



Gestão das águas subterrâneas: oportunidades & proteção

Prof. Ricardo Hirata

CEPAS|USP : Centro de Pesquisa em Águas Subterrâneas

Universidade de São Paulo

IWA- Groundwater Management Team

SACRE



integrated water
solutions for
resilient cities



1. Oportunidades trazidas pelas águas subterrâneas para a segurança hídrica

Prof. Ricardo Hirata

CEPAS|USP : Centro de Pesquisa em Águas Subterrâneas

Universidade de São Paulo

IWA- Groundwater Management Team

SACRE



integrated water
solutions for
resilient cities

Sistema de águas subterrâneas: grande armazenamento

- O grande armazenamento de aquíferos permite a regularização dos sistemas de águas superficiais além de permitir que seja utilizado em épocas de seca

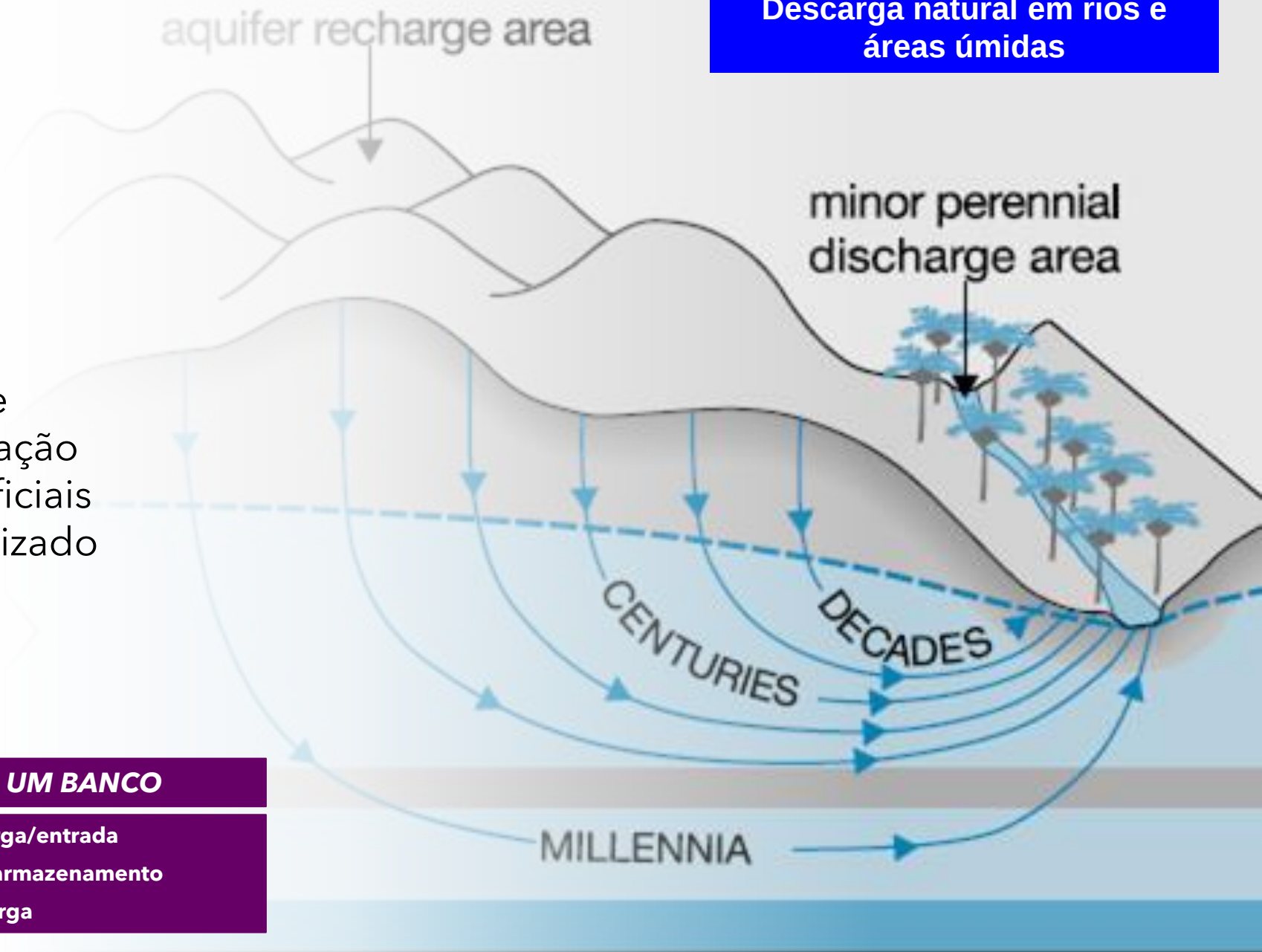
ANALOGIA A UM BANCO

depósito = recarga/entrada

investimento = armazenamento

retirada = descarga

Descarga natural em rios e áreas úmidas





Os rios e os aquíferos são antônimos

- Rios possui uma pequena reserva
- Os aquíferos têm uma capacidade gigantesca de armazenamento (97% da água doce líquida do mundo é subterrânea)
- Os rios fornecem instantaneamente uma grande quantidade de água (m^3/s)
- Aquíferos permitem a extração através de poços de baixa vazão (L/s)



Os rios e os aquíferos são antônimos

- Os rios são muito populares
- Os aquíferos são uma alternativa pouco conhecida e explorada
- Rios recebem muito investimento financeiro e atenção política e social
- Aquíferos, poucos (muito pouco)
- Os rios são muito vulneráveis à poluição
- Os aquíferos estão muito mais bem protegidos



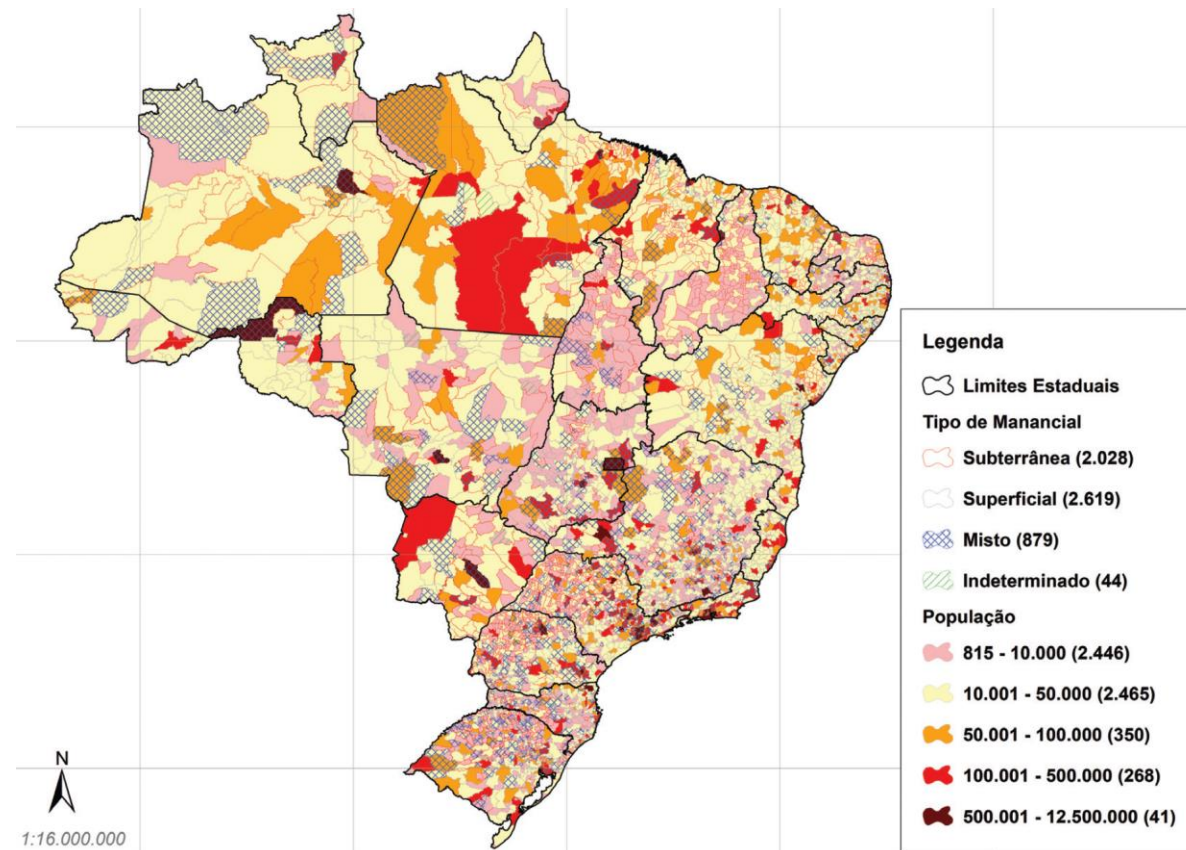
Os rios e os aquíferos são **complementares**

- Os rios são muito populares
- Os aquíferos são uma alternativa pouco conhecida e explorada
- Rios recebem muito investimento financeiro e atenção política e social
- Aquíferos, poucos (muito pouco)
- Os rios são muito vulneráveis à poluição
- Os aquíferos estão muito mais bem protegidos

Oportunidades dessas características dos aquíferos

- Poço tubular: facilidade de operação e manutenção
- Custo, qualidade, rapidez de obtenção de água em aquíferos
- Aquíferos são mais protegidos contra a estiagem
- Aquíferos são protegidos contra a contaminação (solo e zona não saturada são gigantesco e eficientes reatores de degradação de poluentes)
 - >> podem ser usados no tratamento de água (fitorremediação)

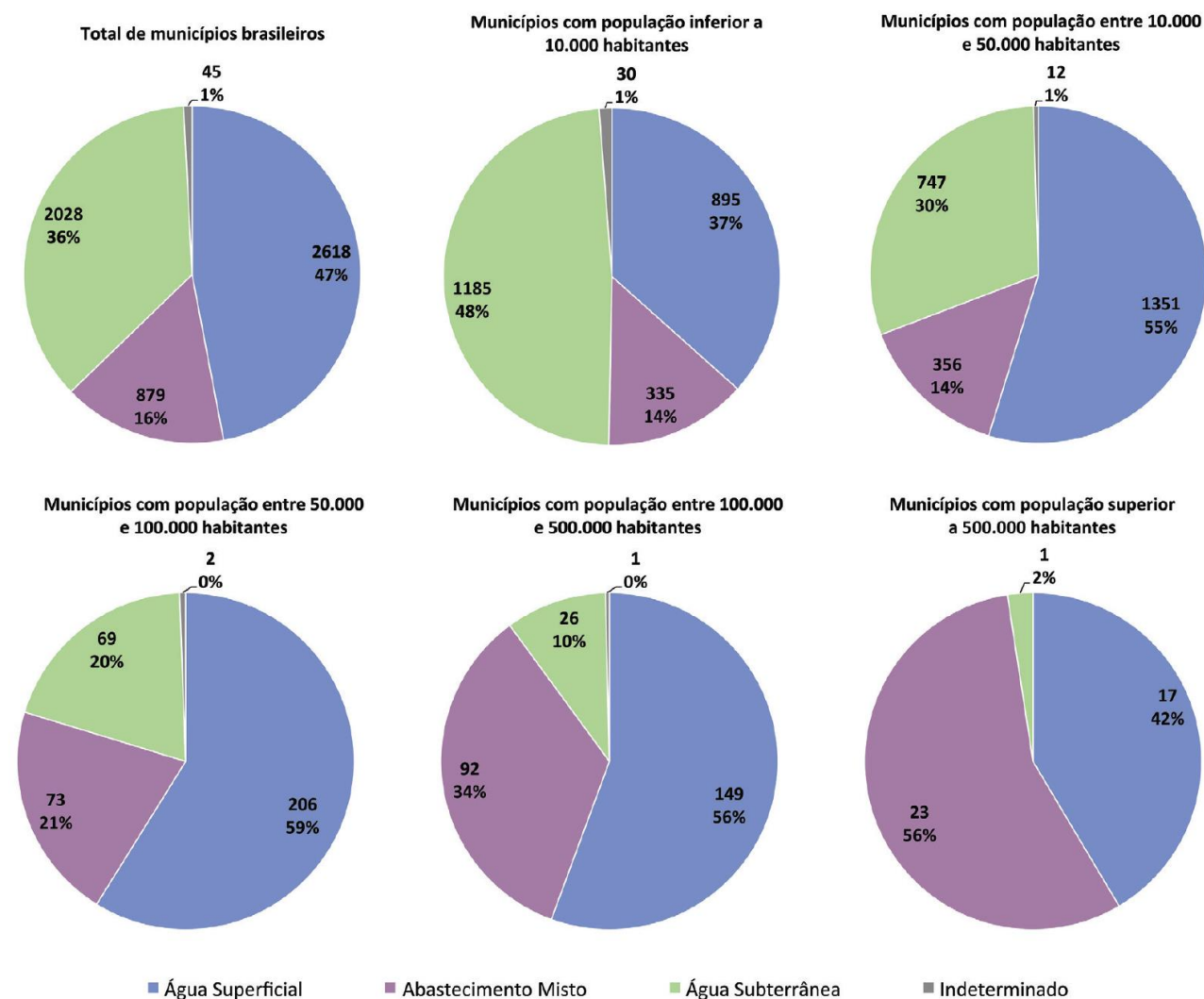
Importância da água subterrânea no abastecimento público do Brasil

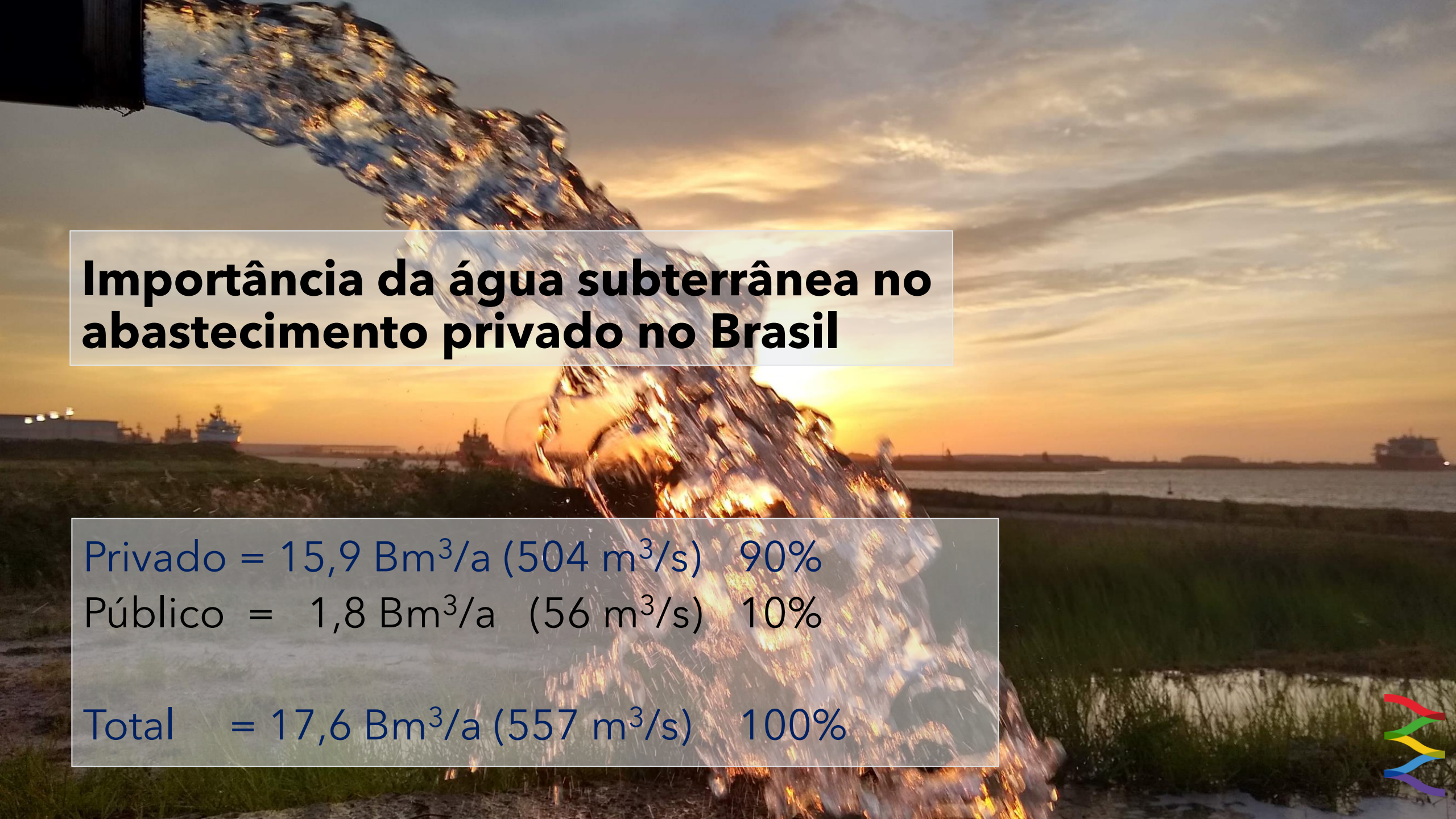


- 172,0 M pessoas são abastecidas pela rede pública
- + 30,4 M pessoas com água subterrânea (18%)
- + 141,6 M pessoas com água superficial (82%)

Importância da água subterrânea no abastecimento público do Brasil

52% dos municípios brasileiros são total (36%) ou parcialmente (16%) abastecidos por fontes subterrâneas



A large, dark pipe in the upper left corner is pouring a massive, turbulent stream of water into a body of water. The scene is set at sunset or sunrise, with a warm, orange and yellow sky and a calm sea in the background. Several ships are visible on the horizon. The water being poured creates a large splash and ripples on the surface of the sea.

