



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

DETERMINAÇÃO DE PERFIS DE TAXA DE PRODUÇÃO DE CALOR RADIOGÊNICO EM POÇOS DA BACIA DO RECÔNCAVO

PAULO BEZERRA ALVES JÚNIOR

SALVADOR – BAHIA

MAIO – 2004



**Determinação de perfis de taxa de produção de calor radiogênico em poços da
bacia do Recôncavo**

por

PAULO BEZERRA ALVES JÚNIOR

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

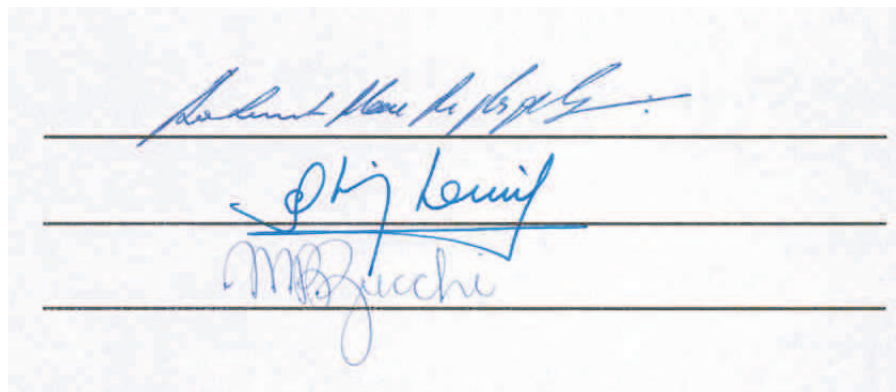
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA APLICADA

DO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA



The image shows three handwritten signatures in blue ink on a white background with horizontal lines. The first signature is 'Roberto Max de Argollo', the second is 'Olivar Antônio Lima de Lima', and the third is 'M. Rosário Zucchi'.

Comissão Examinadora

Dr. Roberto Max de Argollo

Dr. Olivar Antônio Lima de Lima

Dra. Maria do Rosário Zucchi

Data da aprovação: 28/05/2004

Dedicatória: Dedico este trabalho
primeiramente aos meus Pais, pelo
carinho e dedicação para comigo,
aos amigos desta longa caminhada e
aqueles que acreditaram fielmente
no meu sucesso.

RESUMO

Os teores de tório, urânio e potássio foram medidos e as taxas de produção de calor radiogênico, por peso, calculadas em 640 amostras de rochas sedimentares de dois poços, o FFL-1 e o MGP-34, na bacia do Recôncavo, Bahia.

Os teores de tório variaram de 1,6 a 25,5 ppm, os de urânio entre o limite inferior de determinação 0,5 e 5,82 ppm e os de potássio entre 0,05 e 2,55 %.

As taxas de produção de calor radiogênico variaram de 0,50 a $10,85 \times 10^{-4} \mu W kg^{-1}$ sendo maior nos folhelhos e menor nos arenitos. Num mesmo tipo de rocha, esta produção varia de 0,5 a $8,57 \times 10^{-4} \mu W kg^{-1}$ nos arenitos, e de 6,47 a $10,85 \times 10^{-4} \mu W kg^{-1}$ nos folhelhos.

ABSTRACT

Thorium, uranium and potassium concentrations were determined and heat production rates by weight were calculated in 640 of sedimentary rocks from drillcore cuttings from two deep wells drilled in the Recôncavo basin, Bahia.

The thorium concentrations vary from below the determination limit 1,0 and 25,5 ppm, the uranium concentrations between its determination limit 0,5 and 5,82 ppm, while the potassium concentrations vary between 0,05 and 2,55 %.

The heat production rates vary between 0,05 and $10,85 \times 10^{-4} \mu W kg^{-1}$, higher in the shales and lower in the sandstones. In the same rock type, this production rates vary of 0,5 and $8,57 \times 10^{-4} \mu W kg^{-1}$ in sandstones and between 6,47 and $10,87 \times 10^{-4} \mu W kg^{-1}$ in sales.

ÍNDICE

RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 Geologia da bacia do Recôncavo	2
1.1 Arcabouço estrutural	2
1.2 Estratigrafia	2
CAPÍTULO 2 Base teórica das técnicas geofísicas	8
2.1 Desintegração radioativa	8
2.1.1 Decaimento alfa	9
2.1.2 Decaimento beta	9
2.1.3 Radiação gama	10
2.2 Lei do decaimento radioativo	10
2.2.1 Atividade	11
2.2.2 Meia-vida	11
2.2.3 Vida média	11
2.3 Transformações radioativas sucessivas	12
2.4 Equilíbrio radioativo secular	13
2.5 Séries radioativas naturais	14
2.6 Produção de calor radiogênico	15
CAPÍTULO 3 Métodos analíticos	21
3.1 Definição das janelas	25
3.2 Geometria de contagem	26
3.3 Padrões	26
3.4 Material amostrado	27
3.5 Obtenção das equações	27
3.6 Limite de detecção	30
3.6.1 Nível crítico	31

3.6.2	Limite de detecção	32
3.6.3	Limite de determinação	32
3.7	Obtenção da taxa de calor radiogênico	34
CAPÍTULO 4	Discussões e conclusões	35
4.1	Discussão	35
4.2	Conclusões	46
Agradecimentos		47
APÊNDICE A		48
Referências bibliográficas		71

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Mapa de localização do estado da Bahia (1-A), localização da área de estudo no estado da Bahia (1-B) e área de estudo (1-C)	5
1.2	Evolução crustal do rifteamento sul-americano (Sapucaia, 2002).	6
1.3	Seção esquemática mostrando a geometria do meio-gabrem da bacia sedimentar do Recôncavo	6
1.4	Coluna estratigráfica da bacia do Recôncavo (Sapucaia, 2002).	7
2.1	Série de decaimento do urânio	20
2.2	Série de decaimento do tório	20
3.1	Espectro combinado de tório, onde em vermelho temos marcado o intervalo da janela-1	22
3.2	Espectro combinado de urânio, onde em vermelho temos marcado o intervalo da janela-2	22
3.3	Espectro combinado de potássio, onde em vermelho temos marcado o intervalo da janela-3	23
4.1	Perfis do poço FFL-1, na profundidade de 0 a 1050m	36
4.2	Perfis do poço FFL-1, na profundidade de 1050 a 2100m	37
4.3	Perfis do poço FFL-1, na profundidade de 2100 a 3150m	38
4.4	Perfis do poço MGP-34, na profundidade de 0 a 1220m	39
4.5	Perfis do poço MGP-34, na profundidade 1220 a 2440m	40
4.6	Perfis do poço MGP-34, na profundidade de 2440 a 3660m	41
4.7	Comparação entre os perfis de calor radiogênico	42
4.8	Comparação entre os perfis de calor radiogênico	43
4.9	Comparação entre os perfis de calor radiogênico	44

INTRODUÇÃO

A bacia sedimentar do Recôncavo no estado da Bahia, compõe a porção sul do rifte intracontinental Recôncavo-Tucano-Jatobá, que se desenvolveu sobre o complexo mosaico de terrenos de idade predominantemente Pré-Cambriana. Está limitada a leste pelo alto de Salvador e a oeste pelos Altos de Canabrava, Boa União e Aporá. Ao sul limita-se com a bacia de Camamu pelo falhamento da Barra. Em seu arcabouço geral, a bacia adquire a forma de um meio gabren assimétrico, mais profundo à leste, o que condiciona o mergulho regional das camadas para SE. Nesta Bacia há ocorrência de petróleo e gás, tendo sido o primeiro campo produtor de gás do País, atualmente em fase madura.

