

Da Geologia à Hidrogeologia

Coordenação de Águas Subterrâneas - COSUB

Superintendência de Implementação de Programas e
Projetos – SIP

Letícia Lemos de Moraes



AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

ASSUNTOS

TEMAS



1

Atividades da ANA em Águas Subterrâneas

2

Tipos de rocha x tipo de aquífero

3

Influência do Relevo, Clima, Solo e Uso do Solo

4

Ciclo Hidrológico (Visão Integrada)

5

Mapa de aquíferos do Brasil



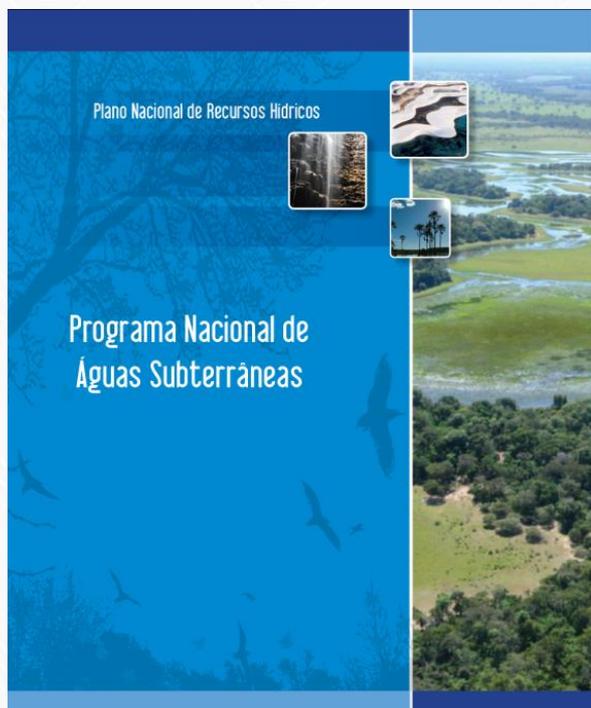
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

#AÁguaÉUmaSó

Atividades da ANA em Águas Subterrâneas

Atividades da ANA em Águas Subterrâneas

Plano Nacional de Recursos Hídricos



Executores diretos:

Nível Federal

ANA

SNSH/MDR

CPRM

Nível Estadual

órgãos gestores

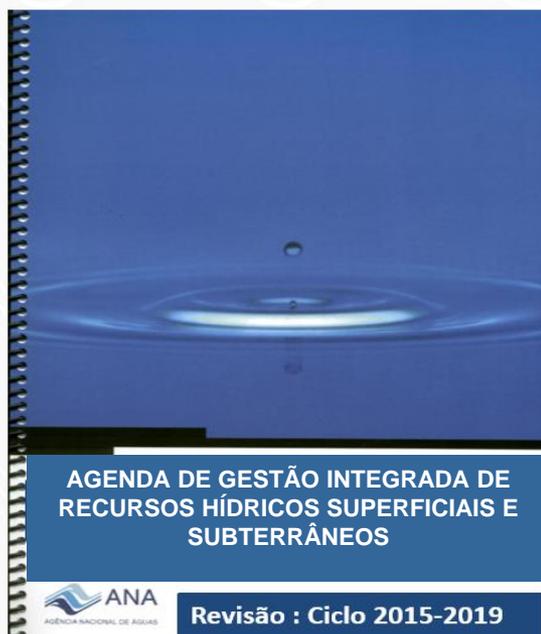
Subprograma VIII.1 – Ampliação do Conhecimento Hidrogeológico

Subprograma VIII.2 - Desenvolvimento dos Aspectos Institucionais e Legais

Subprograma VIII.3 - Capacitação, Comunicação e Mobilização Social

Atividades da ANA em Águas Subterrâneas

Agenda de Ações para a gestão Integrada



Ação A: *Promoção da gestão integrada de aquíferos conectados com rios federais*

Ação B: *Elaboração de Avaliações Hidrogeológicas*

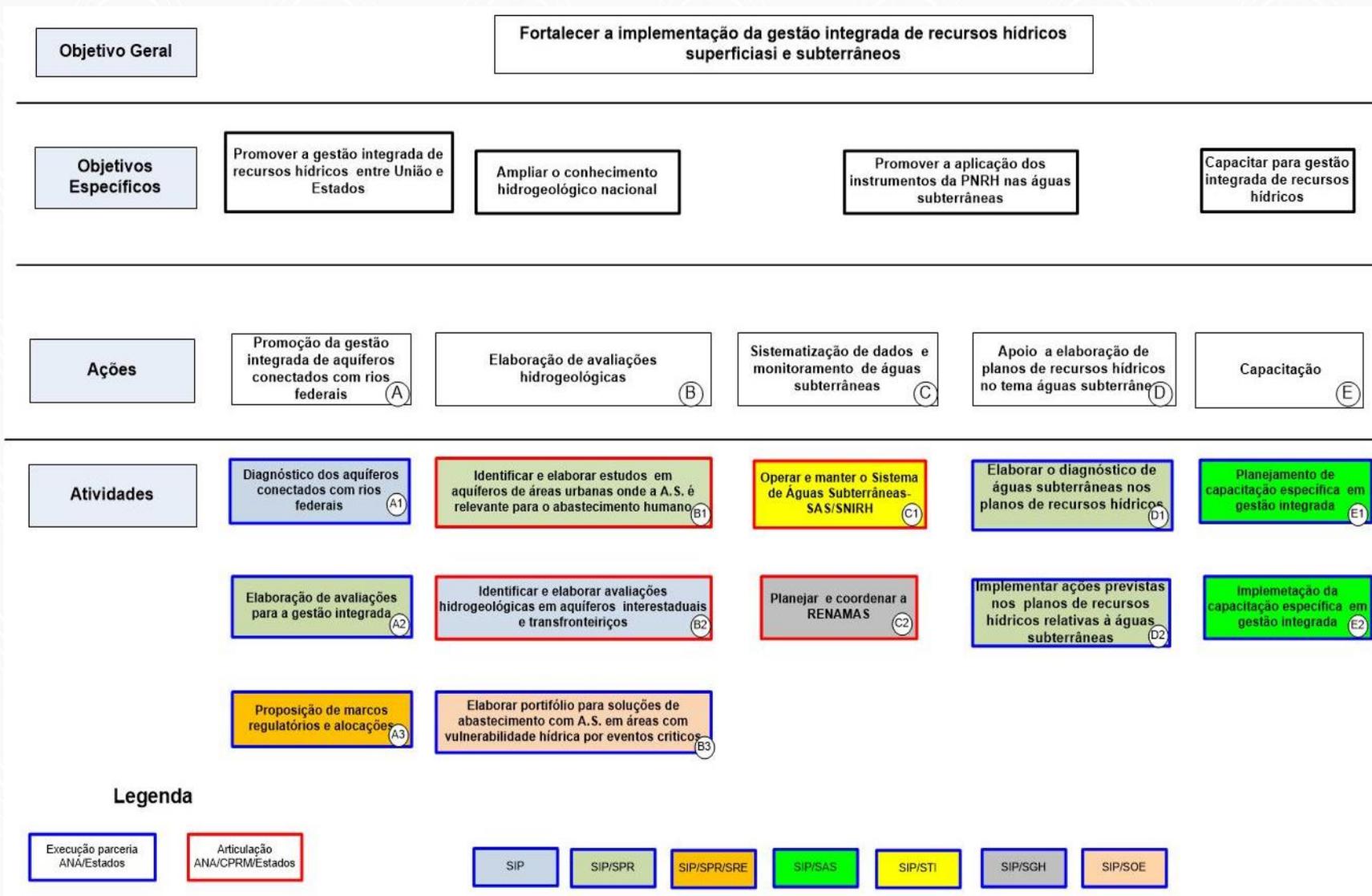
Ação C: *Sistematização de dados e monitoramento de águas subterrâneas*

Ação D: *Apoiar a elaboração de planos de recursos hídricos no tema águas subterrâneas*

Ação E: *Capacitação*

Atividades da ANA em Águas Subterrâneas

Agenda de Ações para a gestão Integrada



Atividades da ANA em Águas Subterrâneas

Agenda de Ações para a Gestão Integrada

Atividades em andamento

- Estudos Hidrogeológicos da **Região Metropolitana de São Luís/MA**: Subsídios para o Uso Sustentável dos Recursos Hídricos.
- Estudos Hidrogeológicos das Regiões Urbana e Periurbana de **Manaus/AM**: Subsídios para o Uso Sustentável dos Recursos Hídricos.
- Estudos integrados nas bacias dos rios **Carinhanha e Verde Grande** com vistas à proposição de marcos regulatórios com abordagem compartilhada e integrada
- Definição de metodologias para **estimativas de Escoamento de Base** e de rotinas de cálculo automatizado para subsidiar o balanço hídrico integrado.

Atividades em andamento

- Definição de metodologias para a avaliação e incorporação de **estações fluviométricas** representativas do **escoamento de base** na Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência (RHNR); bem como para incorporação de pontos de **monitoramento** de **aquíferos** relevantes ao **escoamento de base** de rios **federais** .
- Proposta de Rede Monitoramento de aquíferos para a bacia do rio Paranapanema (implementação do PIRH).
- Definir **metodologias** para a seleção de **áreas** de **recarga** para a implantação de **práticas agrícolas** conservacionistas com vistas ao aumento da **segurança hídrica**.

Atividades Permanentes

- ❑ Área responsável pela avaliação da **meta federativa do PROGESTÃO: Integração dos dados de usuários de recursos hídricos** - Parte 2- Complementação no CNARH de dados adicionais sobre águas subterrâneas referentes aos poços de usuários regularizados;
- ❑ Área técnica responsável no GTPEG- Grupo de Trabalho Interinstitucional de Atividades de Exploração e Produção de Óleo e Gás- pela **avaliação de aquíferos** com vistas a avaliação prévia de áreas e blocos a serem licitados pela ANP para **petróleo, gás e shale gas** ;
- ❑ Coordenação nacional de projeto de hidrologia isotópica junta a AIEA;

Atividades da ANA em Águas Subterrâneas

Estudos PNAS/PNRH



➤ 21 Estados envolvidos

Aquíferos interestaduais ou transfronteiriços

- ✓ Aquíferos da Chapada do Apodi
- ✓ Sistema Aquífero Urucuia (SAU)
- ✓ Estudo da Vulnerabilidade do Aquífero Guarani (SAG)
- ✓ Aquíferos da Prov. Hidr. do Amazonas
- ✓ Aquíferos Cársticos na Bacia do São Francisco

- Bacias rios Verde Grande e Carinhanha
- Bacia rio Paranapanema

Estudos em áreas urbanas

- ✓ Região Metropolitana de Maceió
- ✓ Região Metropolitana de Natal
- ✓ Belém (PA)

- Ilha de São Luís (MA)
- Manaus (AM)

- ✓ Finalizado
- Em andamento

Atividades da ANA em Águas Subterrâneas

Estudos PNAS/PNRH

2010



2011



2012



2015



2016



2017



2018



2018



<http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>

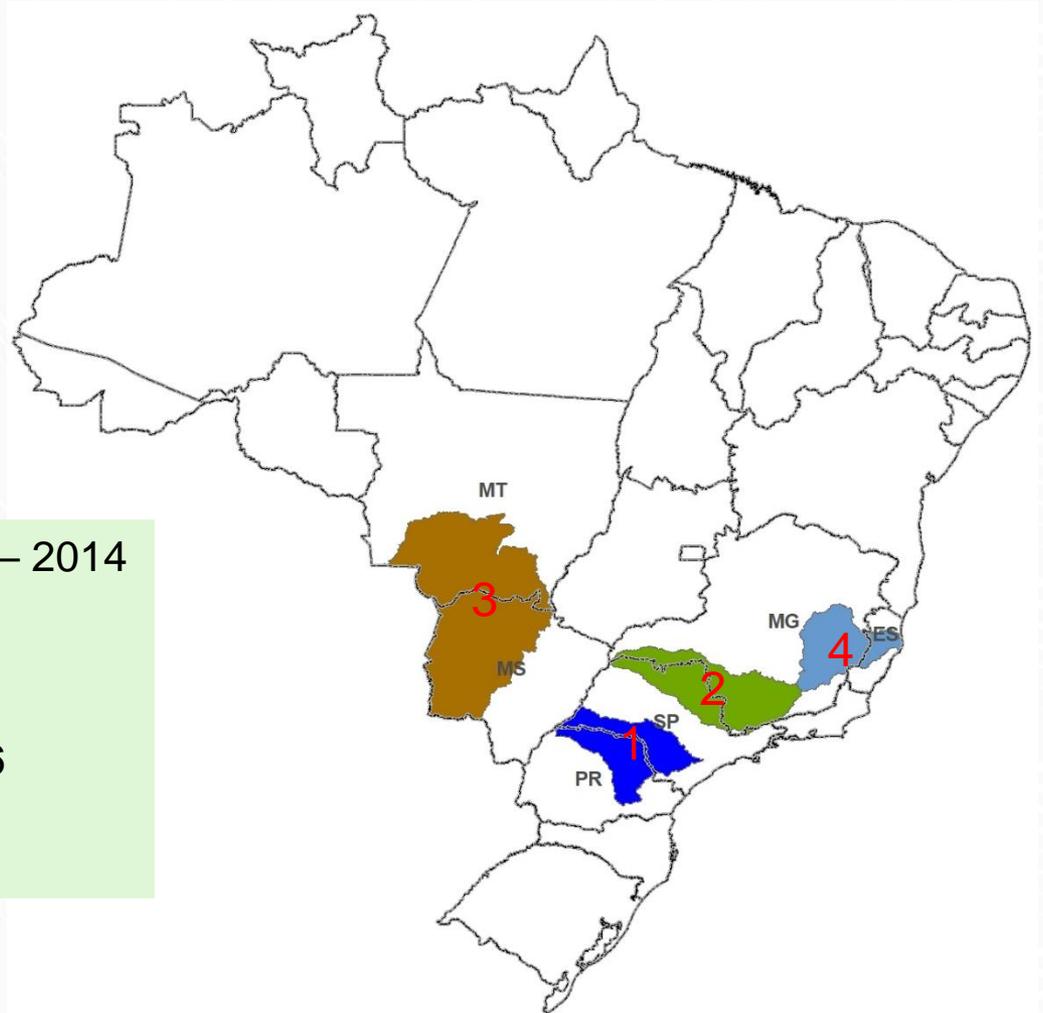
#AÁguaÉUmaSó

Atividades da ANA em Águas Subterrâneas

Diagnóstico Hidrogeológico nos Planos de Bacia

Avaliação Integrada da Disponibilidade Hídrica

- 1 – Bacia do Rio Paranapanema – 2014
- 2 – Bacia do Rio Grande – 2015
- 3 – Bacia do Rio Paraguai – 2016
- 4 - Bacia do rio Doce - 2019





AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

#AÁguaÉUmaSó

Rochas e Aquíferos

TIPOS DE ROCHAS

granito



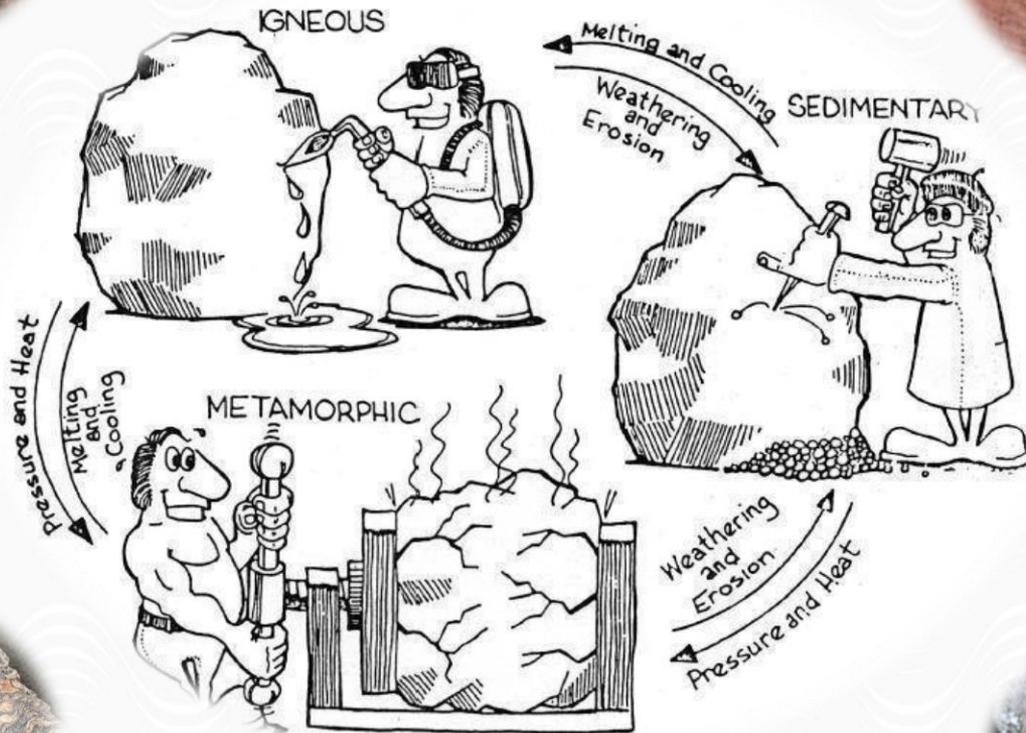
arenito



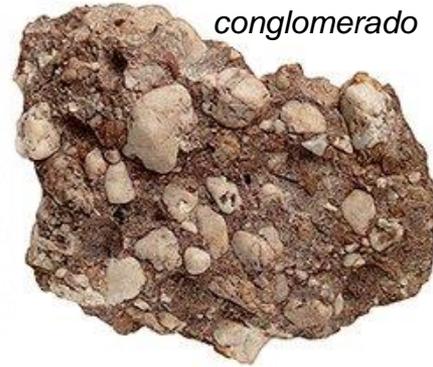
basalto



gnaisse



conglomerado



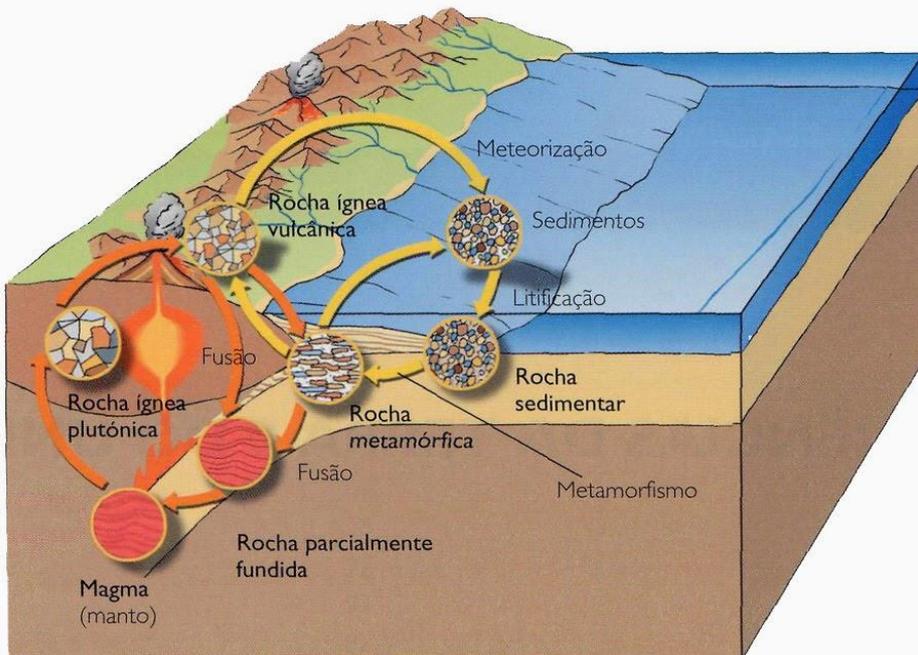
Xisto



Fonte: http://letthememoriesbeginconf.blogspot.com.br/2015_08_01_archive.html

TIPOS DE ROCHAS

Define as características intrínsecas dos aquíferos como o tipo de porosidade, a permeabilidade (conexão entre poros), grau de heterogeneidade, o potencial para armazenar e transmitir água.



Rochas
Sedimentares
Detríticas



Porosidade
entre fragmentos
e grãos

Rochas
Sedimentares
Não detríticas



Porosidade
em fissuras e
cavidades

Rochas Ígneas
e Rochas
Metamórficas

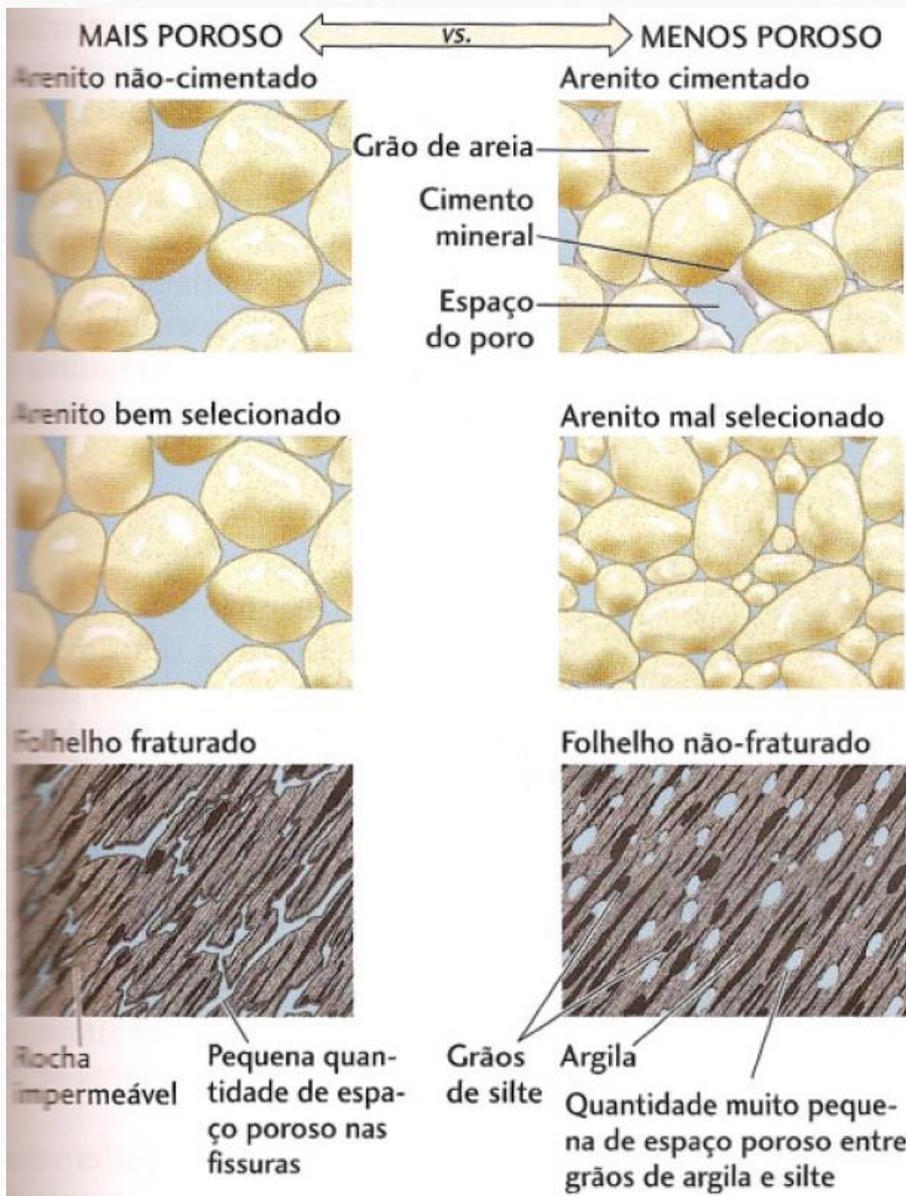


Porosidade
em
Fissuras

Faixa de valores de porosidade

Material	Porosidade (%)	Porosidade efetiva (%)
Argila	45	3
Areia	35	25
Pedregulho	25	22
Pedregulho e areia	20	16
Arenito	15	8
Calcáreo e folhelho	5	2
Quartzito e granito	1	0.5

Interface Geologia x Hidrogeologia



Nos materiais granulares o potencial hidrogeológico dependerá do tamanho, da forma e do arranjo dos grãos. De maneira geral, rochas arenosas caracterizam bons aquíferos, enquanto as de composição argilosa possuem potencial muito baixo ou nulo.

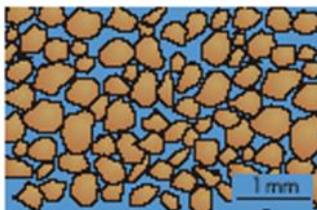
Tipo de Rocha	Porosidade	Permeabilidade
Cascalho	Muito alta	Muito alta
Areia Grossa a média	Alta	Alta
Areia fina e silte	Moderada	Moderada a baixa
Arenito, moderadamente cimentado	Moderada a baixa	Baixa
Folhelho fratura ou rochas metamórficas	Baixa	Muito baixa
Folhelho não-fraturado	Muito baixa	Muito baixa

Classificação dos aquíferos quanto ao tipo de porosidade

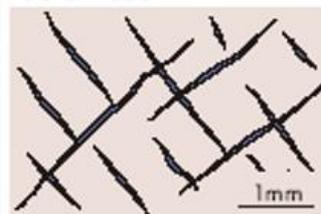
1- Aquífero Poroso ou granular – porosidade primária

