

Estudos Hidrogeológicos na Bacia Hidrográfica do São Francisco - Sistema Aquífero Urucuia/Areado e Sistema Aquífero Bambuí

Márcia Tereza Pantoja Gaspar

Especialista em Recursos Hídricos

Superintendência de Implementação de Programas e Projetos

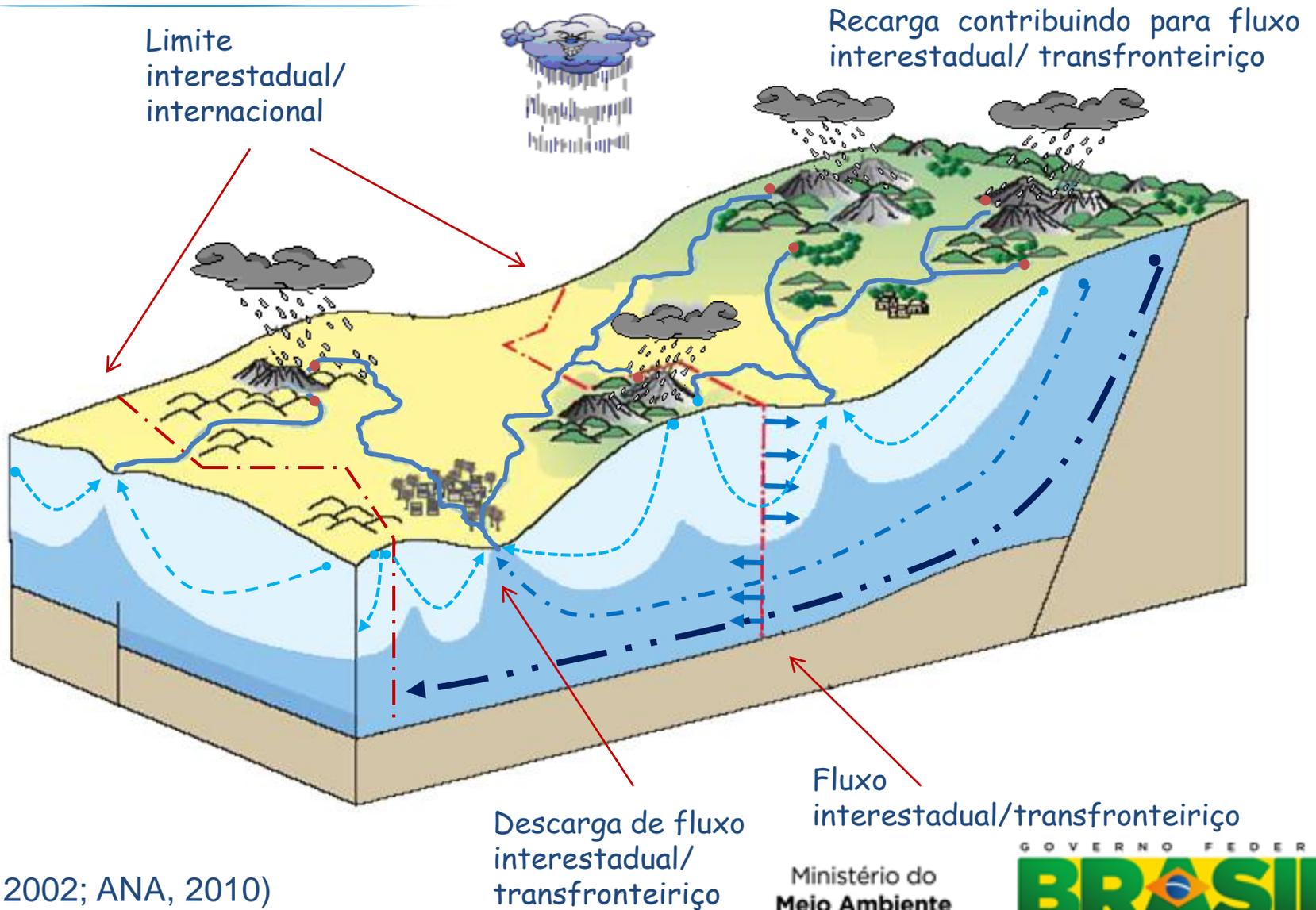
Gerência de Águas Subterrâneas



06 de dezembro de 2013

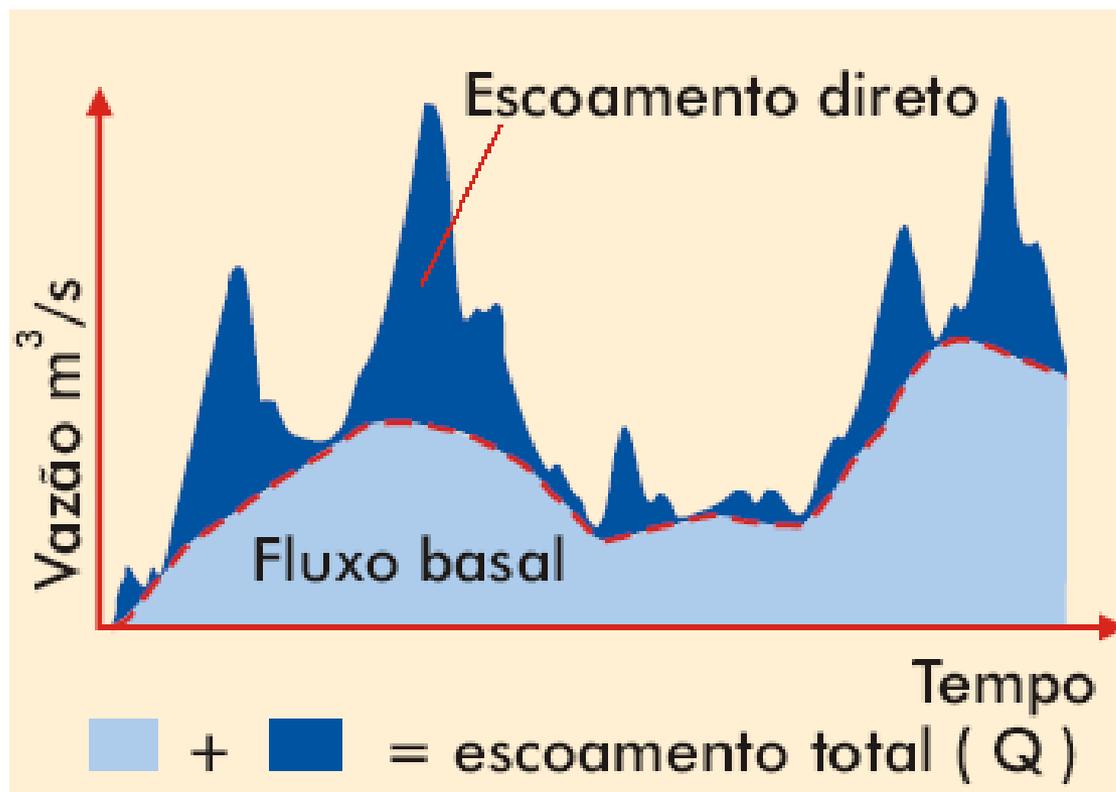
Conteúdo da apresentação

- Fundamentos Teóricos
- Programa Nacional de Águas Subterrâneas (PNAS)
- Agenda de Águas Subterrâneas – ANA
- Sistema Aquífero Urucuia
- Sistema Aquífero Bambuí



(Puri, 2002; ANA, 2010)

Fundamentos Teóricos



Hidrograma com a separação das vazões

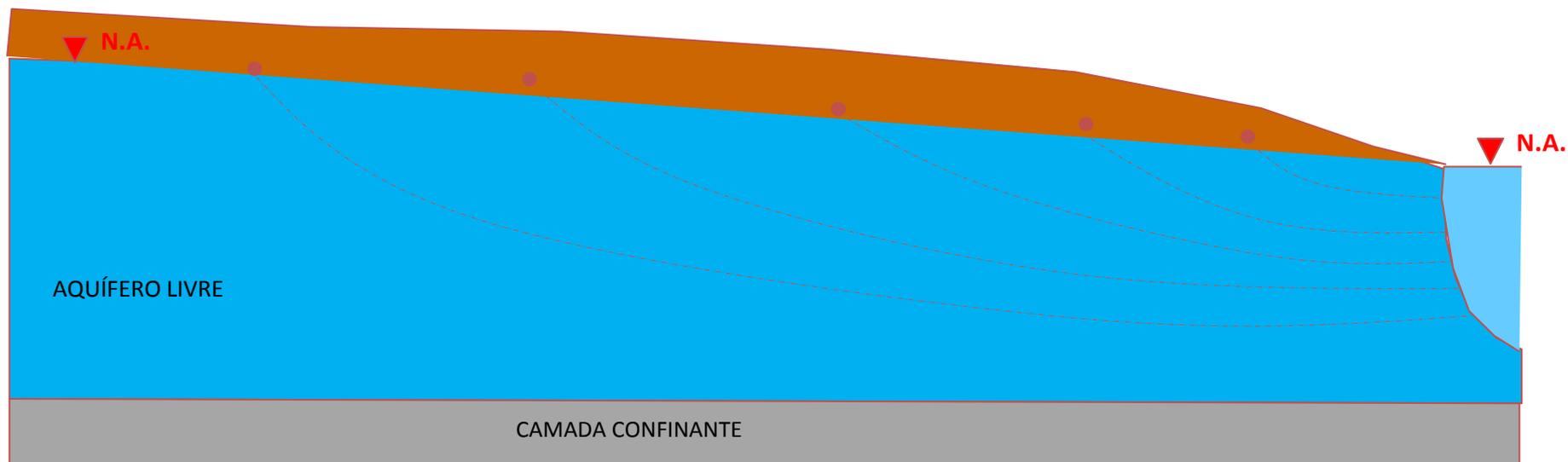
(Teixeira et. al. 2000)

Fundamentos Teóricos

Cenário 1 (t0)

Pré-desenvolvimento da exploração de águas subterrâneas:

Recarga = Fluxo de base + recarga profunda

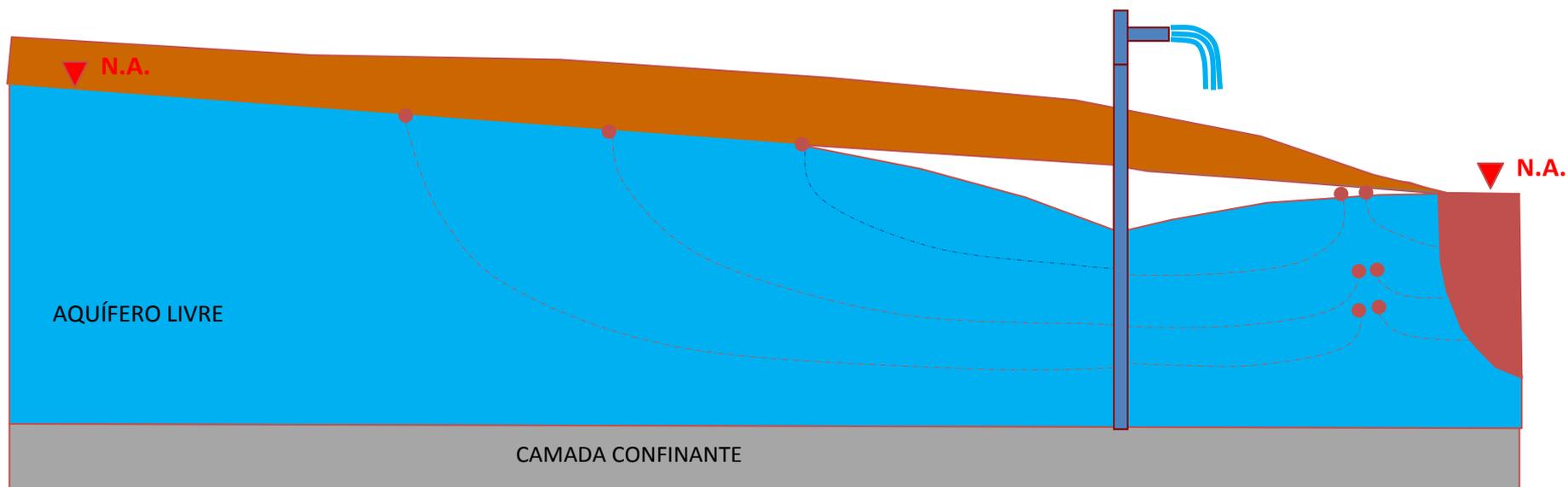


Fundamentos Teóricos

Cenário 2 (t1)

Redução da descarga natural do aquífero para o fluxo de base.

Recarga = Extração + Fluxo de base + recarga profunda

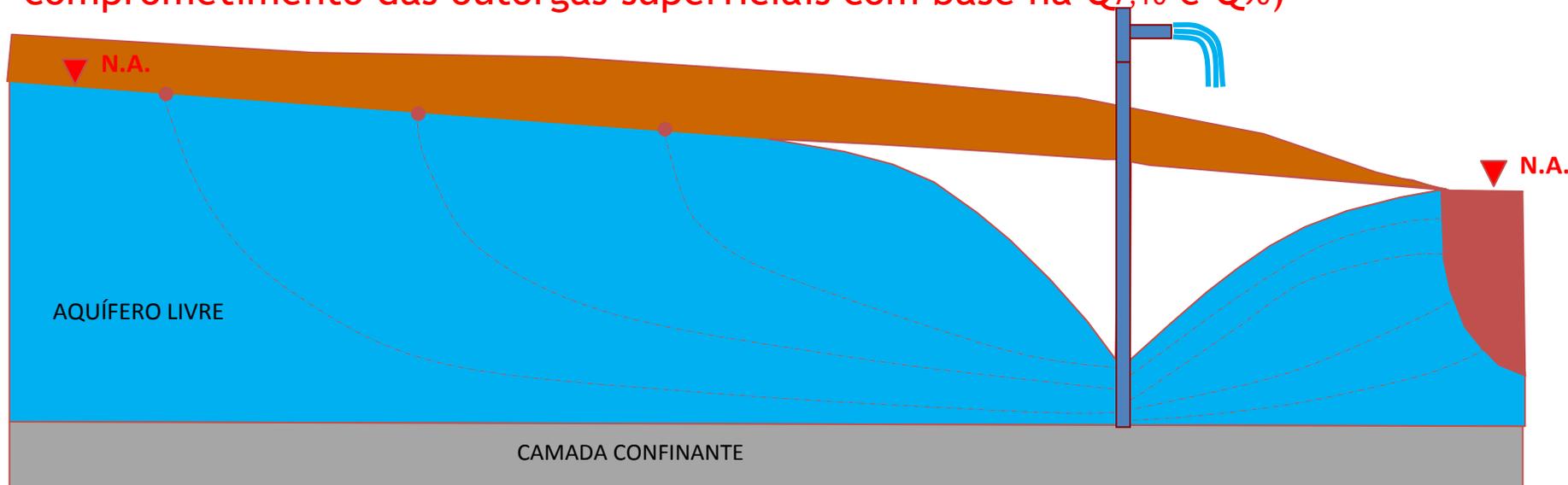


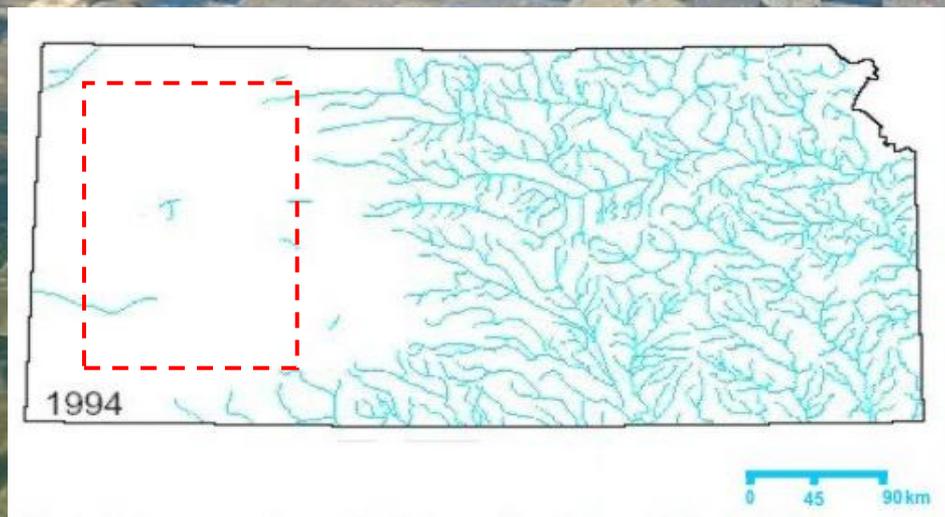
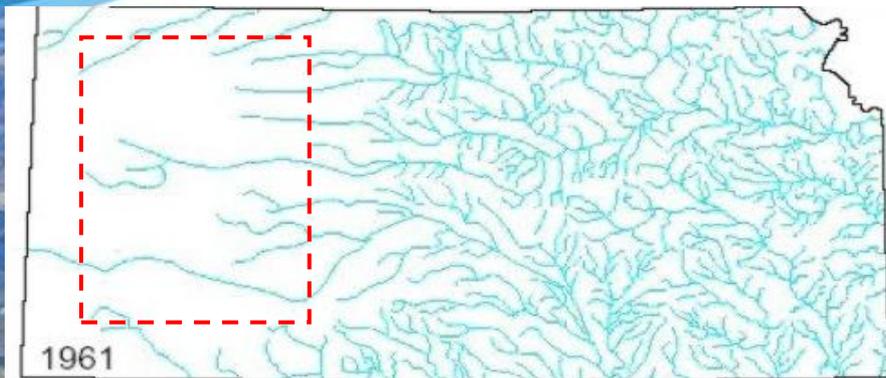
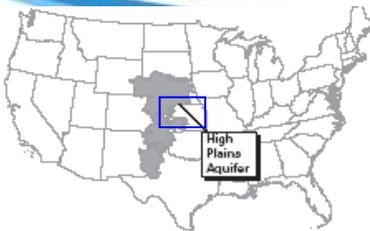
Fundamentos Teóricos

Cenário 3 (t2)

Recarga induzida do aquífero.

Recarga = Extração + recarga profunda (rio poderá secar no período de estiagem, comprometimento das outorgas superficiais com base na $Q_{7,10}$ e Q_{90})

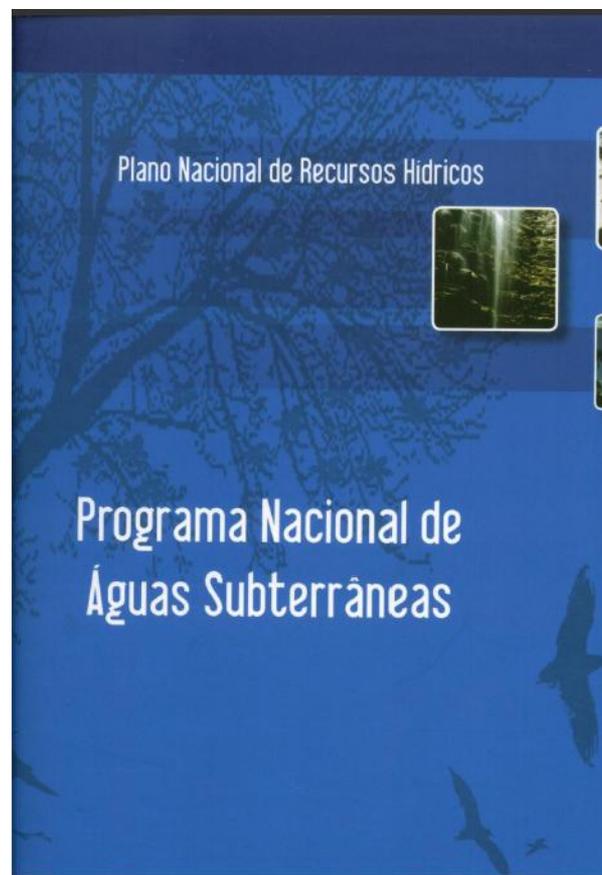




Diminuição dos cursos d'água perenes no oeste do Kansas (EUA) relacionada a exploração excessiva, diminuindo a vazão de base.

Plano Nacional de Recursos Hídricos-PNRH

Programa Nacional de Águas Subterrâneas (PNAS)



PROGRAMA NACIONAL DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

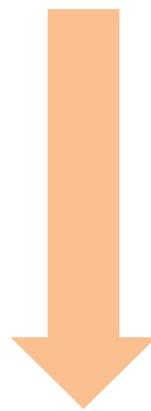
SUBPROGRAMA VIII.1 - Ampliação do Conhecimento Hidrogeológico

- A) Estudos e projetos para aquíferos de abrangência transfronteiriça e **interestadual**;
- B) Estudos e projetos em escala local;
- C) Monitoramento quali-quantitativo das águas subterrâneas.

