



Serviço Geológico do Brasil – CPRM

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DO AQUÍFERO
GUARANI, NO SETOR MÉDIO DA BACIA HIDROGRÁFICA
MOGI-PARDO UTILIZANDO-SE ANÁLISE FATORIAL**

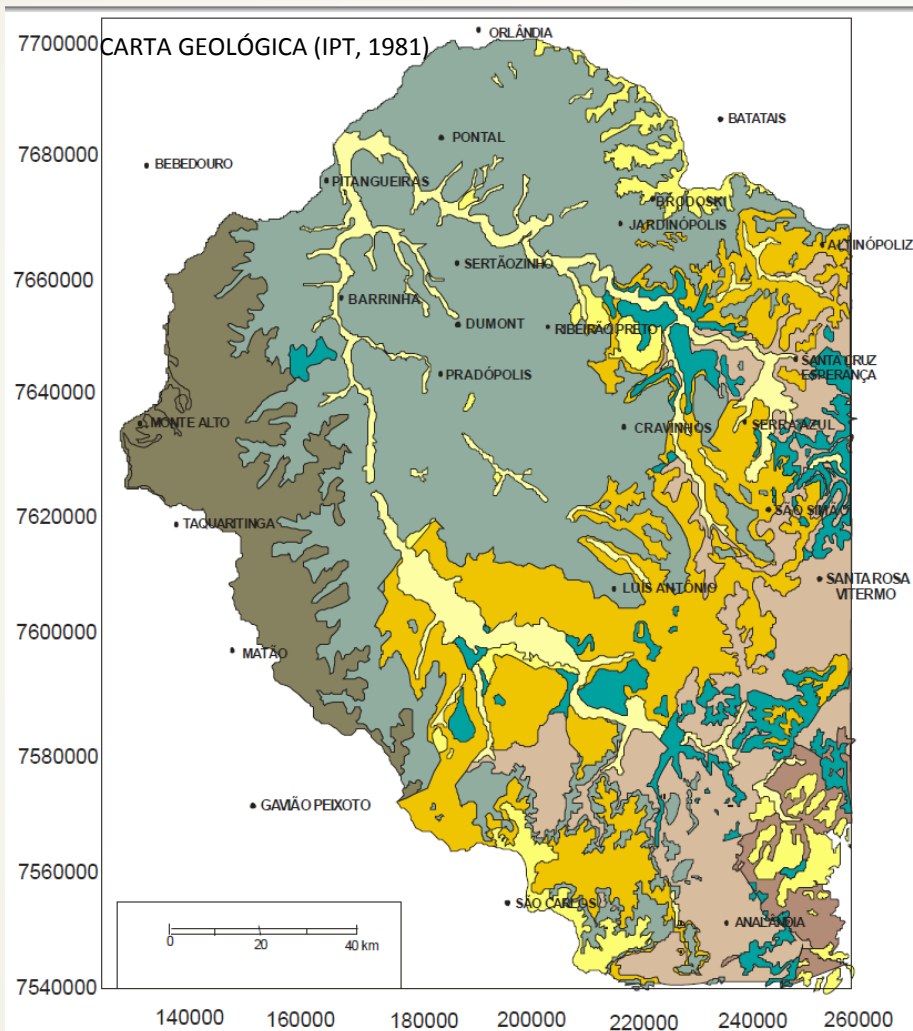
André Luís Invernizzi

Serviço Geológico do Brasil – CPRM

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO DE SÃO PAULO

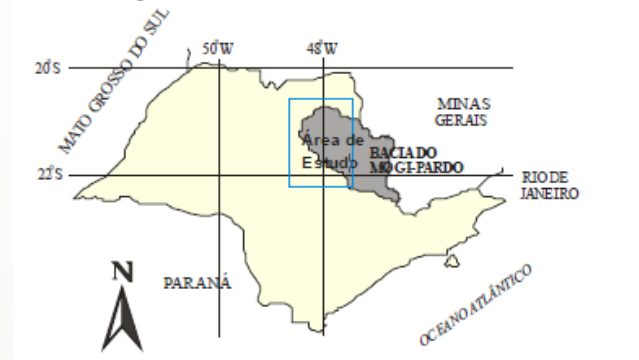


Serviço Geológico do Brasil – CPRM



- Depósitos aluvionais quaternários
- Grupo Bauru
- Formação Serra Geral
- Intrusivas Tabulares
- Formação Botucatu
- Formação Pirambóia
- Formação Corumbataí
- Contato entre as unidades

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO DE SÃO PAULO

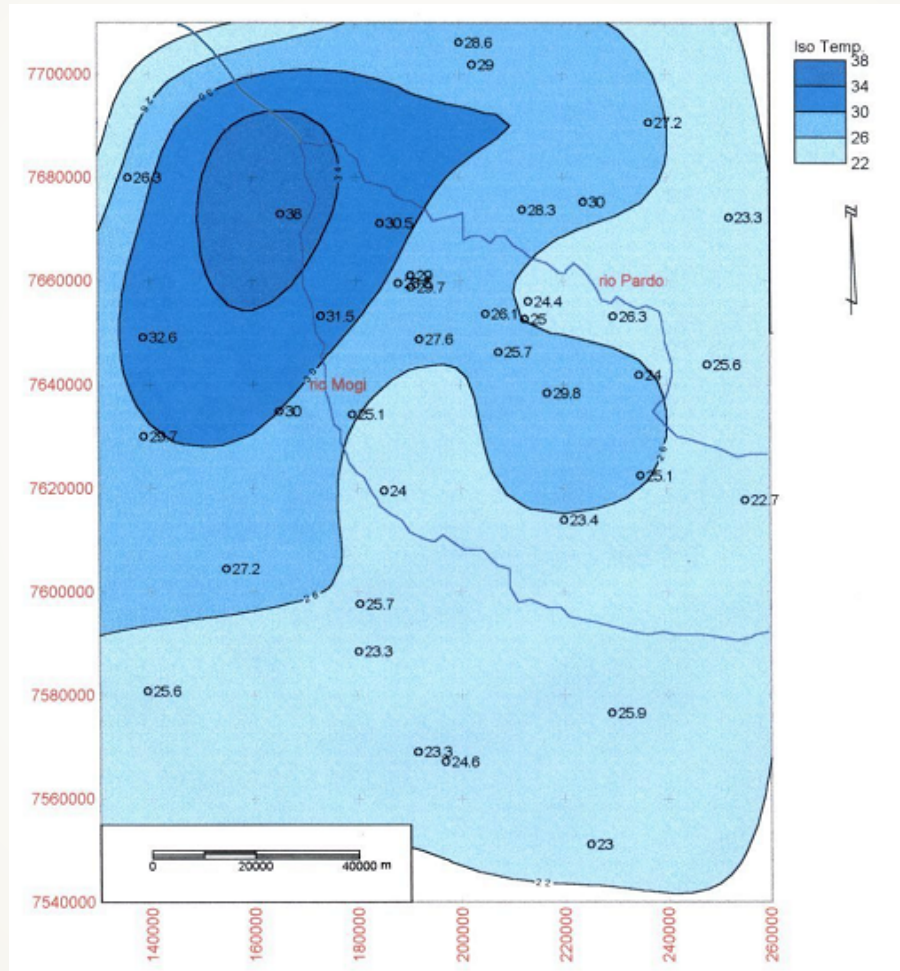


Serviço Geológico do Brasil – CPRM

	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	máximo	n < L.D.
B ³⁺	0,01	0,002	0,01	0,002	0,05	24
Ba ²⁺	0,04	0,04	0,04	0,001	0,17	1
Zn ²⁺	0,02	0,01	0,05	0,001	0,27	1
Fe ²⁺	0,02	0,004	0,07	0,002	0,37	8
Li ⁺	0,00	0,001	0,01	0,001	0,02	28
Sr ²⁺	0,06	0,39	0,59	0,01	0,25	0
Mn ²⁺	0,00	0,001	0,01	0,001	0,04	23
SiO ₂	8,96	8,59	2,37	4,74	14,08	0
Ca ²⁺	10,24	5,18	9,82	0,91	35,09	0
Mg ²⁺	1,61	1,27	1,24	0,03	5,09	0
Na ⁺	10,00	2,30	17,30	0,40	67,00	0
K ⁺	3,10	2,70	1,80	0,50	8,50	0
F ⁻	0,07	0,05	0,08	0,01	0,36	0
Cl ⁻	0,47	0,15	1,07	0,02	6,45	10
NO ₃ ⁻	1,12	0,27	2,02	0,02	9,00	11
PO ₄ ³⁻	0,15	0,05	0,29	0,01	1,40	32
SO ₄ ²⁻	1,00	0,23	2,22	0,03	10,01	10
HCO ₃ ⁻	58,30	47,40	40,09	5,90	154,40	0
CO ₃ ²⁻	3,80	0,50	9,90	0,50	50,80	27
pH	7,03	6,67	1,17	5,45	9,42	
Temp	27,00	26,20	3,20	22,70	38,00	
Dureza	34,50	19,50	31,70	5,00	135,00	
Condut	116,00	84,40	43,30	25,40	342,00	