Água armazenada nos espaços entre os grãos da rocha ou solo

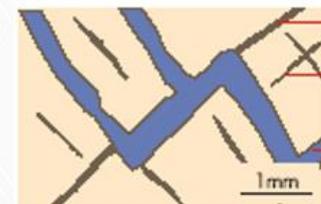
①



②



③

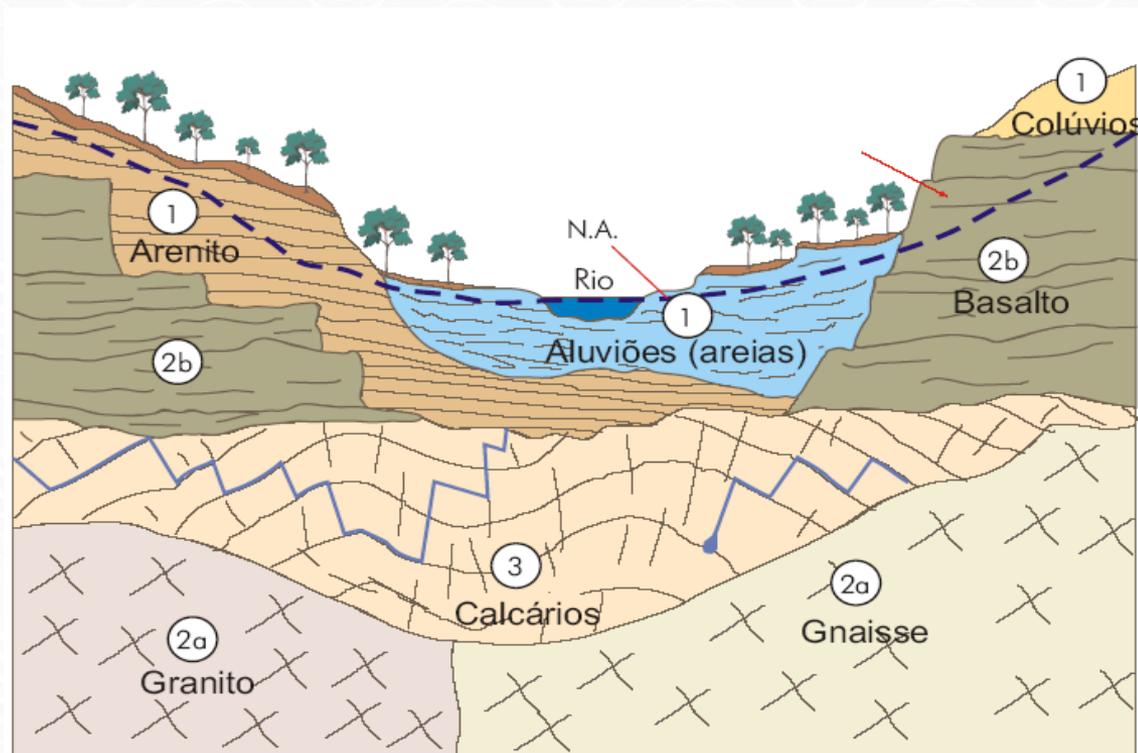


2 - Aquífero Fissural ou Fraturado – porosidade secundária

Água armazenada nas fraturas interconectadas da rocha

3 - Aquífero Cárstico - porosidade secundária

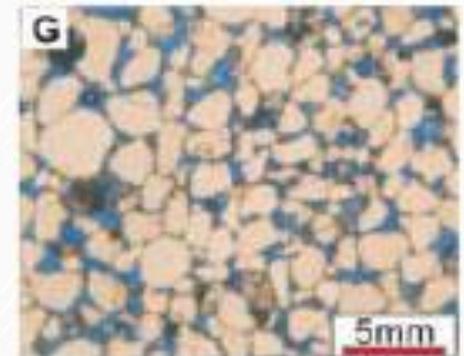
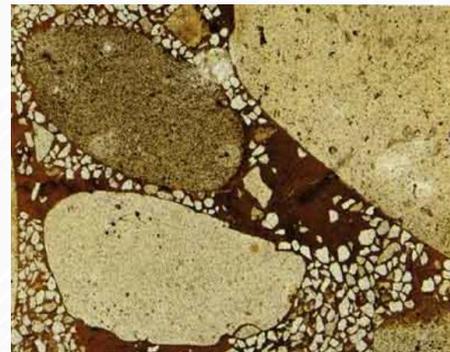
Água armazenada nos condutos e canais da rochas carbonáticas





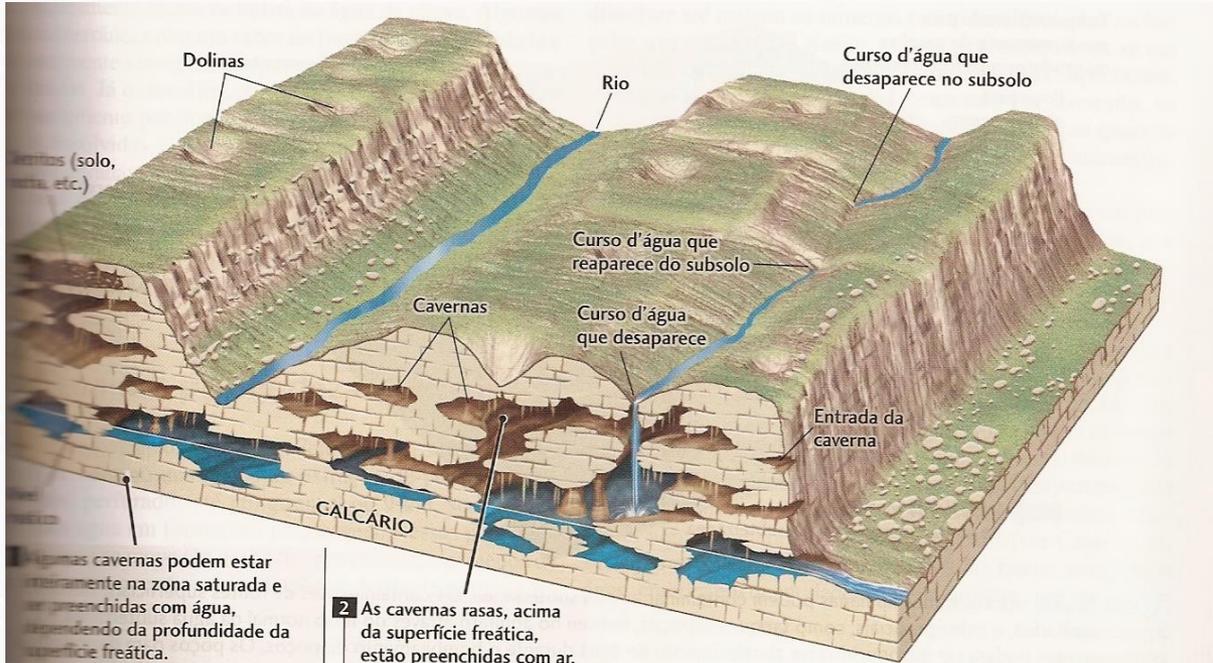
1 AQUÍFEROS POROSOS

Rochas sedimentares e sedimentos não consolidados - arenitos, siltitos, areias, cascalho



Interface Geologia x Hidrogeologia

3 Aquíferos cársticos

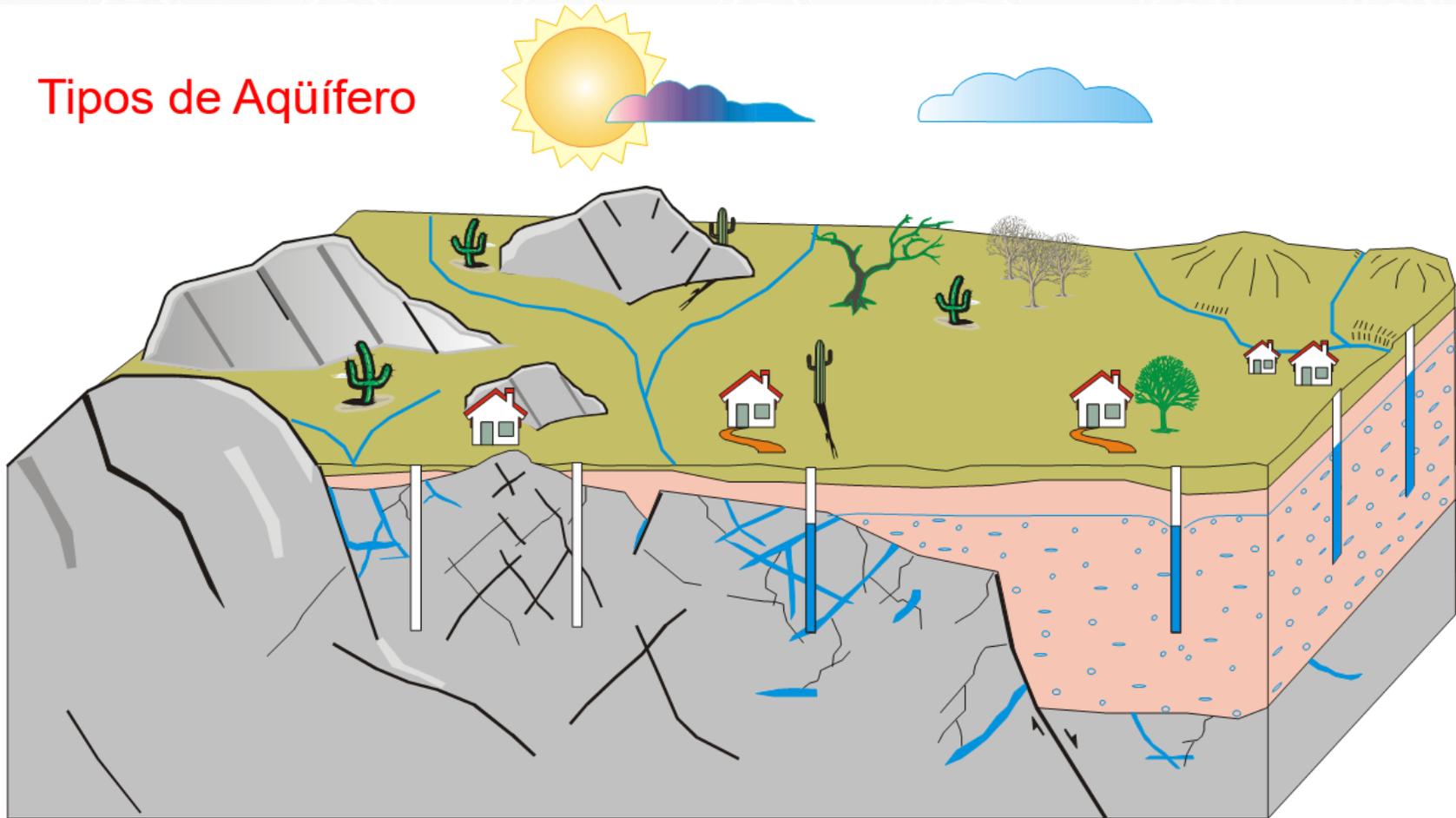


Fonte: Para Entender a Terra, 2006 (4ª edição)



