

Universidade Federal do Rio de Janeiro

**Estudo do Aquífero Localizado na Área do Complexo Mínero-
Indústrial (URA/INB) de Caetité, Bahia**

Liliane Ferreira da Silva

CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

2008



UFRJ

**Geologia Estrutural e Geoquímica Aplicados ao Estudo do Aquífero Localizado
na Área do Complexo Mírero-Indústrial (URA/INB) de Caetité, Bahia**

Liliane Ferreira da Silva

Monografia submetida ao Curso de Gradua o em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário para obten o do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador(es):

Fernando Roberto Mendes Pires
Francisco Fernando Lamego Som es Filho

Rio de Janeiro
2008

**Geologia Estrutural e Geoquímica Aplicados ao Estudo do Aquífero Localizado
na Área do Complexo Mírero-Indústrial (URA/INB) de Caetité, Bahia**

Liliane Ferreira da Silva

Orientador (es): Fernando Roberto Mendes Pires e Francisco Fernando Lamêgo S.
Filho

Monografia submetida ao Curso de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário à obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Aprovada por:

Presidente: Fernando R. Mendes Pires, Universidade federal do Rio de Janeiro

Fernando L. Simões Filho, Instituto de Radioproteção e Dosimetria

João Batista Filho, Universidade federal do Rio de Janeiro

Jorge Costa de Moura, Comissão Nacional de Energia Nuclear

Rio de Janeiro
2008

AGRADECIMENTOS

Várias foram as pessoas importantes na realização desse meu trabalho de campo IV e na minha vida acadêmica. Certamente não conseguirei me expressar como deveria, mas, algumas coisas precisam ser ditas.

Ao professor Fernando Pires (só Pires) eu agradeço o conhecimento, o tempo, os campos, as risadas e os conselhos. A frase que nunca esquecerei dele é “*Não sabe?*”

Ao Fernando Lamêgo eu agradeço por ter me introduzido a Hidrogeologia, pelo conhecimento que adquiri, pelas pessoas que conheci, pelas risadas e pela pizza em Caetité.

Ao professor João Baptista (só Juca) eu agradeço muito pela paciência, pelos conselhos e conversas que tivemos ao longo da minha vida acadêmica e por todo conhecimento que me foi passado.

Ao Jorge eu agradeço por todas as reclamações, conselhos, conhecimento e principalmente paciência.

Preciso agradecer também a pessoas muito especiais, meus amigos, sempre presentes em todos os momentos dando um colorido todo especial a minha vida, e como amizade é o bem mais precioso que se pode ter, agradeço a todos por serem colegas, orientadores, mas, acima de tudo, **Amigos**.

Pires mandou cair dentro da drenagem
E lá vou eu, e lá vou eu
No sol que brilha, com as cobras pela trilha
Lindas dobras que eu sonhei

Vem, vem doutor!
O afloramento todo se dobrou
Na simetria tem Z tem S e o resto redobrou

Meça esse plano!
Chapa a bússola e meça a inclinação,
Vê se é pra norte ou sul
e vá pro Curuçu
que eu quero é a direção

Eu vou tomar um porre de xistosidade
Vou anotar lineação e a clivagem

Eu vou tomar um porre de xistosidade
Vou anotar lineação e a clivagem

E agora? E agora?
no micaxisto crenula tudo
itabirito é silicoso
em outros pontos só tem filito

É uma droga
Em Caeté na segunda tudo fecha
Ó, mas que xonga
nesta cidade eu só vejo sapironga

Manda o Martelo para o alto
e a amostra joga fora
guarda essa lupa que já `tamo indo embora

Pires mandou...

Um plágio feito pelos alunos Jorge Moura (Jesus) e Augusto, turma de 1990, Andrei e Jr, turma de 1991, do samba enredo da União da Ilha no carnaval de 1989. Autores: Giovanni Riente & Alexandre Louzada.

RESUMO

Geologia Estrutural e Geoquímica Aplicados ao Estudo do Aquífero Localizado na Área do Complexo Mírero-Indústrial (URA/INB), Caetité, Bahia, Brasil

Liliane Ferreira da Silva

Orientador (es): Fernando Roberto Mendes Pires e Francisco Fernando Lamêgo S. Filho

A presente monografia tem por objetivo apresentar uma contribuição ao estudo do aquífero existente na área da Mina Cachoeira (anomalia 13), Distrito Uranífero de Lagoa Real, localizado na cidade de Caetité, Bahia, região nordeste do Brasil. O trabalho ora realizado enfoca a determinação da estrutura do aquífero e sua condição de armazenamento de água. Essa determinação estrutural foi realizada a partir de levantamento geológico de campo e interpretação de dados geoquímicos das águas de poços existentes na região da mineração. Resultados preliminares indicam um sistema aquífero fissural aberto, combinado com porosidade cárstica localizada, de alta permeabilidade e pouca retenção de água. A composição do Na e Cl nos poços, mostram adição entre janeiro de 1998 e setembro de 1998, interpretado como antrópica e possivelmente atribuída a construção de uma barragem no local. A dispersão desses elementos nos poços reforça a hipótese da intercomunicação do aquífero. A distribuição do Ba sugere comportamento normal, dentro dos limites de solubilidade (constante do produto de solubilidade para sulfato de bário é $1,0 \times 10^{-10} K_{ps}$). No caso do SO_4 existem indícios de incrementos ao longo do tempo. A precipitação de Barita (e/ou Whiterita em zonas castiças) controla o comportamento do bário. A distribuição do pH (próxima da neutralidade) indica diluição dos íons, reforçando a hipótese de aquífero aberto. Índices de Ra (^{226}Ra e ^{228}Ra) apresentam-se abaixo do produto de solubilidade em razão da precipitação de sulfato e carbonato de rádio. Dados de perfuração mostram que falhas e fraturas abertas, geradas no plano de acamamento do gnaiss são conectadas por fraturas sub-horizontais que são o principal meio de comunicação da água que percola o sistema. As fraturas sub-horizontais foram observadas a profundidades de até 90 metros. Dados geoquímicos indicam ainda que existe uma vulnerabilidade ambiental, porque a água que infiltra no aquífero rapidamente se perde para fora do ambiente da mineração, fazendo com que, em caso de acidentes com vazamento, a poluição ultrapasse os limites da mineração podendo poluir a água a jusante da mineração.

Palavras-chave: Aquífero, geoquímica, ambiental

Rio de Janeiro
2008

ABSTRACT

Structural geology and geochemistry applied to the study of the aquifer located in the area of the Mine-Industry Complex (URA/INB), Caetité, Bahia, Brazil

Liliane Ferreira da Silva

Orientador (es): Fernando Roberto Mendes Pires e Francisco Fernando Lamêgo S. Filho

The geological study of the aquifer at the Mina da Cachoeira-Anomalia 13, Distrito Uranifero de Lagoa Real, Caetite, Bahia, resulted in the delineation of the aquifer, its control in the water accumulation and recharge. Geochemical and structural data support the indication of an open, fissural aquifer established by a fracture system comprising sub-horizontal and sub-vertical joints superimposed to the gneiss foliation and mylonitic shear zones. Localized karst zones may have affected water percolation due to the differential porosity and permeability. The dispersion of Na and Cl in the wells suggest anthropogenetic action, by their additions in the water between January-98 and September-98, attributed to a dam building nearby the site. That dispersion also corroborated the aquifer intercommunication. The Ba-distribution in the water indicates normal behavior within the solubility limits, implying slow SO₄-increments. Baryte and whiterite depositions nearby the karst zone may control Ba-distributions. Water neutrality strongly indicates ion dilution and the open aquifer structure. The low concentrations of ²²⁶Ra and ²²⁸Ra isotopes in the water are due to Ra-sulphate and -carbonate precipitations. The environmental vulnerability of the aquifer system, due to the fracture distribution outside the site may contribute to the regional contamination.

Key-Words: *Aquifer, geochemistry, environmet*

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	vi
<i>ABSTRACT</i>	viii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE FOTOS	viii
LISTA DE TABELAS	viii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Geologia Regional	1
1.3 Caracterização Climática e Hidrogeológica	3
1.6 Pedologia	4
2 MATERIAIS E MÉTODOS	4
3 RESULTADOS	5
3.1 Geologia Local	5
3.2 Geologia Estrutural	11
3.3 Hidrogeoquímica	23
4 CONCLUSÕES	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
Anexos	

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Tabela 1: Evolução Geológica e geocronológica.	2
Figura 01: Representação esquemática do aquífero.	4
Figura 02: Sistema de fraturas.	6
Figura 03: Sigmóide em zona rica em quartzo.	6
Figura 04: Desenho esquemático do gnaiss “zebra”.	7
Figura 05: Biotita quartzo gnaiss, ou gnaiss zebra.	8
Figura 06: Microclina quartzo albitito gnaiss.	8
Figura 07: Biotita albitito gnaiss.	9
Figura 08: Desenho esquemático mostrando passagem de fluido..	9
Foto 01: Dique de diabásio.	10
Foto 02: Sistema de fraturas mergulhando para NE e fraturas sub-horizontais.	12
Foto 03: Boudin	13
Foto 04: Fraturas sub-horizontais.	13
Foto 05: Gnaiss bastante alterada, prótólito do horizonte C.	14
Foto 06: Gnaiss “zebra.	14
Foto 07: Enriquecimento de biotita ao longo das zonas de cisalhamento.	15
Foto 08: Piroxênito Albitítico com concentrações de com arbonato.	15
Foto 09: Plano de falha interceptado por fraturas sub-horizontais.	16
Foto10: Fraturas sub-horizontal.	17
Foto 11: Fraturas sub-horizontais.	16

Figura 10: Mapa Geológico com o limite da área do Complexo Minero-industrial e com as seções feitas no Córrego do Engenho e no Riacho Cachoeira.	18
Figura 11: Exemplo da descrição de dois poços produtores	19
Figura12: Exemplo da descrição de poços secos	20
Figura 13: Exemplo da descrição de dois poços produtores.	20
Figura 14: Exemplo da descrição de poços secos	21
Figura 15: Exemplo da descrição de dois poços produtores.	21
Figura 16: Exemplo da descrição de dois poços produtores	22
Figura 17: Estruturas principais da lâmina e elipsóide de esforços mostrando σ_1 onde o esforço é compressional e σ_3 onde houve estiramento.	23
Figura 18: Diagrama de <i>Piper</i> .	29

1. Introdução

O Distrito Uranífero de Lagoa Real foi descoberto durante a execução de uma série de levantamentos geofísicos (gamaespectrometria aérea e terrestre), realizados entre 1974 e 1979, que levaram a identificação de 19 anomalias. Está localizado numa região montanhosa do centro-sul do estado da Bahia, a cerca de 20 km a nordeste da cidade de Caetité.

Levantamento posterior mais detalhado de aerogamaespectrometria levou à descoberta de 34 ocorrências uraníferas adicionais. Dentre as áreas mineralizadas está a jazida Cachoeira (anomalia 13), mais conhecida como Complexo Minero-industrial (URA), dentro dos limites do qual se encontra a região de interesse neste estudo, que é a bacia hidrográfica do riacho das Vacas, até as proximidades de sua afluência ao riacho Fundo, inserida na bacia hidrográfica do rio de Contas.

1.1 Objetivos

Conhecer o sistema aquífero da área. Na região existem rochas ígneas e metamórficas, onde a porosidade é secundária e a acumulação de água se dá ao longo das falhas, fraturas e foliação das rochas, assim como, em bolsões carbonáticos gerados por processo cárstico. O conhecimento desse aquífero é importante pois o local de estudo faz parte do semi-árido nordestino onde os recursos hídricos subterrâneos são fonte de água relevante para a população.

1.2 Geologia Regional

Na região de Lagoa Real-Caetité, centro-sul da Bahia, gnaisses e migmatitos do Complexo Paramirim (CP) concentram mineralizações uraníferas, representando 34 anomalias, numa faixa de cerca de 35 km de extensão no sentido norte-sul, e 5 km de largura. Faixas da Seqüência Espinhaço estão distribuídas a oeste (serra do Espinhaço) e este-nordeste (Chapada Diamantina) da zona mineralizada. Gnaisses arqueanos e eoproterozoicos (CP)

predominam em toda a área e encaixam estreitas faixas de gnaisses calcossilicáticos, anfibolíticos, charnockíticos e graníticos. Corpos de granito São Timóteo, cisalhados ao longo dos contatos formam corpos alinhados no sentido norte-sul. Fortes zonas de cisalhamento afetam todas as seqüências litológicas. Um quadro mostrando a evolução geológica (e geocronológica) dos eventos é mostrado em seguida:

Evento	Idade (Ga)	Autor e Método
Formação do Craton São Francisco	Arqueano	Almeida (1977)
Formação do Craton Paramirim	2,6	Inda e Barbosa (1978)
Estabilização do Craton Paramirim	2,2-1,8	Almeida (1977)
Retrabalhamento do Craton Paramirim	1,9-2,0 1,83-1,14 0,7-0,45	Rb/Sr - Inda e Barbosa (1978) K/Ar-Távora (1967) Rb/Sr - Inda e Barbosa (1978)
Retrabalhamento do embasamento	0,7-0,455	Inda e Barbosa (1978)
Espinhaço-vulcânicas	1,0	Rb/r-Jardim de Sá et al. (1976)
Espinhaço-metamorfismo	0,75	Rb/Sr- Jardim de Sá et al. (1976)
Espinhaço-deformação/metamorfismo	1,2-1,3	Moutinho da Costa (1976) Schobbenhaus (1976)
Espinhaço-pos-tectonismo	1,0-0,95	Jardim de Sá et al (1976) Inda e Barbosa (1978) Jardim de Sá (1978)
Gnaisses de Lagoa Real-Migm. Embasamento	2,6	Rb/Sr-Cordani (1982,83)
Microclina Gnaiss-Lagoa Real (U-mineralização?)	1,52	Rb/Sr-Cordani (1982,83)
Granito São Timóteo	1,75	Rb/Sr-Cordani (1982,83)
Granito São Timóteo-intrusão (?)	0,58-0,475	K/Ar- Inda e Barbosa (1978)
Anfibolito em Microclina gnaiss	0,624	U-Pb-Cooper (1979)
Albitito (U-mineralização)	0,82	U-Pb-Cooper (1979)

Biotita em Microclina Gnaiss	0,738 e 0,677	K/Ar-Armstrong (1985)
Albitito (U-mineralização)	0,687	K/Ar-Armstrong (1985)
Zircão-granito cisalhado e não cisalhado	1,725	U/Pb,Rb/Sr,Sm/Nd-Turpin et al !988)
Conc:Magn+zircão+uraninit a, discórdia superior e inferior	1,4 e 0,48	U/Pb,Rb/Sr,Sm/Nd-Turpin et al !988)

Tabela 01: Evolução geológica e geocronológica dos eventos.

1.2 Caracterização Climática e Hidrogeológica

O clima regional caracteriza-se por apresentar verões quentes e invernos frescos a quentes, com chuvas concentradas no verão e estação seca no inverno, e umidade do ar média anual de 69%. O escoamento superficial, nesses cursos d'água, ocorre basicamente nos períodos de maior precipitação dentro da estação chuvosa (novembro a março). Na estação seca, os leitos desses rios geralmente se apresentam secos. O mês mais quente é outubro, com temperaturas médias de 22,6° C e mínimas de 17,0°C, e o mês mais frio é julho, com temperaturas médias de 19,1° C e mínimas de 13,7° C.

O aquífero objetivo deste estudo é fissural, ou seja, o fluxo das águas subterrâneas ocorre principalmente através de descontinuidades da rocha. Nestas rochas, devido à sua baixa porosidade primária, esse fluxo dá-se através dos planos de foliação, e principalmente através das linhas de intersecção entre a foliação e outras descontinuidades, como fraturas, falhas e juntas.

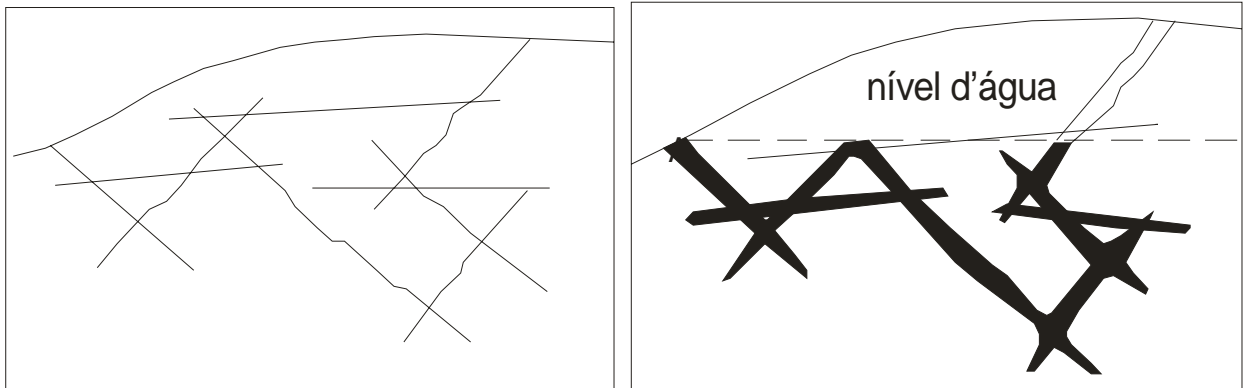


Figura 01: Na primeira vemos um exemplo da organização espacial das estruturas da área, e na segunda, observamos esquematicamente como se dá o acúmulo de água.

1.3 Pedologia

O solo é um saprolito pouco espesso e pouco evoluído. Pode-se distinguir apenas uma camada de solo sobreposta ao substrato rochoso, visualiza-se um misto de rocha alterada e horizonte C coberto por um nível de horizonte A, mantendo as características do protólito. Nas drenagens, às margens dos rios, ocorrem depósitos aluvionares com seixos em matriz suportada. A matriz é de areia muito grossa, que denota regime de tração de alta energia.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados nas atividades de campo os perfis litológicos e descritivos dos poços, o Mapa Geológico da área estudada, com a localização dos poços tubulares da INB (3.3-4), em escala 1:25.000, o mapa do Projeto Lagoa Real/ Mapa base/ Recurso Hídrico Subterrâneo/ Poços Tubulares, em escala 1:10.000, imagens do Google Earth, bússola, martelo geológico, fotografias aéreas em escala 1:25.000 fornecidas pela INB e cintilômetro. Esse material foi utilizado para apoiar as atividades de campo, confirmar a geologia da área comparando-se os perfis litológicos dos furos de sondagem com o Mapa Geológico. Deve-se ressaltar que em muitos casos a descrição litológica do Mapa Geológico não foi totalmente condizente com as descrições dos furos de sondagem.

Nas atividades de escritório, usando descrições de furos de sondagem, buscou-se localizar os poços produtores e os secos correlacionando com a existência ou não de fraturas para mostrar a importância destas com a acumulação de água..

A partir de dados dados históricos de análises químicas das águas fornecidos pela Indústrias Nucleares do Brasil (INB), procedeu-se as análises composição química das águas dos poços tubulares, e das descrições de furos de sondagem com o intuito de correlacionar os dados para entender o grau de comunicação entre as estruturas e, por conseguinte, a comunicabilidade na área analisada do aquífero. A análise desses dados foi suportada por atividades de campo visando a caracterização do aquífero..

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 GEOLOGIA LOCAL

Observou-se muitos gnaisses com variações texturais e composicionais, quartzitos e dique de diabásio. As rochas gnáissicas do Complexo Lagoa Real afloram em grande parte da área de influência do empreendimento minerário, exibindo forte controle estrutural (foliação regional) de direção NW-SE, as medidas de xistosidade (S_x) são de aproximadamente $020^\circ/55^\circ$ (dip/dip), podendo haver variações locais tais como: $055^\circ/65^\circ$, $90^\circ/70^\circ$, $070^\circ/68^\circ$ (dip/dip). Todo o conjunto de rochas está fortemente fraturado, com fraturas que vão de sub-verticais a sub-horizontais (Figura 04) As fraturas sub-horizontais são as mais recentes cortando todas as outras estruturas e chegam a profundidades de 90 metros como observado na base da cava mais profunda, isto também foi observado nas descrições dos furos de sondagem fornecidos pela INB.

Há na área uma grande zona de cisalhamento, onde se observa faixas de zonas cisalhadas , alternadas por faixas pouco cisalhadas. Nas pouco cisalhadas há grande variação de gnaisses, ocorrendo também milonitos e quartzito. As zonas cisalhadas são caracterizadas

por estruturas sigmatóides, truncamento do Sx e sistema de fraturas (Sf) com orientação preferencial de 080°/80°. Biotitito se concentra ao longo dessas zonas (Figura 05)

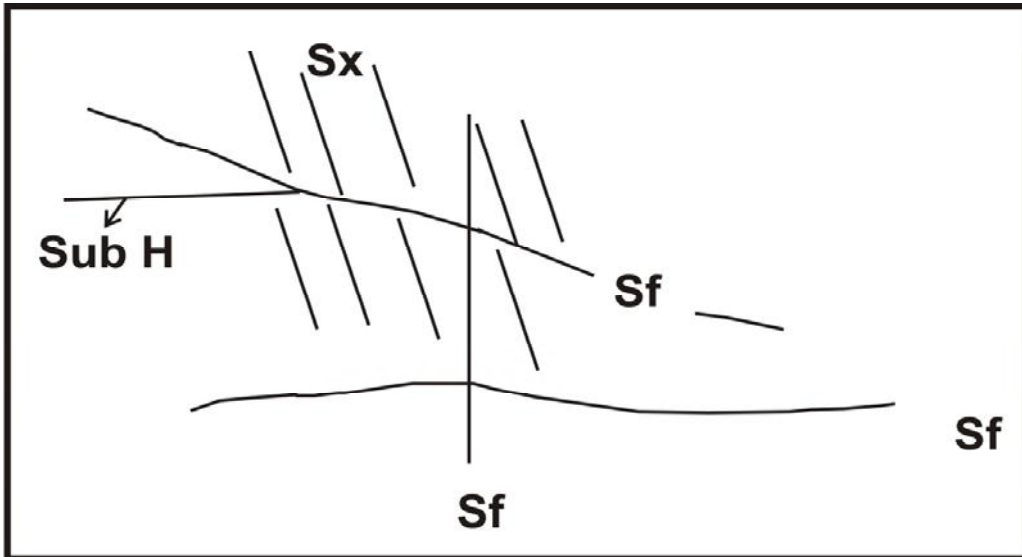


Figura 02: Interseção de estrutura: Xistosidade da rocha (Sx) 020°/55° (medida em dip/dip), os sistemas de fraturas (Sf) 035°/20°, 078°/52°, 045°/52°, 060°/52°, 068°/52° e 062°/52° (medidas em dip/dip) e as fraturas sub-horizontais (Sub-H).

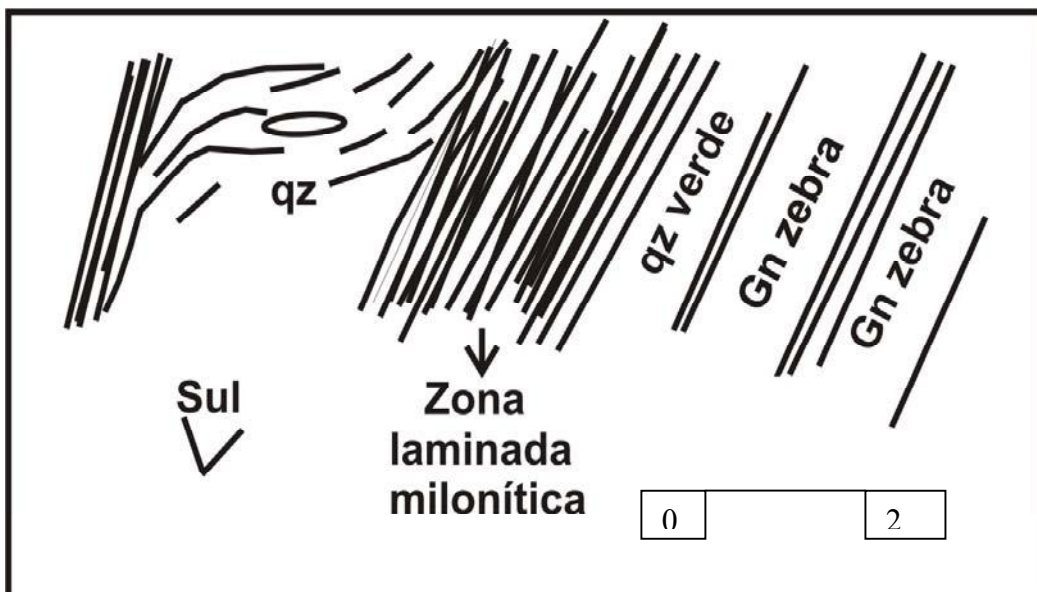


Figura 03: Sigmóide em zona rica em quartzo: Uma variação litológica alternada por zonas de cisalhamento. Gn "Zebra" refere-se ao gnaisse (denominado no campo rico) em lentes de Biotita. Qz verde refere-se a rocha composta por Quartzo e Epidoto.