Os radioisótopos que ocorrem naturalmente, o potássio-40 e os membros das séries do urânio e do tório estão presentes nas rochas sedimentares em diferentes teores. A distribuição vertical dos elementos potássio, urânio e tório refletem as condições de sedimentação e a história sedimentar da bacia. Por outro lado, a produção de calor devido ao decaimento radioativo, calor radiogênico, pode, dependendo das condições de sedimentação, fornecer informações sobre a história térmica da bacia (Rybach, 1986);(Ribeiro, 2002).

A bacia do Recôncavo – também outras bacias do sul da Bahia – esta sendo estudada em toda sua extensão pelo projeto Geoterm para determinar o fluxo geotérmico na região, como também a produção de calor radiogênico tanto por sedimentos quanto pelo embasamento sobposto. A avaliação da produção de calor radiogênico pelos sedimentos está sendo feita usando a estrutura litológica da bacia, razoavelmente conhecida, e de dados sobre a produção desse calor nos vários tipos de sedimentos que constituem a bacia. A questão é saber se nessas rochas aflorantes, transformadas pelo intemperismo, a produção de calor radiogênico é a mesma de quando elas estão soterradas nas condições de sua deposição.

Desta forma é importante conhecer a produção de calor radiogênico nos tipos de rochas sedimentares soterradas para comparar com os valores obtidos nas amostras de afloramento. Fizemos este trabalho utilizando amostras de testemunhos (640 amostras ao todo) cedidas pela petrobras de dois poços petrolíferos, o FFL-1 e o MGP-34, perfurados na bacia do Recôncavo.

CAPÍTULO 1

Geologia da bacia do Recôncavo

1.1 Arcabouço estrutural

A bacia sedimentar do Recôncavo, possuidora de acumulações petrolíferas, encontra-se alinhada segundo as descontinuidades litoestratigráficas e geotectônicas pré-brasileanas do Crátom do São Francisco, que foram estudadas por diversos autores como Milani (1985), Milani e Davison (1988), Milani (1989), Magnavita (1993) (Sapucaia, 2002)(figura 1.1).

As bacias mesocenozóicas da Margem Continental Brasileira originaram-se durante o processo de estiramento crustal que terminou na fragmentação do Gondwana, separando os continentes sul-americano e africano (figura 1.2). Neste contexto, a bacia do Recôncavo-Tucano-Jatobá iniciou sua evolução no Cretácio Inferior, ao tornar-se um braço abortado do rifteamento que originou o Atlântico Sul (Pietre, 1983).

A bacia do Recôncavo encontra-se limitada a leste pelo Alto de Salvador, a oeste pelos Altos de Canabrava, Boa União a Aporá que se separam da sub-bacia Tucano Sul e ao sul é limitada pela falha da Barra, que a separa da bacia de Camamu (SGM, 1996). De acordo com a estratigrafia mesozóica da Bacia Sedimentar do Recôncavo, podem-se diferenciar três fases para a sua evolução, pré-rifte, sin-rifte e pós-rifte. Observa-se em seções transversais que a geometria da Bacia do Recôncavo é de um meio-graben, com a maior parte da assimetria controlada por uma borda falhada e, em seu lado oposto, uma borda flexural formando uma rampa (figura 1.3).

1.2 Estratigrafia

De acordo com a carta estratigráfica da bacia do Recôncavo apresentada (figura 1.4), descreveremos sumariamente as diferentes unidades litoestratigráficas nesta presentes.

Embasamento: o pacote sedimentar repousa discordantemente sobre o embasamento Pré-Cambriano, composto em sua maior parte, de granulitos e migmatitos de idade Arqueana do Cinturão Granulítico Atlântico assim como de metassedimentos brasileiros da Formação

Estância.

Formação Aflingidos: subdividida nos membros Pedrão(inferior) e Cazumba(superior). O membro basal é contituído por arenitos intercalados a finas camadas de lamitos e ainda por pelitos e evaporitos na sua parte superior. Os arenitos correspondem a depósitos de barras de maré e plataforma representando o ciclo marinho regressivo. Já o Membro Cazumba, composto por folhelhos vermelhos intercalados com níveis sílticos conferem um ambiente lacustre.

Formação Aliança: abrange os membros Boipeba e Capianga. O Boipeba consiste de arenitos avermelhados que variam de finos a conglomeráticos que representam depósitos de um sistema fluvial entrelaçado com retrabalhamento eólico. Já o Capianga formado por folhelhos vermelhos com raras intercalações de arenitos finos, constituem uma sedimentação lacustre rasa.

Formação Sergi: composta por arenitos desde finos a conglomeráticos também com intercalações de folhelhos vermelhos e cinza esverdeados foram depositados por sistemas fluviais entrelaçados, com retrabalhamento eólico.

Formação Itaparica: é caracterizada por folhelhos e siltitos com raras intercalações de arenitos finos; é o registro de depósitos lacustres, com pequenas incursões fluviais.

Formação Água Grande: abrange os membros Tauá e Gomo. O membro Tauá, basal, caracteriza-se por folhelhos cinza escuros, físseis, de partição acicular, ricos em matéria orgânica. O membro Gomo é constituído por folhelhos também cinza esverdeados, intercalados a biocalcarenitos, calcilutito e arenitos turbidíticos inseridos nesse sistema lacustre de lago profundo.

Formação Maracangalha: caracteriza-se por folhelhos cinza esverdeados e cinza escuros e é subdividida nos membros Caruaçu e Pitanga. O membro Pitanga compõe-se de arenitos finos, maços, sílticos, argilosos, ricos em fragmentos de matéria orgânica originados por fluxos gravitacionais. Já o membro Caruaçu é representados por camadas lenticulares de arenitos finos a médio, que foram geradas por correntes de turbidez.

Formação Salvador: caracterizada pelos conglomerados e arenitos que ocorrem na borda leste da bacia do Recôncavo. Esses conglomerados são os resultados de leques aluviais sintectônicos que marcam a atividade de falhas de borda que representa a fase rifte dessa bacia. O atual membro Sesmaria designa os arenitos que realmente correspondem às fácies distais da formação Salvador e não aqueles pertencentes ao membro Morro do Barro que não possuem nenhuma relação com os conglomerados da borda da bacia, como fora proposto anteriormente.