ROCHAS CARBONÁTICAS: Calcários, dolomitos, margas

Tipos de Aquífero

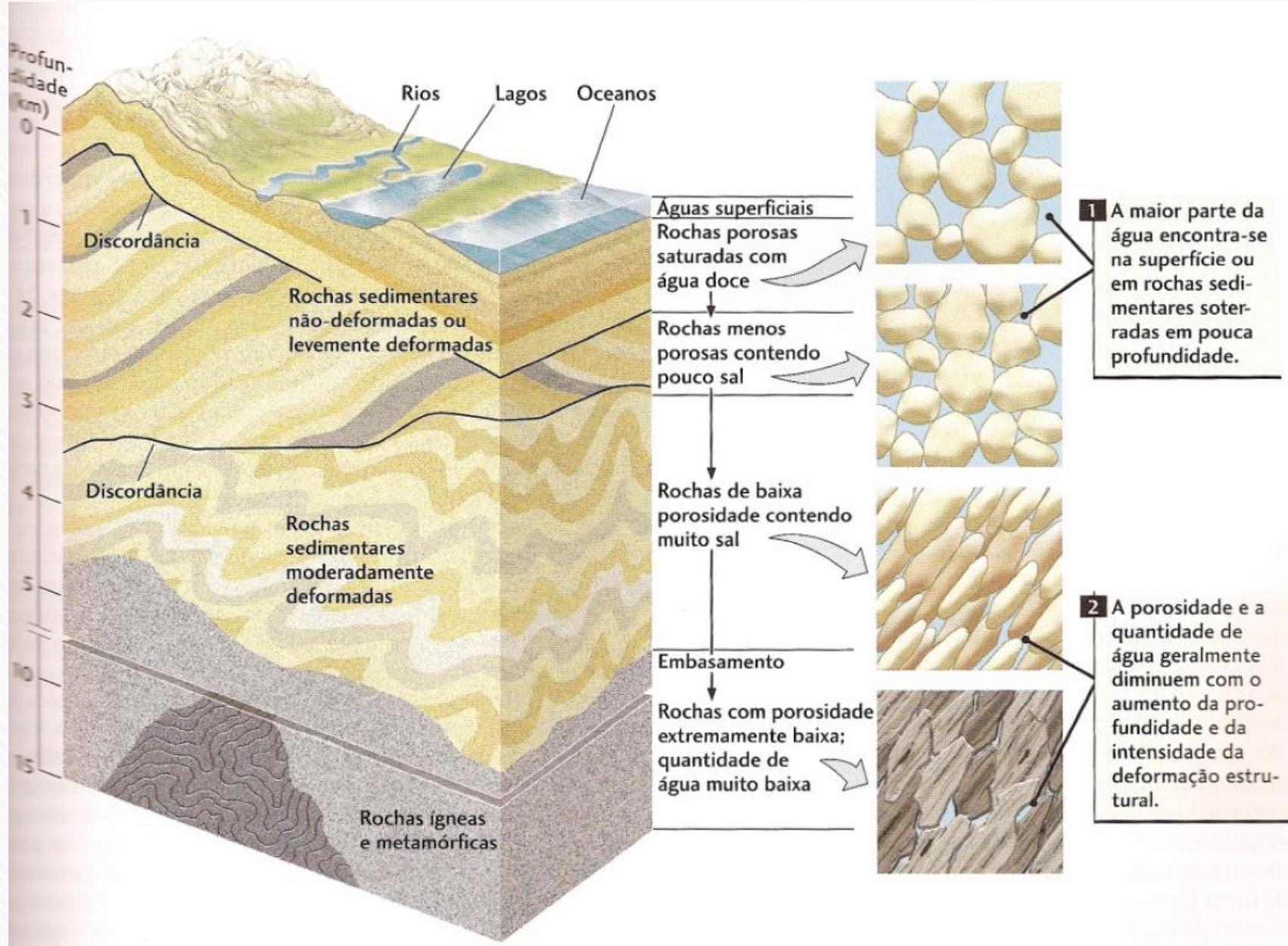


 **Rochas Cristalinas e
Cársticas (Anisotrópicas)**

 **Rochas Sedimentares
(Isotrópicas)**

Interface Geologia x Hidrogeologia

Controle estrutural e Estratigráfico

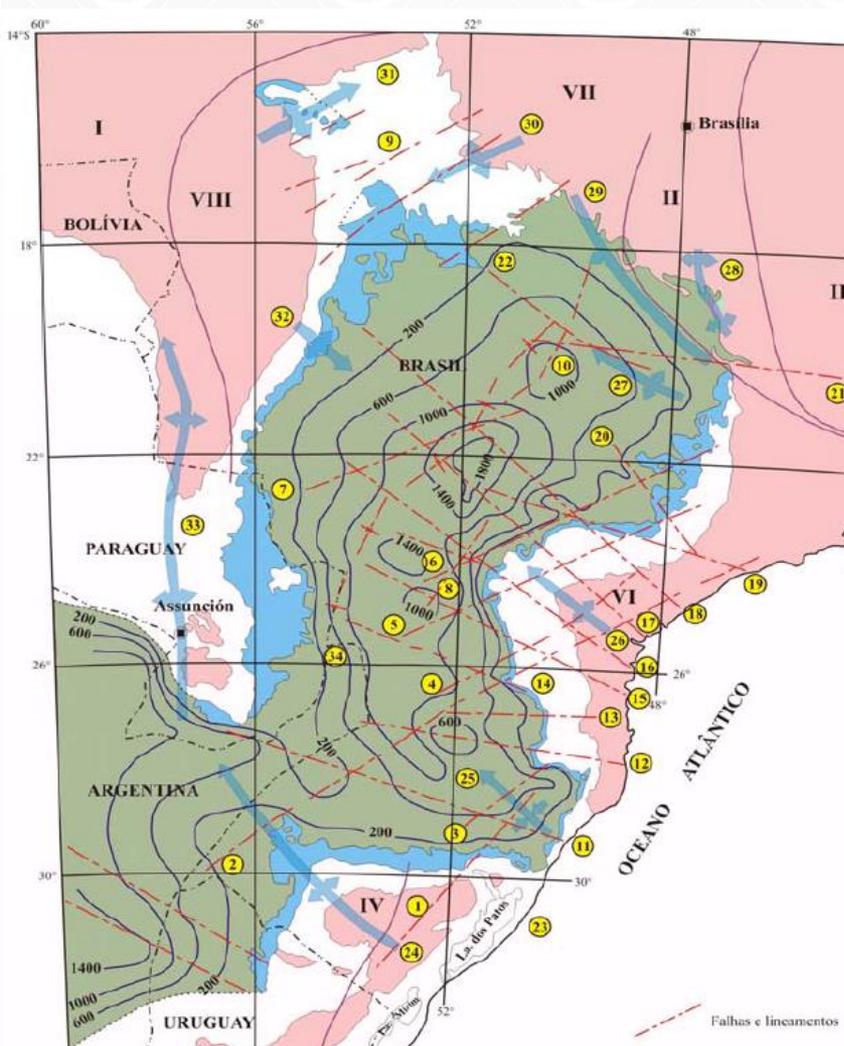


Interface Geologia x Hidrogeologia

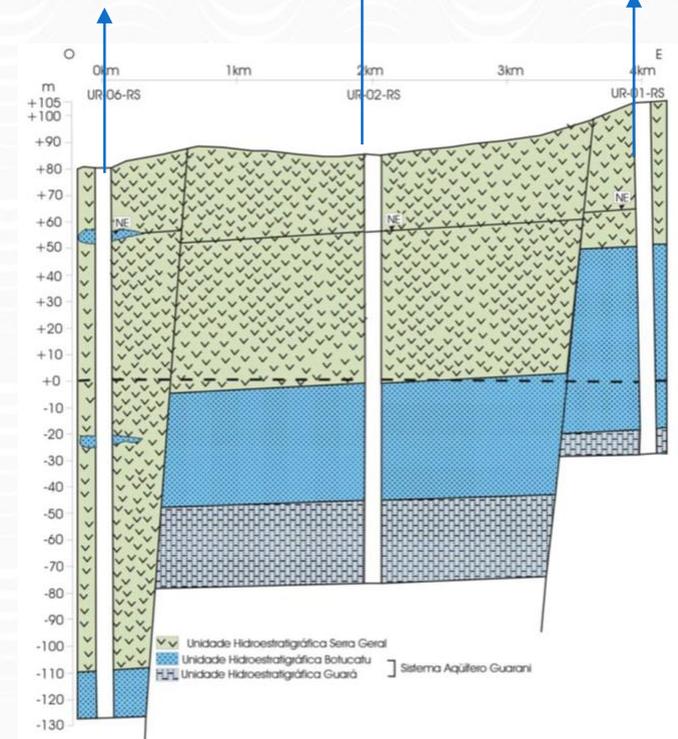
Controle estrutural e Estratigráfico

Compartimentação estrutural do SAG:

- ❑ Potencialidades Diversas
- ❑ Qualidade da água Diversa

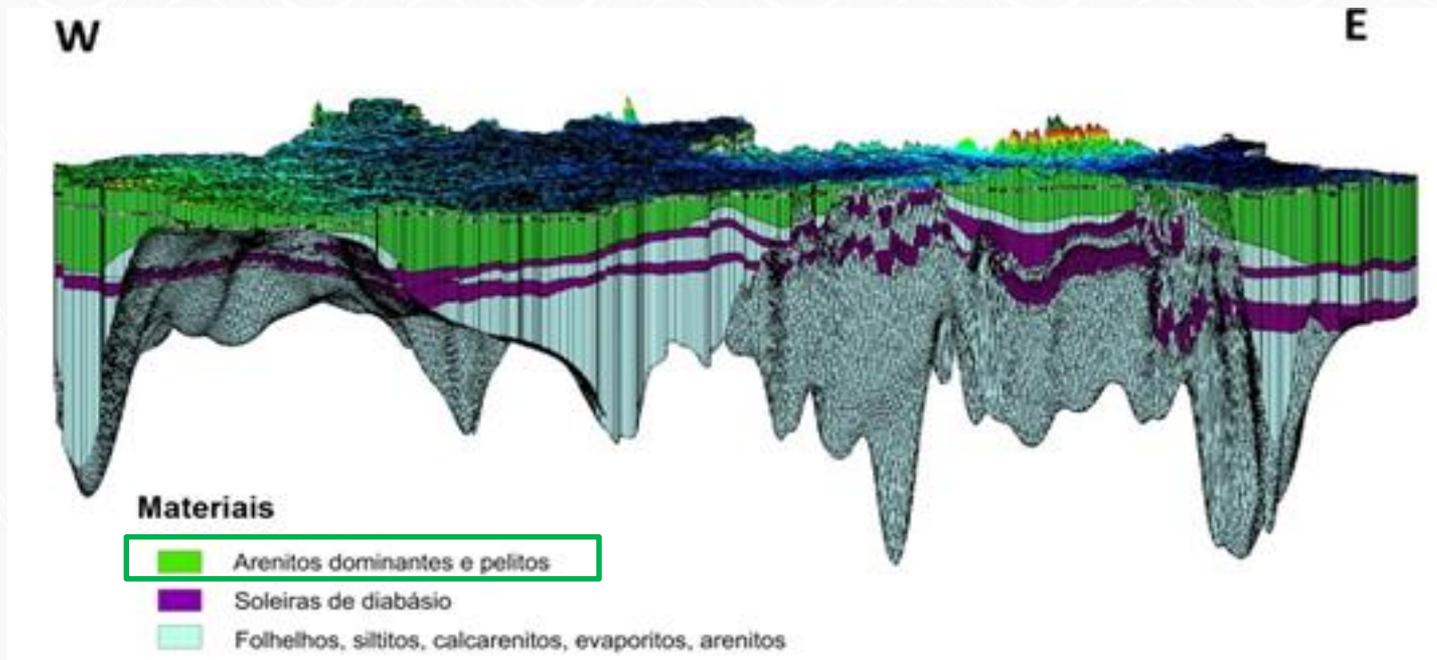


10 m³/h/m 6 m³/h/m 1,7 m³/h/m



Interface Geologia x Hidrogeologia

Controle estrutural e Estratigráfico



- Modelo Conceitual do Sistema Aquífero Amazonas

Espessura camadas aquíferas x reservas

Relação entre camadas aquíferas e não aquíferas

Profundidades limite para exploração (1 km) economicamente viável por poços

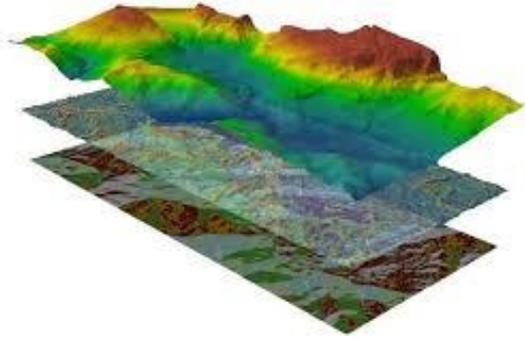


AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

#AÁguaÉUmaSó

Relevo, Clima, Solo, Uso do Solo

Relevo, Clima, Solo e Uso do Solo



São fatores que influenciam no mecanismo de infiltração, percolação, armazenamento e qualidade da água



Relevo

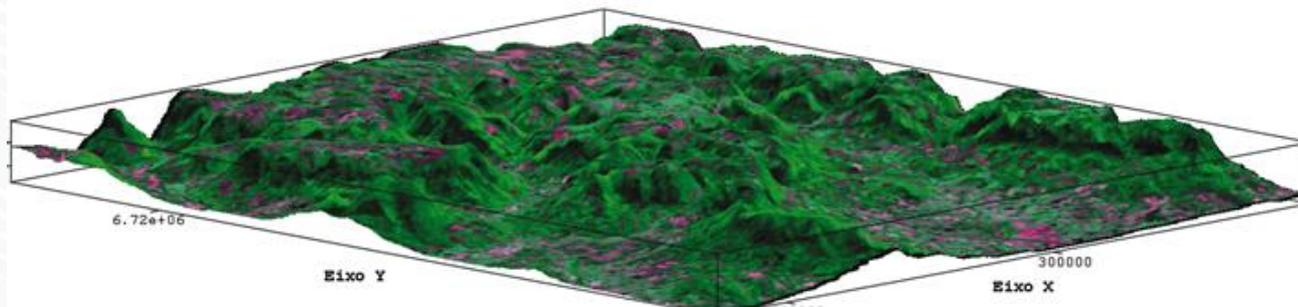
Declividade

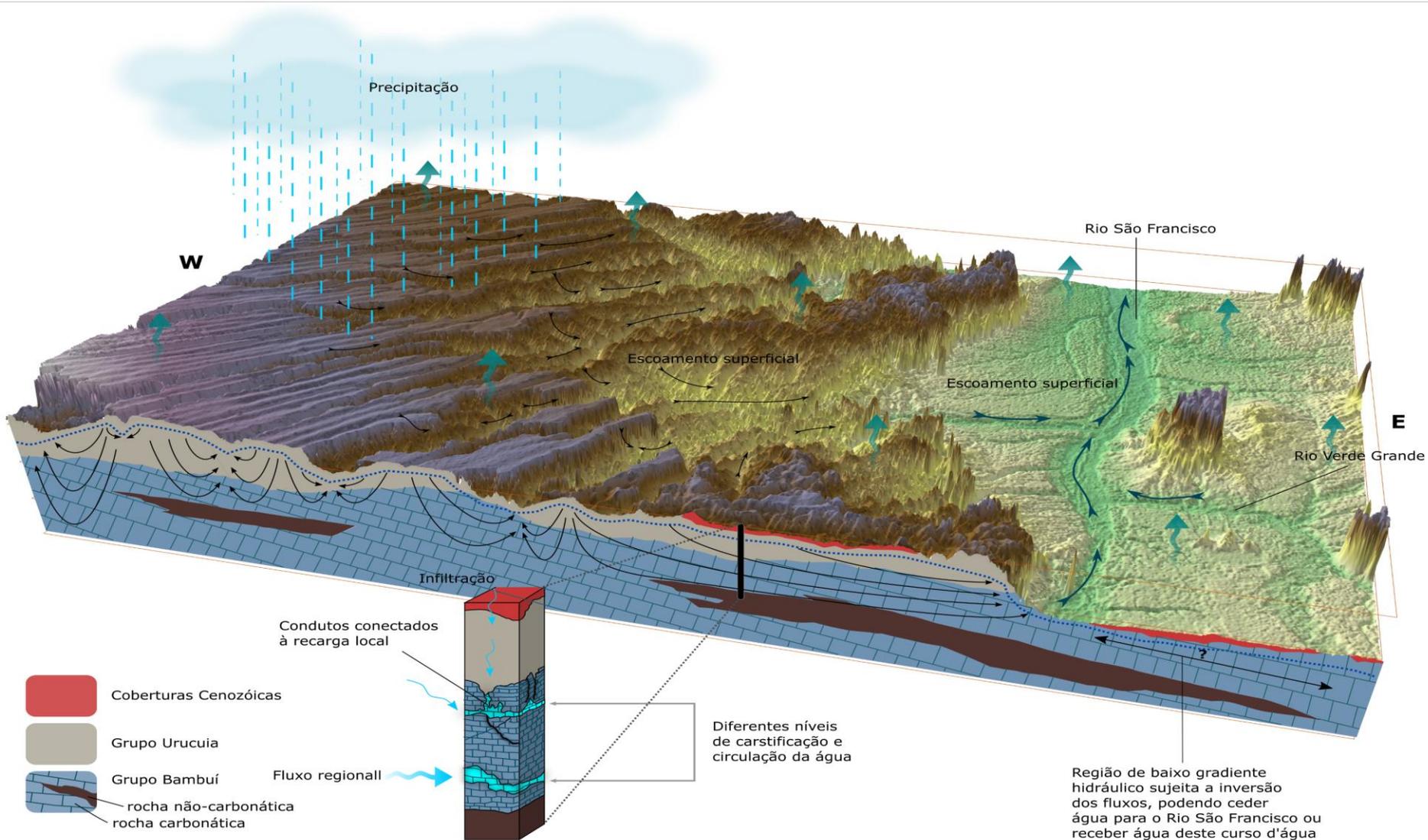
- As **maiores taxas** de recarga, em geral, ocorrem nas **regiões planas**, onde a água tem maior tempo para **infiltrar** no solo quando comparado com um **relevo acentuado**, o qual privilegia o escoamento superficial em detrimento da infiltração.