3.1.1 Petrografia dos gnaisses

A variação mais marcante dos gnaisses está na quantidade de minerais máficos e félsicos, além de Carbonatos. Segue abaixo uma breve descrição de alguns litotipos, segundo estudo petrográfico.

Gnaissse “Zebra”- Comum na área, foi assim denominado por apresentar lentes de Biotita (Figura 06) constituído por Quartzo Biotita Gnaissse com Sx $020^{\circ}/65^{\circ}$ e lineação *down dip*. Apresenta assembléia mineral composta por; plagioclásio (albita) peritítico, quartzo, microclina, biotita, hornblenda, titanita, carbonato, muitos minerais opacos, zircão e apatita (Figura 07). Os minerais opacos apresentam-se envoltos por titanita e algumas veses por carbonato encontrando-se também neles *fission tracks*, estruturas causadas por radioatividade. Viu-se no gnaissse *Zebra* em alguns locais, finas intercalações de Biotita e bandas miloníticas.

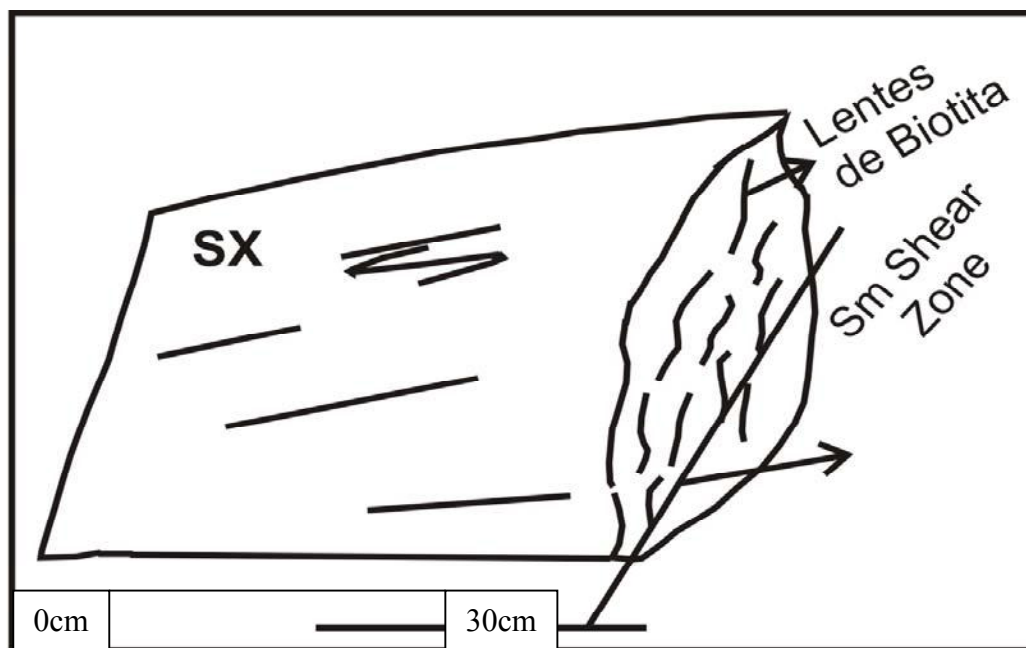


Figura 04: Desenho esquemático do Gnaissse “Zebra”, assim denominado por apresentar lentes de Biotita. A xistividade (Sx) é $019^{\circ}/6^{\circ}5$ (medida em dip/dip).

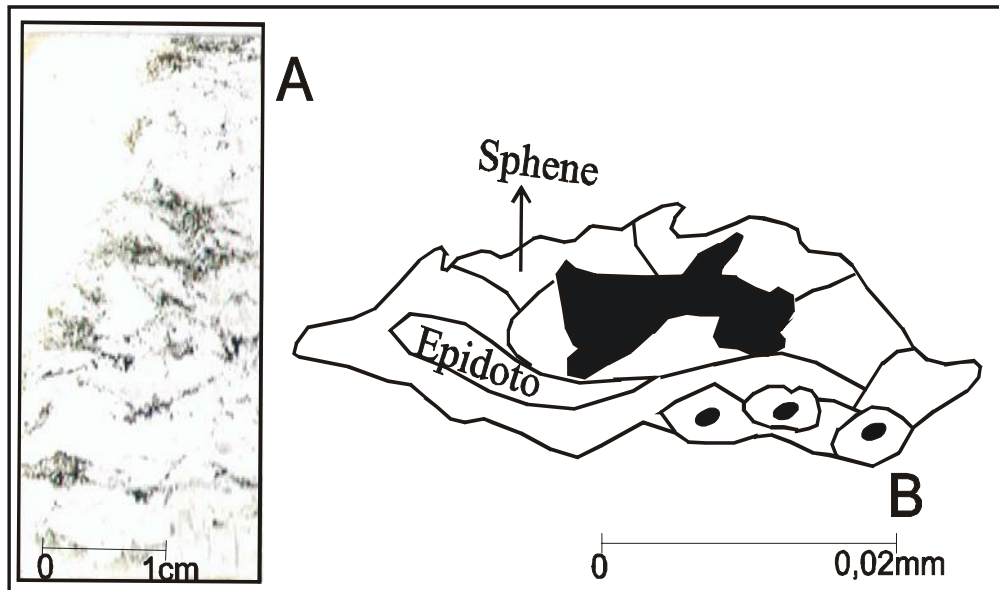


Figura 05: Em A- Biotita Quartzo gnaiss, ou gnaiss zebra. Em B, vemos uma associação típica de Titanita com minerais opacos e epidoto.

Microclina Albita Gnaiss- Mais félsico com assembléia mineral composta por microclina, quartzo, epidoto, titanita, plagioclásio e minerais opacos (Figura 08).

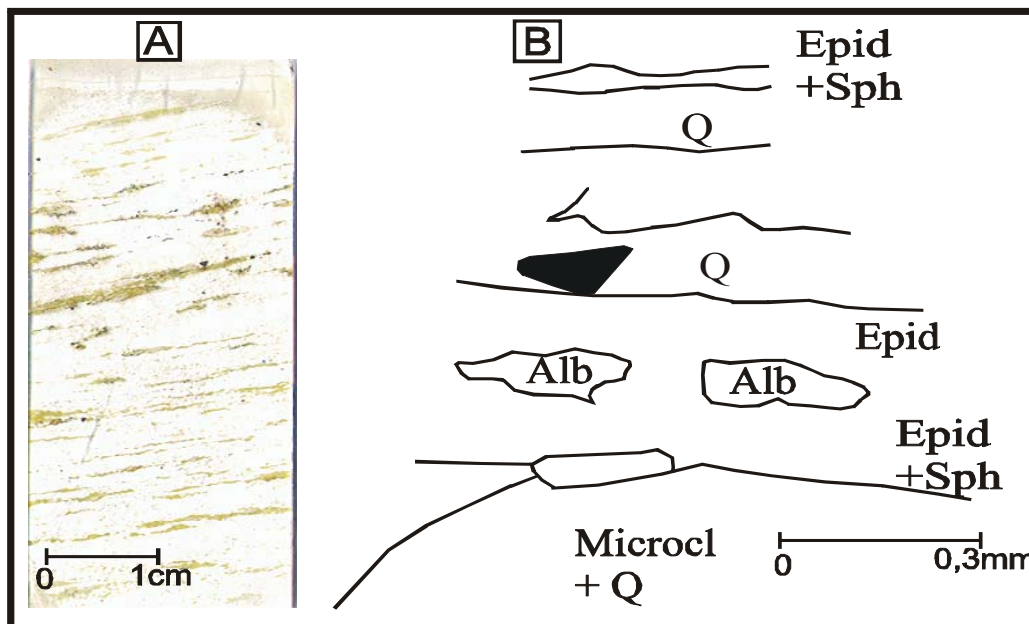


Figura 06: Em A: Microclina Quartzo Albitito gnaiss, imagem da lâmina e exemplo. Em B, exemplo da associação mineralógica, sendo epidoto (Epid), titanita (Sph), albita (Alb), microclina (Microcl) e quartzo (Q).

Biotita Albitito gnaiss- As biotitas encontram-se orientadas segundo Sx da rocha e há nítida foliação anastomosada. A assembléia mineralógica é composta por pertita, plagioclásio, microclina, quartzo, carbonato e minerais opacos. Em lâmina notam-se núcleos de

plagioclásio corroído em pertitas e em menor quantidade, núcleos de carbonatos também corroídos (Figura 09) Podemos interpretar por estes dados que houve a passagem de um fluido $H_2O + K + CO_2$ (Figura 10).

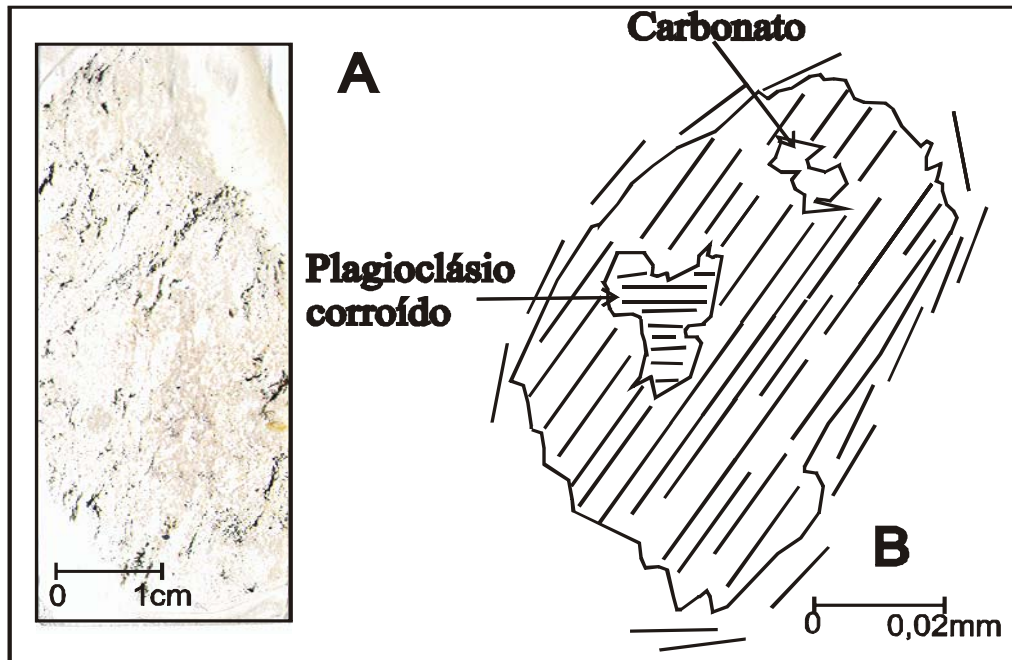


Figura 07: Em A: Biotita Albitito gnaisse. Em B, vemos um aspecto comum que são os k-feldspatos com inclusões de plagioclásio e carbonatos corroídos.

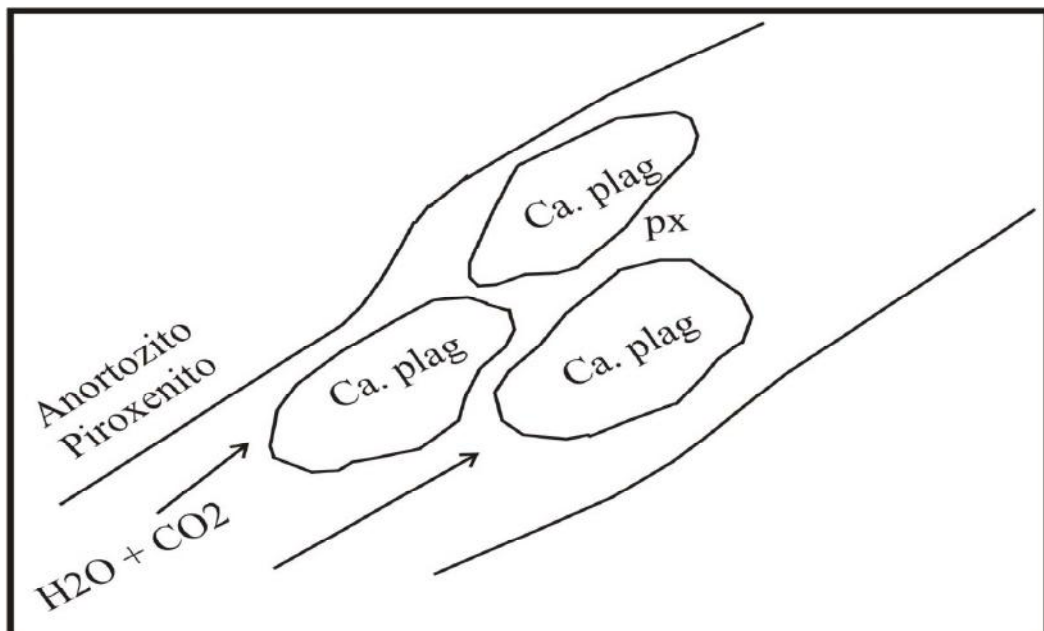


Figura08: Desenho esquemático mostrando passagem de fluido ocasionando a corrosão dos Plagioclásios e gerando K-feldspatos (pertitas) contendo em seu interior núcleos de Plagioclásio corroídos.

Quartzito verde- A assembléia mineralógica é composta basicamente por uma alternância de Quartzo e Epidoto (35% de Epidoto, 60% de Quartzo e 5% de Titanita) e minerais opacos.

Dique- Corresponde a rocha discordante de coloração preta-esverdeada, maciça, de granulação fina, equigranular orientada e interpretada pelos geólogos da mina como dique de diabásio (Foto 01). Os principais minerais formadores são a labradorita, a angita e a hornblenda.

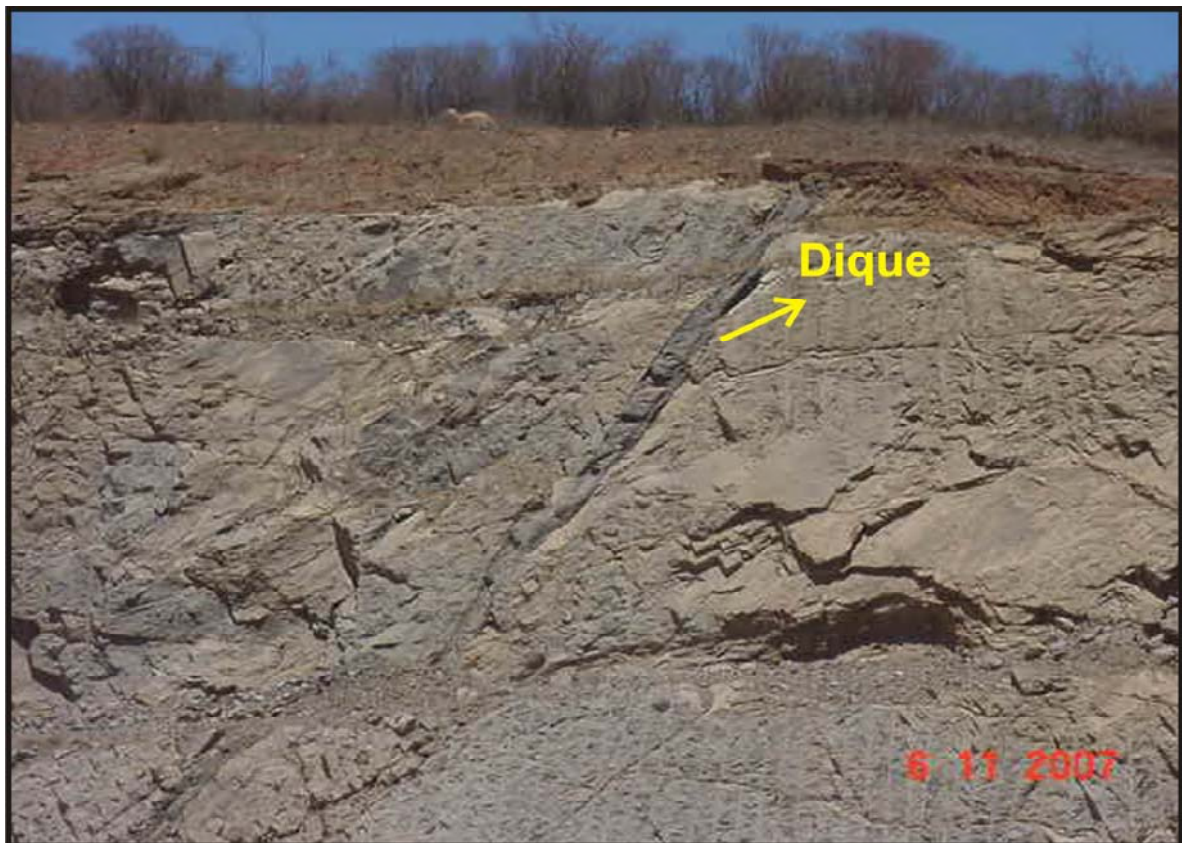


Foto 01: Corpo alongado de biotita, provável resultado do metamorfismo de diabásio..

3.1.2 Discussão sobre alteração

Inicialmente houve metassomatismo que resultou na alteração do protólito (plagioclásio + piroxênio) por influência de H_2O com provável introdução de K^+ , resultando na formação sin-metamórfica e sin-cinemática de biotita, albita, titanita e epidoto, resultado do processo de

dissolução do Ca e concentração no epidoto e titanita, dissolução do Na⁺ e concentração na albita.

3.2 GEOLOGIA ESTRUTURAL

3.2.1 Descrição do mapeamento

As estruturas observadas na área são, a foliação tectono-metamórfica (gnáissica) e o sistema de falhas e fraturas que variam desde sub-verticais até sub-horizontais. Durante o mapeamento notou-se uma grande zona de cisalhamento, onde se observa faixas de zonas cisalhadas, alternadas por faixas pouco cisalhadas (Figura 05). As estruturas das rochas estão espostas nos afloramentos (pouco expressivos em área), cobertas por uma camada de solo que têm média 5m (aproximadamente 90% da área), ou material aluvio-coluvionar nos leitos dos rios temporários, tendo seu fluxo ligado aos períodos chuvosos.

foliação- Segundo Geocervive 2004 através da análise dos dados geológico-estruturais é possível observar que na porção norte da área estudada a foliação gnáissica possui direção NW, com mergulho forte para Leste (50 a 70°). Na porção central do mapa, a foliação gnáissica assume direção N-NW, com mergulho subvertical para Oeste (80°), e na porção ao sul do mapa (fora dos limites do mapa), a foliação tem direção N-NE, com mergulhos entre 50 e 70° para SW. As medidas mais frequentes estiveram em torno de 020°/55°, 020°/65° (dip/dip) (Figura 04).

Falhas e fraturas acompanham o padrão exibido pela foliação, com direção NW-N/SE ao sul da área estudada, que gradativamente flexionam para direção NW-W/SE ao norte da área estudada. Verificou-se durante o mapeamento na cava da mina sistema de fraturas bastante relevante mergulhando para NE cerca de 52°. As fraturas mais recentes são as sub-horizontais (mergulham para NE) que cortam todas as outras estruturas, chegando a profundidades de 90m como visto em campo e nas descrições dos furos de sondagem (Foto 02).

São observadas na área de estudo dobras intrafoliares, apertadas, que interpretamos como dobras reclinadas, de escala mesoscópica, cujos eixos são orientados paralelamente à lineação das rochas gnáissicas. Ondulações suaves com planos axiais empinados de direção NE também são comuns (Geocervice 2004).

As drenagens também exibem controle geológico, possuindo preferencialmente orientação NW-SE, e secundariamente SW-NE (padrão retangular). O controle geológico-estrutural das drenagens é observado em quase todas as drenagens, mas principalmente no alto curso dos riachos Fundo, Mangabeira, das Vacas e córrego do Engenho. Na borda leste do domínio geomorfológico, as drenagens exibem padrão dendrítico.

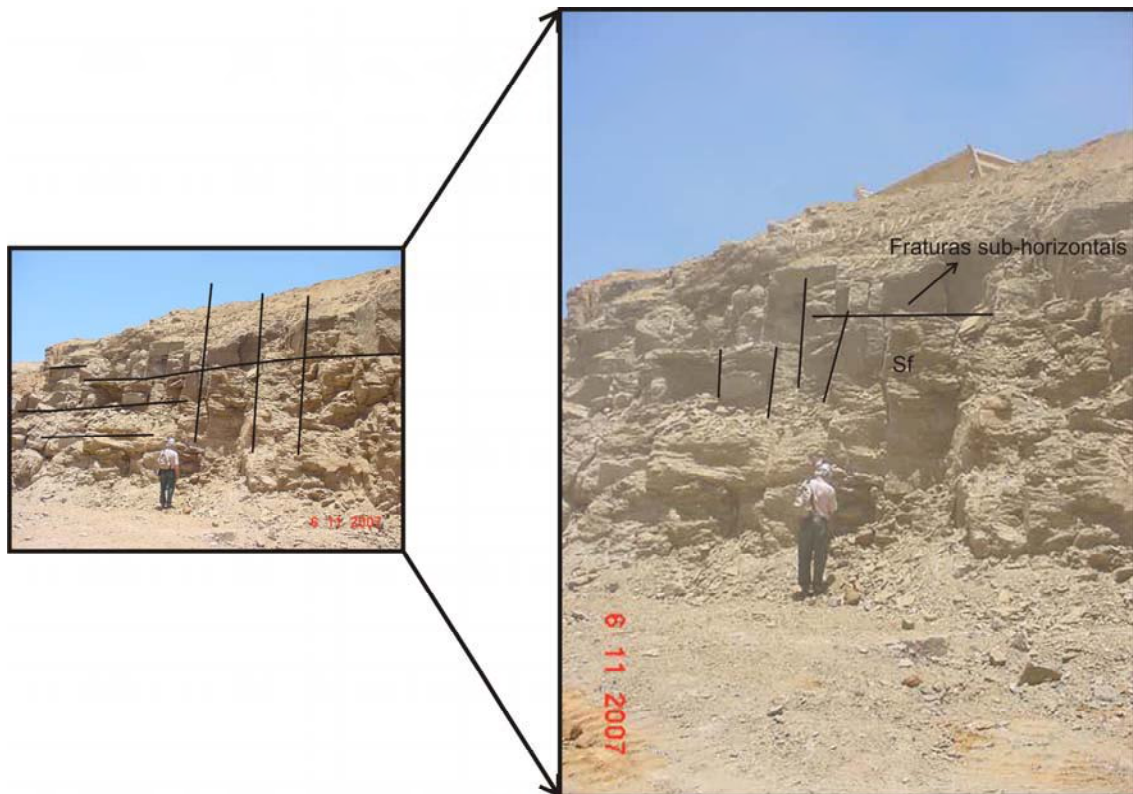


Foto 02: Sistema de fraturas mergulhando para NE Cava da mina.