SUBPROGRAMA VIII.2 - Desenvolvimento dos Aspectos Institucionais e Legais

SUBPROGRAMA VIII.3 - Capacitação, Comunicação e Mobilização Social

Programa Nacional de Águas Subterrâneas- PNAS/PNRH



Implementação

Agenda ANA de Águas Subterrâneas

AGENDA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

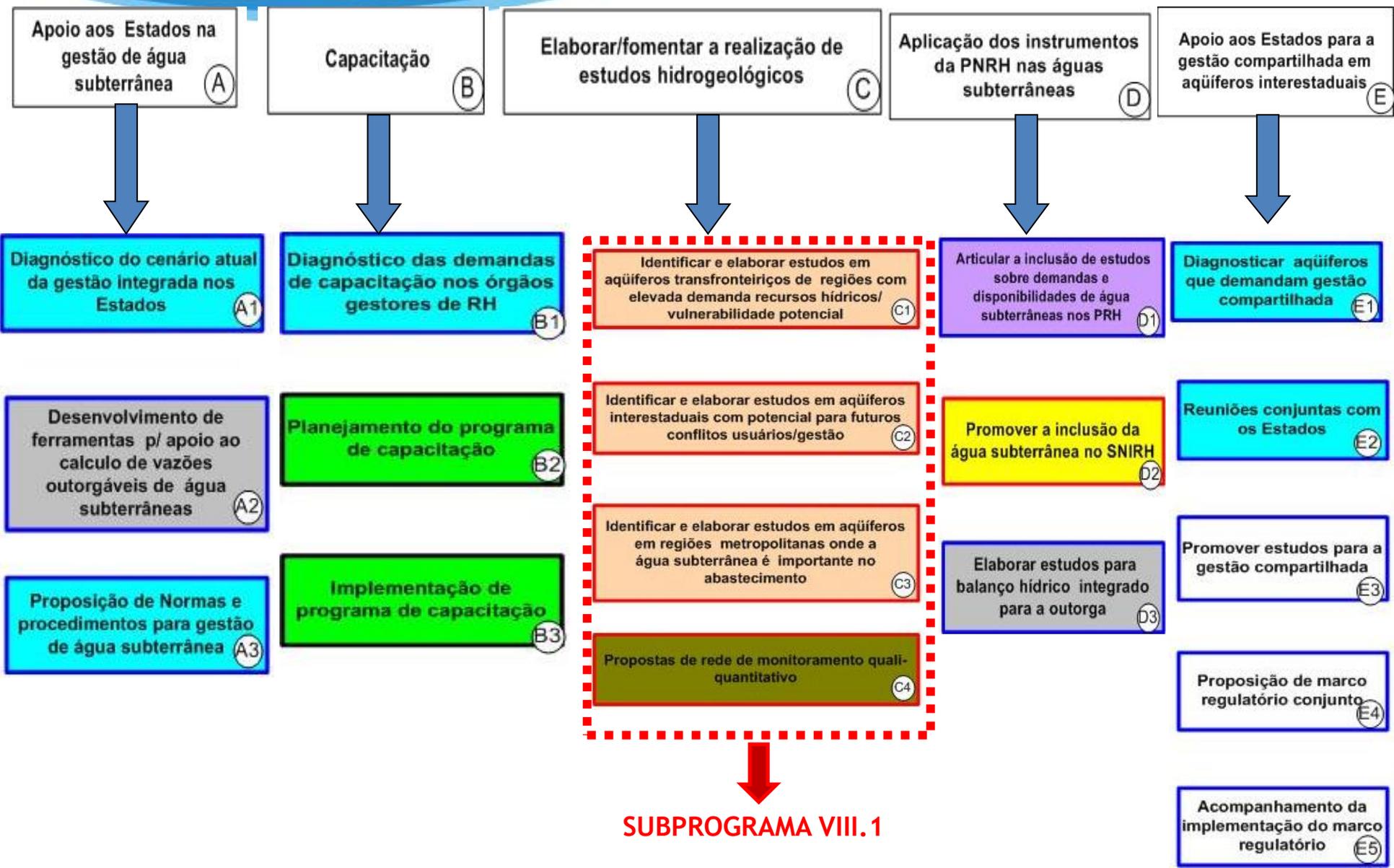
OBJETIVO GERAL

AÇÕES PARA FORTALECER A IMPLEMENTAÇÃO DA GESTÃO INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEOS NO PAÍS



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apoiar a **gestão** das **águas subterrâneas** nos **Estados**;
- Ampliar o **conhecimento** hidrogeológico nacional;
- Promover a **aplicação** dos **instrumentos** da Política Nacional de Recursos Hídricos nas **águas subterrâneas**;
- Apoiar a **gestão compartilhada** de aquíferos **interestaduais** e **transfronteiriços**.



Estudos PNAS/PNRH/ Agenda de Aguas Subterrâneas ANA

➤ 21 Estados envolvidos

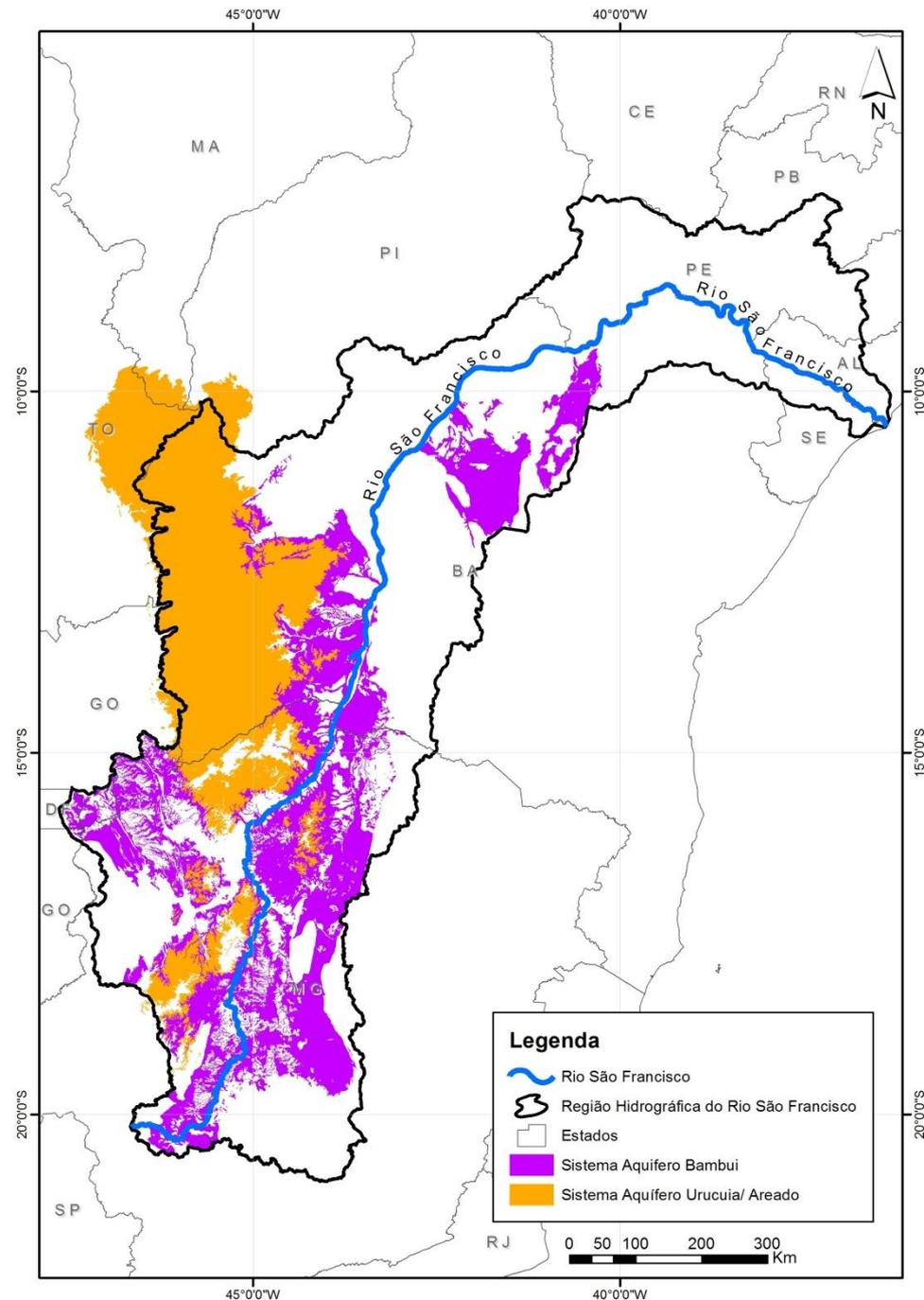


Legenda

- Regiões Hidrográficas
- Divisão política dos estados
- Estudos desenvolvidos pela ANA**
- Aquíferos da Chapada do Apodi ✓ Estudos finalizados
- Região metropolitana de Maceió ✓ Estudos finalizados
- Região metropolitana de Natal ✓ Estudos finalizados
- Aquíf. da Província Hidrog. Amazonas
- Sistema Aquífero Guarani (SAG)
- Sistema Aquífero Urucuiá (SAU)
- Sistema Aquífero Cárstico
- Região Metropolitana de Belém ← Estudos futuros
- Região Metropolitana de São Luís ← Estudos futuros

Estudos em andamento

Estudos futuros



Estudos Hidrogeológicos da ANA na Bacia do Rio São Francisco

- Sistema Aquífero Urucuia
142 mil Km²
6 estados envolvidos

- Sistema Aquífero Bambuí
111 mil Km²
2 estados

➤ Sistema Aquífero Urucuia

- Termos de referência

Área aflorante estimada: 142.061 km²

Sistema Aquífero Urucuia-Areado

Estados: BA, TO, GO, MA, PI, MG

Escala 1.250.000

Contrato n° 015/ANA/2011

R\$ 4.792.378,02

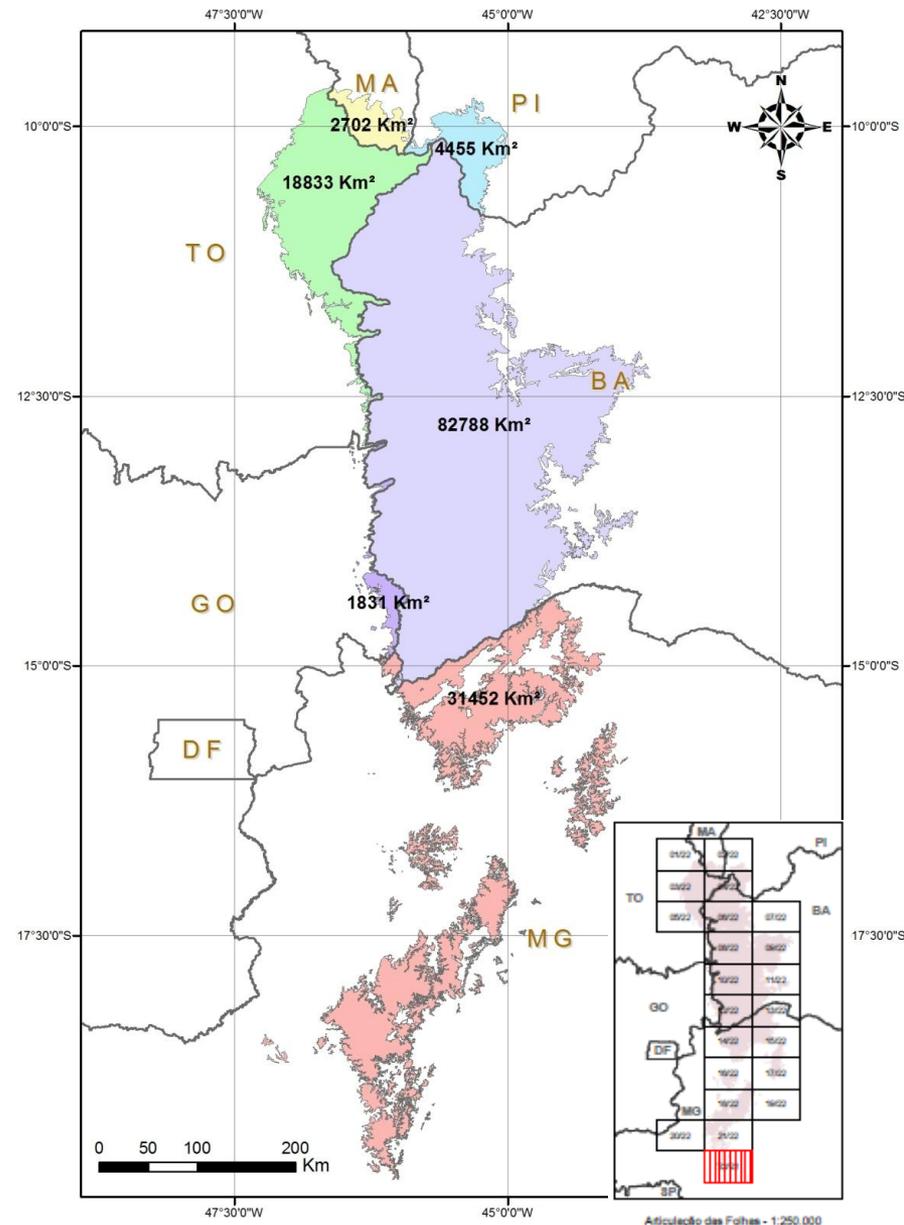
Prazo de execução: 24 meses.

Início: 20/05/2011

Final: 19/05/2013 (prorrogado)

- Objetivos

Realizar estudos hidrogeológicos para obter informações para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos relativos ao SAU nas Bacias do rio São Francisco e do rio Tocantins visando subsidiar a gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas



➤ Execução e Participações

Consórcio ENGEORPS♦WALM
Equipe técnica multidisciplinar

Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização (CTAF)

- INEMA/ SEMA (Bahia)
- IGAM - MG (Minas Gerais)
- SEMARH – GO (Goiás)
- SEMADES - TO(Tocantins)
- SEMA - MA (Maranhão)
- Piauí (não participou)
- ANA

- 24 reuniões
- Viagens de campo
- 3 seminários

Barreiras/BA

Arinos/MG

Palmas/TO

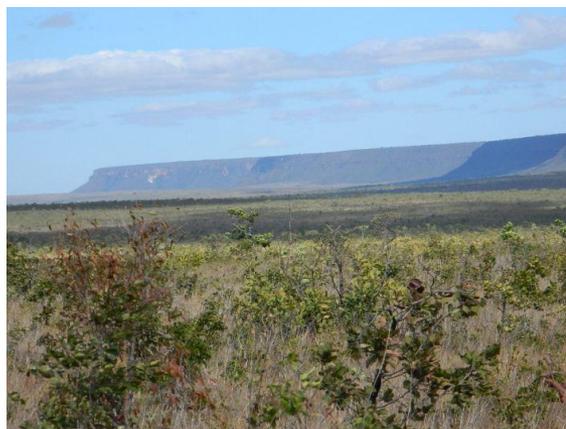
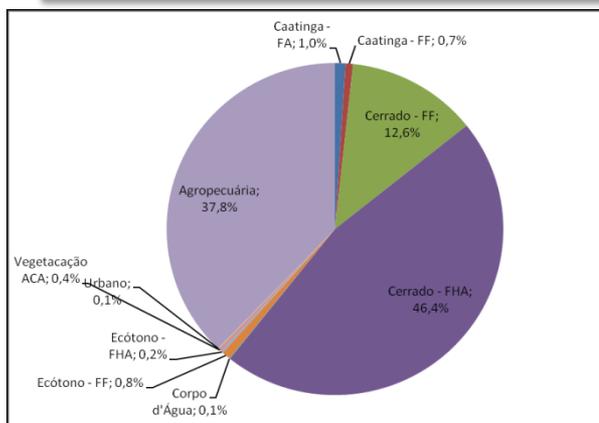
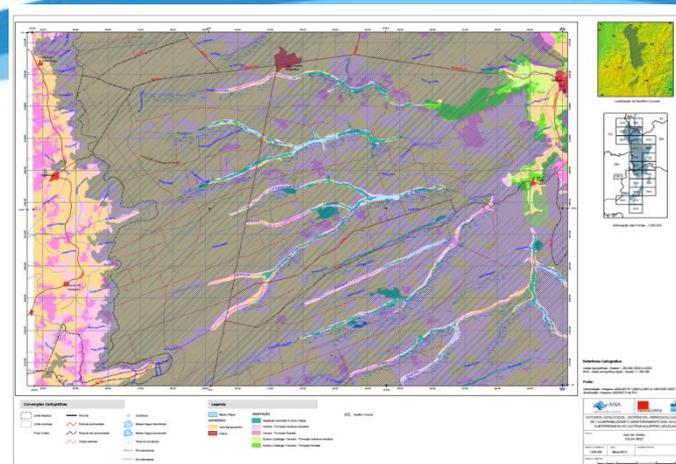
➤ Atividades desenvolvidas

- Estado da arte
- Processamento de imagens de satélites
- Uso e ocupação da terra
- Cadastro de pontos de água (poços e nascentes), fontes de contaminação
- Levantamentos geológicos de campo
- Ensaios geofísicos
- Ensaios de infiltração
- Estudos hidrológicos
- Coleta e análises de amostras de água (Físico-química, microbiológicas, datação, isótopos, agroquímicos)
- Gestão Participativa (seminários)
- Proposição de plano de gestão
- SIG/banco de dados

➤ Atividades desenvolvidas

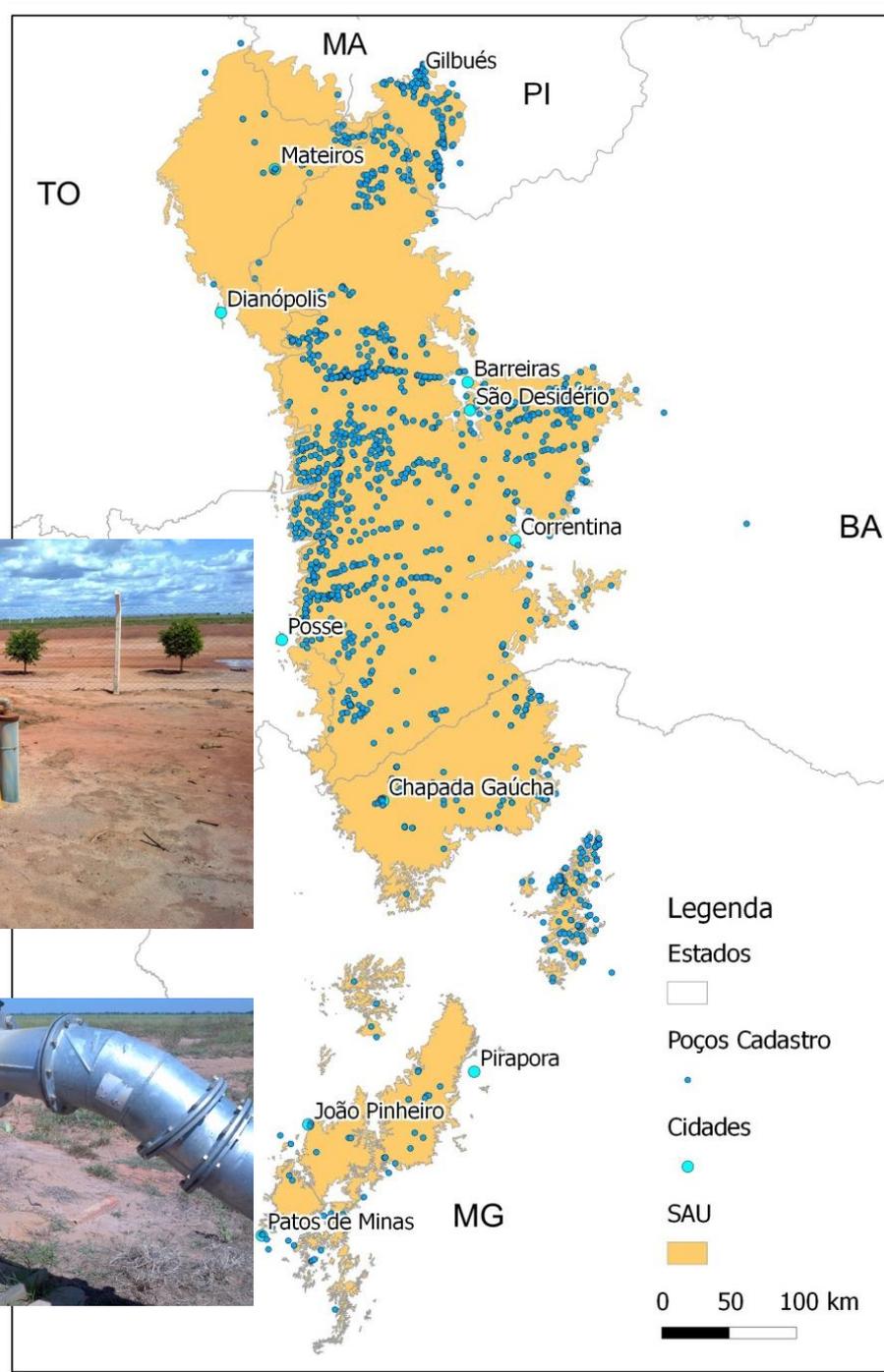
Uso e ocupação da terra

- Soja, algodão, milho, café, arroz, capim, feijão, fruticultura



➤ Atividades desenvolvidas

Cadastro de pontos de água
(poços e nascentes): 1.423
compilados
271 pontos novos
248 poços
132 cacimbas
12 nascentes



➤ Atividades desenvolvidas

Levantamentos geológicos de campo

- 3 campanhas na Sub-bacia Urucuia
- 2 campanhas na Sub-bacia Abaeté

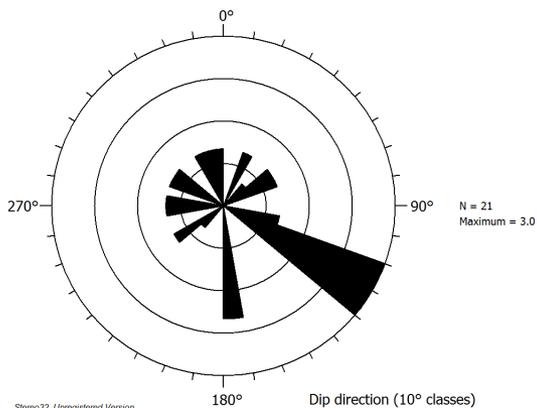
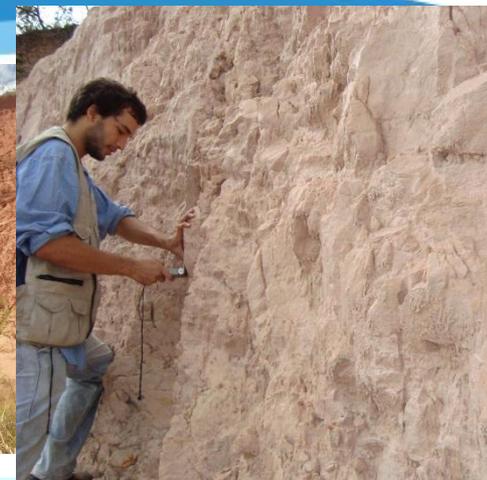