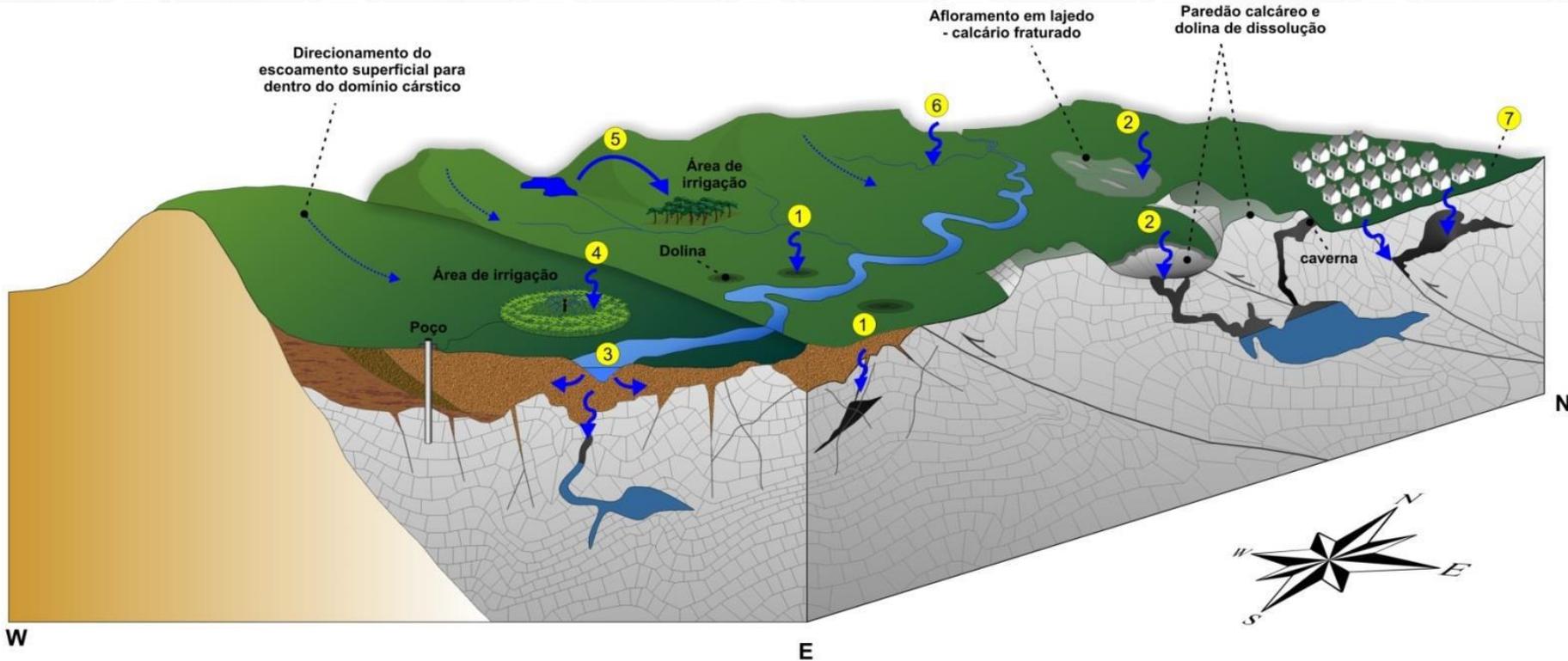
Plano
0-3%
Suave-ondulado
3-8%

Montanhoso
45-75%
Forte-montanhoso
>75%

Ondulado
8-20%
Forte-Ondulado
20-45%







-  COBERTURAS CENOZOICAS
-  FORMAÇÃO SALITRE NEOPROTEROZOICO
-  UNIDADES PALEO A MESOPROTEROZOICA

-  FALHA INVERSA
-  FRATURAS

TIPOS DE RECARGA

- 1 - RECARGA PELA INFILTRAÇÃO NOS SOLOS QUE RECOBREM A ROCHA CARBONÁTICA E EM DOLINAS EM SOLO**
- 2 - RECARGA EM FEIÇÕES CÁRSTICAS DE ROCHA AFLORANTE**
- 3 - RECARGA NAS CALHAS DOS RIOS NO SUBSTRATO CARBONÁTICO**
- 4 - RECARGA ARTIFICIAL POR IRRIGAÇÃO UTILIZANDO ÁGUA SUBTERRÂNEA**

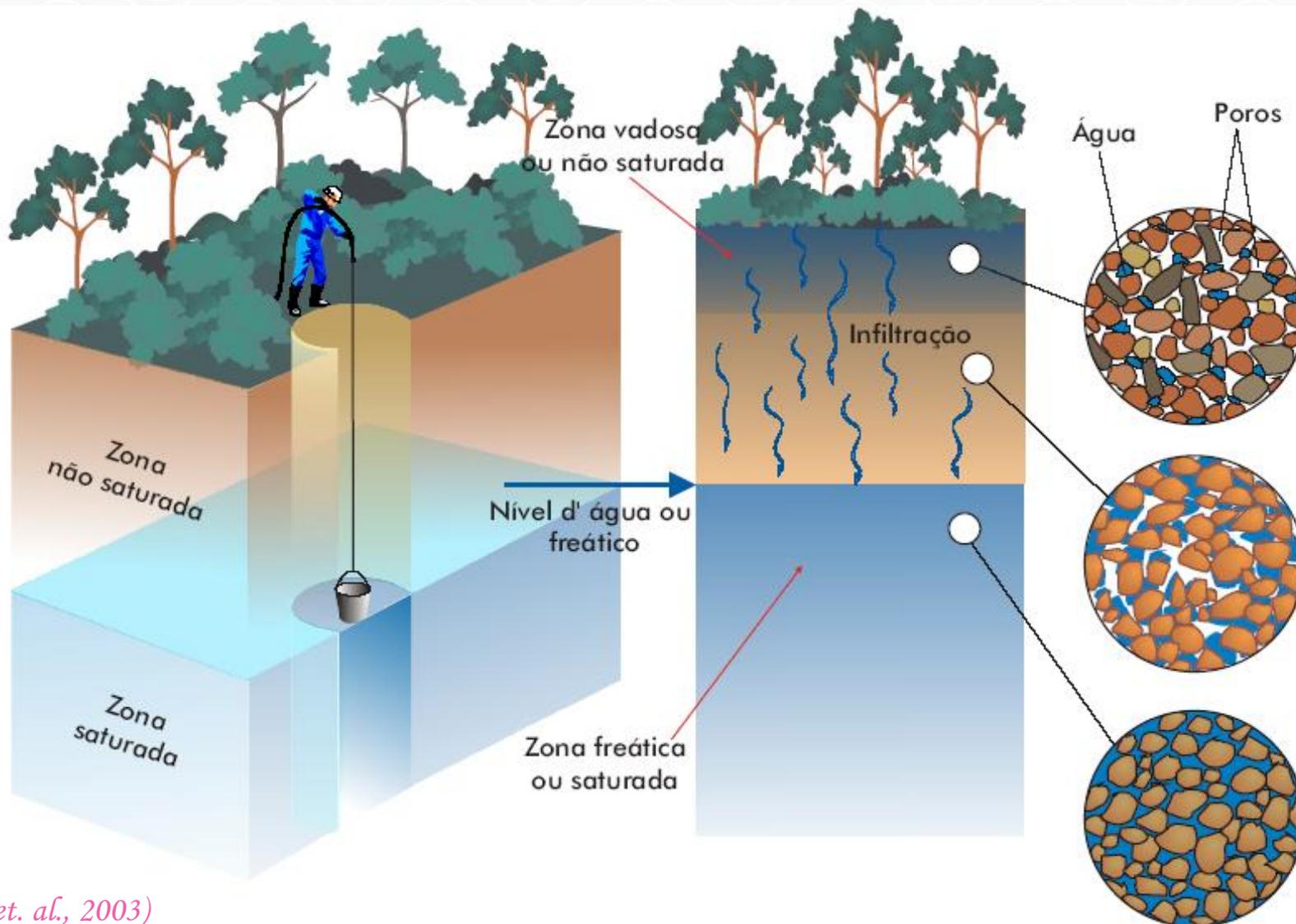
- 5 - IRRIGAÇÃO DE CULTIVOS SOBRE ÁREA CÁRSTICA POR CAPTAÇÃO DE ÁGUAS FORA DO DOMÍNIO CÁRSTICO**
- 6 - INFILTRAÇÃO NAS CALHAS FLUVIAIS DE CURSOS D'ÁGUA ORIGINADOS FORA DE TERRENO CÁRSTICO**
- 7 - INFILTRAÇÃO DE ÁGUAS PROVENIENTES DE VAZAMENTO DE ESGOTO E REDE DE ABASTECIMENTO**

SOLOS

- Espessura, composição e textura influenciam na recarga ou na sua caracterização como aquífero (usualmente captados por poços escavados)
- Possuem também importante papel como filtro a contaminantes
- A capacidade de infiltração/retenção de água vai depender também do tipo de cobertura vegetal e uso e ocupação



Distribuição da água no solo



QUADRO 6.1 - CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS INALTERADOS EM FUNÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE

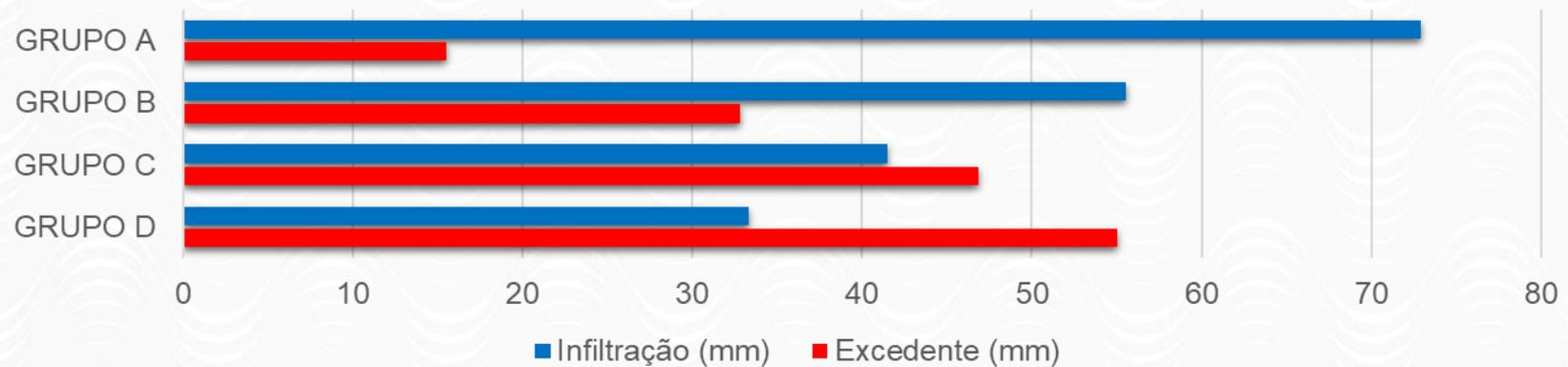
<i>Coeficiente de Permeabilidade (cm/s)</i>	<i>Grau de Permeabilidade Terzaghi & Peck (1967)</i>	<i>Tipo de Solo Mello & Teixeira (1967)</i>
109 a 1	Alta	Pedregulhos
1 a 10 ⁻¹		Areias
10 ⁻¹ a 10 ⁻³	Média	
10 ⁻³ a 10 ⁻⁵	Baixa	
10 ⁻⁵ a 10 ⁻⁷	Muito Baixa	Argilas
< 10 ⁻⁷	Praticamente Impermeável	

CLASSIFICAÇÃO HIDROLÓGICA DOS SOLOS

Grupo Hidrológico	Características	Exemplos
A	<ul style="list-style-type: none"> Solos com alta taxa de infiltração (> 7,62 mm/h); Alto grau de resistência e tolerância à erosão; Solos bem ou excessivamente drenados; Solos com argila de atividade baixa (Tb); 	Latossolo amarelo, Latossolo vermelho, Latossolo vermelho amarelo.
B	<ul style="list-style-type: none"> Solos com moderada taxa de infiltração (3,81-7,62 mm/h); Solos porosos com gradiente textural variando entre 1,2m e 1,5m; Solos com argila de atividade baixa (Tb). 	Neossolo quartzarênico, Nitossolo háplico, Nitossolo vermelho.
C	<ul style="list-style-type: none"> Solos com baixa taxa de infiltração (1,27 - 3,81 mm/h); Baixa resistência/tolerância à erosão; Apresenta mudança textural abrupta; Solos com argila de atividade baixa (Tb). 	Neossolo flúvico, Cambissolo húmico, Cambissolo háplico, Argissolo vermelho-amarelo.
D	<ul style="list-style-type: none"> Solos com taxa de infiltração muito baixa (0 - 1,27 mm/h); Solos rasos; Solos com argila de atividade alta (Ta); Solos orgânicos. 	Alissolo, Gleissolo, Organossolo, Plintossolo, Neossolo litólico, solos de mangue.