Formação Marfim: composta por arenitos finos à médio bem selecionados, intercalados

a camada de folhelhos cinza-esverdeados que correspondem a depósitos de origem flúvio-deltaica.

Formação Pojuca: constituída por arenitos muito finos a médios, às vezes sílticos, calcíferos; também folhelhos cinzas, siltitos e biocalcarenitos ostracoides. São também depósitos de origem flúvio-deltaica.

Formação Taquipe: caracteriza-se por folhelhos cinza, arenitos muito fino a fino, silticos e ainda margas. Esta unidade ocupa uma feição erosiva em forma de canhão, alongada na direção norte-sul e constatada na porção centro-oeste do Recôncavo. São depósitos de fluxos gravitacionais.

Formação São Sebastião: subdividida em três membros: Paciência (inferior), Passagem dos Teixeiras (médio) e Rio Joanes (superior). Estes membros são caracterizados por intercalações de arenitos grossos, amarelo-avermelhados, friáveis, intercalados com siltitos e folhelhos. Correspondem a depósitos de sistemas fluviais.

Formação Marizal: constituída essencialmente por arenitos e conglomerados e secundariamente, por siltitos, folhelhos e calcários. São depósitos de leques aluviais com pequenos lagos restritos associados.

Formação Sabiá: composta por folhelhos cinza esverdeados com intercalações de arenitos finos e lentes de calcários. Correspondem a depósitos de ambientes marinho.

Formação Barreiras: representada por arenitos grossos e conglomerados com intercalações de lamitos caracterizam depósitos de leques aluviais (Petrobras, 2002) .

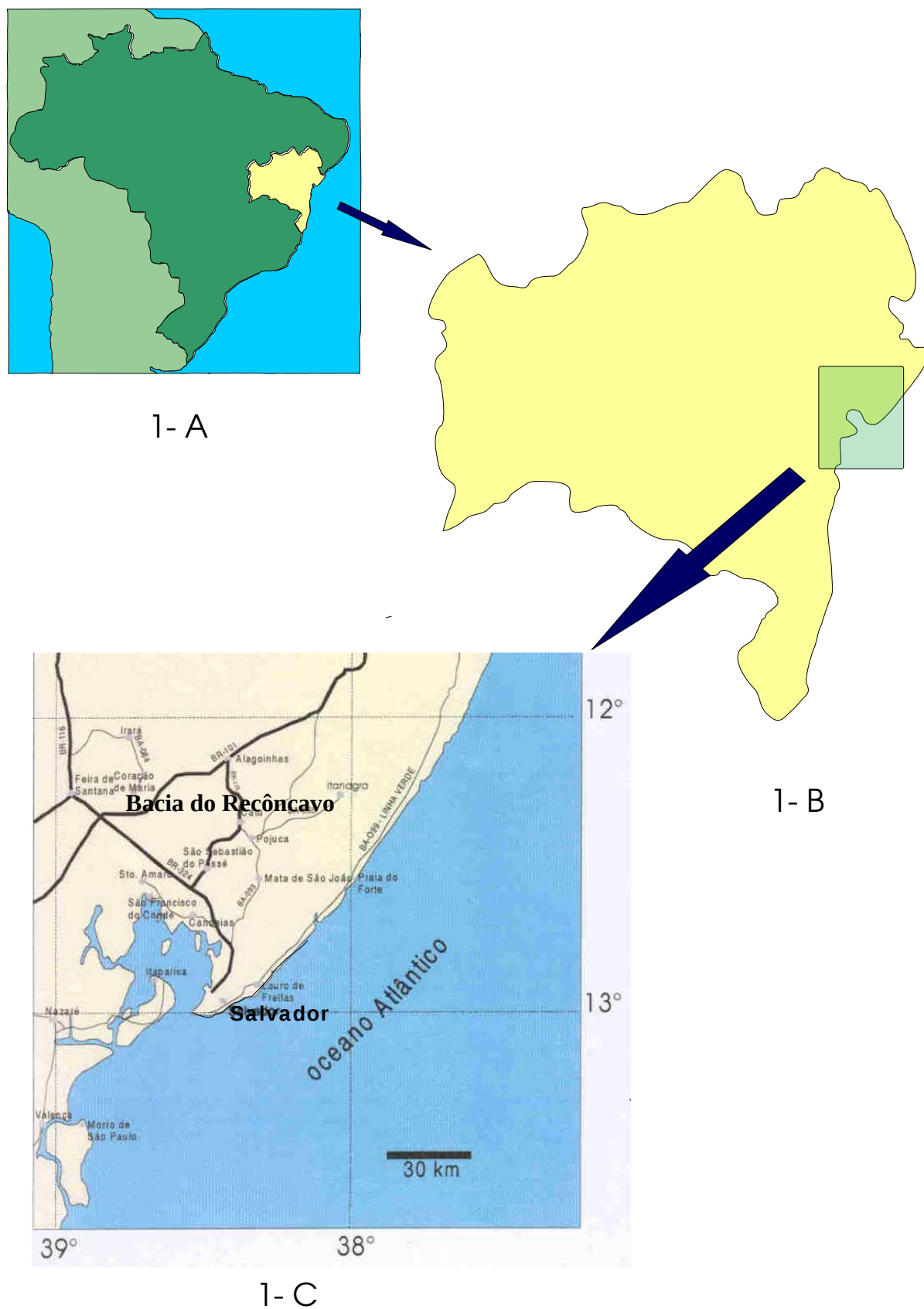


Figura 1.1: Mapa de localização do estado da Bahia (1-A), localização da área de estudo no estado da Bahia (1-B) e área de estudo (1-C)

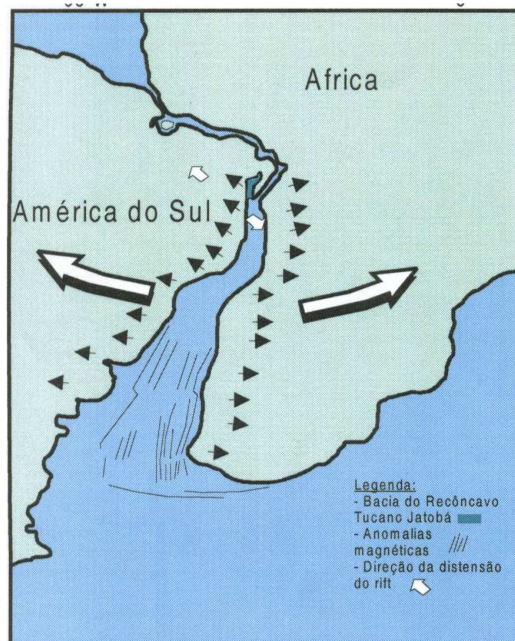


Figura 1.2: Evolução crustal do rifteamento sul-americano (Sapucaia, 2002).