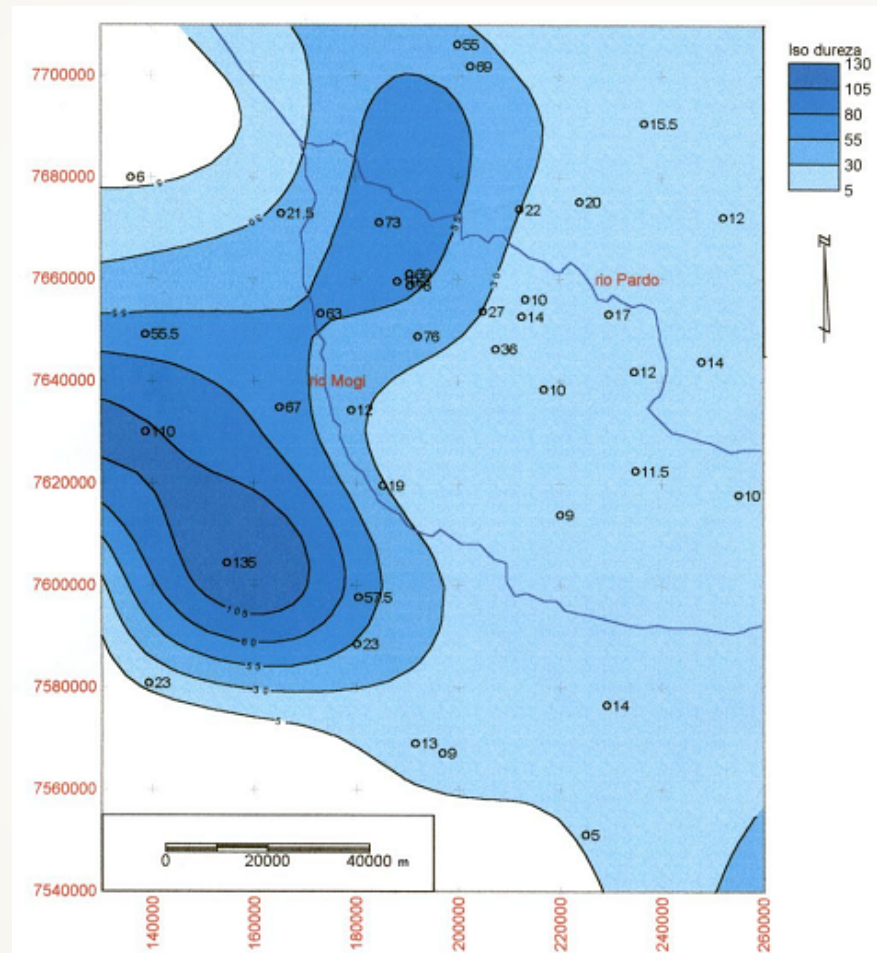
Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Comportamento espacial dos valores da temperatura em °C



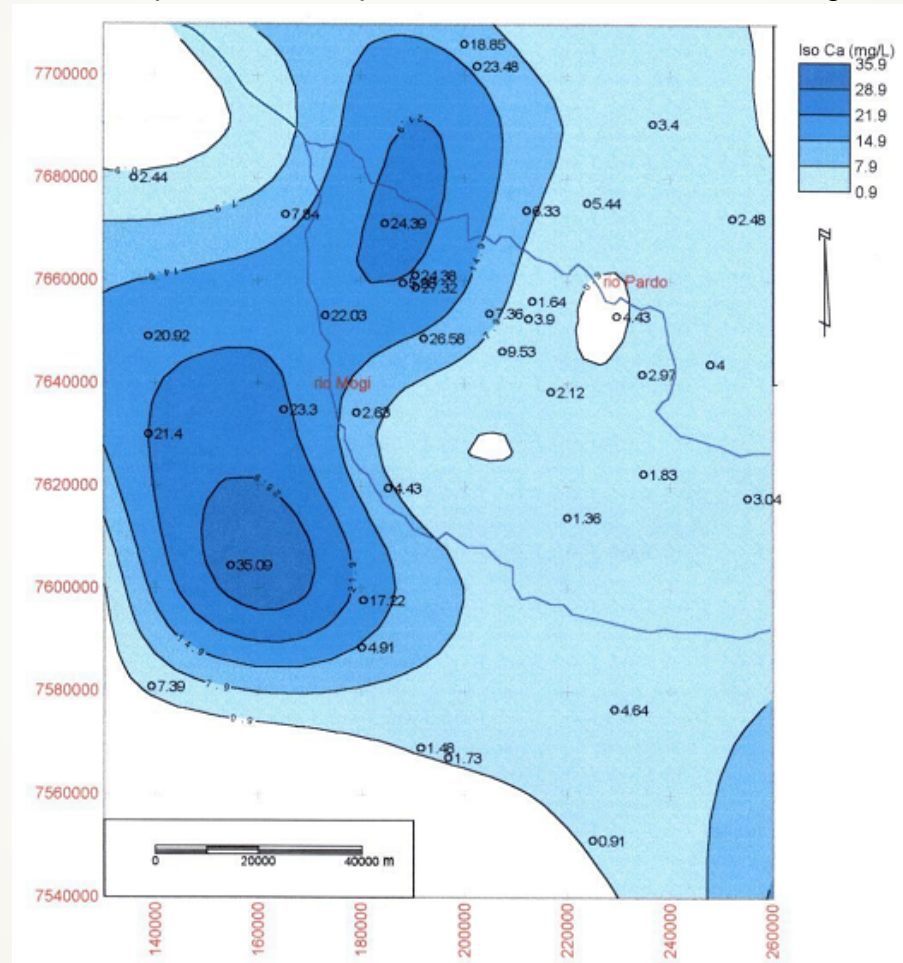
Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Comportamento espacial dos valores de dureza em mg/L de CaCO_3



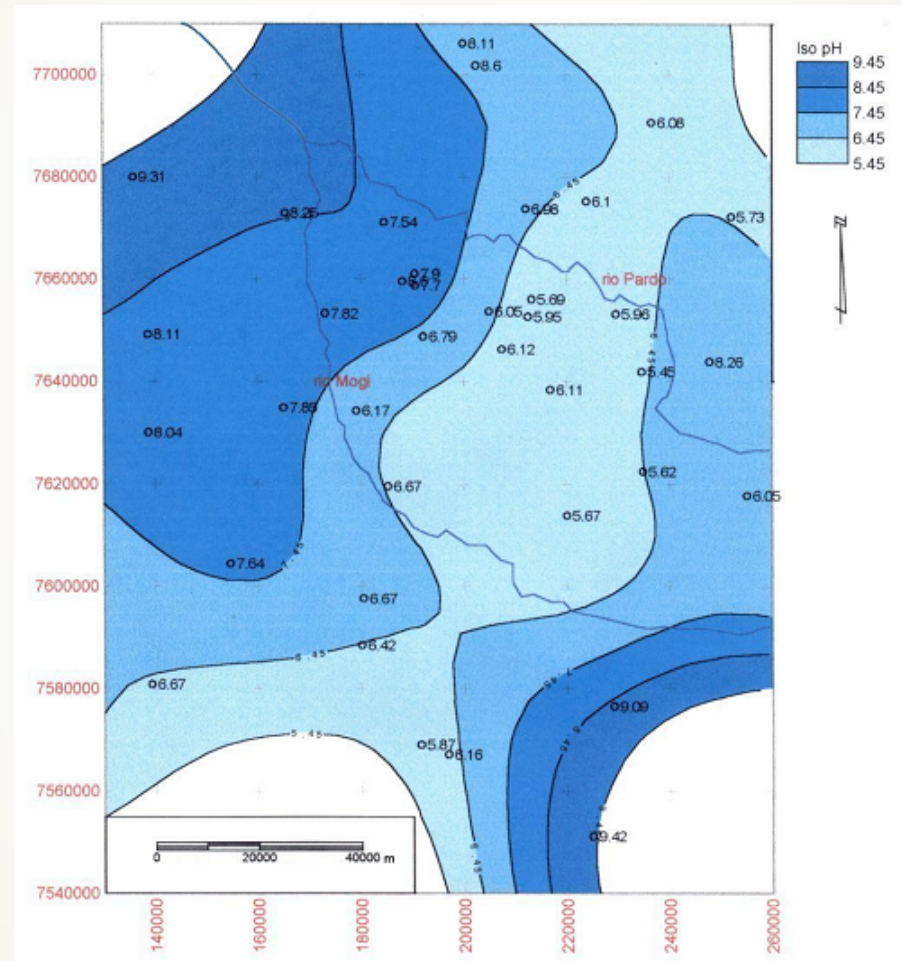
Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Comportamento espacial dos teores de cálcio em mg/L



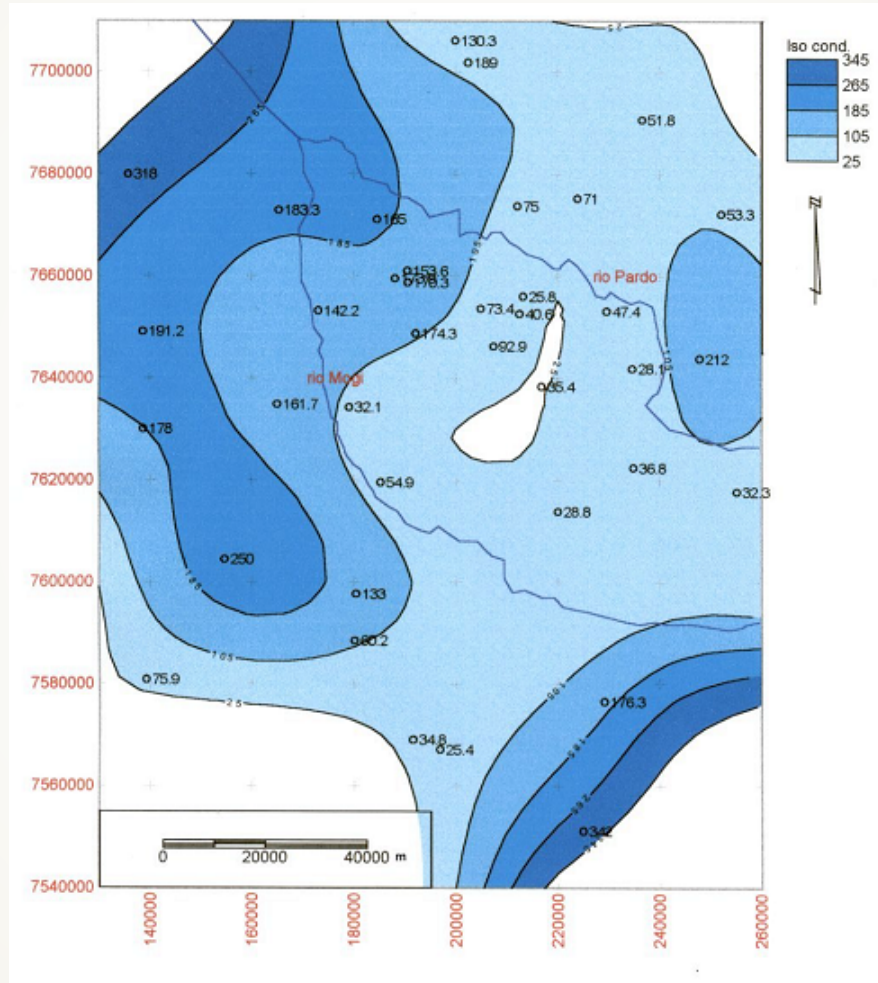
Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Comportamento espacial dos valores de pH



