

PIRH Bacia do rio Doce: Diagnóstico Hidrogeológico e avaliação da disponibilidade Hídrica Subterrânea

Coordenação de Águas Subterrâneas - COSUB

Superintendência de Implementação de Programas e
Projetos – SIP

Letícia Lemos de Moraes



Atualização do PIRH Doce - 2019

Diagnóstico de águas subterrâneas e da integração rio/aquífero

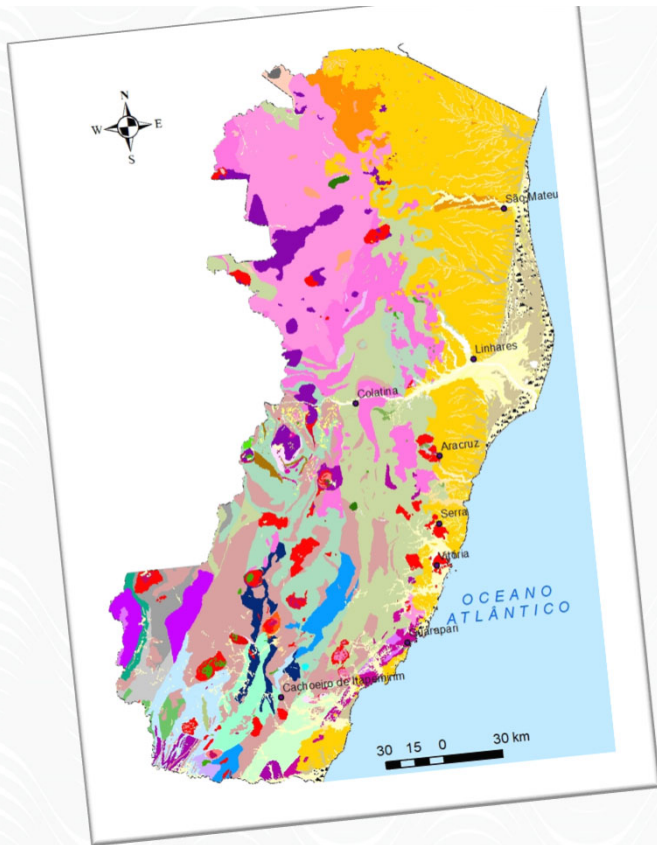
Atividades

- *Caracterização hidrogeológica*
- *Avaliação dos poços cadastrados e regularizados*
- *Qualidade das águas subterrâneas*
- ***Disponibilidade hídrica integrada***
 - ✓ ***Reservas hídricas***
 - ✓ ***Recarga***
 - ✓ ***Avaliação integrada (relação rio x aquífero)***
- *Gestão de recursos hídricos*
 - ✓ *Estágio atual de implementação dos instrumentos (águas subterrâneas) nos estados*
 - ✓ *Perspectivas de implementação de instrumentos com abordagem integrada rio/aquífero*

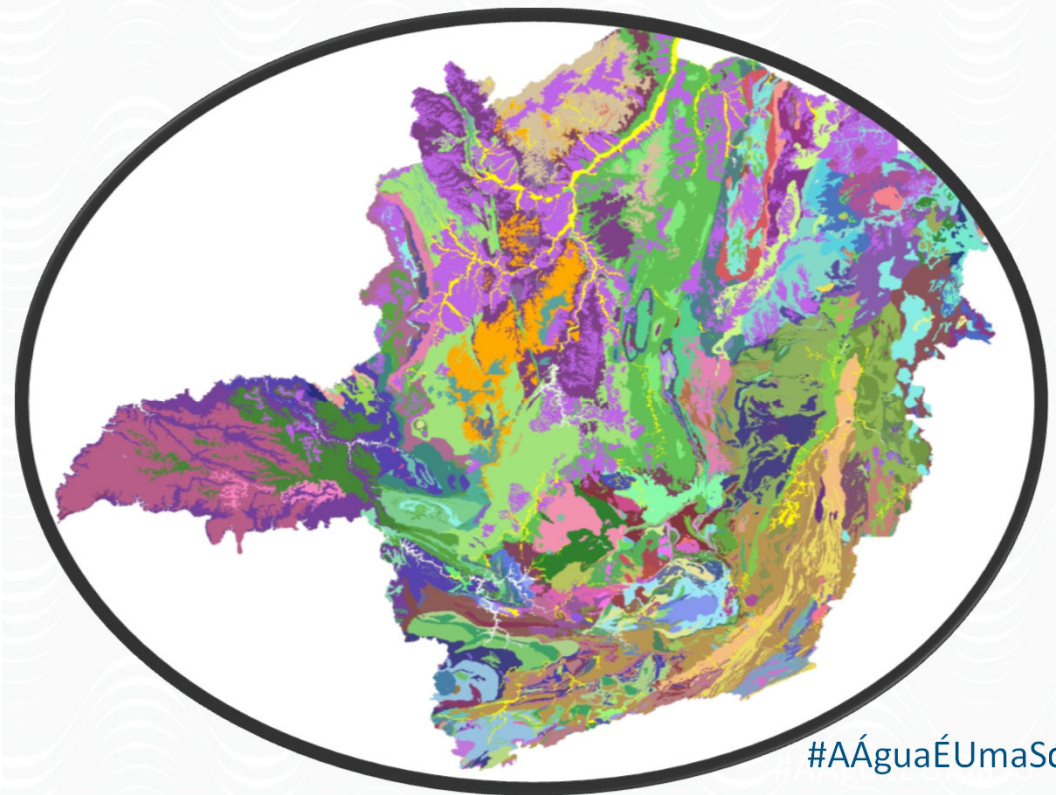
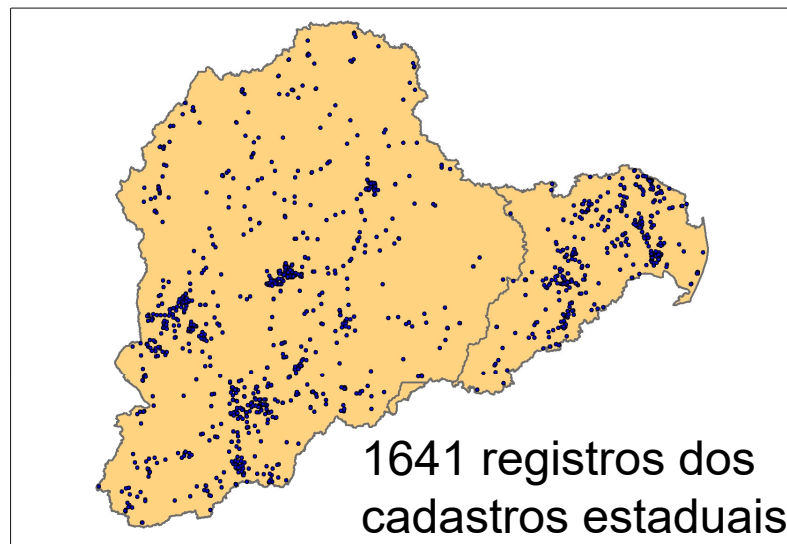
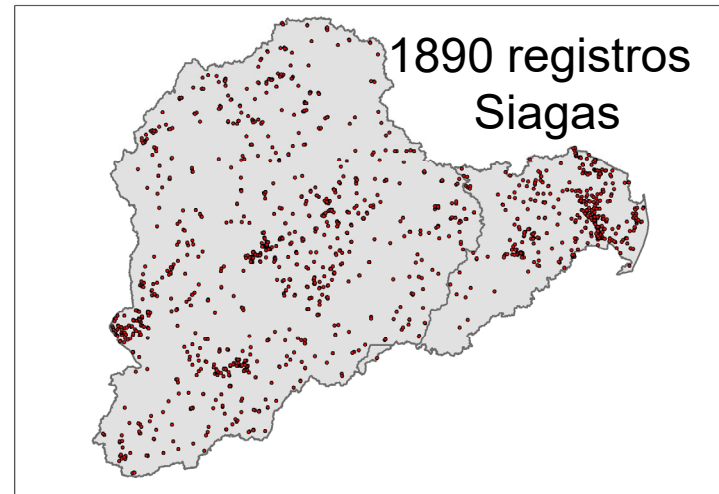
Aquíferos na bacia do rio Doce

Bases para elaboração do mapa:

- ❑ Mapa de Aquíferos Aflorantes do Brasil (ANA, 2013)
- ❑ Plano Estadual de Recursos Hídricos do Espírito Santo (AGERH, 2018)
- ❑ Disponibilidades Hídricas Subterrâneas no Estado de Minas Gerais (Souza, 1995)
- ❑ Mapa Geológico Estadual do Estado do Espírito Santo (CPRM 2015, 1:400.000)
- ❑ Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais (CPRM/CODEMIG 2014, 1:1.000.000)
- ❑ Cadastro de poços Siagas e Estados



Bases para
elaboração
do mapa



#ÁguaÉUmaSó

Classificação Geologia x Aquífero

Unidades Geológicas	Nome do Sistema Aquífero			
	Mapa de Aquíferos Aflorantes do Brasil	Espírito Santo	Minas Gerais	Diagnóstico da Bacia do Rio Doce
Depósitos Aluvionares, Depósitos Flúvio-Lagunares, Depósitos Aluviais Coluvionares, Depósitos de Barreiras Holocênicas*	---	---	Aluvial	Aluvial
Depósitos Litorâneos, Depósitos Litorâneos Indiferenciados Antigos, Alinhamento de Antigos Cordões Litorâneos, Depósitos de Cordões Litorâneos Antigos*	Litorâneo Nordeste-Sudeste	Litorâneo Nordeste-Sudeste	---	Litorâneo
Grupo Barreiras	Barreiras	Barreiras	---	Barreiras
Formação Fonseca	Fonseca	---	Arenítico**	Fonseca
Formação Barroso	Barroso	---	Carbonático**	Barroso
Formação Cercadinho	Cercadinho	---	Quartzítico**	Cercadinho
Formação Gandarela	Gandarela	---	Carbonático**	Gandarela
Formação Cauê	Cauê	---	Xistoso**	Cauê
Unidades predominantemente constituídas de rochas quartzíticas, metaconglomerados e formações ferríferas bandadas (BIF's)	Fraturado Centro-Sul	Fraturado Centro-Sul	Quartzítico	Quartzítico
Unidades predominantemente constituídas de rochas metamórficas xistosas e filíticas de médio a baixo grau (xistos, filitos, ardósias, folhelhos, arcóseos...)	Fraturado Centro-Sul	Fraturado Centro-Sul	Xistoso	Xistoso
Unidades predominantemente constituídas de rochas ígneas e metamórficas de alto grau (granitos, gnaisses, migmatitos, granodioritos, anfibolitos, pegmatitos...)	Fraturado Centro-Sul	Fraturado Centro-Sul	Gnáissico-Granítico	Gnáissico-Granítico