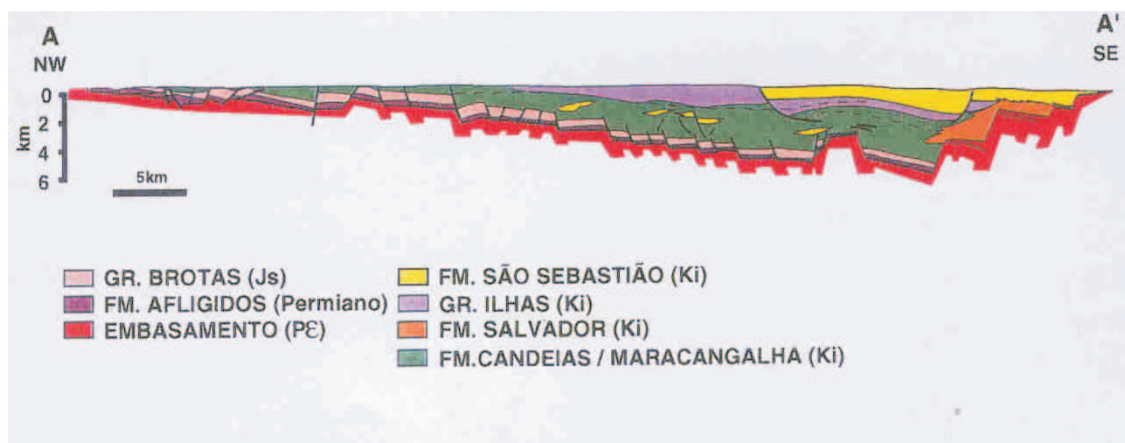


Figura 1.3: Seção esquemática mostrando a geometria do meio-gabrem da bacia sedimentar do Recôncavo

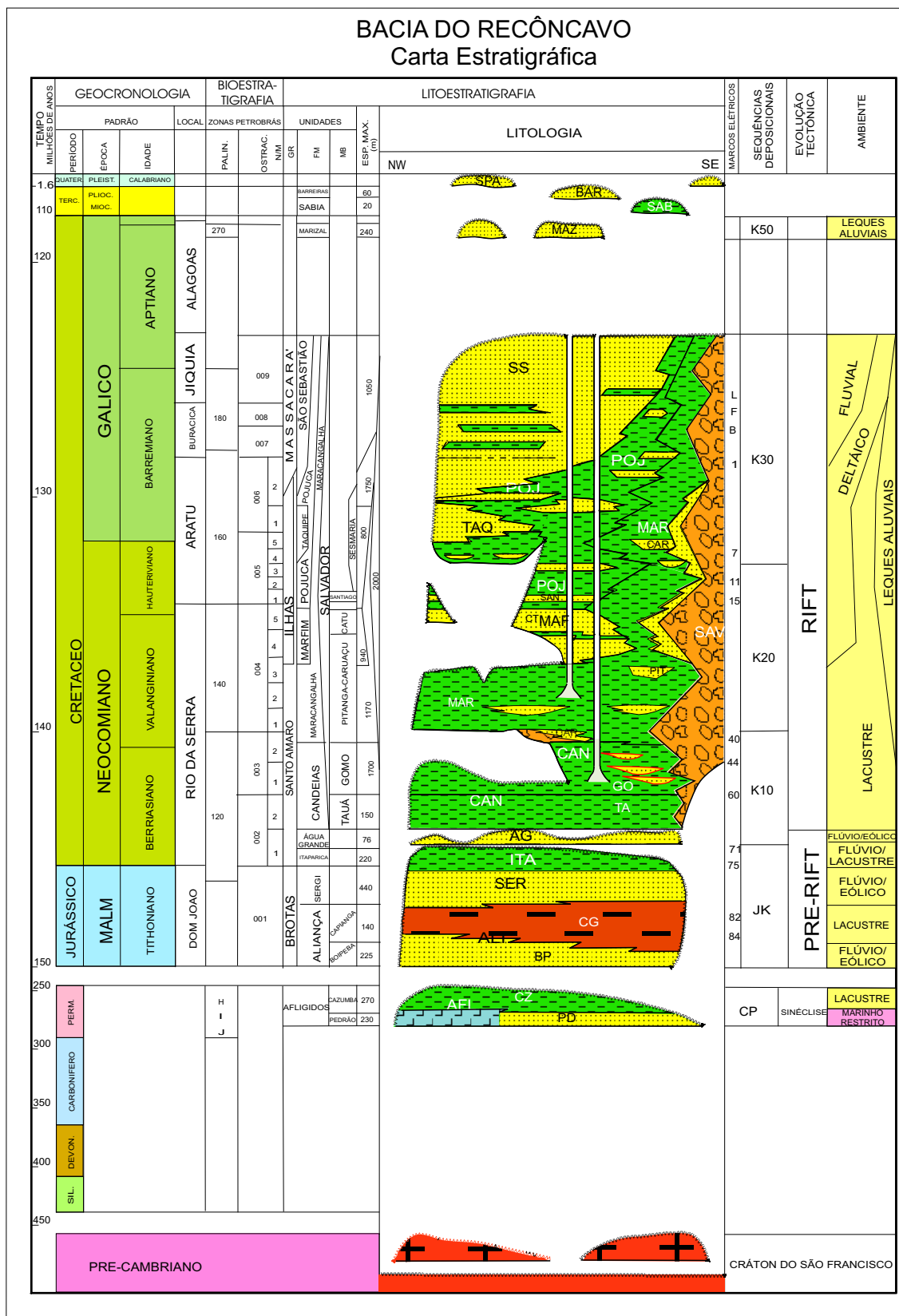


Figura 1.4: Coluna estratigráfica da bacia do Recôncavo (Sapucaia, 2002).

CAPÍTULO 2

Base teórica das técnicas geofísicas

A descoberta da radioatividade teve efeitos importantes nas ciências da Terra. No fim do século 19, os princípios das camadas sedimentares eram bem entendidas e as observações levavam a que as camadas requereram centenas de milhões de anos para acumularem-se. Mas a idade máxima estimada para o Sol e a Terra naquela época era de apenas 25 milhões de anos. Este valor foi obtido por Wylliam Thompson (Lord Kelvin) e H. Helmholtz que se basearam na única fonte de energia conhecida para a física pre-radioativa que era a energia do colapso gravitacional. Por três décadas os geofísicos estiveram divididos em aceitar esta data limite mas estudos de radioatividade finalmente resolveram este conflito.

Quando a radioatividade foi descoberta, seu significado para a terra foi prontamente reconhecido. R.J. Strutt (quarto barão de Rayleigh) mediu as radioatividades de vários tipos de rochas e encontrou que elas excediam em muito o que era necessário na Terra como um todo para explicar o fluxo geotérmico. Strutt verificou que os diferentes tipos de rochas apresentavam diferentes radioatividades, sendo que as rochas mais leves (granulíticas) eram mais radioativas que as rochas mais básicas (basalto, gabro). Em 1906, ele publicou a sugestão de que a radioatividade da Terra está confinada na crosta, com a espessura de umas poucas dezenas de quilômetros, distinguindo-a, assim, do manto superior também sólido. O calor radiogênico escaparia de tal modelo de crosta sem envolver as partes mais profundas da Terra.