Diagrama de rosetas

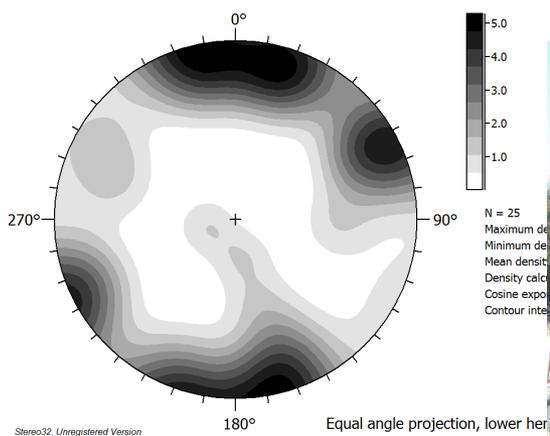


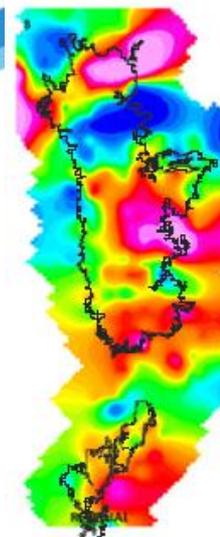
Diagrama de Schmitd-Lambert



Atividades desenvolvidas

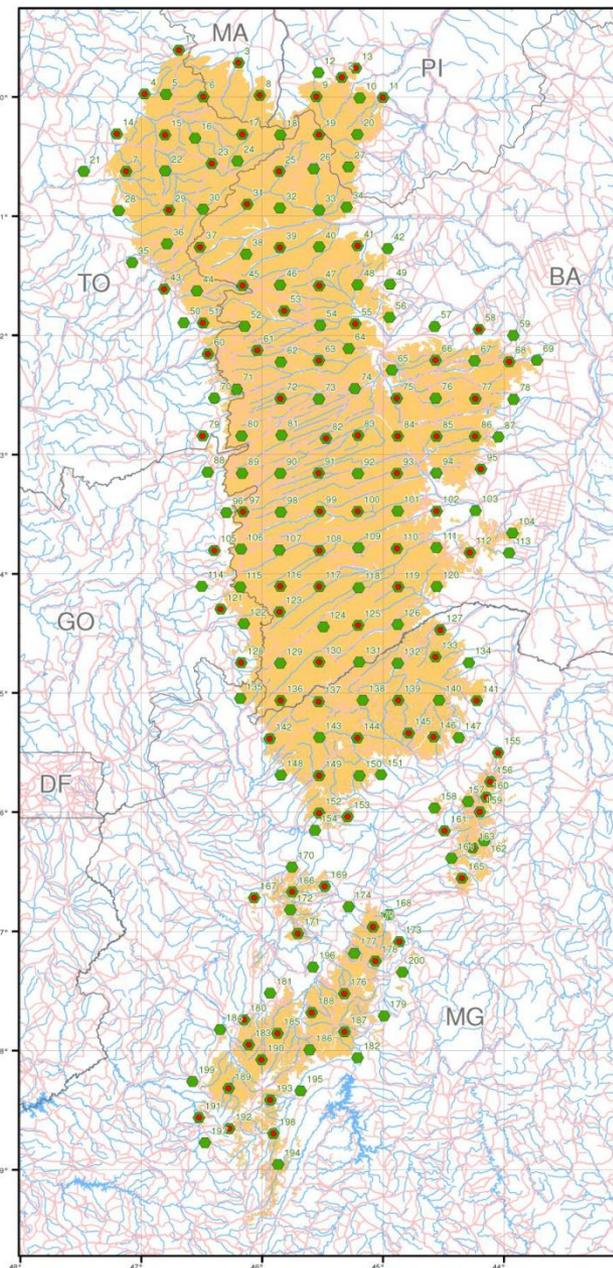
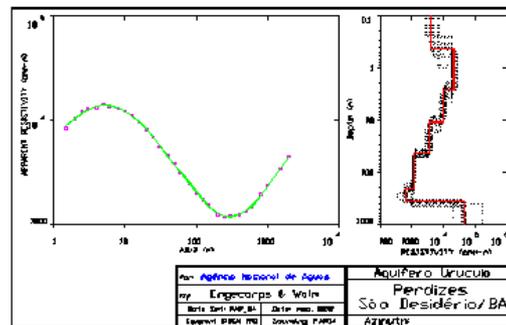
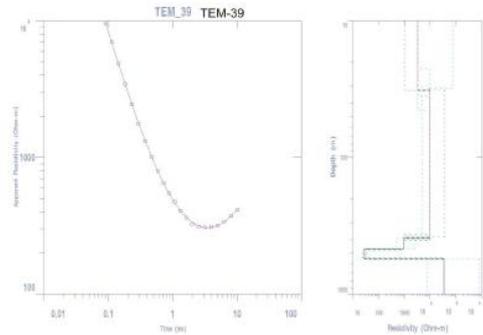
Ensaio geofísicos

- 145 SEVs
- 200 TDEM
- 200 GRAV



Bouguer residual

e TDEM



Atividades desenvolvidas

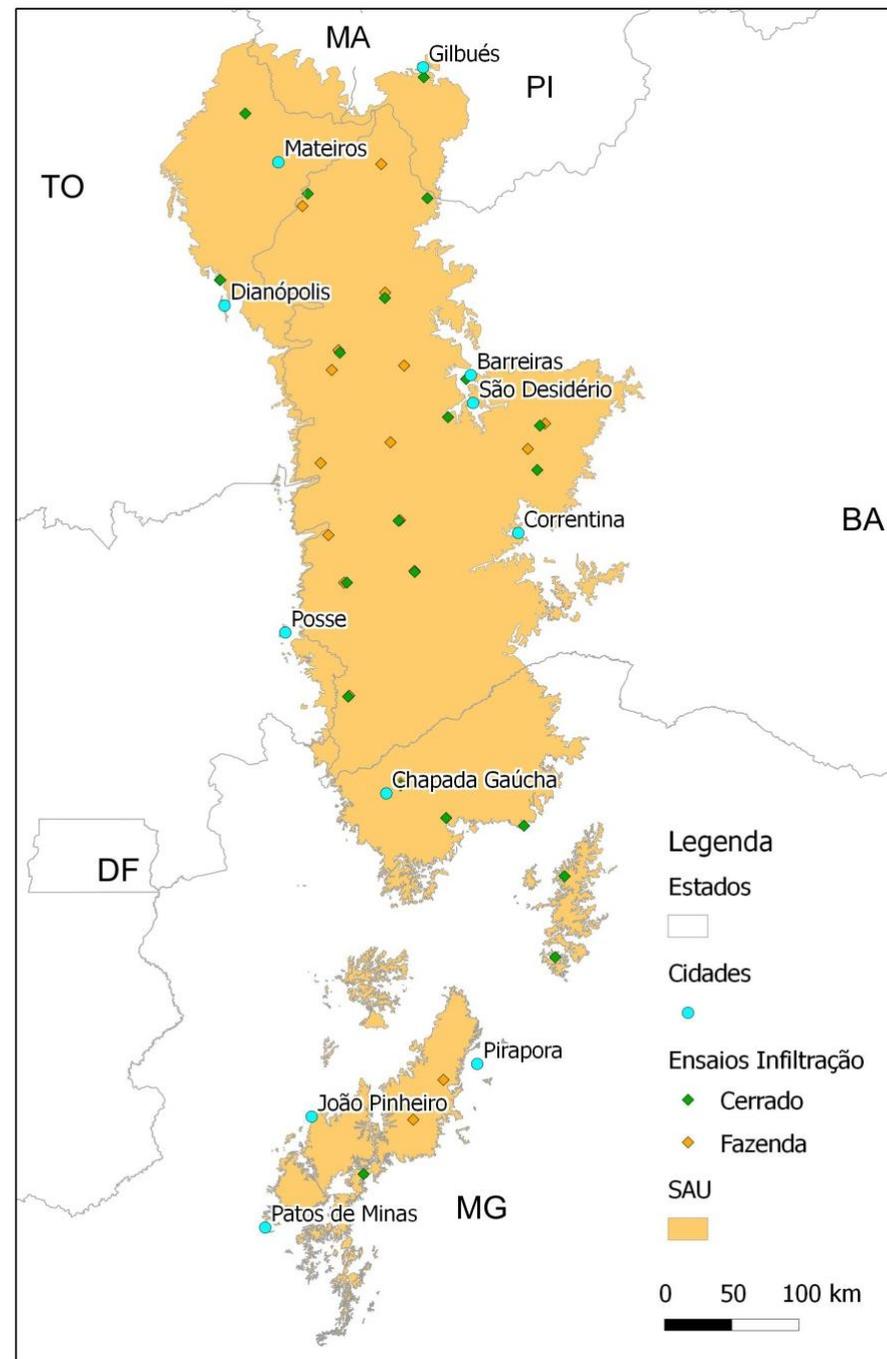
Ensaio de infiltração



40 pontos com
Infiltrômetro de
duplo anel



40 pontos com
Permeômetro
Guelph

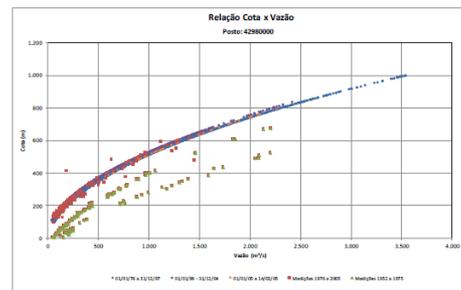
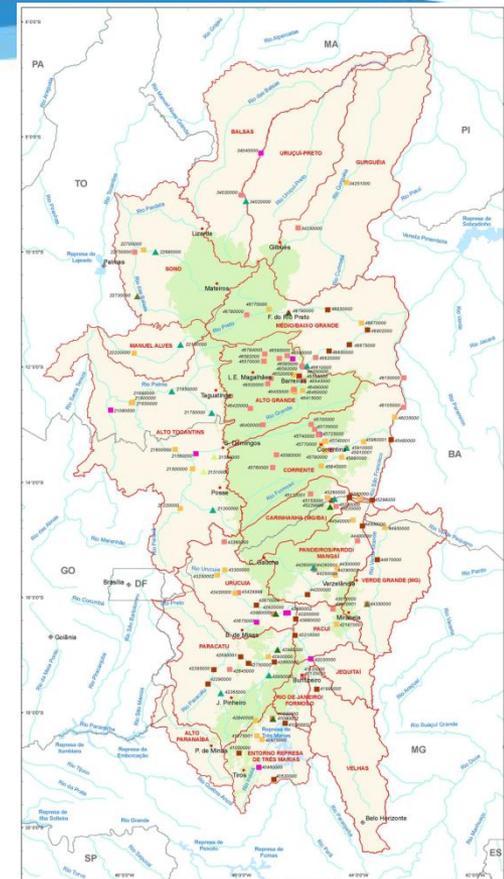
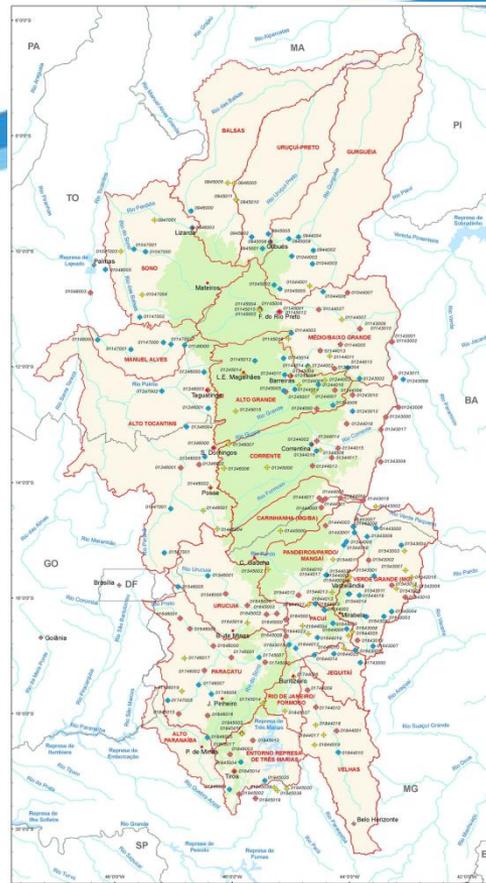


Atividades desenvolvidas

Estudos hidrológicos

- **Avaliação climatológica**
 - Tipos climáticos
 - Parâmetros climáticos: precipitação, temperatura, umidade relativa do ar, insolação, evaporação, vento, nebulosidade, pressão atm.

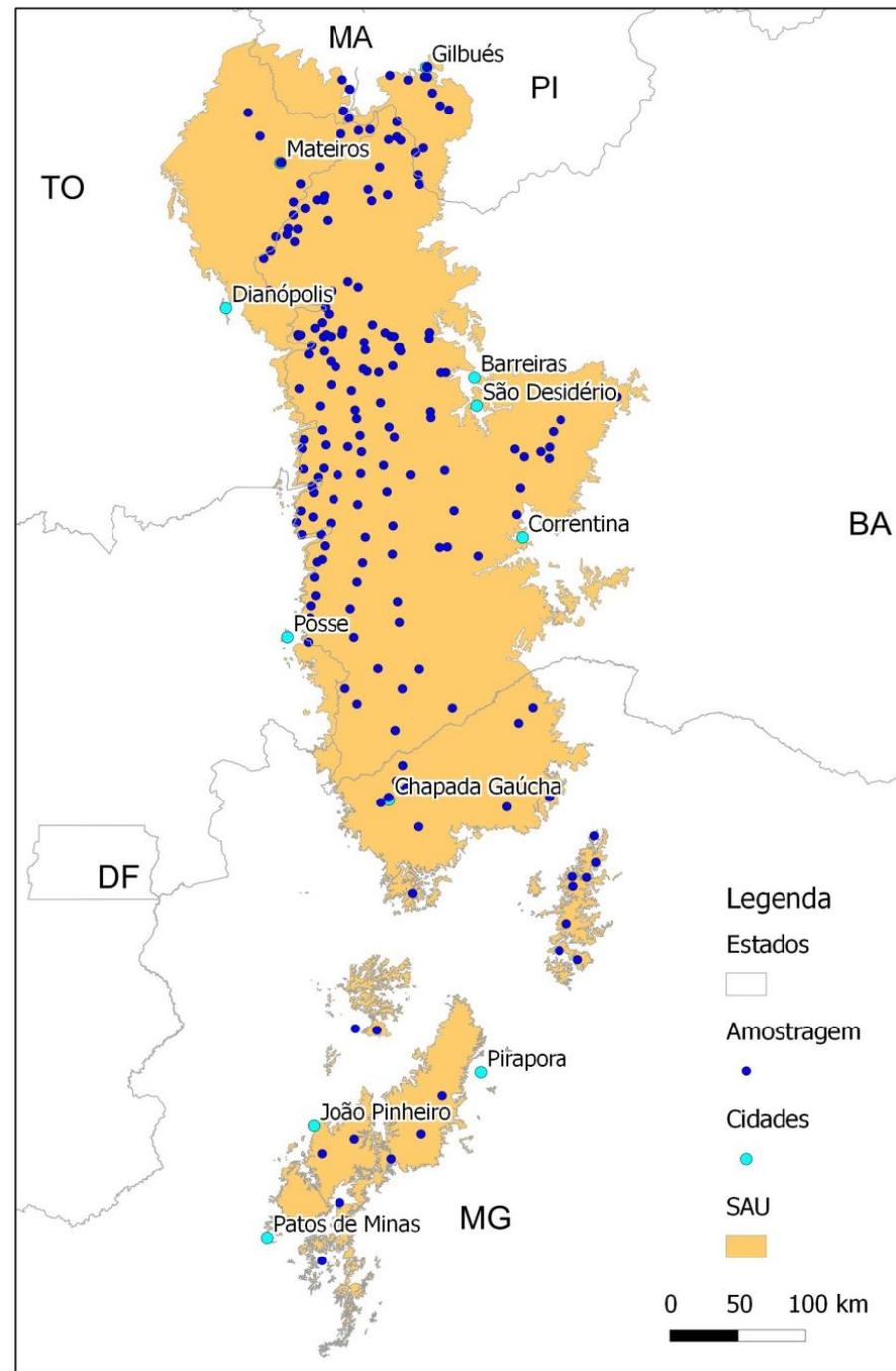
- **Contribuição do SAU (1975-2005)**
 - Rio São Francisco e Tocantins
 - Seleção dos postos Flu
 - Análise do histórico
 - Análise de consistência
 - Separação do fluxo de base
 - *Hysep (USGS)*



Atividades desenvolvidas

Hidroquímica – coleta e análises de amostras de água (poços e nascentes)

- 203 pontos de amostragem de água subterrânea (por campanha);
- Duas campanhas
- Parâmetros físico-químicos, químicos, específicos: BTEX, agroquímicos, metais pesados, coliformes, ^2H e ^{18}O , ^3H , ^{14}C
- Análise estatística
- Classificação das águas
- Diagramas de Piper e Stiff



➤ Atividades desenvolvidas

Gestão Participativa

- Seminários
Barreiras (BA)
Arinos (MG)
Palmas (TO)



- Participação: 316
- Universidades, órgãos gestores, comitês de bacias, prefeituras, empresas de perfuração de poços, setores usuários, além de membros da CTAF, técnicos do consórcio e representantes da ANA.
- Apresentação:
 - Resultados parciais
 - Programa de educação ambiental
 - Minuta da proposta de gestão compartilhada
 - Receber contribuições dos atores

➤ Resultados do estudos

Sistema Aquífero Urucuia-Areado

Sub-bacia Urucuia

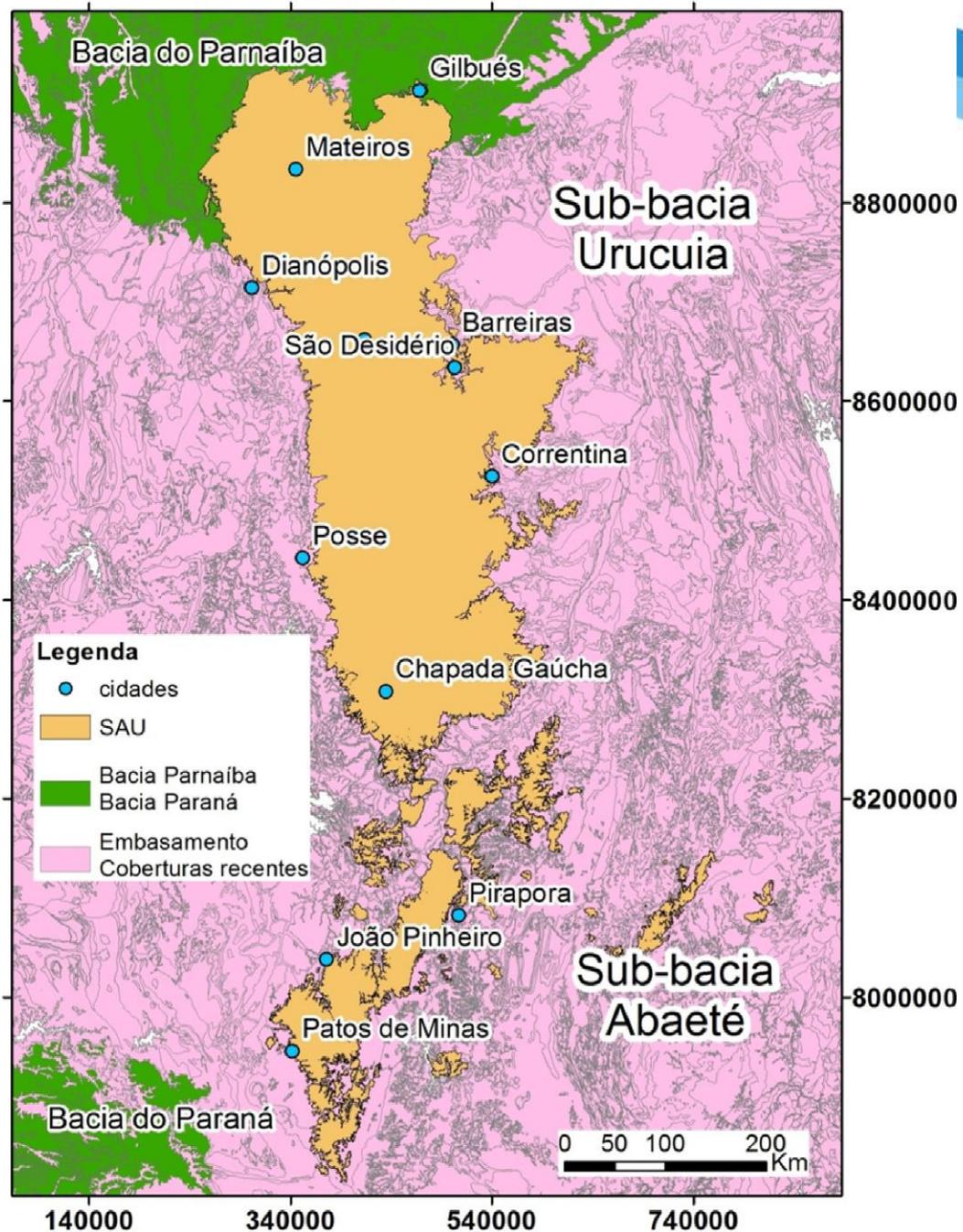
- Grupo Urucuia

Sub-bacia Abaeté

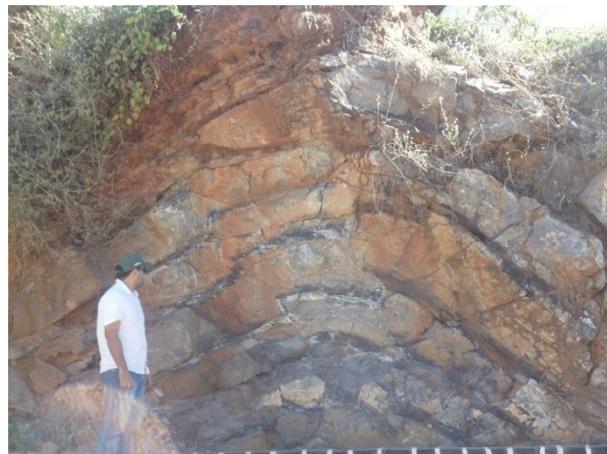
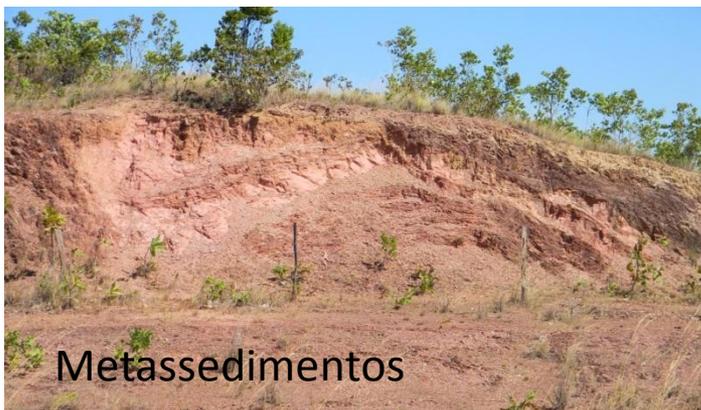
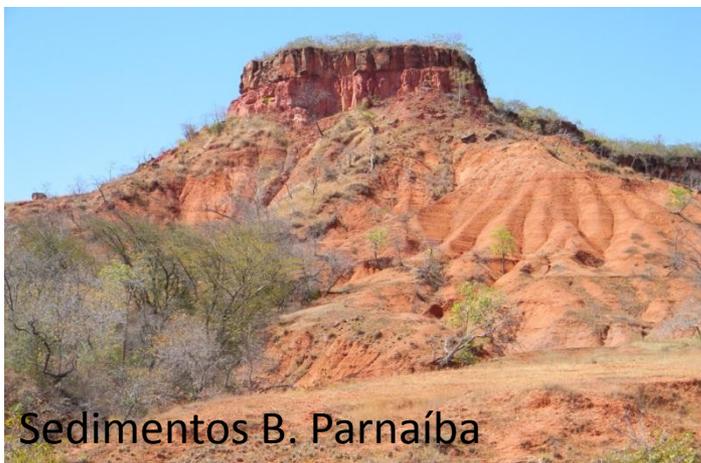
- Grupo Areado

