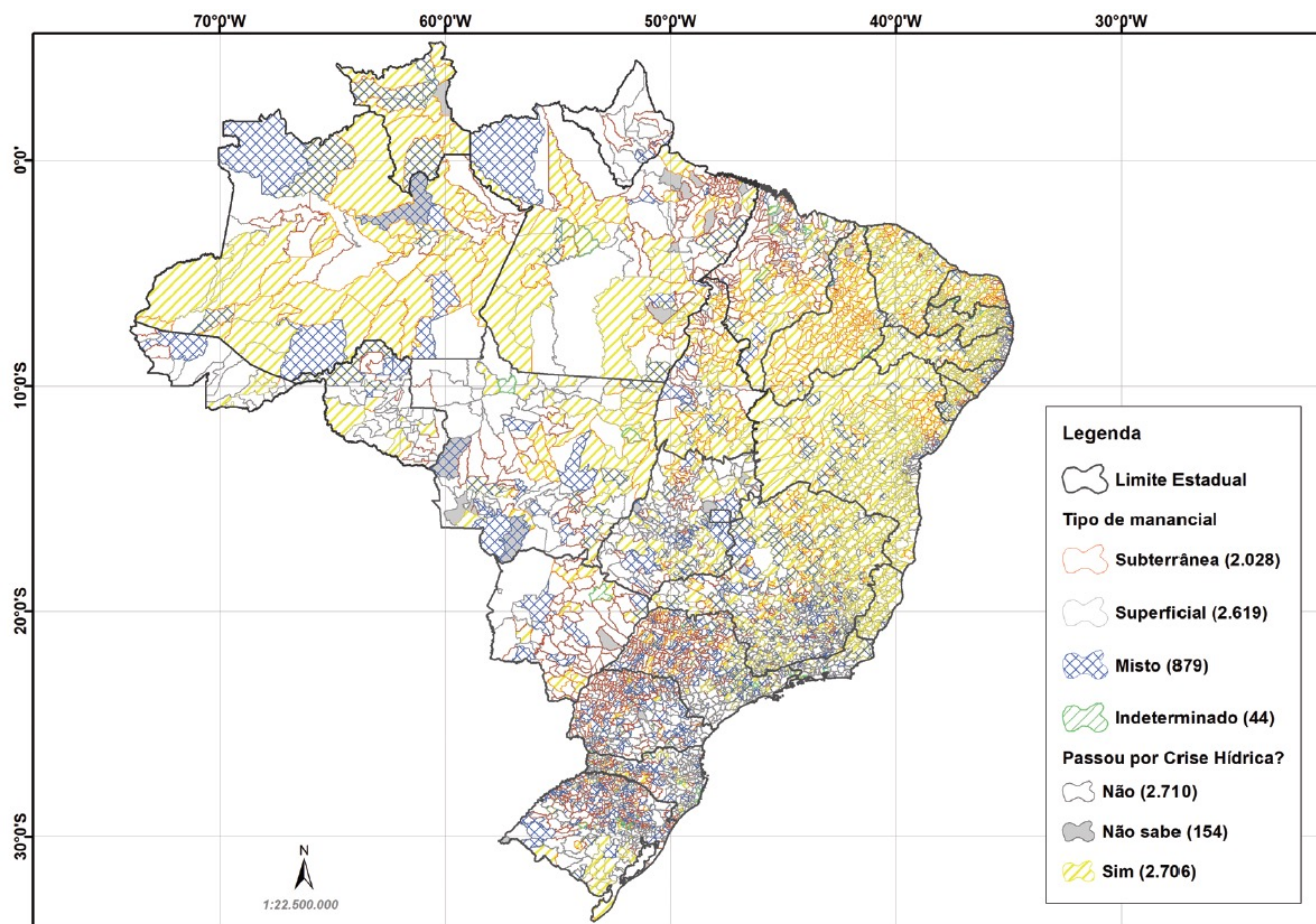
- População: 22 milhões de habitantes
- Produção de abastecimento público de água: $64 \text{ m}^3/\text{s}$, 99% de fontes superficial
- ❑ Entretanto, há >13.000 poços privados, extraindo $>11 \text{ m}^3/\text{s}$
- ❑ Em vez de 1%, as águas subterrâneas respondem por **15% do abastecimento** de São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