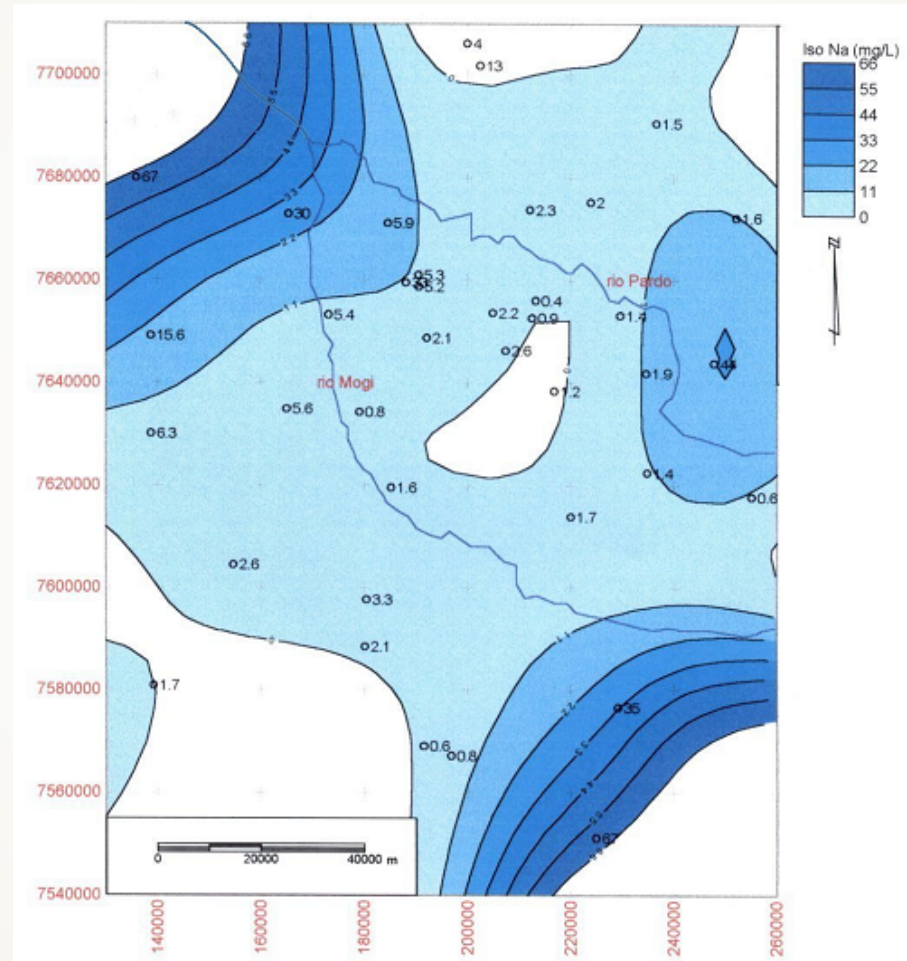
Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Comportamento espacial dos valores de condutividades em $\mu\text{S}/\text{cm}$



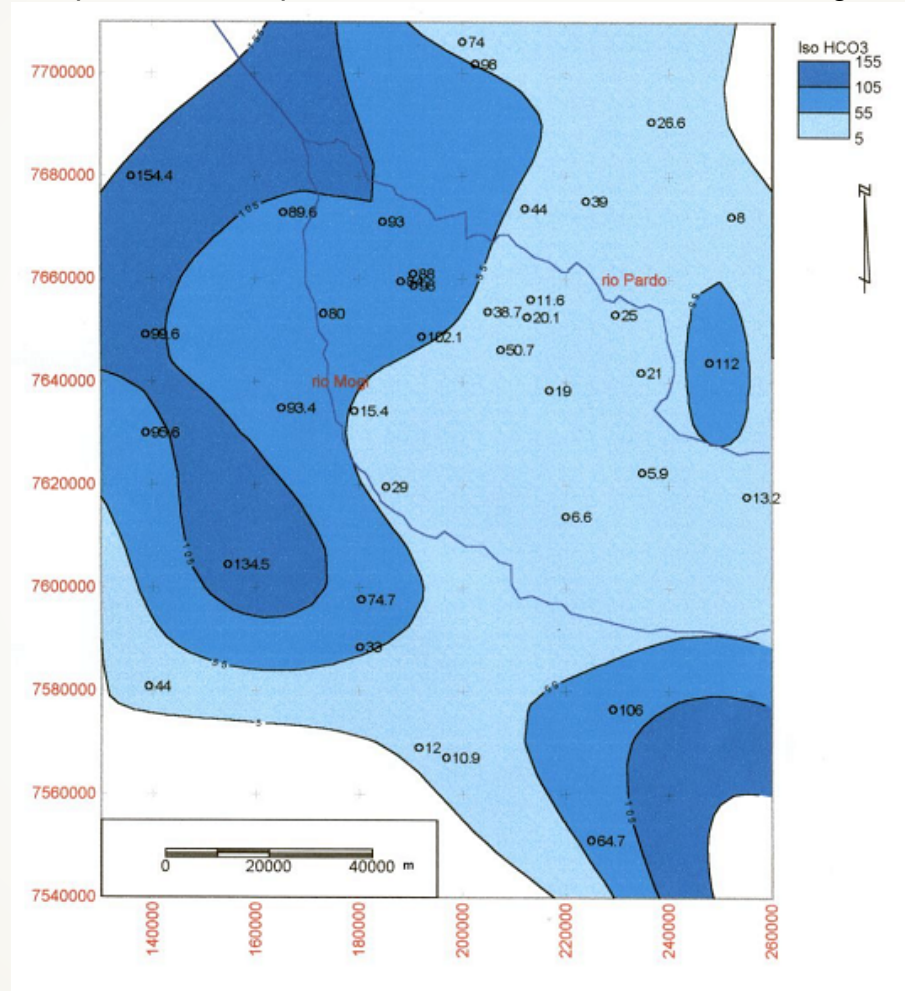
Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Comportamento espacial dos teores de sódio em mg/L



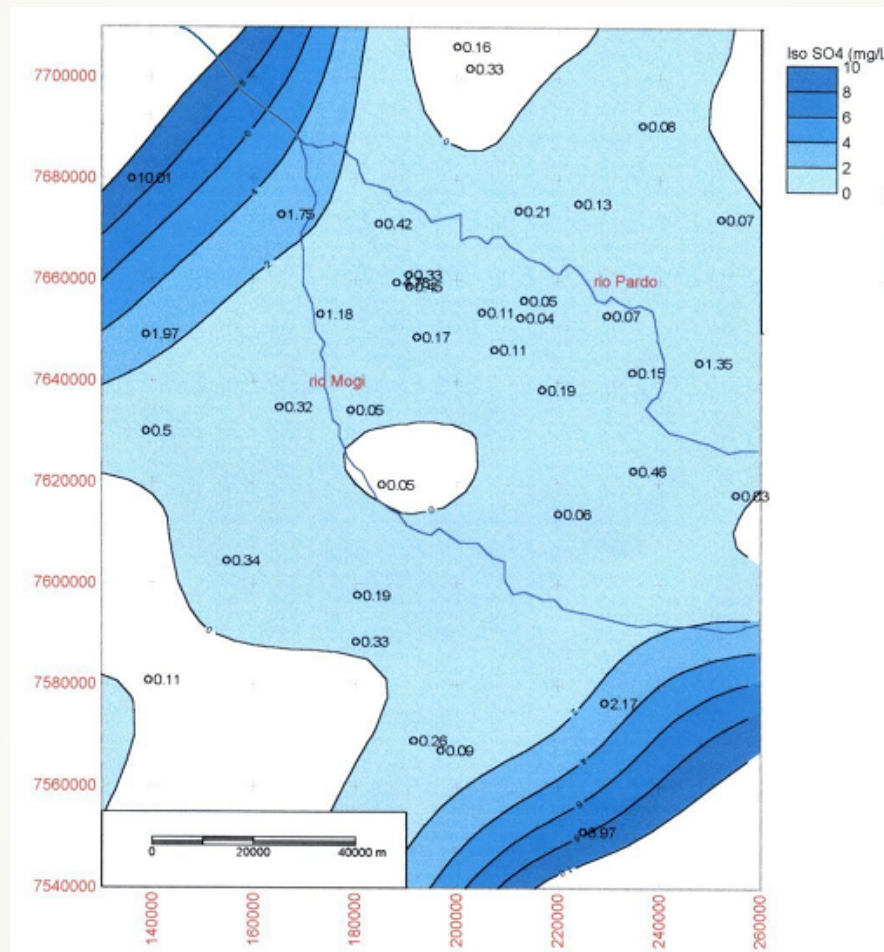
Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Comportamento espacial dos teores do bicarbonato em mg/L



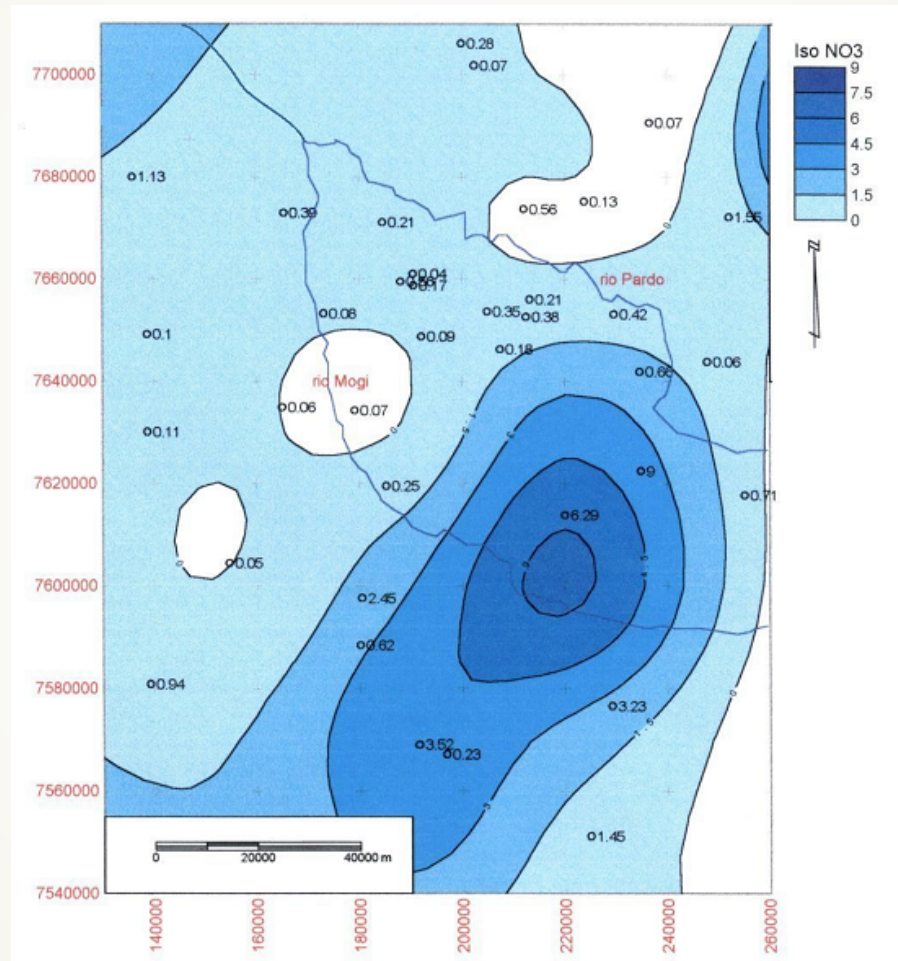
Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Comportamento espacial dos teores de sulfato em mg/L



Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Comportamento espacial dos teores de nitrato em mg/L



Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Matriz de correlação entre as variáveis, calculadas a partir dos dados originais

	B	Ba	Ca	Fe	Li	Mg	Mn	Si	Sr	Zn	Na	K	F	Cl	NO ₃	PO ₄	SO ₄	HCO ₃	CO ₃	pH	Temp.	Dureza	condutiv.	
B	1																							
Ba	-0,27	1																						
Ca	0,14	-0,16	1																					
Fe	0,03	0,11	0,07	1																				
Li	0,03	-0,33	-0,1	-0,07	1																			
Mg	0,2	0,01	0,72	0,03	-0,35	1																		
Mn	-0,13	0,14	-0,11	0,45	-0,09	-0,09	1																	
Si	-0,13	-0,02	-0,05	0,02	0,09	0,1	-0,27	1																
Sr	0,37	-0,29	0,69	-0,03	0,09	0,58	-0,12	-0,23	1															
Zn	0,06	0,13	0,13	0,71	-0,13	0,24	0,51	0,1	0,11	1														
Na	0,25	-0,43	-0,17	-0,12	0,7	-0,4	-0,13	0,03	0,01	-0,16	1													
K	-0,31	0,38	0,19	-0,03	-0,34	0,28	-0,15	0,28	0,01	-0,03	-0,49	1												
F	0,28	-0,25	-0,08	-0,13	0,23	-0,32	-0,08	-0,1	-0,1	-0,07	0,59	-0,15	1											
Cl	-0,12	-0,18	-0,21	-0,04	0,59	-0,27	0,06	0,19	-0,19	-0,09	0,59	-0,37	0,27	1										
NO ₃	-0,08	0,11	-0,33	-0,07	-0,05	-0,19	0,5	-0,26	-0,26	0,01	-0,03	-0,03	0,06	0,2	1									
PO ₄	-0,07	0,06	-0,04	0,08	-0,12	0,1	-0,1	0,11	-0,11	-0,07	-0,17	-0,03	-0,11	-0,09	-0,15	1								
SO ₄	0,27	-0,36	-0,18	-0,09	0,69	-0,38	-0,09	0,12	-0,08	-0,13	0,91	-0,43	0,7	0,71	0,01	-0,13	1							
HCO ₃	0,15	-0,44	0,67	-0,04	0,44	0,32	-0,23	0,07	0,6	0,01	0,55	-0,13	0,24	0,34	-0,3	-0,15	0,45	1						
CO ₃	0,41	-0,27	-0,16	-0,09	0,61	-0,29	-0,09	0,12	-0,1	-0,09	0,85	-0,35	0,66	0,55	-0,02	-0,12	0,94	0,35	1					
pH	0,21	-0,51	0,41	-0,13	0,53	-0,02	-0,23	-0,07	0,41	-0,12	0,76	-0,26	0,53	0,31	-0,21	-0,19	0,65	0,85	0,57	1				
Temp.	-0,13	-0,25	0,53	-0,16	0,41	0,14	-0,19	-0,22	0,54	-0,25	0,07	0,15	-0,03	-0,09	-0,28	-0,12	-0,01	0,52	-0,1	0,45	1			
Dureza	0,23	-0,13	0,96	0,03	-0,14	0,82	-0,1	-0,07	0,76	0,18	-0,21	0,18	-0,1	-0,23	-0,3	-0,04	-0,21	0,62	-0,17	0,35	0,45	1		
condutiv.	0,37	-0,46	0,47	-0,06	0,55	0,16	-0,19	0,03	0,46	-0,03	0,78	-0,26	0,48	0,39	0,22	-0,18	0,71	0,89	0,7	0,91	0,36	0,44	1	

Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Matriz representando apenas os íons que possuem correlações positivas entre eles

	Cond.	pH	Li ⁺	Na ⁺	F ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Sr ²⁺	Temp.	Dureza	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺
Cond.	1,00	0,91	0,55	0,78	0,48	0,71	0,70	0,89								
pH	0,91	1,00	0,53	0,76	0,53	0,65	0,57	0,85								
Li ⁺	0,55	0,53	1,00	0,70	0,23	0,69	0,61	0,44								
Na ⁺	0,78	0,76	0,70	1,00	0,59	0,91	0,85	0,55								
F ⁻	0,48	0,53	0,23	0,59	1,00	0,70	0,66	0,24								
SO ₄ ²⁻	0,71	0,65	0,69	0,91	0,70	1,00	0,94	0,45								
CO ₃ ²⁻	0,55	0,53	0,61	0,85	0,66	0,94	1,00	0,57								
HCO ₃ ⁻	0,89	0,85	0,44	0,55	0,24	0,45	0,45	1,00	0,67	0,32	0,60	0,52	0,62			
Ca ²⁺								0,67	1,00	0,72	0,69	0,53	0,96			
Mg ²⁺								0,32	0,72	1,00	0,58	0,14	0,82			
Sr ²⁺								0,6	0,69	0,58	1,00	0,54	0,76			
Temp.								0,52	0,53	0,14	0,54	1,00	0,45			
Dureza								0,62	0,96	0,82	0,76	0,45	1,00			
Fe ²⁺														1,00	0,45	0,71
Mn ²⁺														0,45	1,00	0,51
Zn ²⁺														0,71	0,51	1,00

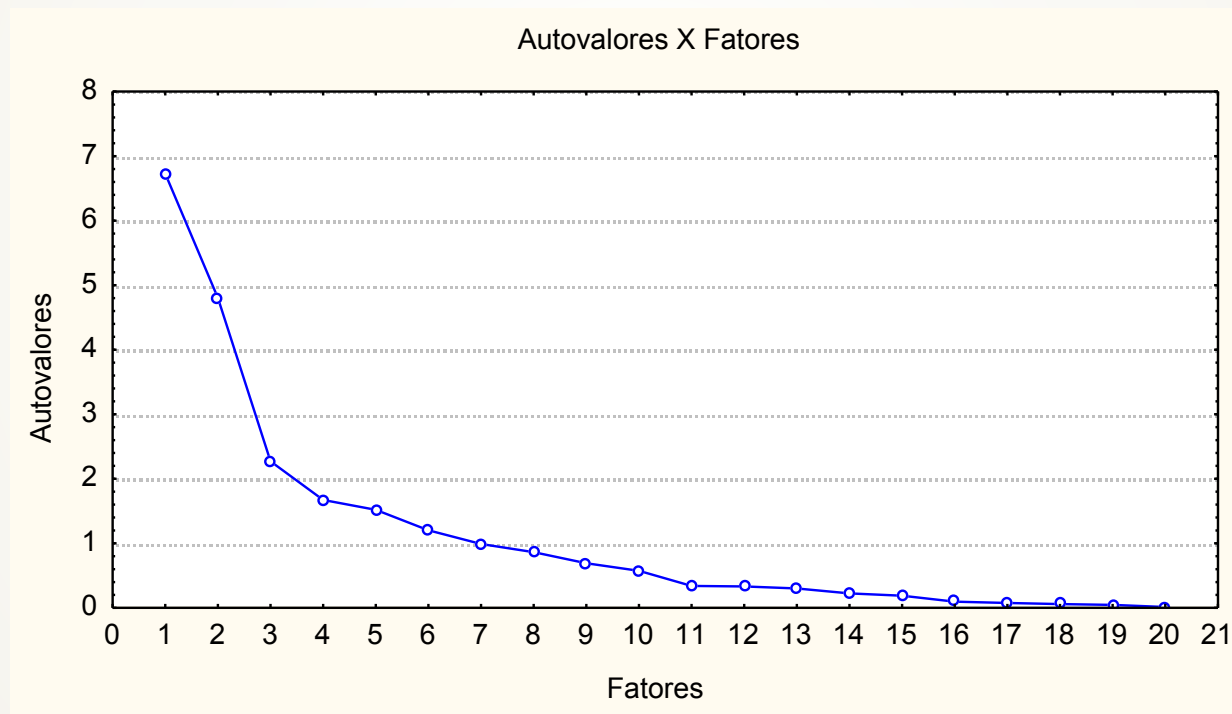
Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Fatores extraídos da matriz de correlação e seus respectivos autovalores, junto com a proporção da variância explicada por cada fator

Fator	Autovalor	Autovalor acumulado	% variância total	% variância acumulada
1	6,728	6,728	29,25	29,25
2	4,803	11,531	20,88	50,14
3	2,271	13,802	9,87	60,01
4	1,672	15,474	7,27	67,28
5	1,519	16,994	6,61	73,89
6	1,202	18,196	5,23	79,11
7	0,990	19,186	4,30	83,42
8	0,862	20,048	3,75	87,17
9	0,691	20,739	3,00	90,17
10	0,574	21,313	2,49	92,66
11	0,340	21,653	1,48	94,14
12	0,332	21,985	1,44	95,58
13	0,301	22,286	1,30	96,88
14	0,225	22,511	0,97	97,85
15	0,188	22,699	0,87	98,72
16	0,096	22,795	0,41	99,13
17	0,076	22,871	0,32	99,45
18	0,058	22,929	0,25	99,70
19	0,046	22,975	0,20	99,90
20	0,013	22,988	0,05	99,95
21	0,008	22,996	0,03	99,99
22	0,003	22,999	0,01	100,00
23	0,001	23,000	0,00	100,00

Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Diagrama representando os fatores e seus respectivos autovalores