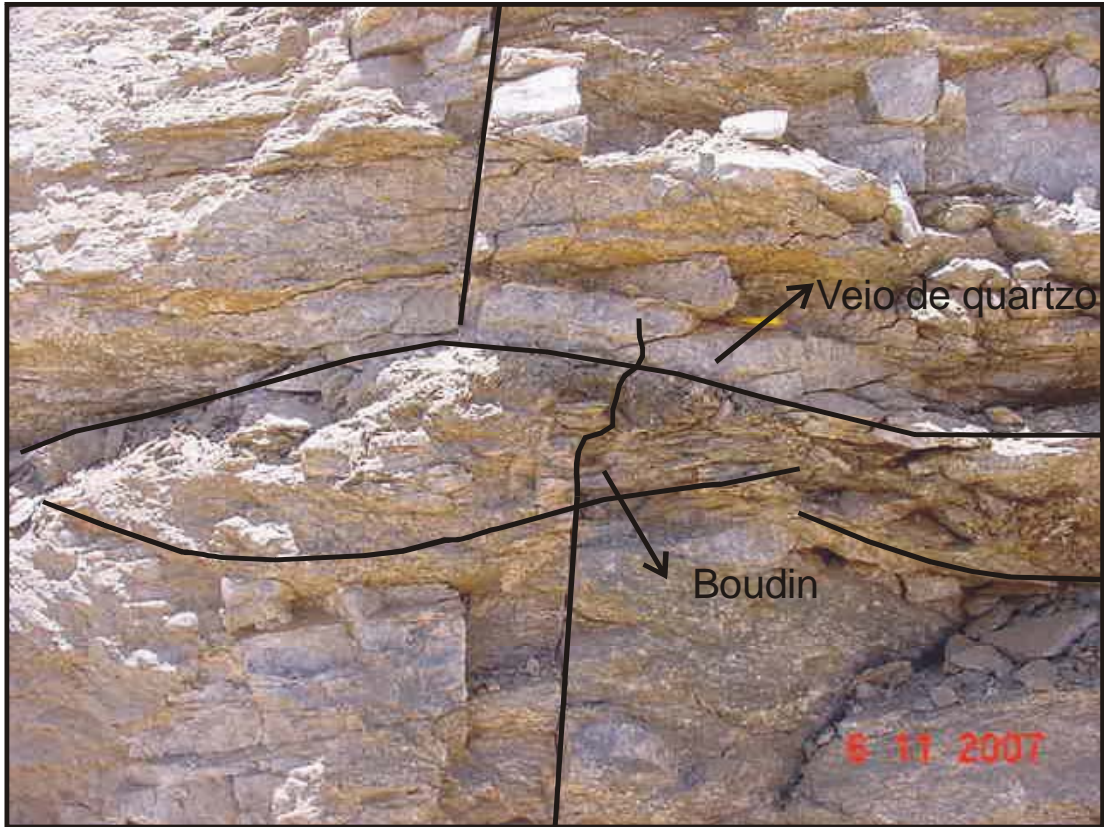


Foto 03: Boudin condicionado por fratura sub-horizontal. Descendo entrada cavada mina.



Foto 04: Fraturas sub-horizontais que interceptam e conectam as outras estruturas. Cava da mina.

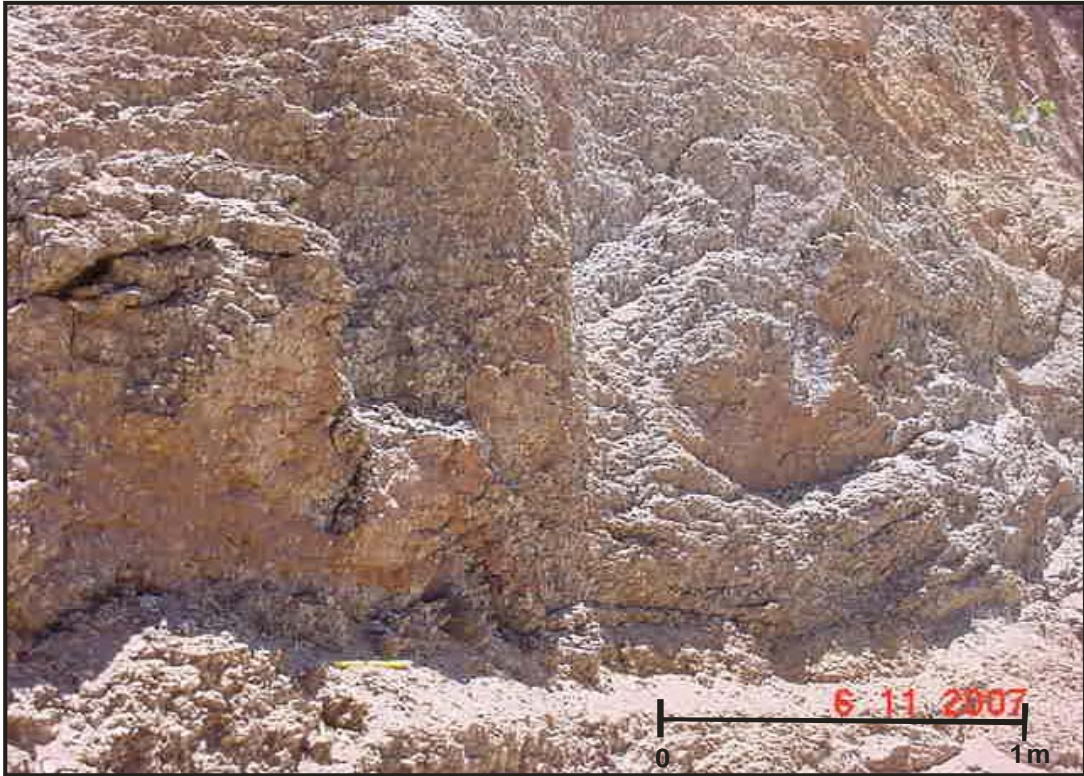


Foto 05: Gnaiss bastante alterada .Próximo a descida para a cava da mina.



Foto 06: Gnaiss "zebra".Desvio das águas.

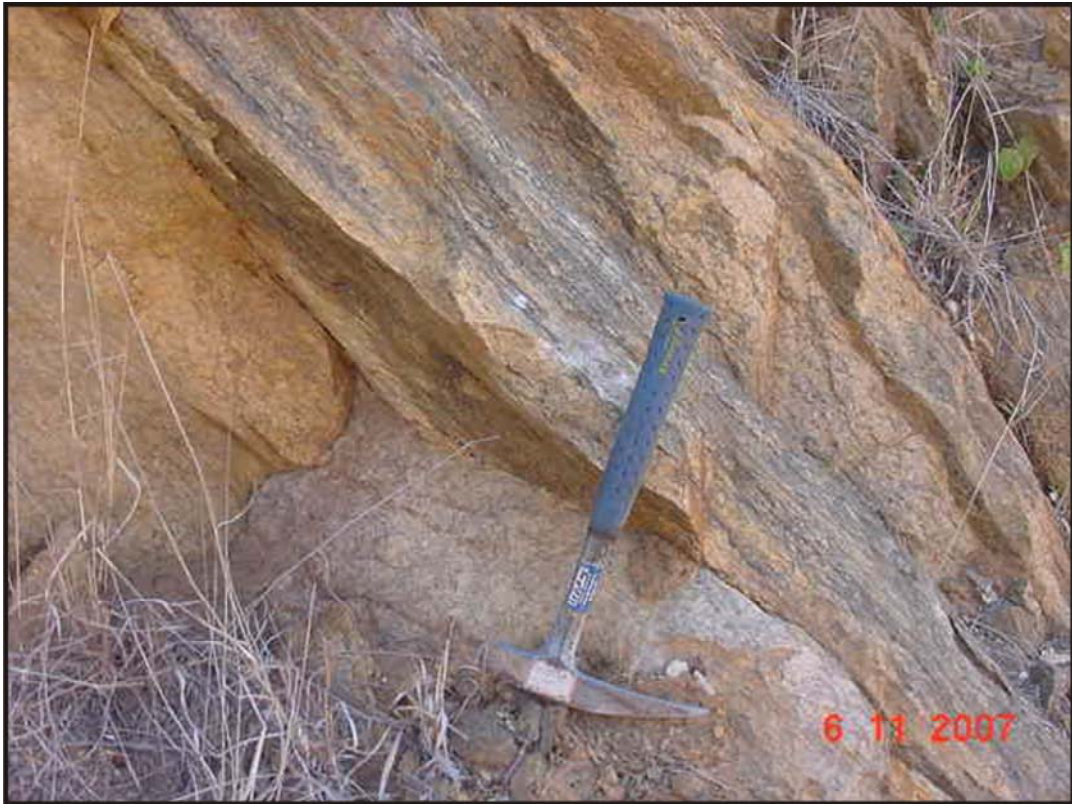


Foto 07: Enriquecimento de biotita ao longo das zonas de cisalhamento.



Foto 08: Detalhe do Piroxênio Albitítico com concentrações de carbonato.



Foto 09: Plano de falha(A) interceptado por fraturas sub-horizontais.



Foto 11: Fraturas sub-horizontais (Sf) mergulhando para NE e interceptando sistema sub-vertical



Foto10: Fraturas sub-horizontais a cerca de 90m de profundidade.

3.2.2 Análise das descrições dos furos de sondagem

Para relacionar a acumulação de água com as fraturas, utilizou-se os perfis litológicos e construtivos dos poços, o Mapa Geológico da área com localização dos poços tubulares da INB (3.3-4), em escala 1:25.000, e o mapa do Projeto Lagoa Real/ Mapa base/ Recurso Hídrico Subterrâneo/ Poços Tubulares, em escala 1:10.000. O interesse foi relacionar a qualidade de poço produtor ou seco com a descrição dos furos de sondagem, em relação a existência ou não de fraturas, através de três seções (Figura 12) ao longo do Córrego do Engenho e Riacho das Vacas.

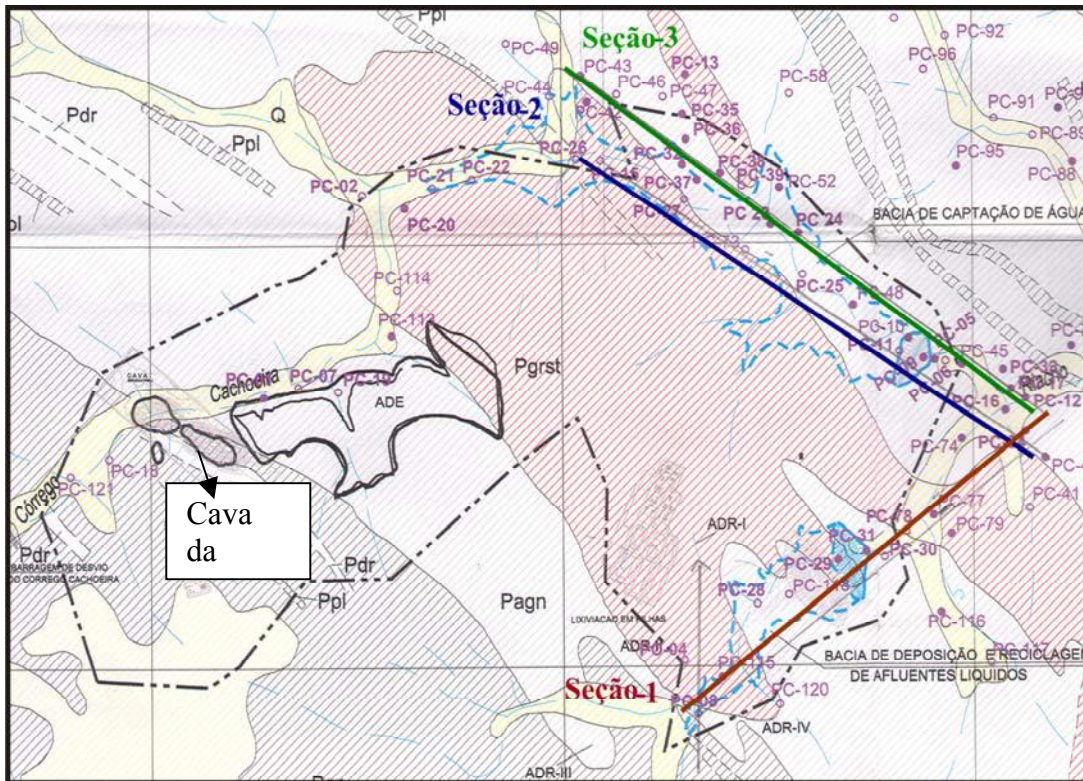


Figura 12: Mapa Geológico (INB/ escala 1:25.000) da área do Complexo Minerário-industrial, mostrando o limite da área (---) a localização dos poços estudados e as seções construídas. Legenda; Pdr: Leucodiorito pegmatoidal, Ppl: Plagioclásio augen gnaisse, Pagn: Anfibólio- quartzo- plagioclásio microclina augen gnaisse, Pgrst: Granito São Timóteo, Q: coberturas aluvio-colúvionares.

A primeira seção foi feita ao longo do Córrego do Engenho, traçando-se uma reta a partir do poço-08 (PC-08), ao PC-12, com rumo $48^{\circ}N$, abrangendo os poços: PC-08, PC-115, PC-118, PC-29, PC-78, PC-77, PC-74, PC-34, PC-16 e PC-12. Dentre eles, os secos são: PC-08, PC-118 e PC-78. Alguns exemplos na figura 13 e 14.

A segunda seção foi feita traçando-se uma reta do PC-15 ao PC-40, com rumo $120^{\circ}N$, ao longo do Riacho das Vacas, abrangendo os poços: PC-15, PC-73, PC-10, PC-11, PC-09, PC-05, PC-06 e PC-40. Destes, os secos são: PC-15, PC-73, PC-11 e PC-06. O interesse em fazer duas seções ao longo do do riacho das Vacas foi de se observar se haveria relações entre o dique de diabásio que há na área e a acumulação de água, vendo se ele funcionaria como barreira (Figuras 15 e 16).

A terceira seção está ao longo do Riacho das Vacas. A reta foi traçada do PC-43 ao PC-12, e tem rumo 125⁰N, abrangendo os poços: PC-43, PC-42, PC-36, PC-24, PC-45, PC-33, PC-17 e PC-12. Todos esses poços são produtores de água.

3.2.2.1 Exemplo da descrição dos furos por seção (Figuras 17 e 18)

Primeira seção

Poços produtores. Fonte: Geoservice 2004.

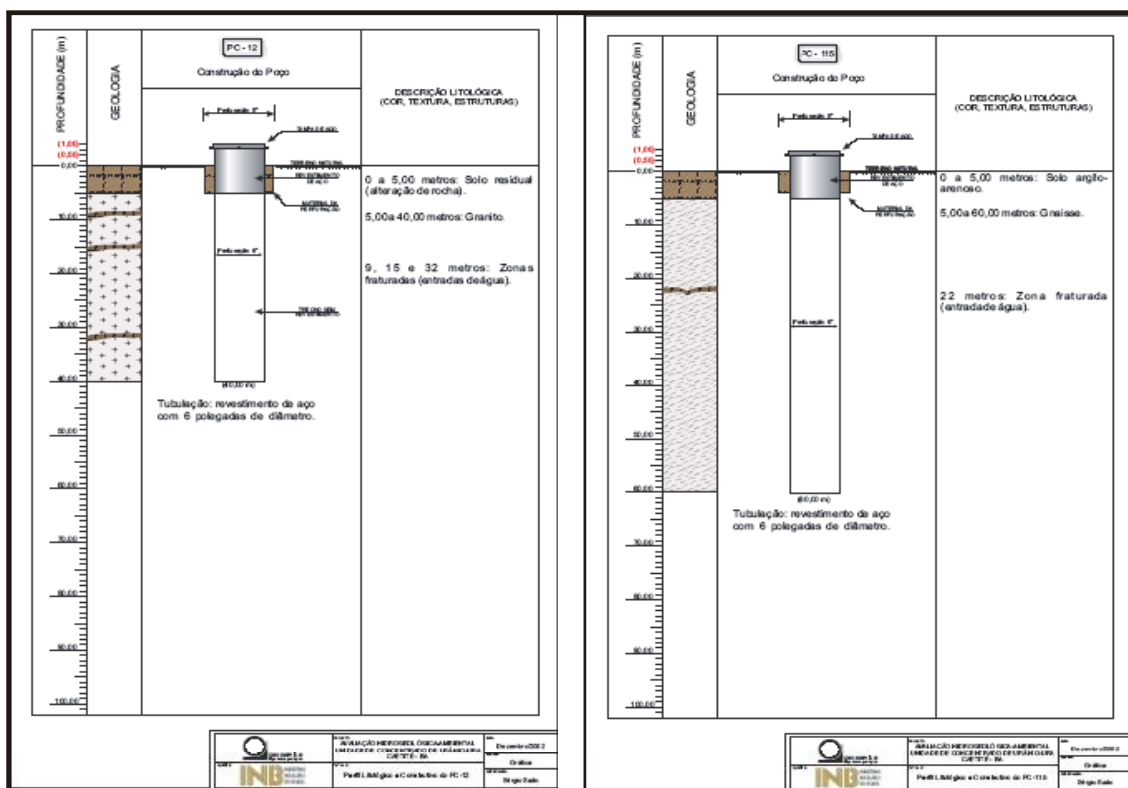


Figura 11: Exemplo da descrição de dois poços produtores desta seção.

Poços seco. Fonte: Geoservice 2004.

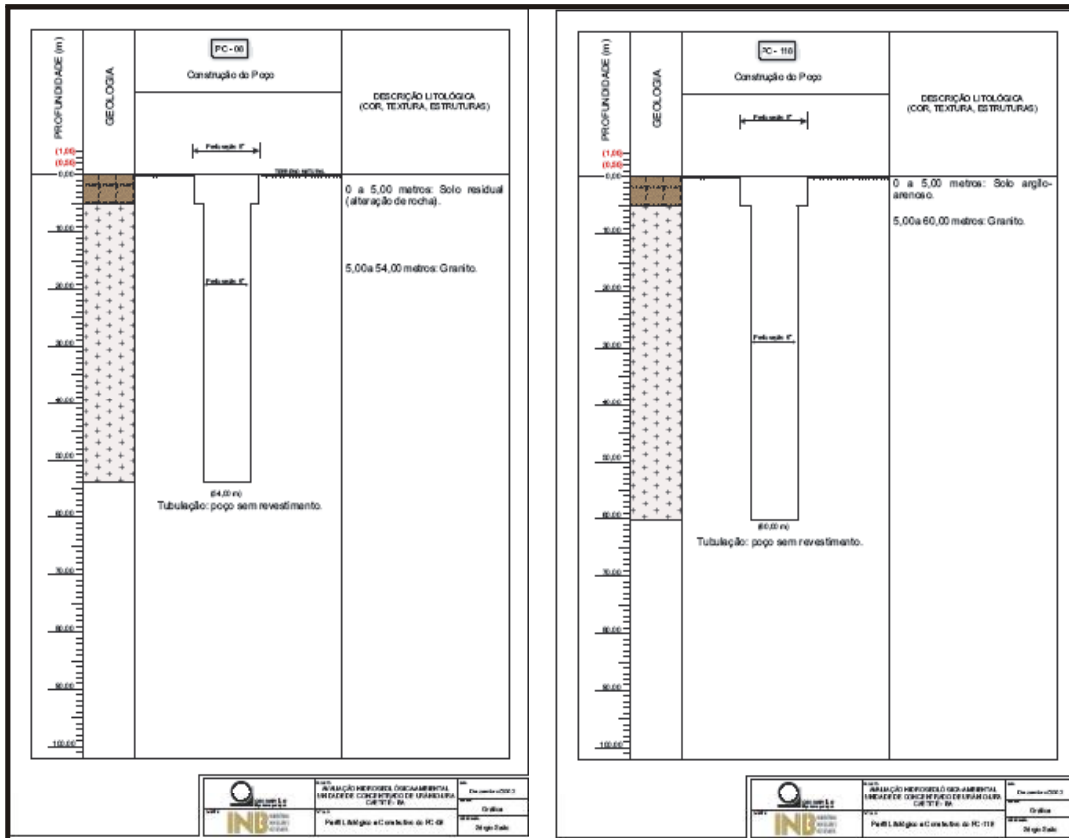


Figura 12: Exemplo da descrição de poços secos desta seção. Segunda seção, poços produtores. Fonte Geoservice 2004.

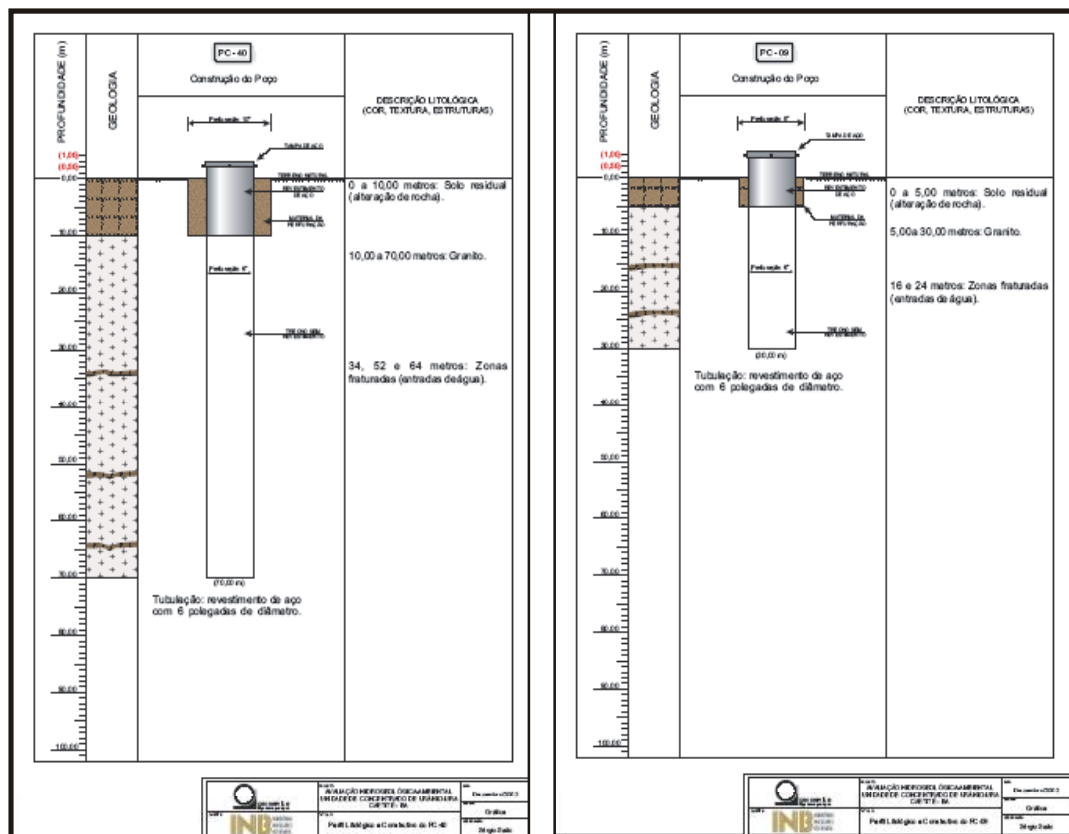


Figura 13: Exemplo da descrição de dois poços produtores desta seção. Poços secos. Fonte: Geoservice 2004.

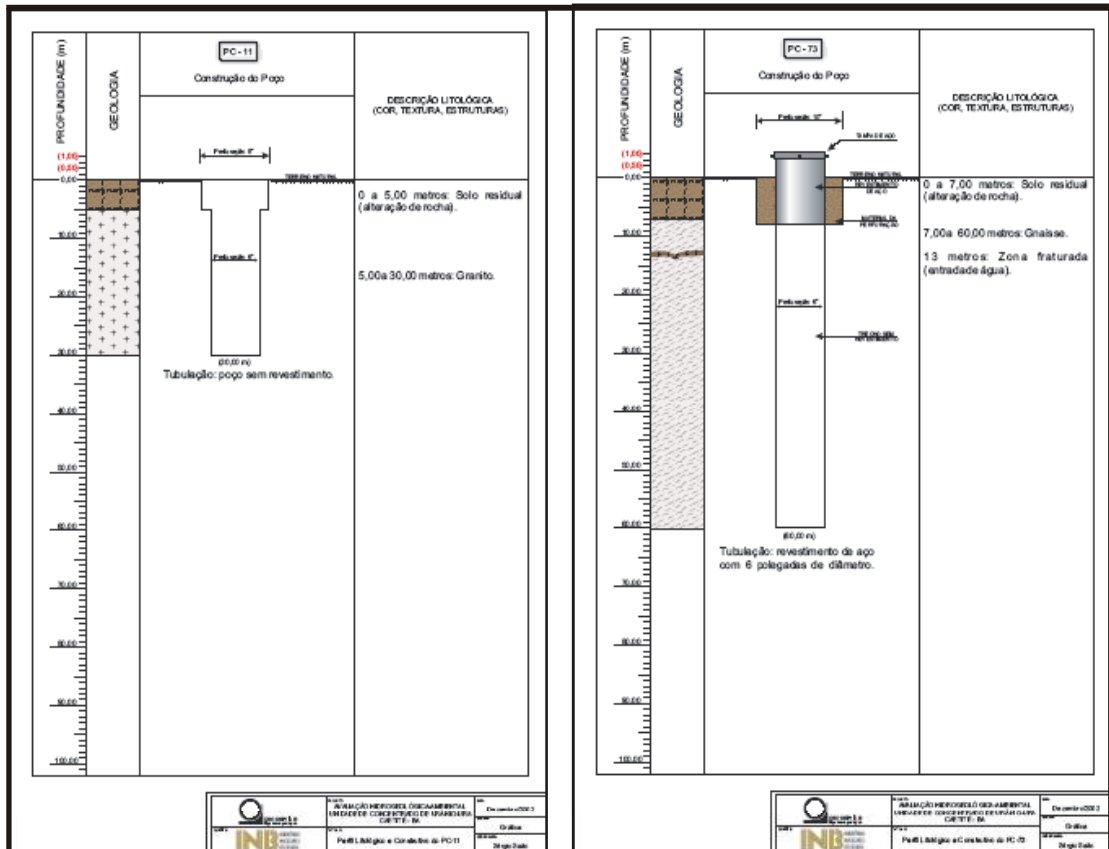


Figura 14: Exemplo da descrição de poços secos desta seção. Terceira seção Todos os poços são produtores. Fonte: Geoservice 2004.