44°0'0"W

43°0'0"W

42°0'0"W

41°0'0"W

40°0'0"W

39°0'0"W



SISTEMAS AQUÍFEROS AFLORANTES DA BACIA DO RIO DOCE

BA



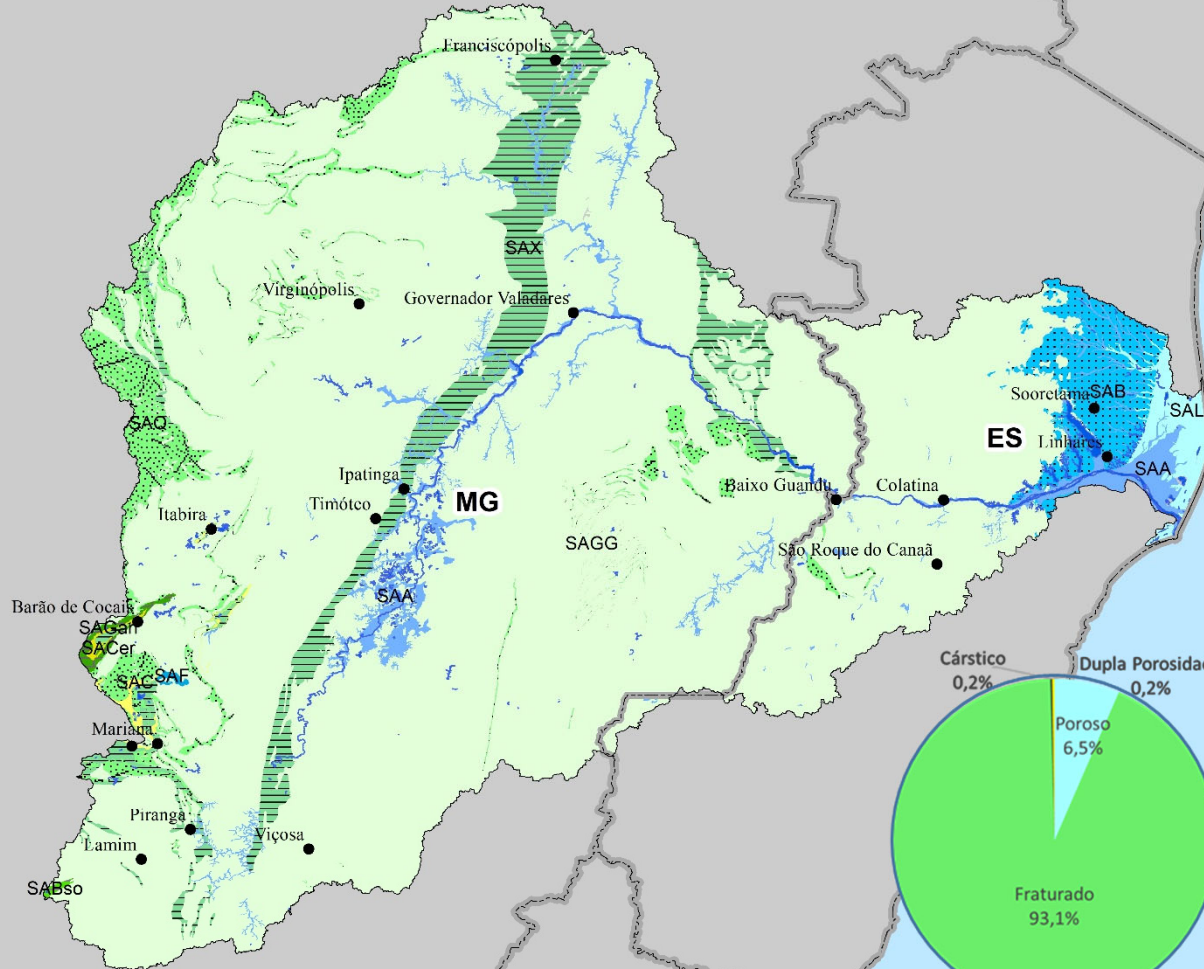
OCEANO ATLÂNTICO

18°0'0"S

19°0'0"S

20°0'0"S

21°0'0"S

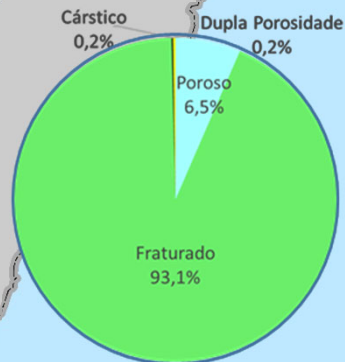


Legenda

- Sedes municipais
- Massas d'água
- Limite da Bacia do Rio Doce
- Limites estaduais

Aquíferos aflorantes

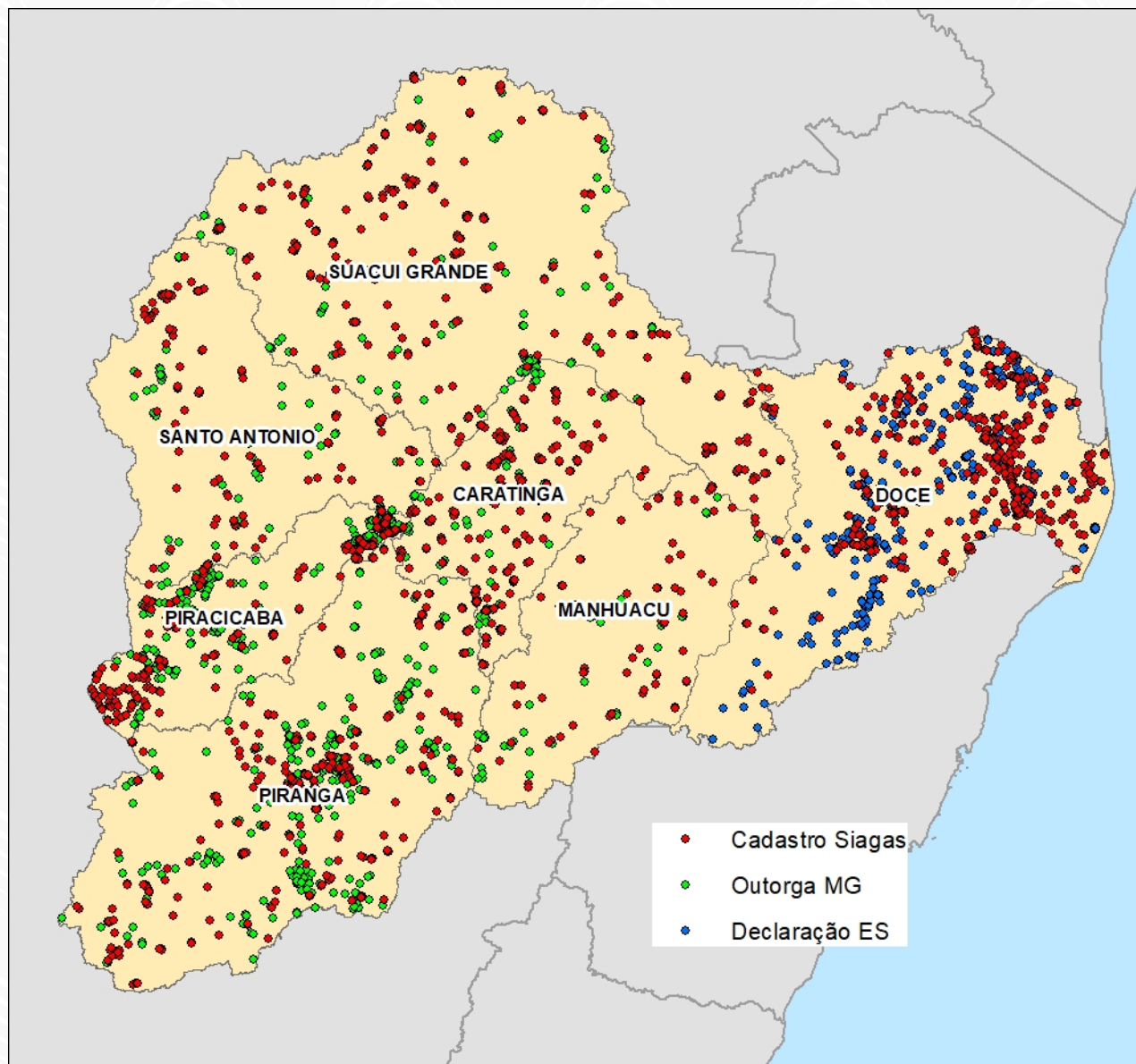
- SAA Aquífero Aluvial
- SAB Aquífero Barreiras
- SABso Aquífero Barroso
- SAC Aquífero Cauê
- SACer Aquífero Cercadinho
- SAF Aquífero Fonseca
- SAGan Aquífero Gandarela
- SAL Aquífero Litorâneo
- SAX Sistema Aquífero Xistoso
- SAGG Sistema Aquífero Gnáissico-Granítico
- SAGQ Sistema Aquífero Quartzítico



40 20 0 40 km

RJ

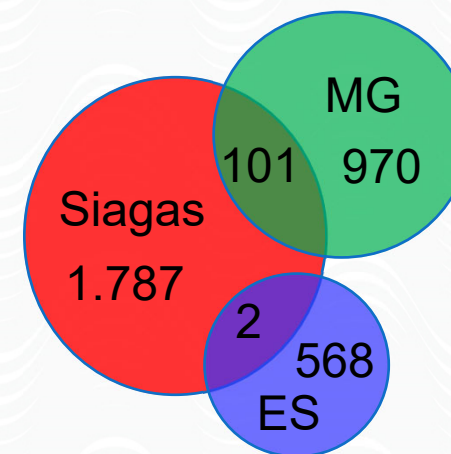
SISTEMAS AQUÍFEROS NA BACIA DO RIO DOCE					
Sistema Aquífero	Área Aflorante (km²)	% Área da Bacia	Classificação Regional	Produtividade	
<i>Porosos</i>					
Aluvial	2.587,33	3,00	Aquífero	Alta	} 6,5%
Litorâneo	904,37	1,05	Aquífero	Variável / Alta*	
Barreiras	2.066,10	2,40	Aquífero	Variável / Alta**	
Fonseca***	34,69	0,04	Aquífero	?	
<i>Cársticos</i>					
Gandarela	141,69	0,16	Aquífero	Variável	} 0,2%
Barroso****	30,48	0,04	Aquífero	Variável	
<i>Faturados</i>					
Quartzítico	3.742,17	4,34	Aquífero	Baixa	} 93,1%
Xistoso	5.233,49	6,07	Aquífero / Aquitarde / Aquiclude	Baixa a Muito Baixa	
Gnáissico-Granítico	70.807,14	82,16	Aquífero	Baixa	
<i>Com Dupla Porosidade</i>					
Cercadinho	44,80	0,05	Aquífero	Variável	} 0,2%
Cauê	134,99	0,16	Aquífero	Variável	