A radioatividade é também importante no processo de evolução da Terra. Ela provê a principal fonte de calor interno que conduz a convecção no manto. Os elementos radioativos naturais têm sido redistribuídos neste processo e, agora, estão concentrados na crosta, como previu Strutt, onde eles estão acessíveis para estudo.

2.1 Desintegração radioativa

A radioatividade, como definida por Rutherford e Soddy, é o fenômeno pelo qual os

átomos de elementos radioativos experimentam desintegração espontânea com a emissão de partículas α e ou β e a formação de átomos de um novo elemento. Isótopos são átomos de um mesmo elemento químico com diferentes massas e quando esse isótopo é radioativo é denominado radioisótopo. Por exemplo, o elemento carbono tem três isótopos, o carbono-12 (C^{12}), carbono-13 (C^{13}) e carbono-14 (C^{14}), sendo este um radioisótopo. Com esta conceituação, podemos dizer que radioisótopos de um elemento, por emissão de partículas α e β , transformam-se em isótopos (ou radioisótopos) de um novo elemento.

Existem processos de desintegração em que radionuclídeos podem decair pela emissão de uma ou mais partículas beta, ou pela emissão de uma ou mais partículas alfa, ou pela emissão tanto, de partículas betas quanto de alfas, criando, neste caso, o que se chama de decaimento ramificado.

2.1.1 Decaimento alfa

No decaimento alfa, a partícula emitida é o núcleo do isótopo 4 do hélio (He^4) denominada de partícula α . A partícula alfa é emitida com uma energia bem definida (espectral), e para os vários radioelementos naturais sua velocidade é da ordem de $10^7 ms^{-1}$ e a energia está entre 4 e 8 Mev. Devido as suas grandes massa e carga (+2), as partículas α têm grande poder de ionização e, quando passam através da matéria, perdem energia rapidamente no processo. O percurso da partícula α na matéria é, portanto, muito curto; somente uns poucos micrômetros na matéria sólida. Somente nuclídeos com números atômicos relativamente altos decaem por emissão α e este decaimento é quase sempre acompanhado por emissão de radiação gama. A emissão de uma partícula alfa, por um nuclídeo ${}_Z X^A$, resulta num nuclídeo filho com número atômico Z-2 e número de massa A-4. Exemplo é o decaimento α do ${}_{92}U^{238}$ para o ${}_{90}Th^{234}$.

2.1.2 Decaimento beta

A partícula beta consiste de um elétron (β^+) ou um pósitron (β^-) emitido pelo núcleo, saindo essas partículas com velocidades da ordem de 0,9 c. Seus percursos são maiores do que os das partículas α devido a sua menor massa (1/7300 daquela da α) e menor carga (+1 ou -1) possuindo, portanto, menor poder de ionização. A desintegração beta faz-se de três modos distintos, em todas elas podendo haver, também, emissão de radiação gama. A desintegração β^+ e β^- são acompanhadas pela emissão de um antineutrino $\bar{\nu}$ e um neutrino ν de modo que a energia de desintegração do núcleo é dividido entre essas duas partículas e o núcleo que recua. Isto faz com que a partícula beta emitida tenha uma distribuição contínua de energia com um valor máximo (E_0) que é característico para cada isótopo. No

decaimento β^- , um nêutron é convertido num próton no núcleo atômico com a emissão de um elétron (${}_{-1}e$) e um antineutrino. A emissão de uma partícula β^- resulta num nuclídeo filho com o número atômico acrescido por um e mesmo número de massa (isóbaros), um exemplo de decaimento β^- é o ${}_{6}C^{14}$ que decai ($E_0 = 156\text{keV}$) para o nuclídeo estável ${}_{7}N^{14}$. No decaimento β^+ um próton é convertido num nêutron com a emissão de um pósitron (${}_{+1}e$) e um neutrino. O pósitron emitido logo combina com um elétron produzindo dois fótons de 0,511 MeV cada, radiados em direções diametralmente opostas (radiação de aniquilação). A emissão da partícula β^+ resulta num nuclídeo isóbaros com o número atômico decrescido de um, um exemplo é o decaimento do ${}_{19}K^{40}$ (β^+) ${}_{20}Ca^{40}$. Na por captura de elétron, um elétron extra nuclear (usualmente da orbita K) é capturado pelo núcleo com a formação de um nêutron e a emissão de um neutrino. Não há emissão de qualquer partícula detectável neste caso, mas há a emissão de raios-X pelo átomo. O resultado da captura é o mesmo daquele do decaimento β^+ que é o de criar um isóbaros com um número atômico decrescido por um. Exemplo ${}_{19}K^{40}$ (CE) ${}_{18}Ar^{40}$.

2.1.3 Radiação gama

A radiação gama são fótons de alta frequência emitidos no processo de desexcitação de núcleos que sejam deixados em estados excitados após a emissão α ou β . Os raios gama são emitidos pelo núcleo filho quando ele é deixado excitado. Como os fótons não possuem carga ou massa, seu poder de ionização é muito mais baixo que os das partículas α e β e, portanto, seu poder de penetração na matéria é muito maior.

2.2 Lei do decaimento radioativo

A desintegração de qualquer elemento radioativo é um evento aleatório, independente dos átomos vizinhos, das condições físicas (pressão e temperatura) e estado químico do átomo. A desintegração depende apenas da estrutura do núcleo o que significa que a probabilidade de desintegração de um núcleo por unidade de tempo é a mesma para todos os núcleos de mesmo tipo. Esta probabilidade é chamada de constante de decaimento ou constante de desintegração, λ , definida como a probabilidade estatística de que um núcleo específico decairá dentro duma específica unidade de tempo e é diferente para cada isótopo. Então, se um determinado núcleo se desintegra (núcleo pai), a taxa de decaimento de N núcleos é proporcional a N, ou seja,

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N. \quad (2.1)$$

Esta equação integrada de um número inicial N_0 de átomos no tempo $t=0$ conduz a equação do decaimento radioativo

$$N = N_0 e^{-\lambda t}. \quad (2.2)$$

Nesta expressão, N_0 é o número de núclídeos pais no tempo $t = 0$ e N é o número destes núclídeos permanecendo no tempo t .

2.2.1 Atividade

A atividade A de uma substância radioativa é definida como o número de núcleos que decaem na unidade de tempo. Matematicamente, ela é dada pela negativa da taxa de desintegração, $-dN/dt$, ou seja

$$A = \lambda N. \quad (2.3)$$

Em termos de atividade, a equação 2.2 é escrita como

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2.4)$$

2.2.2 Meia-vida

Define-se como meia-vida de um radionuclídeo, T , o tempo necessário, para o número de átomos (ou a atividade) da amostra reduzir-se à metade do valor inicial. Portanto, para $N/N_0=1/2$ (ou $A/A_0=1/2$), a equação 2.2 (ou 2.3) dá para T

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (2.5)$$

A meia vida é uma grandeza bastante conveniente e a mais utilizada para caracterizar um radioisótopo. Ela nos diz que, transcorrida uma meia-vida, a atividade A_0 duma amostra reduz-se à metade; e transcorridas quatro meias-vidas, reduz-se a $1/16$.