Importância da água subterrânea no abastecimento privado no Brasil

Privado = 15,9 Bm³/a (504 m³/s) 90%

Público = 1,8 Bm³/a (56 m³/s) 10%

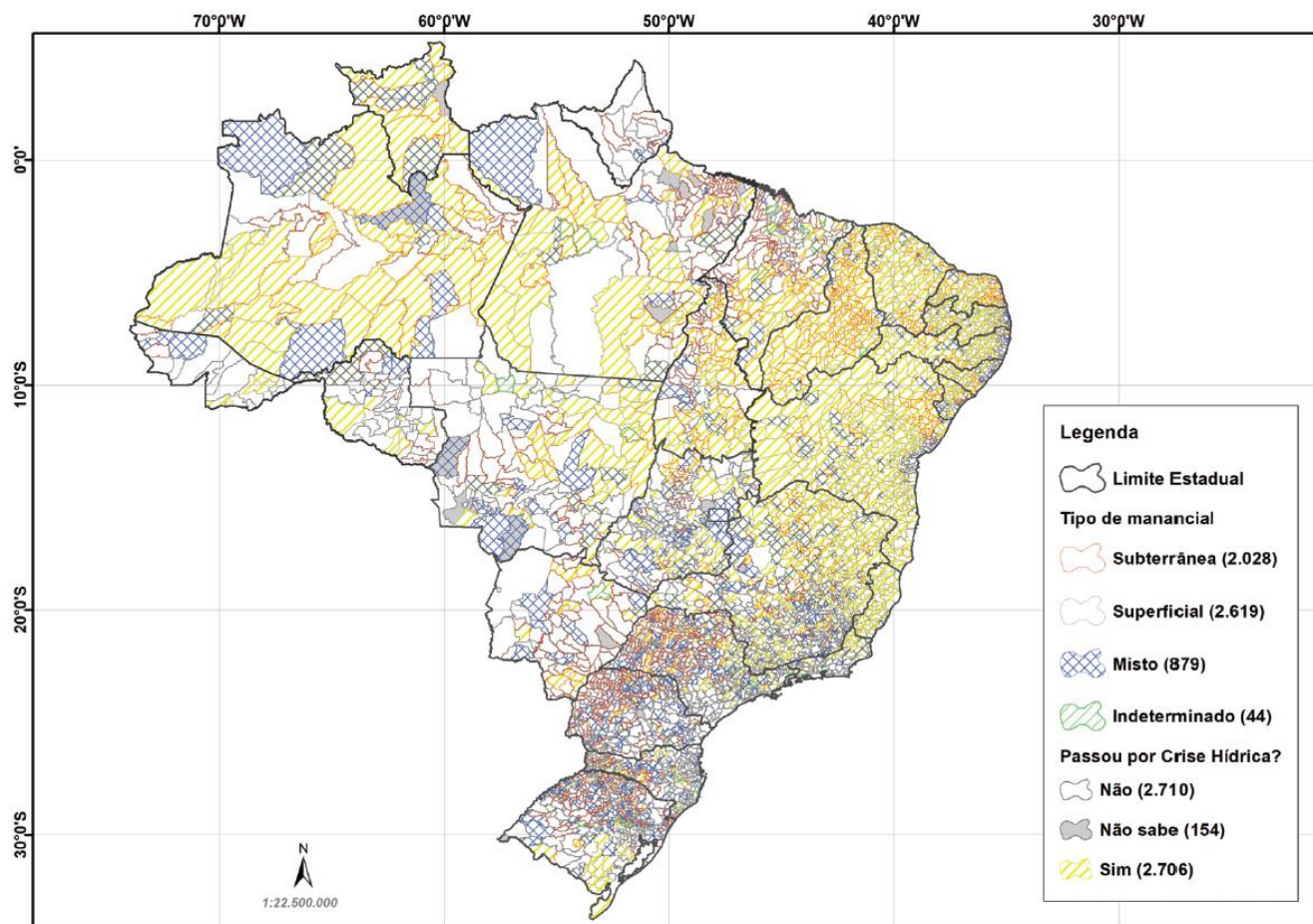
Total = 17,6 Bm³/a (557 m³/s) 100%



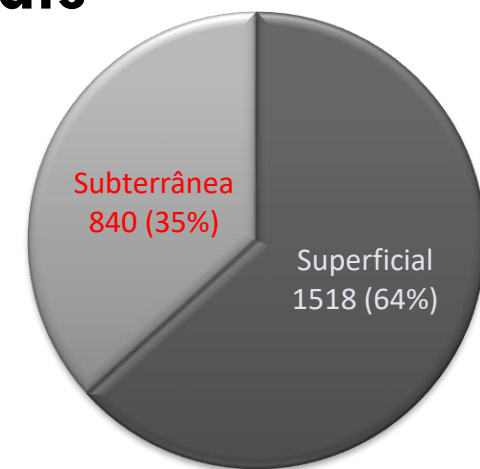
Oportunidades dessas características dos aquíferos

- Poço tubular: facilidade de operação e manutenção
- Custo, qualidade, rapidez de obtenção de água em aquíferos
- Aquíferos são mais protegidos contra a estiagem
- Aquíferos são protegidos contra a contaminação (solo e zona não saturada são gigantesco e eficientes reatores de degradação de substâncias poluentes)
 - >> podem ser usados no tratamento de água (fitorremediação)

O que nos ensinou a crise hídrica de 2013-2017?



- 50% das cidades brasileiras (1356 cidades) sofreram com a crise hídrica, a pior redução de chuvas em 80 anos.
- Cidades abastecidas apenas com **água superficial foram duas vezes mais afetadas** do que aquelas com águas subterrâneas

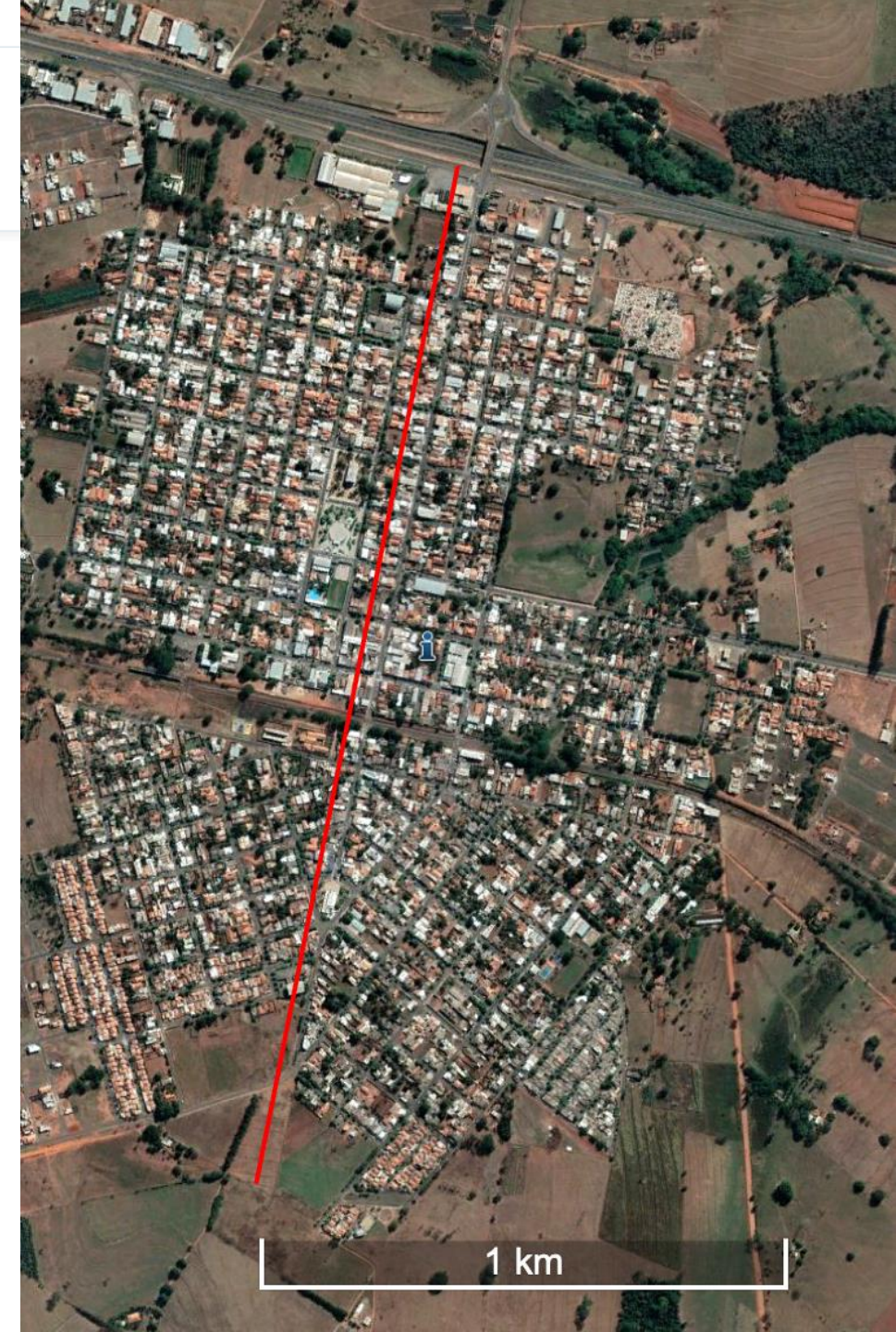
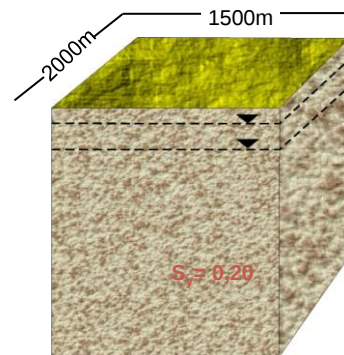


Dados: ANA 2010, IBGE 2017, Hirata et al 2019

O abastecimento de Urânia

População de Urânia = 9 mil pessoas

- Consumo de água ($0,15 \text{ m}^3/\text{dia} * 365$) = $500.000 \text{ m}^3/\text{ano}$
- Quanto de água poderia potencialmente ser retirado do armazenamento:
- Volume = Área de $2 \text{ km} * 1,5 \text{ km} *$ rebaixamento de $50 \text{ m} * 0,2$ (porosidade drenável) = 30 Mm^3
- $30 \text{ Mm}^3 / 500.000 \text{ m}^3 = 60 \text{ anos}$.
(sem recarga)

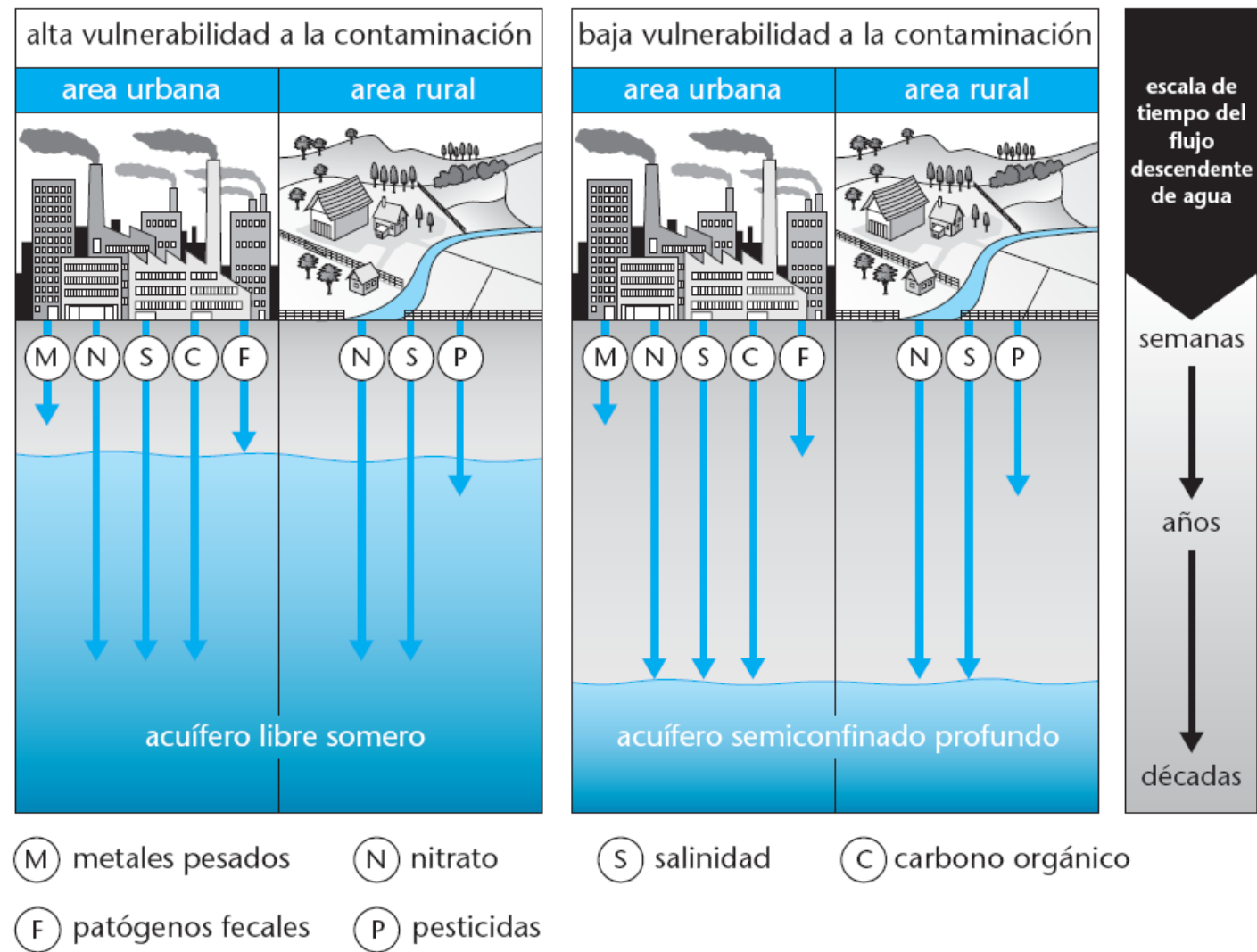


Oportunidades dessas características dos aquíferos

- Poço tubular: facilidade de operação e manutenção
- Custo, qualidade, rapidez de obtenção de água em aquíferos
- Aquíferos são mais protegidos contra a estiagem
- Aquíferos são protegidos contra a contaminação (solo e zona não saturada são gigantesco e eficientes reatores de degradação de substâncias poluentes)
 - >> podem ser usados no tratamento de água (fitorremediação)