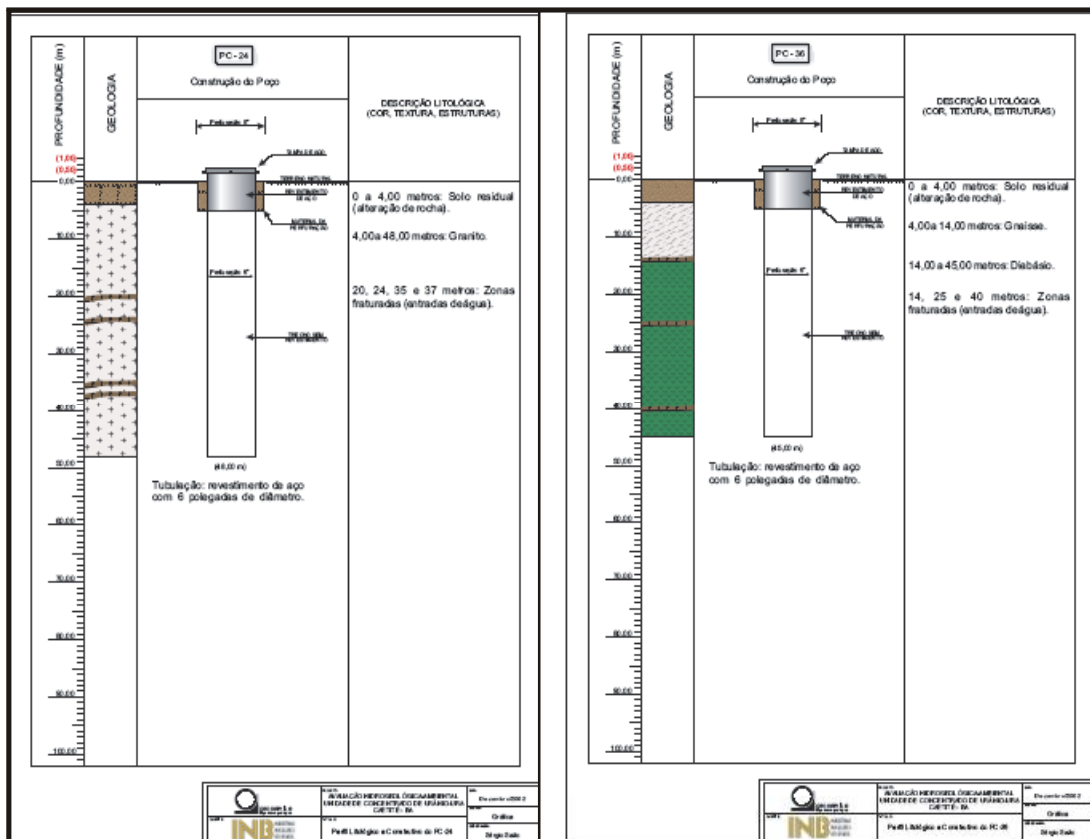


Figura 15: Exemplo da descrição de dois poços produtores desta seção.

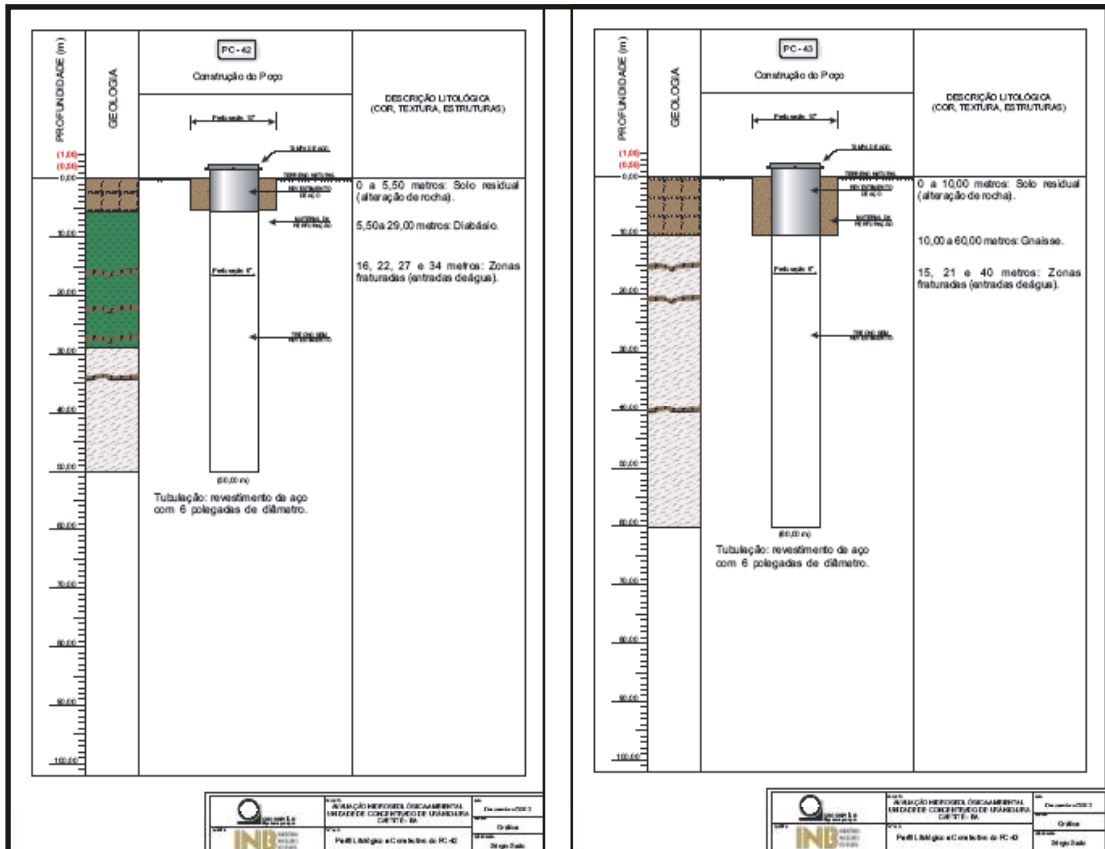


Figura16: Exemplo da descrição de dois poços produtores desta seção.

Desta forma, observamos que a existência de água na região independe da variedade litológica, já que, os poços não fraturados não são produtores e os poços fraturados, na maioria dos casos são produtores.

3.2.3 Análise microestrutural

De acordo com o estudo das lâminas, observa-se uma foliação anastomosada onde o σ_1 é compressional e o σ_3 é de estiramento (Figura 19).

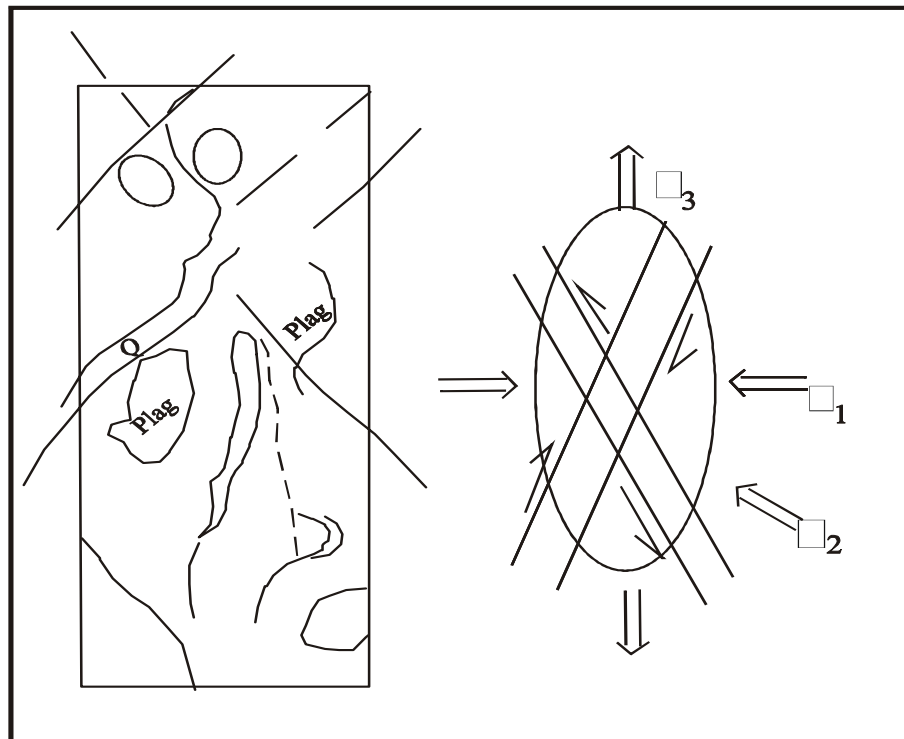


Figura 17: Estruturas principais da lâmina e elipsóide de esforços mostrando σ_1 onde o esforço é compressional e σ_3 onde houve estiramento.

3.3 HIDROGEOQUÍMICA

Usando os dados das análises químicas das águas dos poços fornecidos pela INB, buscou-se possíveis indícios de comunicabilidade do aquífero fissural, tendo como base a premissa de que, se há comunicação entre as estruturas qualquer substância que entre no sistema tenderá a uma homogeneização de seus valores. Para se obter resultados confiáveis, (depois de criteriosa seleção de dados) escolheu-se a princípio aqueles que fossem relevantes no processo de extração do minério. Os elementos usados nesse trabalho foram: pH, Na e Cl BaSO_4 , ^{226}Ra e ^{228}Ra , Urânio e Tório. É possível observar que para certos elementos há carência de informações, principalmente no caso do Na onde em todos os poços verifica-se uma lacuna que pode significar falta de amostragem ou omissão de dado.

3.3.1 Análise para Sódio (Na) e Cloro (Cl)

As análises começaram a ser feitas em janeiro de 1998 segundo os dados fornecidos pela INB. Na análise de setembro de 1998 há um pico nos valores tanto para Na quanto para

Cl, tendo no caso do primeiro, 2250mg/l no poço (PC)23 e no segundo, 1567mg/l no PC-13 (gráficos no anexo 1). Com o passar do tempo os valores diminuem e parecem estabilizar-se (mapa com os valores anômalos para Cl e Na no anexo 5), evidenciando uma razão antrópica para a existência dos picos elevados, uma entrada desses elementos no sistema aquífero (aqui definido pelo conjunto de solo + rocha + estruturas + intemperismo em condições naturais).

O mais importante observar no comportamento desses dados é que em todos os poços, os valores diminuem alcançando o background num curto período de tempo, cerca de quatro meses (com base nos dados para Cl, pois no caso do Na há uma lacuna nos dados como já foi dito), isso abre duas possibilidades de interpretação; ou o aquífero é aberto, bastante comunicante, ou o volume de água é tamanho que torna irrelevante a entrada desses elementos nessas concentrações no sistema; entretanto, sabe-se que alguns poços que eram produtores exauriram com o contínuo bombeamento de água, e sendo assim, a segunda possibilidade não é válida.

3.3.2 Análise para sulfato de Bário ($BaSO_4$) e pH

No caso do Ba + SO₄ (gráficos no anexo 2) os valores de Ba apresentam-se baixos e sem aparente variação. Deve-se lembrar que o Ba não ocorre livre na natureza, apenas em forma combinada em vários minerais, sendo os principais: barita BaSO₄ e whiterita BaCO₃, dos quais a Barita é o mineral de interesse usado no processo e é pouco solúvel (a constante do produto de solubilidade do BaSO₄ é $1,0 \times 10^{-10} K_{ps}$). Os valores apresentam-se abaixo do padrão de potabilidade que é 1,0 mg/l (Portaria 1469). No poço 09 há um pico na amostragem de janeiro de 2000, salvo erro de análise, houve uma concentração de Ba antrópica, porém rapidamente os valores se estabilizaram (intervalo de quatro meses) tanto pelo SO₄ do meio precipitando BaSO₄ quanto por se tratar de um aquífero aberto onde essa concentração elevada não pode ser mantida. Os valores de SO₄ mostram uma tendência geral de aumento da concentração nos poços, principalmente nos poços 09, 34 e 68. O poço 09 é o mesmo onde há um pico para Ba. O pH (gráficos no anexo 2), não apresenta variação significativa ao longo do tempo, não se observa diminuição relevante de pH, inclusive nos poços 09, 34 e 68 onde há maior elevação do SO₄, estando os valores próximos da neutralidade e indicando forte diluição dos íons, reforçando a hipótese de aquífero aberto.

3.3.3 Análise para Rádio ²²⁶Ra e ²²⁸Ra

A atividade de uma espécie radioativa é definida como $A = \lambda \cdot N$, onde N é o número de átomos presentes e A é a atividade em Becquerel (1 desintegração por segundo), sendo λ a constante de desintegração do radioisótopo e quando $N = N_0/2 \rightarrow T_{1/2} = 0,693/\lambda$. Deste modo, a meia-vida pode ser relacionada com a atividade para se calcular a massa do radioisótopo medido e sua concentração molar pode ser determinada. N relaciona-se à massa de átomos presentes pela constante de Avogadro que tem o valor $6,021 \times 10^{23}$ e com o mol do isótopo radioativo:

$$\begin{array}{ccc} N & \text{-----} & m_{(g)} \\ \mathbf{6,021 \times 10^{23} \text{ átomos}} & \text{-----} & \mathbf{\text{mol do isótopo}} \end{array}$$

Assim, a fórmula da atividade $A = \lambda \cdot N$, pode ser convertida em:

$A = \lambda \cdot (m \cdot 6,021 \times 10^{23}) / \text{mol}$, e a massa m pode ser calculada como:

$$m_{(g)} = (A \cdot \text{mol}) \cdot (T_{(1/2)} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60) \cdot 10^{-23} / \{6,021 \cdot 0,693\} =$$

$$m_{(g)} = 7,557963 \times 10^{-17} (A \cdot \text{mol} \cdot T_{(1/2)\text{anos}})$$

Nas análises químicas das águas dos poços da região da mina observa-se que o maior valor de Ra-226 medido foi em torno de 1,0 Bq/l, enquanto que o Ra-228 atingiu um valor máximo de 1,5 Bq/l. Essas atividades representam as seguintes massas por litro de cada isótopo de rádio:

	$T_{1/2}$ (anos)	$A_{\text{Máxima}}$ (Bq/l)	massa total (g)	mol/l
Ra-226	1590	1	$2,7153 \cdot 10^{-11}$	$1,2 \cdot 10^{-13}$
Ra-228	5,7	1,5	$1,47304 \cdot 10^{-13}$	$6,5 \cdot 10^{-16}$

Sabemos que os íons carbonato e sulfato estão presentes na água dos poços em concentrações bem superiores às concentrações de rádio. Também é sabido que o carbonato de rádio, assim como o sulfato de rádio são substâncias insolúveis. Suas constantes dos produtos de solubilidade são, respectivamente, $K_{PS} \text{ RaCO}_3 = 10^{-9}$ (Ritcey, 1990) e $K_{PS} \text{ RaSO}_4 = 3,66 \cdot 10^{-11}$ mol/l (www.ktf-split.hr/periodni/en/abc/kpt.html; <acesso em 10 jan 2008>).

Assim, a concentração máxima de rádio, em mol por litro, é praticamente determinada somente pelo K_{PS} do sulfato de rádio e teria um valor de $6,05 \cdot 10^{-6}$ mol/l. Como os valores de atividade medidos representam concentrações molares muito inferiores, pode-se dizer que o íon sulfato está forçando a precipitação de sulfato de rádio pelo efeito conhecido como "íon comum", fazendo com que a massa de rádio-226 e rádio-228 solubilizada esteja muito abaixo do que se solubilizaria sem a presença desse excesso de sulfato (gráficos no anexo 3)

3.3.5 Análise para Urânio (U) e Tório (Th)

As análises de Urânio e Tório mostram que os valores apresentam-se aproximadamente constantes ao longo do tempo (gráficos no anexo 4), porém os poços PC-01 e PC-68 apresentam comportamento diferente, com valores bem mais elevados. Existem algumas possibilidades para isto ocorrer, dentre elas:

- 1) Pode tratar-se de, mesmo sendo afastados, esses poços estarem conectados por estruturas conectando ambos os poços, mas isso não se verifica, uma vez determinada a conexão (PC-01) pelos valores de Na e Cl.
- 2) Esses valores anômalos podem estar relacionados a acumulações de água em poços perfurados em bolsões carbonáticos, gerados por dissolução cárstica, em ambientes distintos, mas ricos em urânio.

Aparentemente, pode-se descartar a primeira possibilidade, pois, em função da distância, se houvesse contaminação antrópica no poço-01, o valor no poço-68 seria bem inferior em função da diluição., todavia esses dados indicam uma situação anômala que deve ser estudada.

3.3.5 Análise química das águas utilizando o diagrama de Piper

As análises químicas e radiológicas disponibilizadas foram efetuadas entre janeiro de 1998 e janeiro de 2004, e principalmente nos dois primeiros anos não possuem periodicidade definida. Existe uma lacuna de informações referentes ao período entre janeiro de 2002 e fevereiro de 2003. Os itens analisados pela INB foram; parâmetros físicos-químicos: pH, acidez, alcalinidade, condutividade, cor, dureza e turbidez; dados químicos (em mg/L): Na, K, Mg, Ca, Ba, Mn, Fe, Al, SiO₂, SO₄, F, Cl, NO₂, NO₃ e N amoniacal e radioatividade (em Bq/L): U natural, Th natural, ²²⁶Ra, ²²⁸Ra e ²¹⁰Pb. Os dados usados aqui foram os mesmos dos utilizados para os gráficos acima e são raras as análises que possuem determinações de todas as variáveis hidroquímicas listadas acima.

Segundo o relatório da Geoservice 2004 a forma gráfica mais usada para apresentação de dados hidroquímicos, que é o diagrama de Piper (Piper, 1944, *apud* CASTANY, 1971), sendo dessa forma, utilizado para analisar as características hidroquímicas da água subterrânea.

O diagrama de Piper (Figura 20) apresenta as concentrações relativas dos principais cátions e ânions em dois diagramas trilineares separados, junto com um diagrama central (em losango) onde os pontos dos dois diagramas trilineares são projetados. O diagrama central é utilizado para ilustrar todas as características químicas da água. Os cátions estudados são o Cálcio, o Magnésio e o Sódio (juntamente com o Potássio). Os ânions estudados são o Cloro, o Sulfato e o Bicarbonato (juntamente com o carbonato). As concentrações utilizadas nestes diagramas são expressas em porcentagem de miliequivalente por litro (% meq/L). Para não haver problemas, as análises foram feitas usando-se 14 amostras de águas subterrâneas, sendo uma amostra de água por poço tubular estudado e amostras de um mesmo período.

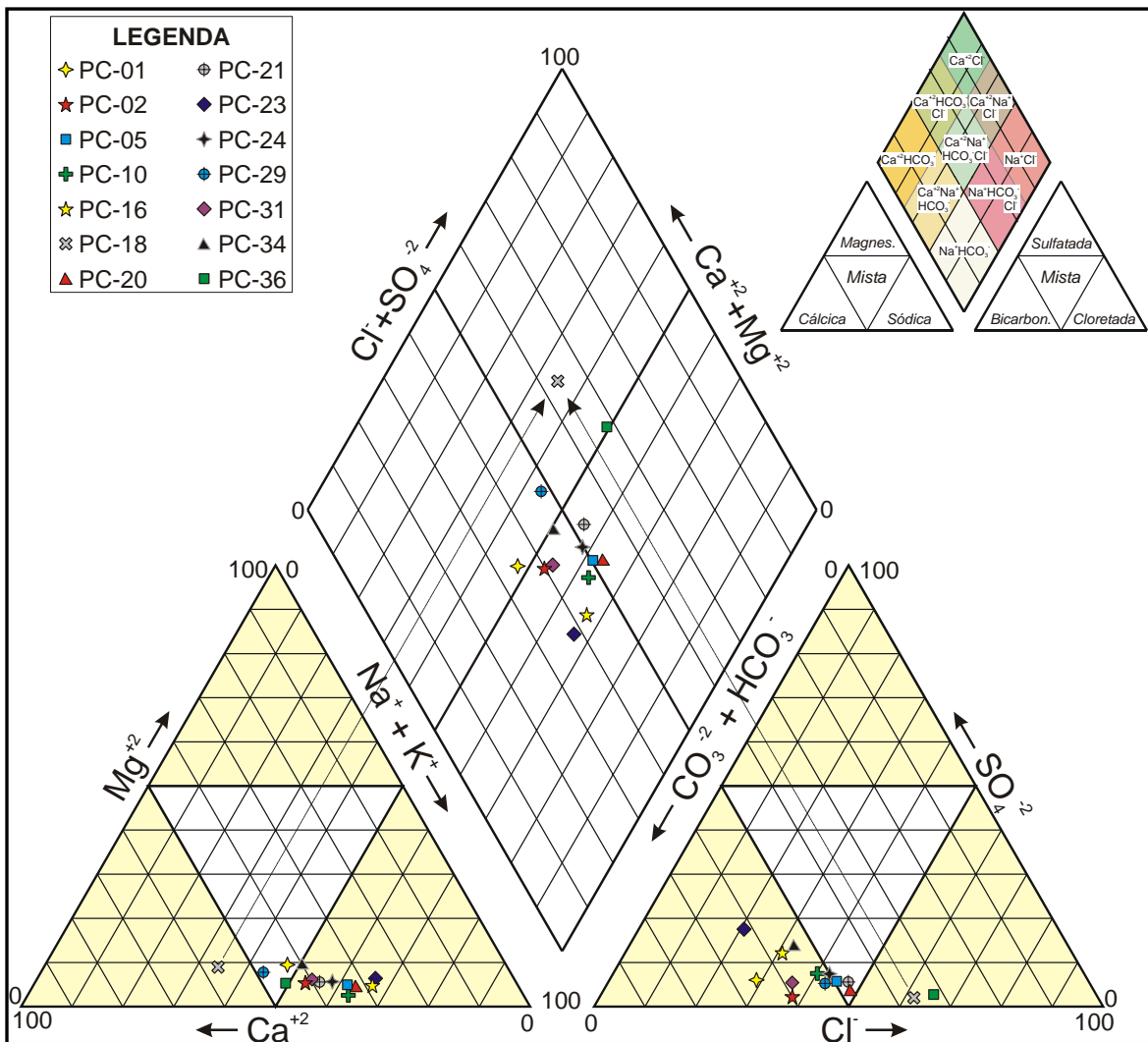


Figura 18: Diagrama de Piper para 14 amostras de água subterrânea. Análises de Fevereiro de 2003.

Pode-se observar no gráfico acima o predomínio do ânion bicarbonato e do cátion sódio, ou seja, de águas bicarbonatadas sódicas. Sendo ambiente propício a lixiviação do urânio pois se oxida (U^{4+} par U^{6+}).