Cadastro Consolidado

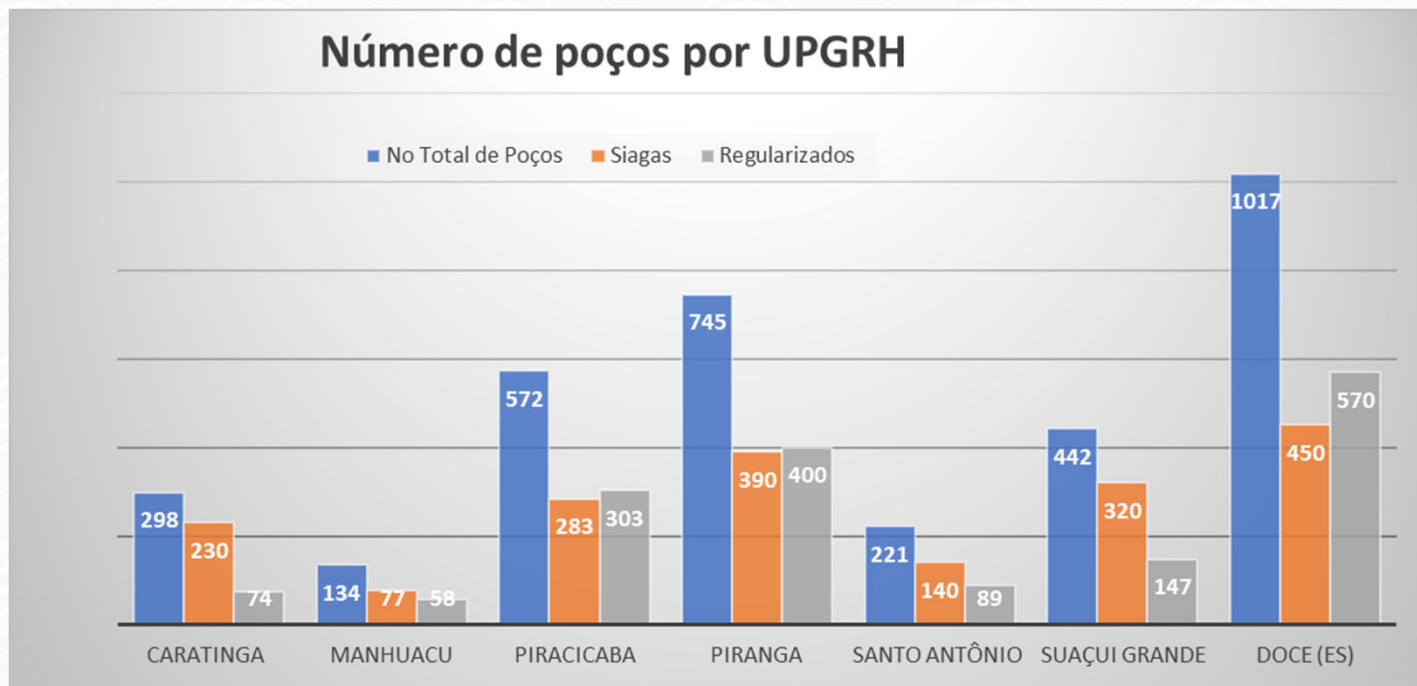
3.429 poços e nascentes

1.890 SIAGAS (2018) } 103 em comum
1.641 regularizados }
(1.071 outorgas IGAM/MG e 571 declarações AGERH/ES)



Cadastro de poços

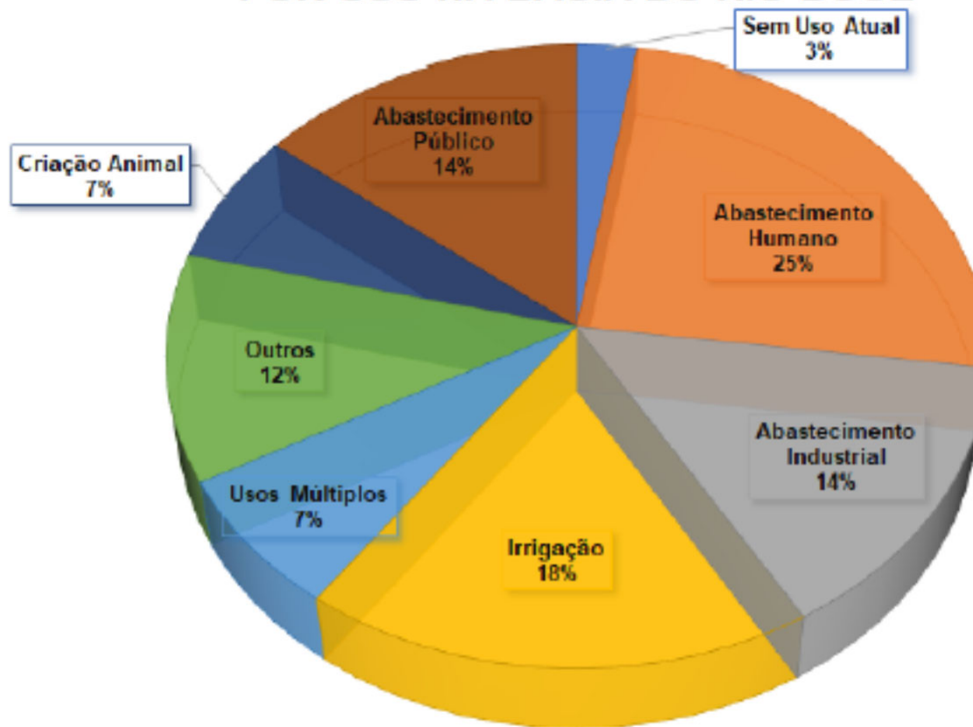
Poços Regularizados

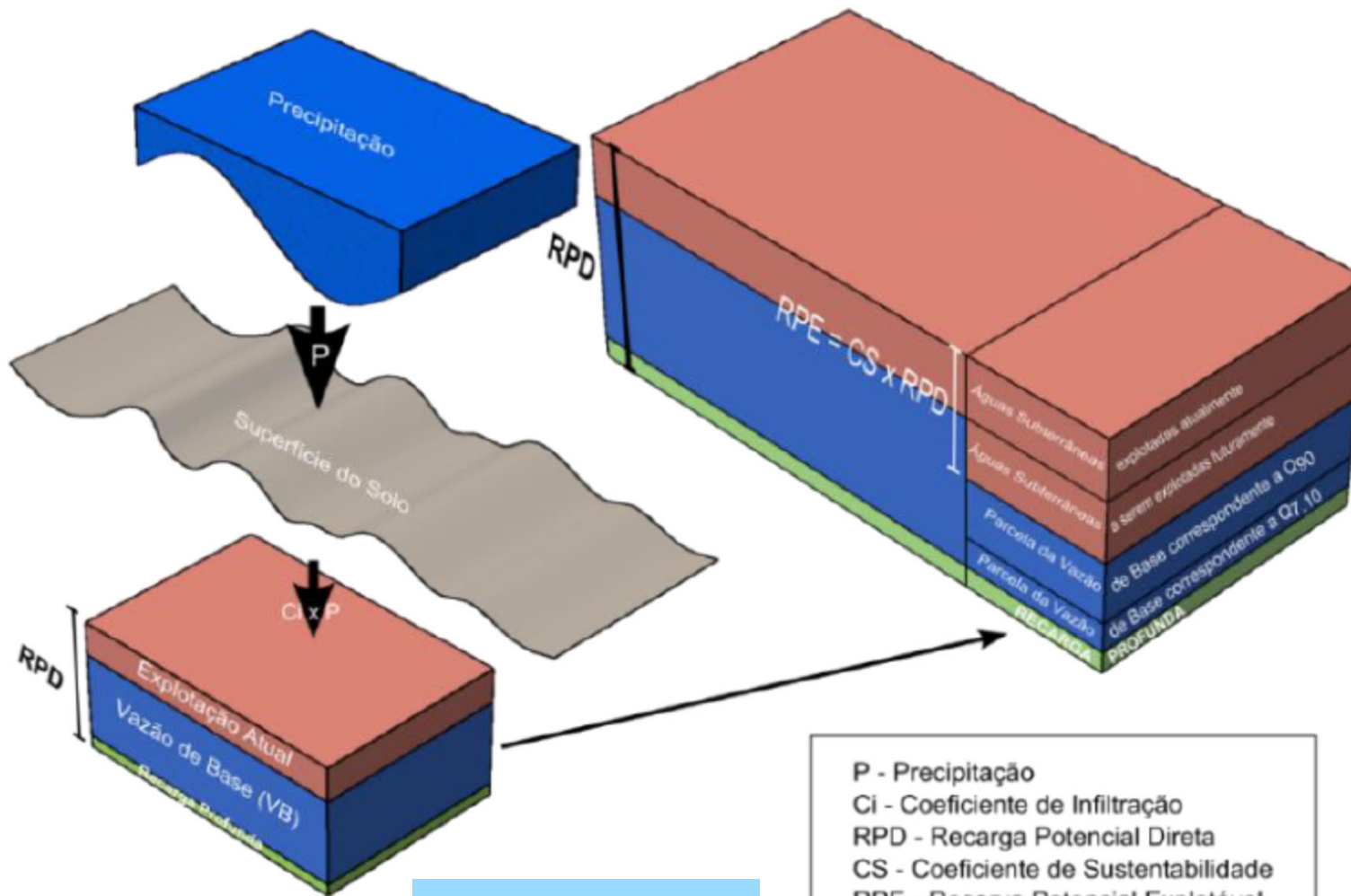


Cadastro de poços

Poços Regularizados

**POÇOS REGULARIZADOS PELOS ESTADOS
POR USO NA BACIA DO RIO DOCE**





$$RPD = A \times C_i \times P$$

$$RPE = CS \times RPD$$

- P - Precipitação
- C_i - Coeficiente de Infiltração
- RPD - Recarga Potencial Direta
- CS - Coeficiente de Sustentabilidade
- RPE - Reserva Potencial Explotável

Avaliação da Disponibilidade Hídrica

Estimativa dos C_i e C_s a partir dos dados de saída

14



- 1 Curvas de Recessão em hidrogramas para estimativa do C_i
- 2 Relação Q_{90}/Q_{50} para estimativa do C_s
- 3 Vazão mínima Q_7 para conferência dos resultados

Análise dos dados de saídas (Restituição, Q90/Q50, Q7)

Estações avaliadas

Critérios para pré-seleção (66 estações):

- Período de 10 anos de dados (exceção para 4 estações)
- Falhas no registro de dados
- Sobreposição entre estações
- Regularização (reservatórios) em relação ao histórico de dados