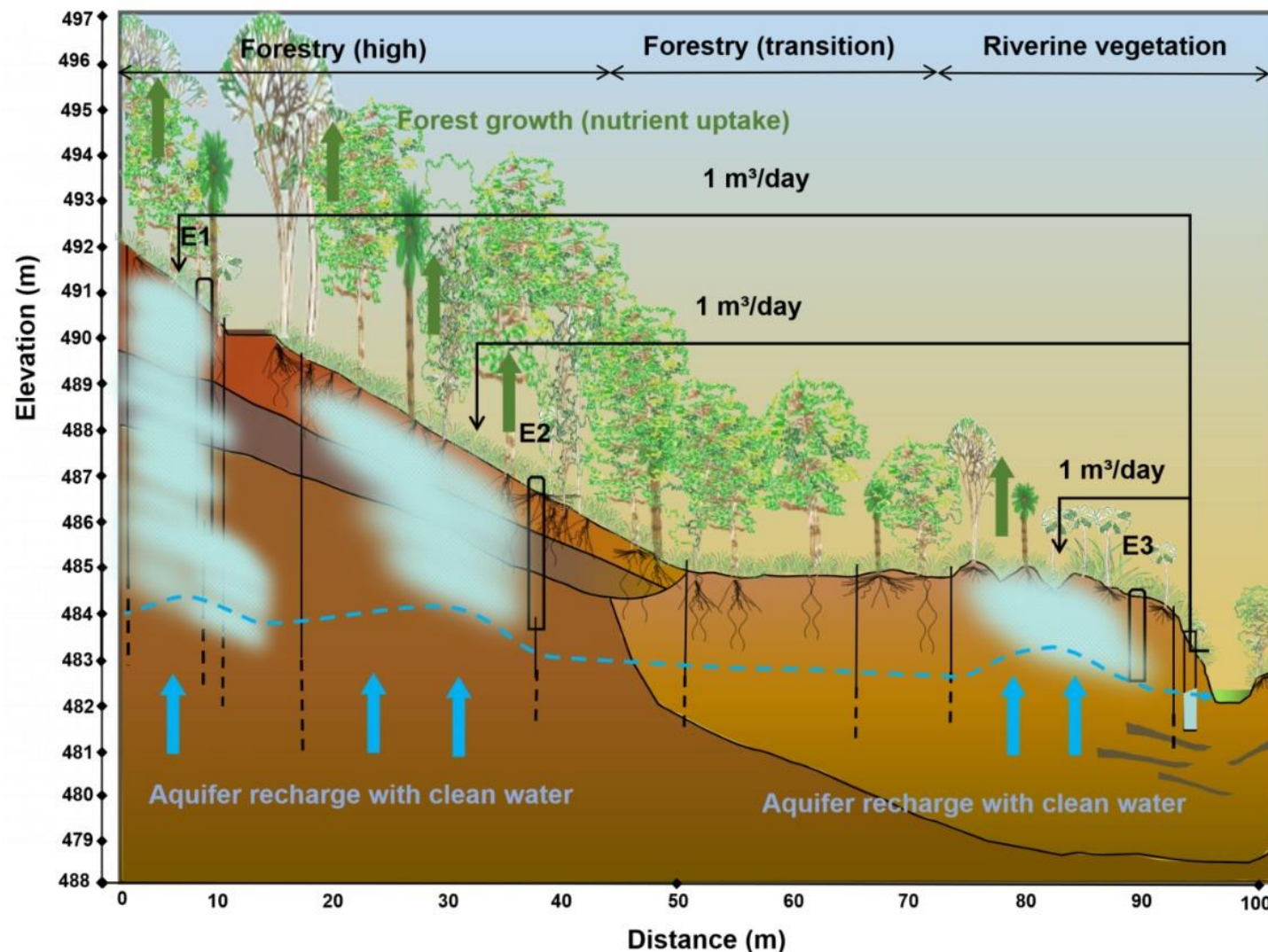
Oportunidades das características aquíferas

- Aquíferos são protegidos contra a contaminação (solo e zona não saturada são gigantes e eficientes reatores de degradação de substâncias poluentes)
- Aquíferos podem ser usados no tratamento de água (fitorremediação)



Oportunidades das características aquíferas

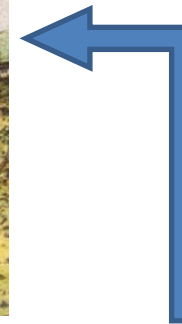
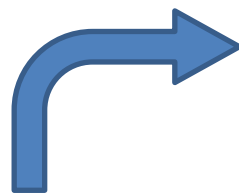
- Aquíferos são protegidos contra a contaminação (solo e zona não saturada são gigantes e eficientes reatores de degradação de substâncias poluentes)
- Aquíferos podem ser usados no tratamento de água (fitorremediação)



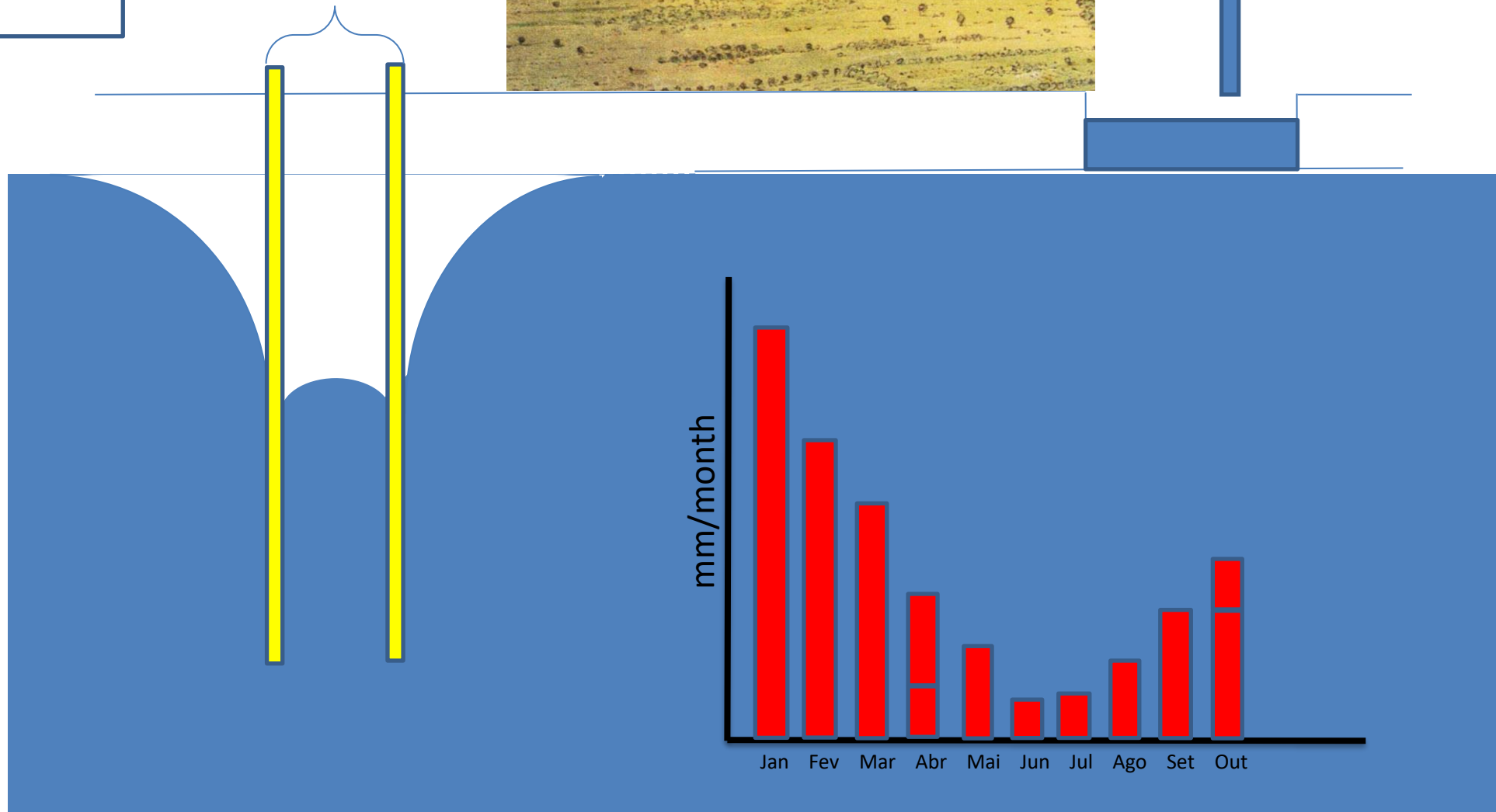
Uso conjuntivo dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos

- O uso conjunto consiste em combinar harmoniosamente o uso de águas superficiais e subterrâneas para minimizar os efeitos físicos, ambientais e econômicos indesejáveis de cada solução e otimizar a produção de água.
- Considerado como um elemento chave no GIRH

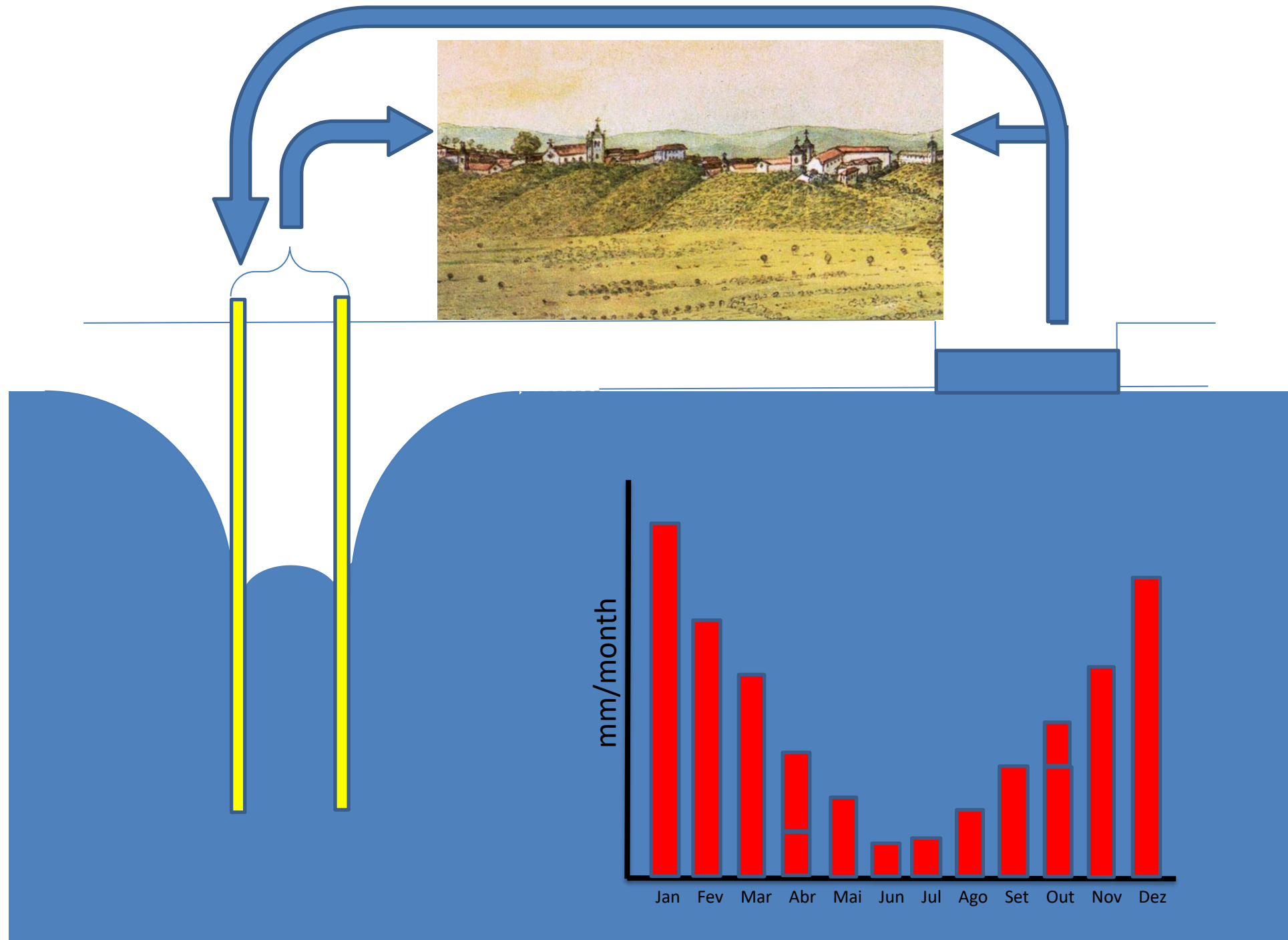
Cidades abastecidas
por rio



Mas, na
estiagem,
poços
tubulares são
usados



& com
excesso de
água,
recarga do
aquífero





2. Proteção da quantidade: evitando-se a superexploração de aquíferos

Prof. Ricardo Hirata

CEPAS|USP : Centro de Pesquisa em Águas Subterrâneas

Universidade de São Paulo

IWA- Groundwater Management Team

SACRE

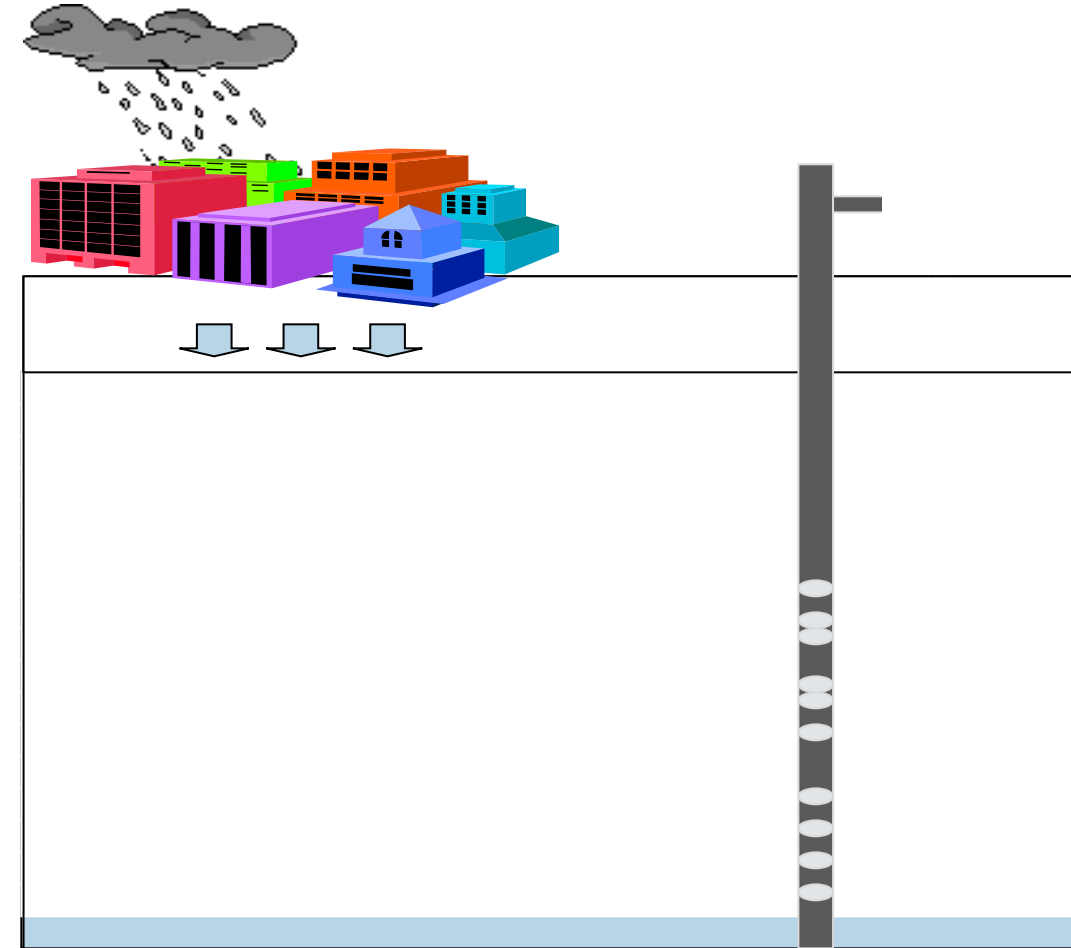


integrated water
solutions for
resilient cities

O que é superexploração dos recursos hídricos subterrâneos?