O papel social da água subterrânea

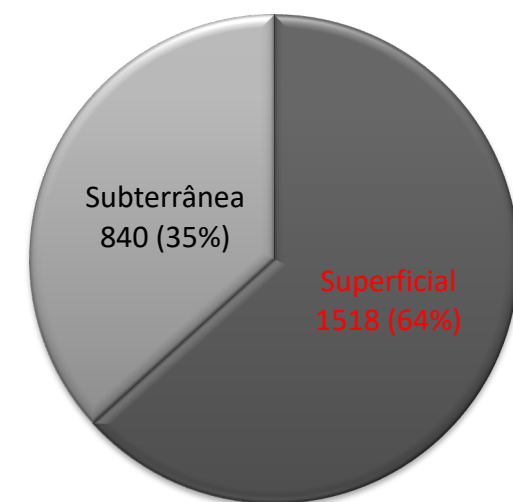
- 35 milhões de pessoas pelo país não recebem água tratada e 80% **recorre às águas subterrâneas**
- Papel social crucial para a sociedade, mas **não observado pelas estatísticas oficiais**
- A maioria tem acesso à água de baixa qualidade, em poços vulneráveis, que **merece atenção de hidrogeólogos e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

A large black pipe in the upper right corner is pouring a powerful stream of water into a pool. The water is captured in mid-air, creating a dynamic, splashing effect. The background is a sunset or sunrise scene over a body of water, with a few ships visible on the horizon. The sky is filled with soft, orange and yellow clouds. The foreground shows the dark, rippling surface of the pool where the water is landing.

Exploração das águas subterrâneas

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




A large black pipe in the upper right corner pours a powerful stream of water into a pool. The water is captured in mid-air, creating a dynamic, splashing effect. The background is a sunset or sunrise scene with a warm orange and yellow glow on the horizon. In the distance, there are silhouettes of industrial structures, possibly offshore oil rigs or ships. The foreground shows the dark, rippling surface of the water pool.

Exploração das águas subterrâneas

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





Exploração 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 perdermos oportunidades

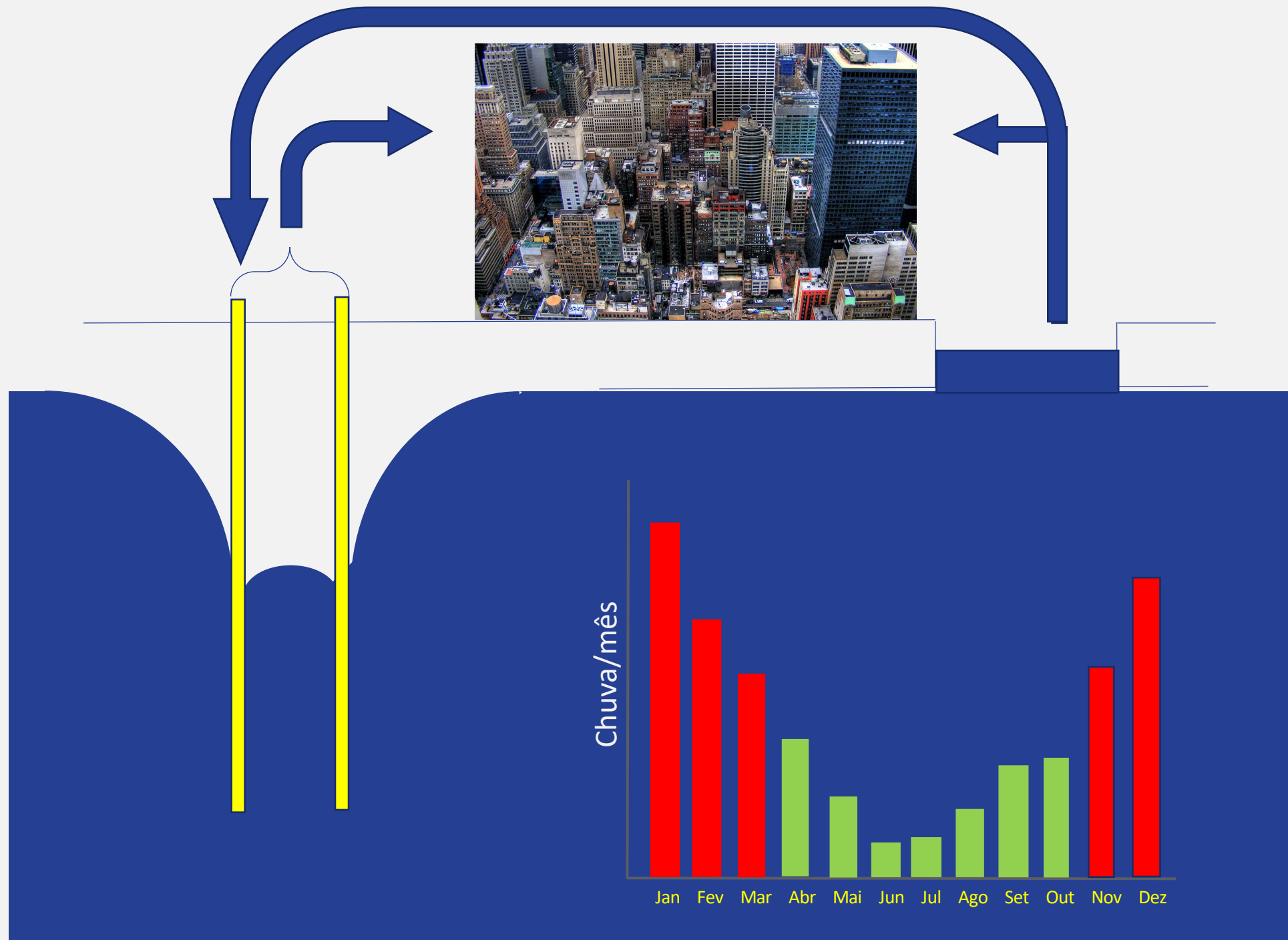
Tratar a vazão explotável de um aquífero somente como entradas (recarga) e saídas (descargas) é como ter uma **poupança milionária** e não usá-la