Serviço Geológico do Brasil – CPRM

	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidades
B ³⁺	0,319	0,262	-0,197	0,209
Ba ²⁺	-0,498	-0,260	-0,110	0,328
Zn ²⁺	-0,100	0,170	-0,837	0,740
Fe ²⁺	-0,077	0,059	-0,759	0,585
Li ⁺	0,740	-0,027	0,153	0,572
Sr ²⁺	0,072	0,853	-0,018	0,733
Mn ²⁺	-0,079	-0,178	-0,777	0,642
SiO ₂	0,014	-0,071	0,170	0,034
Ca ²⁺	-0,056	0,940	-0,010	0,887
Mg ²⁺	-0,339	0,757	-0,108	0,700
Na ⁺	0,960	-0,080	0,075	0,933
K ⁺	-0,518	0,148	0,247	0,352
F ⁻	0,658	-0,102	0,015	0,443
Cl ⁻	0,660	-0,250	-0,035	0,499
NO ₃ ⁻	-0,014	-0,408	-0,311	0,263
PO ₄ ³⁻	-0,199	-0,067	0,099	0,054
SO ₄ ²⁻	0,958	-0,151	0,028	0,941
HCO ₃ ⁻	0,592	0,715	0,105	0,872
CO ₃ ²⁻	0,885	-0,133	-0,016	0,802
pH	0,784	0,464	0,155	0,854
Temp.	0,118	0,575	0,386	0,494
Dureza	-0,091	0,953	-0,057	0,920
Condut.	0,814	0,530	0,037	0,945
Autovalor	6,494	4,948	2,360	
Proporção da Variância explicada	0,282	0,215	0,103	

Cargas das variáveis no modelo de três fatores com rotação varimax;

Em negrito, variáveis que apresentam cargas elevadas nos fatores

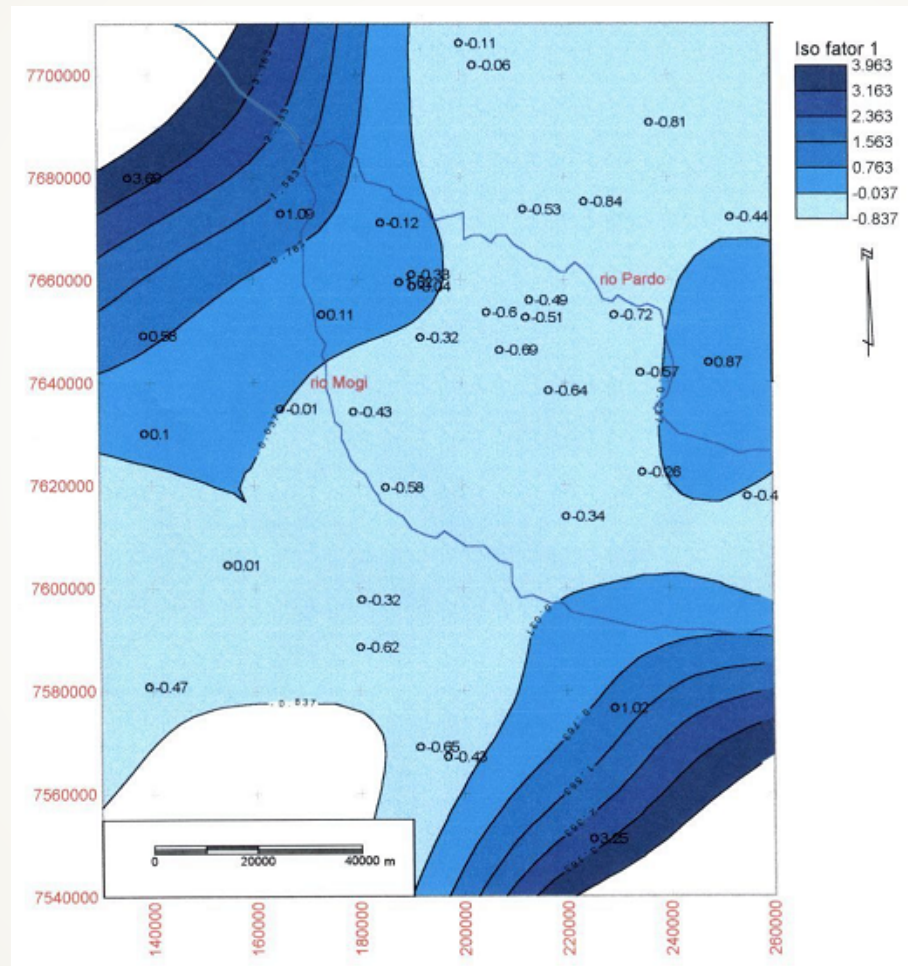
Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Valores dos scores calculados para as 38 amostras

N. Poço	Fator 1	Fator 2	Fator 3	N. Poço	Fator 1	Fator 2	Fator 3
1	0,582	1,470	-0,072	24	-0,428	-0,695	0,186
2	-0,010	1,301	0,261	25	1,016	-0,305	-0,051
4	0,872	0,074	0,146	26	-0,646	-1,078	0,131
5	3,688	-0,928	0,300	27	-0,625	-0,586	0,308
7	-0,493	-0,842	0,146	28	-0,470	-0,351	0,823
8	-0,515	-0,652	0,153	29	-0,584	-0,564	0,532
9	-0,688	0,116	0,255	31	1,618	-0,388	0,216
10	-0,604	-0,263	0,338	32	-0,042	1,057	0,496
11	-0,322	0,923	-0,722	33	-0,328	0,688	0,412
12	-0,805	-0,599	0,710	35	-0,719	-0,634	0,526
13	-0,321	1,299	-0,965	36	-0,571	-0,804	0,255
14	1,090	0,324	1,098	37	0,109	0,774	0,520
16	-0,403	-0,647	-4,599	38	-0,056	1,174	0,386
17	-0,259	-1,378	-2,201	40	-0,114	0,669	0,382
19	0,007	2,793	-1,526	42	-0,117	1,023	0,482
20	3,253	-0,830	-0,431	44	-0,530	-0,412	0,481
21	-0,431	-0,913	0,445	45	-0,837	-0,232	0,882
22	-0,338	-1,211	-0,621	46	-0,645	-0,641	0,724
23	0,102	2,170	-0,133	47	-0,436	-0,905	-0,275

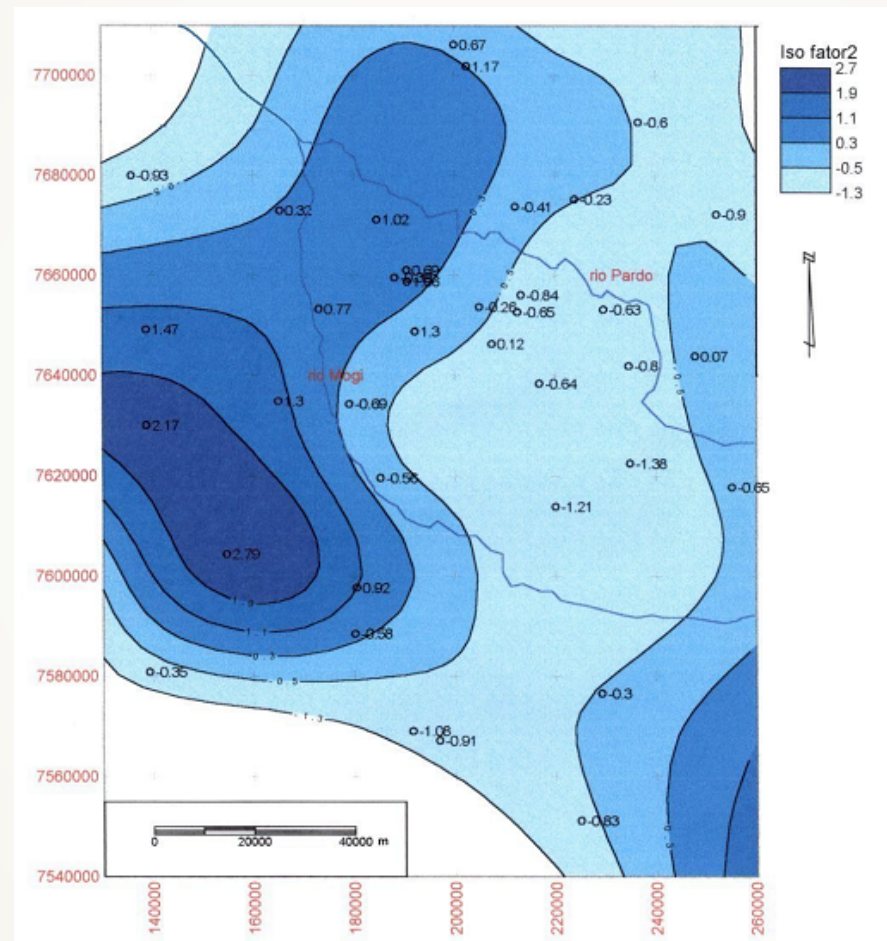
Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Distribuição espacial dos valores de Fator 1



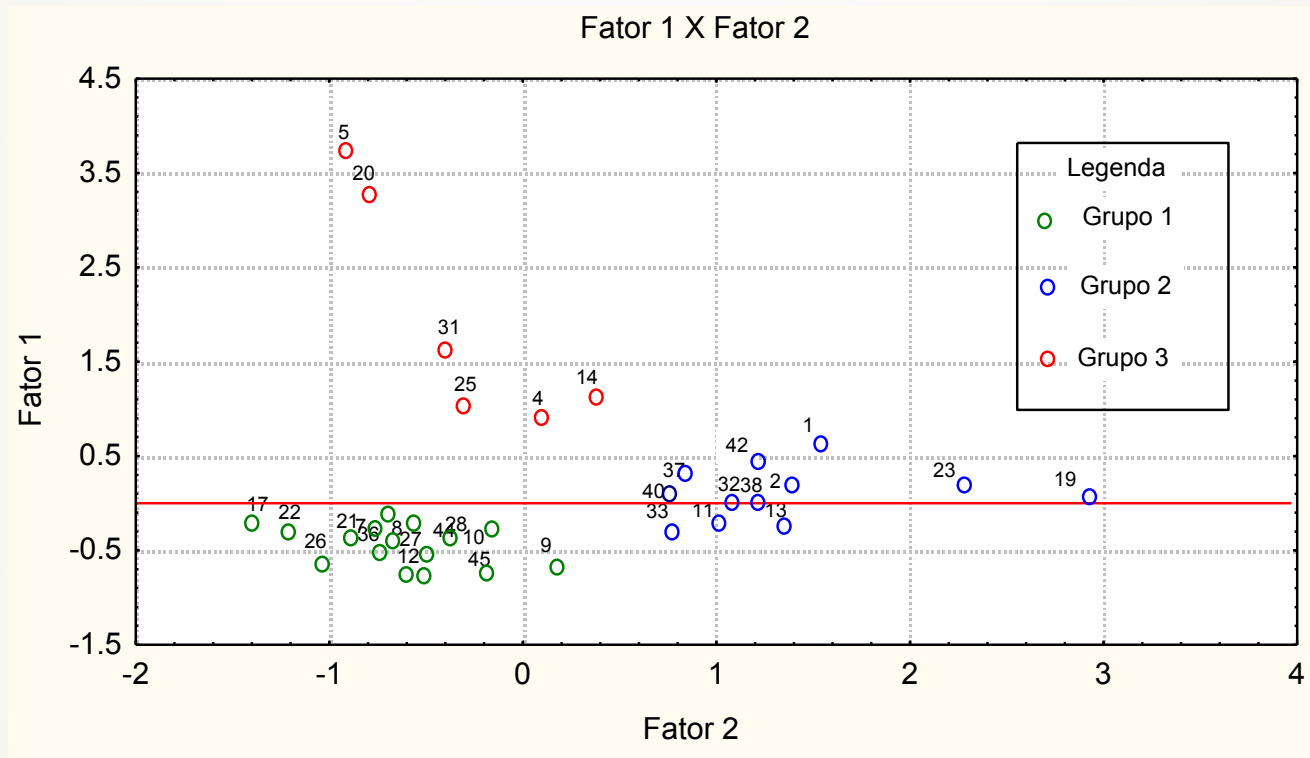
Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Distribuição espacial dos valores de Fator 2