Substrato

- Metassedimentos Grupo Bambuí
- Bacia do Parnaíba
- Embasamento granítico



➤ Resultados do estudos
Substratos do SAU



Calcário



➤ Resultados do estudos

Sistema Aquífero Urucuia - SAU

Sub-bacia Urucuia

Grupo Urucuia

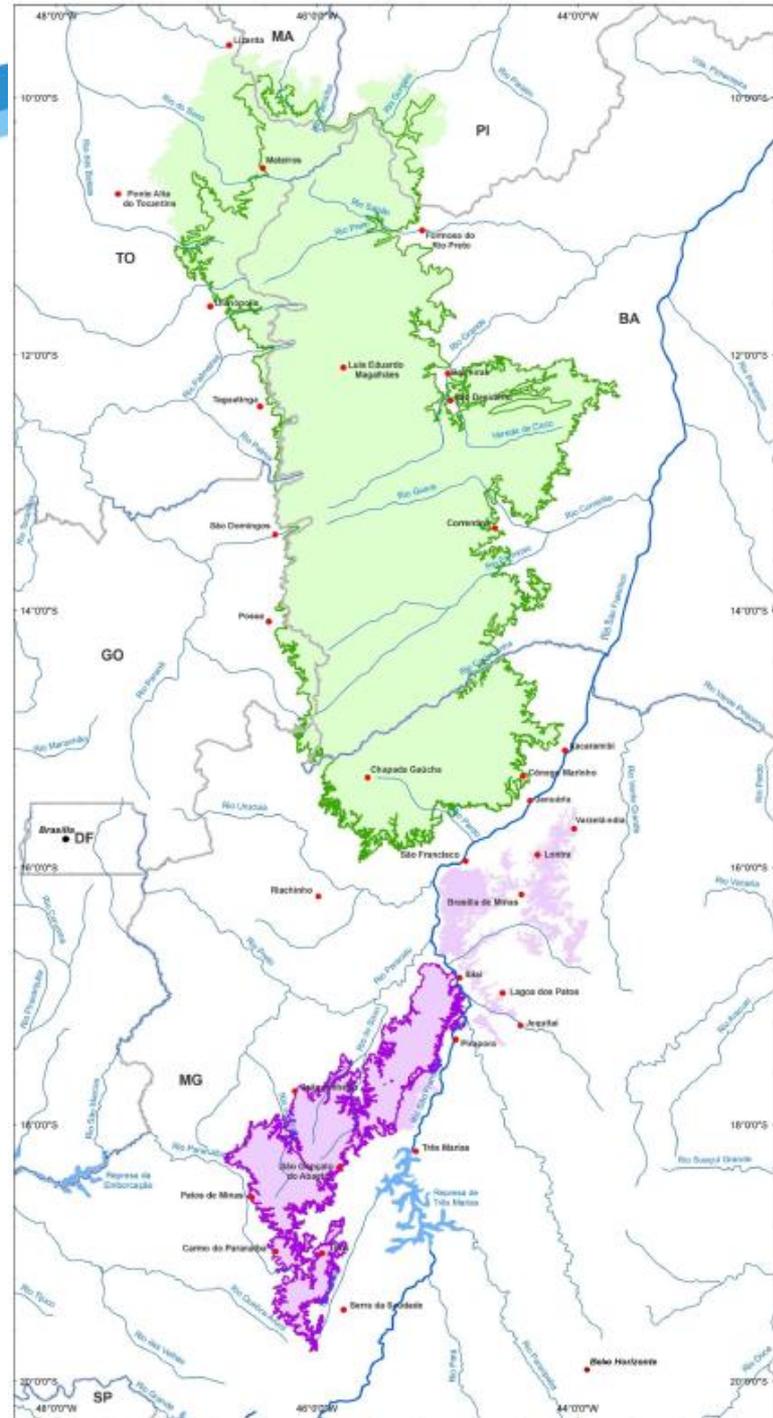
Formação Serra das Araras
Formação Posse

Sistema Aquífero Areado - SAA

Sub-bacia Abaeté

Grupo Areado

Formação Três Barras
Formação Quiricó
Formação Abaeté



➤ Resultados do estudos

Grupo Urucuia



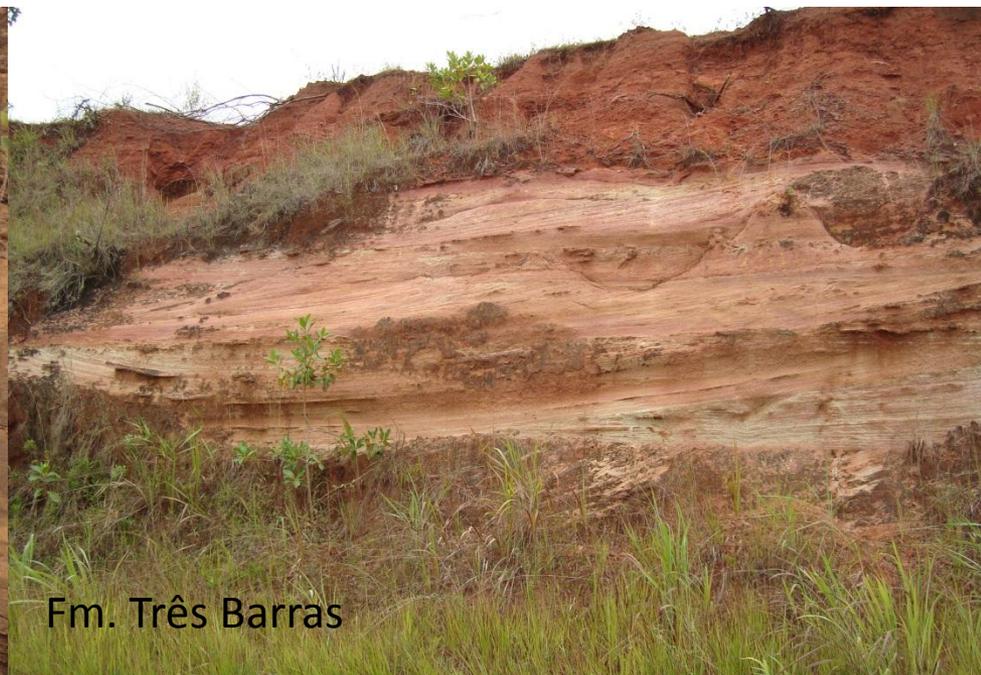
Fm. Posse

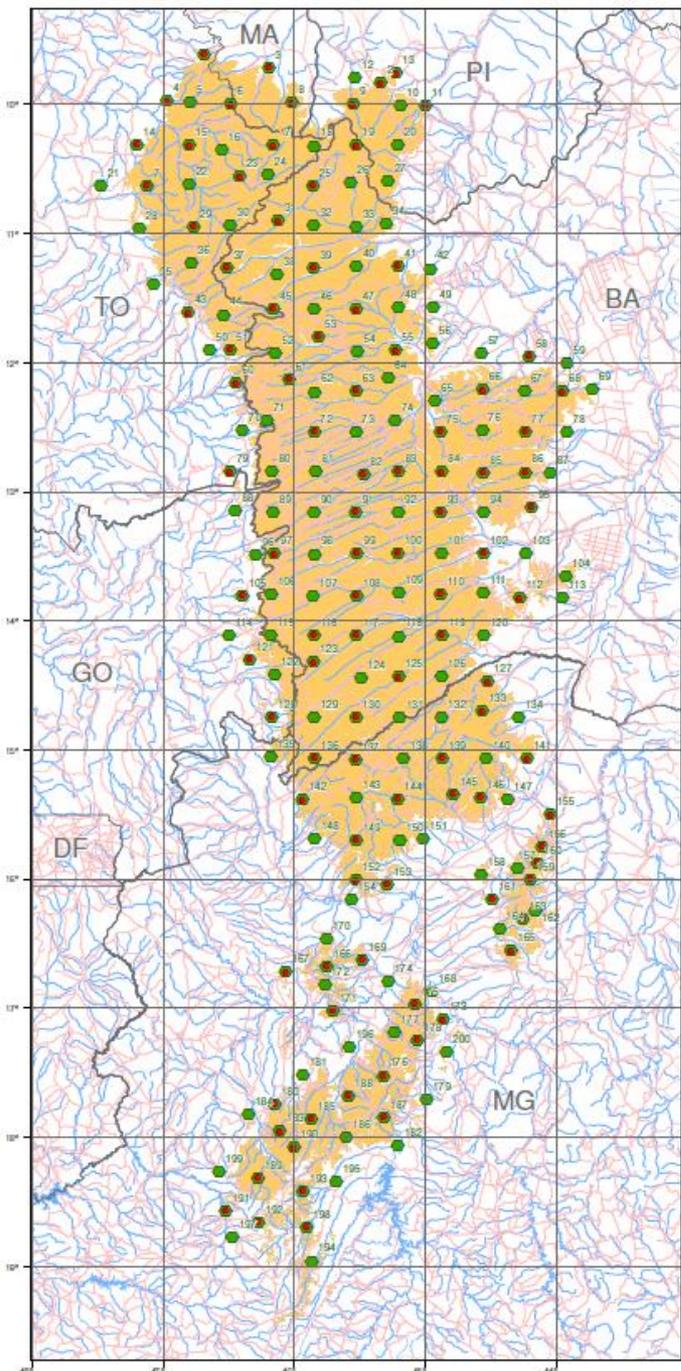


Fm. Serra das Araras

➤ Resultados do estudos

Grupo Areado





Resultados do estudos

Ensaio geofísicos

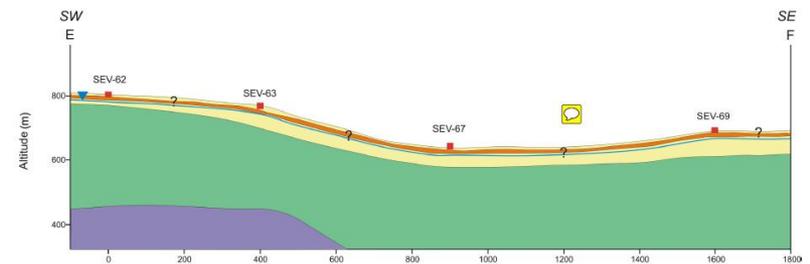
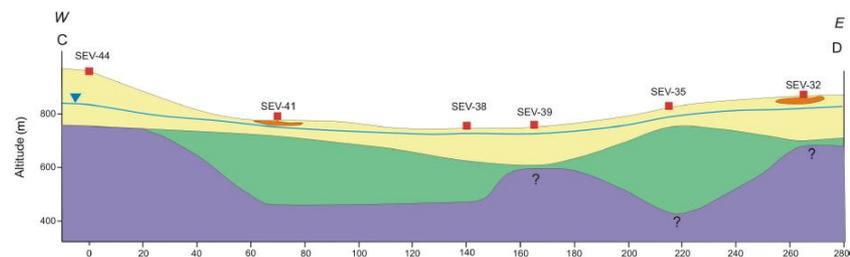
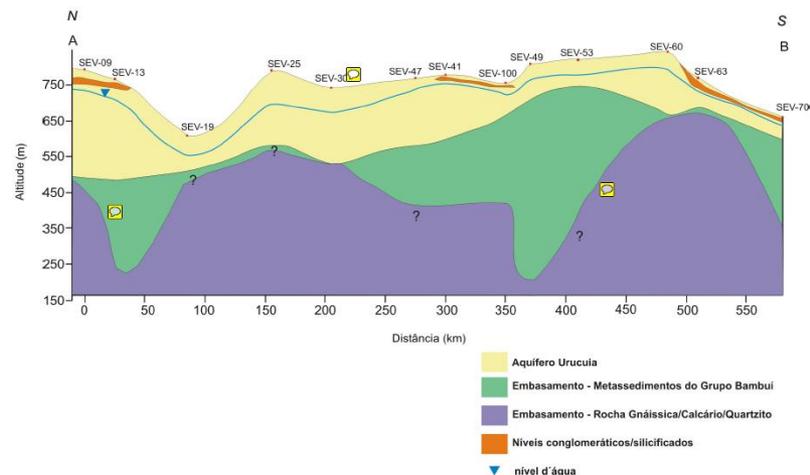
Gravimetria: 200 pontos

TDEM: 200 pontos

SEV: 149 pontos

Nível d'água: 2,1 a
160 metros (mais
prof. poços)

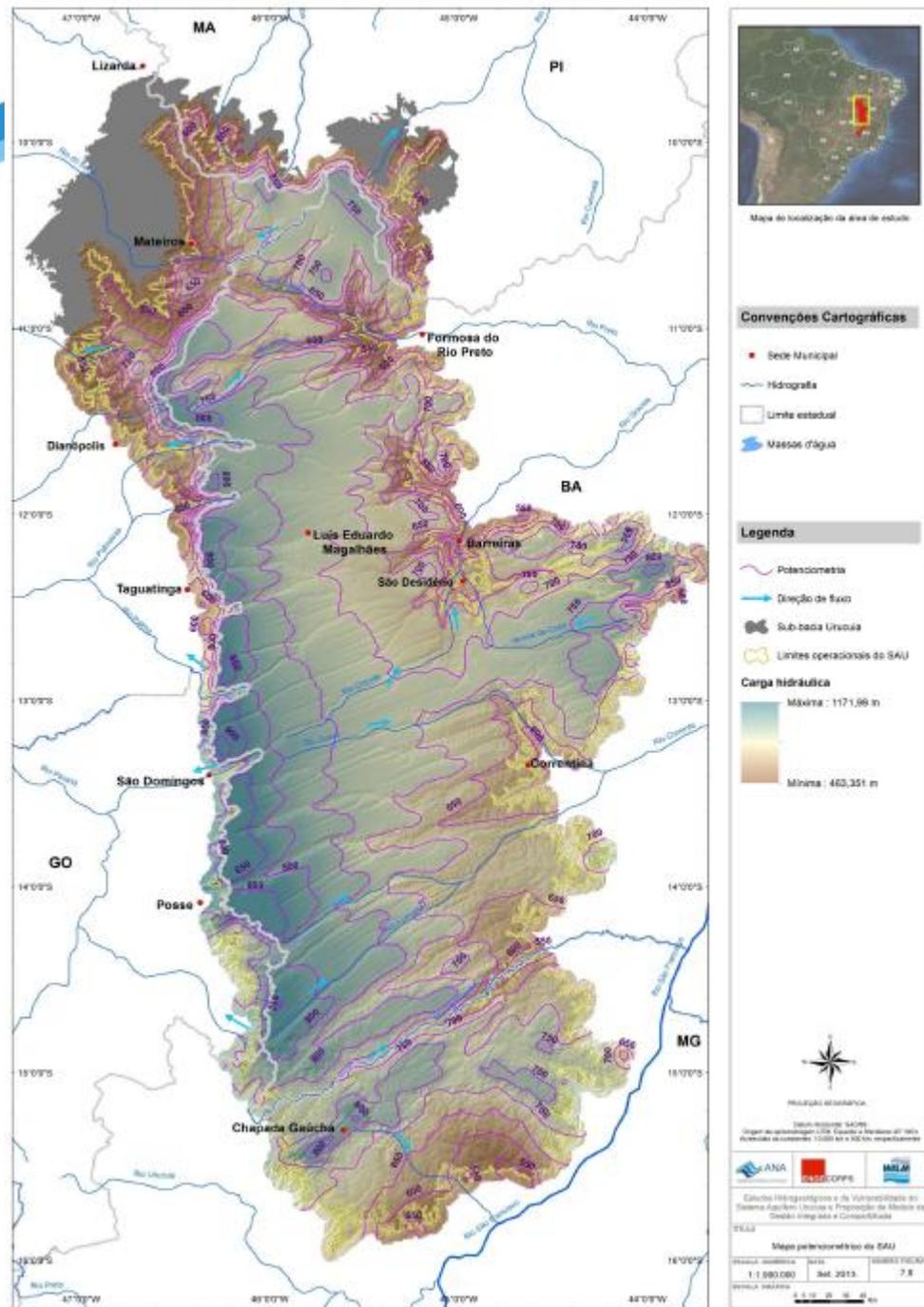
Espessura SAU: 15 a
400 metros (SEVs e
outras informações)



➤ Resultados do estudos

Sistema Aquífero Urucuia
(660 Km x 170-300 Km) 109.531 Km²

- Aquífero de natureza livre, do tipo poroso, de extensão regional, contínuo e regionalmente homogêneo.
- Resultados de testes: “não confinado com drenagem retardada”, proposto por Neuman (1975);
- K (condutividade hidráulica) geralmente superiores a 2 m/d;
- S (coeficiente de armazenamento) da ordem de 10^{-4}
- Porosidades efetivas da ordem de 14%.
- Potenciometria
- Direções regionais e locais de fluxo
- Divisores de águas subterrâneas