Estimativa dos Ci

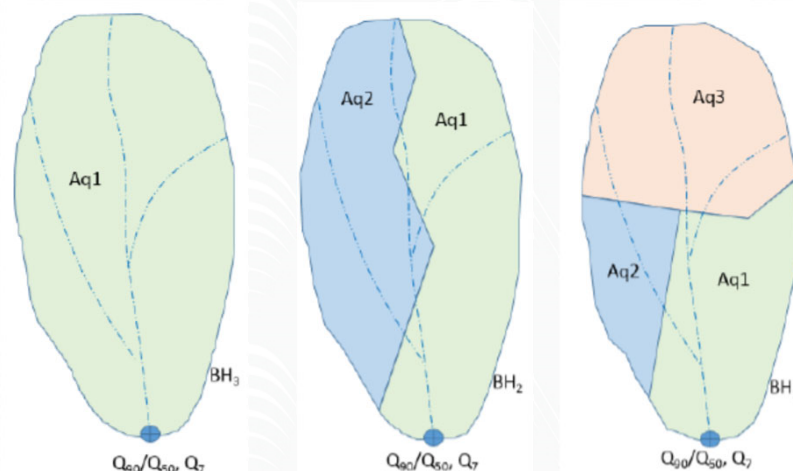
Estações validadas para estimar o Ci

Estação pluviométrica	Anos	Área de contribuição (km ²)	
56005000	16	87	100% SAGG
56010000	25	558	94% SAGG
56012000	19	161	97,9% SAGG
56050000	26	222	100% SAGG
56065000	72	297	94,3% SAGG
56085000	72	342	100% SAGG
56090000	72	328	99,6% SAGG
56130000	9	256	100% SAGG
56340000	14	269	96,6% SAGG
56385000	48	523	100% SAGG
56460000	48	616	99,4% SAGG
56470000	13	238	96,9% SAGG
56632000*	18	35	88,8% SAQ
56500000	74	273	100% SAGG
56940000	33	3.220	97,9% SAGG
56990990	35	435	99,6% SAGG
56845000	61	1.050	92,6% SAGG
56846000	32	1.970	95,8% SAGG
56851000	75	758	94,8% SAGG
56800000	68	1.520	93,6% SAGG
56998400	47	1.070	100% SAGG

Gnáissico-Granítico (20 estações);
Quartzítico (1 estação)

Critérios adicionais de seleção:

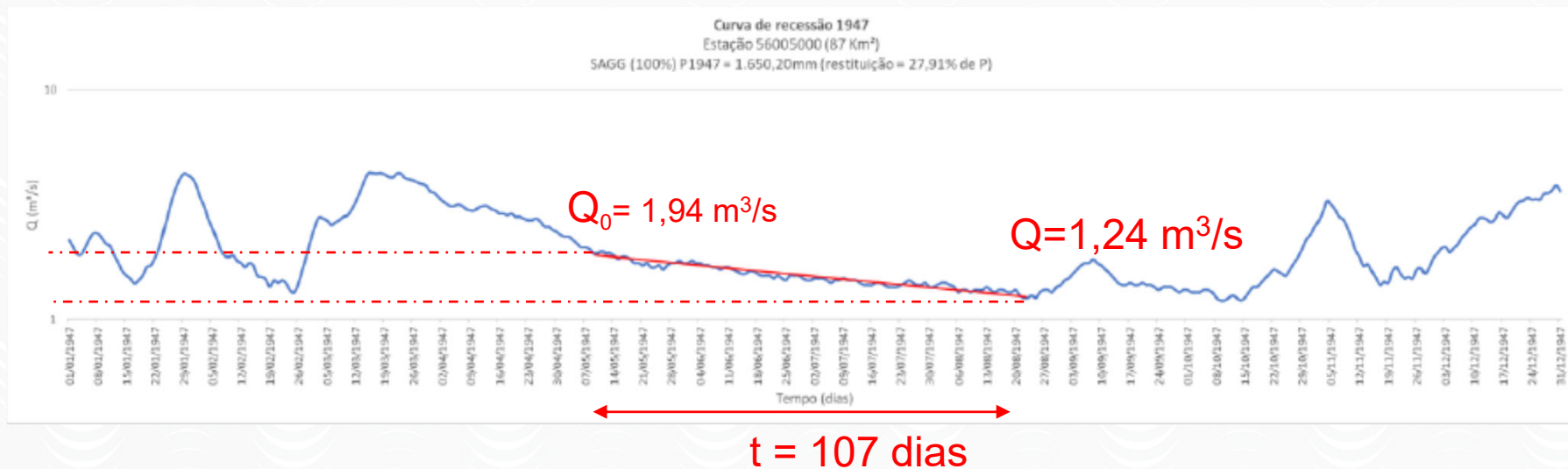
- ❑ Área aquífero predominante > 88%
- ❑ Presença de anos com períodos secos bem definidos na série de dados
- ❑ Descarte de estações com restituição superior à chuva



Estimativa dos Coeficientes de Infiltração

Análise de Curvas de Recessão

Exemplo: Estação 56005000 (100% SAGG), ano 1947



Equação da recessão

K=Constante de recessão

$$Q = Q_0 \cdot e^{-kt} \Rightarrow K = -\ln(Q/Q_0)/t \Rightarrow K = -\ln(1,24/1,94)/107 = \mathbf{0,00418296}$$

Volume Subterrâneo restituído

$$V = Q_0 \cdot 86400 / K \Rightarrow V = 1,94 \cdot 86400 / 0,00418296 = \mathbf{40.071.157,1 \text{ m}^3/\text{ano}}$$

Restituição em mm

$$H = V/A/1000 \Rightarrow H = 40.071.157/87/1000 = \mathbf{460,59 \text{ mm}}$$

→ Área de contribuição da estação em Km²

**27,91% da
chuva**

Estimativa dos Coeficientes de Infiltração

Análise de Curvas de Recessão

Unidades hidrogeológicas	Estações Fluviométricas	Área contribuição (km ²)	P média (mm/ano)	Anos	K	Restituição/P (%) *	Q ₉₀ /Q ₅₀
Sistema Aquífero Quartzítico	56632000 (Alto Doce)	35	2.066,30 Estação Plu 2043059	1940/1944 1946/1948 1951/1954 1955	0,011	4,62	0,31
	56005000 (Alto Doce)	87	1.571,50 Estação Plu 2143003	1942/1943 1944/1947 1949/1952 1953	0,004	20,94	0,70
Sistema Aquífero Gnáissico-Granítico	56065000 (Alto Doce)	297	1.571,50 Estação Plu 2143003	1944/1946 1949/1951 1967/1979 1982	0,004	25,10	0,57
	56631900 (Alto Doce)	288	2.066,30 Estação Plu 2043059	2005/2006 2007/2008 2009/2010 2011/2012 2013	0,003	28,85	0,68
	56845000 (Médio Doce)	1.050	1.358,21 Estação Plu 1943002	1954/1955 1957/1959 1967/1973 1983/1984 1985/1994 1995/1996 1999/2000 2005/2007 2008	0,006	9,31	0,46
	5694000 (Médio Doce)	3.220	1.49,41 Estação Plu 194018	1943/1944 1974	0,006	11,24	0,50
	56998400 (Baixo Doce)	1.070	1290,90 Estação Plu 1840000	1984/1994 1997	0,012	6,6	0,33

Restituição/P (%) das estações fluviométrica representam a média do conjunto de anos analisados.

Estimativa dos Coeficientes de Infiltração (Ci)

- Análise de Curvas de Recessão

AQUÍFERO	Ci (%)
Gnáissico-Granítico (Alto Doce)	20
Gnáissico-Granítico (Médio Doce)	13
Gnáissico-Granítico (Baixo Doce)	6

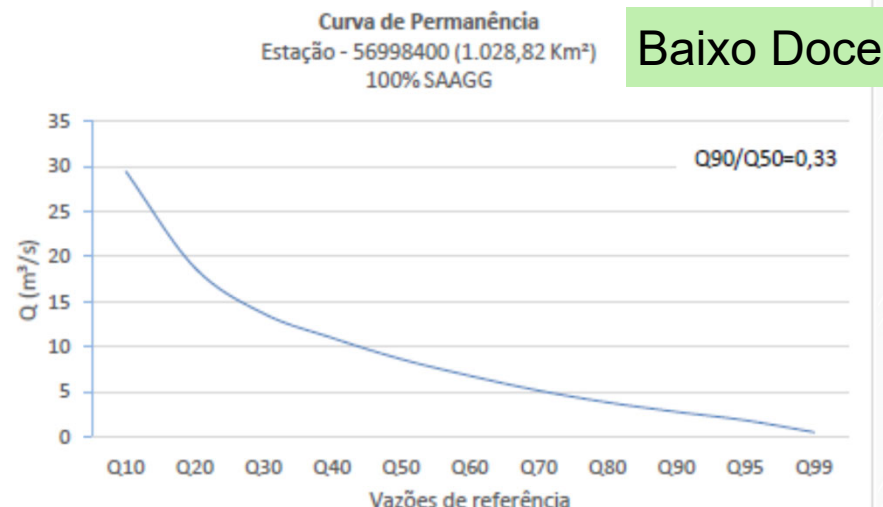
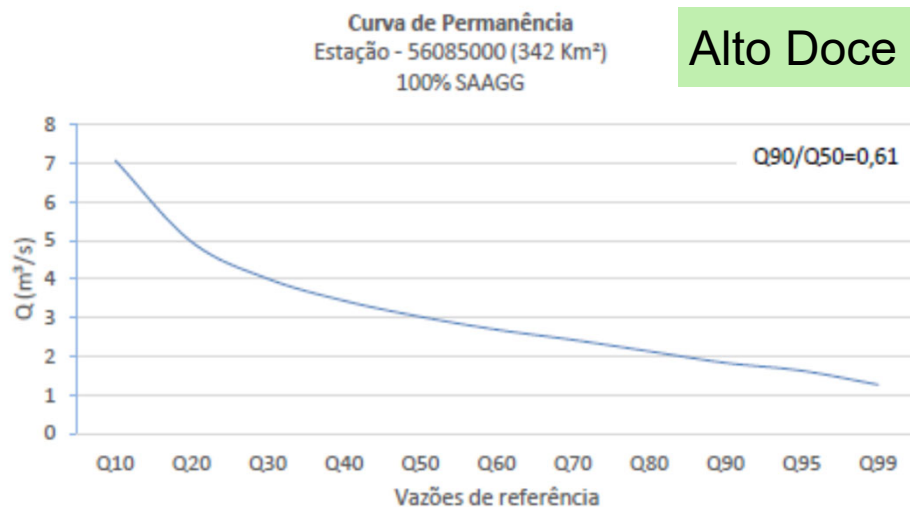
Ci Médio por
Aquífero – Média
da restituição das
estações validadas

Na análise das curvas de recessão, os valores médios da restituição alcançados são, via de regra, menores que os valores de Ci correlacionados, haja vista que há um percentual que se deve considerar da extração de água subterrânea, da recarga profunda e de uma parcela de água drenada do aquífero fora do período de recessão. No entanto, neste trabalho optou-se por adotar a restituição média como representativa do Ci.