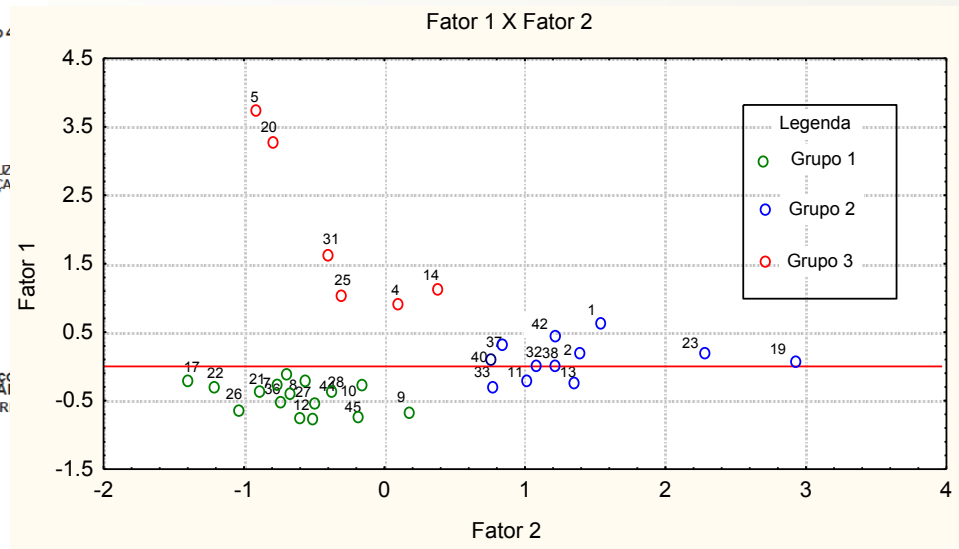
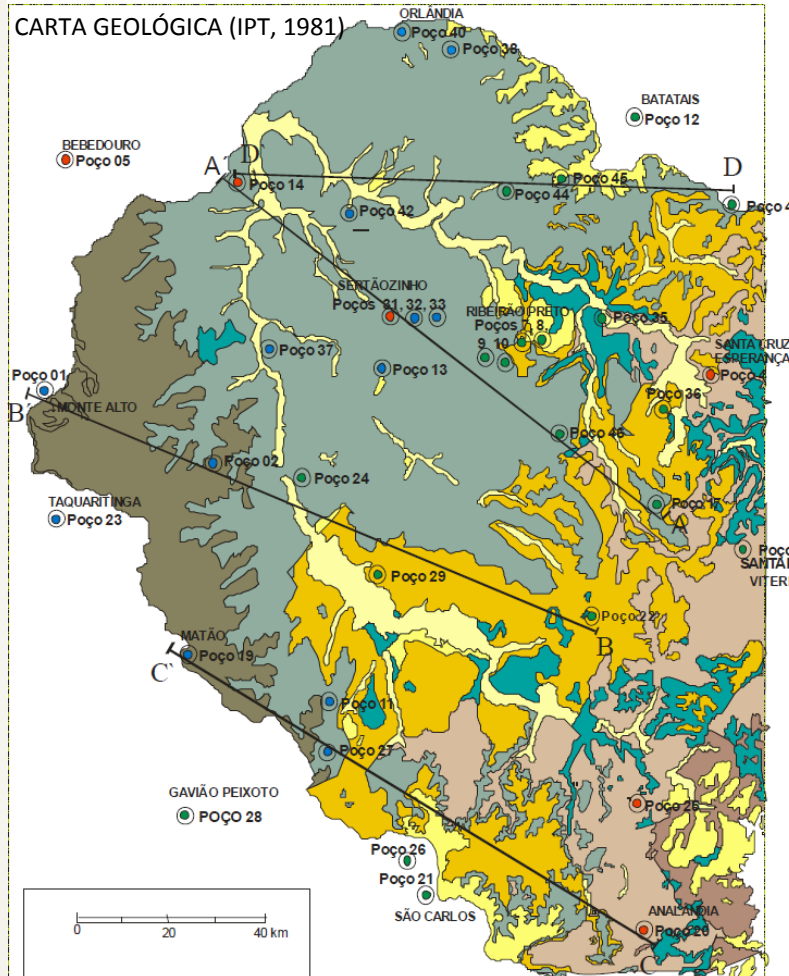


Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Diagrama Fator 1 x Fator 2



Serviço Geológico do Brasil – CPRM



Serviço Geológico do Brasil – CPRM

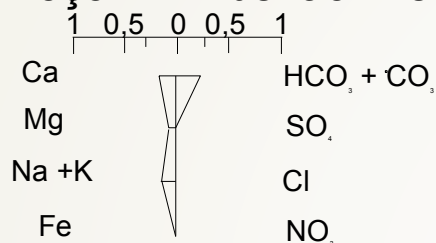
Grupos	Nº de amostras	amostras	Teores em meq/L								
			rCa/rNa+rK	rNa ⁺	rCa ²⁺	rK ⁺	rMg ²⁺	rHCO ₃ ⁻	rCO ₃ ²⁻	rSO ₄ ²⁻	rCl ⁻
Grupo 1	20	7-8-9-10-12-16 17-29-21-22-24-26 27-28-35-36-44-45-46- 47	0,7 - 2	0,01 - 0,11	0,06 - 0,47	0,03 - 0,21	< 0,29	0,09 - 0,83	< 0,017	< 0,04	< 0,03
Grupo 2	12	1-2-11-13-19-23 32-33-37-38-40-42	1,4 - 8,0	0,09 - 0,68	0,85 - 1,79	0,06 - 0,10	< 0,42	1,21 - 2,24	< 0,16	< 0,04	< 0,07
Grupo 3	6	4-5-14-20-25-31	0,02 - 0,29	1,3 - 2,9	0,04 - 0,39	0,01- 0,21	< 0,12	0,43 -2,53	< 1,69	0,02 - 0,2	< 0,182

Grupos	Valores médios		Teores médios em mg/L							
	pH	Conduct. (uS/cm)	Na ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
Grupo 1	6,07	48,79	1,46	3,92	3,59	1,29	23,68	0,5	0,14	0,28
Grupo 2	7,73	169,88	6,19	23,74	3,26	2,8	94,24	1,88	0,53	0,18
Grupo 3	8,82	234,25	46	4,3	0,95	0,26	101,78	18,43	4,83	1,63

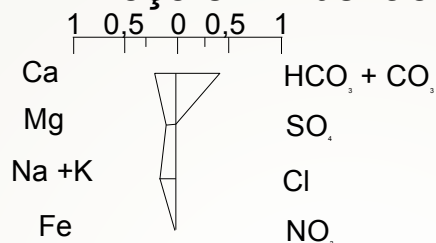
Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Diagramas de Stiff construídos para as amostras do Grupo 1