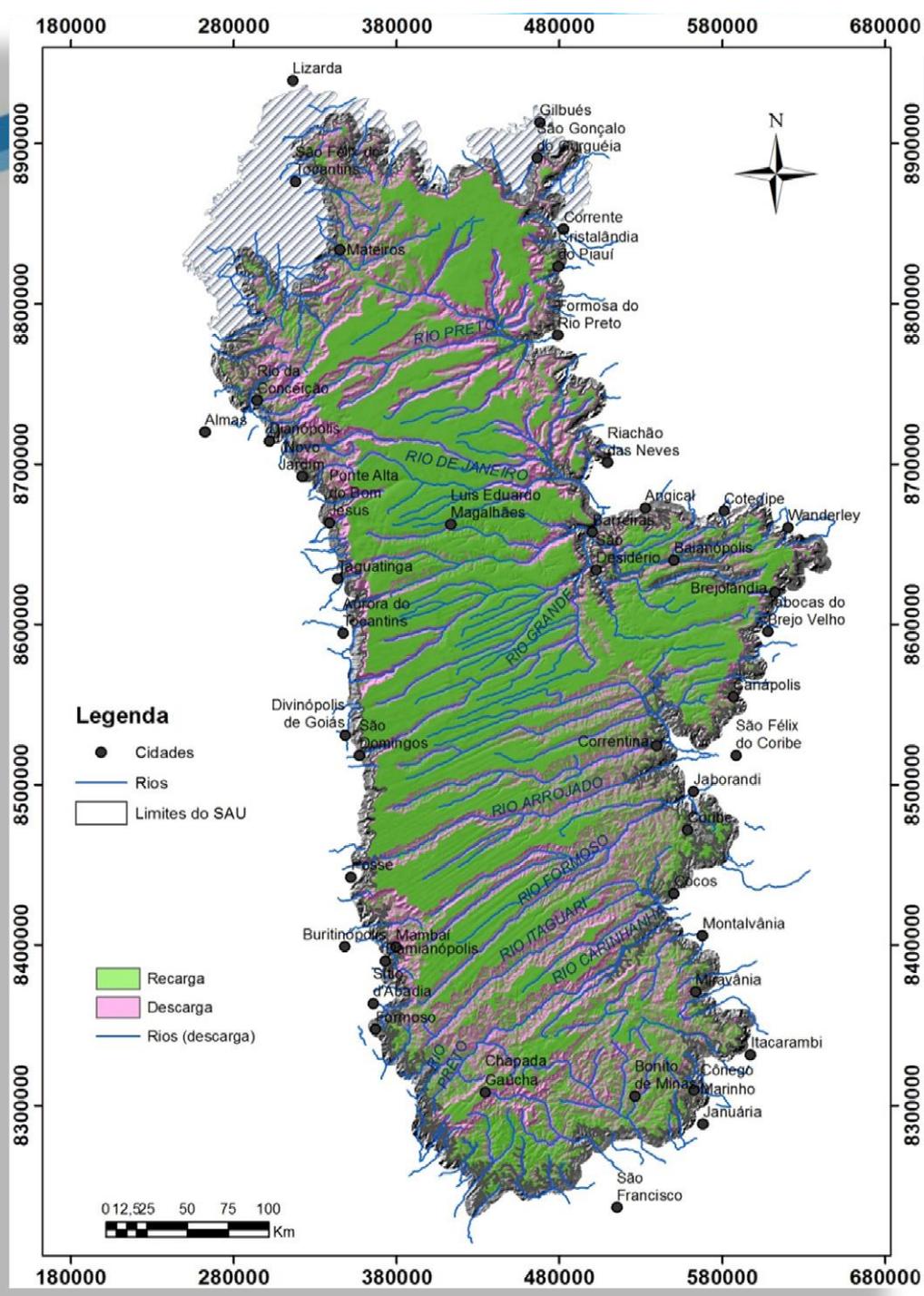


➤ Resultados do estudos

Sistema Aquífero Urucuia

Áreas de recarga e de descarga do SAU

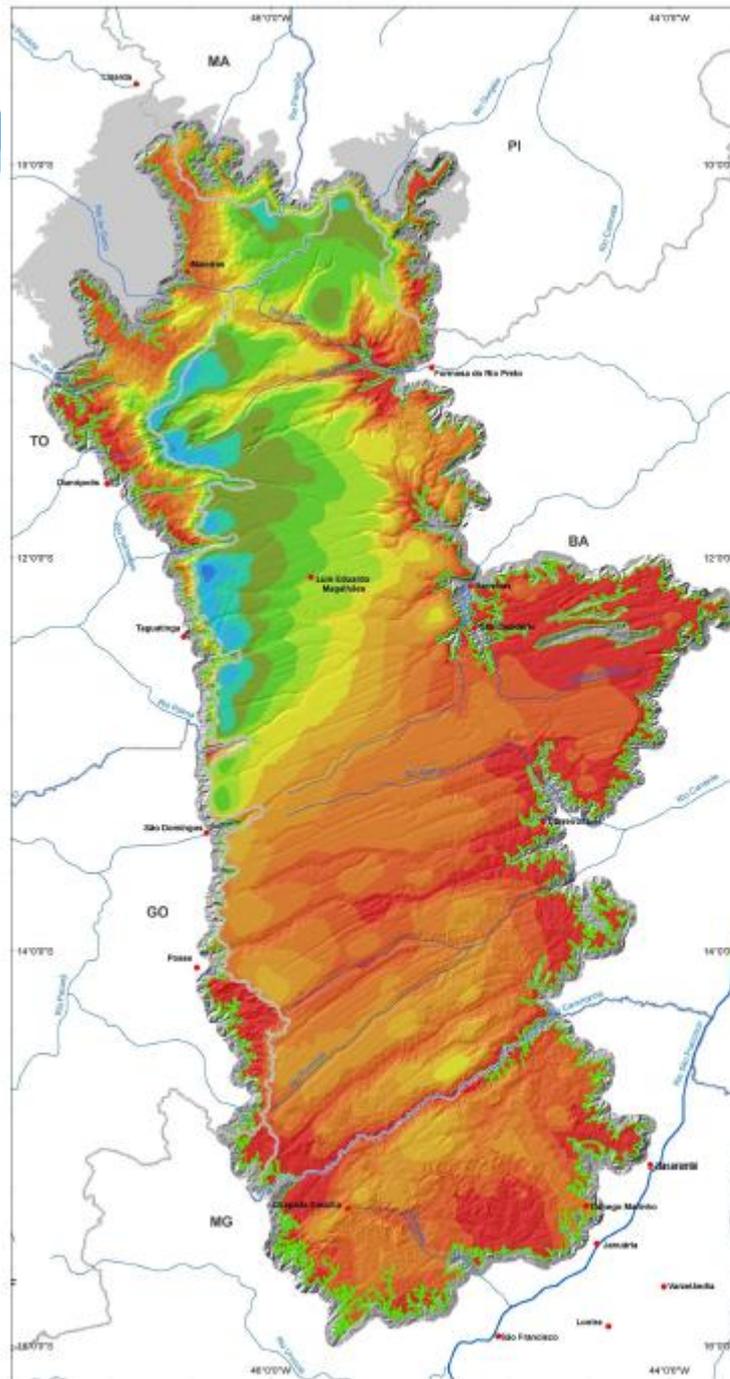
Critério: terrenos com declividades de até 2% para áreas de recarga.



➤ **Resultados do estudos**

Sistema Aquífero Urucuia

Espessura saturada: até 300 metros



Convenções Cartográficas

- Sede Municipal
- Hidrografia
- Limite Estadual
- ☞ Meios d'água

Legenda

- Rio São Francisco
- Sub-bacia Urucuia
- Limites operacionais do SAU

Espessura saturada (m)

0 - 25
25,01-50
50,01-75
75,01-100
100,01-125
125,01-150
150,01-175
175,01-200
200,01-225
225,01-250
250,01-275
275,01-300

PROJEÇÃO GEOGRÁFICA

BRASIL

Departamento Nacional de Cartografia

Projeto de autorização: LULA - Projeto de Integração do Sistema de Operações do Sistema Aquífero Urucuia e Proteção do Modelo de Gestão Integrada e Compartilhada

ANA

BRASCOMP

IBRGE

Estado Hidrogeológico e de Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Urucuia e Proteção do Modelo de Gestão Integrada e Compartilhada

PROJETO

Distribuição das espessuras estimadas do SAU

ESCALA: 1:1.800.000

DATA: Set. 2012

PROJETO: 7.9

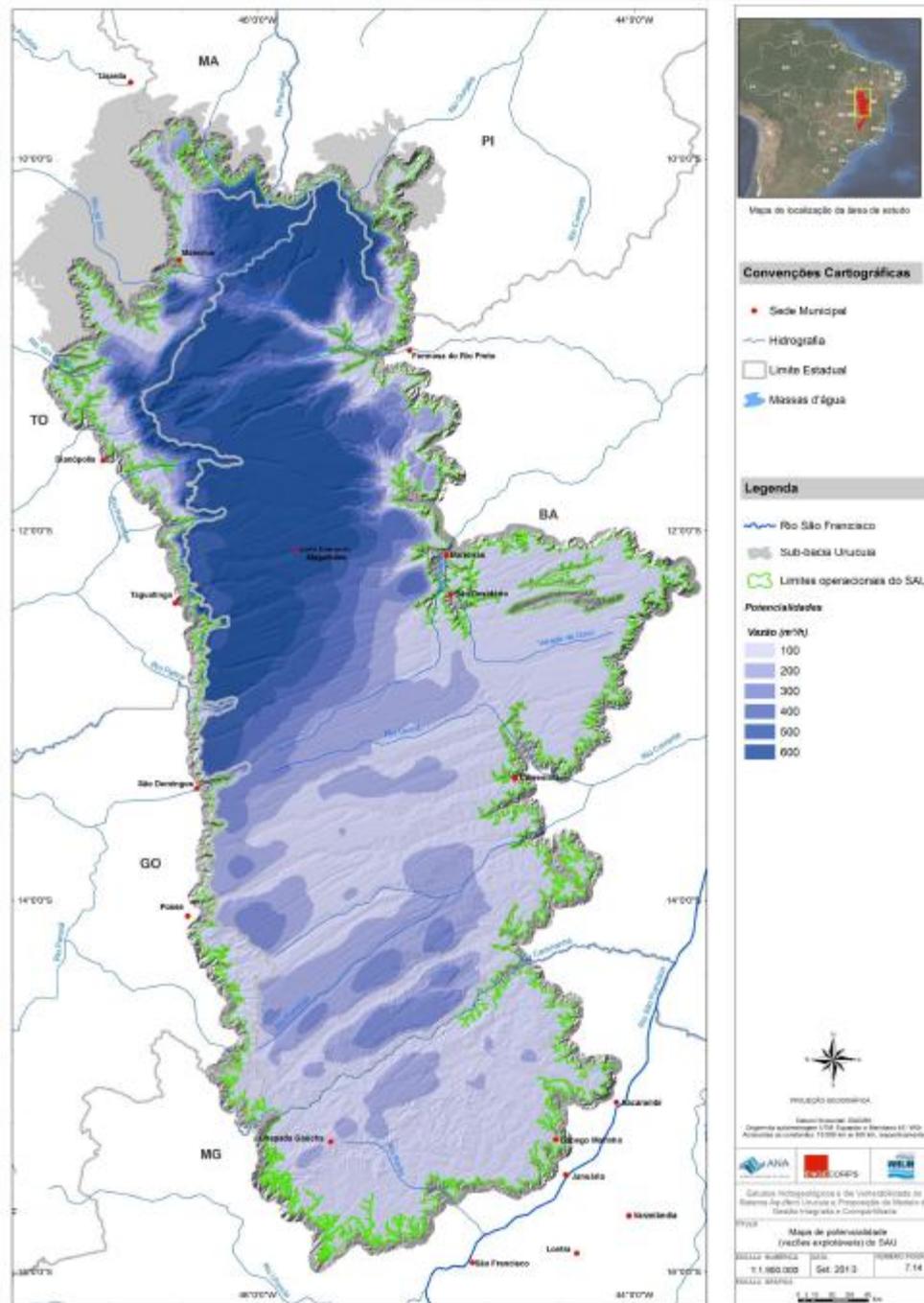
PROJETO: ANA

➤ **Resultados do estudos**

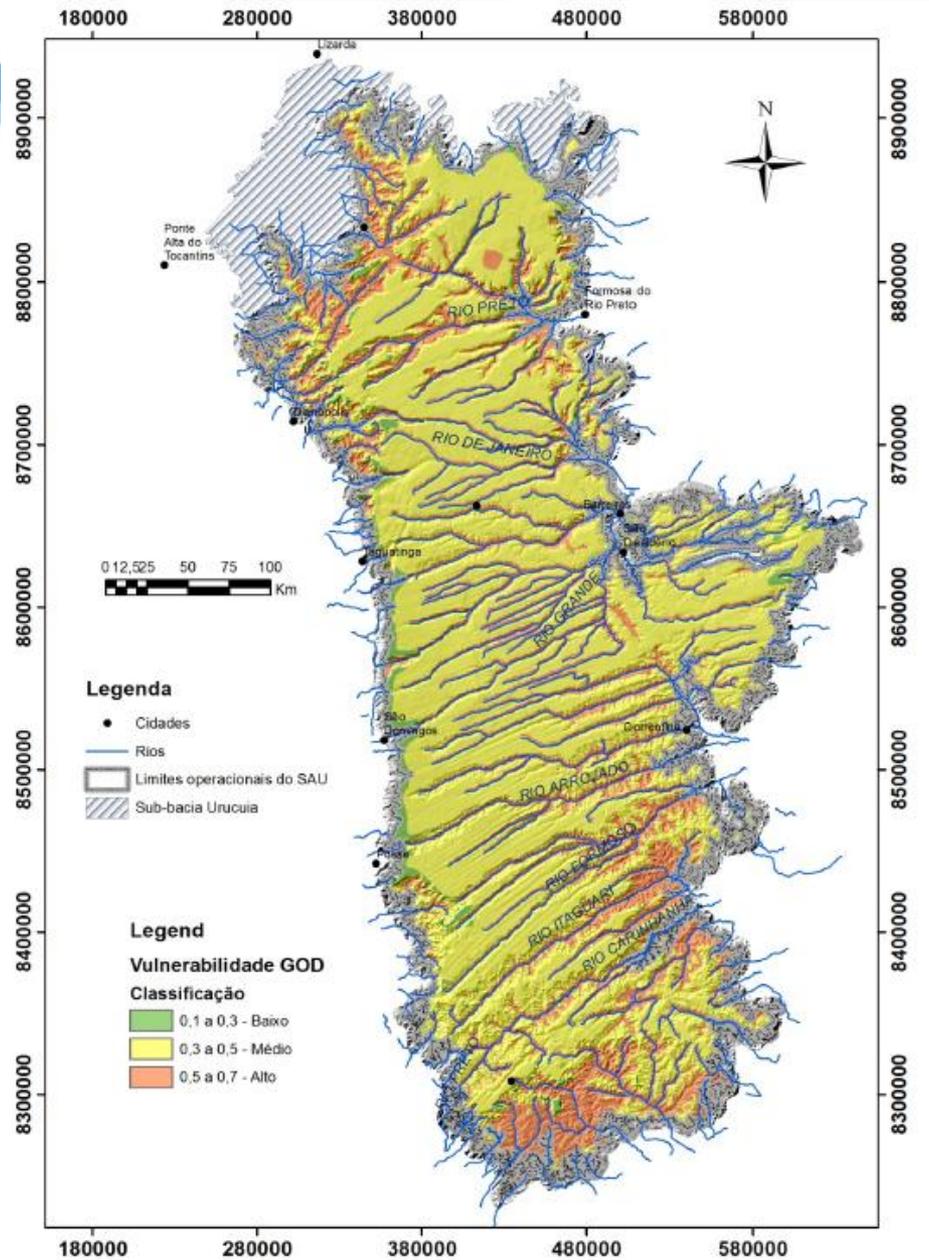
Sistema Aquífero Urucuia

Potencialidades

100 a 600 m³/h



➤ **Resultados do estudos**
Sistema Aquífero Urucuia
Vulnerabilidade, Método GOD



➤ Resultados do estudos

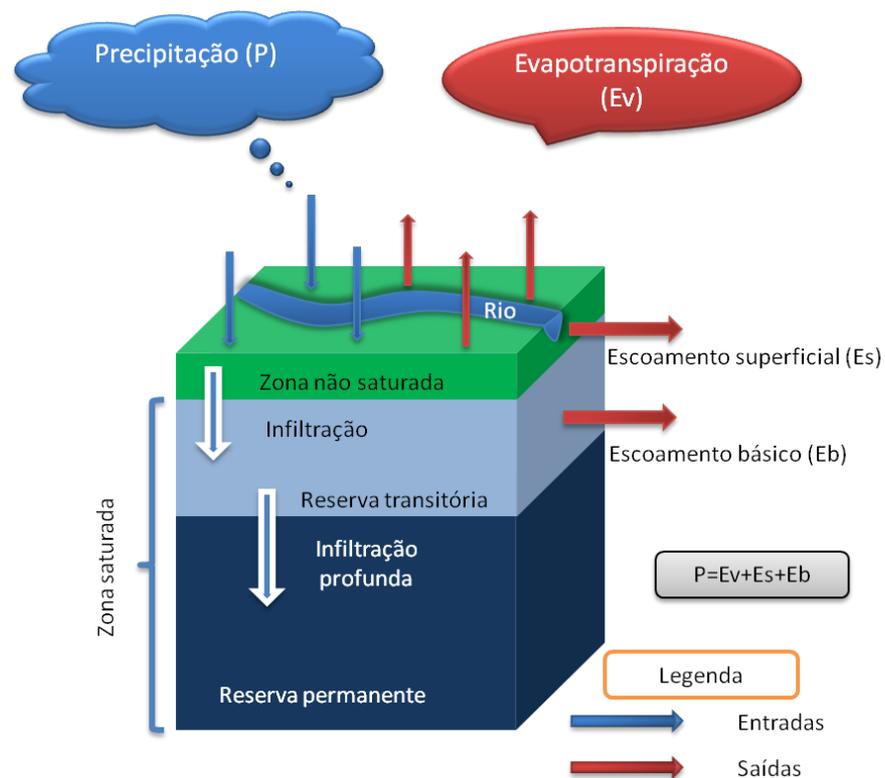
Sistema Aquífero Urucuia

Balanco hidrogeológico

$$P = Es + Ev + Eb + \Delta S$$

Permite:

- Estimativa de recarga;
- Estimativa de reserva transitória/reguladora.



➤ Resultados do estudos

Sistema Aquífero Urucuia

Estimativa da recarga anual do SAU nas sub-bacias

Posto	Descrição	Rio	Área (km ²)	R=Eb (mm/ano)
44250000	Usina dos Pandeiros Montante	Pandeiros	3.346	192,39
45210000	Lagoa das Pedras	Carinhanha	11.338	298,78
45220000	Capitânea	Cochá	2.301	148,50
45910001	Sta Maria da Vitória	Corrente	23.578	210,91
46610000	São Sebastião	Grande	28.130	167,55
46790000	Formosa do Rio Preto	Preto	13.270	201,90
Média ponderada				204,22

Recarga ~ 18% da precipitação média

Estimativa da recarga anual total do SAU

Área (km ²)	R (mm/ano)	R (m ³ /s)	R (km ³ /ano)
109.531	204,2	709,30	22,37

Resultados do estudos

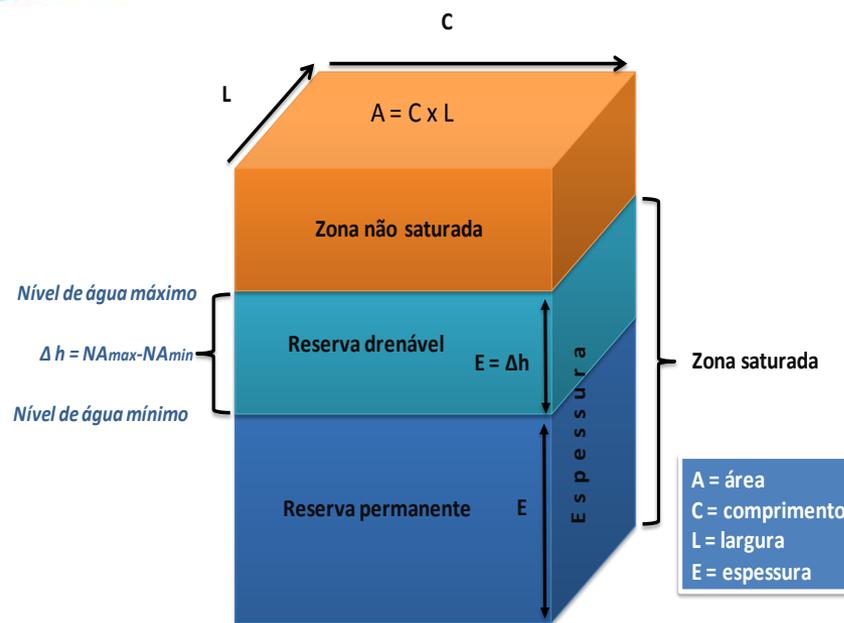
Sistema Aquífero Urucuia

Avaliação das reservas hídricas:

- Renováveis ou reguladoras (Rr)
- Permanentes (Rp)

$$R_r = A \cdot \Delta h \cdot \phi_e \approx \text{Recarga}$$

$$R_p = A \cdot E \cdot \phi_e = V \cdot \phi_e (14\%)$$



Reservas hídricas do SAU

Reservas hídricas do SAU na Sub-bacia Urucuia

Área (km ²)	Volume saturado Km ³ *	Reserva reguladora (km ³ /ano)	Reserva permanente (km ³) **	Reservas Totais (km ³)
109.531	9.656	22,37	1.329,47	1.351,84

➤ Resultados do estudos

Sistema Aquífero Urucuia

Contribuições do SAU para as principais bacias hidrográficas

Bacias hidrográficas	Área Total de Aquífero (km ²)	Precipitação média anual (mm)	Contribuição/ Precipitação	Contribuição (mm)	Contribuição (m ³ /s)
Rio São Francisco	109.143	1.180	18,0%	213	735,8
Rio Tocantins	27.831	1.430	17,2%	246	217,2
Rio Parnaíba	7.361	1.140	17,5%	200	46,7
Rio Paranaíba	98	1.450	16,7%	242	0,8

Contribuição média do SAU para o Rio São Francisco é de 30 %
Chega a contribuir entre 80 e 90% na estiagem (agosto a outubro)
Contribuição média do SAU para o Rio Tocantins é de 5%

≈1.000 m³/s

➤ Resultados do estudos

Sistema Aquífero Urucuia

Com relação à disponibilidade hídrica

$$Dr = Eb - Q_{min}$$

D = disponibilidade

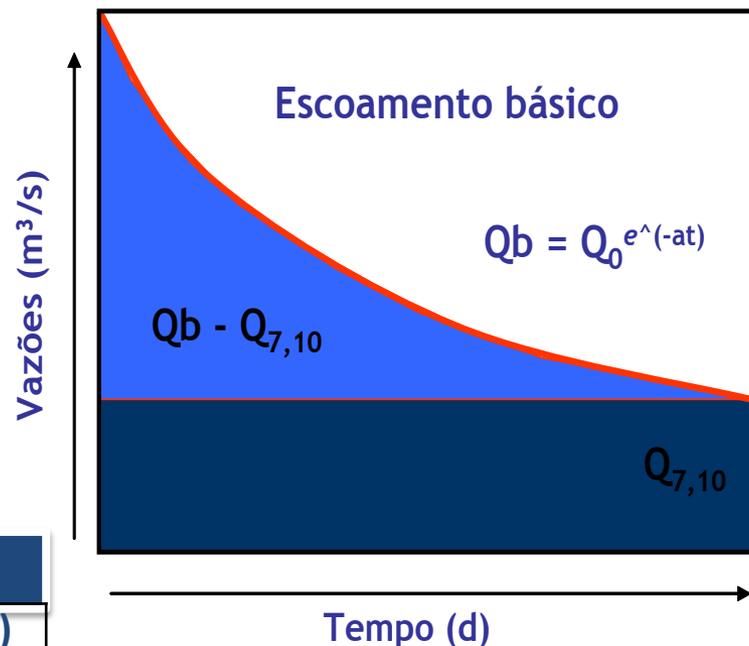
Eb = escoamento de base

Qmin = vazão mínima superficial

Disponibilidades - reserva reguladora

Rio	Área (km ²)	Eb (mm/ano)	Qmin (mm/ano)	Da (mm) (mm/ano)
Pandeiros	3.346	192,39	81,48	110,91
Carinhanha	11.338	298,78	167,40	131,38
Coxá	2.301	148,50	38,22	110,28
Corrente	23.578	210,91	135,44	75,47
Grande	28.130	167,55	102,66	64,89
Preto	13.270	201,90	123,72	78,18
Média Pond.		204,22	121,78	82,43

Disponibilidades hídricas do SAU (sub-bacia Urucuia)



9,03 Km³/ano

➤ Resultados do estudos

Reserva Permanente

Sistema Aquífero Urucuia

Proposta: Incorporação de 10% das reservas permanentes nas disponibilidades hídricas.