SOLOS

Infiltração x Grupo Hidrológico



Aumento na infiltração em detrimento do escoamento superficial quando o grupo hidrológico se altera de **D para A**.

Grupos Hidrológicos Ae B



- Solos mais desenvolvidos, mais espessos, porosos. Favorecem a recarga

Grupos Hidrológicos C e D



Cambissolo



Neossolo Litólico



Plintossolo

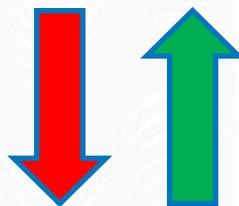
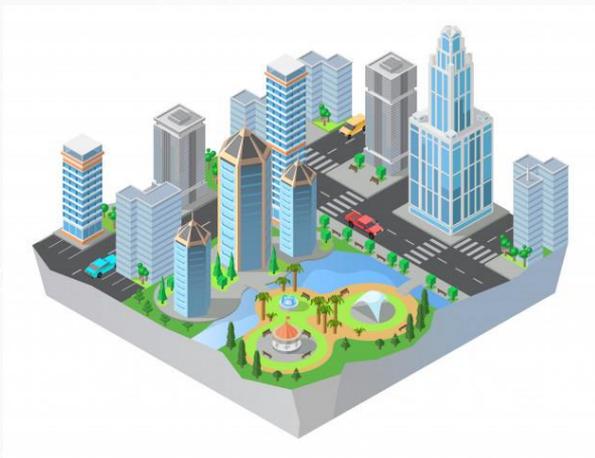


Gleissolo

- Solos pouco desenvolvidos, geralmente pedregosos, mais rasos, menos permeáveis, favorecem o escoamento superficial e solos mal drenados, que comumente estão associados a áreas de descarga.

Uso e ocupação do solo

O uso e cobertura do solo está diretamente relacionada a **infiltração** do mesmo. Se sua ocupação é em sua maioria urbana, sua **impermeabilização** será maior, logo uma menor quantidade de água irá infiltrar.



Uso e ocupação do solo

Permeabilidade é influenciada pelo uso do solo

Ensaio de infiltração em solos com características granulométricas similares na área do aquífero Urucuaia



Resultados (Permeâmetro Guelph)

Solos em **cerrado nativo** (média de $7,0 \times 10^{-3}$ cm/s)

Solos com **agricultura** (média de $1,6 \times 10^{-3}$ cm/s)



Resultados (Infiltrômetro de Anel Duplo)

Solos em **cerrado** (média de $1,6 \times 10^{-2}$ cm/s)

Solos com **agricultura** (média de $3,4 \times 10^{-3}$ cm/s)

SOLOS EM CERRADO SÃO MAIS PERMEÁVEIS QUE SOLOS COM ATIVIDADES AGRÍCOLAS!

Práticas conservacionistas

- As **práticas conservacionistas** tem como objetivo controlar as perdas de solo e **água** em terras agrícolas, além de ter o papel fundamental na **recarga dos aquíferos**. As práticas de terraceamento, curvas de nível e barraginhas bem projetadas são bastante eficientes.



Terraceamento

- ✓ Redução de perdas de solo em 70% a 80% e de água em até 100% (RECARGA);
- ✓ Contenção das enxurradas;

Barraginhas

- ✓ Aumento da infiltração (RECARGA);
- ✓ Diminuição da erosão do solo;
- ✓ Proteção dos corpos d'água do assoreamento e contaminação.

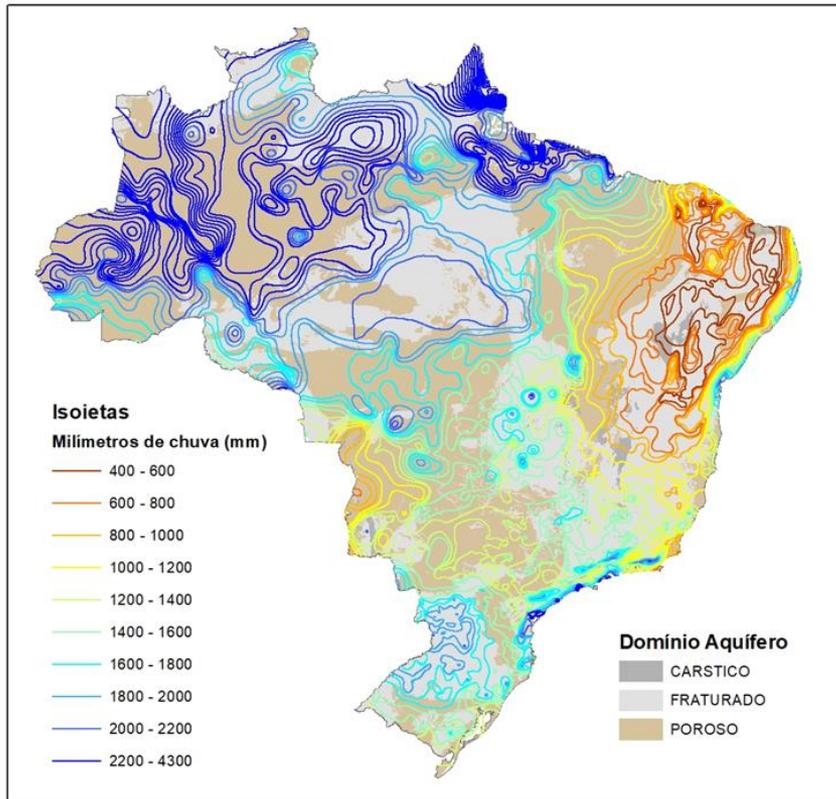


- INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DA ÁGUA (MAIS ELEVADA NO CRISTALINO)
- INFLUÊNCIA NA QUANTIDADE DE ÁGUA (RECARGA)

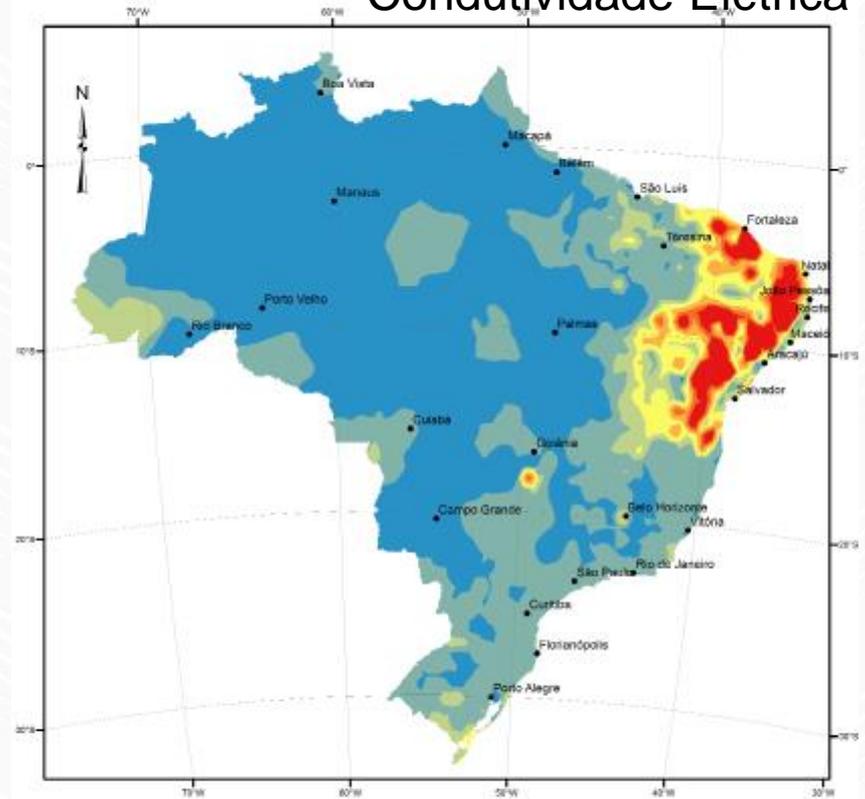


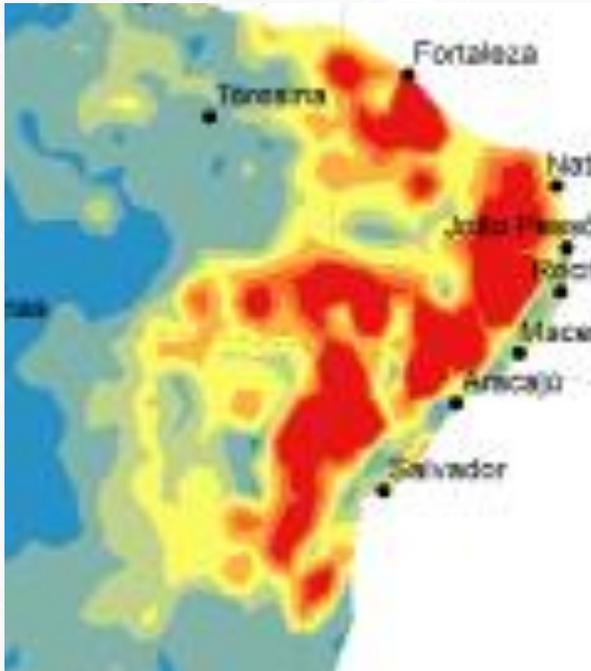
Associação fatores intrínsecos e extrínsecos

Tipo de rocha x solos x clima → Produtividade e qualidade das águas dos aquíferos



Condutividade Elétrica





Semiárido

Rochas cristalinas (fraturado)

Pouca chuva

Solos Rasos



Aquíferos de baixa produtividade
(vazões da ordem de 1 a 3 m³/h)
e alta concentração de sais
(STD de 1.000 a 35.000 mg/L)





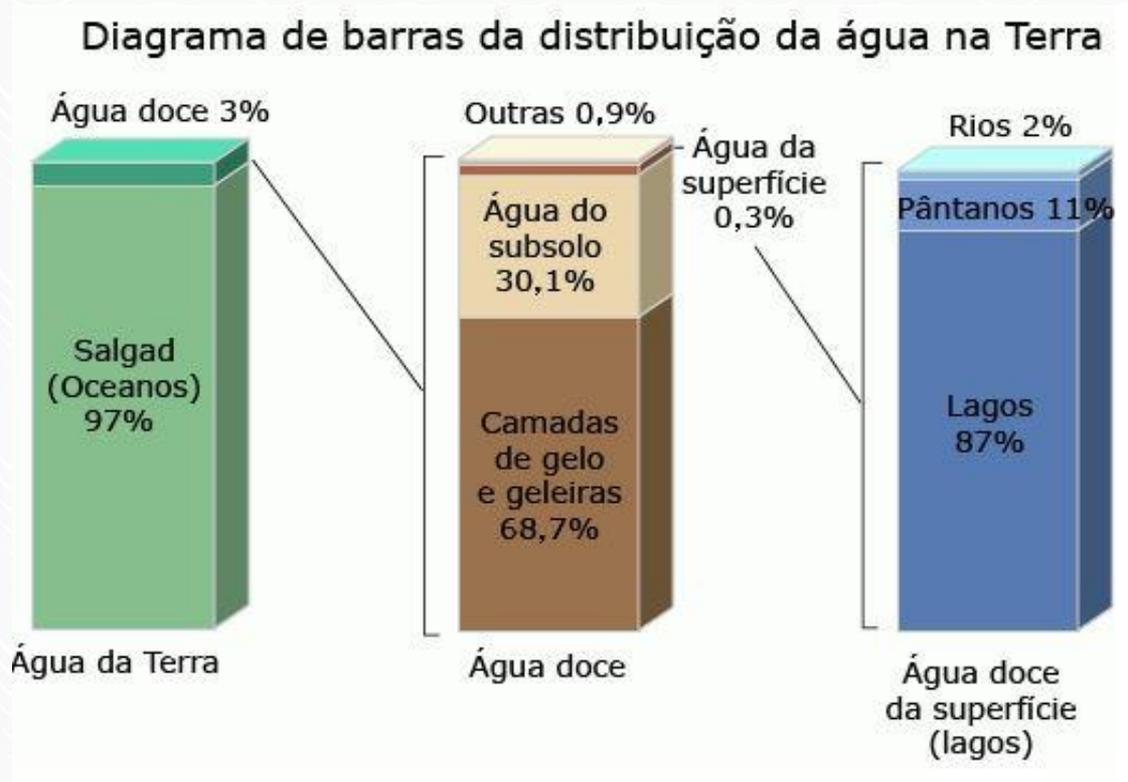
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