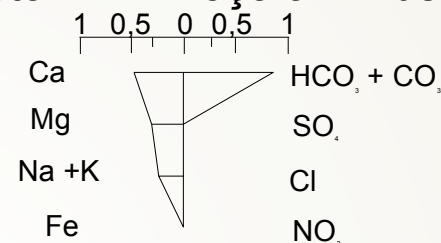
Poço 7 - Ribeirão Preto



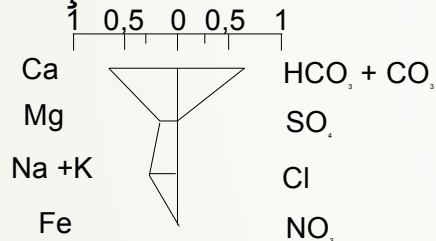
Poço 8 - Ribeirão Preto



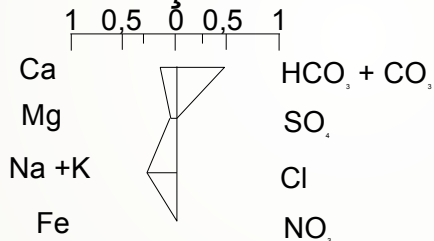
Poço 9 - Ribeirão Preto



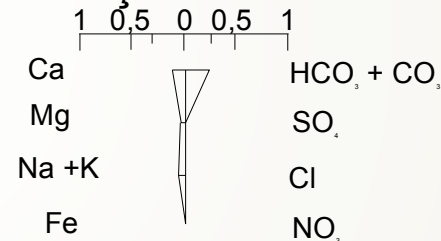
Poço 10 - Ribeirão Preto



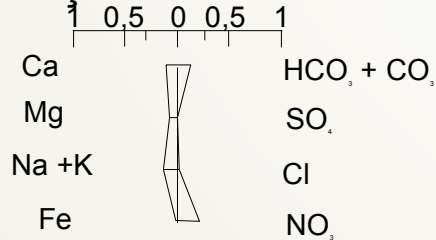
Poço 12 - Batatais



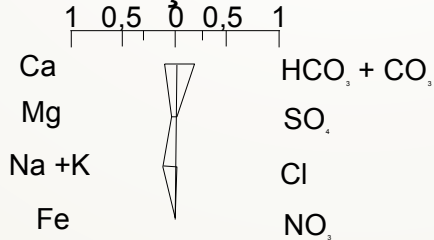
Poço 16 - S^{ta} Rosa do Vitermo



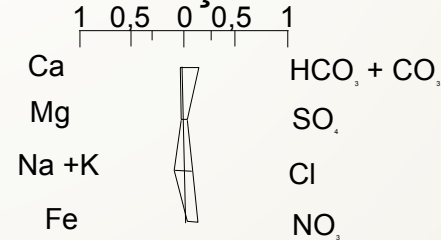
Poço 17 - São Simão



Poço 21 - São Carlos



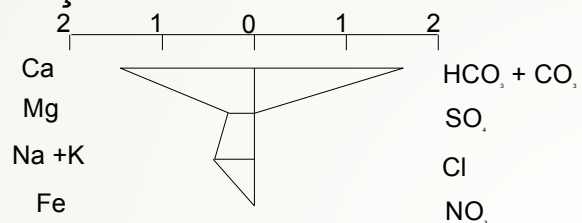
Poço 22 - Luís Antônio



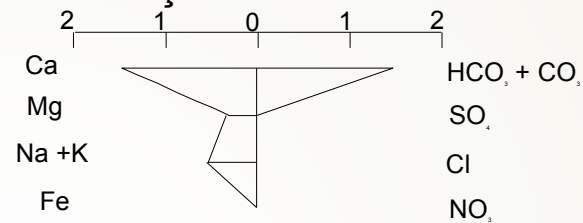
Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Diagramas de Stiff construídos para as amostras do Grupo 2

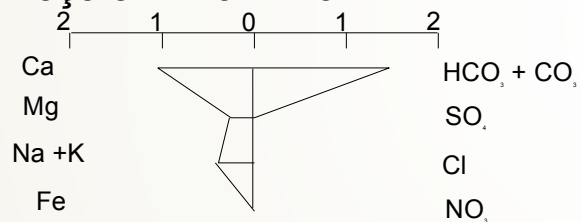
Poço 32 - Sertãozinho



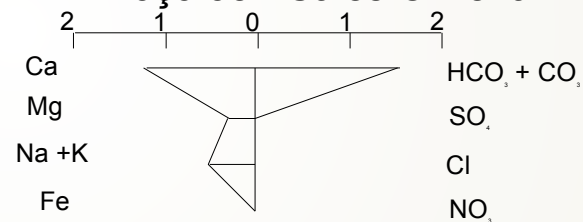
Poço 33 - Sertãozinho



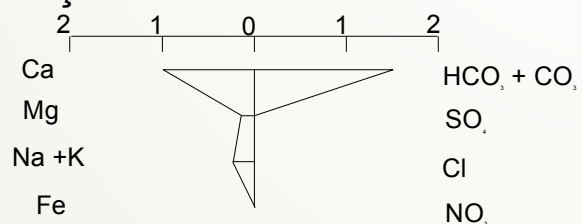
Poço 37 - Barrinha



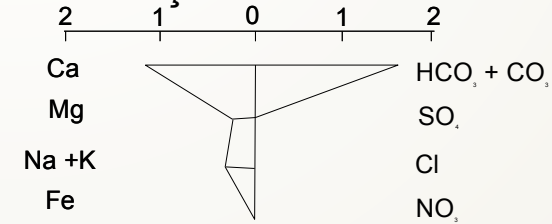
Poço 38 - Sales Oliveira



Poço 40 - Orlândia

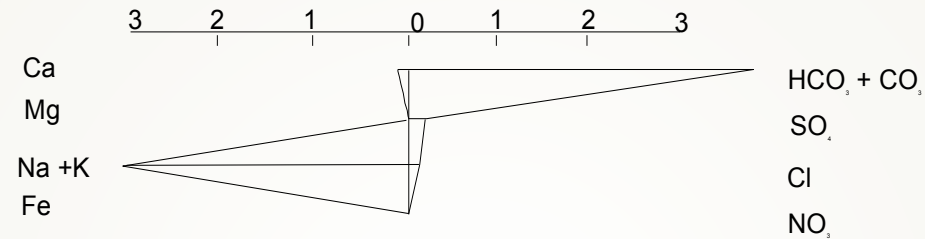


Poço 42 - Pontal

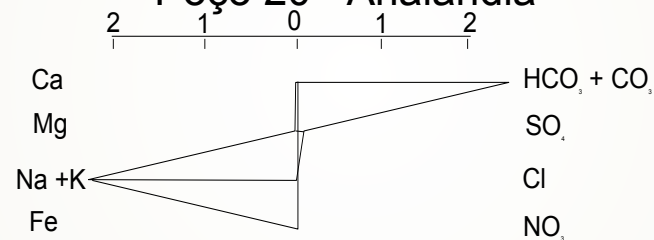


Serviço Geológico do Brasil – CPRM

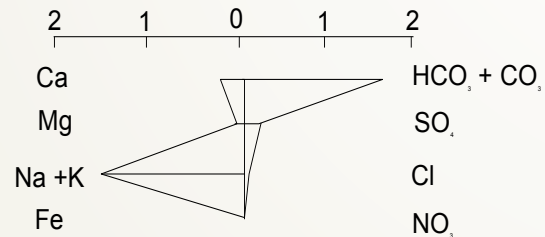
Poço 5 - Bebedouro



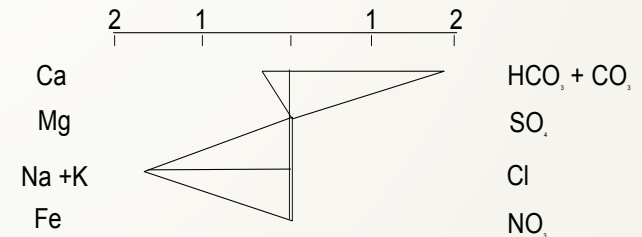
Poço 20 - Analândia



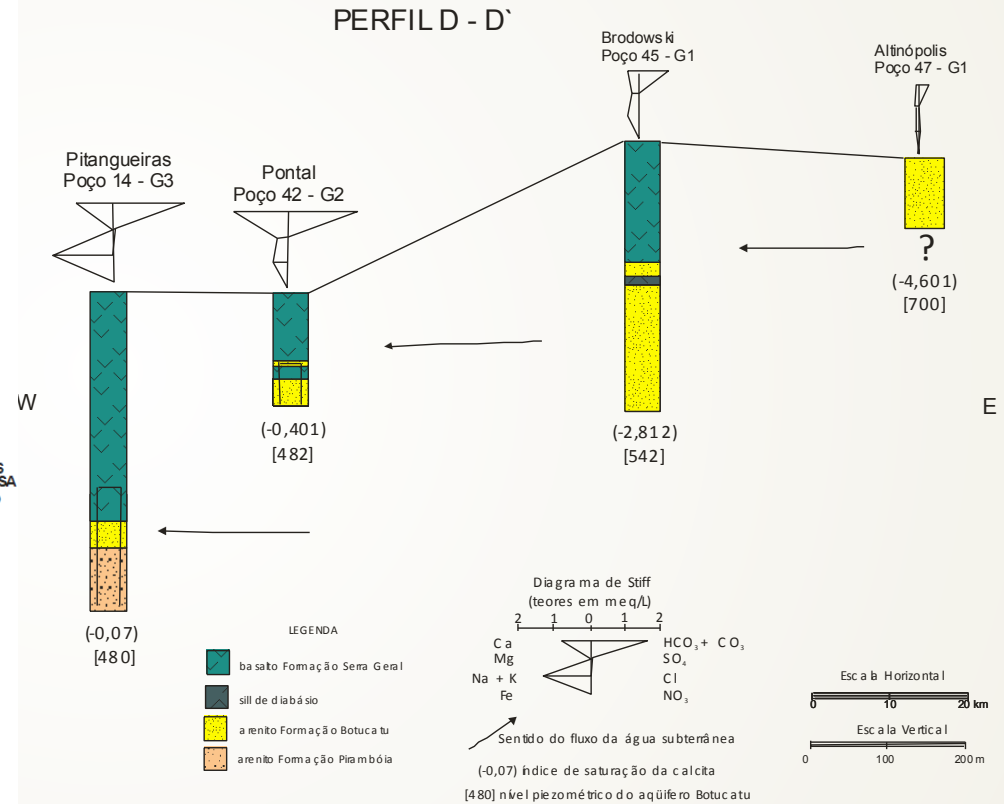
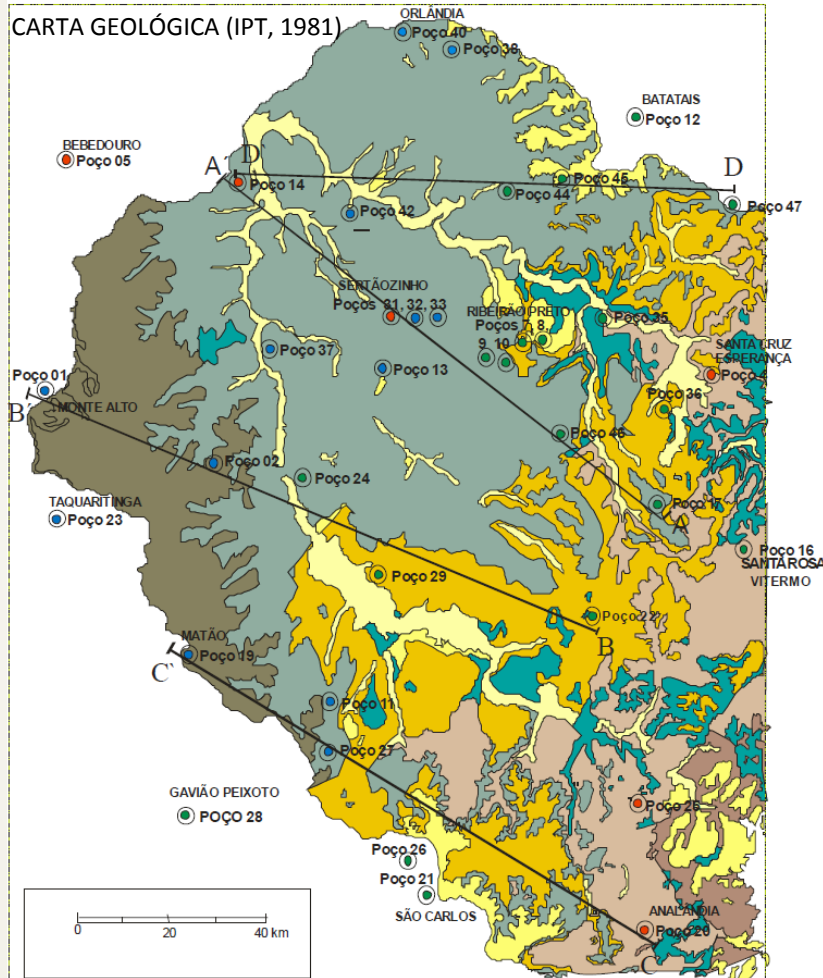
Poço 31 - Sertãozinho