Henry Darcy

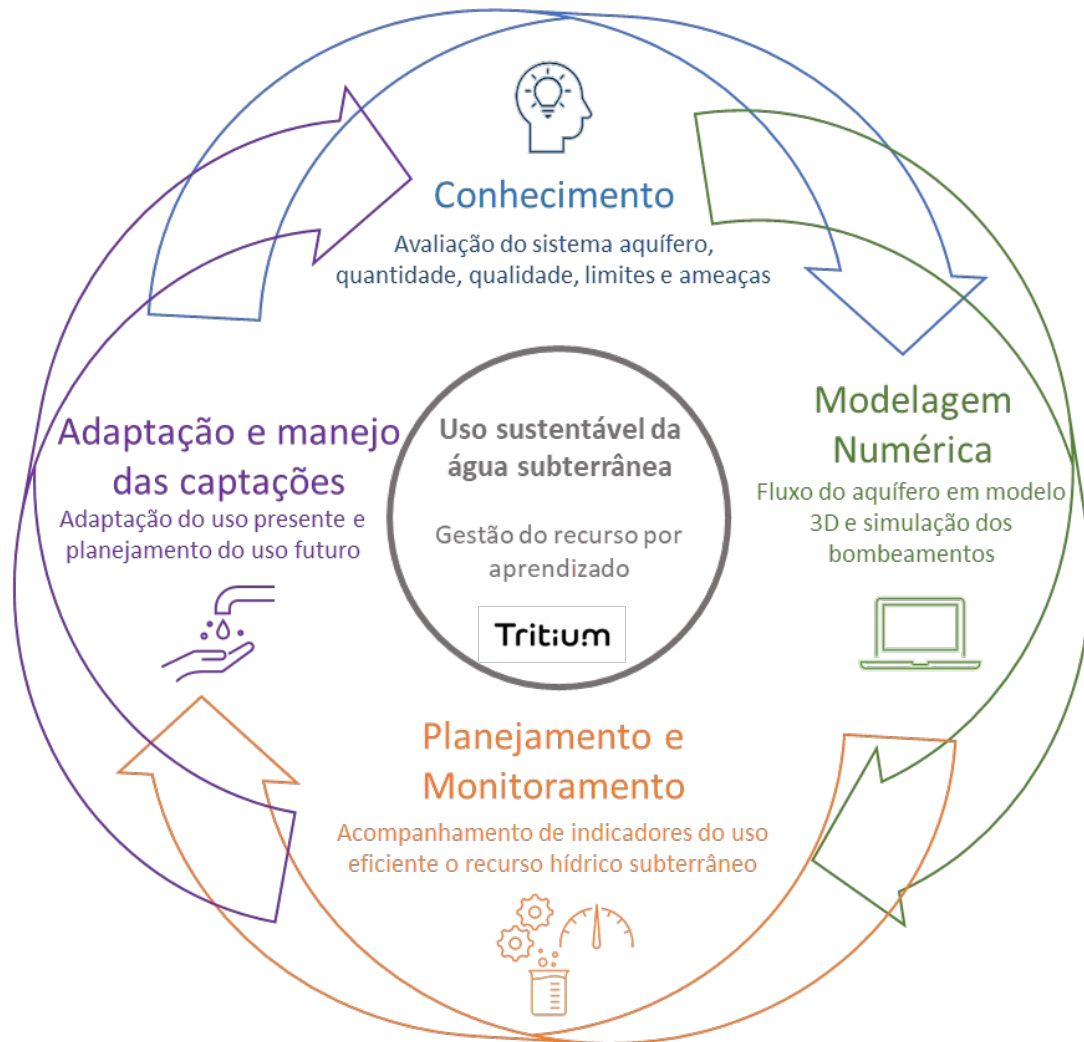


Recarga
com
excesso de
água



Gestão adaptativa como superação das incertezas

Processo de gestão adaptativa dos recursos hídricos subterrâneos



- 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