4. CONCLUSÃO

Da análise e interpretação dos resultados obtidos, pode-se chegar às seguintes conclusões:

1. O aquífero existente na Mina Cachoeira é um sistema fissural, localmente cárstico, aberto, alimentado por conjunto de fraturas sub-verticais interconectadas por fraturas sub-horizontais.
2. O aquífero tem baixa capacidade de retenção de água, apresentando produção por pouco tempo após a recarga pluvial (segundo os valores de Cl, em cerca de seis meses os valores retornam ao background), sendo apenas atravessado pela carga que penetra nas fraturas indo se perder nas drenagens principais após percolar o sistema.
3. A ocorrência de poços produtores por tempo mais prolongado pode estar relacionada a retenção de água em "bolsões" carbonáticos formados por processo de carst restrito a locais e/ou partes de camadas ricas em calcita, que ao ser lixiviada gera reservatórios maiores.
4. Durante o processo cárstico, os isótopos de rádio são precipitados dentro dessas cavidades em forma de carbonato de rádio, substância insolúvel.
5. Segundo o diagrama de Piper, as águas são bicarbonatadas sódicas e este tipo de ambiente é propício a lixiviação pois o urânio é complexado pelo gás carbônico (CO_2).
7. Como não retém a água, o aquífero não pode ser permanentemente poluído, pois irá ocorrer diluição e remoção natural dos poluentes a cada evento de precipitação.
8. Como não retém a poluição, acidentes com vazamento de poluentes poderão atravessar o aquífero e deixar os limites da mineração podendo poluir os rios e drenagens a jusante do Complexo Mínero-Industrial da Mina Cachoeira.
9. Valores de sulfato com tendência de aumento ao longo do tempo em alguns poços, indicam que está ocorrendo uma contínua dispersão por sulfato. Esses valores de sulfato no meio estão abaixando o produto de solubilidade do Ra (sulfato de rádio) e fazendo com que o Ra precipite sob a forma de sulfato de rádio (substância muito pouco solúvel).
10. Os valores anômalos de urânio e tório, nos poços PC-01 e PC-68, indicam anomalia que precisa ser estudada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, J. & Fuzikawa, K. 1984. O estudo de inclusões fluidas da jazida uranífera de cachoeira, Caetité, BA. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, Anais*, v. 3: 1.503-1517.
- Bizzi, L. A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R. M., Gonçalves, J. H., 2003. Geologia Tectônica e Recursos Minerais do Brasil, 1ª ed. CPRM- Serviço Geológico do Brasil, 692 p.
- Brito, W., Raposo, C., Matos, E. C. 1984. Os albitos uraníferos de Lagoa Real. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Anais*, p. 1475- 1488.
- Caby, R. & Arthaud, M. 1987. Petrostructural evolution of the Lagoa Real subalkaline metaplutonic complex (Bahia, Brasil). *Rev. Bras. Geoc.*, **4**: 636.
- Cordani, U. G., Iyer, S. S., Taylor, P. N., Kawashita, K., Sato, K., McCreath, I. 1992. Pb-Pb, Rb-Sr, and K-Ar systematic of the Lagoa Real uranium province (south-central Bahia, Brazil) and the Espinhaço Cycle (ca. 1.5- 1.0 Ga). *J. Sout. Amer. Earth Sci.*, **1**: 33-46.
- Costa P. H. O., Andrade A. R. F., Lopes G. A. C., Souza S. L. 1985. Projeto Lagoa Real- Mapeamento Geológico 1:25.000. CBPM/NUCLEBRAS/SME, volume 1, 455p.
- Dandenne, M. A., Schobbenhaus, C. 2001. Metalogênese do Brasil. Brasília, Editora UnB/CPRM, 392p.
- Fuzikawa, K. 1980. Estudos preliminares de inclusões fluidas em albitos dos albitos do Projeto Lagoa Real, Caetité, BA. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, Anais*, p. 2038-2049.
- Fuzikawa, K. 1982. Alguns carbonatos do distrito uranífero Lagoa Real, Bahia: Estudos de inclusões fluidas e isótopos estáveis. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 32, Salvador, Anais*, p. 2072- 2085.
- Fuzikawa, K., Alves, J. V., Maruèjol, P., Cuney, M., Kostolany, C., Poty, B. 1988. The Lagoa Real uranium province, Bahia state, Brazil: Some petrographic aspects and fluid inclusion studies. *Geoch. Brasil.*, **2**: 109-118.
- Fyfe, W. S., Price, N. J., Thompson, A. B. 1978. *Fluids in the earth's crust*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York, 383p.
- Geisel Sobrinho, E., Raposo, C. Prates, S.P., Matos, E. C., Alves, J. C. 1980. Jazidas uraníferas de Lagoa Real, Bahia. *In: SBG, Congresso brasileiro de Geologia, 31, Camboriú, Anais*, 3:1499-1512

- Geoservice 2004, Estudo Hidrogeológico ambiental para caracterização do potencial de contaminação de solos e água subterrânea na área da Unidade de Concentrado de Urânio em Caetité, relatório final, volume 1
- Lobato L. M. 1985. *Metamorphism, metassomatism and mineralization at Lagoa Real, Bahia, Brazil*. Tese de Doutorado, University Western Ontario, 306p.
- Lobato, L. & Fyfe, W. 1990. Metamorphism and mineralization at Lagoa Real, Bahia, Brasil. *Econ. Geol.*, **5**: 968-989.
- Lobato, L. M., Forman, J. M. A., Fusikawa, K., Fyfe, W. S., Kerrich, R. 1982. Uranium Enrichment in Archean Basement: Lagoa Real, Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*, **1-3** : 484-486.
- Lobato, L. M., Forman, J.M., Fuzikawa, K. Fife, W. 1983. Uranium enrichment in Archean basement: Lagoa Real, Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*, **21**: 484-486.
- Maruèjol, P. 1989. *Metasomatose alcalino et mineralization uraniferes: lês albitites du gisement de Lagoa Real (Bresil)*. Doctor of Philosophy Thesis, Centre de Recherches sur la Géologie de l'Uranium, 421p.
- Maruèjol, P., Cuney, M., Fuzikawa, K., Maria Netto, A., Poty, B. 1987. *The Lagoa Real Subalkaline Granitic Complex (South Bahia, Brazil): A Source for Uranium Mineralizations Associated With Na-Ca Metassomatism*. *Rev. Bras. Geoc.*, **4**: 578-594.
- Pimentel, M. M., Machado, N., Lobato, L. M. 1994. Geocronologia U/Pb de rochas graníticas e gnáissicas da região de Lagoa Real, Bahia, e implicações para a idade da mineralização de urânio. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 38, *Boletim de Resumos Expandidos*, p. 389-390.
- Raposo, C. & Matos, E. C. 1982. Distrito uranífero de Lagoa Real- A história de um exemplo. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 32, *Anais*, p. 2035-2047
- Raposo, C., Matos, E. C., Brito, W. 1984. Zoneamento cálcio-sódico nas rochas da província uranífera de Lagoa Real. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 33, *Anais*, p. 1489-1502.
- Ribeiro, C. I., Carvalho Filho, C. A, Hashizume, S. 1984. As jazidas de urânio de Lagoa Real. Congresso Brasileiro de Geologia, 33, *Anais*, p.1463-1474.
- Sobrinho, E. G., Raposo, C., Alves, J. V., Brito, W., Vasconcelos, T. G. 1980. O distrito uranífero de Lagoa Real, Bahia. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 31, *Anais.*, p. 1499-1512.
- Stein, J. H., Netto, A. M., Drummond, D., Angeiras, A. G. 1980. Nota preliminar sobre os processos de albitização uranífera de Lagoa Real (Bahia) e sua comparação com os da URSS e Suécia. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 31, *Anais*, p. 1758-1775.
- Teixeira, L. R. 2000. Relatório Temático de Litogeoquímica. Projeto vale do Paramirim., Salvador, CPRM/CBPM, 35p.

Turpin, L., Maruèjol, P., Cuney, M. 1988. U-Pb, Rb-Sr and Sm-Nd chronology of granitic basement, hydrothermal albitites and uranium mineralization, Lagoa Real, South Bahia, Brazil. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **98**: 139-147.

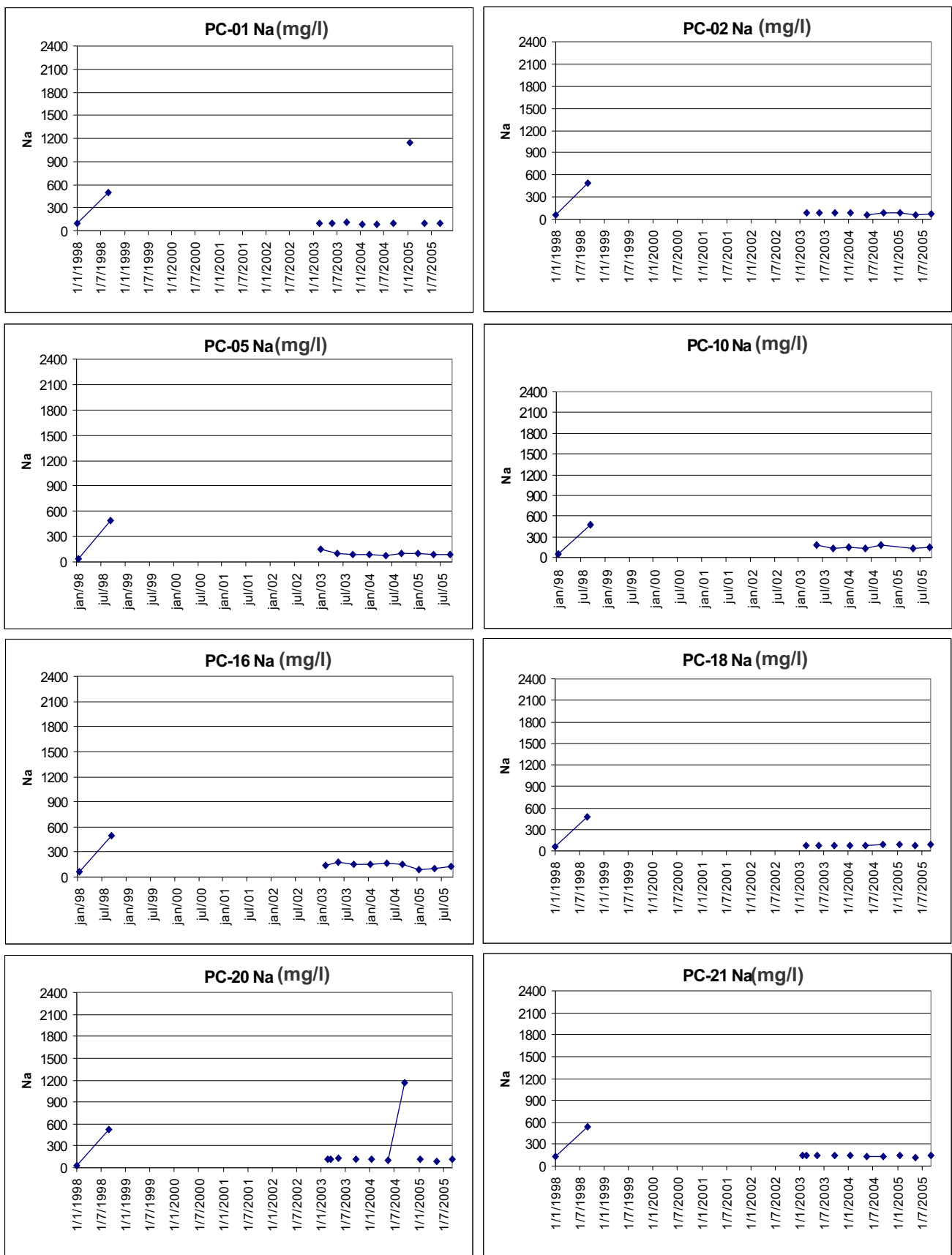


Gráfico 01: Sódio (Na) versus datas de amostragem, valores de Na em mg/L.

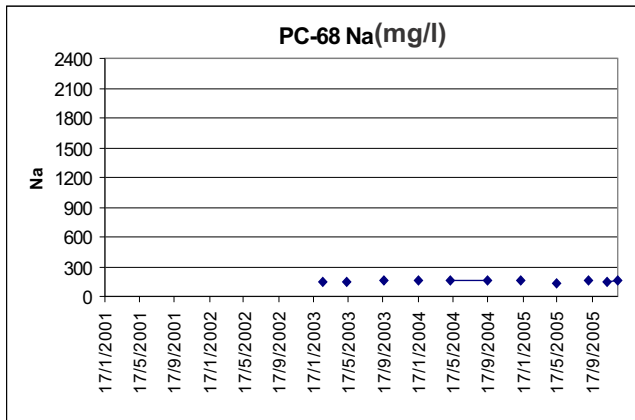
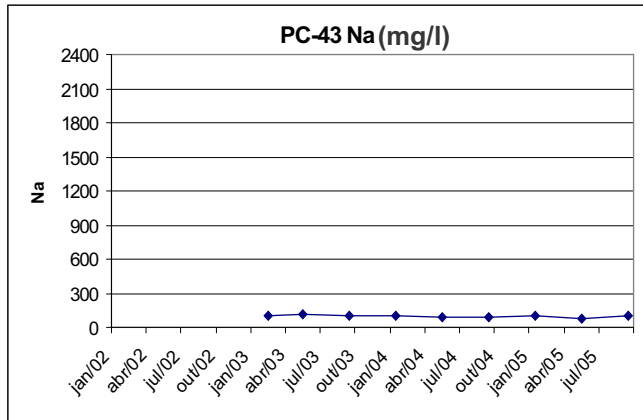
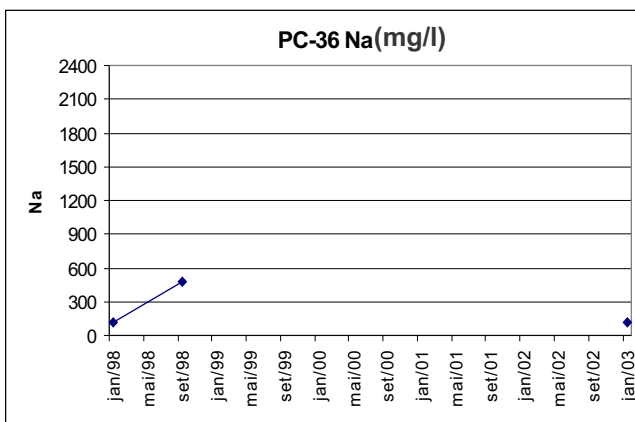
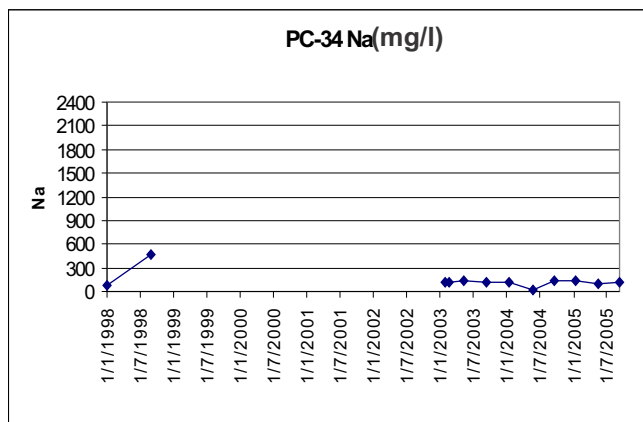
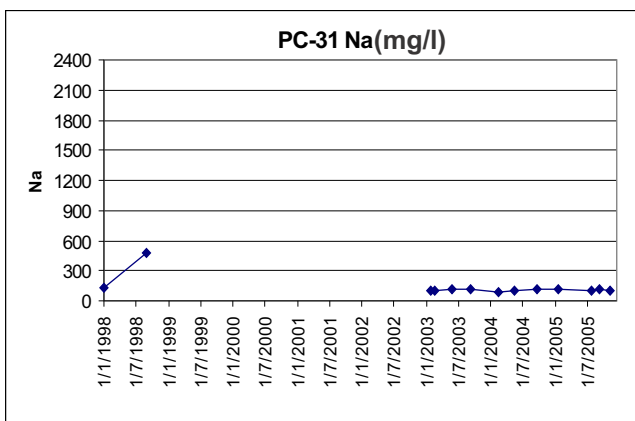
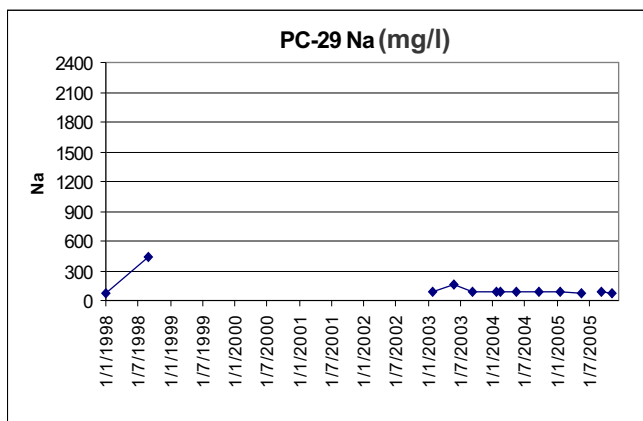
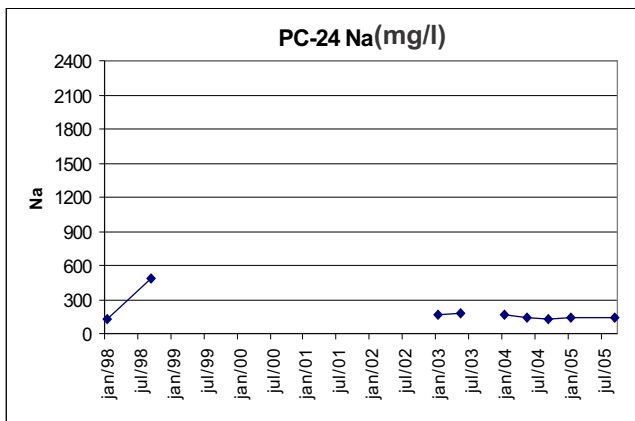
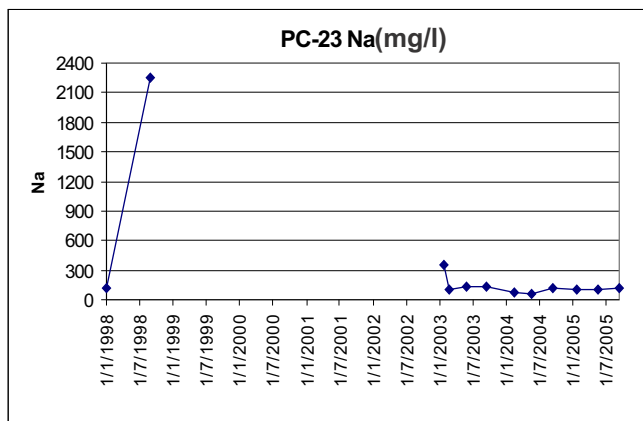


Gráfico02: Sódio (Na) versus datas de amostragem, valores de Na em mg/L

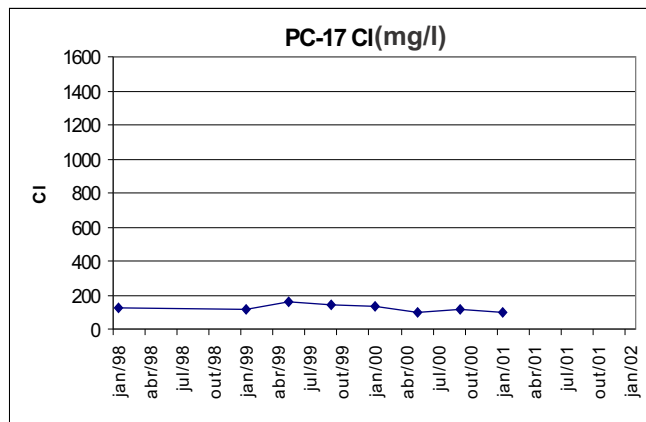
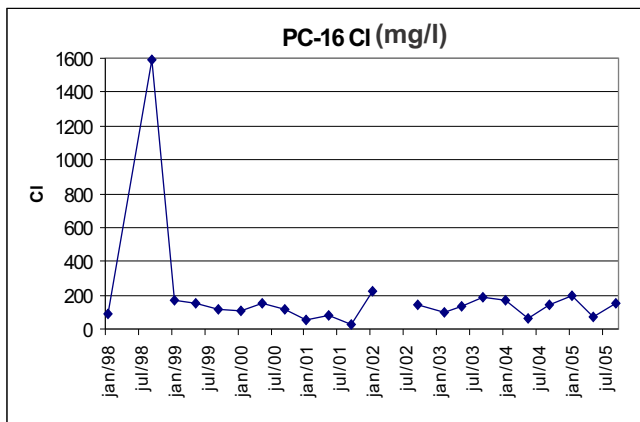
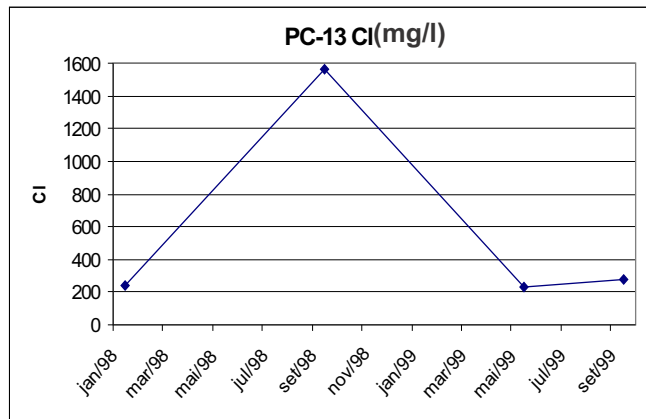
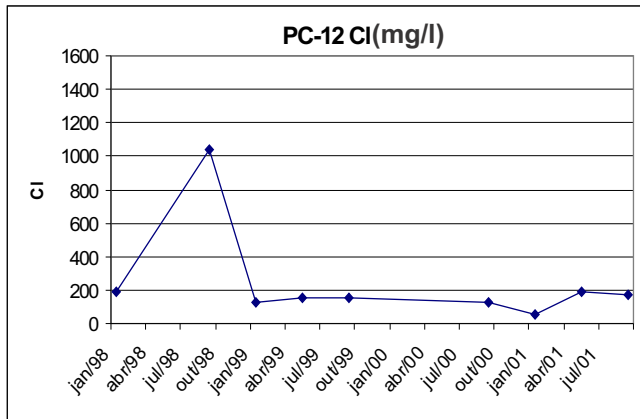
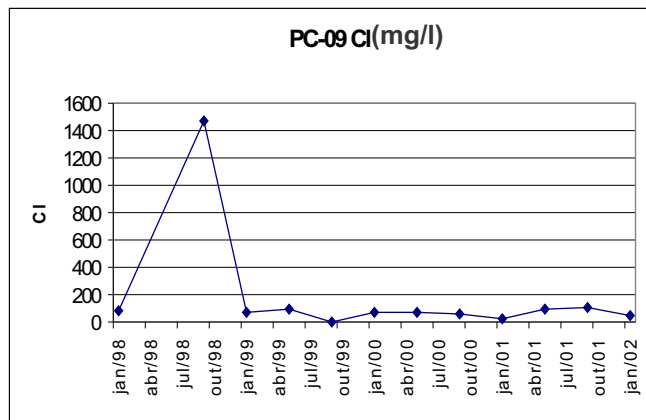
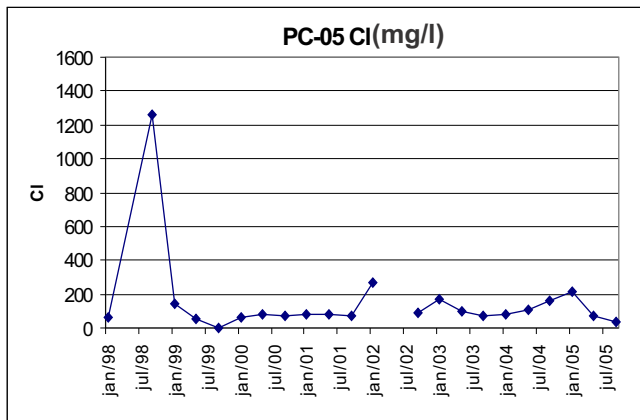
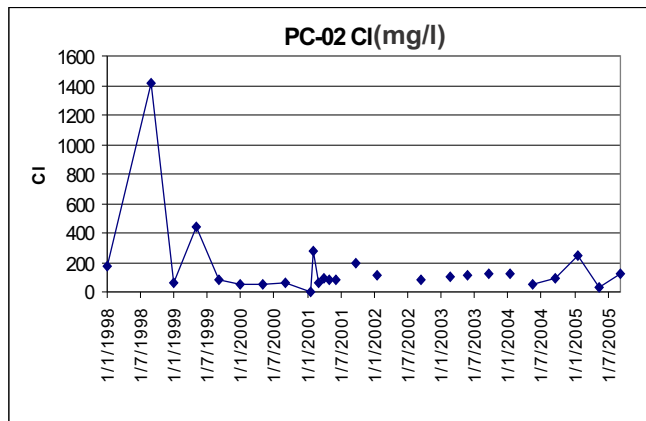
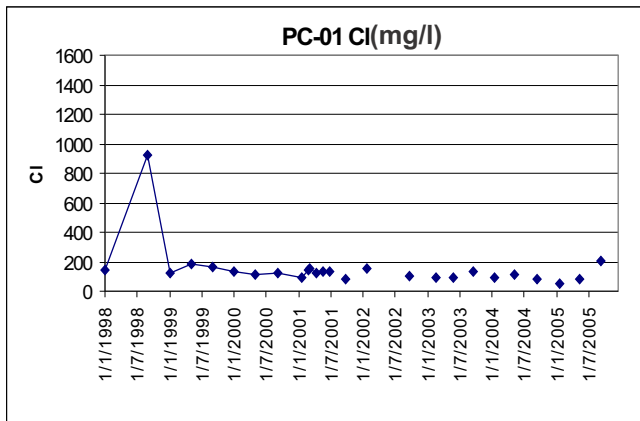