Corresponde à retirada de 0,2% ao ano do volume permanente armazenado no SAU, considerando-se um cenário de 50 anos de exploração contínua.

Vazão de 2,66 km³/ano.

Disponibilidades totais anuais

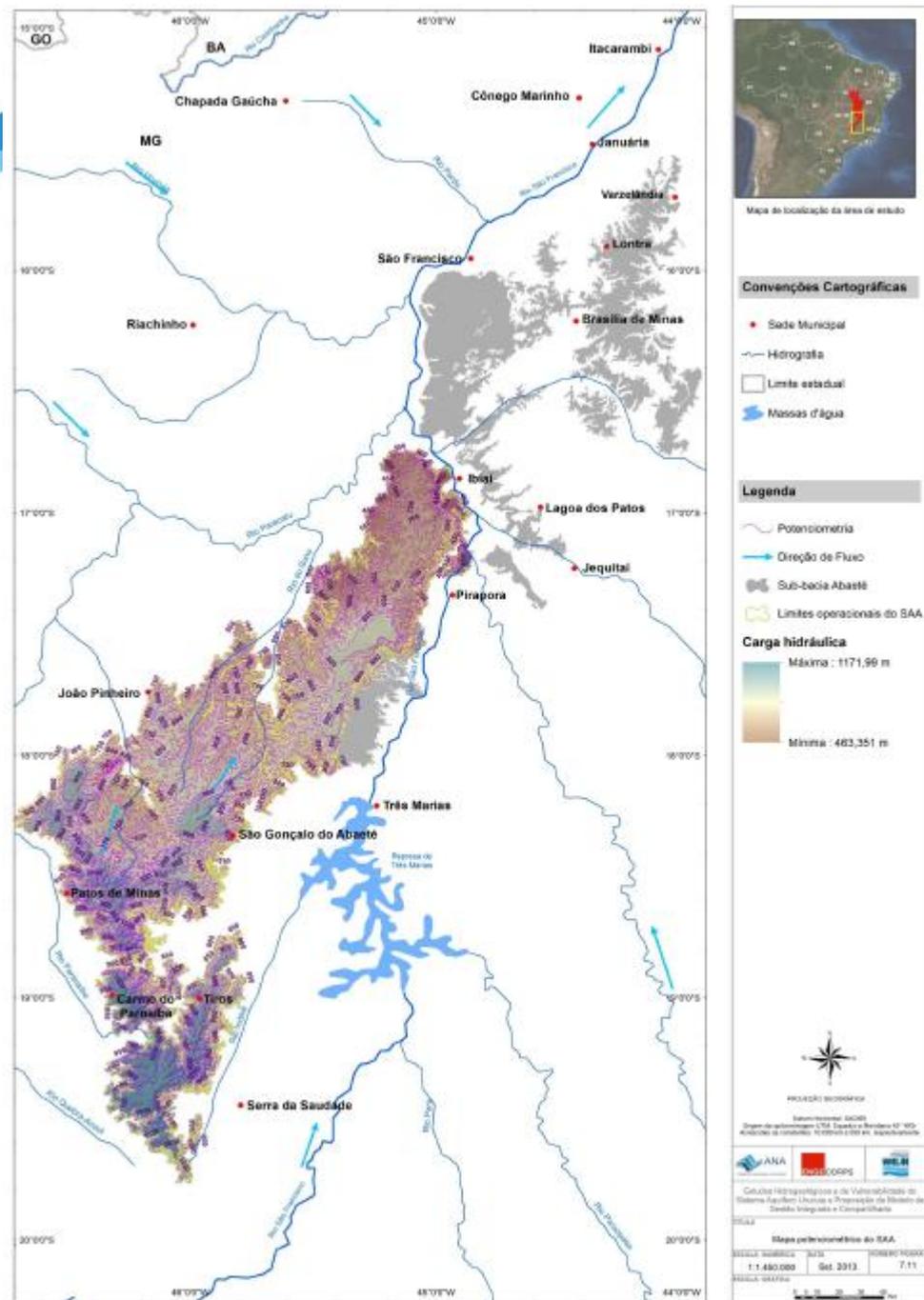
Reserva reguladora (km ³ /ano)	Reserva permanente (km ³ /ano)	Disponibilidades Totais (km ³ /ano)
9,03	2,66	11,69

Resultados do estudos

Sistema Aquífero Areado
(250 Km x 40-60 Km) 15.485 Km²

- Aquífero de natureza livre predominantemente, de extensão regional, heterogêneo.
- Heterogeneidade: relações litoestratigráficas e variações faciológicas nas sucessões sedimentares e vulcano-sedimentares (grupos Areado e Mata da Corda)

- Potenciometria
- Direções regionais e locais de fluxo
- Divisores de águas subterrâneas

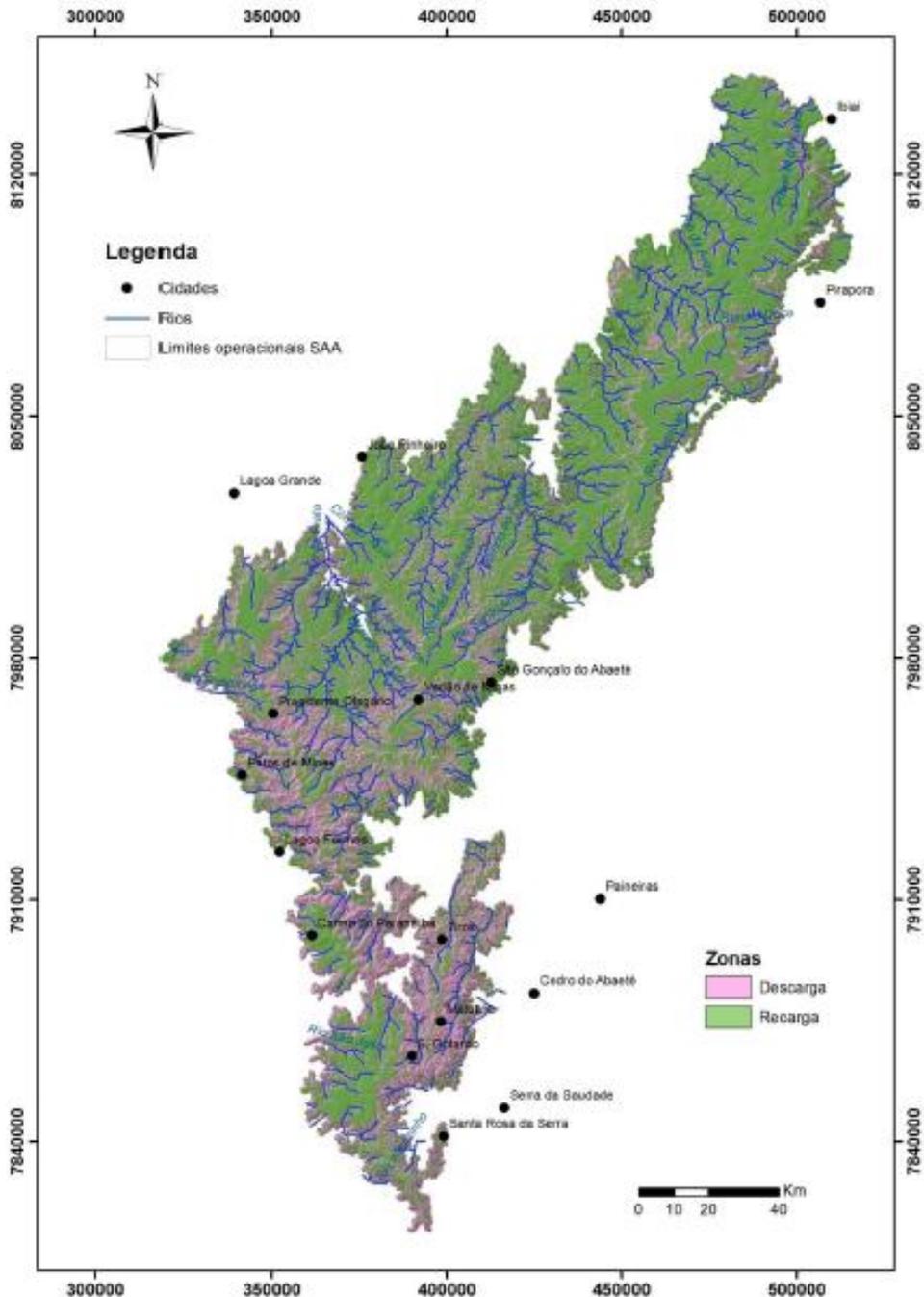


➤ Resultados do estudos

Sistema Aquífero Areado

Áreas de recarga e descarga

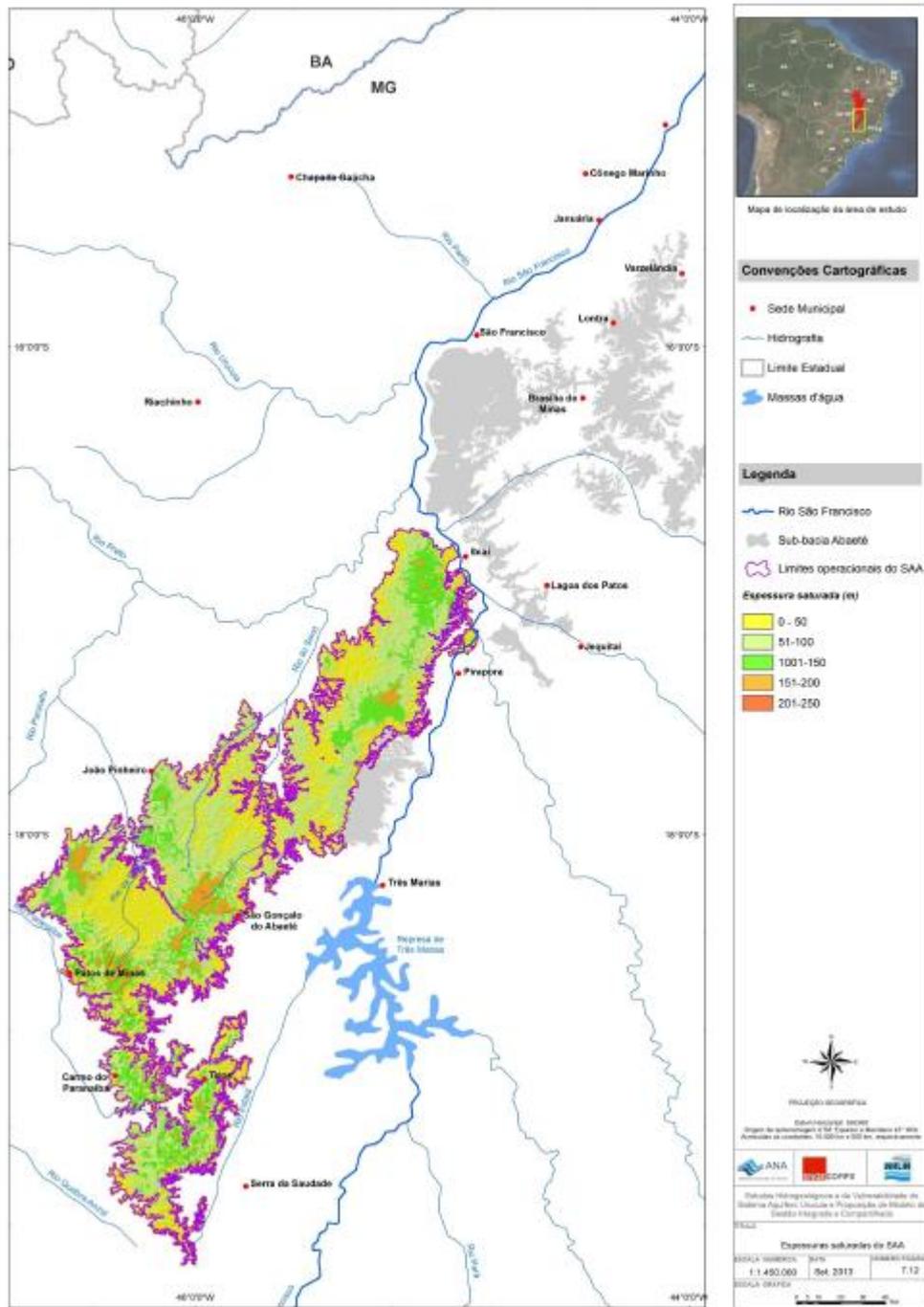
Região com relevo mais acidentado



➤ **Resultados do estudos**

Sistema Aquífero Areado

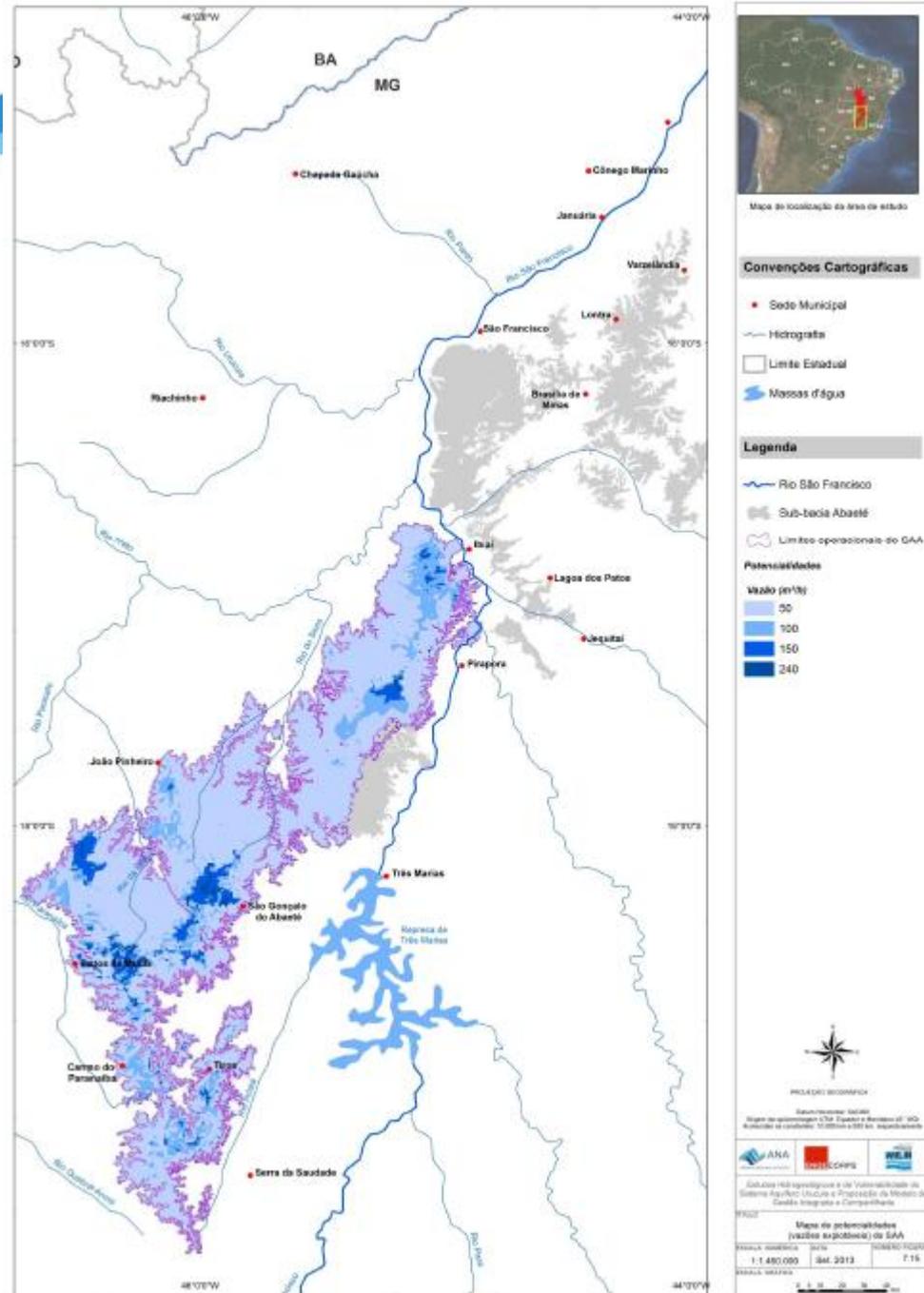
Espessura saturada: até 250 metros



➤ **Resultados do estudos**

Sistema Aquífero Areado

Potencialidades
50 a 240 m³/h



➤ Resultados do estudos

Sistema Aquífero Areado

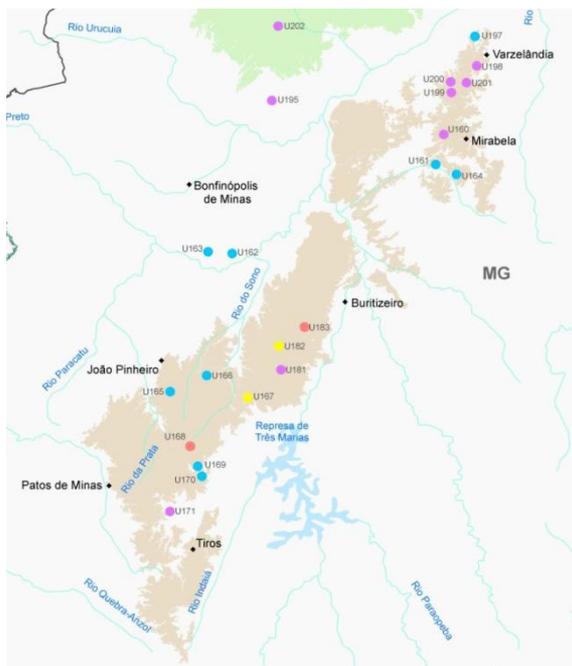
Reservas hídricas do SAA

Reservas hídricas do SAA				
Área (km ²)	Volume saturado Km ³ *	Reserva reguladora (km ³ /ano)	Reserva permanente (km ³) **	Reservas Totais (km ³)
15.485	1.040	3,4	104	107,40