#AÁguaÉUmaSó

Ciclo Hidrológico

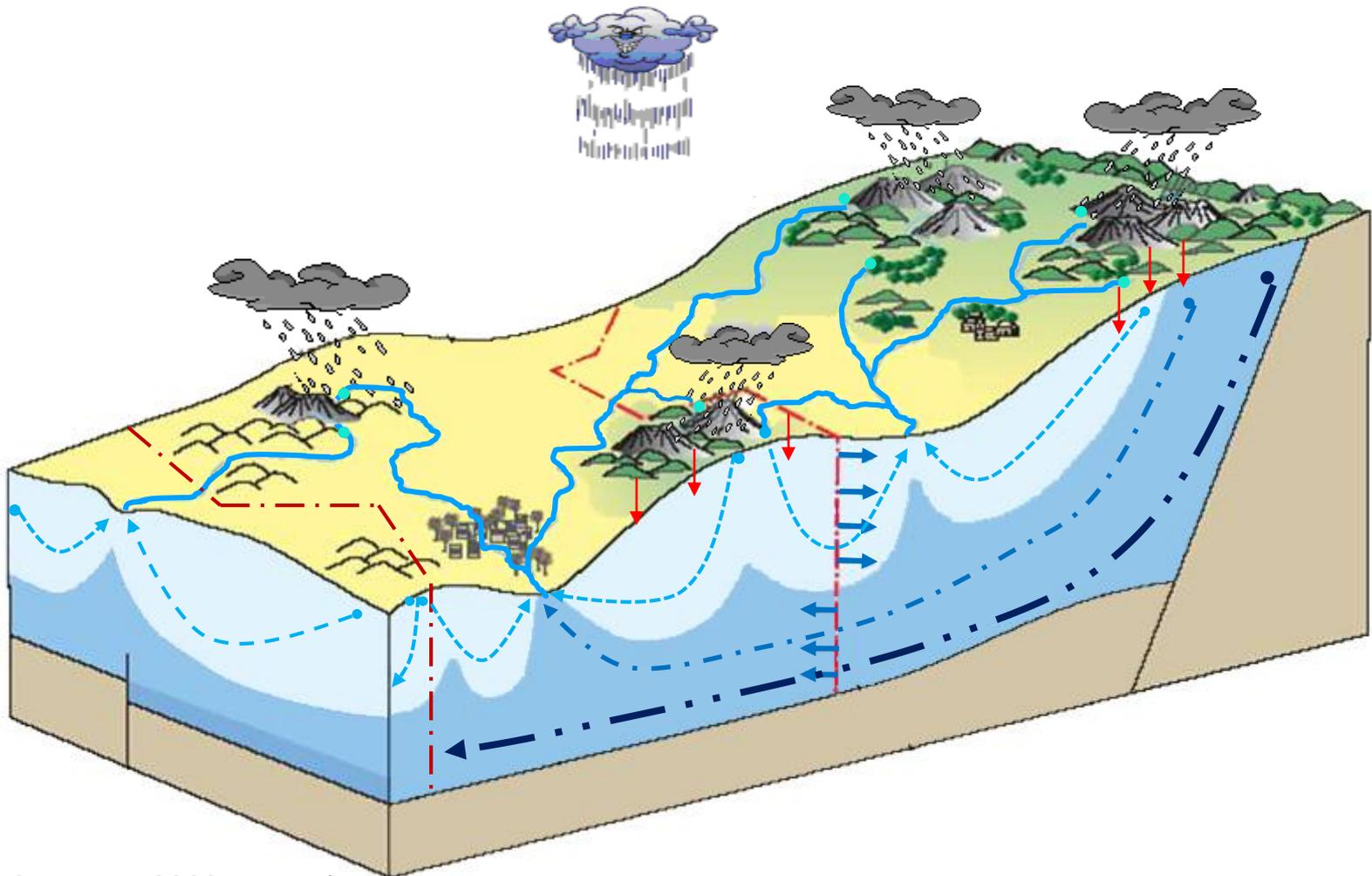


Visão sistêmica do ciclo hidrológico



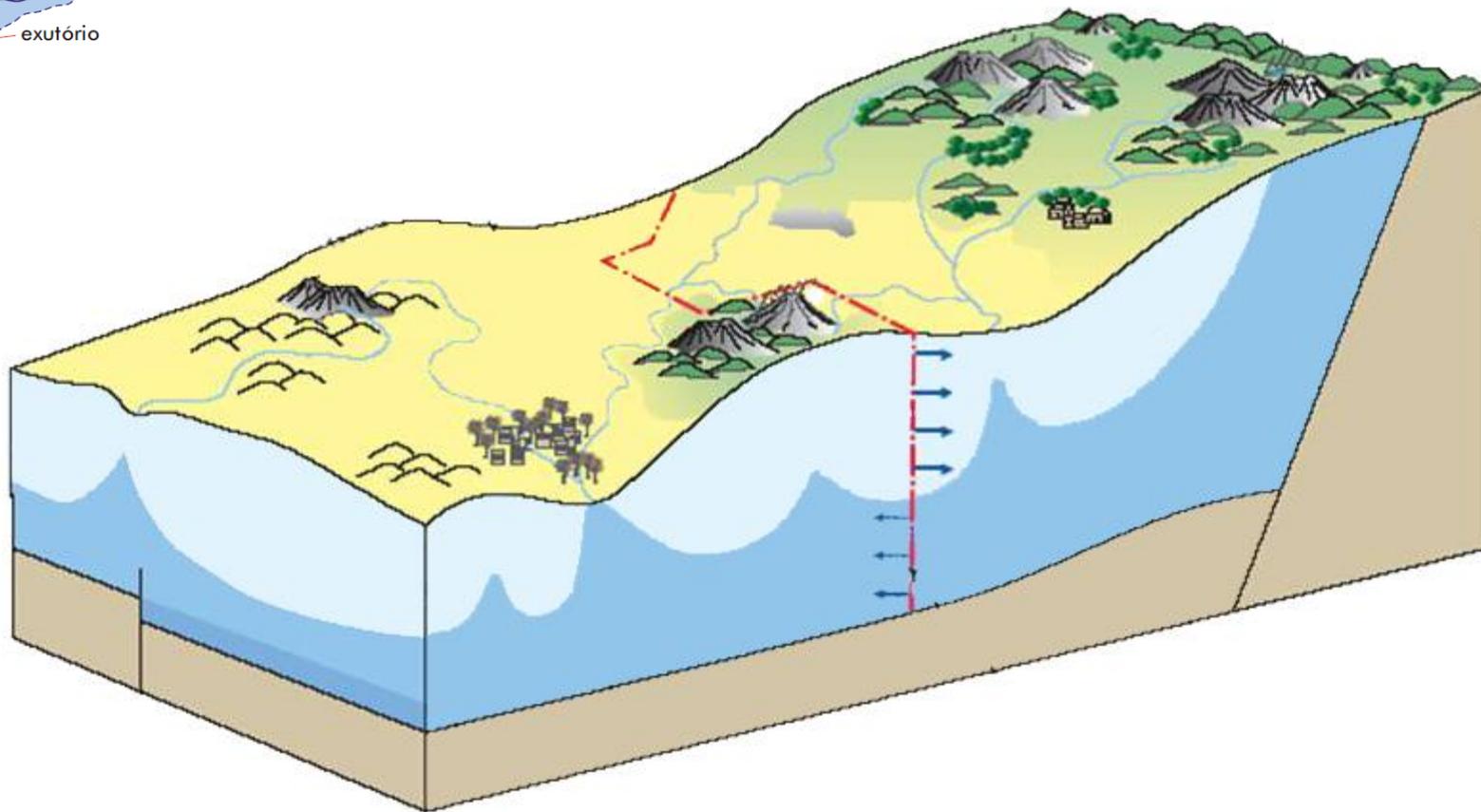
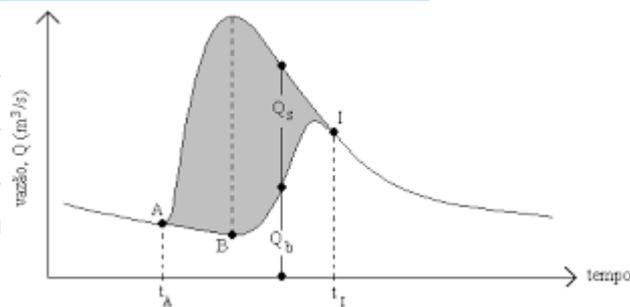
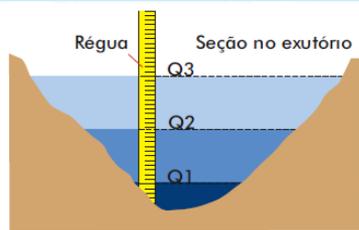
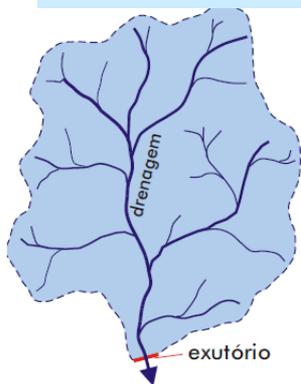
Visão sistêmica do ciclo hidrológico

No período chuvoso, a água dos rios são provenientes tanto do escoamento superficial como da descarga subterrânea



(Puri, 2002; ANA, 2010)

Visão sistêmica do ciclo hidrológico

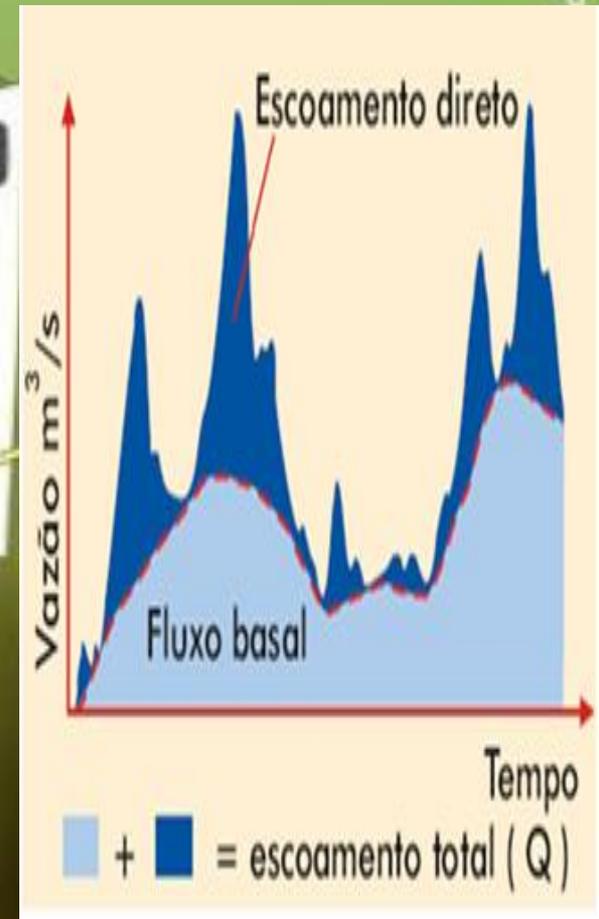


No período seco, a maior parte da água dos rios é de origem subterrânea

A MIOPIA PARA COM O AQUÍFERO !

O que vê neste hidrograma?

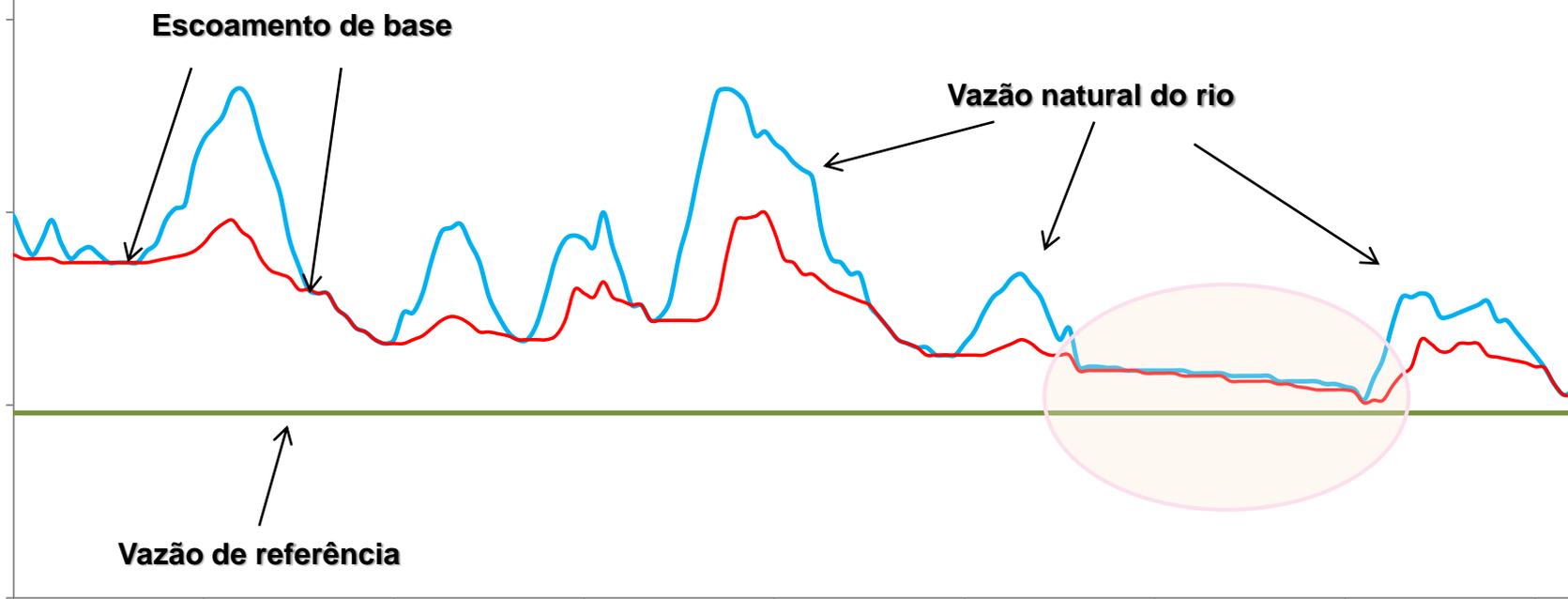
Humm... Só água superficial...