Um conceito de difícil definição precisa

- *Extração excede a recarga, mas 'em que lugar', 'em que período', 'sob que condições' e 'associado a que impacto'?*
- *Queda contínua das cargas hidráulicas, mas qualquer extração implica em queda de nível e há demora entre causa e efeito, sobretudo em aquíferos com baixa transmissividade e armazenamento*
- *Preocupação: pode haver situações negativas, mesmo com baixas extrações locais*





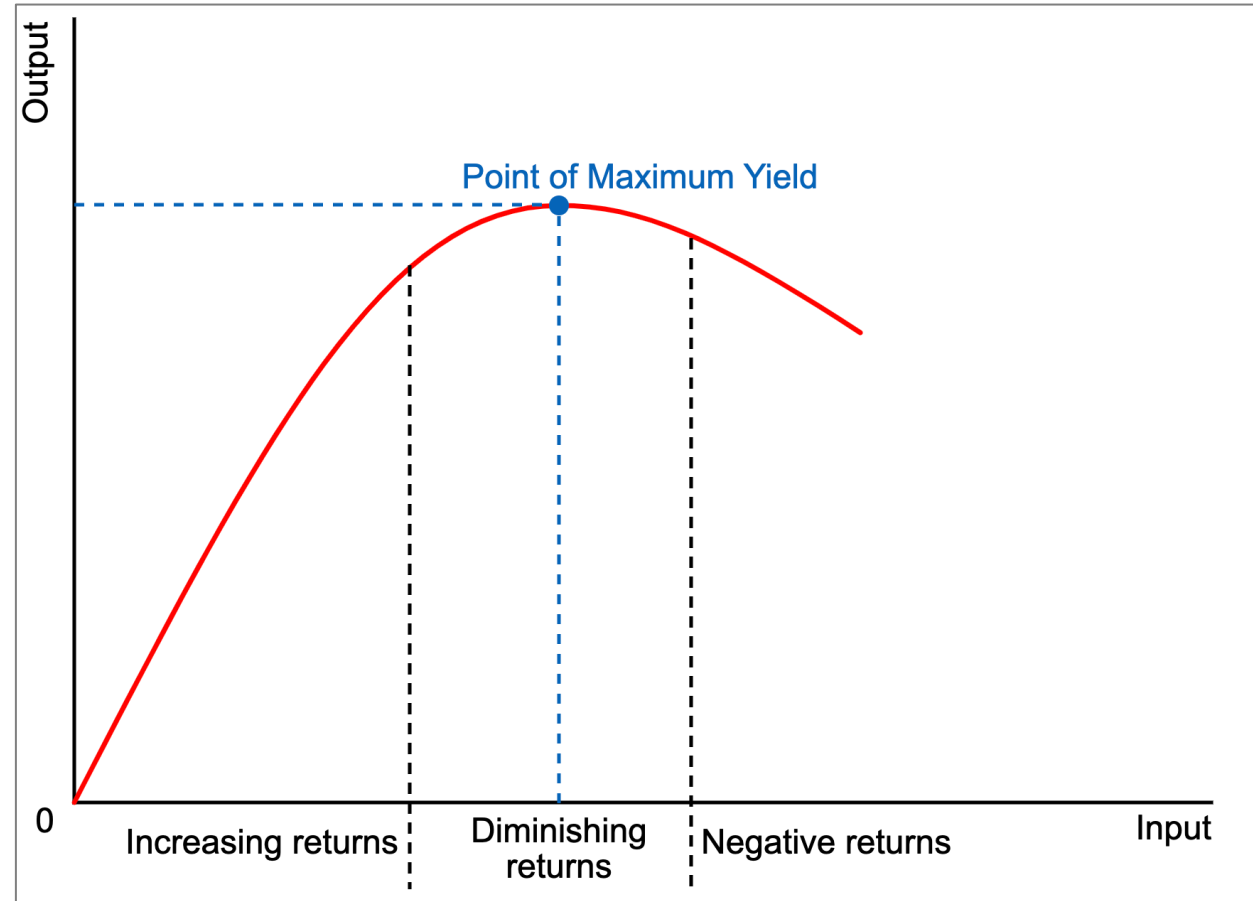
Superexploração é uma expressão emotiva
que não tem uma definição rigorosa

Entretanto, não deveria ser abandonada,
pois ela já se encontra registrada a nível político
e na opinião pública

(Stephen Foster 1992)

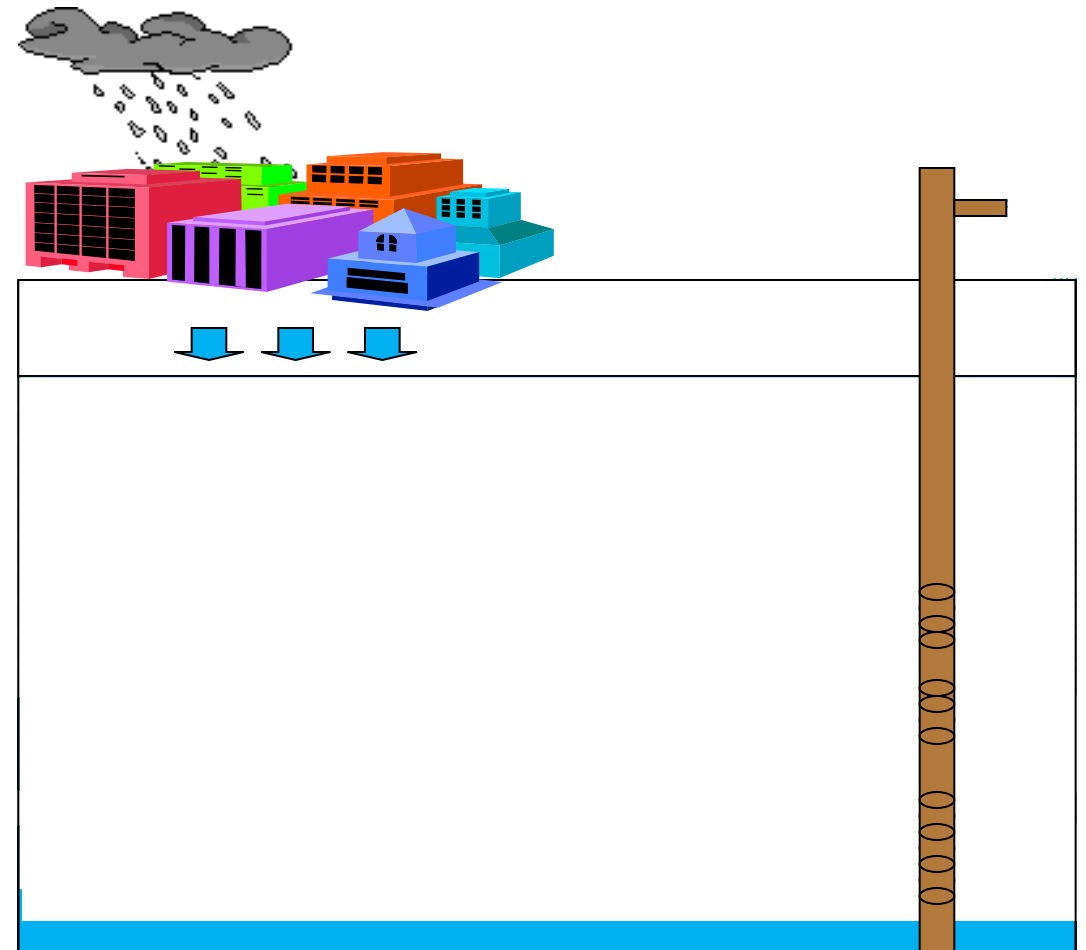
Buscando uma melhor definição de superexploração

- Superexploração refere-se a uma extração de um aquífero renovável para além de um ponto de ganho máximo (*point of diminishing returns*)
- *Custo total do impacto negativo supera o benefício líquidos do uso da água subterrânea (Young, 1992)*

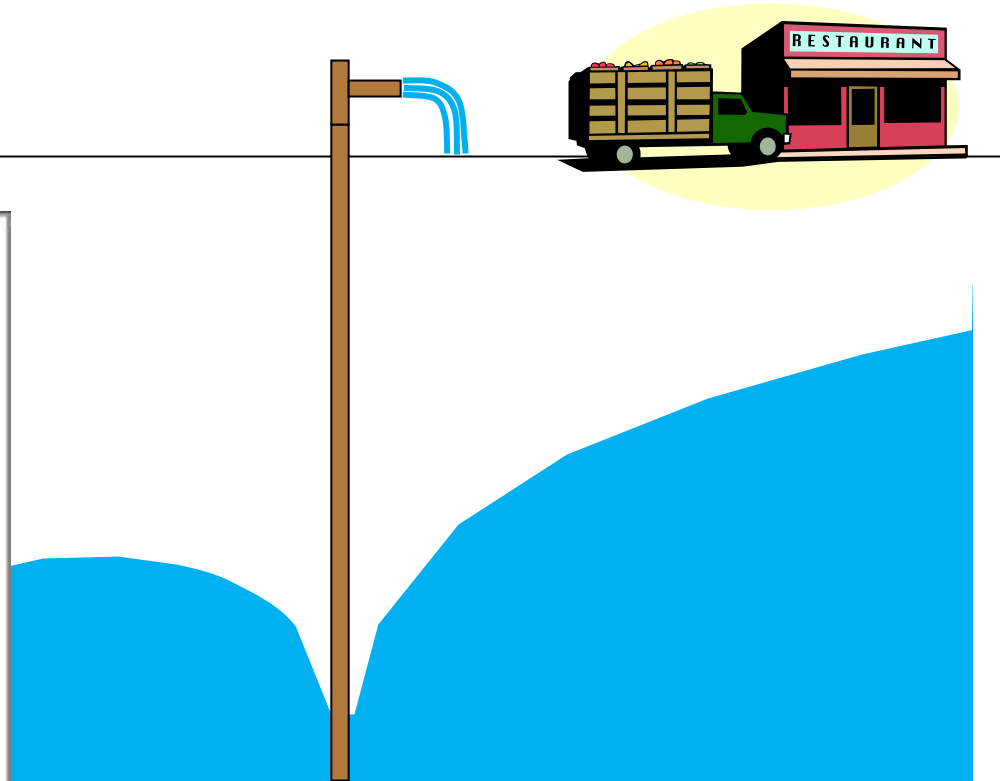
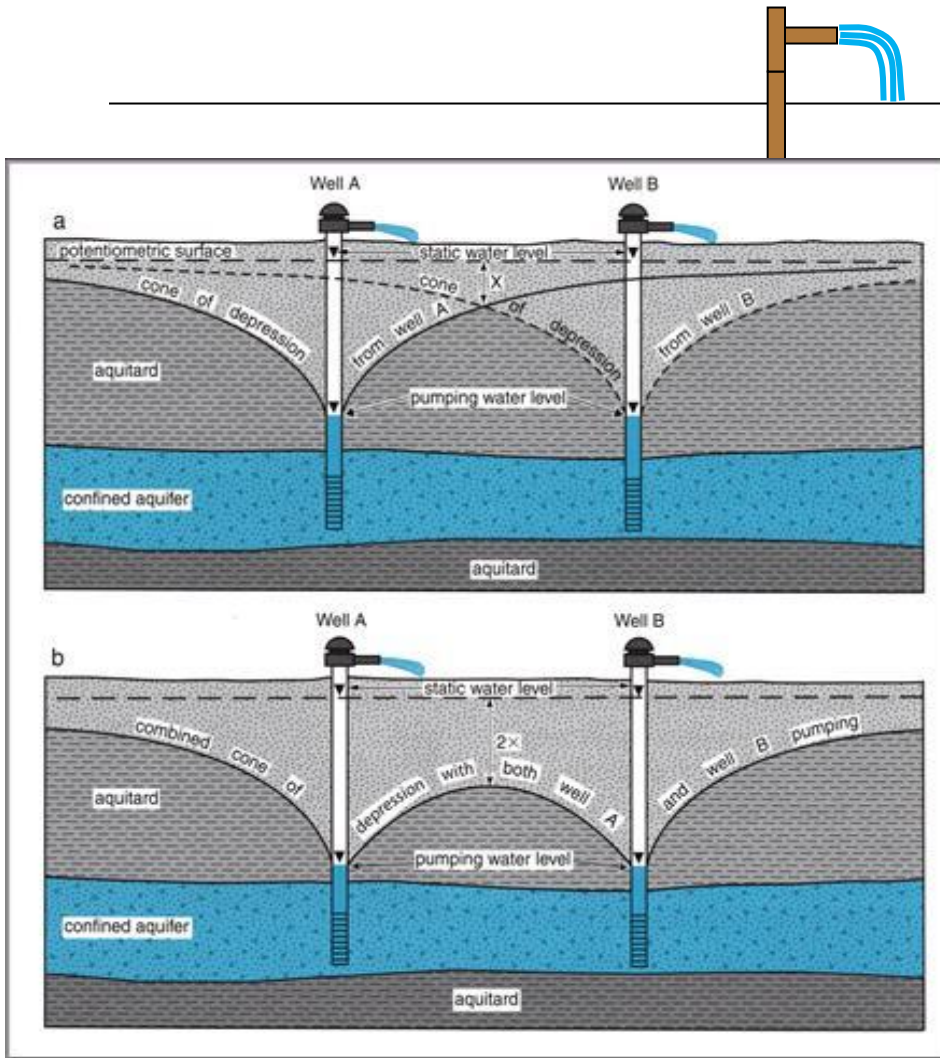


Conceito de superexploração de um aquífero

- Perda de espessura saturada que limita a extração de água em poços
- Aumento do custo de perfuração (aprofundamento de poços) e bombeamento (energia)
- Impacto ambiental indesejável
- Intrusão de águas de baixa qualidade para o aquífero
- Subsidência (afundamento geotécnico, sobretudo em cárstico)
- Falta de equidade social



Interferência hidráulica entre poços



25/62

- aumento do custo da extração de água ou (total ou parcial) exaustão do aquífero