2.2.3 Vida média

A vida média, τ , é a expectativa média de vida dos átomos de uma mesma espécie radioativa. A vida média é dada pela soma dos tempos de existência de todos os átomos

de mesmo tipo dividida pelo número inicial de átomos. Matematicamente, ela é obtida da seguinte maneira. O número de átomos que decaem entre t e $t+dt$ é:

$$dN = -\lambda N dt,$$

e o número de átomos ainda existente no tempo t é:

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

de modo que

$$dN = \lambda N_0 e^{-\lambda t} dt.$$

Como o processo de decaimento é estatístico, qualquer átomo pode ter uma vida de 0 a ∞ . Então, a vida média é dada por:

$$\tau = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} N_0 \lambda t e^{-\lambda t} dt = \lambda \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}. \quad (2.6)$$

Então, τ é simplesmente o recíproco da constante de desintegração. A partir das equações 2.5 e 2.6, segue-se que a meia-vida e a vida média são grandezas proporcionais:

$$T = \ln 2 \tau.$$

2.3 Transformações radioativas sucessivas

Observa-se que muitos dos núclídeos radioativos que ocorrem naturalmente formam três séries radioativas. Em cada série, o núclídeo pai decai para o filho que por sua vez decai para outro núclídeo e assim sucessivamente, até, finalmente, um núclídeo estável ser produzido. No estudo dessas séries, é importante conhecer o número de átomos de cada membro da série em função tempo. Para um caso mais simples de uma sucessão quando o núclídeo 1 decai para o núclídeo 2 que, por sua vez, decai para o núclídeo 3 estável, o sistema é descrito pelas equações

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1,$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2,$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2.$$

A solução destas equações para N_1 , N_2 e N_3 com as condições iniciais $N_1=N_1^0$, $N_2=0$ e $N_3=0$ em $t=0$ é:

$$N_1(t) = N_1^0 e^{-\lambda_1 t}$$

$$N_2(t) = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

$$N_3(t) = N_1^0 \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right)$$

Para uma série com n membros e com a condição inicial de que no tempo $t = 0$ somente o nuclídeo pai está presente (N_1^0), a solução para o número de átomos no n -ésimo membro foi obtida por Bateman (Kaplan, 1978) e é expressa por

$$N_n(t) = C_1 e^{-\lambda_1 t} + C_2 e^{-\lambda_2 t} + \dots + C_n e^{-\lambda_n t}$$

com

$$C_1 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n - 1}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1) \dots (\lambda_n - \lambda_1)} N_1^0$$

$$C_2 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n - 1}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2) \dots (\lambda_n - \lambda_2)} N_1^0$$

$$C_n = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n - 1}{(\lambda_1 - \lambda_n)(\lambda_2 - \lambda_n) \dots (\lambda_{n-1} - \lambda_n)} N_1^0$$

2.4 Equilíbrio radioativo secular

O termo equilíbrio é geralmente usado para expressar a condição em que a derivada de uma função em relação ao tempo é igual a zero (Kaplan, 1978). Quando aplicamos esta condição aos membros da série radioativa descrita anteriormente, isto significa que as derivadas $\frac{dN_1}{dt}$, $\frac{dN_2}{dt}$, ..., $\frac{dN_n}{dt}$ são todas iguais a zero, ou ainda, que o número de átomos de qualquer membro da série não está mudando.

Então, as condições de equilíbrio são:

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 = 0,$$

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 \tag{2.7}$$

$$\lambda_2 N_2 = \lambda_3 N_3$$

$$\lambda_{n-1} N_{n-1} = \lambda_n N_n$$

Estas condições não podem ser satisfeitas rigorosamente se a substância pai é uma substância radioativa, porque a primeira das equações 2.7 implica que $\lambda_1 = 0$, o que é uma contradição. É possível, entretanto, atingir um estado muito próximo ao equilíbrio se a substância pai decai muito menos rapidamente que qualquer um dos outros membros da série. Neste caso λ_1 é muito menor que o λ de qualquer outro membro da série de modo que se possa considerar $\lambda_1 \approx 0$, ou, o que é a mesma coisa, se o pai tem uma meia-vida muito longa quando comparada com a de qualquer de seus produtos de decaimento. Esta condição é satisfeita pelas séries radioativas que ocorrem naturalmente e o equilíbrio assim obtido é denominado equilíbrio secular. Na situação de equilíbrio tem-se

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \lambda_3 N_3 \dots = \lambda_n N_n,$$

ou

$$A_1 = A_2 = A_3 = \dots = A_n,$$

ou seja, todos os membros da série têm a mesma atividade radioativa.

2.5 Séries radioativas naturais

Naturalmente encontram-se três séries radioativas: a do U^{238} , a do U^{235} e a do Th^{232} , assim denominados por serem estes os núclídeos dos topos das séries. Todos estes núclídeos tem meias-vidas da ordem da idade da formação solar, o que lhes permitem ainda existir. Uma outra série, a do actínio, extinguiu-se por ter meia vida curta, mas retorna agora artificialmente.

A série do U^{238} é composta de 18 radioisótopos e termina no núclídeo Pb^{206} , estável, após emitir 10 partículas α e 10 partículas β . Ela é considerada como consistindo de duas subséries, a do U^{238} , indo deste radionuclídeo ao Th^{230} e a do Ra^{226} , concluindo a série. Na primeira subsérie há um radionuclídeo de meia-vida longa, o U^{234} ($T = 2,50 \times 10^5$ a), o que faz com que o equilíbrio secular desta série leve cerca de 1,2 Ma para ser alcançada. Já na segunda subsérie, este equilíbrio é alcançado em cerca de seis meses.

A série do U^{235} é composta de 16 radionuclídeos, terminando no Pb^{207} , estável, após a emissão de 13 partículas α e 9 partículas β . O equilíbrio secular nesta série é de cerca de 170 ka devido à presença do Pa^{231} com meia-vida de $3,43 \times 10^4$ a. A meia-vida do U^{235} é apenas

16 % da idade do sistema solar o que faz sua concentração natural ser baixa (0,71% do urânio total), de modo que a contribuição desta série para a radioatividade natural é desprezível, exceto em áreas mineralizadas com urânio.

A série do Th^{232} é composta por 12 radionuclídeos, terminado no Pb^{208} , estável, após a emissão de 8 partículas α e 6 partículas β . Todos os membros da série são de vida curta fazendo com que o equilíbrio secular seja alcançado em cerca de 40 a.