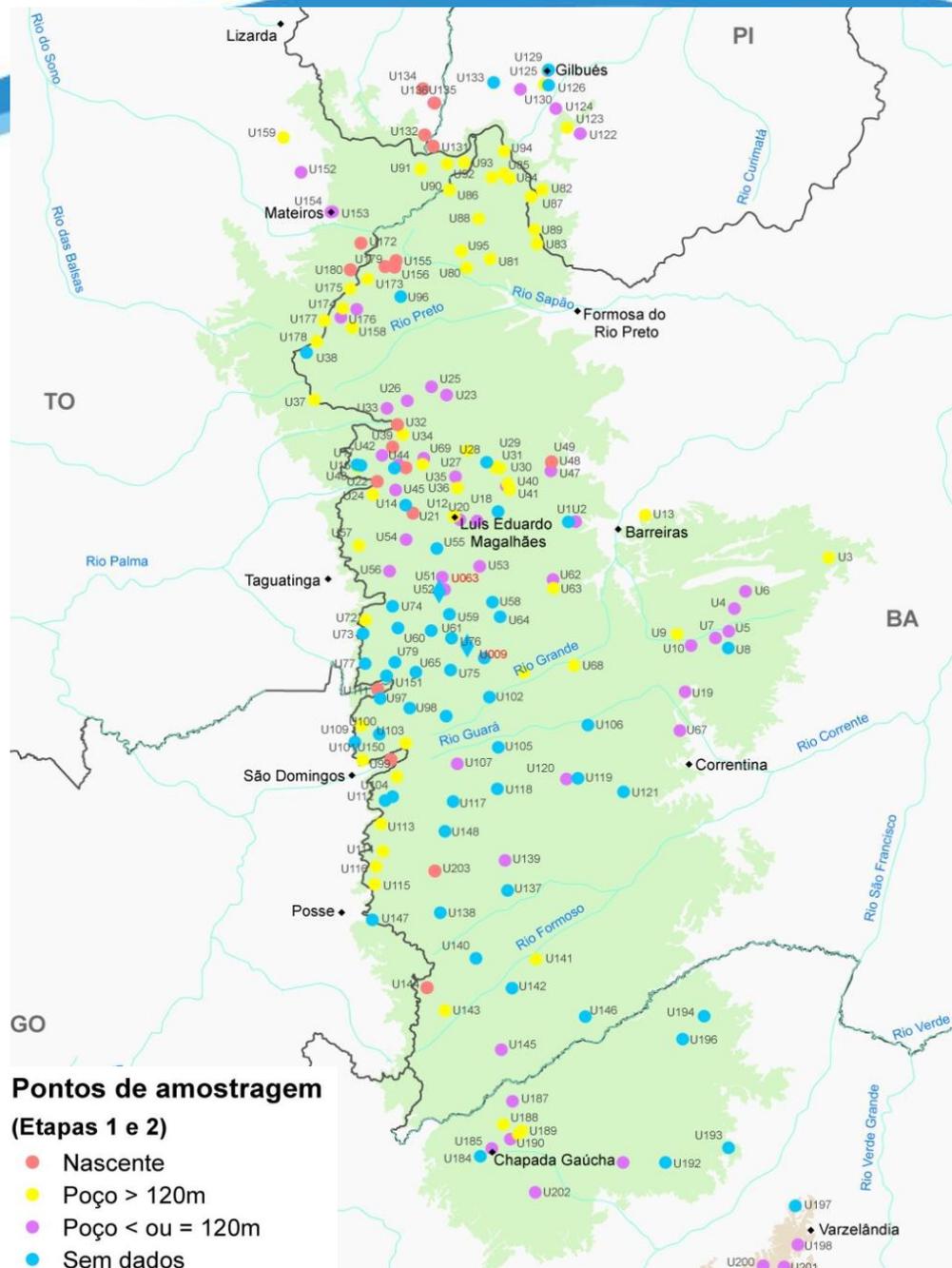
**Surface Volume do programa ArcGis®*

*** Admitindo-se porosidade efetiva de 10%*

Resultados do estudos Hidroquímica



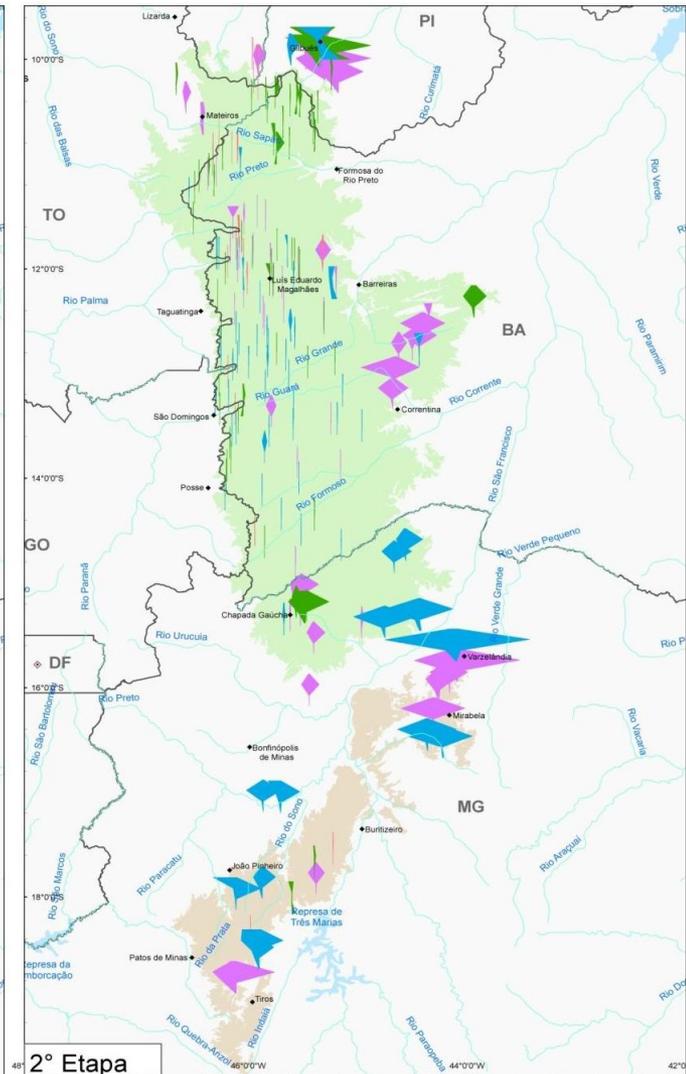
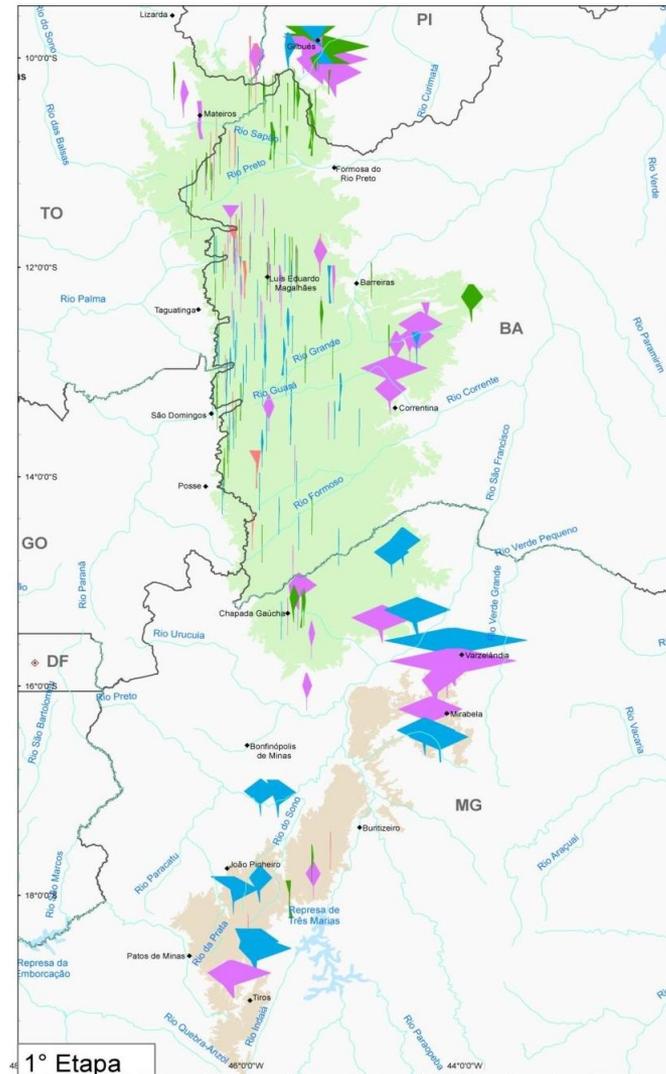
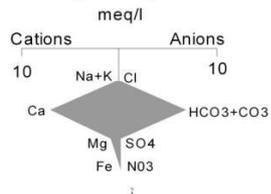
- Duas Campanhas
- 203 pontos
- Classificação Hidroquímica
- Avaliação de parâmetros específicos



➤ **Resultados do estudos**
Hidroquímica

-  Nascente
-  Poço > 120m
-  Poço <= 120m
-  Sem dados

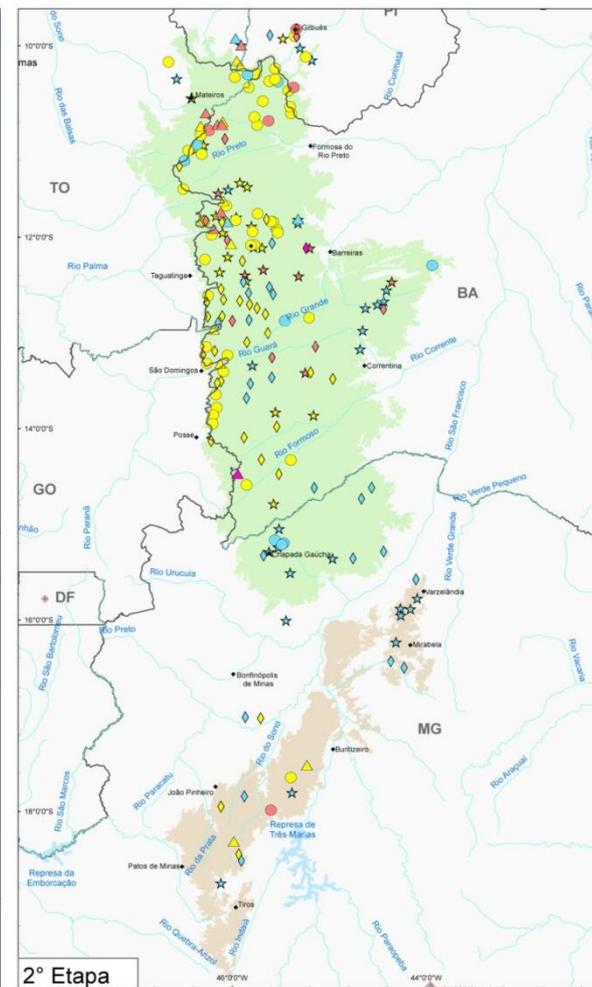
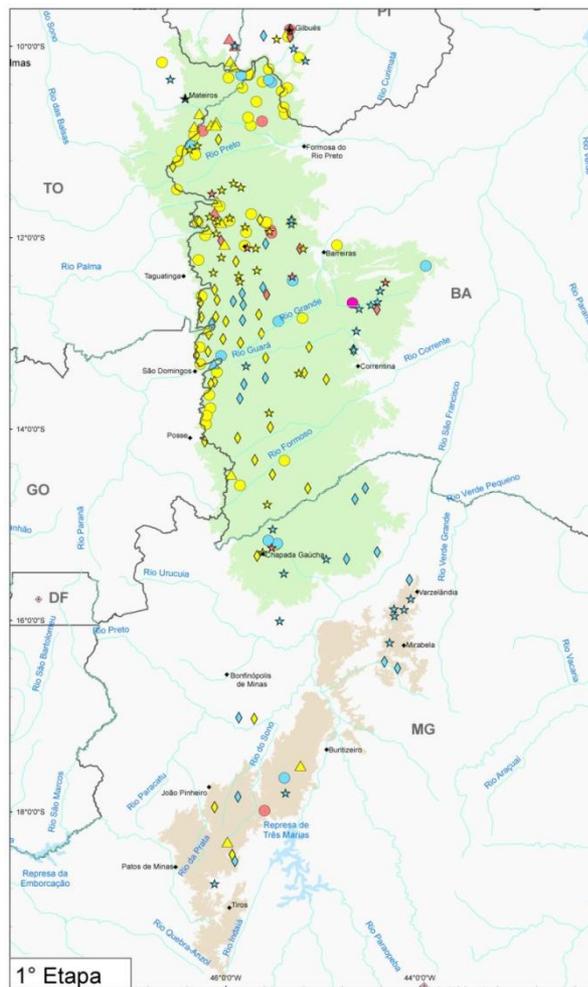
Diagrama de Stiff (escala)



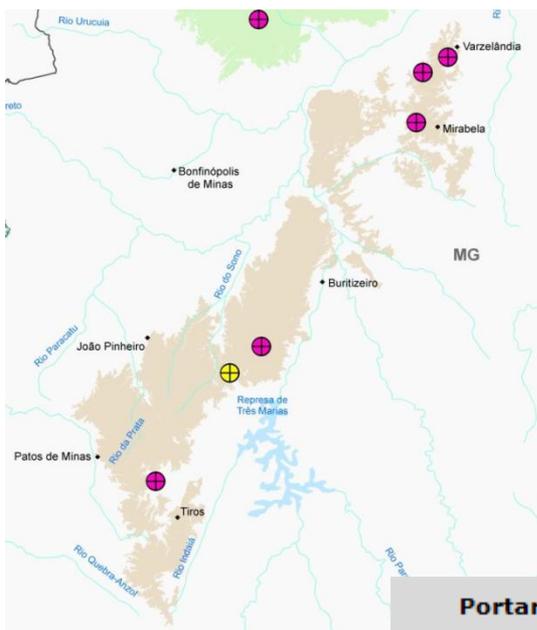
➤ Resultados do estudos
Hidroquímica

Tipo Hidroquímico

- ▲ Nascente
- Poço > 120m
- ★ Poço < ou = 120m
- ◆ Sem dados
- Bicarbonatada Cálcica
- Bicarbonatada Sódica
- Cloreto Sódica
- Sulfatada Cálcica



Resultados do estudos Hidroquímica

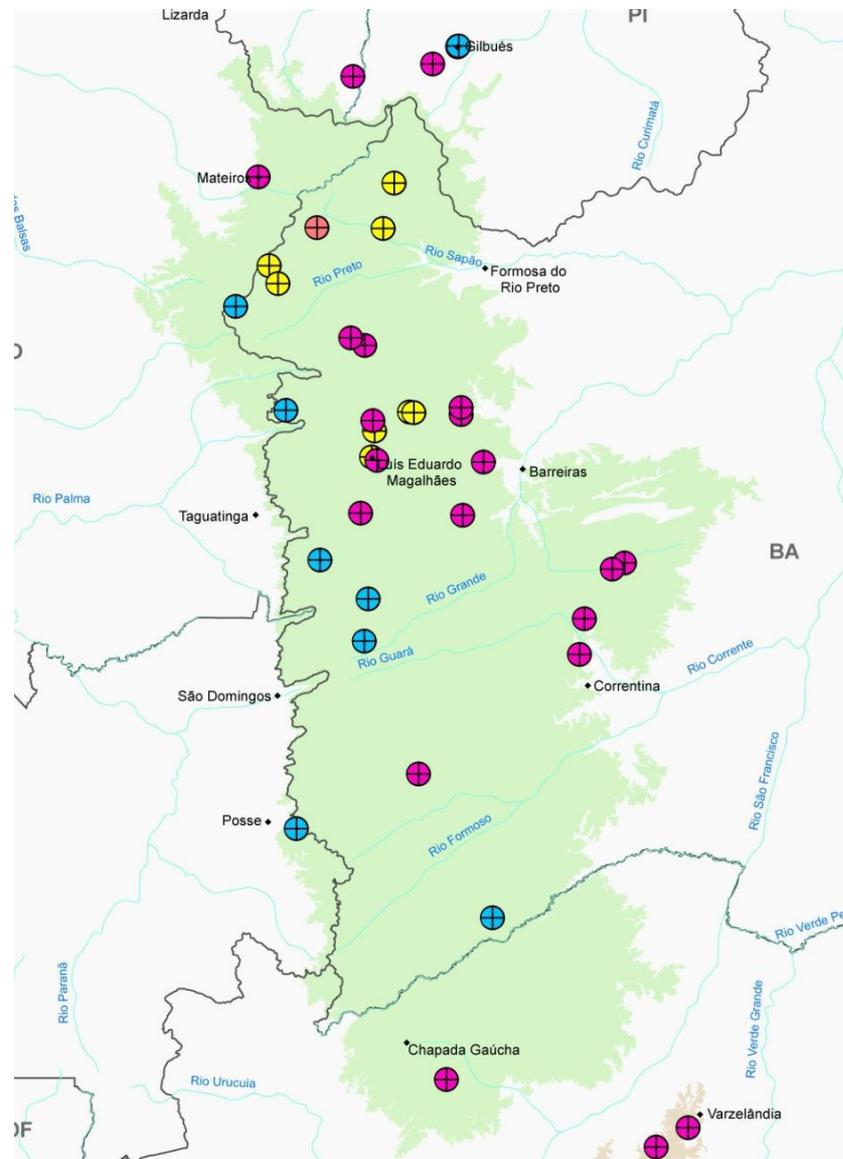


Metais Pesados

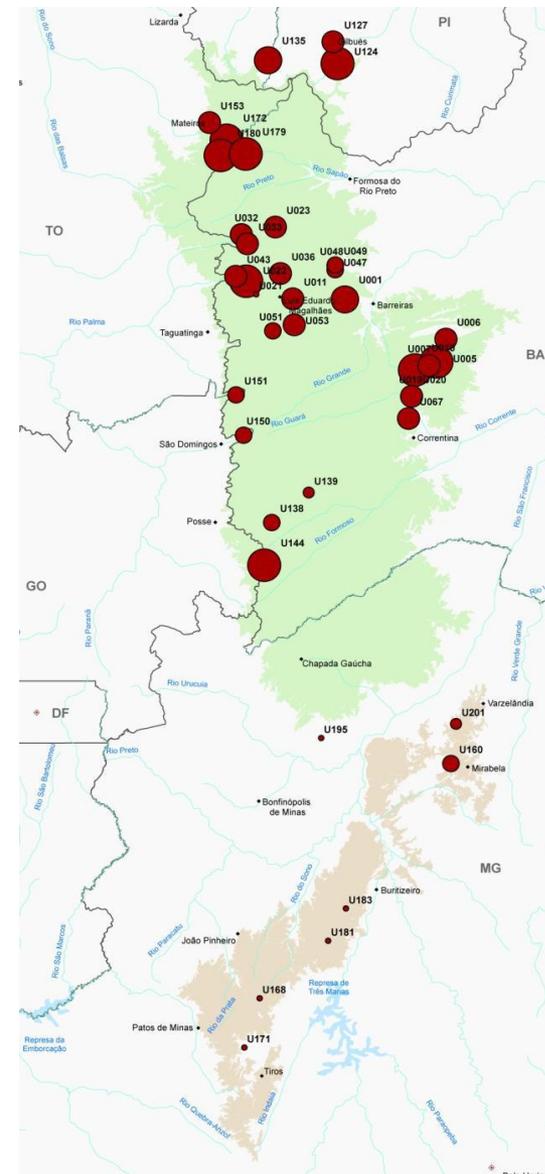
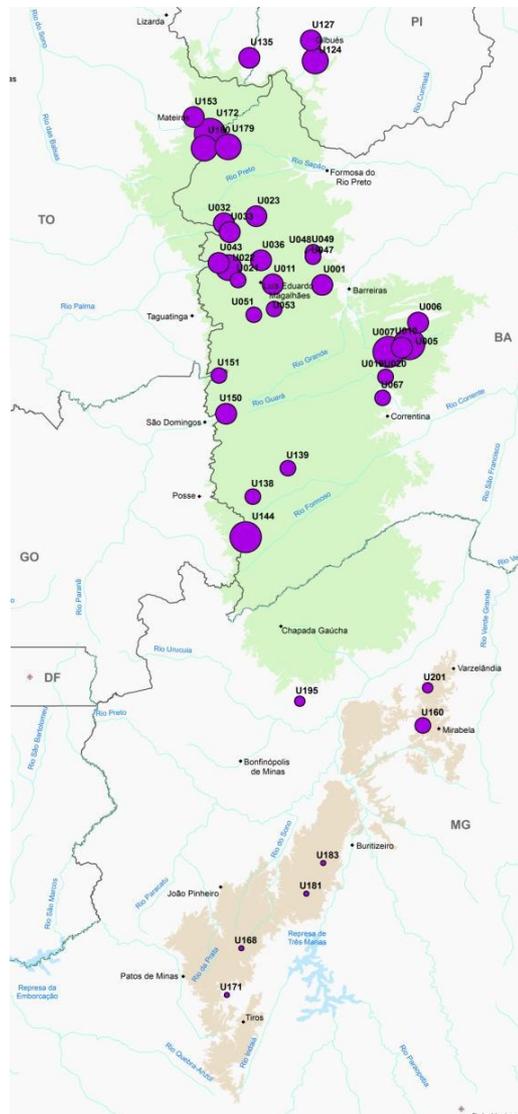
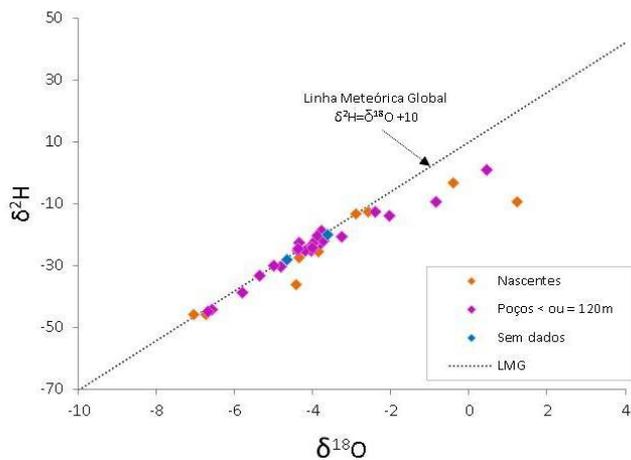
-  Nascente
-  Poço > 120m
-  Poço < ou = 120m
-  Sem dados

Portaria 2914/11	
Metais	VMP (mg/L)
Bário	0,7
Cádmio	0,005
Cromo	0,05
Cobre	2
Níquel	0,07
Chumbo	0,01
Zinco	5
Arsênio	0,01
Mercúrio	0,001