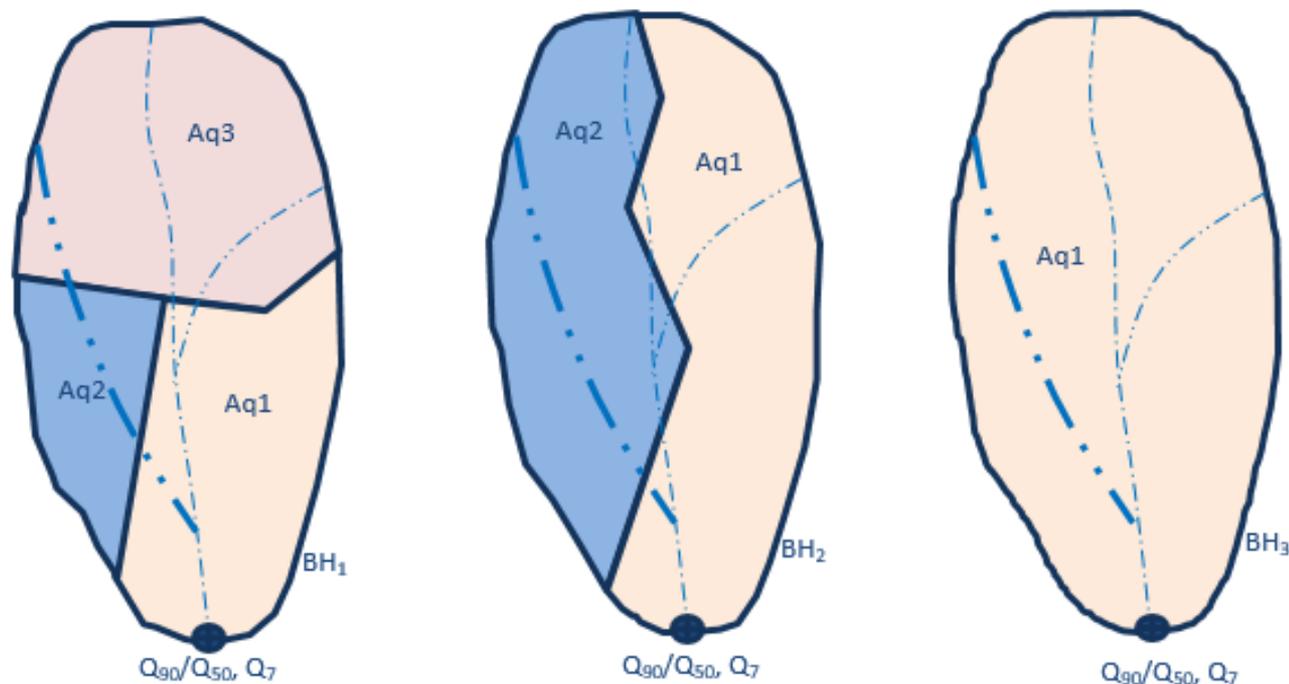


Graduação Máxima

Q1 Qbase1 Q90

Vazão natural do rio e escoamento de base





$$(Q_{90}/Q_{50}, Q_7) BH1 = \sum (P1Aq1) + (P2Aq2) + (P3Aq3)$$

$$(Q_{90}/Q_{50}, Q_7) BH2 = \sum (P1Aq1) + (P2Aq2)$$

$$(Q_{90}/Q_{50}, Q_7) BH3 = Aq1$$

Aq1= aquífero 1 - peso aquífero (P1) = (A1, K1, ne1, dec1)

Aq2= aquífero 2 - peso aquífero (P2) = (A2, K2, ne2, dec2)

Aq3= aquífero 3 - peso aquífero (P3) = (A3, K3, ne3, dec3)

BH1 –bacia hidrográfica 1

A1= área aflorante do aquífero 1 na bacia hidrográfica

K1 = condutividade hidráulica do aquífero 1

ne1= porosidade eficaz do aquífero 1

dec1 =declividade da área aflorante do aquífero 1

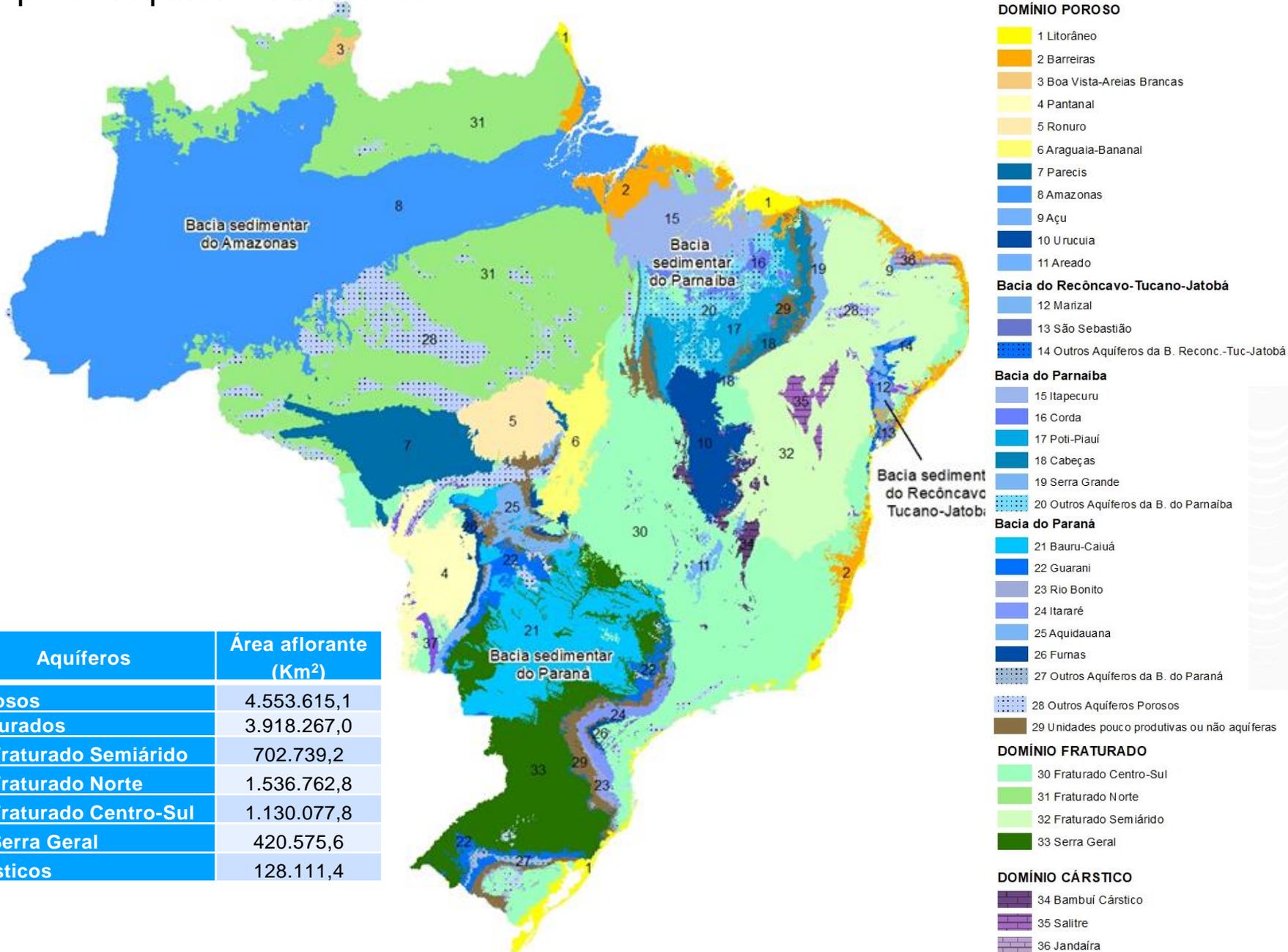




#AÁguaÉUmaSó

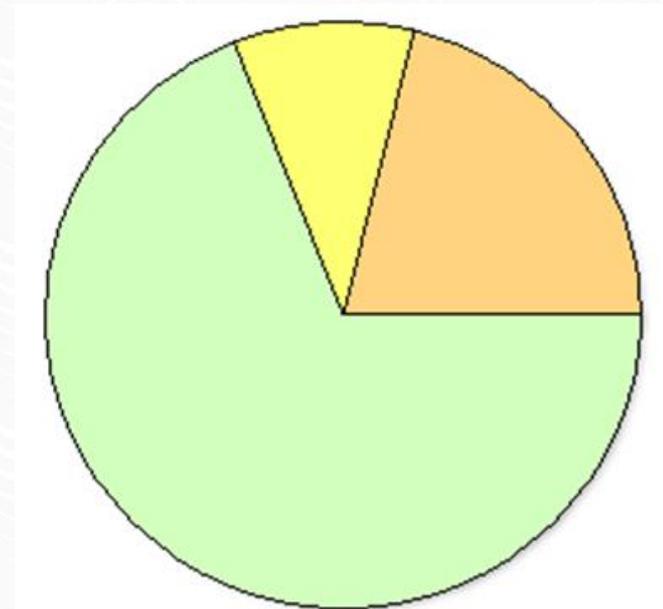
Mapa de Aquíferos Aflorantes

Mapa de Aquíferos Aflorantes

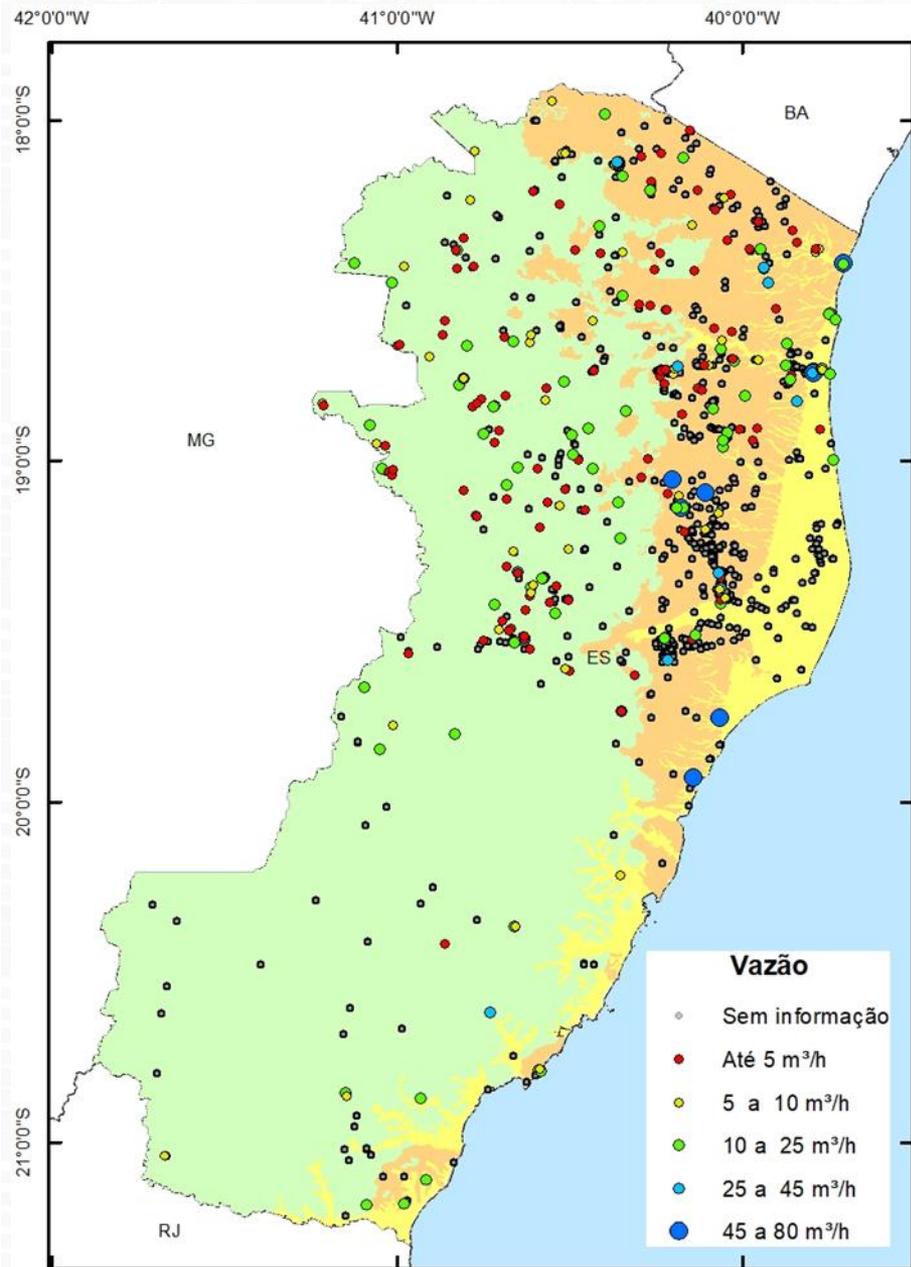


Recorte Espírito Santo

AQUÍFERO	DOMÍNIO	ÁREA (Km ²)
Litorâneo	Poroso	4.520,6
Barreiras	Poroso	9722,93
Faturado Centro-Sul	Faturado	31.747,21



Mapa de Aquíferos Aflorantes



Recorte Cadastro Siagas/CPRM:

1.005 pontos

Poços	Média	Mín.	Máx.	N
Vazão (m ³ /h)	10,56	0,1	80	279



Letícia Moraes

Coordenação de Águas Subterrâneas
Superintendência de Implementação e Programas e Projetos

marcia.gaspar@ana.gov.br | (+55) (61) 2109 –5465



www.twitter.com/anagovbr

facebook.

www.facebook.com/anagovbr

You Tube

www.youtube.com/anagovbr

Obrigada