Gráfico 03: Cloro (Cl) versus datas de amostragem, valores de Cl em mg/L

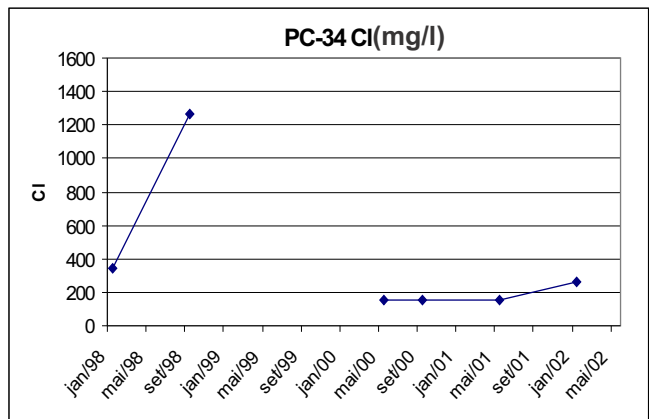
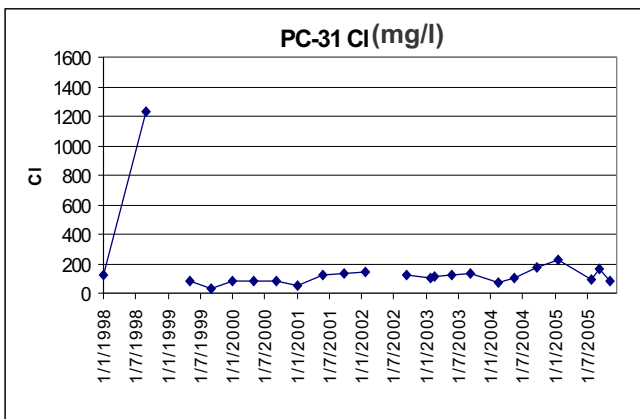
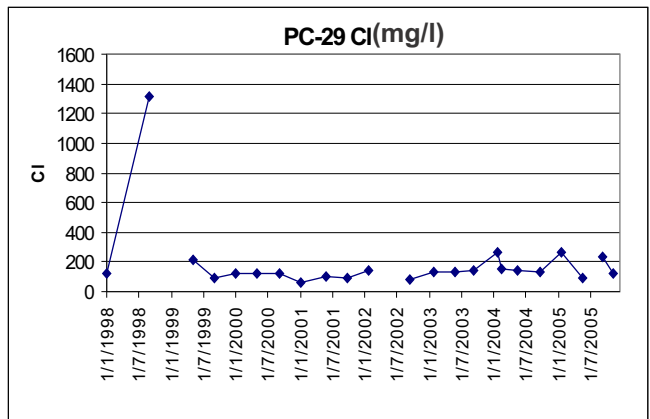
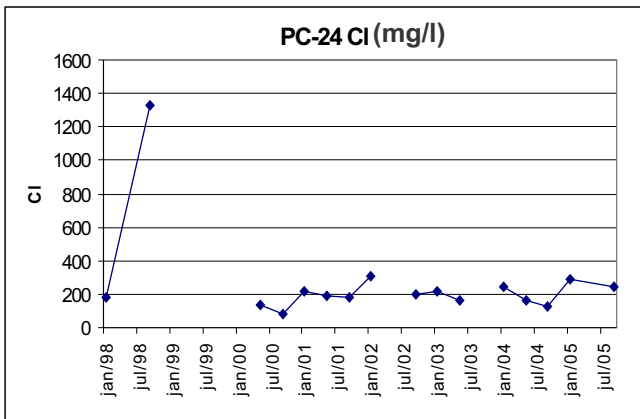
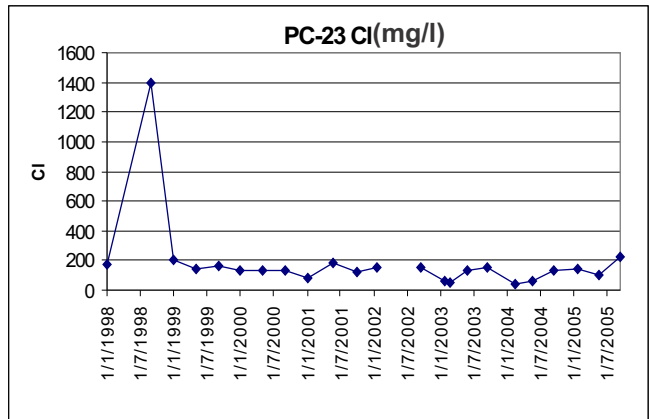
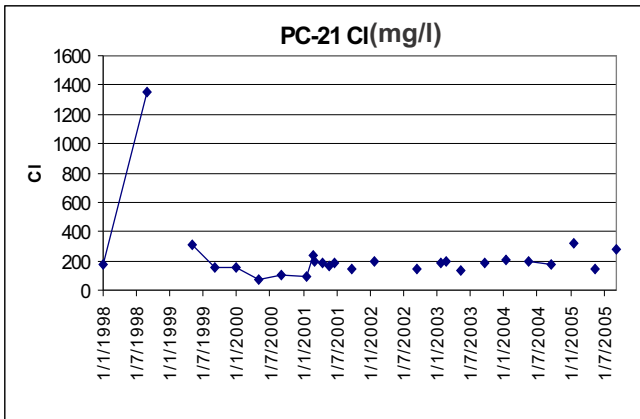
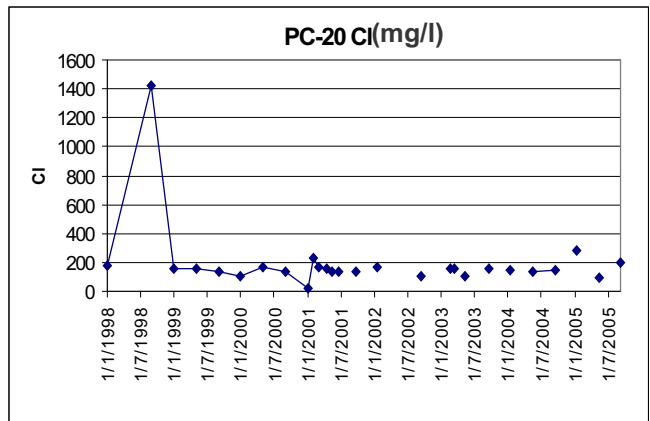
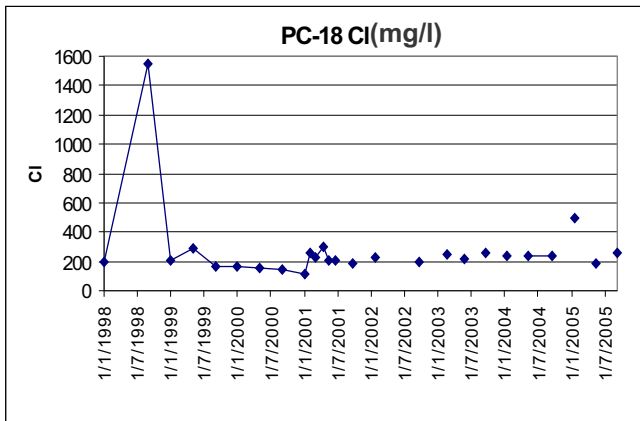


Gráfico 04: Cloro (Cl) versus datas de amostragem., Valores de Cl em mg/L..

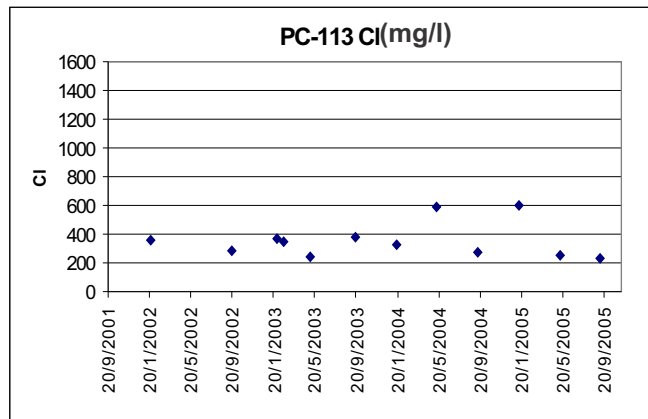
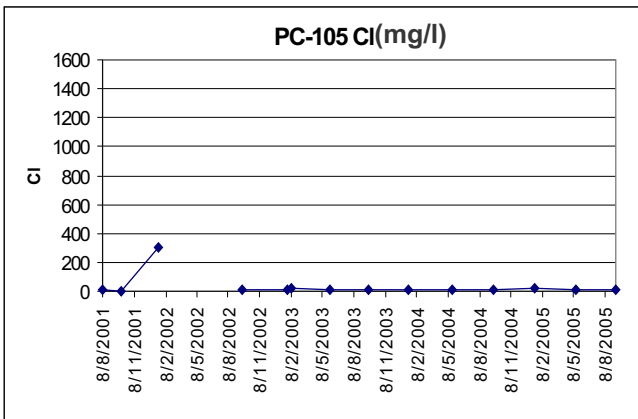
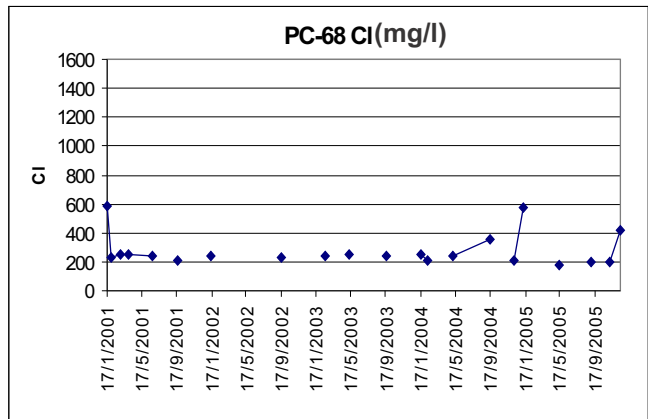
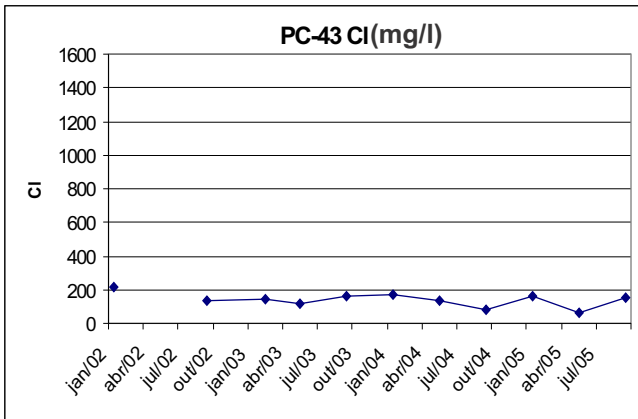
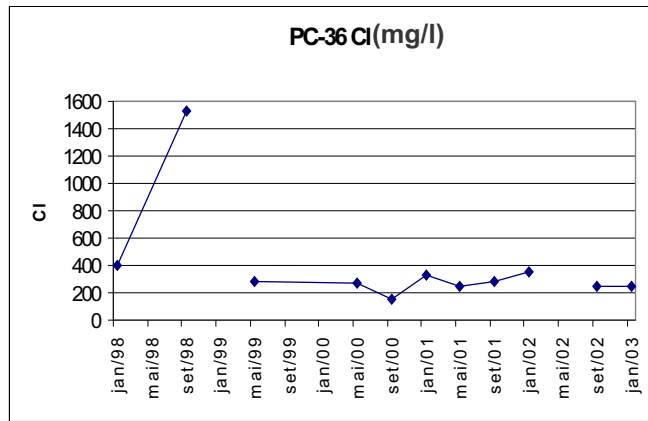
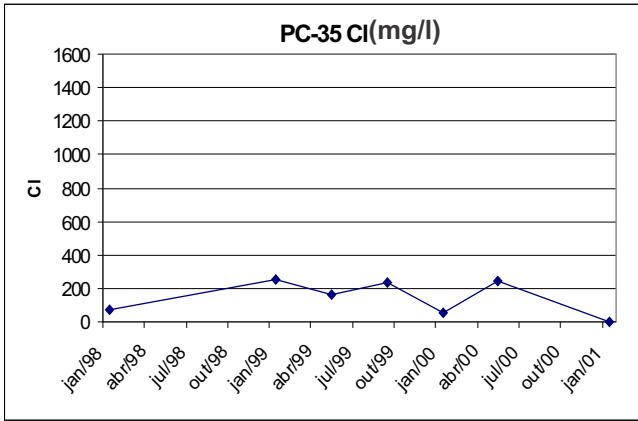


Gráfico 05: Cloro (Cl) versus datas de amostragem., Valores de Cl em mg/L..

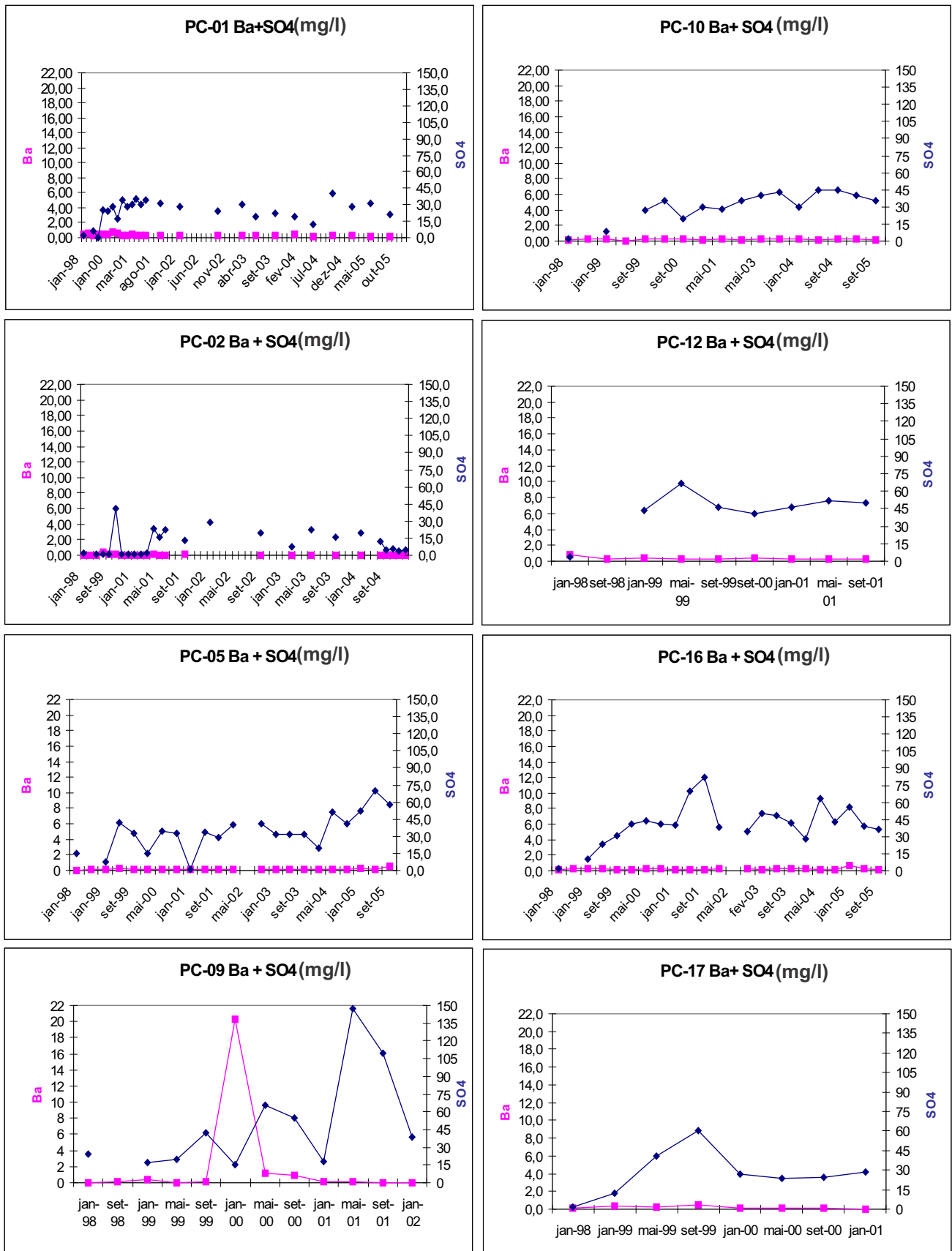


Gráfico 06: Sulfato de Bário (BaSO4) versus data de amostragem, valores em mg/L.

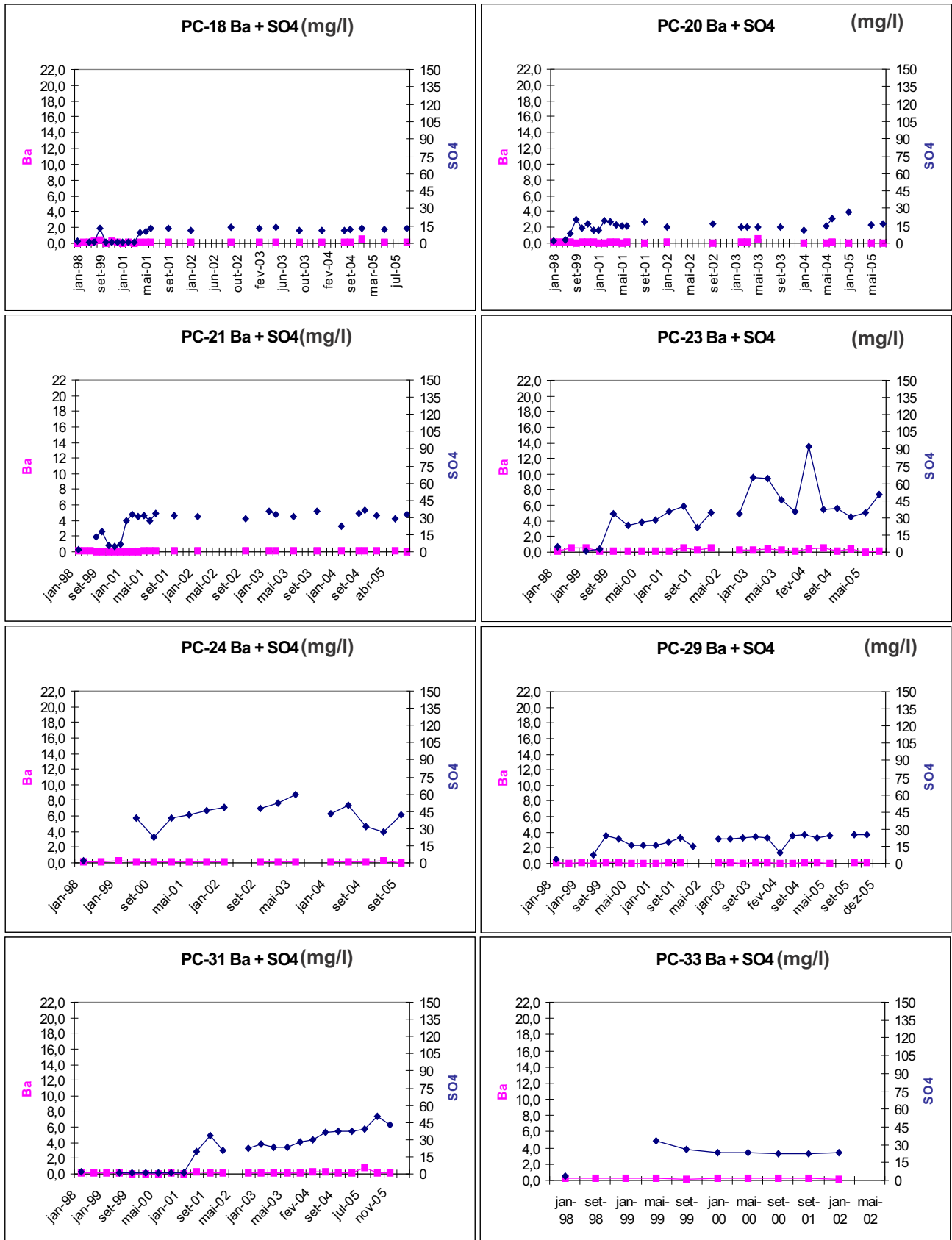


Gráfico 07: Sulfato de Bário (BaSO₄) versus data de amostragem, valores em mg/L.