Estimativa do Coeficientes de Sustentabilidade

Relações entre vazões de referência

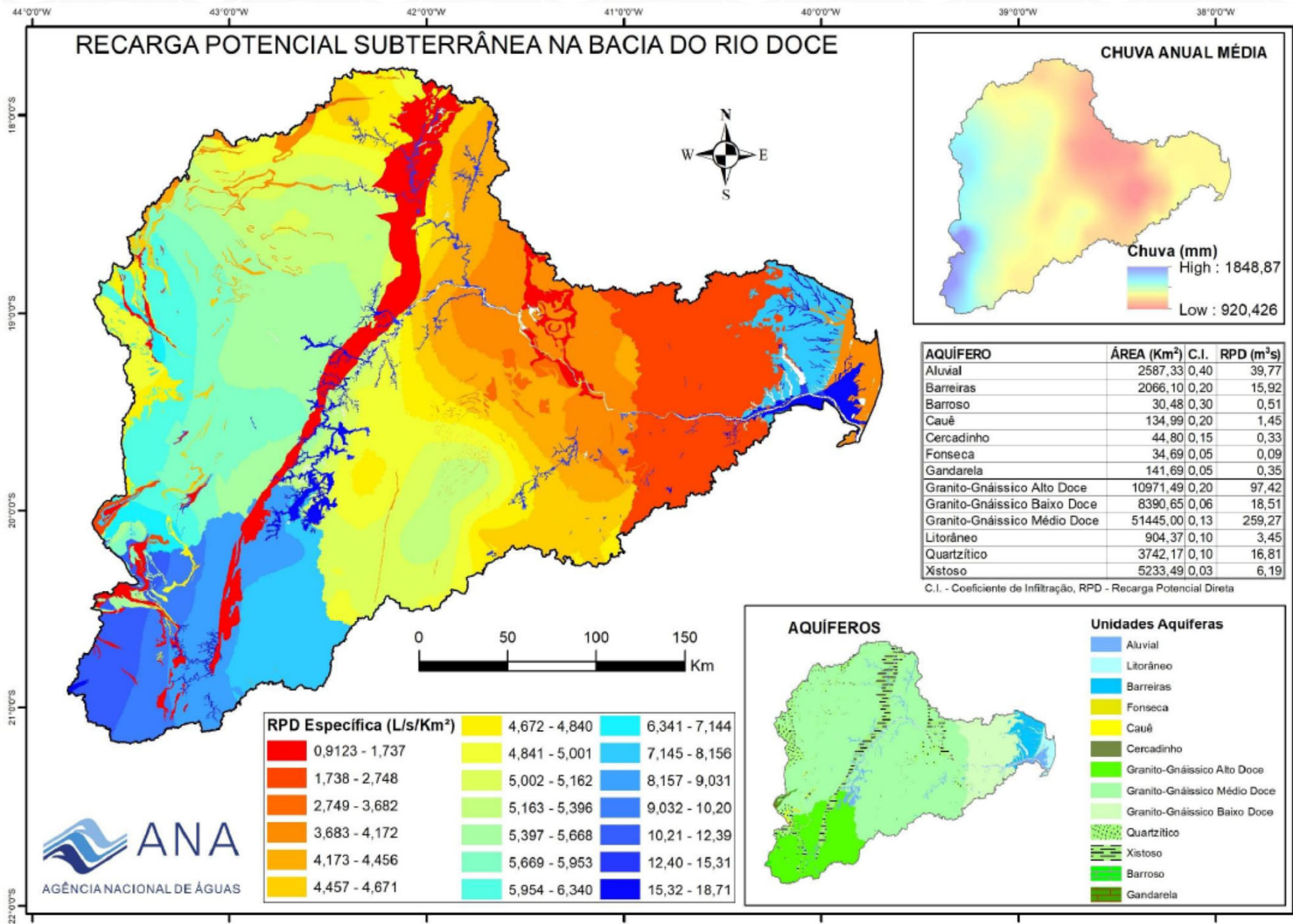
- Análise da relação Q90/Q50 e do comportamento das curvas de recessão para determinar a participação da contribuição subterrânea nas estações fluviométricas selecionadas e a capacidade de regularização dos aquíferos



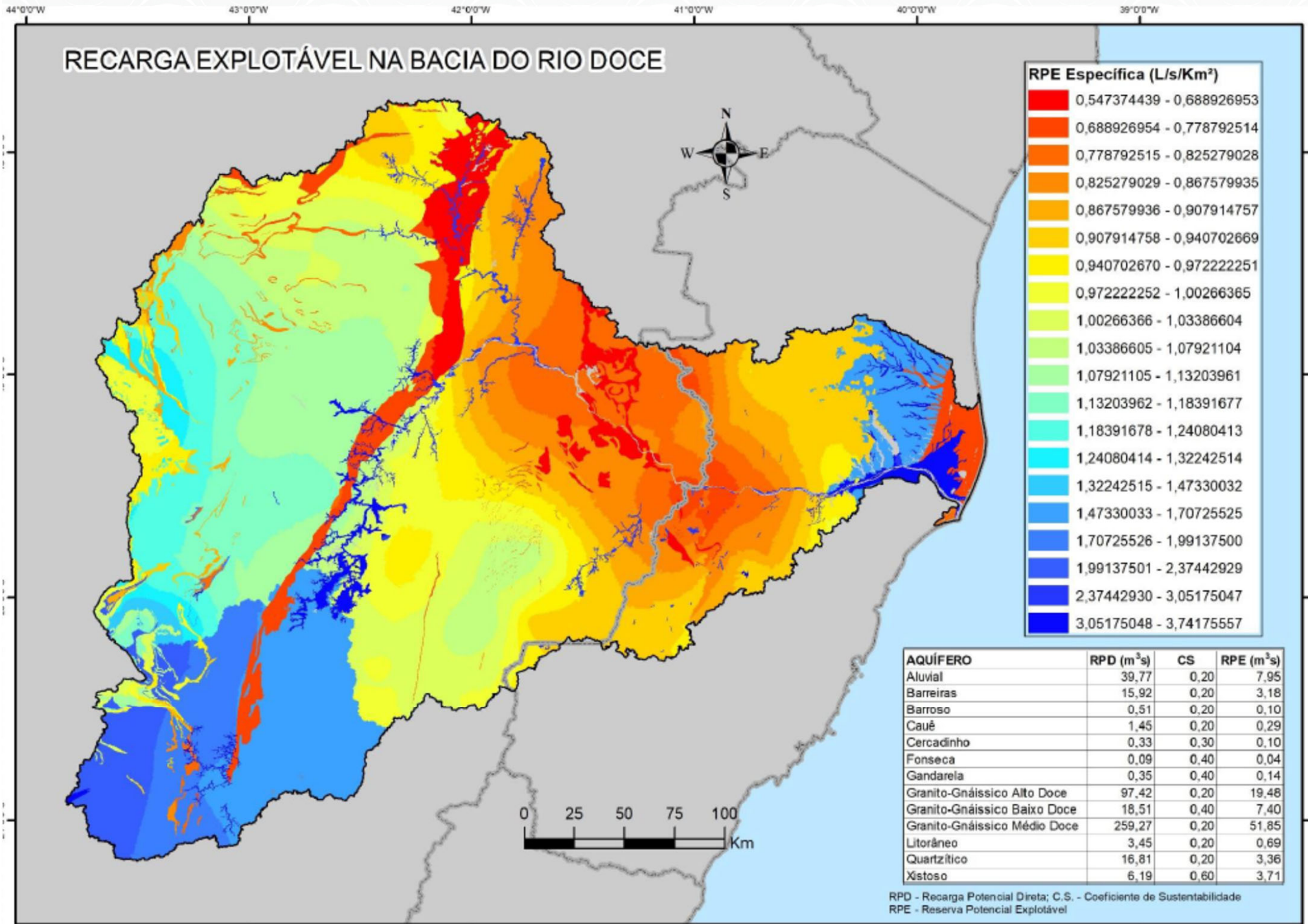
AQUÍFERO	Ci (%)	Q90/Q50	Cs
SAGG (Alto Doce)	20	0,50	0,2
SAGG (Médio Doce)	13	0,51	0,2
SAGG (Baixo Doce)	6	0,32	0,4

Estimativa do Coeficientes de Infiltração e de Sustentabilidade

Unidade Hidrogeológica	Ci (%)	Cs	Q90/Q50
Aquífero Aluvial	40%	0,2	
Aquífero Barreiras	20%	0,2	
Aquífero Barroso	30%	0,2	
Aquífero Cauê	20%	0,2	
Aquífero Cercadinho	15%	0,3	
Aquífero Fonseca	5%	0,4	
Aquífero Gandarela	5%	0,4	
Aquífero Litorâneo	10%	0,2	
Sistema Aquífero Gnáissico-Granítico (Alto Doce)	20%	0,2	0,54
Sistema Aquífero Gnáissico-Granítico (Médio Doce)	13%	0,2	0,48
Sistema Aquífero Gnáissico-Granítico (Baixo Doce)	6%	0,4	0,37
Sistema Aquífero Quartzítico	10%	0,2	0,31
Sistema Aquífero Xistoso	3%	0,6	



$$RPD = \text{Área} \times \text{Coef. Infiltração} \times \text{Precipitação}$$



Avaliação Integrada Águas Superficiais e Subterrâneas

Estimativa do Fluxo de Base (Q7)