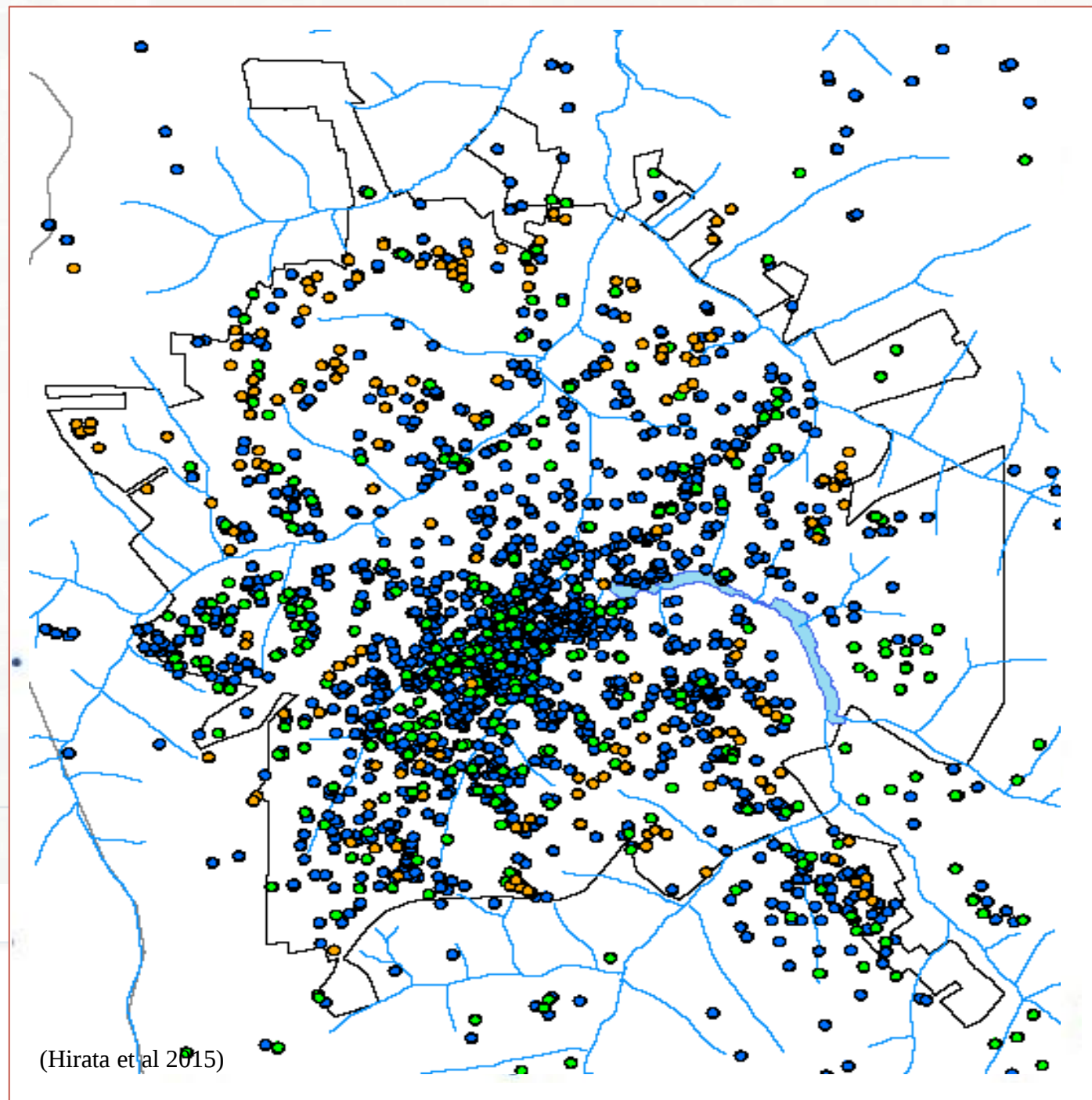
Extrações por muitos
poços privados

Embora 80% dos poços
sejam irregulares, a cidade
colapsaria pois eles
fornecem 20% da
demanda urbana total de
água

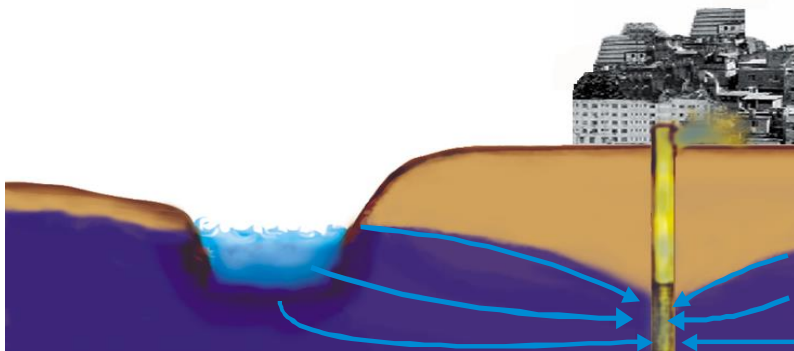
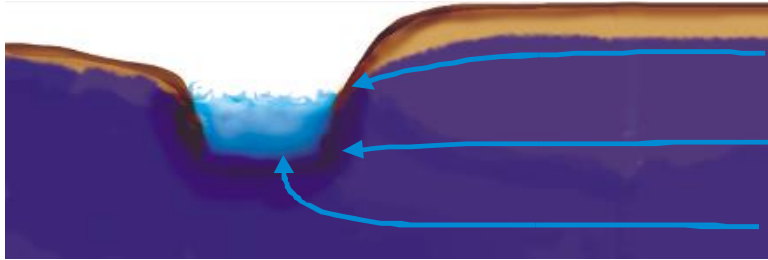
São José do Rio Preto (Brazil)

Poços autorizados

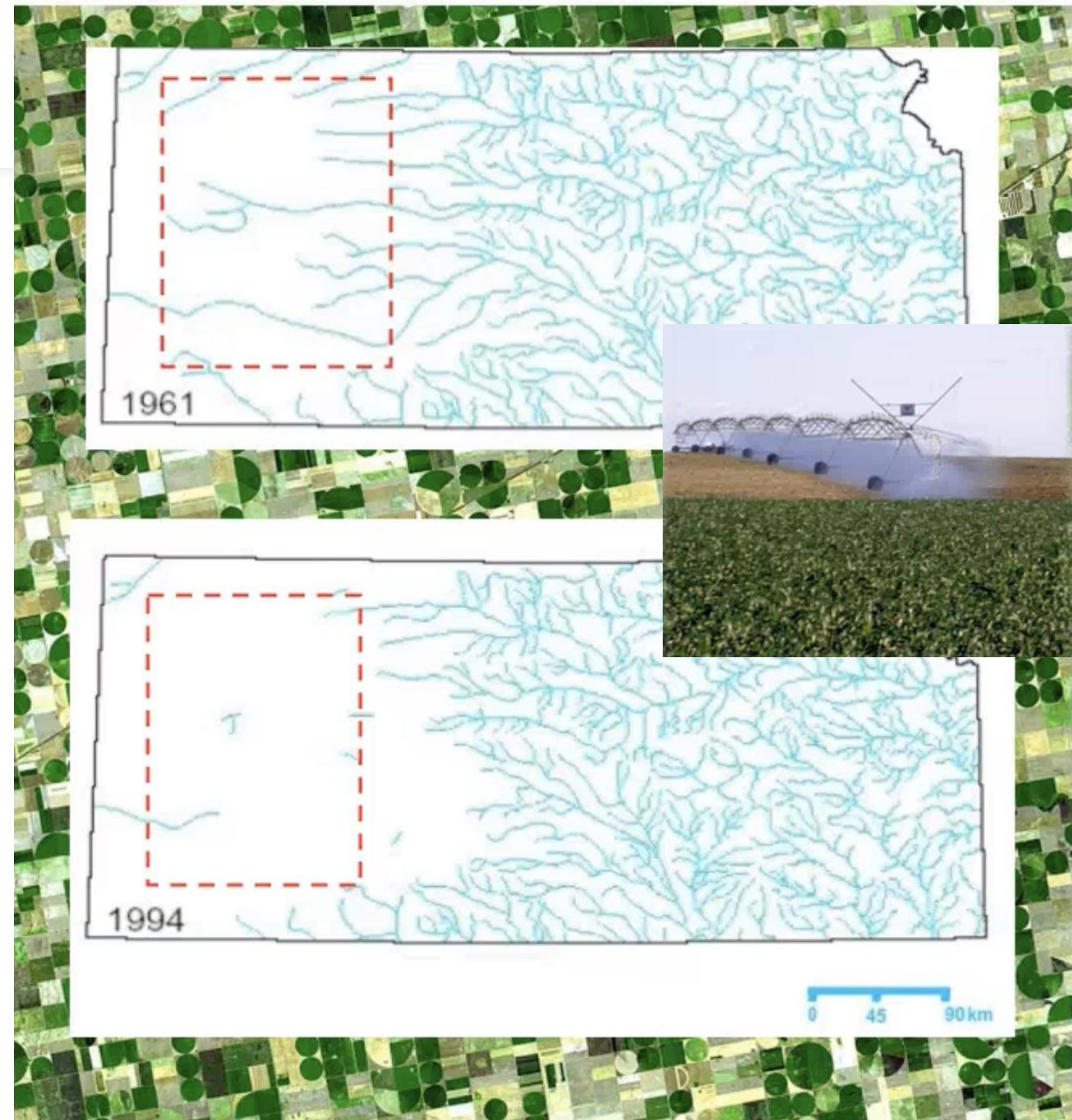
Irregulares



High Plains no Aquífero Ogallalla (Kansas, EUA)

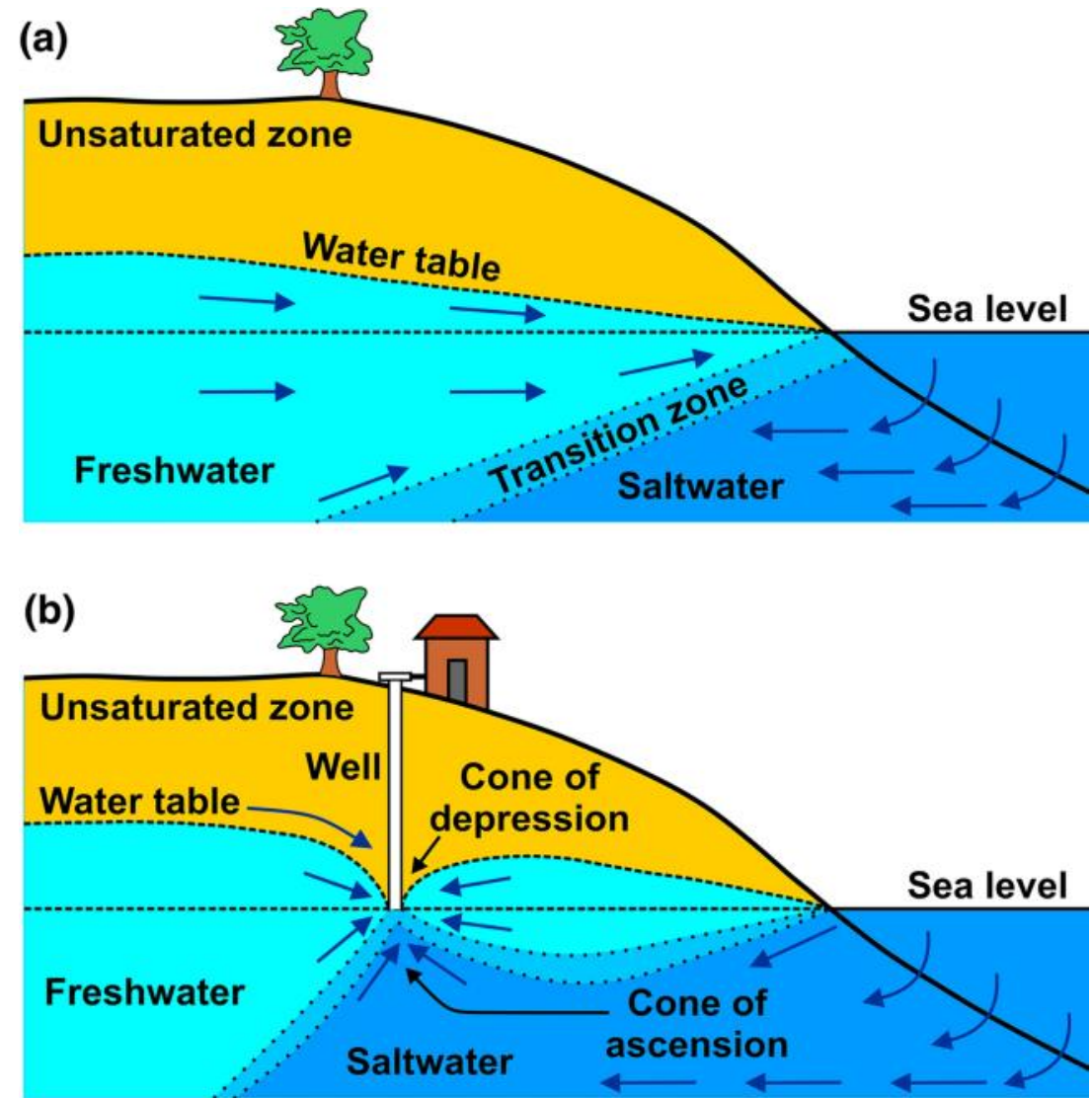


Extrações do aquífero que afetam o
fluxo de base de rios (podendo
secá-los ou causar prejuízos no uso)



Intrusão salina por exploração incorreta de aquíferos

- Aquíferos costeiros têm descargas, em equilíbrio dinâmico, no mar
- Quando há exploração um novo equilíbrio se estabelece
- A boa gestão ocorre quando parte do fluxo horizontal é extraída, mantendo-se uma descarga para que a cunha salina não avance para o continente



Conceito de superexploração de um aquífero

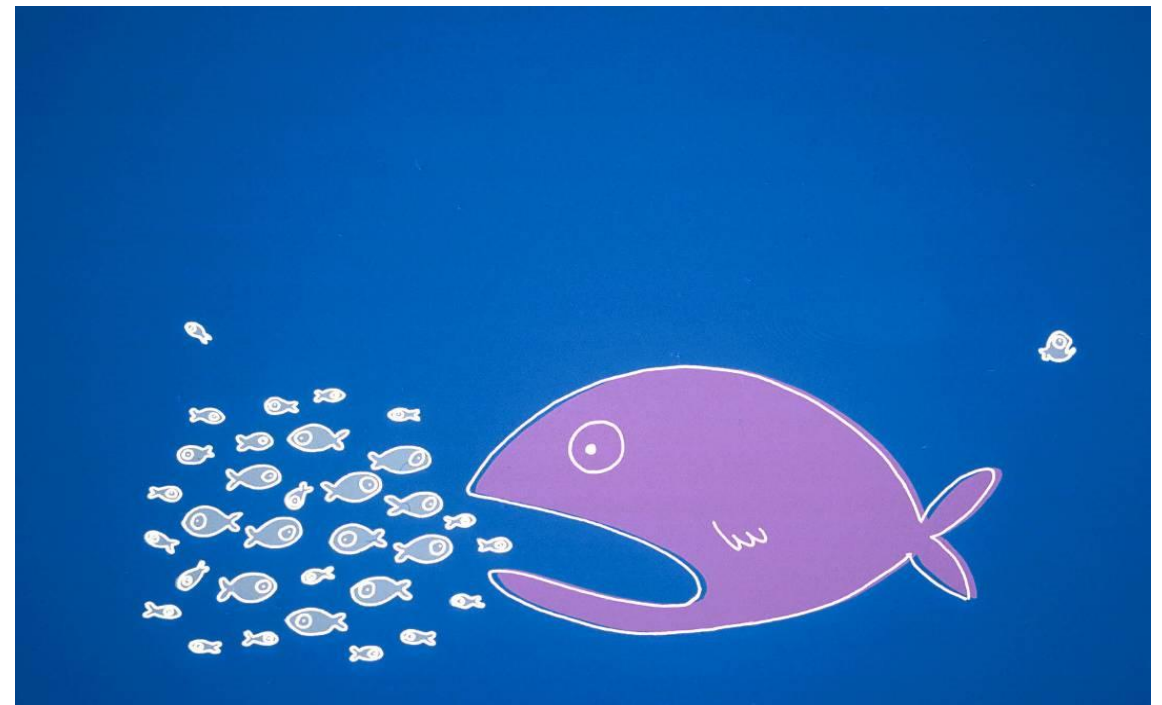
- Perda de espessura saturada que limita a extração de água em poços
- Aumento do custo de perfuração (aprofundamento de poços) e bombeamento (energia)
- Impacto ambiental indesejável
- Intrusão de águas de baixa qualidade para o aquífero
- Subsidência (afundamento geotécnico, sobretudo em cárstico)
- Falta de equidade social