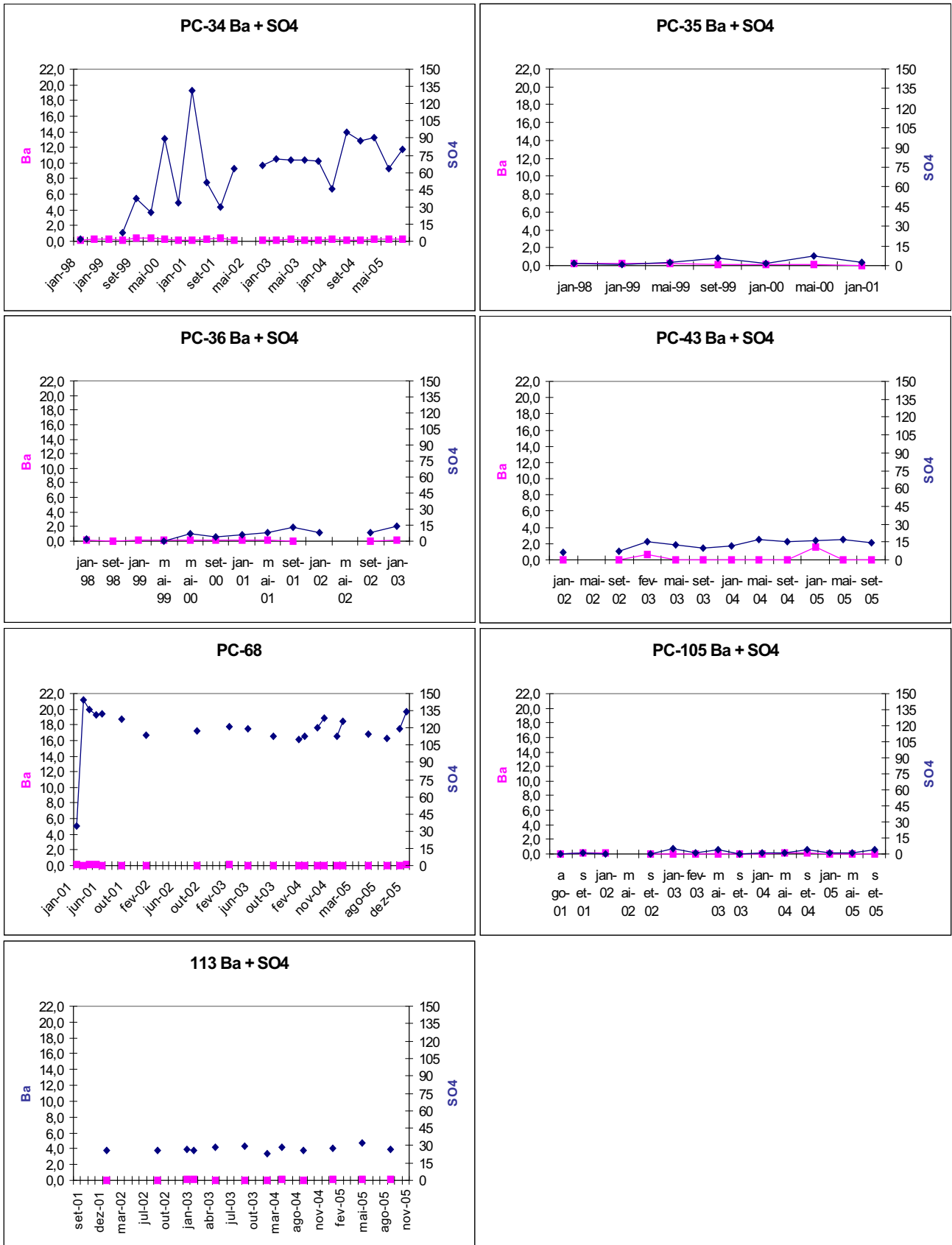
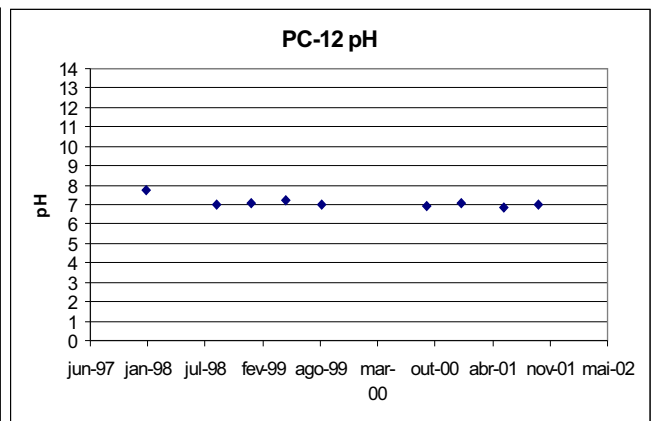
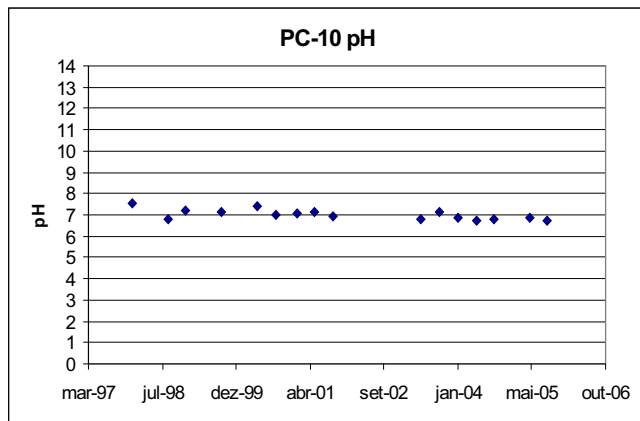
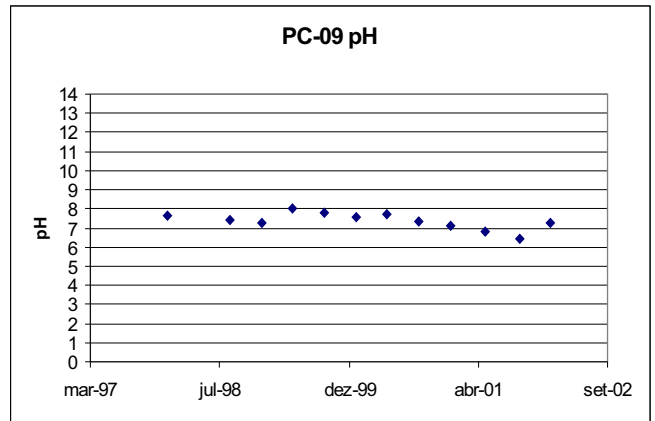
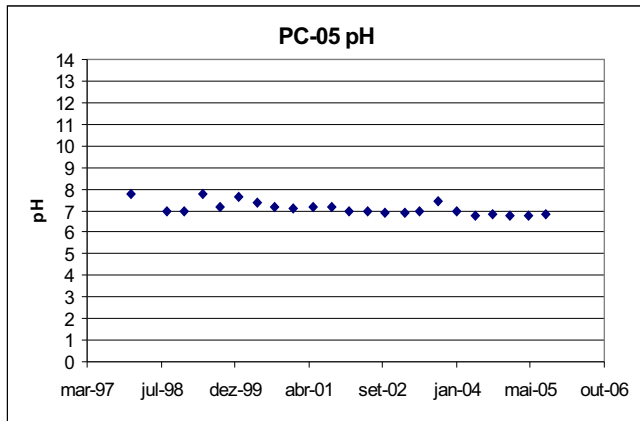
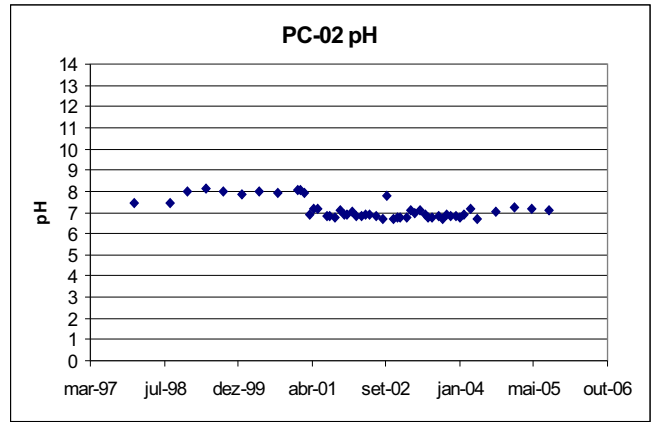
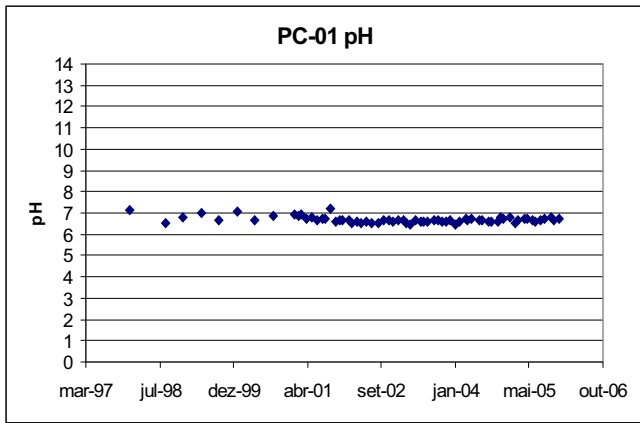
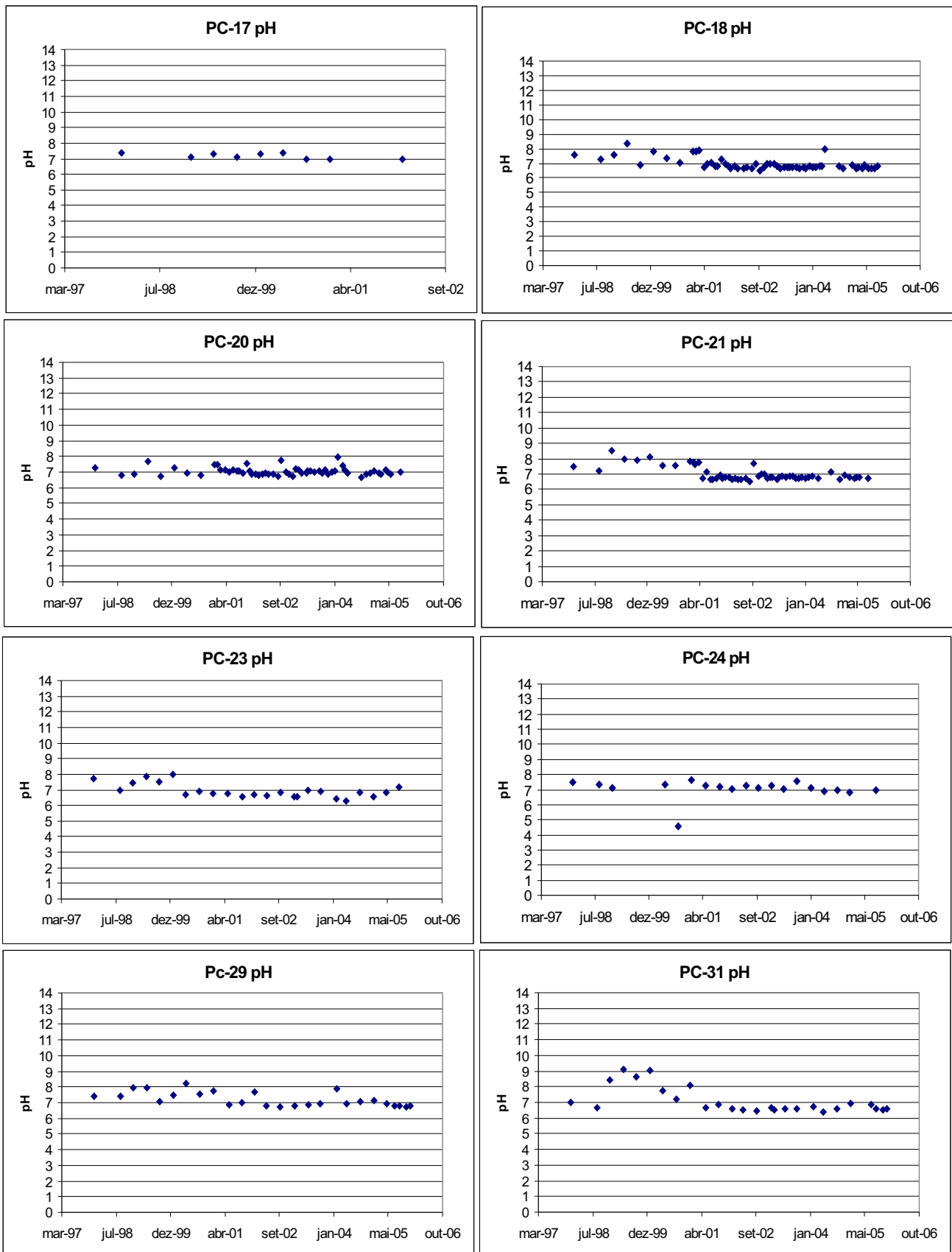
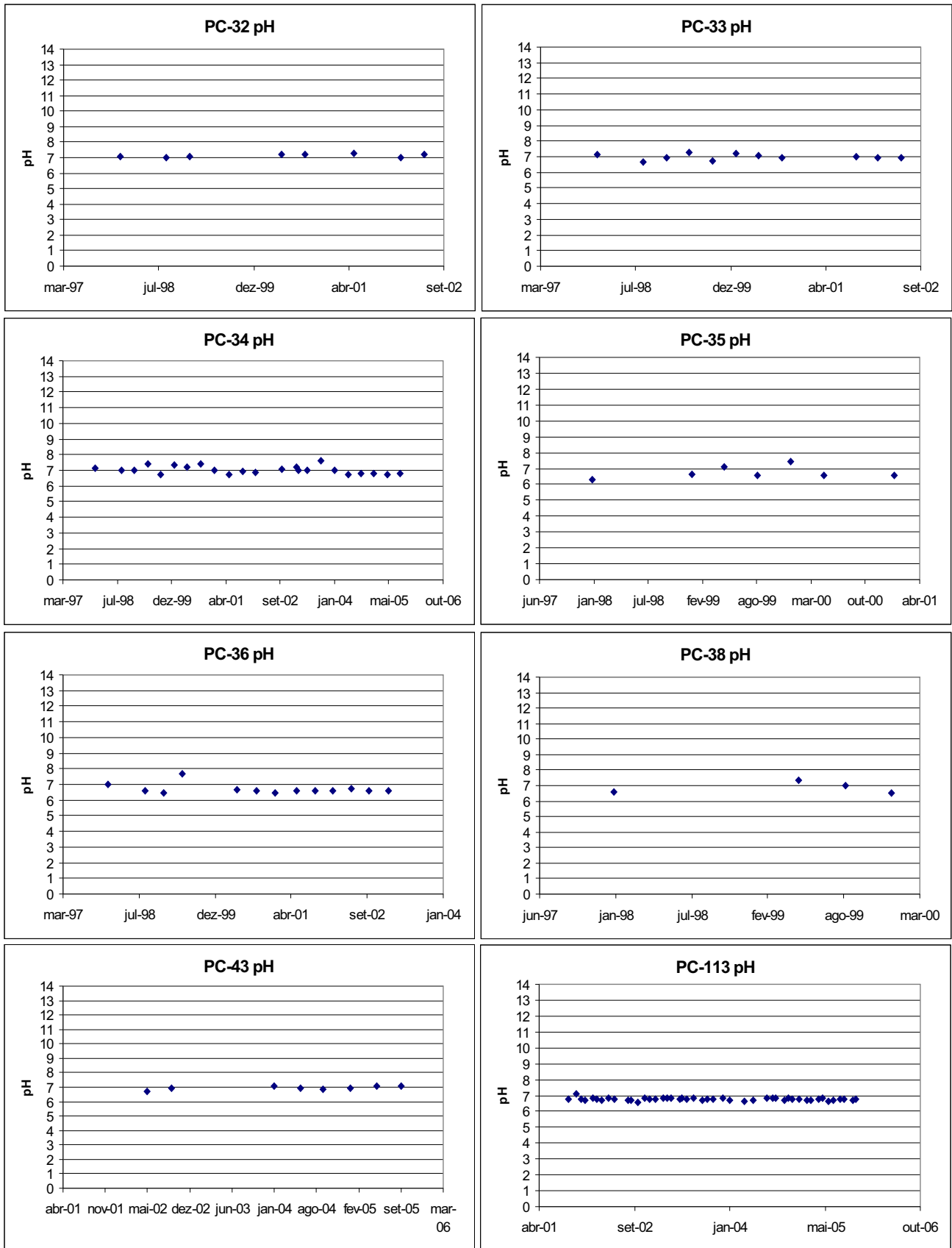


Gráfico 08: Sulfato de Bário (BaSO4) versus data de amostragem, valores em mg/L





Gráficos 10: Valores de pH versus datas de amostragem



Gráficos 11: Valores de pH versus datas de amostragem

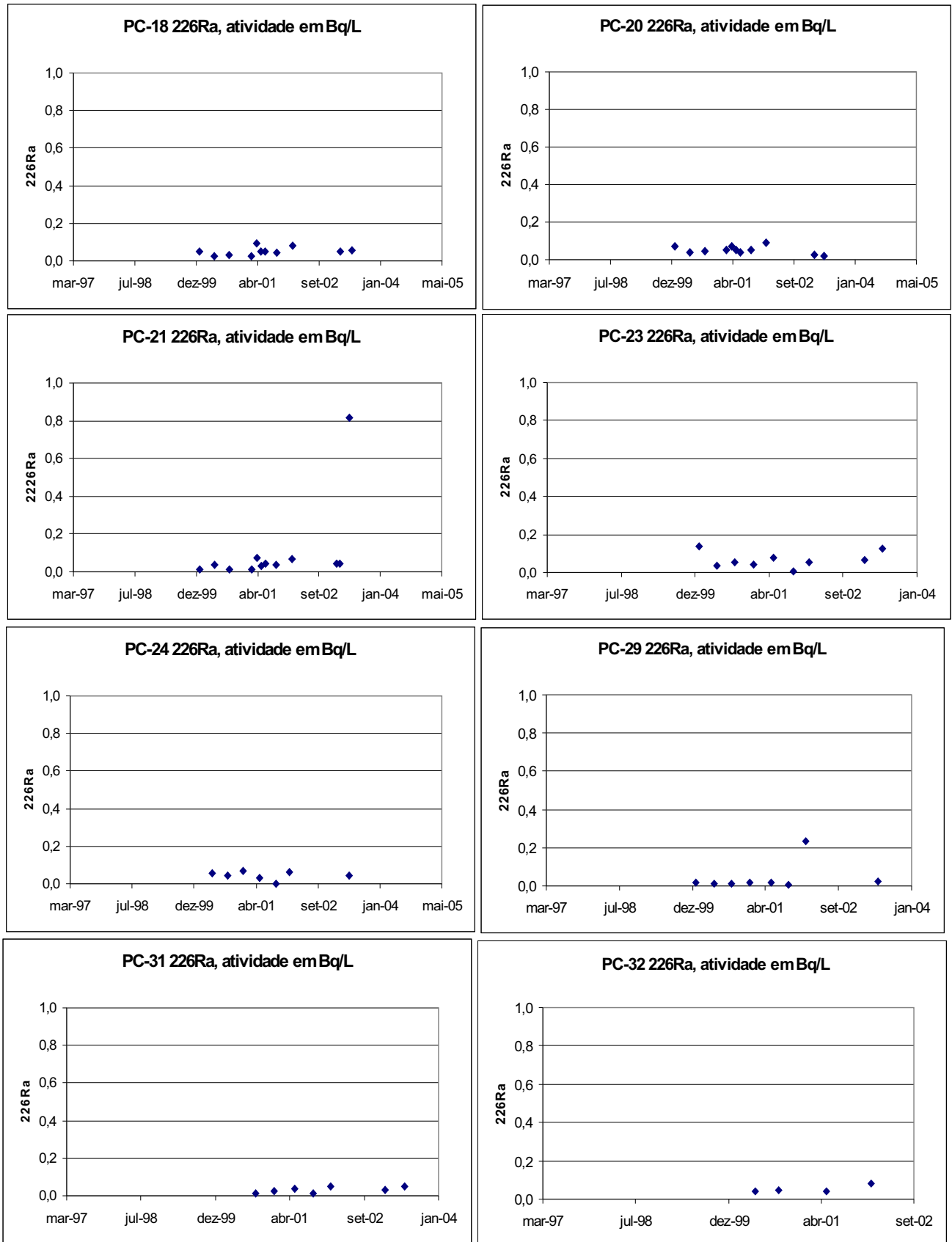


Gráfico 13: Valores de Rádio (^{226}Ra) versus datas de amostragem.

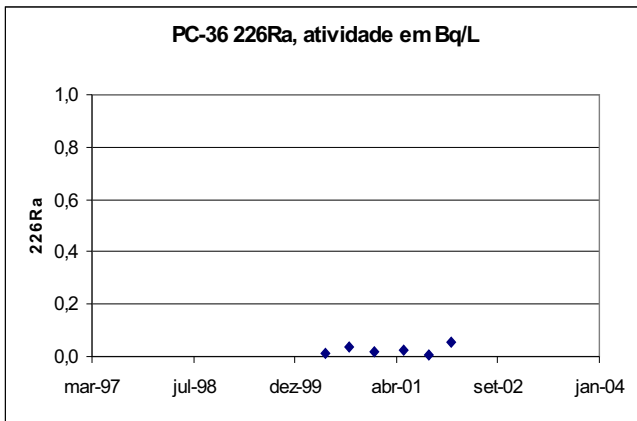
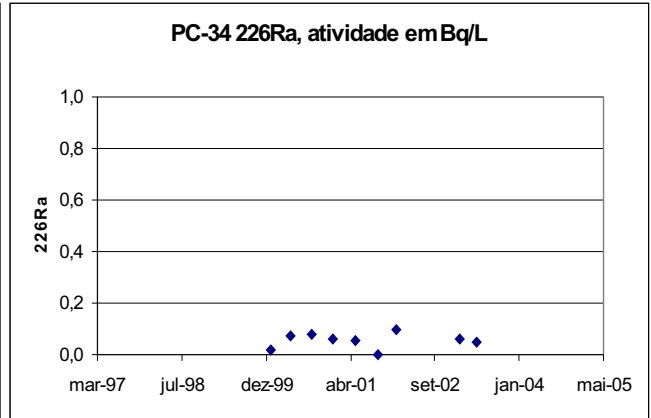
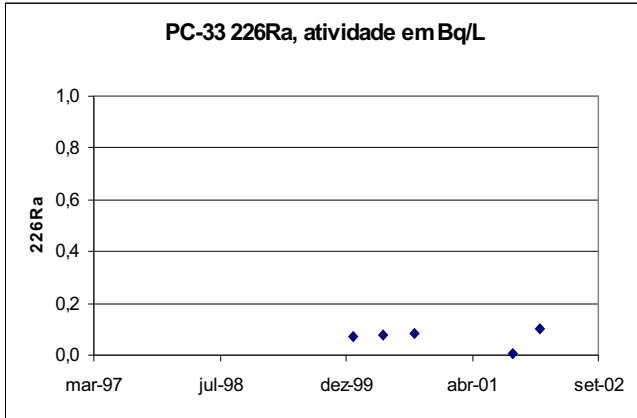


Gráfico 14: Valores de Rádio (^{226}Ra) versus datas de amostragem.

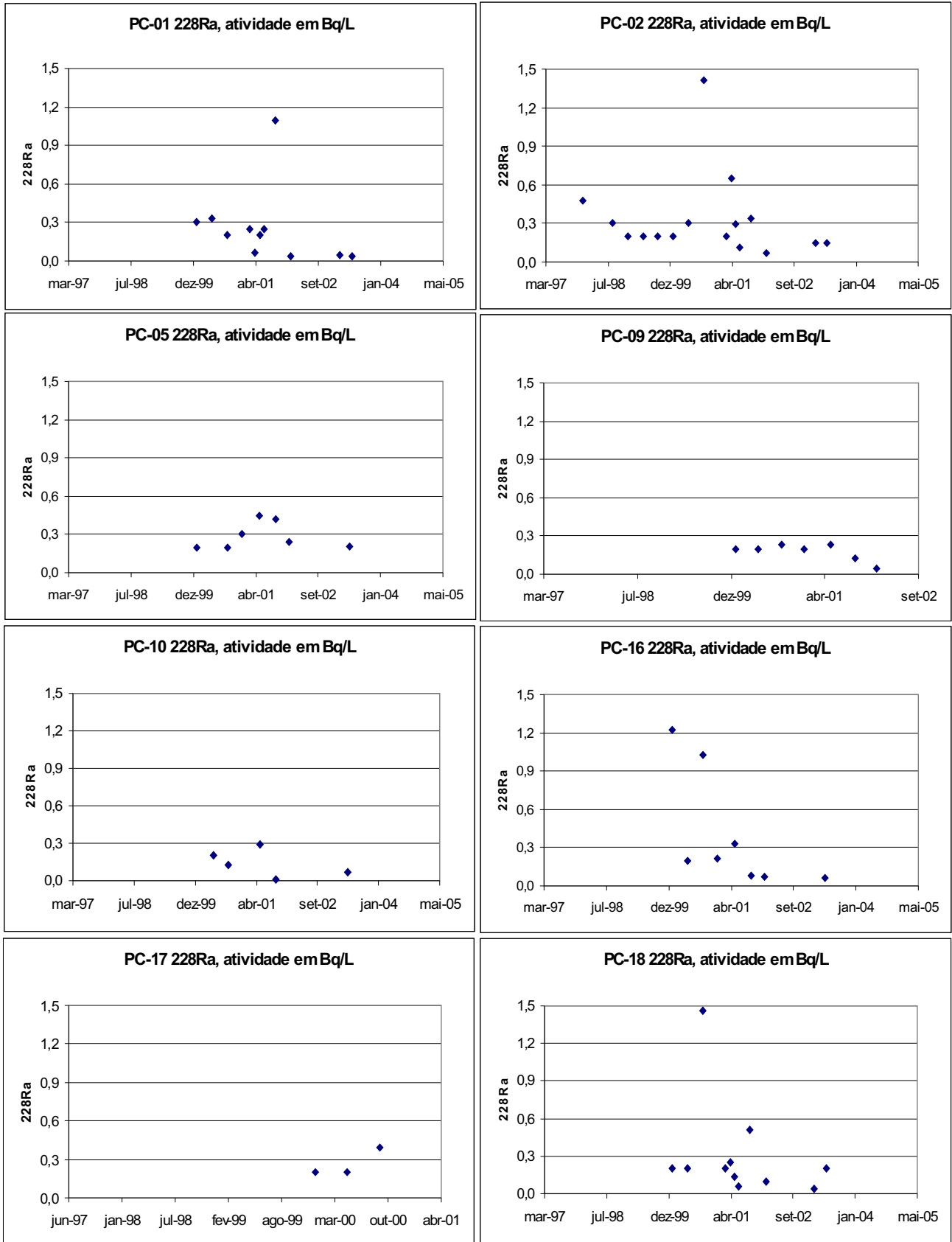


Gráfico 15: Valores de Rádio (^{228}Ra) versus datas de amostragem.