Metais Pesados

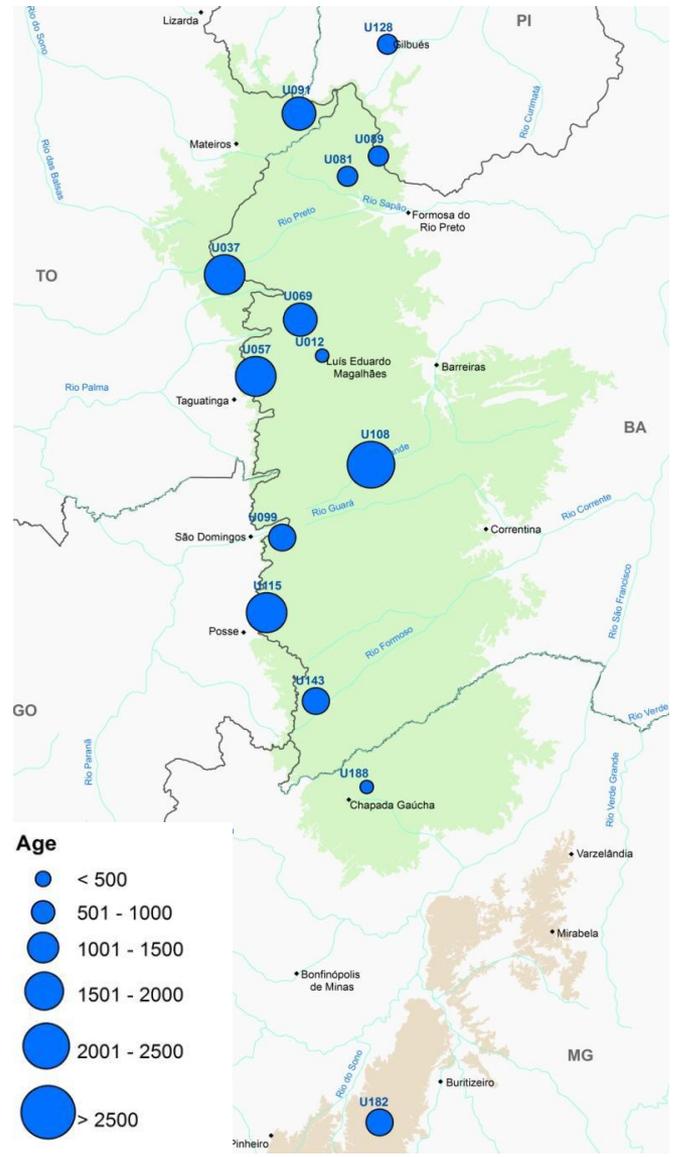


➤ **Resultados do estudos**
estudos
Hidroquímica

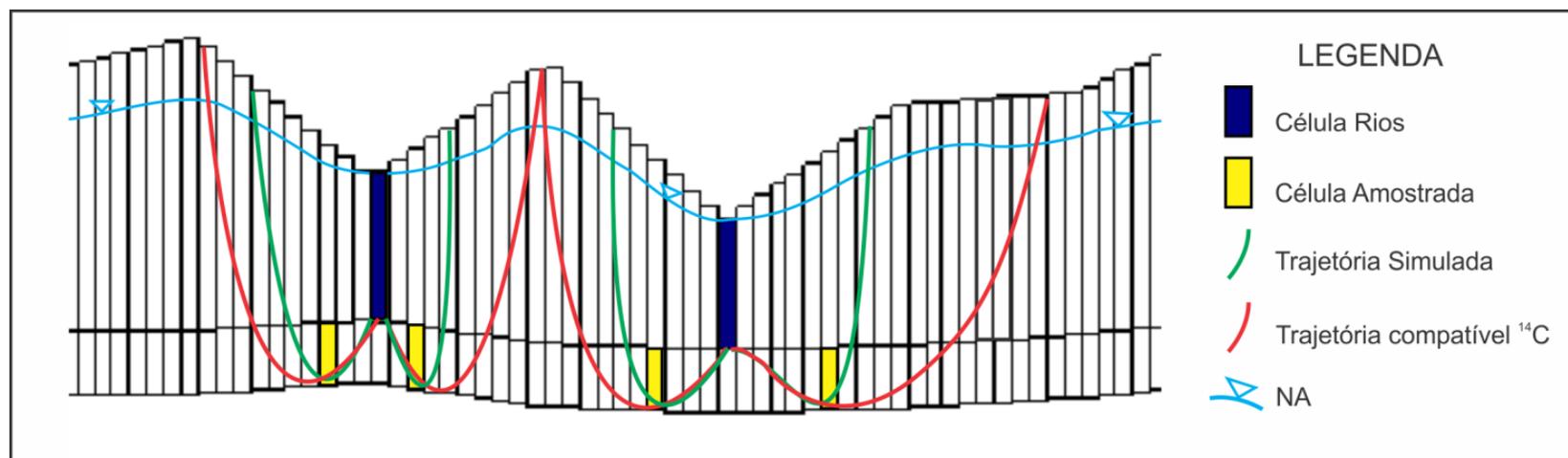


➤ Resultados dos estudos

Hidroquímica



➤ Modelo final

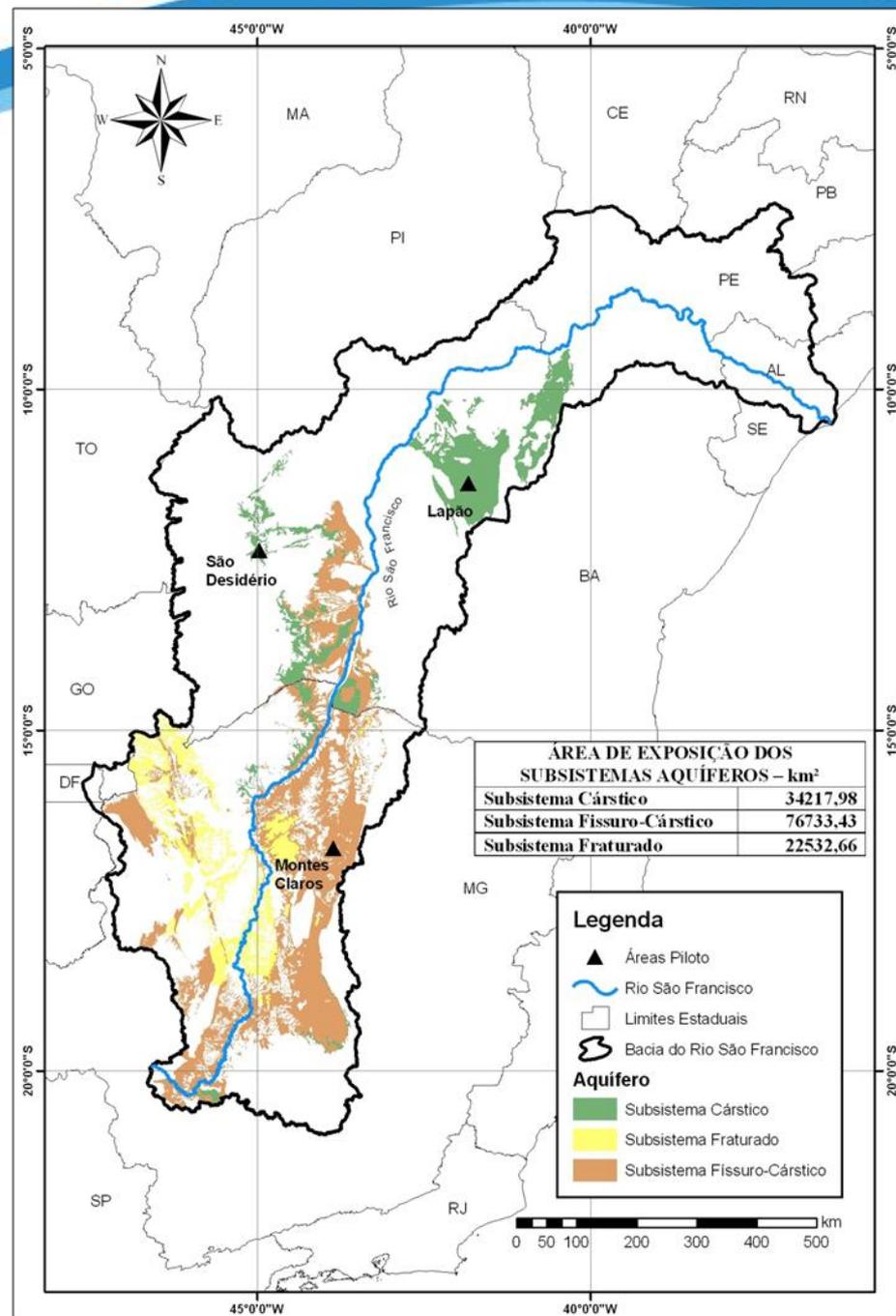


- Plano de Gestão Integrada e Compartilhada do SAU
- Plano de Gestão Integrada do SAA

Em construção

Sistema Aquífero Bambuí - SAB

Avaliação Hidrogeológica dos Sistemas Cársticos e Físsuro-Cársticos da Bacia do São Francisco, envolvendo os estados de Minas Gerais e Bahia (Escala 1:250.000 e 1:50.000);



OBJETIVO GERAL

Avaliação Hidrogeológica dos Sistemas Aquíferos Cársticos e Físsuro-cársticos na Região Hidrográfica do São Francisco, com Vistas à Gestão Integrada e Compartilhada dos Recursos Hídricos”, na Escala 1:250.000, e Estudos Pilotos em 3 Sub-bacias Hidrográficas Específicas, na Escala 1:50.000.

Integração SAU x Carste

- Contribuição subterrânea complementar para o São Francisco
- Relações de contato e interações hidrogeológicas (recarga), química (trocas iônicas, misturas, evolução)
- Piloto: São desidério

Prazos de Execução dos Serviços

- Prazo: 24 (vinte e quatro) meses
- Início: Julho/2013
- Valor contrato: R\$5.740.000,00;
- Fonte recursos: Banco Mundial - INTERÁGUAS;
- Início das atividades: AGO/2013.

Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização - CTAF

- Representantes dos estados: Minas (IGAM) e Bahia (INEMA/SEMA)
- CPRM, ICMBIO, COPASA, CERB
- UFBA, UFOB, UFMG

PRINCIPAIS ATIVIDADES A SEREM DESENVOLVIDAS NO ESTUDO

(Todas com atividade de campo)

- Cadastramento de poços, usuários de água e potenciais fontes de contaminação;
- Caracterização do meio físico
- Hidrogeologia e Hidrodinâmica;
- Hidroquímica;
- Avaliações do Uso e Ocupação do Solo;
- Avaliação da Vulnerabilidade e Riscos de Contaminação
- Contribuição do Sistema Aquífero Bambuí com as Vazões do Rio São Francisco;
- Elaboração de Modelo Hidrogeológico Conceitual do Sistema Aquífero Bambuí;

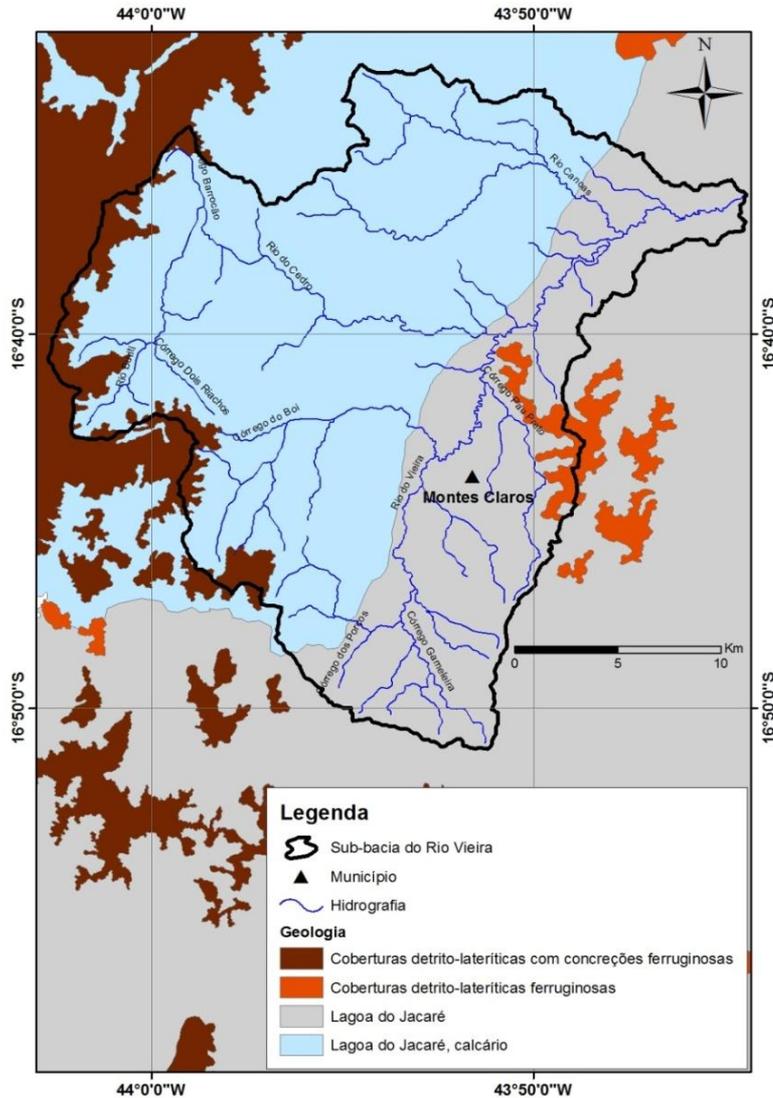
ELABORAÇÃO DE PROPOSTA DE GESTÃO PARA A REGIÃO HIDROGRÁFICA

- **Estratégias de Manejo Sustentável das Águas Subterrâneas na região hidrográfica;**
- **Áreas de Restrição e Controle do Uso da Água Subterrânea, Áreas de Proteção de Aquíferos e Perímetros de Proteção de Poços de Abastecimento;**
- **Zoneamento de vazões exploráveis;**

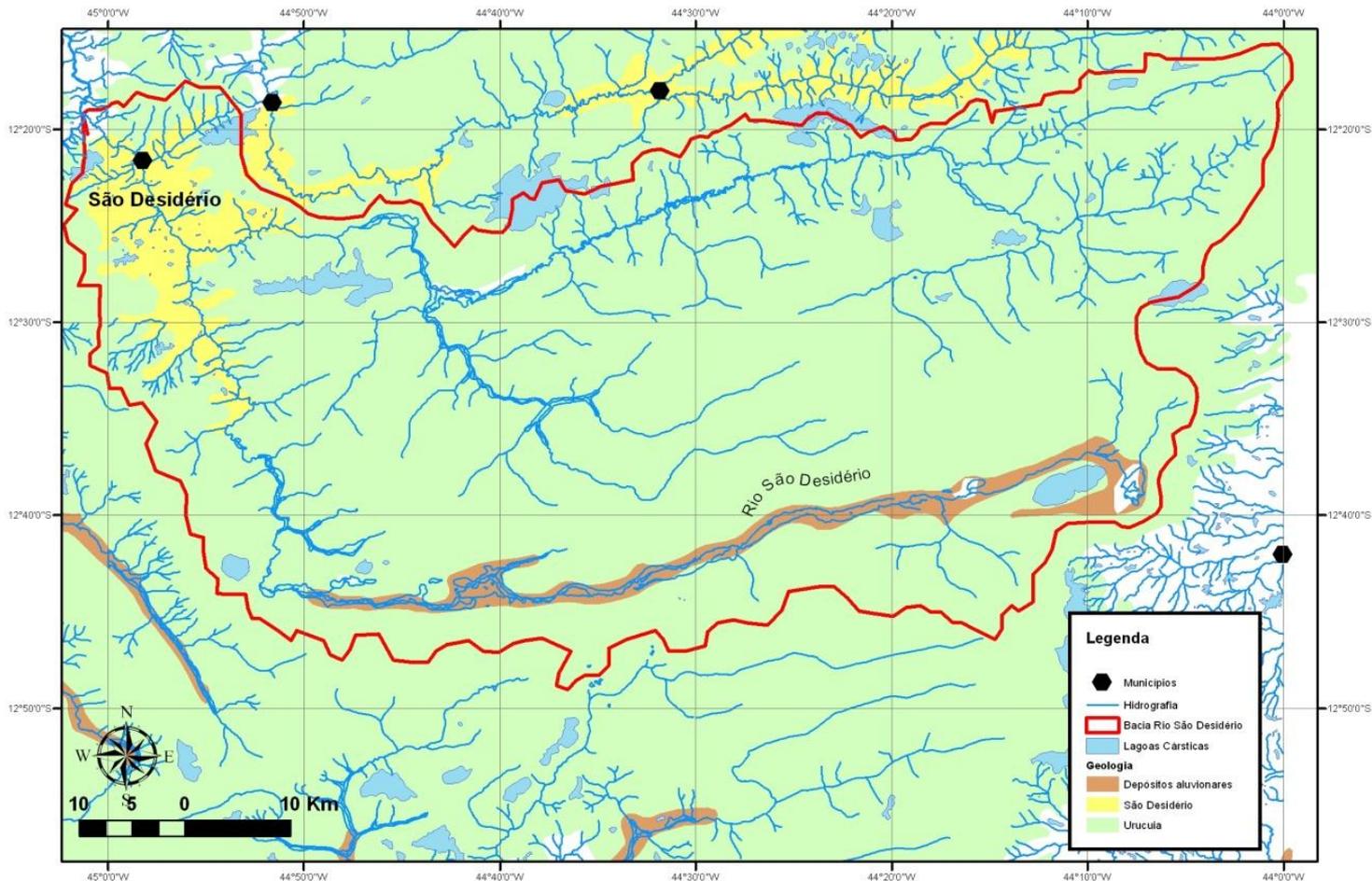
PROJETOS-PILOTO

Todas atividades previstas também deverão ser executadas nas áreas piloto, em escala 1:50.000 e 1:100.000.

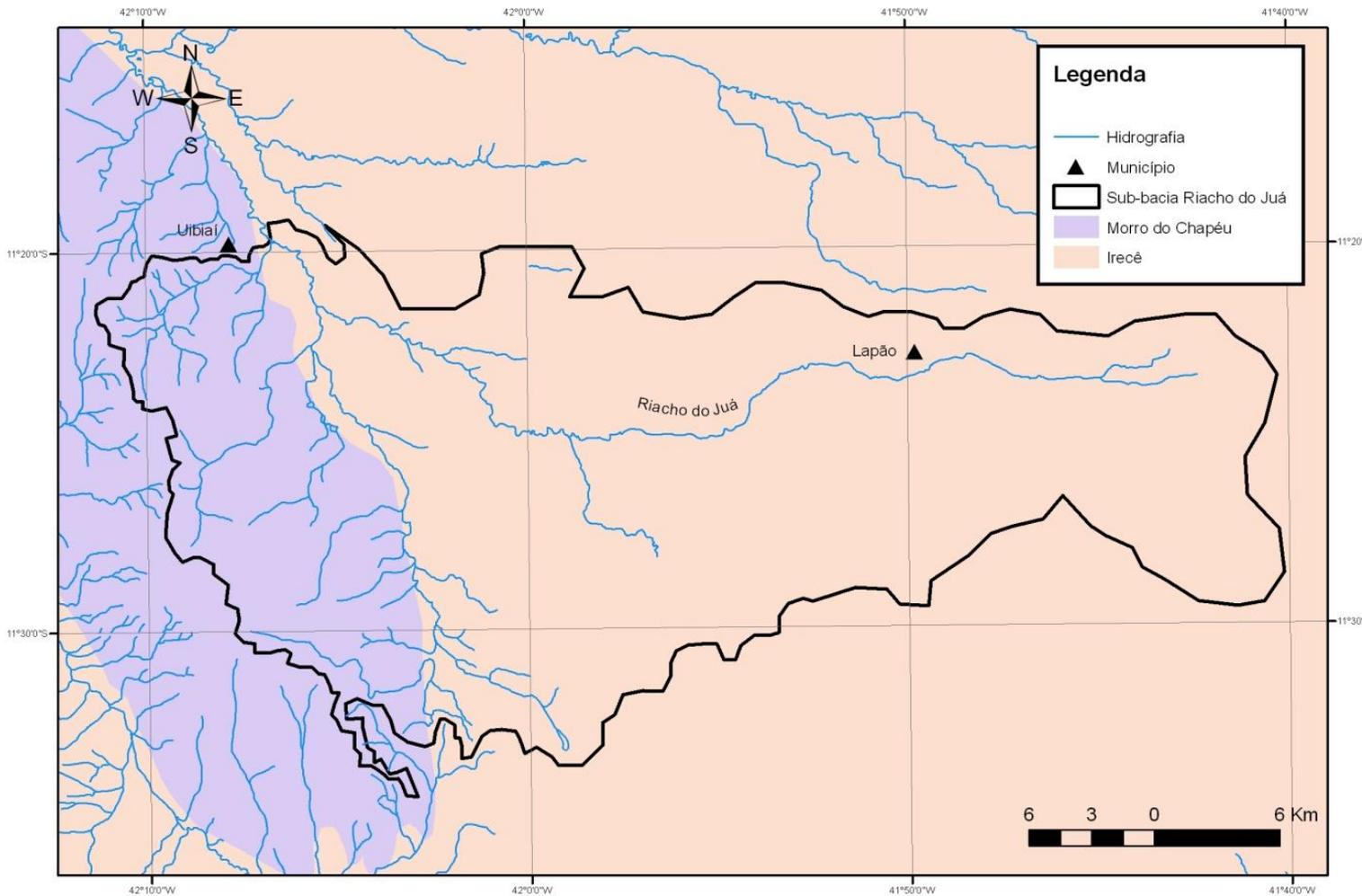
- Bacia Hidrográfica do Rio do Vieira-MG;**
- Bacia Hidrográfica do Riacho do Juá-BA;**
- Bacia Hidrográfica do Rio São Desidério-BA.**



Bacia Hidrográfica Rio Vieira (Município de Montes Claros-MG)



**Bacia Hidrográfica Rio São Desidério
(Município de São Desidério-BA)**



**Bacia Hidrográfica Riacho do Juá
(Município de Irecê-BA)**

Obrigada!

Márcia Tereza Pantoja Gaspar
Especialista em Recursos Hídricos

marcia.gaspar@ana.gov.br | (+55) (61) 2109 - 5300

www.ana.gov.br



www.twitter.com/anagovbr

The Facebook logo, consisting of the word "facebook" in white lowercase letters on a dark blue rectangular background.

www.facebook.com/anagovbr

The YouTube logo, with the word "You" in black and "Tube" in white on a red rounded rectangle.

www.youtube.com/anagovbr