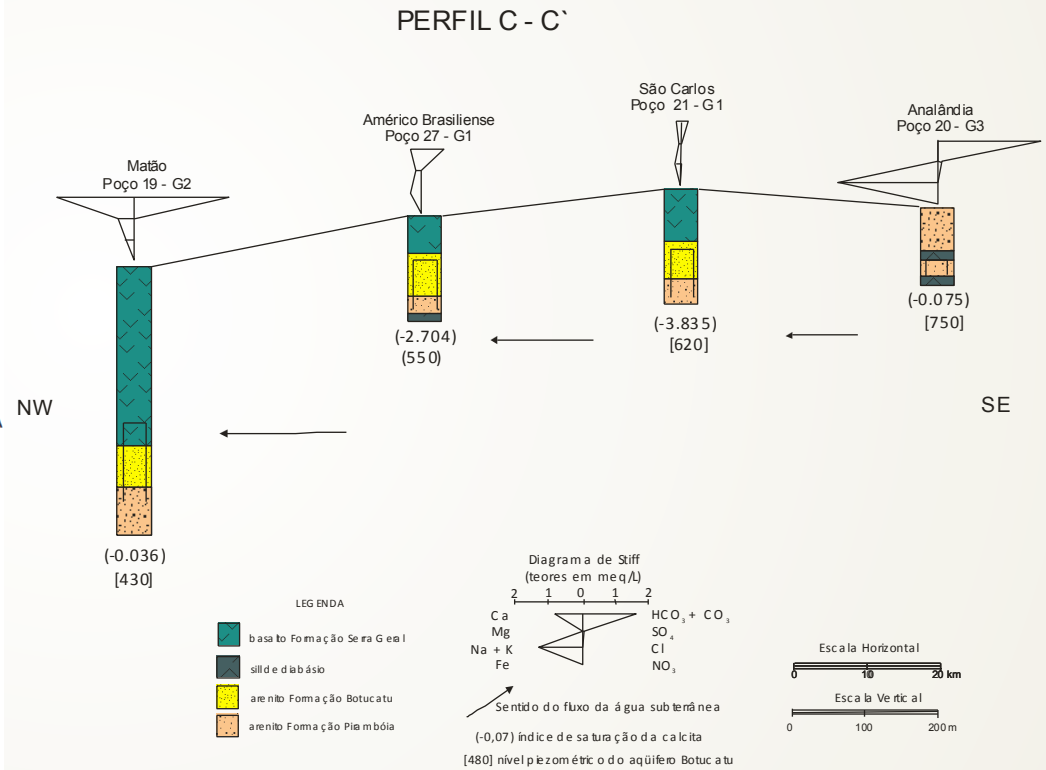
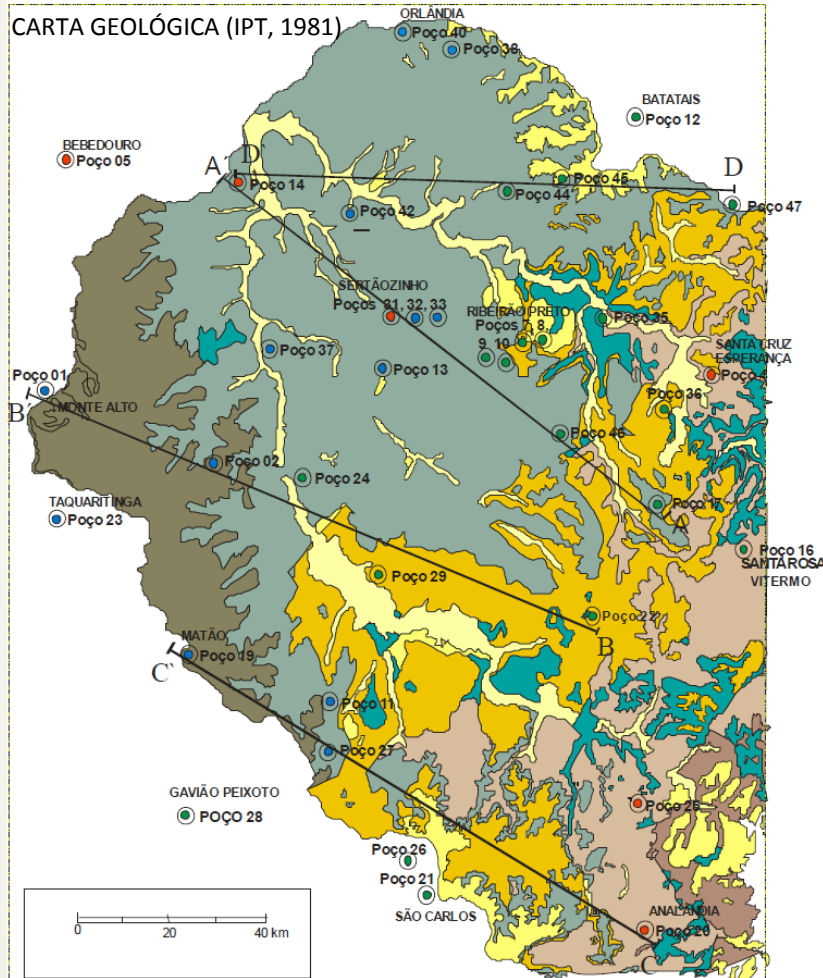
Poço 25 - Descalvado



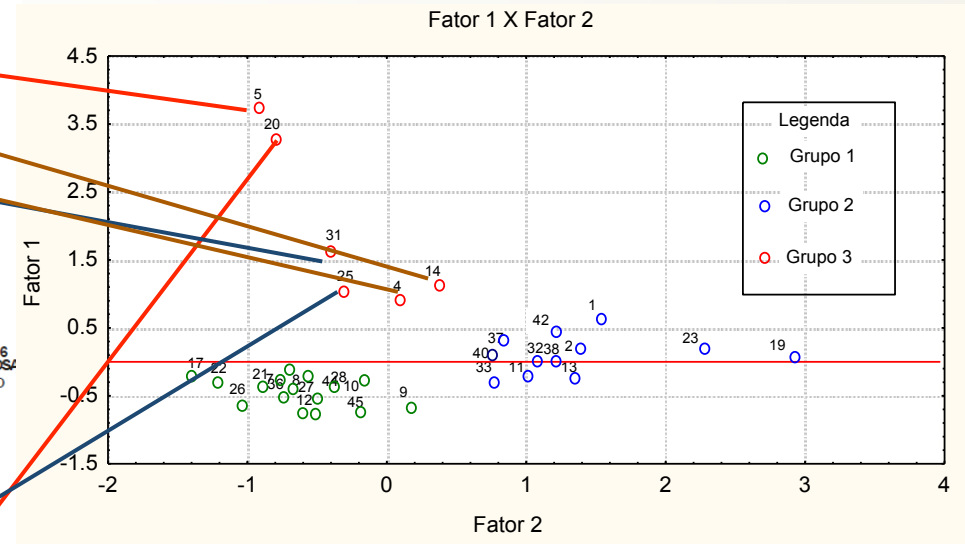
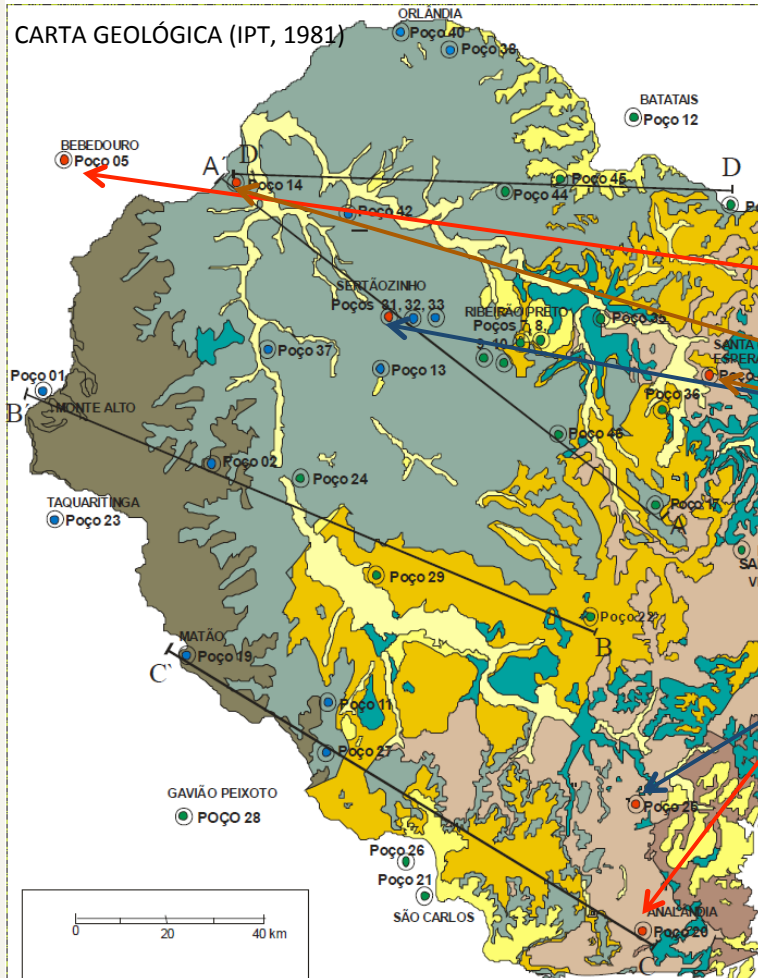
Serviço Geológico do Brasil – CPRM



Serviço Geológico do Brasil – CPRM



Serviço Geológico do Brasil – CPRM



Serviço Geológico do Brasil – CPRM

André Luís Invernizzi
Pesquisador em Geociências
andre.invernizzi@cprm.gov.br

www.cprm.gov.br