Estação Flu	Área estação (km ²)	Aquíferos (%)	Qmlt (m ³ /s)	Q7 (m ³ /s)	Q95 (m ³ /s)	Q90 (m ³ /s)	Q50 (m ³ /s)	Q7,10 (m ³ /s)	Q90/Q50	Q7/Qmlt	Q7,10/Q7	Q95/Q7	Q90/Q7	Q7 _{esp} (l/s/Km ²)	Q95 _{esp} (l/s/Km ²)	Q90 _{esp} (l/s/Km ²)
56005000	87	100% SAGG	1,74	0,94	0,94	1,00	1,43	0,80	0,70	0,54	0,85	1,00	1,06	10,78	10,80	11,45
56010000	558	94% SAGG 5,5% Barroso 0,5% SAX	9,78	2,86	1,82	2,60	6,55	0,99	0,40	0,29	0,35	0,64	0,91	5,13	3,26	4,66
56012000	161	97,9% SAGG 2,1% SAX	1,97	0,80	0,72	0,83	1,39	0,58	0,60	0,41	0,72	0,89	1,04	4,99	4,44	5,17
56028000	1.400	94,6% SAGG 3% SAX 2,2% Barroso 0,2% SAQ	22,53	8,62	7,59	9,04	16,68	5,30	0,54	0,38	0,61	0,88	1,05	6,16	5,42	6,46
56040000	42	100% SAGG	1,15	0,45	0,42	0,51	0,88	0,23	0,58	0,39	0,51	0,94	1,15	10,67	10,05	12,24
56050000	222	100% SAGG	7,11	3,64	2,70	3,14	5,73	2,31	0,55	0,51	0,63	0,74	0,86	16,41	12,16	14,14
56055000	1.090	95% SAGG 4,8% SAX 2,2% Barroso 0,2% Aluvial	19,81	8,19	7,02	8,20	15,06	5,16	0,54	0,41	0,63	0,86	1,00	7,51	6,44	7,52
56065000	297	94,3% SAGG 5,7% Aluvial	5,33	2,33	1,64	2,18	3,97	1,31	0,55	0,44	0,56	0,70	0,93	7,84	5,51	7,33
56075000	4.260	91,1% SAGG 5,% SAX 2,5% Aluvial 0,7% Barroso 0,2% SAQ	72,63	31,16	26,81	31,36	56,42	20,32	0,56	0,43	0,65	0,86	1,01	7,32	6,29	7,36
56085000	342	100% SAGG	4,24	1,88	1,63	1,83	3,02	1,26	0,60	0,44	0,67	0,86	0,97	5,50	4,75	5,35
56090000	328	99,6% SAGG 0,4% SAQ	4,12	2,07	1,74	1,95	3,23	1,31	0,60	0,50	0,63	0,84	0,94	6,30	5,32	5,93
56105000	126	100% SAGG	1,35	0,52	0,33	0,39	1,06	0,23	0,37	0,39	0,44	0,63	0,74	4,14	2,62	3,07
56130000	256	100% SAGG	2,37	0,66	0,65	0,77	1,51	0,25	0,51	0,28	0,38	0,99	1,18	2,57	2,54	3,02
56148000	305	56,1% SAGG 23,7% SAX 14,1% SAQ 6,1% Cauê	10,92	3,85	3,15	3,45	6,20	2,68	0,56	0,35	0,70	0,82	0,90	12,62	10,33	11,30
56150000	56	87% SAGG 5,2% SAQtz 7,8% Xisto	1,39	0,60	0,57	0,60	1,09	0,50	0,55	0,43	0,83	0,93	1,00	10,79	10,09	10,79
56340000	269	96,6% SAGG 3,4% Xisto	3,91	1,72	1,35	1,65	2,92	0,80	0,57	0,44	0,47	0,79	0,96	6,38	5,02	6,13
56385000	523	100% SAGG	8,43	3,28	2,97	3,38	6,16	2,21	0,55	0,39	0,67	0,91	1,03	6,27	5,68	6,47
56400000	1.370	100% SAGG	19,66	5,77	4,86	5,99	13,66	2,77	0,44	0,29	0,48	0,84	1,04	4,21	3,55	4,38
56415000	2.030	100% SAGG	27,43	10,28	9,22	10,64	19,53	6,45	0,54	0,37	0,63	0,90	1,04	5,06	4,54	5,24
56460000	616	99,4% SAGG 0,6% SAQ	10,00	2,76	2,50	2,96	6,58	1,78	0,45	0,28	0,65	0,91	1,07	4,47	4,05	4,80
56470000	238	96,9% SAGG 3,1% SAQ	3,07	1,05	0,96	1,06	2,18	0,76	0,49	0,34	0,72	0,91	1,01	4,42	4,03	4,47
56485000	1.390	99% SAGG 1% SAQ	18,59	5,59	4,59	5,79	12,44	2,94	0,47	0,30	0,53	0,82	1,04	4,03	3,30	4,17
56500000	273	100% SAGG	4,10	1,35	1,17	1,41	2,81	0,61	0,50	0,33	0,45	0,87	1,04	4,95	4,28	5,15
56520000	163	99,4% SAGG 0,6% SAQ	2,23	0,97	0,77	0,89	1,67	0,58	0,53	0,43	0,60	0,80	0,92	5,93	4,75	5,46
56565000	304	98,1% SAGG 1,9% SAQ	3,58	1,48	1,31	1,47	2,67	0,97	0,55	0,41	0,66	0,89	0,99	4,87	4,31	4,84

Comparação entre a Q7, considerada como representativa do fluxo de base e as vazões de referência utilizadas na outorga superficial por estação analisada

Avaliação Integrada Águas Superficiais e Subterrâneas

Estimativa do Fluxo de Base (Q7)

Relações entre Q7 (fluxo de base) e vazões referenciais* para outorga de água superficial na bacia do Doce

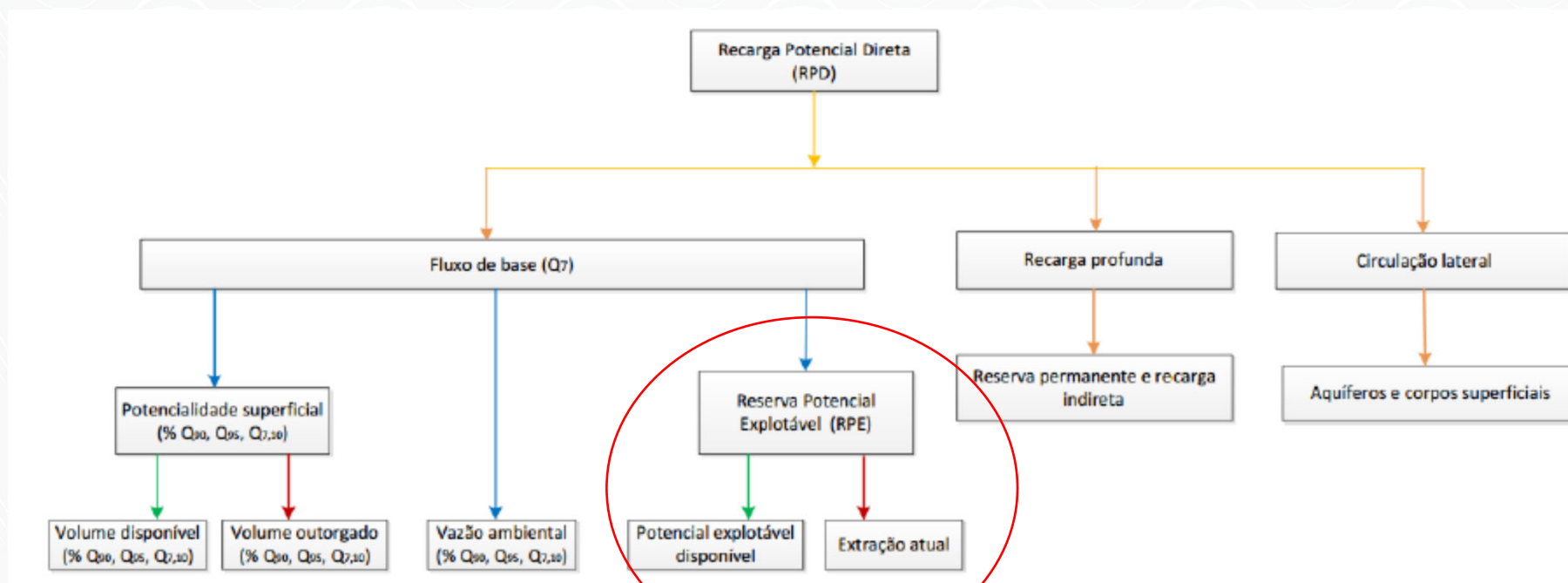
Parâmetros estatísticos	Q ₉₀ /Q ₇	Q ₉₅ /Q ₇	Q _{7,10} /Q ₇	Q ₇ /Q _{mlt}
Média	0,94	0,78	0,53	0,36
Mediana	0,98	0,82	0,56	0,37
Desvio Padrão	0,14	0,14	0,17	0,10
Variância	0,02	0,02	0,03	0,01
Máximo	1,18	1,00	0,85	0,59
Mínimo	0,33	0,27	0,11	0,10

Distribuição estatística considerando as 66 estações avaliadas

* ANA- Q95; MG – Q7,10; ES – Q90

Avaliação Integrada Águas Superficiais e Subterrâneas

Estimativa da vazão atual extraída por poços



Avaliação Integrada Águas Superficiais e Subterrâneas

Estimativa da vazão atual extraída por poços

- Utilização do cadastro consolidado (eliminação de registros repetidos);
- Desconsideração das nascentes (consideradas como água superficial);
- Estimativa das descargas de cada poço com base na vazão e tempo de bombeamento;

$$\text{Descarga do Poço (m}^3\text{/h)} = Q \times T / 24$$

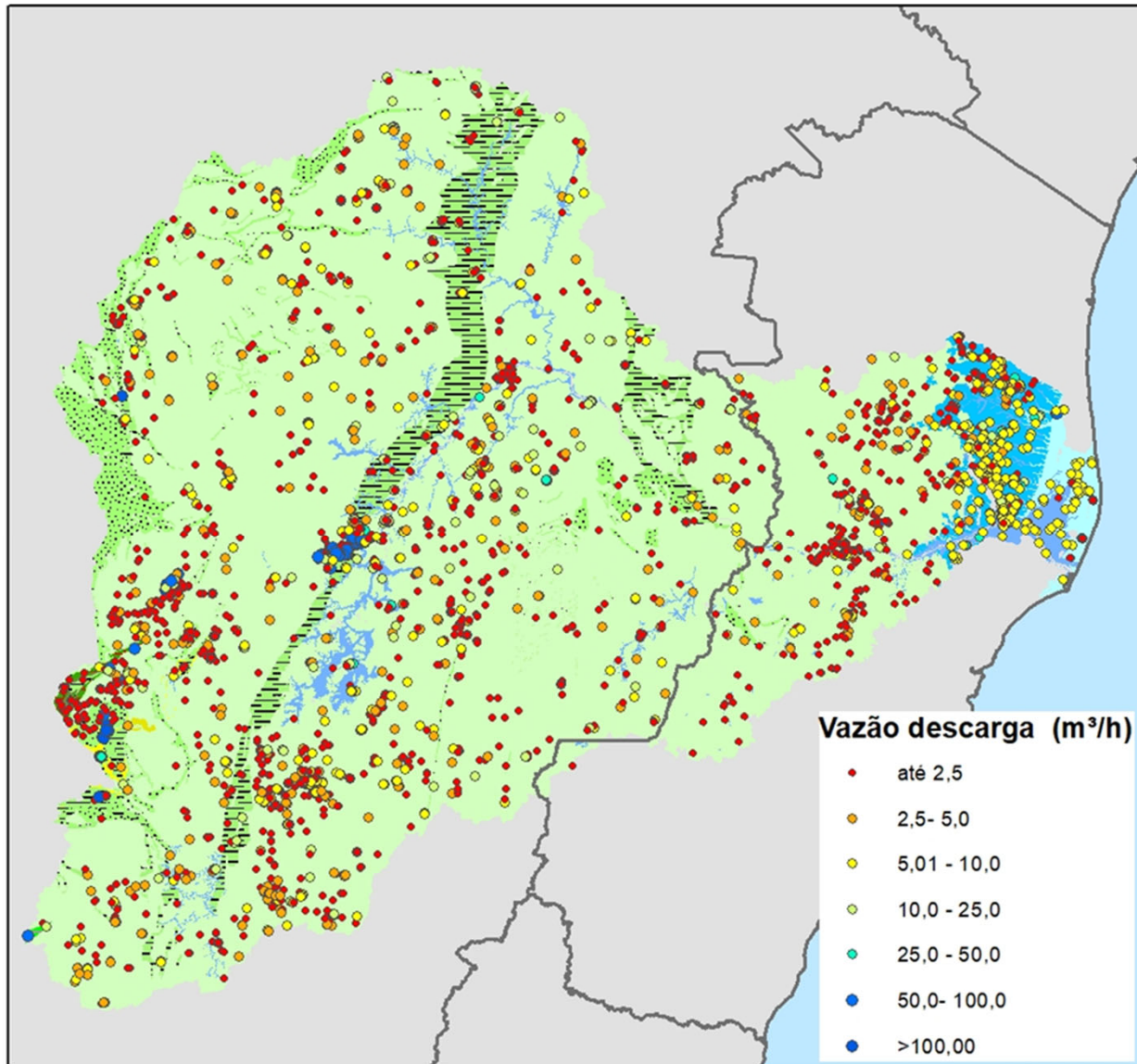
Q = Vazão de descarga adotada- Preferencialmente a vazão outorgada, depois a vazão de estabilização, por último a vazão estimada por aquífero (com base na estatística dos dados disponíveis)

T= Tempo de bombeamento adotado- Preferencialmente o tempo autorizado pelo ato de outorga, depois tempo estimado (com base na estatística dos dados disponíveis – 16h para poços de abastecimento público, 9h para demais usos/sem informação de uso).