Conceito de superexploração de um aquífero

- Perda de espessura saturada que limita a extração de água em poços
- Aumento do custo de perfuração (aprofundamento de poços) e bombeamento (energia)
- Impacto ambiental indesejável
- Intrusão de águas de baixa qualidade para o aquífero
- Subsidência (afundamento geotécnico, sobretudo em cárstico)
- Falta de equidade social

Grandes explorações (legais) afetam pequenos usuários socialmente vulneráveis



As águas subterrâneas e a *Tragédia dos comuns* (G. Hardin 1968)

- A soma das soluções individuais cria um problema para todos, tendo um recurso limitado
- *Um problema que afeta a todos, mas não é de responsabilidade ninguém*

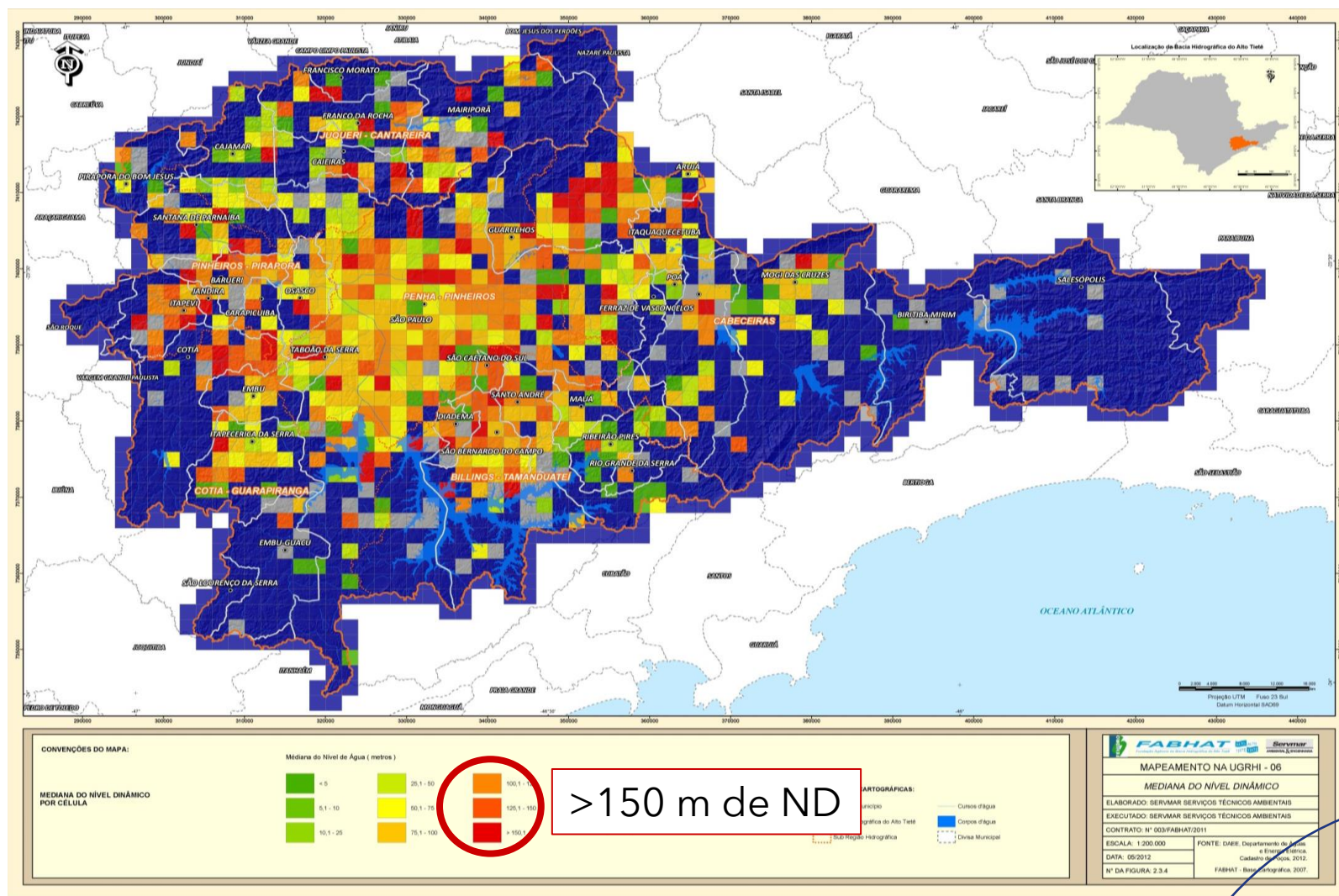


O que todos esses casos têm em comum?

- Usualmente, a causa da superexploração é múltipla, envolvendo centenas a milhares de poços com muitos proprietários
- A responsabilidade é difusa, e geralmente, o dano é pago pela sociedade.
- Leva-se um longo tempo para se entender o problema e suas causas
- A reversão do problema é extremamente difícil, custosa, e demorada
- Em muitas situações, não há correção e medidas adaptativas são necessárias incluindo o abandono do recurso
- A complexidade se incrementa devida a falta de visibilidade e percepção da sociedade

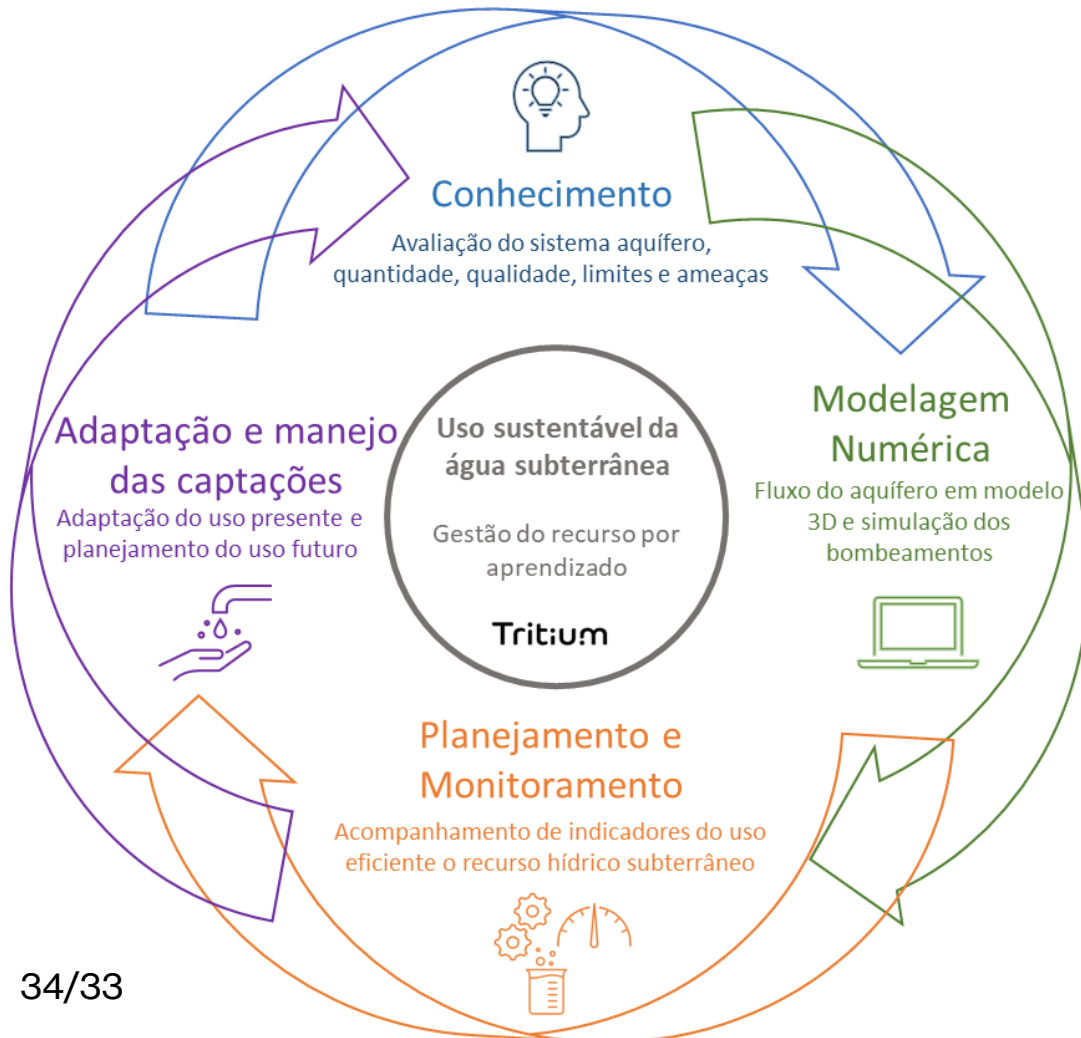


Trabalhar com o conceito de áreas críticas



Gestão adaptativa

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*.



O que podemos fazer?

- Entender a superexploração não é apenas um problema hidrogeológicos, onde medidas de correção afetarão muitos usuários e a sociedade. Assim, instituições sólidas e ativas são necessárias
- Introduzir mecanismos do tipo bottom-up complementando aqueles top-down, do tipo 'comando e controle'
- A disponibilidade de água subterrânea deve considerar um balanço dinâmico da recarga, controle da demanda (em uso conjuntivo de águas superficiais e subterrâneas e manejo do armazenamento aquífero)
- Estratégias adaptativas devem ser implementadas de acordo com o desenvolvimento do uso do recurso e não restringir o uso como única alternativa de manejo





3. Proteção da qualidade: evitando-se a contaminação de aquíferos

Prof. Ricardo Hirata

CEPAS|USP : Centro de Pesquisa em Águas Subterrâneas

Universidade de São Paulo

IWA- Groundwater Management Team

SACRE

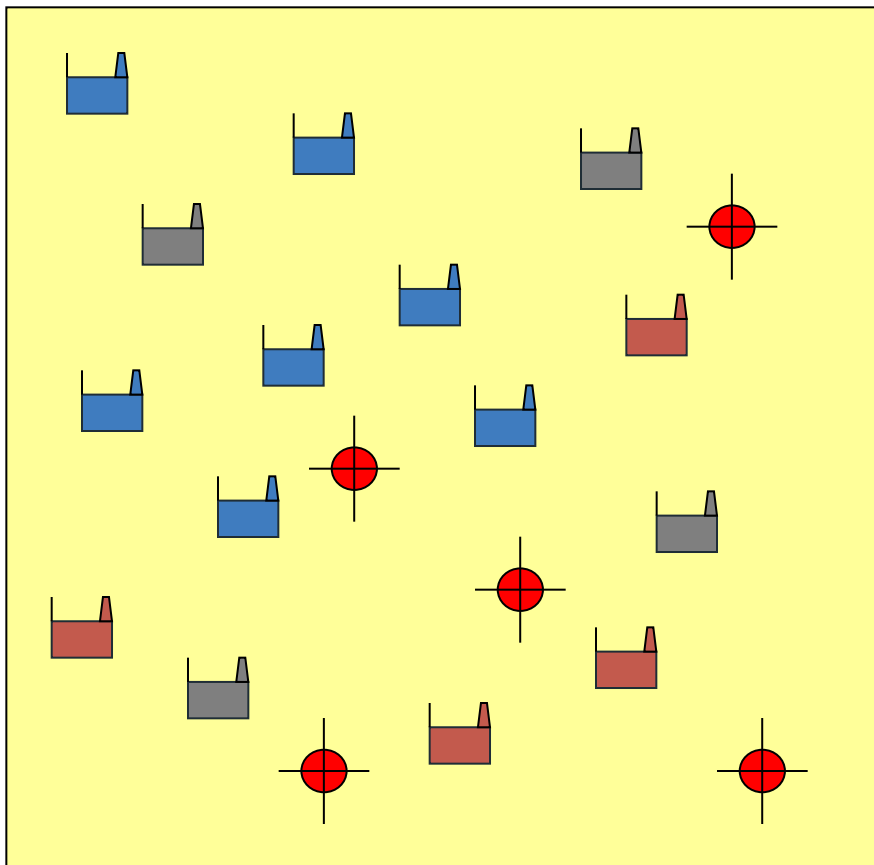


integrated water
solutions for
resilient cities

Classificação dos problemas de qualidade do água subterrânea e seu abastecimento como água potável

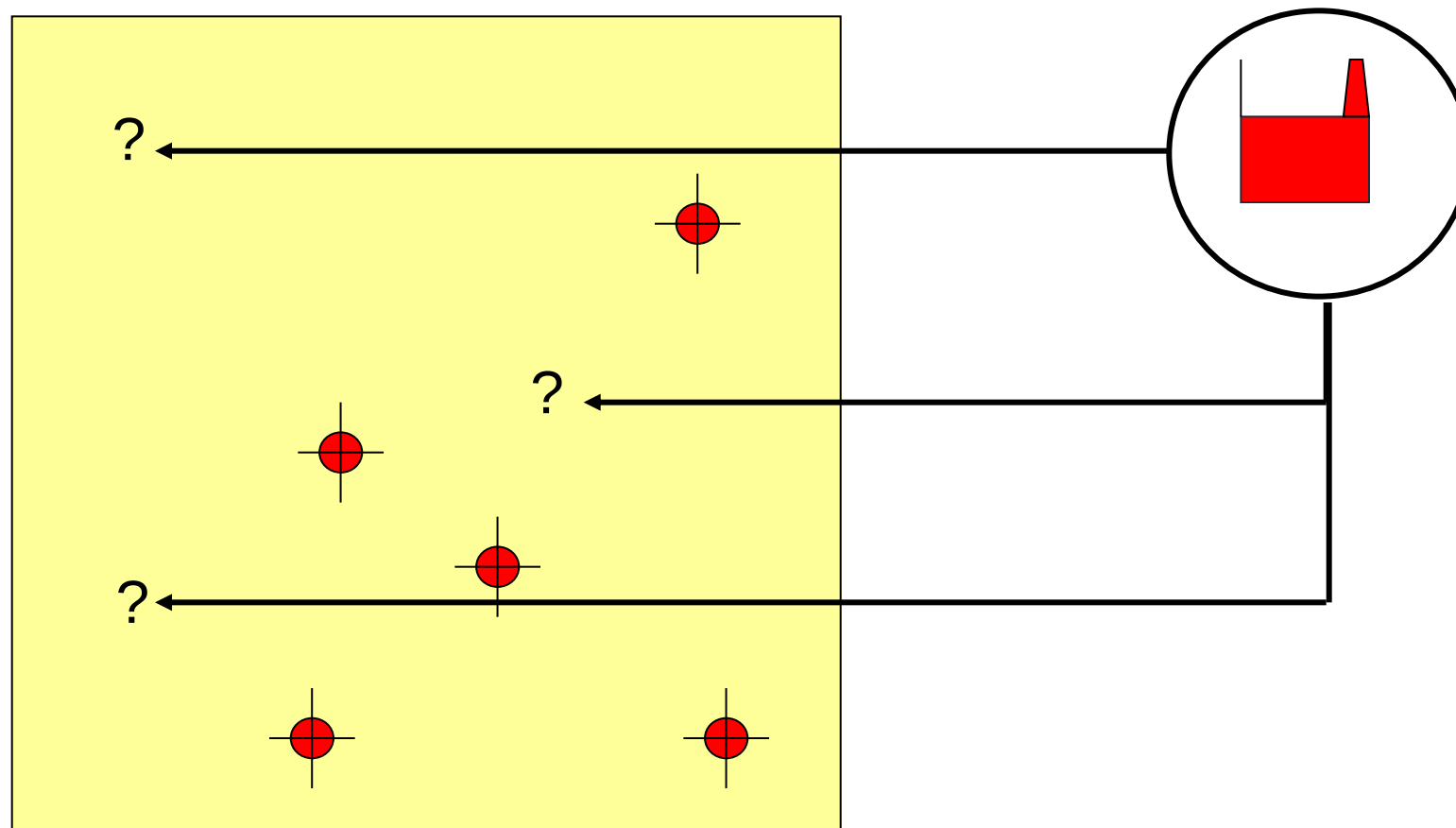
Tipo de problema	Causa subjacente	Contaminante de interesse
Contaminação do aquífero	Proteção inadequada de aquíferos vulneráveis contra fontes potenciais de contaminação	Patógenos, NO ₃ , NH ₄ , Cl, SO ₄ , As, metais pesados, COD, Hidrocarbonetos aromáticos e halogenados, pesticidas
Contaminação da cabeça do poço	Construção/desenho inadequado do poço	Principalmente patogênicos
Intrusão salina	águas subterrâneas salgadas induzida, resultado de extração	Principalmente NaCl, e outros contaminantes antrópicos
Contaminação que ocorre naturalmente	Relacionado com a evolução química do água subterrânea e a solução de minerais	Principalmente Fe e F, a vezes MgSO ₄ , As, Mn, Se, Cr e outras espécies inorgânicas

1º Problema: quais são as atividades que devem estar provocando casos de contaminação de solos e aquíferos?