SACRE  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 cidade 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

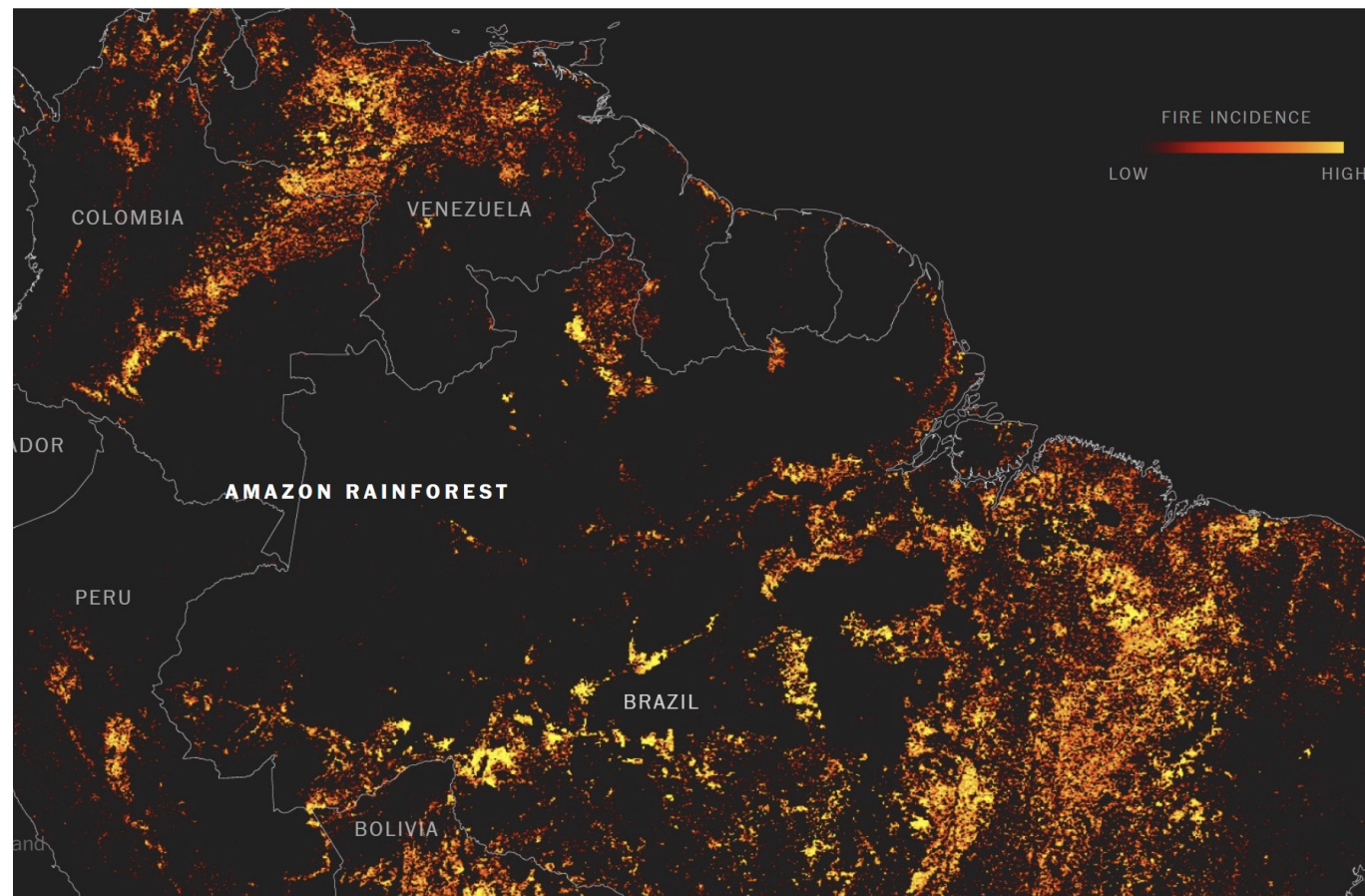
Durante o período de 2004-2016, a Amazônia experimentou vários eventos de El Niño, que causou redução das chuvas e aumento da temperatura, diminuindo a recarga dos aquíferos