Atribuição de descarga nula a poços sem uso (poços de monitoramento, poços secos, abandonados, obstruídos, tamponados, improdutivos...)

Avaliação Integrada Águas Superficiais e Subterrâneas

Estimativa da vazão atual extraída por poços

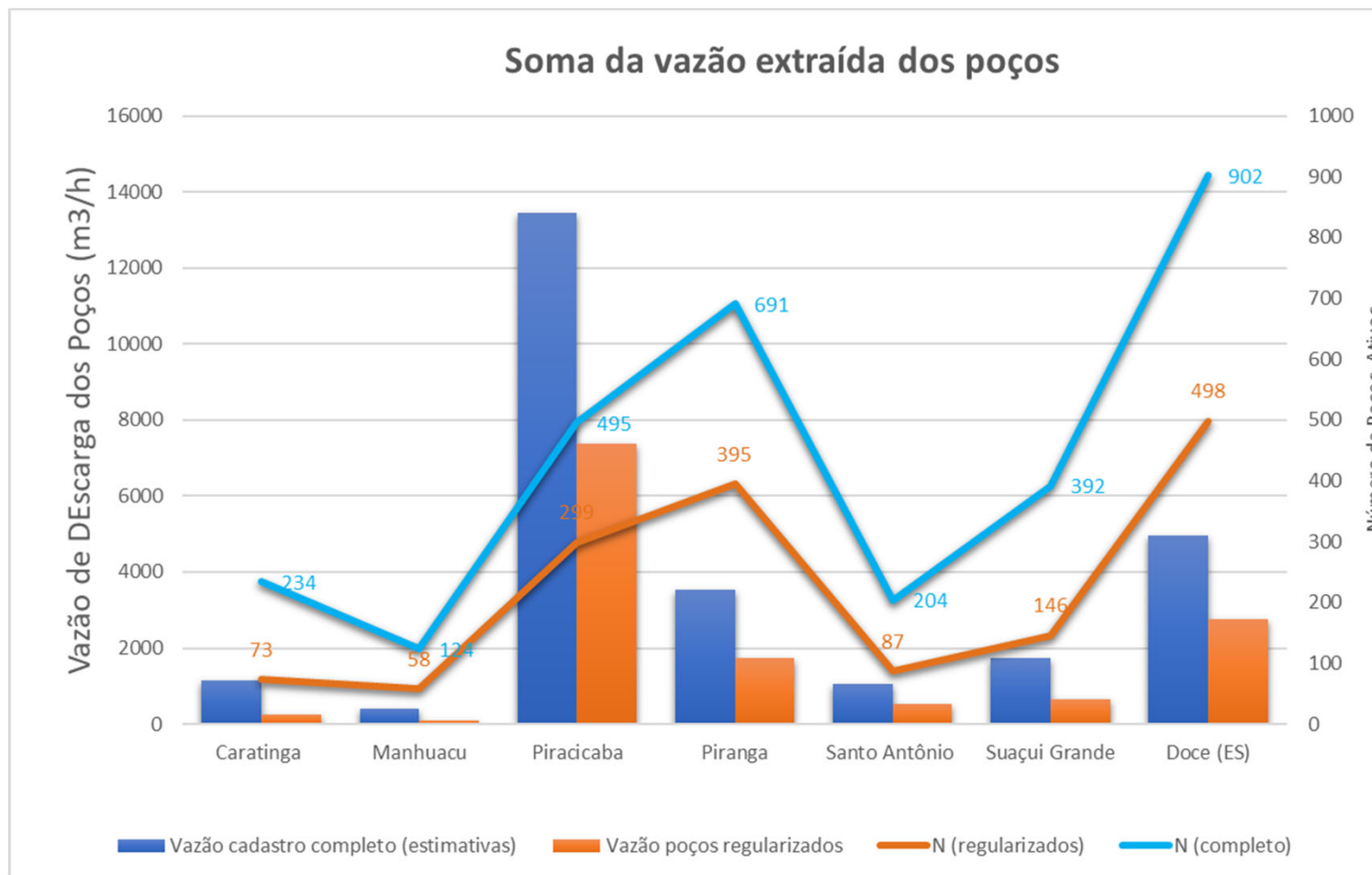


Cadastro Consolidado

Atribuição de descarga a todos os poços do cadastro

Avaliação Integrada Águas Superficiais e Subterrâneas

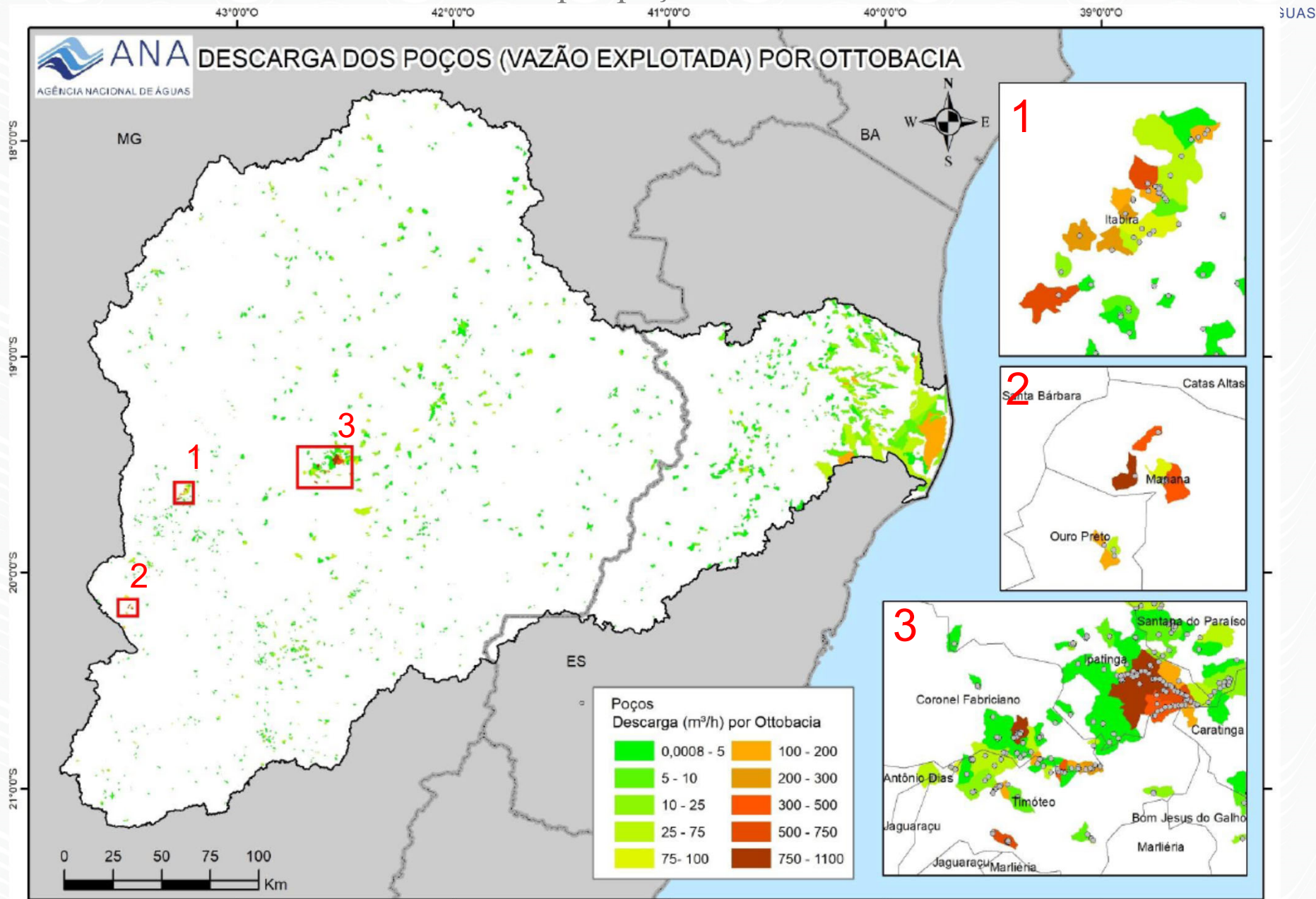
Estimativa da vazão atual extraída por poços