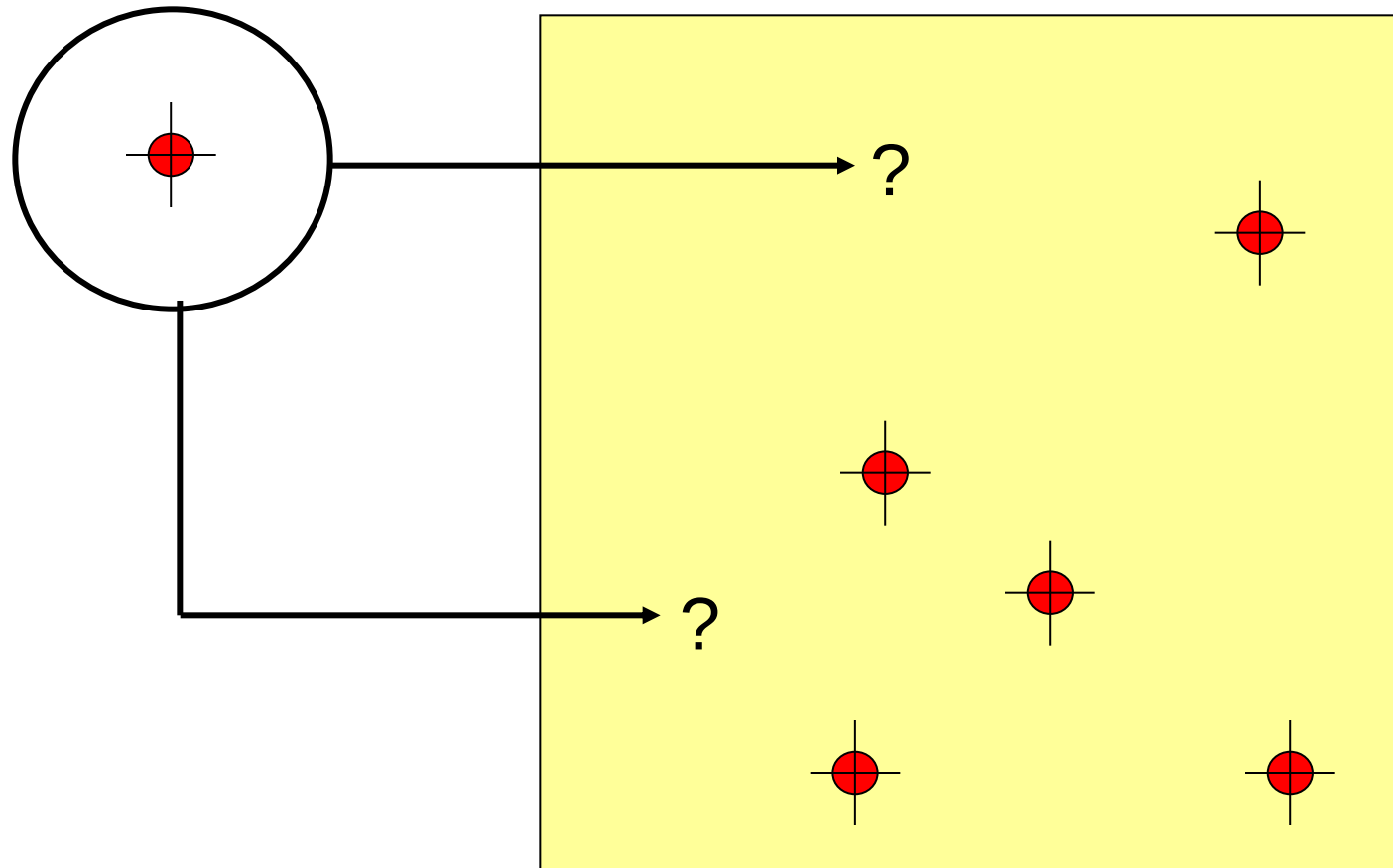


- Com restritos orçamentos, necessitará estabelecer prioridades em estudos de detalhe
- Por onde começar?

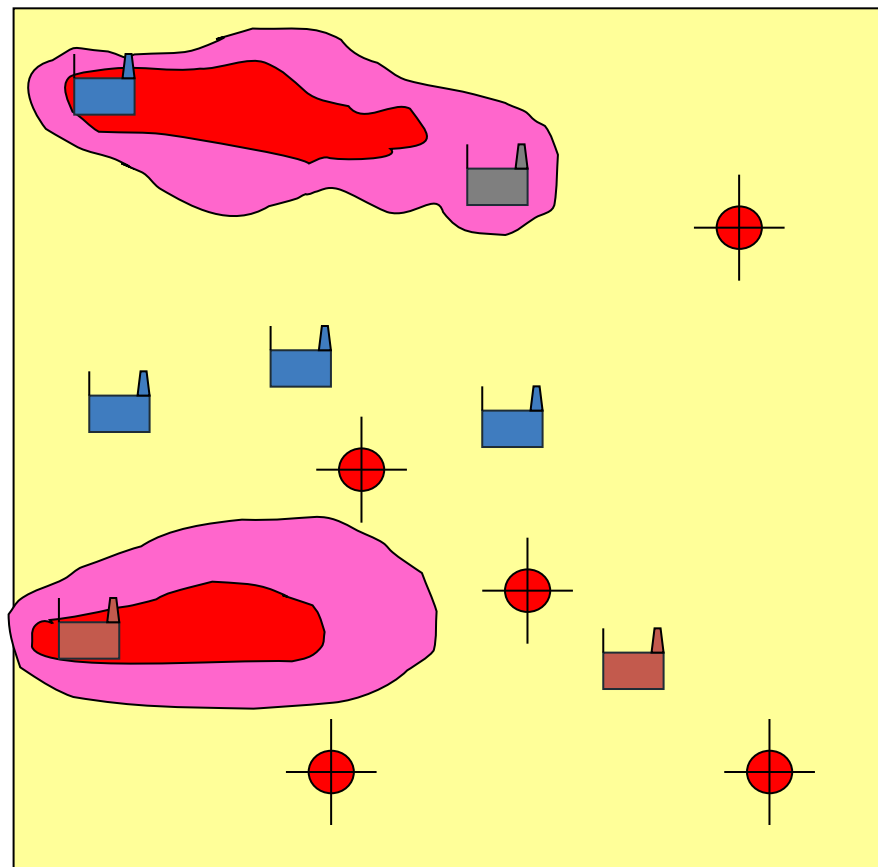
2º Problema: onde localizar uma nova atividade potencialmente contaminante ao solo e aquífero?



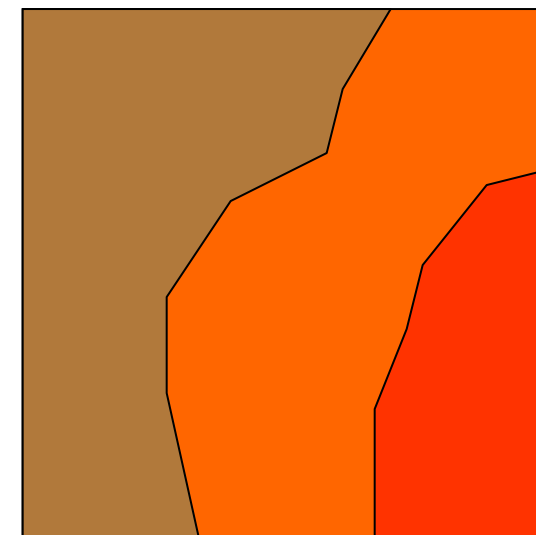
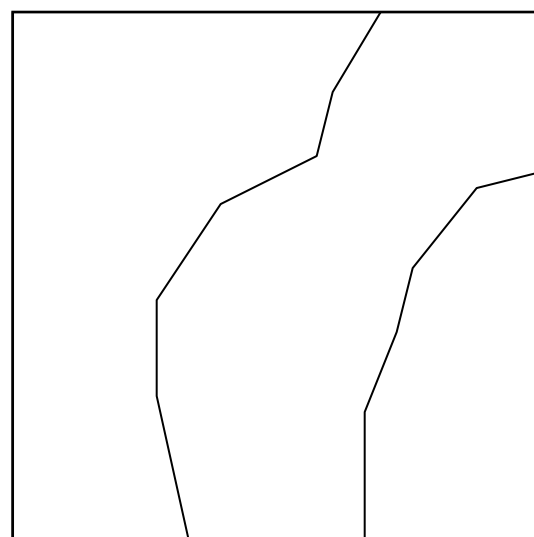
3 ° Problema: onde localizar uma nova captação para abastecimento de água potável na cidade?



4º Problema: Que fazer com as áreas comprovadamente contaminadas?



- **Perigo** baseado na interação entre vulnerabilidade de aquífero e fontes contaminantes potenciais



vulnerabilidade de aquífero

baixa

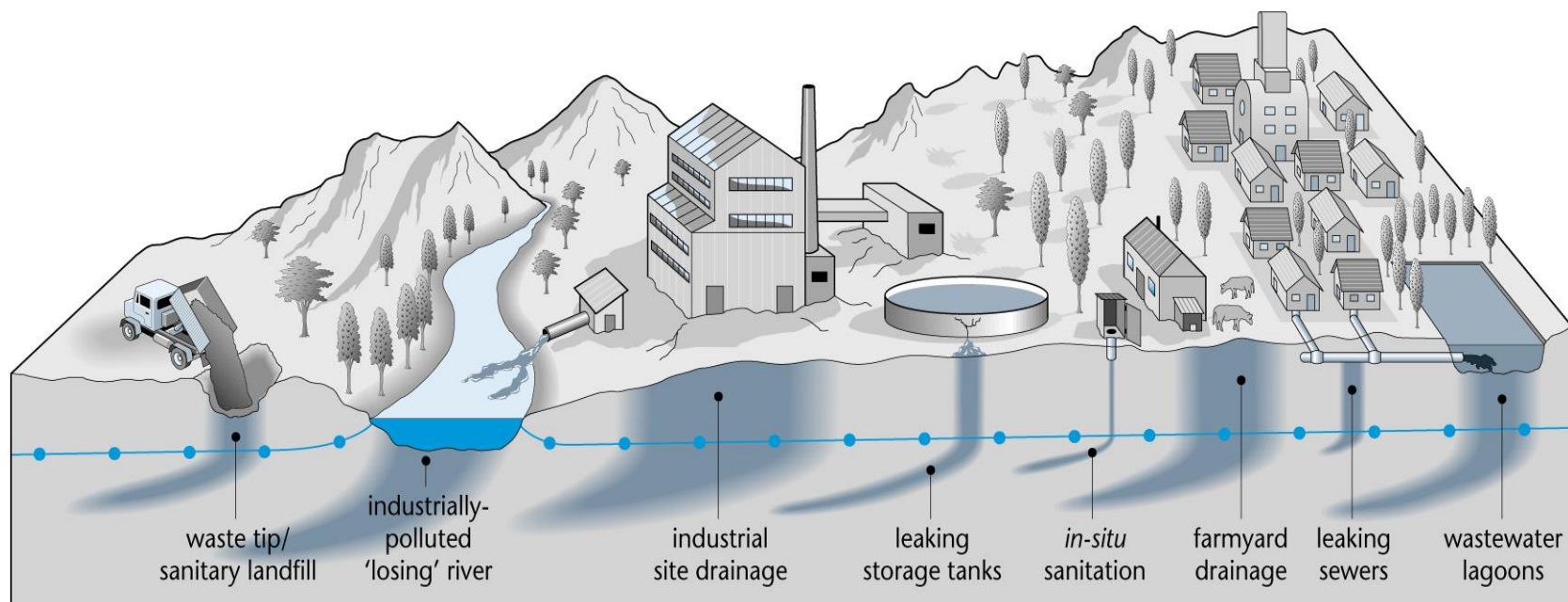
media

alta

		baixa	media	alta
carga contaminante	reduzida	3	2	
	moderada	2	2	
	elevada	2	1	1

Incremento de prioridade

Como classificar cargas contaminantes, quando elas são tão numerosas e complexas?



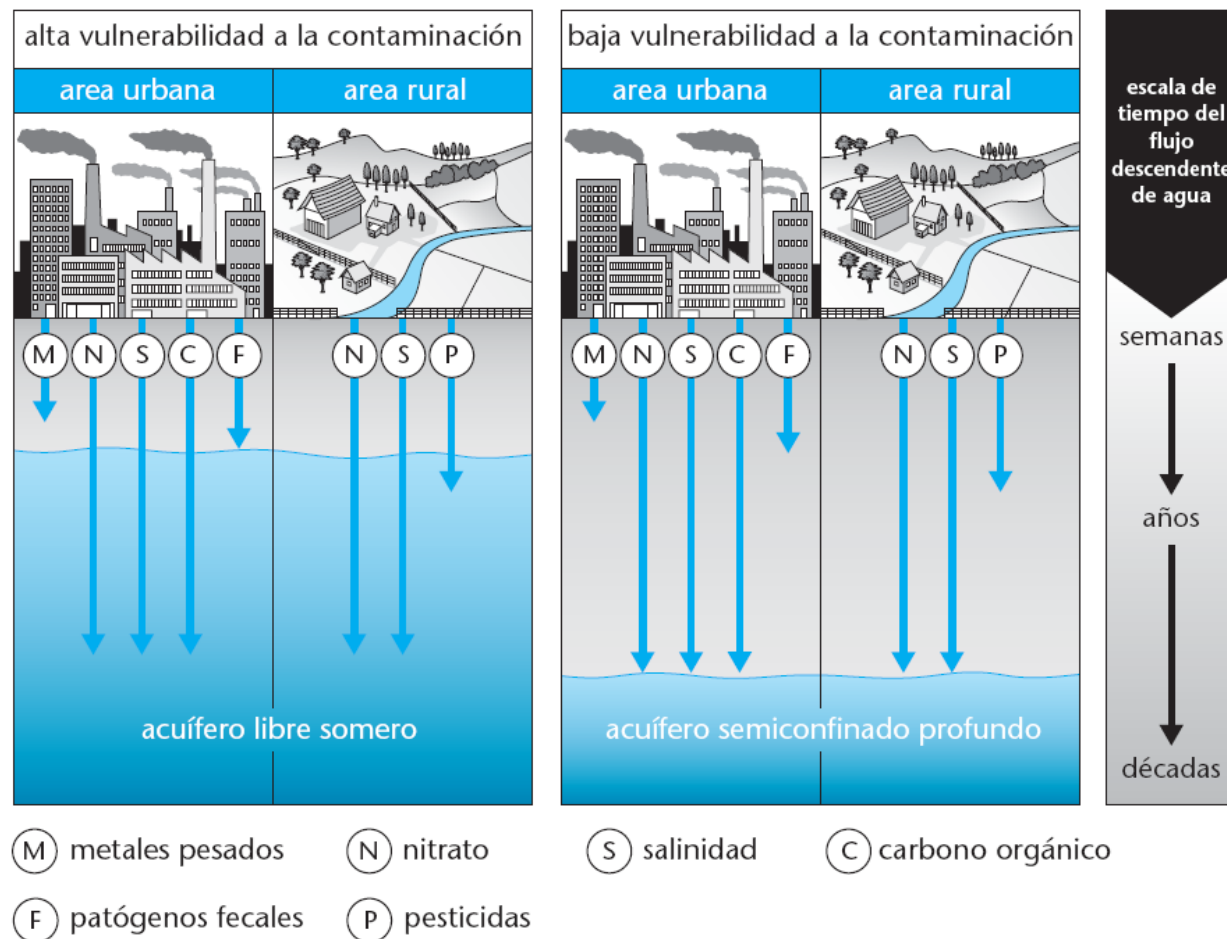
Quem controla a contaminação de aquíferos?