Redução das chuvas em até 40%



Aumento da temperatura em até 3°C

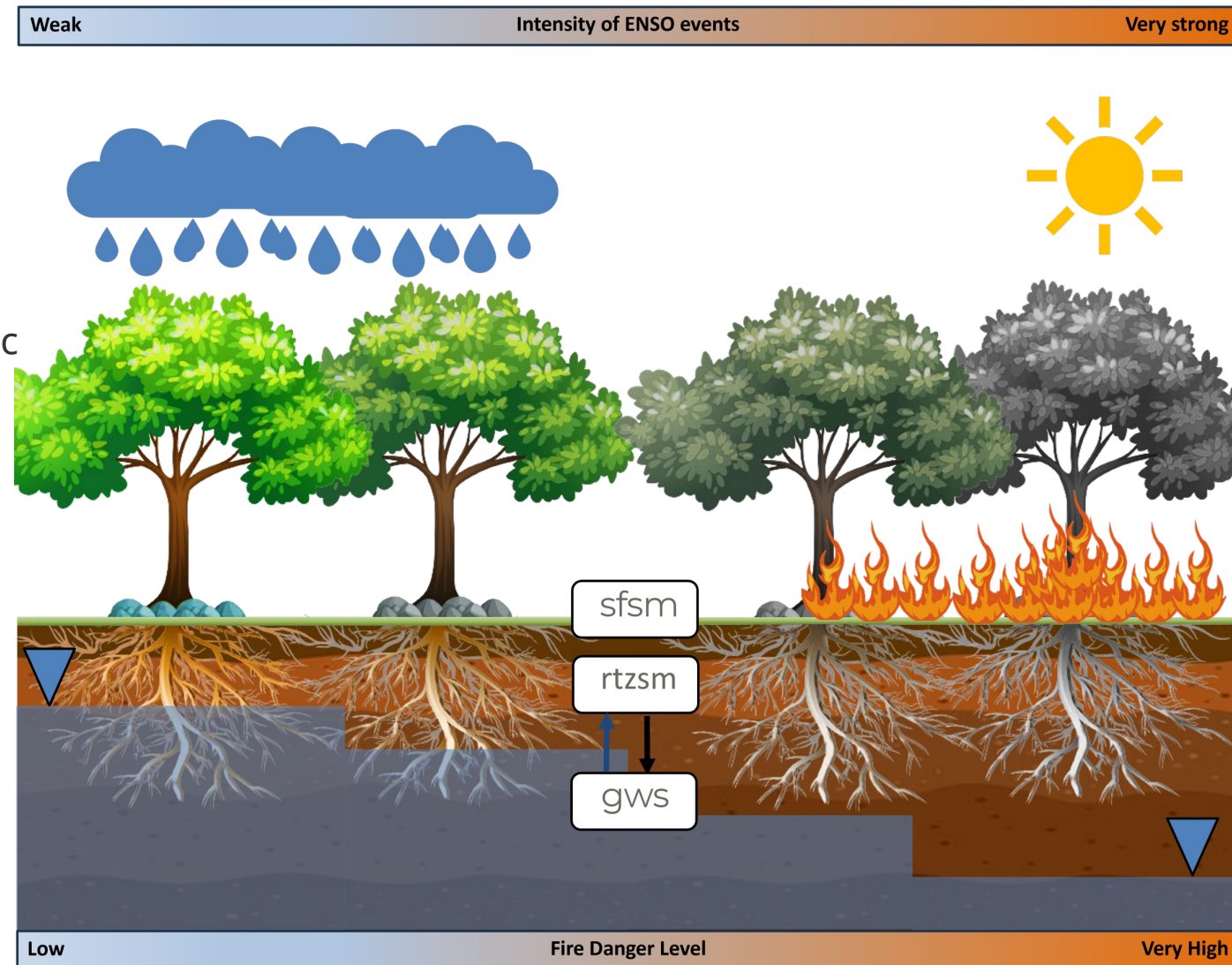


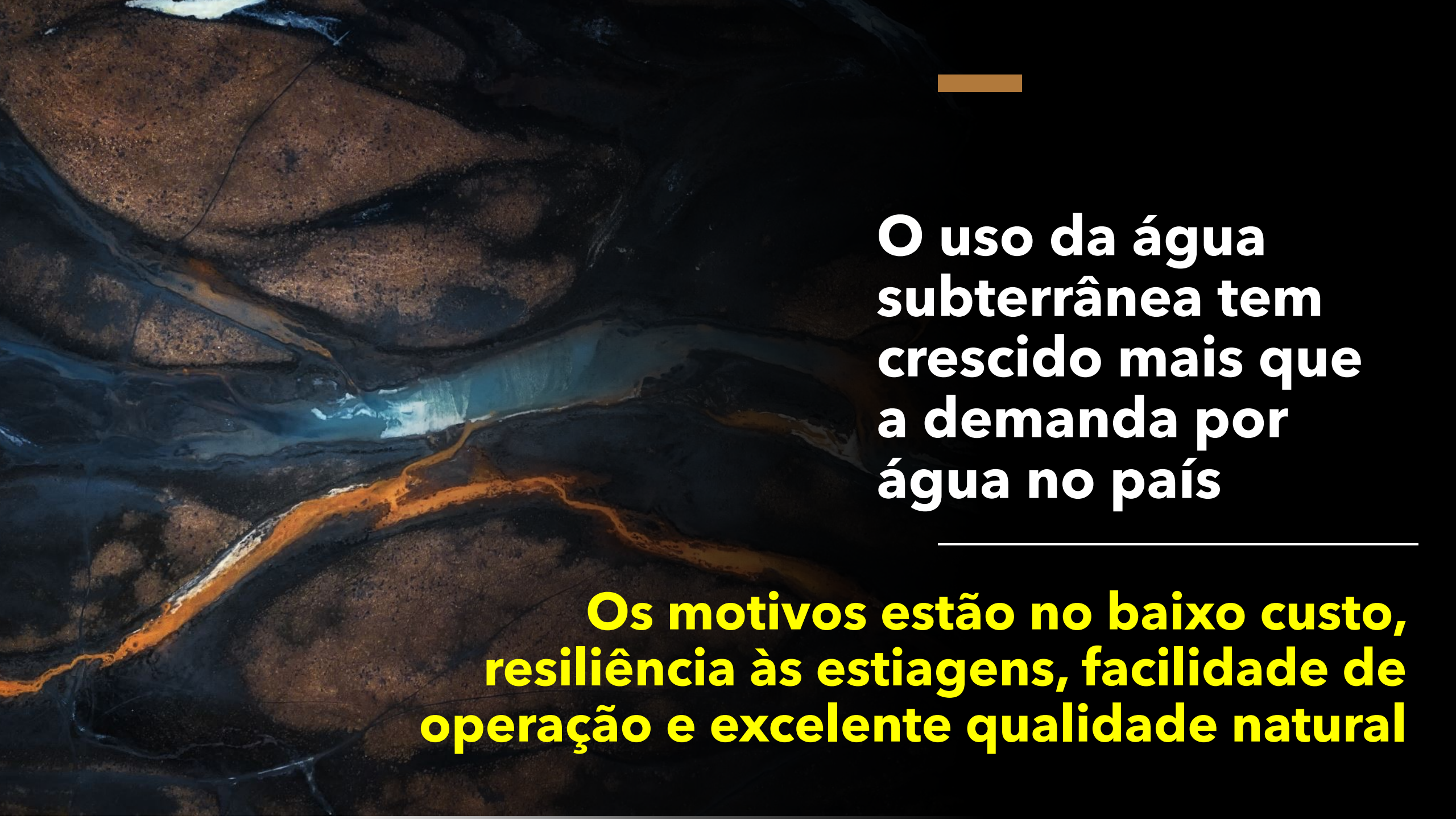
Estudo de Conicelli et al (2024) mostra que o El Niño não apenas cria secas, mas amplifica significativamente a relação aquífero e incêndios

- 🔥 **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 incêndios





**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**