Os membros da série do U^{238} e da série do Th^{232} estão listados nas tabelas 2.1 e 2.2, com o modo de desintegração, a meia vida, a constante de desintegração e a energia máxima das partículas emitidas. Nestas tabelas, a primeira coluna indica as denominações históricas dos nuclídeos, algumas delas ainda utilizadas. Na última coluna, são indicadas as energias máximas das partículas beta e a energia da partícula alfa de maior energia (indicada por m) quando mais de uma partícula alfa é emitida. As mudanças no número atômico e número de massa dos membros destas séries são mostradas nas figuras 2.1 e 2.2. Lembramos que a emissão de uma partícula α diminui a carga do núcleo de duas unidades e o número de massa de 4 unidades, enquanto que a emissão de uma partícula β aumenta a carga do núcleo de uma unidade e deixa o número de massa inalterado.

2.6 Produção de calor radiogênico

Uma parte significativa do calor que atravessa a superfície da terra e constitui o fluxo geotermico é gerado pelos elementos radioativos presentes naturalmente nas rochas. A absorção pelas rochas da energia liberada pelo decaimento radioativo resulta no aumento da agitação térmica — temperatura — de seus átomos gerando calor. Os elementos radioativos que contribuem com a maioria do calor gerado na terra são o urânio, o tório e o potássio (ver tabela 2.3). Estes elementos estão presentes na crosta em pequenas quantidades, parte por milhão para o urânio e tório e da ordem de um por cento para o potássio; no manto suas abundâncias reduzem-se de duas ordens de grandeza. Contudo, esses elementos são importantes em determinar a temperatura e a história tectônica da Terra.

Os radioisótopos responsáveis pela geração da maioria de calor na crosta e no manto são os das séries do U^{238} , U^{235} , Th^{232} e o K^{40} . O urânio na crosta pode ser considerado como constituído de U^{238} (99,28%) e U^{235} (0,72%); o Th^{232} representa 100 % do tório total; e o K^{40} representa 0,01167% do potássio total. Apesar de a geração de calor na crosta ser duas ordens de grandeza maior do que no manto, a taxa na qual a terra como um todo produz calor é influenciada pelo manto devido a seu volume ser maior que o da crosta, resultando em que apenas um quinto do calor total é gerado na crosta. As abundâncias médias de urânio, tório e potássio, para a crosta e manto tomados juntos estão na faixa de 15 a 25 ppb, 80 a

Tabela 2.1: Série radioativa do urânio

Espécie radioativa	Nuclídeo	Modo de desintegração	Meia-vida T	λ (s^{-1})	Energia da Partícula (MeV)
Urânio I (UI)	${}_{92}U^{238}$	α	$4,50 \times 10^9$ a	$4,88 \times 10^{-18}$	4,20
Urânio X_1 (UX ₁)	${}_{90}Th^{234}$	β	24,1 d	$3,33 \times 10^{-7}$	0,19
Urânio X_2 (UX ₂)	${}_{91}Pa^{234}$	β	1,18 min	$9,77 \times 10^{-3}$	2,32
Urânio Z (UZ)	${}_{91}Pa^{234}$	β	6,7 h	$2,88 \times 10^{-5}$	1,13
Urânio II (UII)	${}_{92}U^{234}$	α	$2,5 \times 10^5$ a	$8,80 \times 10^{-14}$	4,768
Iônio (Io)	${}_{90}Th^{230}$	α	$8,0 \times 10^4$ a	$2,75 \times 10^{-13}$	4,68 m
Rádio (Ra)	${}_{88}Ra^{226}$	α	1620 a	$1,36 \times 10^{-11}$	4,777 m
Emanação de Ra (Rn)	${}_{86}Rn^{222}$	α	3,82 d	$2,10 \times 10^{-6}$	5,486
Rádio A (RaA)	${}_{84}Po^{218}$	α, β	3,05 min	$3,78 \times 10^{-3}$	α : 5,998; β : ?
Rádio B (RaB)	${}_{82}Pb^{214}$	β	26,8 min	$4,31 \times 10^{-4}$	0,7
Astatínio-218 (At^{218})	${}_{85}At^{218}$	α	1,5 - 2,0 s	0,4	6,63
Rádio C (RaC)	${}_{83}Bi^{214}$	α, β	19,7 min	$5,86 \times 10^{-4}$	α : 5,51 m; β : 3,17
Rádio C' (RaC')	${}_{84}Po^{214}$	α	$1,64 \times 10^{-4}$ s	$4,23 \times 10^3$	7,683
Rádio C'' (RaC'')	${}_{81}Tl^{210}$	β	1,32 min	$8,75 \times 10^{-4}$	1,9
Rádio D (RaD)	${}_{82}Pb^{210}$	β	19,4 a	$1,13 \times 10^{-9}$	0,017
Rádio E (RaE)	${}_{83}Bi^{210}$	β	5,0 d	$1,60 \times 10^{-6}$	1,155
Rádio F (RaF)	${}_{84}Po^{210}$	α	138,3 d	$5,80 \times 10^{-8}$	5,300
Tálio-206 (Tl^{206})	${}_{81}Tl^{206}$	β	4,2 min	$2,75 \times 10^{-3}$	1,51
Rádio G (RaG)	${}_{82}Pb^{206}$	Estável			

Tabela 2.2: Série radioativa do tório

Espécie Radioativa	Nuclídeo	Modo de desintegração	Meia-vida T	λ (s^{-1})	Energia da Partícula (MeV)
Tório (Th)	${}_{90}\text{Th}^{232}$	α	$1,39 \times 10^{10}$ a	$1,58 \times 10^{-18}$	4,007
Mesotório 1 ($M_s\text{Th1}$)	${}_{88}\text{Ra}^{228}$	β	6,7 a	$3,28 \times 10^{-9}$	0,04
Mesotório 2 ($M_s\text{Th2}$)	${}_{89}\text{Ac}^{228}$	β	6,13 h	$3,14 \times 10^{-5}$	2,18
Radiotório (RdTh)	${}_{90}\text{Th}^{228}$	α	1,910 a	$1,15 \times 10^{-8}$	5,423 m
Tório X (ThX)	${}_{88}\text{Ra}^{224}$	α	3,64 d	$2,20 \times 10^{-6}$	5,681 m
Emanação de Th (Th)	${}_{86}\text{Rn}^{220}$	α	51,5 s	$1,34 \times 10^{-2}$	6,280
Tório A (ThA)	${}_{84}\text{Po}^{216}$	α, β	0,16 s	4,33	6,774
Tório B (ThB)	${}_{82}\text{Pb}^{212}$	β	10,6 h	$1,82 \times 10^{-5}$	0,58
Astatínio-216 (At^{216})	${}_{85}\text{At}^{216}$	α	3×10^{-4} s	$2,3 \times 10^3$	7,79
Tório C (ThC)	${}_{83}\text{Bi}^{212}$	α, β	60,5 min	$1,91 \times 10^{-4}$	α : 6,086 m; β : 2,25
Tório C' (ThC')	${}_{84}\text{Po}^{212}$	α	$3,0 \times 10^{-7}$ s	$2,31 \times 10^6$	8,780
Tório C'' (ThC'')	${}_{81}\text{Tl}^{208}$	β	3,10 min	$3,73 \times 10^{-3}$	1,79
Tório D (ThD)	${}_{82}\text{Pb}^{208}$	Estável			

100 ppb e 150 a 260 ppm, respectivamente.