3.042 poços ativos

Avaliação Integrada Águas Superficiais e Subterrâneas

Estimativa da vazão atual extraída por poços

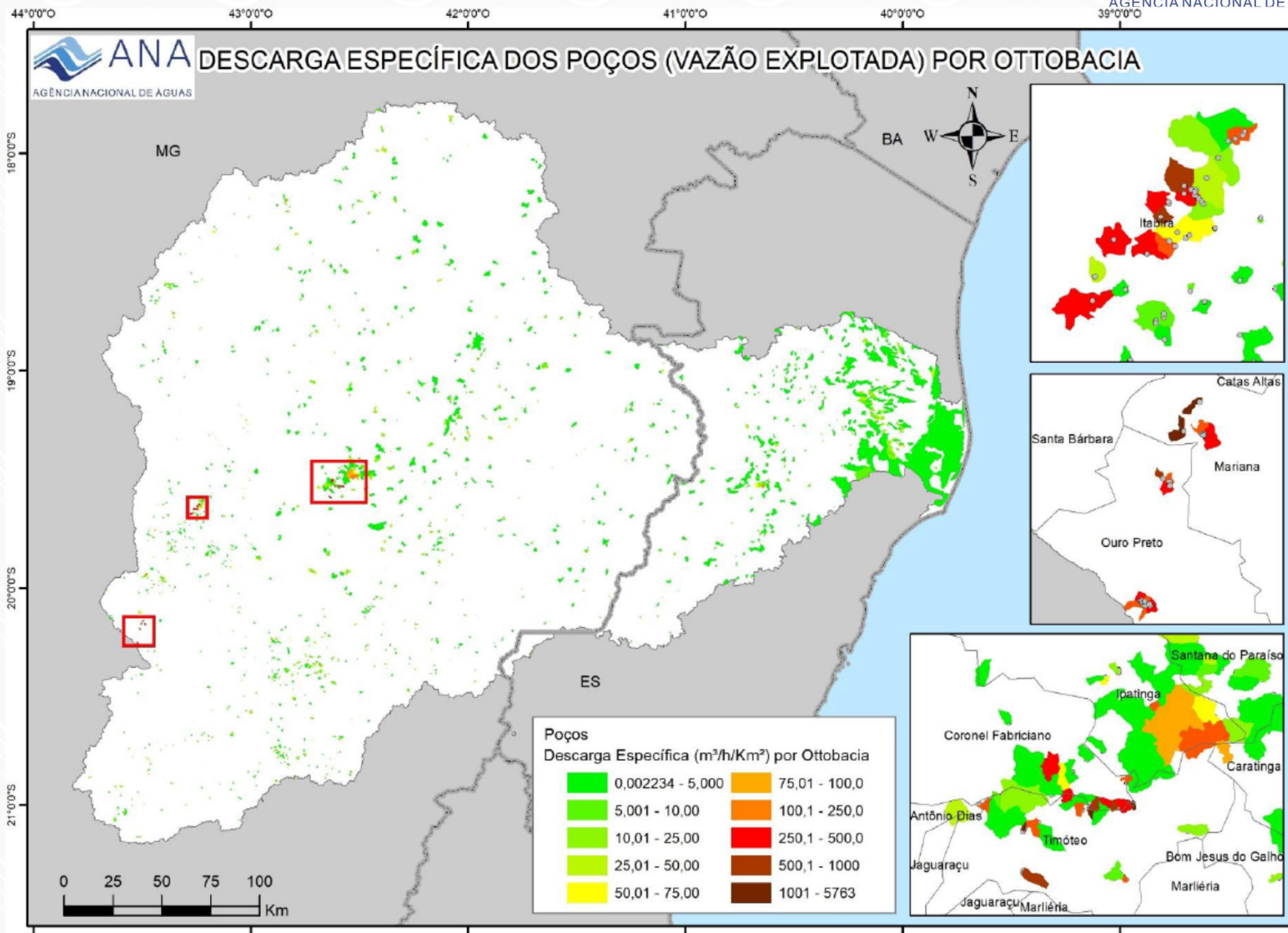


Avaliação Integrada Águas Superficiais e Subterrâneas

Estimativa da vazão atual extraída por poços

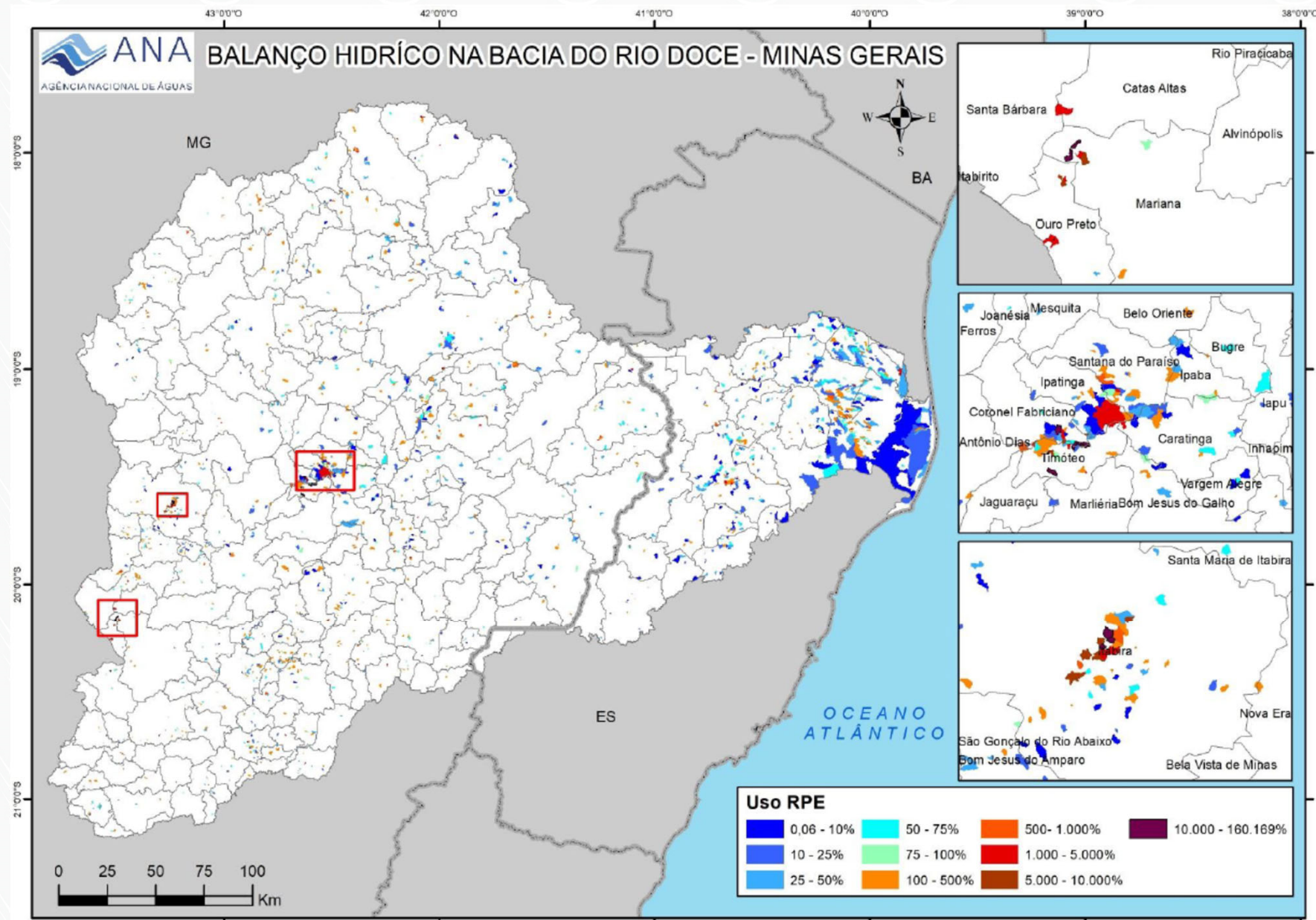


AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS



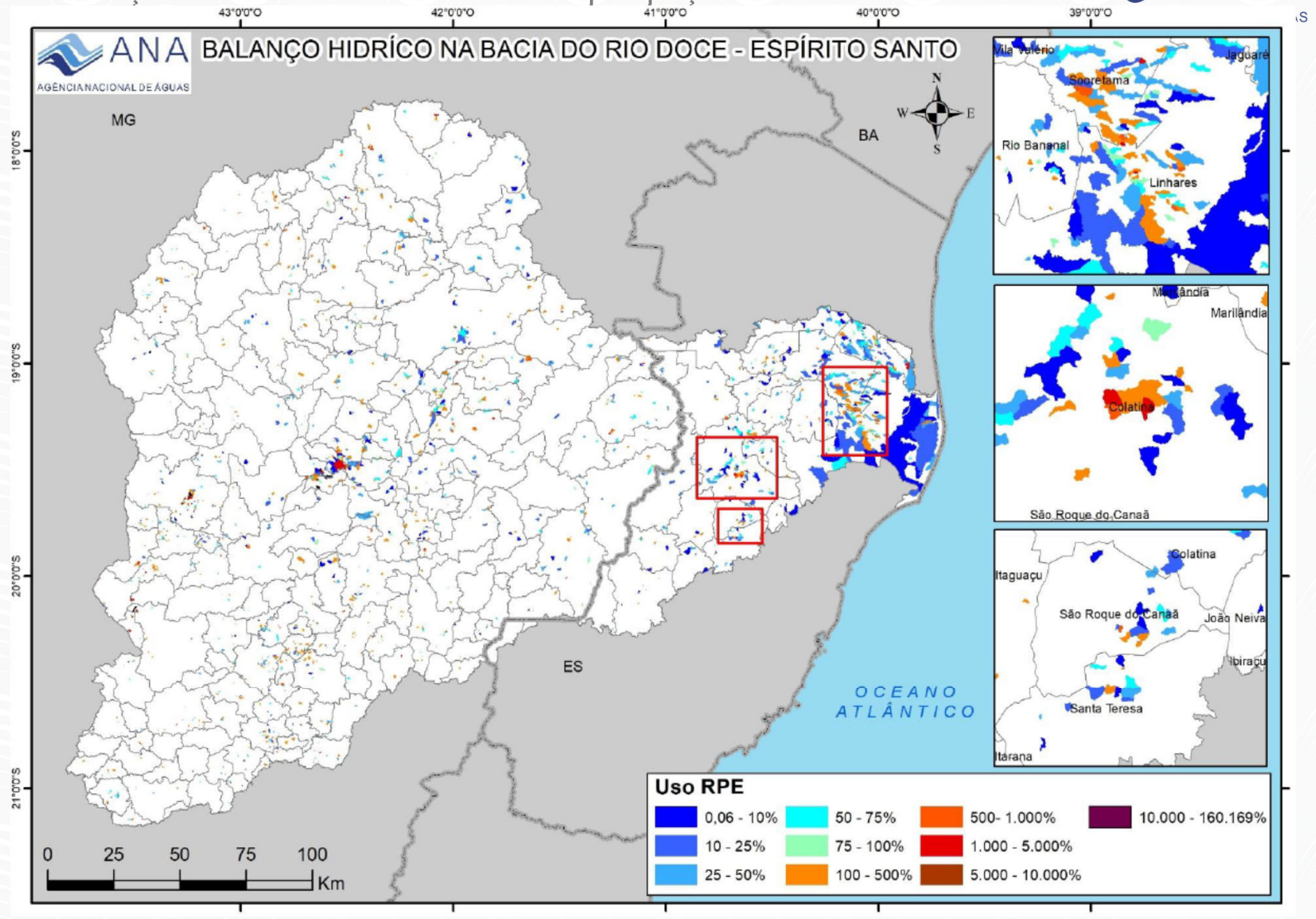
Avaliação Integrada Águas Superficiais e Subterrâneas

Balço entre RPE e Vazão extraída por poços



Avaliação Integrada Águas Superficiais e Subterrâneas

Balço entre RPE e Vazão extraída por poços



Avaliação Integrada Águas Superficiais e Subterrâneas

Considerações

- ❑ Essa é uma proposta metodológica para ser avaliada conjuntamente entre as instituições de gestão envolvidas na BH Doce.
- ❑ Em algumas regiões é necessário um maior detalhamento, em especial pela ausência de estações fluviométricas (células em branco) na região dos sistemas aquíferos porosos, (Baixo Doce). Estudos de regionalização de vazões poderão preencher essas lacunas de dados hidrológicos.
- ❑ É possível evoluir na acurácia do balanço hídrico à medida que os dados de extração de águas subterrâneas referenciem claramente o sistema aquífero explorado, a vazão outorgada e o regime de bombeamento, principalmente para o estado do Espírito Santo, onde a regularização de águas subterrâneas é muito recente.
- ❑ Se faz necessário um mapeamento geológico de detalhe nas regiões aluvionares exploradas por poços de altas vazões no Vale do Aço (Ipatinga, Timóteo, Coronel Fabriciano).
- ❑ É importante considerar a interdependência entre rio e aquífero quando da análise dos pleitos de outorga em aquíferos aluviais, principalmente.

Letícia Lemos de Moraes

Coordenação de Águas Subterrâneas
Superintendência de Implementação e Programas e Projetos

leticia.moraes@ana.gov.br | (+55) (61) 2109 –5465



www.twitter.com/anagovbr

facebook

www.facebook.com/anagovbr

YouTube

www.youtube.com/anagovbr

Obrigada