- Qualquer atividade antrópica pode ser classificada em termos de seu potencial de geração de carga contaminante, se analisarmos:
- **substâncias que manejam** (vendo a toxicidade, concentração, persistência e mobilidade) e
- **Modo de disposição** (carga hidráulica associada, profundidade de descarga e duração da descarga) .

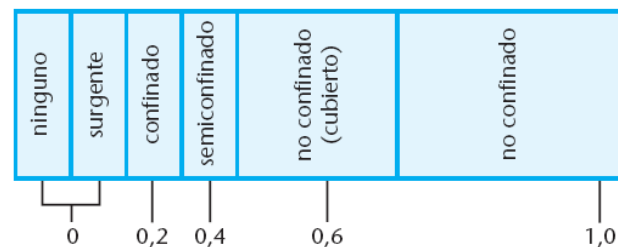
Mapa de vulnerabilidade de aquíferos

- A vulnerabilidade pode ser primariamente entendida como:
 - a) **Acesso hidráulico** da zona não saturada à penetração de contaminantes (advecção de contaminantes); e
 - b) **Capacidade de atenuação** da camada que recobre a zona saturada, resultado da retenção ou reação físico-química de contaminantes (dispersão, retardação e degradação)

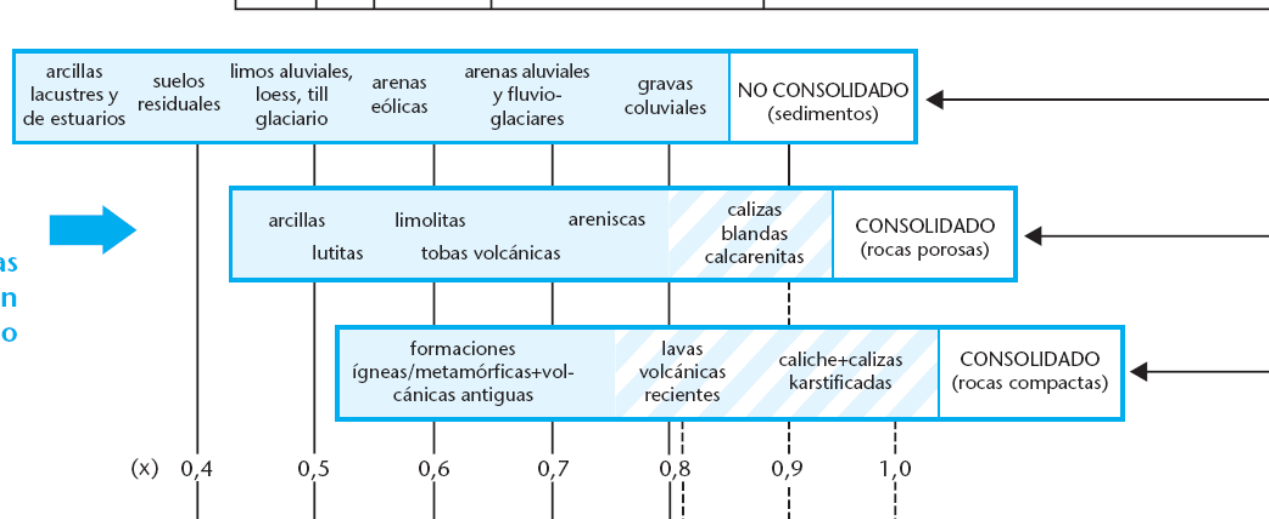
O que é a vulnerabilidade de aquífero?



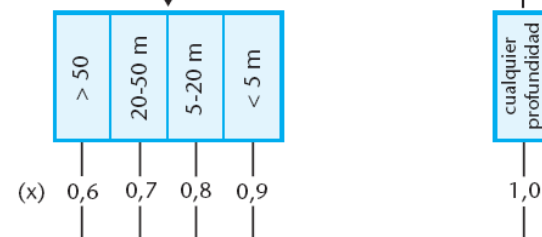
GRADO DE CONFINAMIENTO HIDRÁULICO



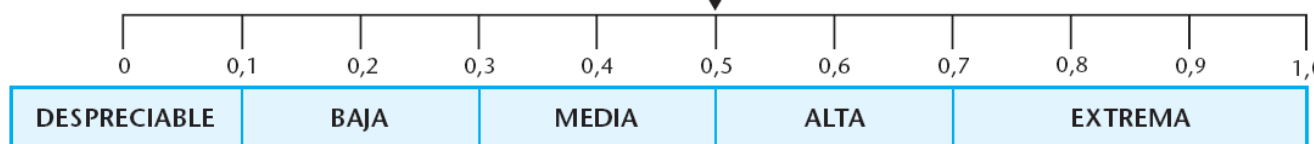
OCURRENCIA DEL SUSTRATO SUPRAYACENTE
(características litológicas y grado de consolidación de la zona no saturada o capas confinantes)



DISTANCIA AL NIVEL DEL AGUA SUBTERRÁNEA (no confinados) O AL TECHO DEL ACUÍFERO (confinados)



Método GOD de vulnerabilidad de acuíferos

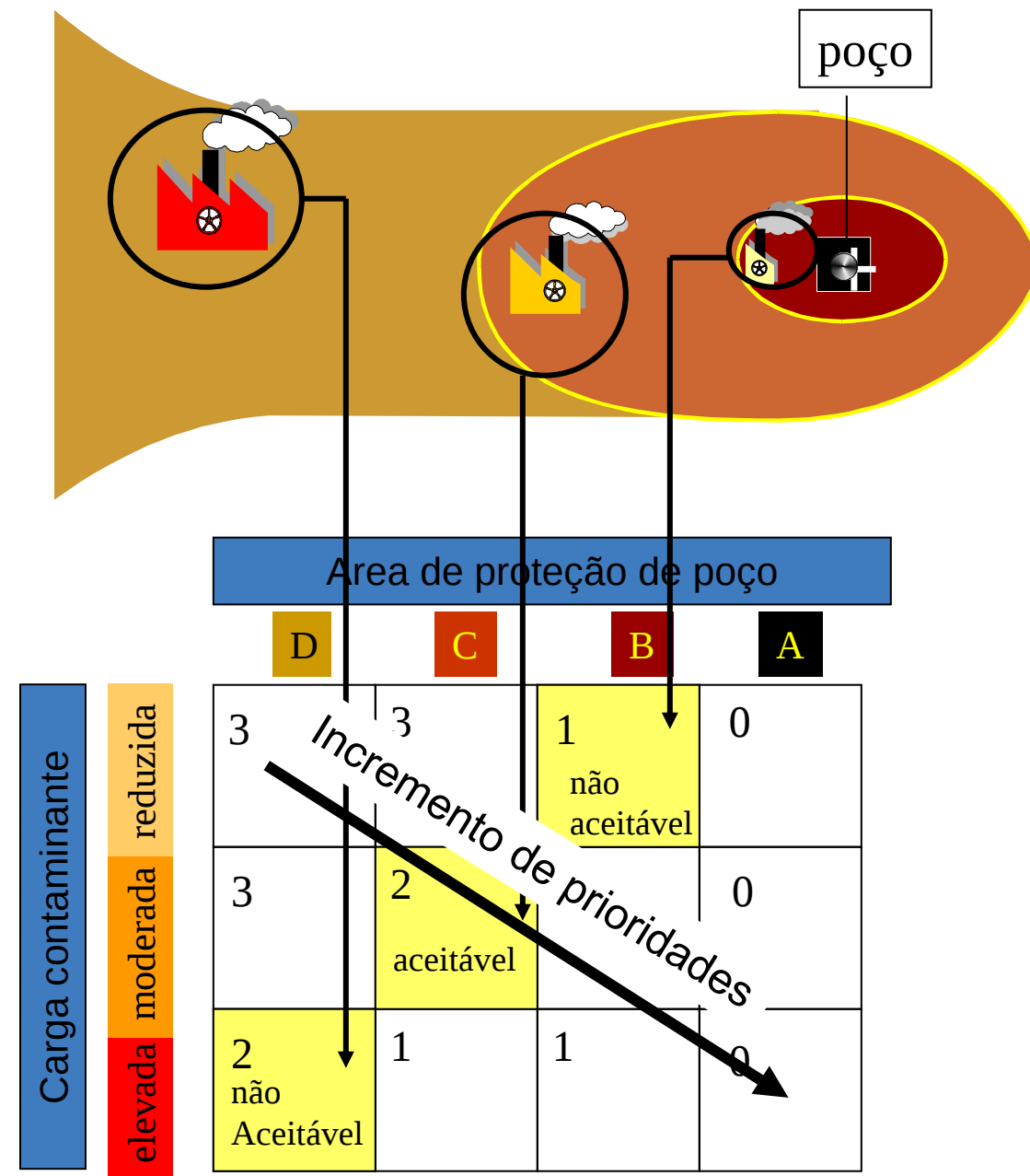


VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO

- Mapa de vulnerabilidade de aquíferos no Estado de São Paulo (detalhe)



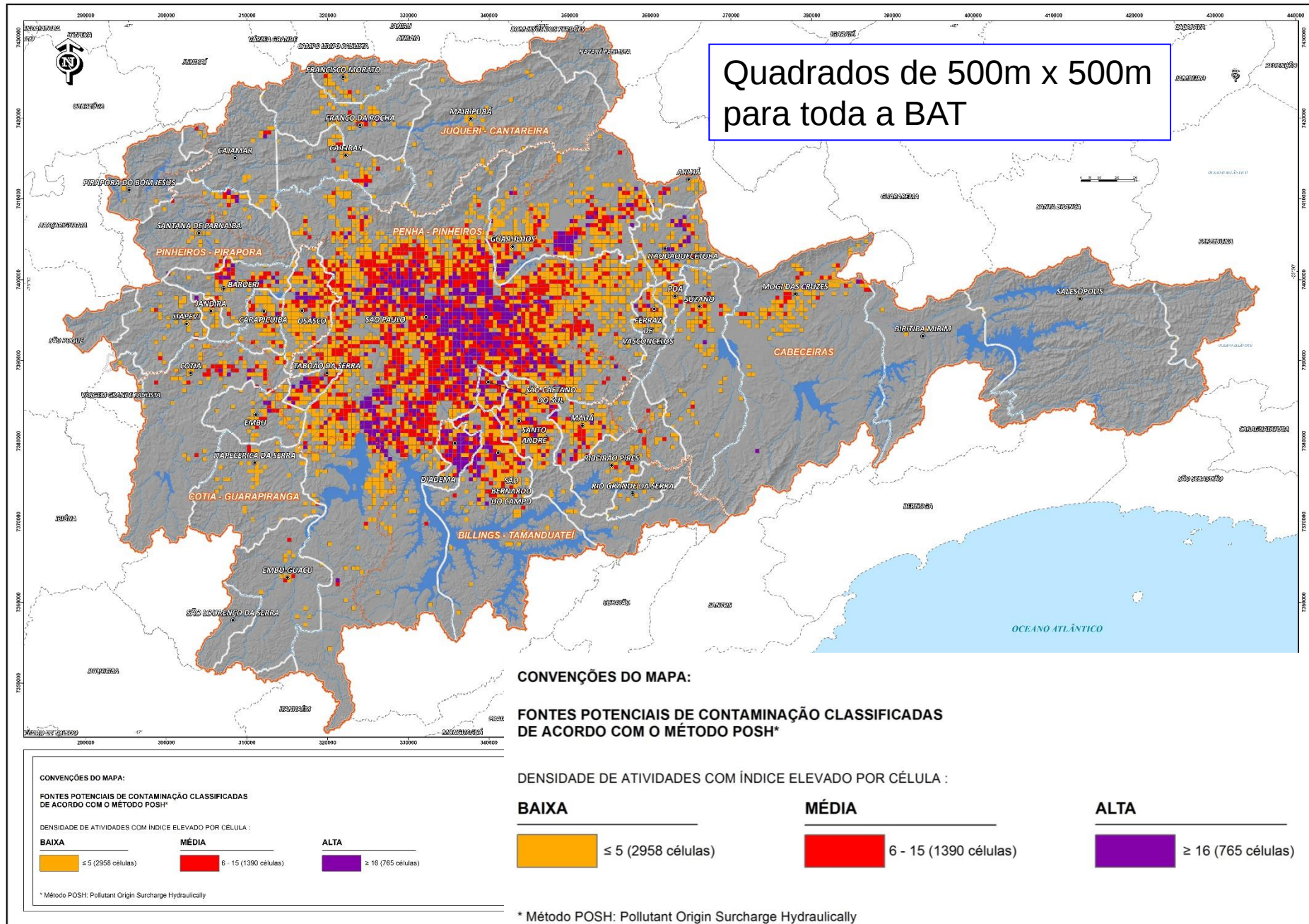
- Perigo de contaminação baseado em área de proteção de poço e fonte e atividades contaminantes



Tornando prático os conceitos

- O reconhecimento da vulnerabilidade e das zonas de captura de poços, juntamente com a classificação da carga contaminante potencial são ferramentas muito úteis nos programas de proteção de aquíferos e do disciplinamento do uso e ocupação da terra

Áreas críticas de qualidade (a partir das atividades de elevada carga)



Mensagens importantes

- A superexploração de aquíferos útil, mas entendida nas esferas além da hidrogeologia, incorporando aspectos **socioeconômicos e ecológicos**
- A superexploração é causada por múltiplos poços, com múltiplas responsabilidades, assim embora os mecanismos de 'comando e controle' devam ser a base do manejo dos recursos, instrumentos *bottom-up* devem ser incorporados.
- Trabalho hidrogeológico de reconhecimento regional e da dinâmica de uso da água permitirão estabelecer áreas críticas (maior uso da água, conflitos, vulnerabilidade socioeconômica), onde ações devam ser implementadas prioritariamente





Mensagens importantes

- Estratégias de proteção dos recursos hídricos subterrâneos devem ser baseadas no estabelecimento de áreas ou atividades críticas, permitindo estabelecer prioridades
- Avaliação de perigo (interação entre vulnerabilidade e carga contaminante potencial) é um instrumento útil para esse escrutínio e podem fazer parte de políticas hídricas, sobretudo no planejamento territorial
- Deve-se distinguir o perímetro de proteção como um instrumento dirigido às concessionárias e ao poder municipal, para proteger as fontes de água

Referências bibliográficas

- FOSTER, S; HIRATA, R.; ANDREO, B. 2013. The aquifer pollution vulnerability concept: aid or impediment in promoting groundwater protection? Hydrogeology Journal, p. 737-750, 2013 [https://link.springer.com/article/10.1007/s10040-013-1019-7]
- FOSTER, S; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M; PARIS, M. 2002. Groundwater quality protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environments agencies.. 1. ed. Washington: World Bank Group. v. 1. 103p [https://www.unigrac.org/sites/default/files/resources/files/GWMATE%20Books%20-%20Groundwater%20Quality%20Protection.pdf]
- HIRATA, R; SUHOGUSOFF, A; MARCELLINI, S.; VILLAR, P.; Marcellini, L. 2019. As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil. 1. ed. Sao Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. v. 1. 64p [https://igc.usp.br/igc_downloads/Hirata%20et%20al%202019%20Agua%20subterranea%20e%20sua%20importancia.pdf]

Ricardo Hirata

Professor Titular

CEPAS|USP
Universidade de São Paulo
rhirata@usp.br

SACRE



integrated water
solutions for
resilient cities