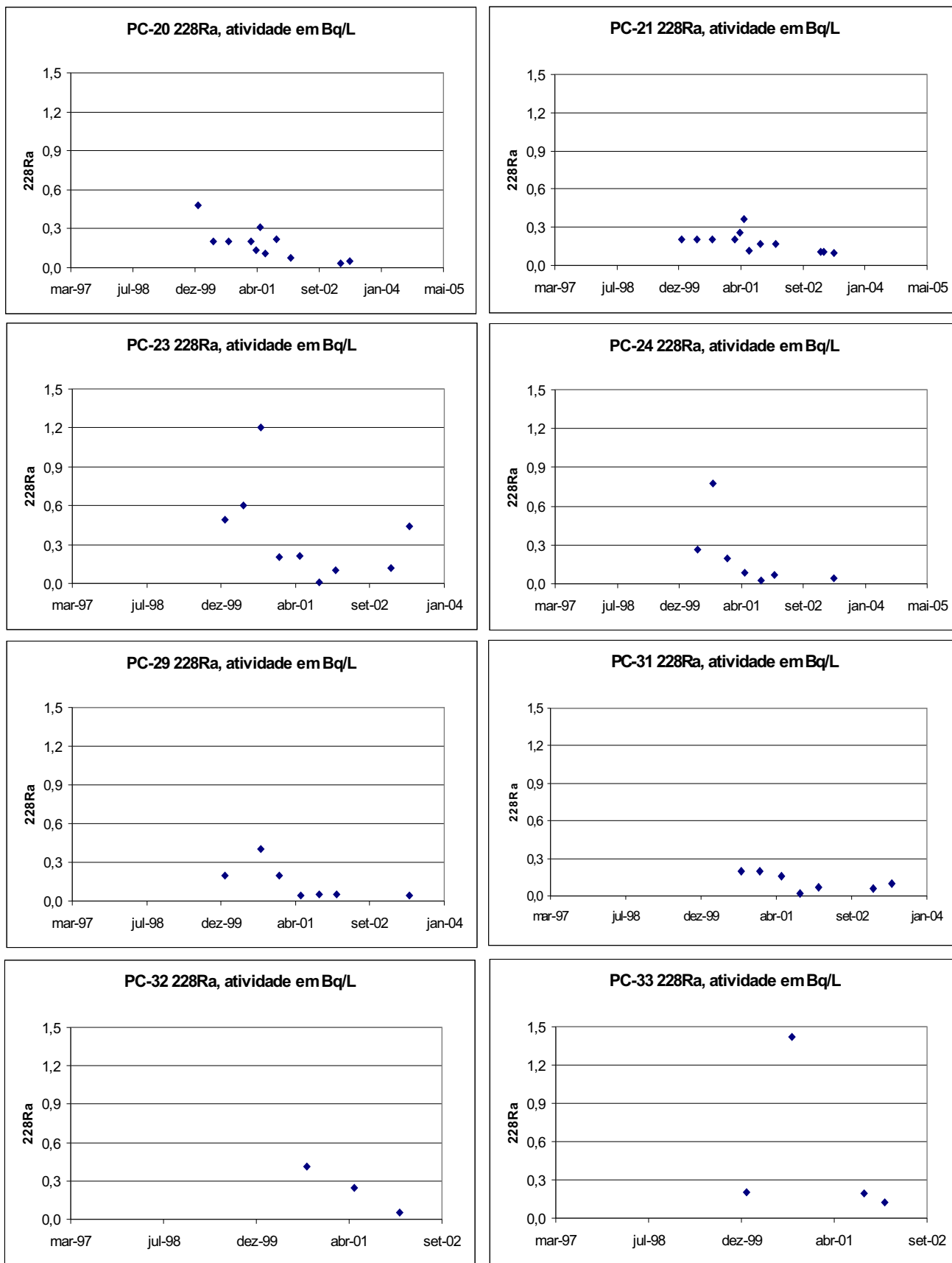


Gráfico 16: Valores de Rádio (^{228}Ra) versus datas de amostragem.

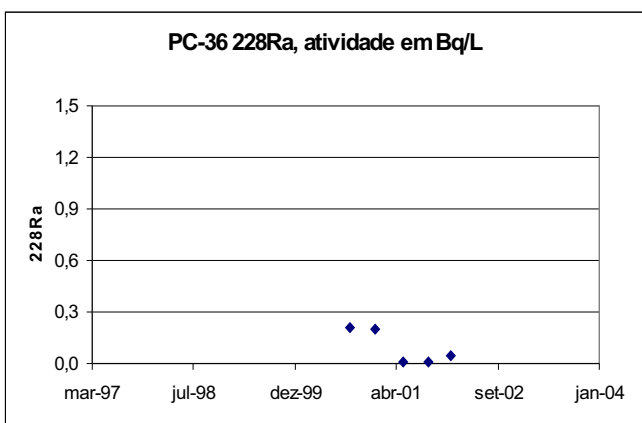
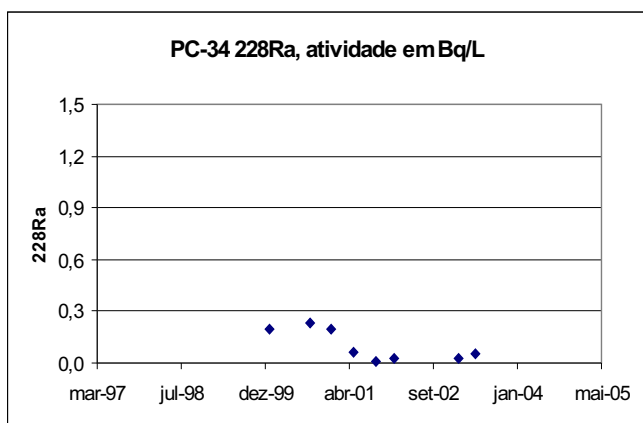
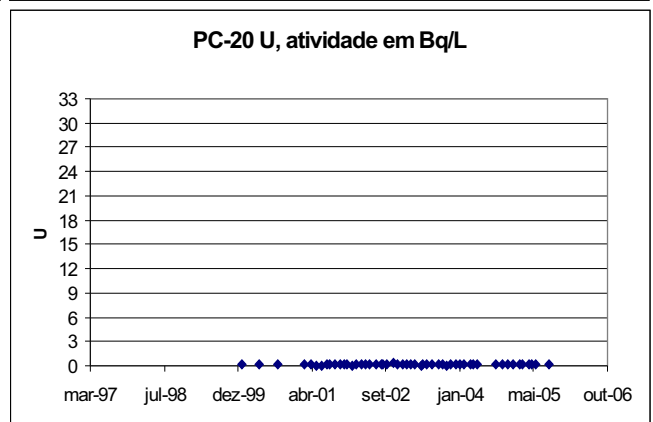
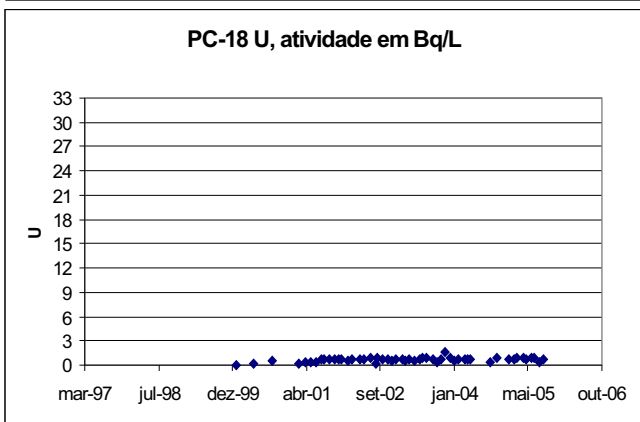
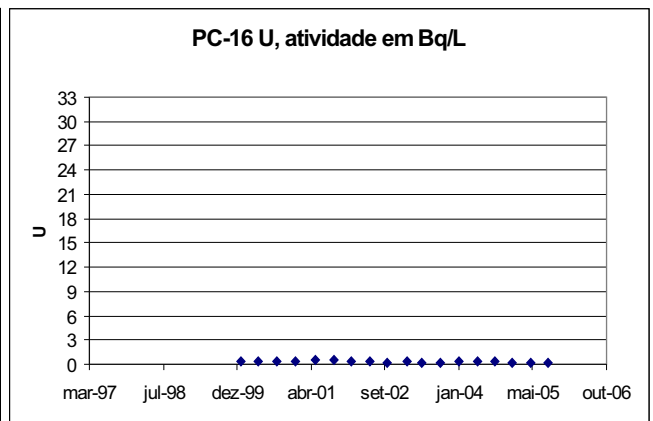
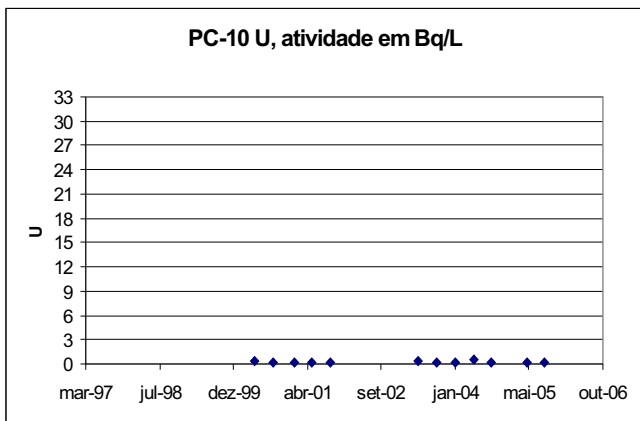
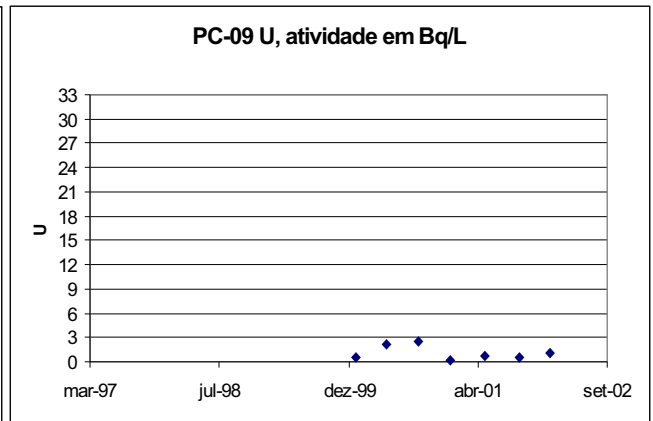
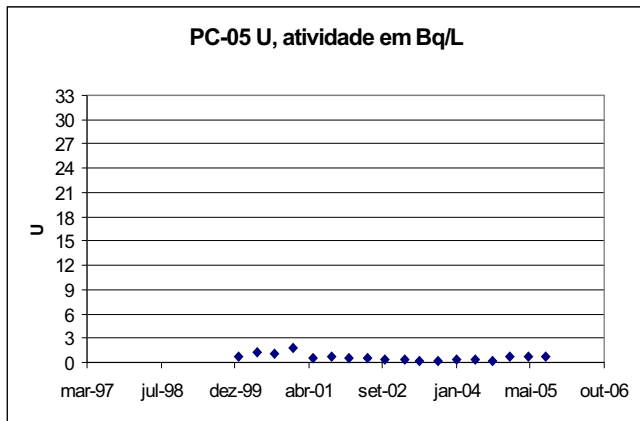
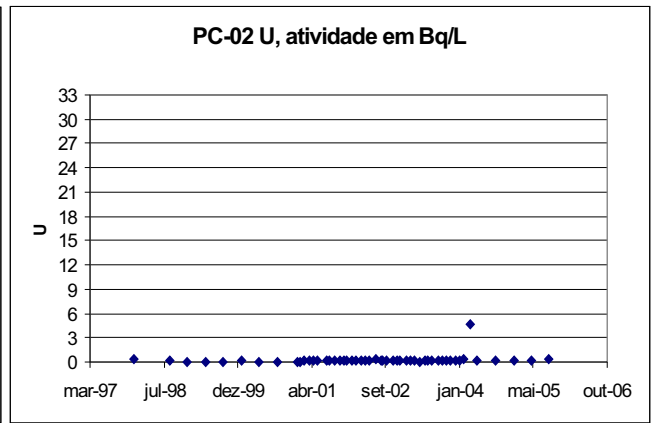
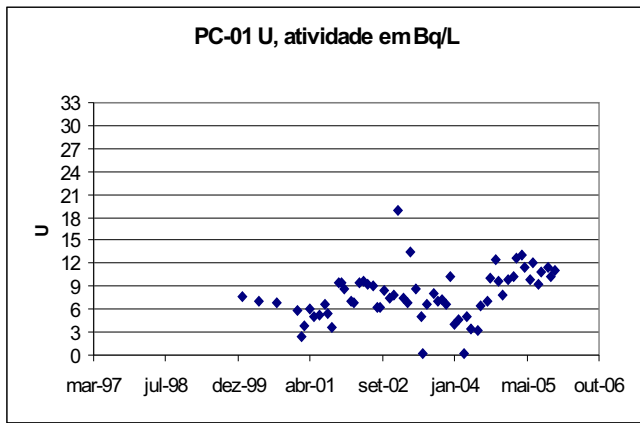
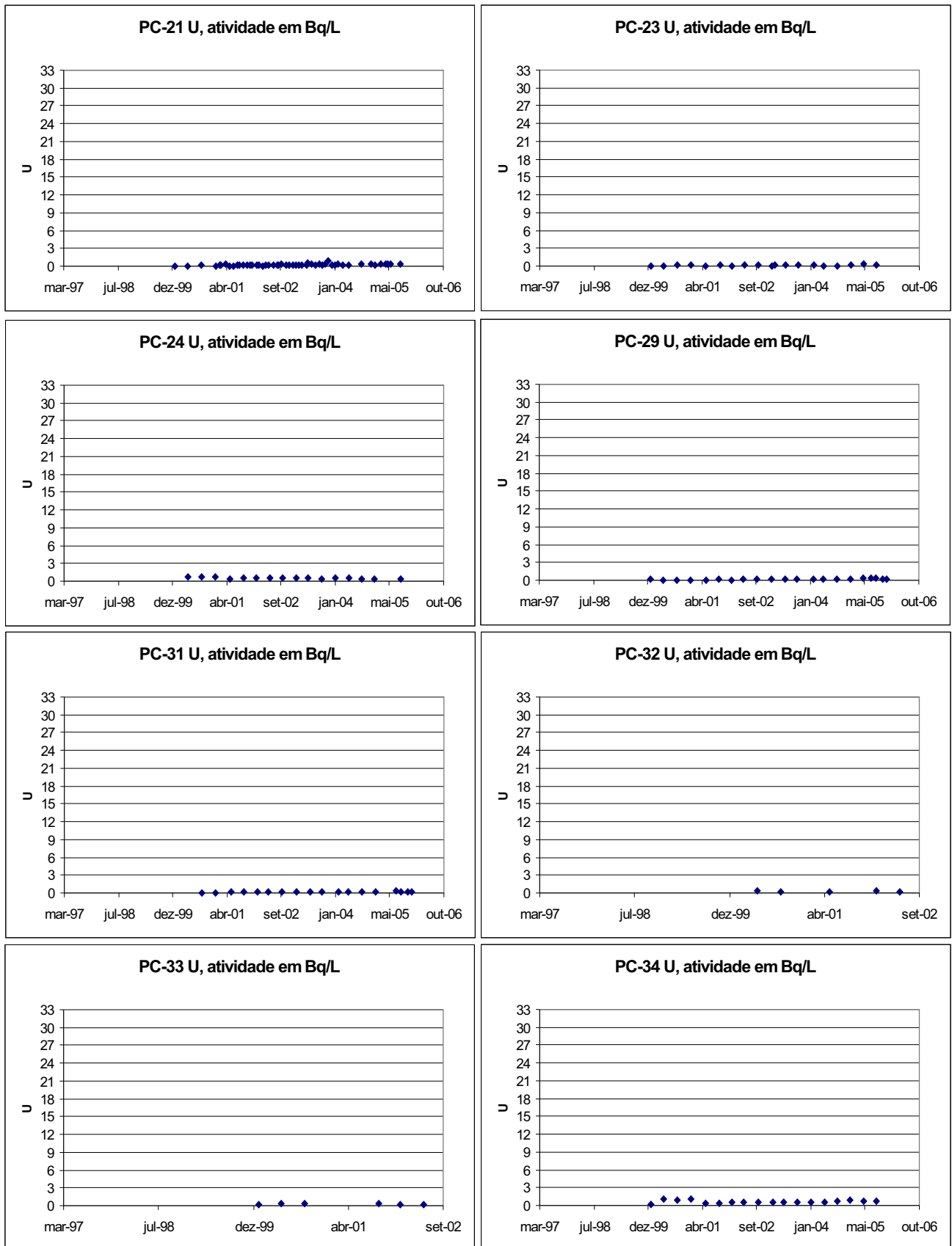


Gráfico 17: Valores de Rádio (^{228}Ra) versus datas de amostragem.



Gráficos 18: Valores de Urânio (U) versus as datas de amostragem.



Gráficos 19: Valores de Urânio (U) versus as datas de amostragem.

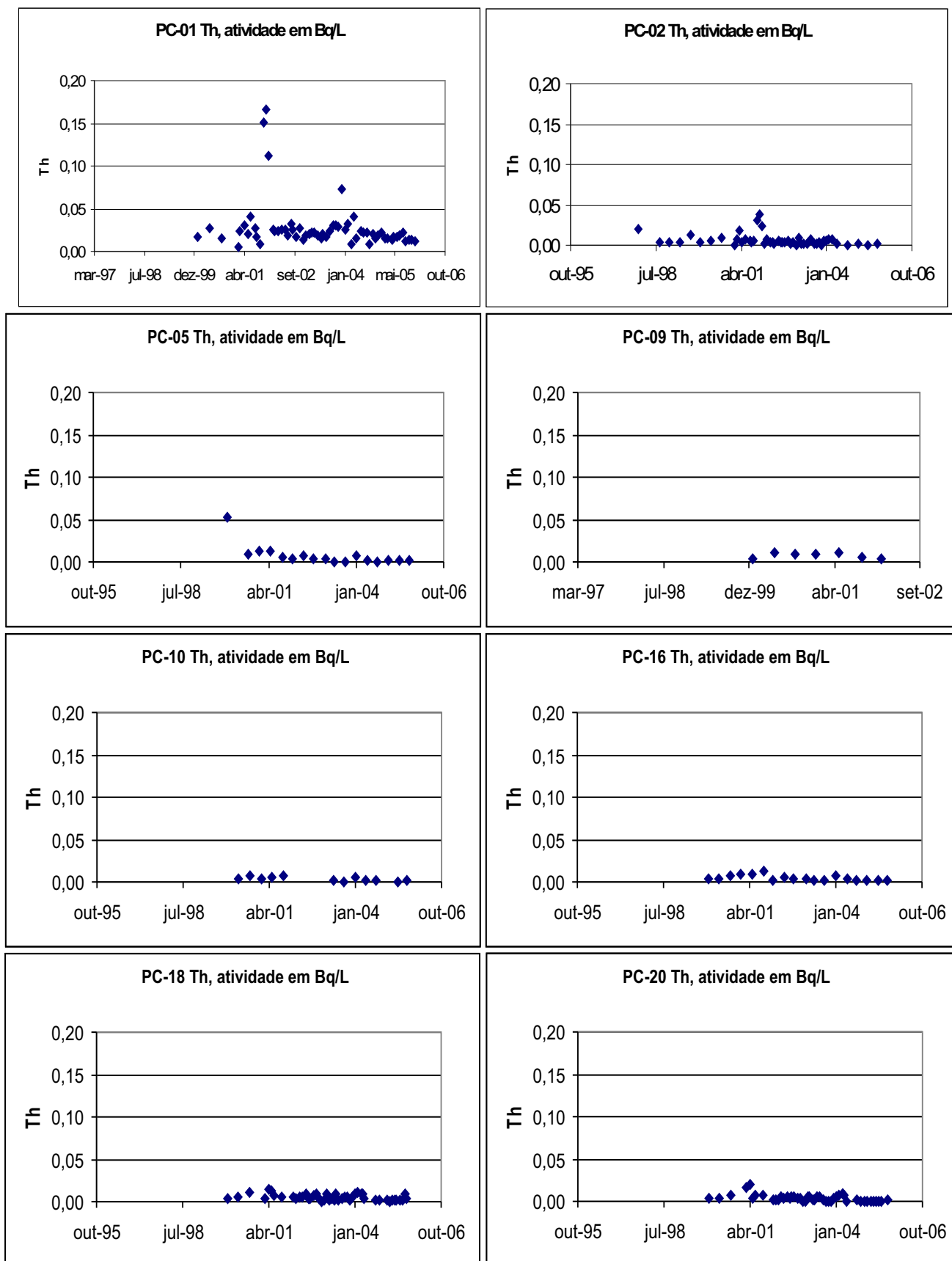


Gráfico 21: Valores de Tório (Th) versus data de amostragem

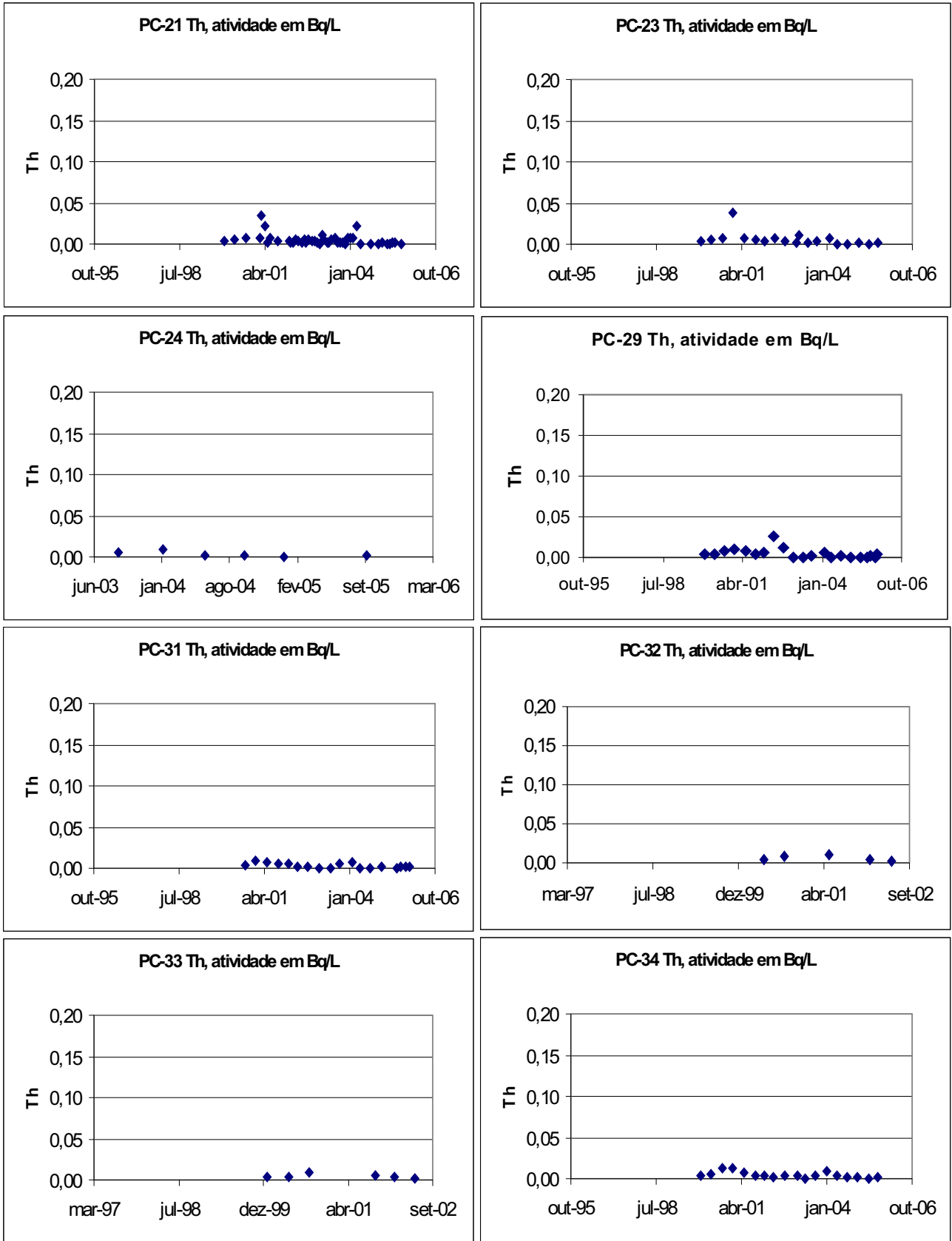


Gráfico 22: Valores de Tório (Th) versus data de amostragem