A taxa de produção de calor radiogênico por unidade de volume nas rochas é uma propriedade petrofísica, isotópica, que independe da pressão e temperatura locais. Ela depende do teor dos elementos U, Th e K e das constantes de produção de calor radiogênico (Q_i), desses elementos, as quais, por sua vez, dependem da meia-vida dos radionuclídeos e da fração absorvida pela rocha da energia do decaimento. A constante Q_i para o radioisótopo i é dada por:

$$Q_i = \frac{N_A \ln 2}{M_i T_i} E_i,$$

onde N_A é o número de Avogadro, M_i e T_i a massa atômica e a meia-vida do isótopo, respectivamente e E_i a energia absorvida. A tabela 2.3 dá o valor de Q para os radioisótopos geradores de calor nas rochas.

Tabela 2.3: Taxa de produção de calor por radioisótopo

Isótopo	$Q(\text{Wkg}^{-1})$
U^{238}	$9,17 \times 10^{-5}$
U^{235}	$5,75 \times 10^{-4}$
U(natural)	$9,52 \times 10^{-5}$
Th^{232}	$2,56 \times 10^{-5}$
K(natural)	$3,48 \times 10^{-9}$

A potência A gerada por quilo de rocha é, portanto, dada por:

$$A = Q_i C_i$$

onde C_i é a concentração do radioisótopo em peso. Para os dados da tabela 2.3, a potência A em μWkg^{-1} é

$$A = 10^{-5}(3,48 C_K + 9,52 C_U + 2,56 C_{Th}), \quad (2.8)$$

onde C_K é dado em % e C_U e C_{Th} em ppm. Da equação acima podemos obter a potência gerada pelo volume da rocha (em μWm^{-3}) como

$$A = 10^{-5} \rho (3,48 C_K + 9,52 C_U + 2,56 C_{Th}), \quad (2.9)$$

onde ρ é a densidade da rocha (em kg m^{-3}).

A tabela 2.4 mostra as concentrações de K, U e Th, as razões $\frac{Th}{U}$ e $\frac{K}{U}$ e a taxa de produção volumétrica de calor radiogênico para algumas rochas ígneas, metamórficas e sedimentares.

Tabela 2.4: Valores médios das concentrações de K(%), Th(ppm) e U(ppm), das razões Th/U e K/U e da taxa de produção de calor, $A(\mu\text{W}/m^3)$ em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. Fonte: Rybarch, 1988.

Rochas ígneas	K %	U ppm	Th ppm	Th/U	K/U $\times 10^4$	A $\mu\text{W } m^3$
Granitos e riolitos	3,6	3,9	16,0	4,1	0,9	2,45
Granodiorito/Dacito	2,6	2,3	9,0	3,9	1,1	1,48
Diorito/Quartzodiorito/Andesito	1,1	1,7	7,0	4,1	0,7	1,06
Gabro/Basalto	0,4	0,5	1,6	3,2	0,8	0,3
Peridotito	0,006	0,02	0,06	3,0	0,3	0,017
Dunito ultramáfico	0,0009	0,003	0,01	3,3	0,3	0,00188
Rochas metamórficas						
Migmatito	4,0	2,7	18,5	6,9	1,5	2,4
Gnaiss	3,11	4,95	13,1	2,6	0,6	2,44
Granulito	1,76	1,0	4,4	4,4	1,8	0,9
Milonito	2,47	3,46	13,2	3,8	0,7	2,01
Filito	1,80	1,96	5,85	3,0	0,9	1,18
Rochas sedimentares						
Dolomito	0,7	1,0	0,8	0,8	0,7	0,36
Calcário	0,3	2,0	1,5	0,8	0,2	0,62
Sal	0,1	0,02	0,01	0,5	5,0	0,012
Anidrito	0,4	0,1	0,3	3,0	4,0	0,090
Quartzito	0,9	0,6	1,8	3,0	1,5	0,32
Ardósia	2,3	1,5	5,0	3,3	1,5	0,84
Gravauca	1,3	2,0	7,0	3,5	0,7	0,99

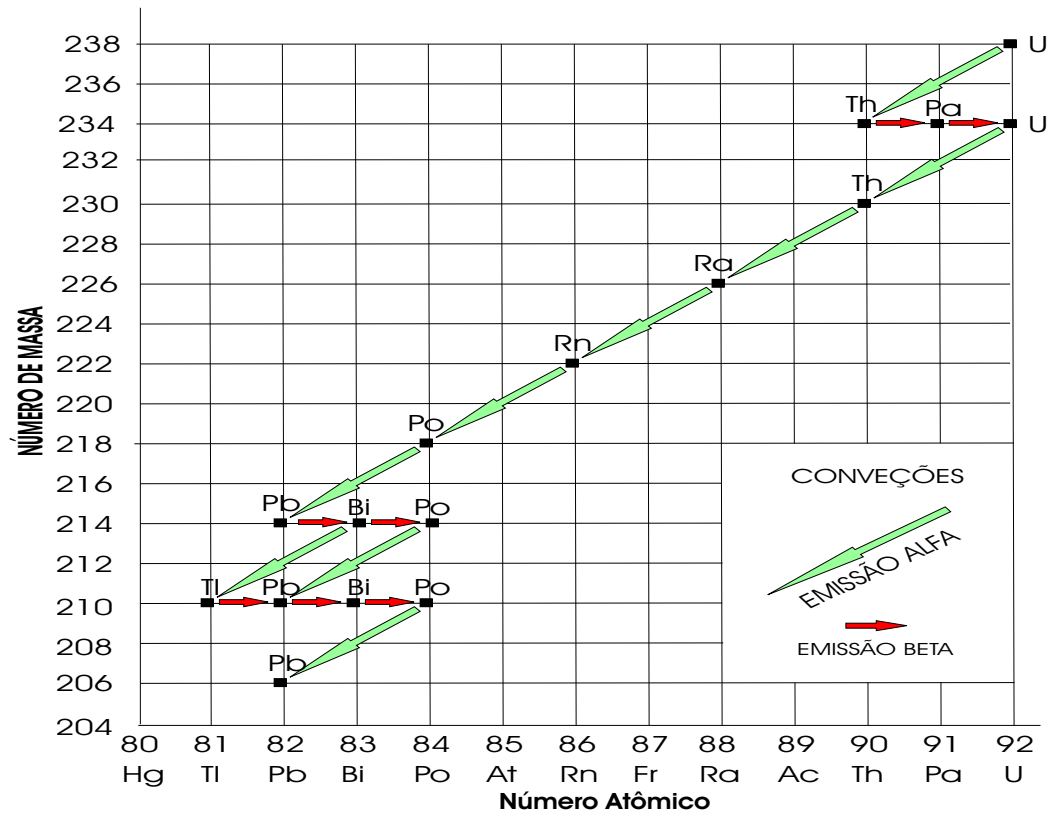


Figura 2.1: Série de decaimento do urânio

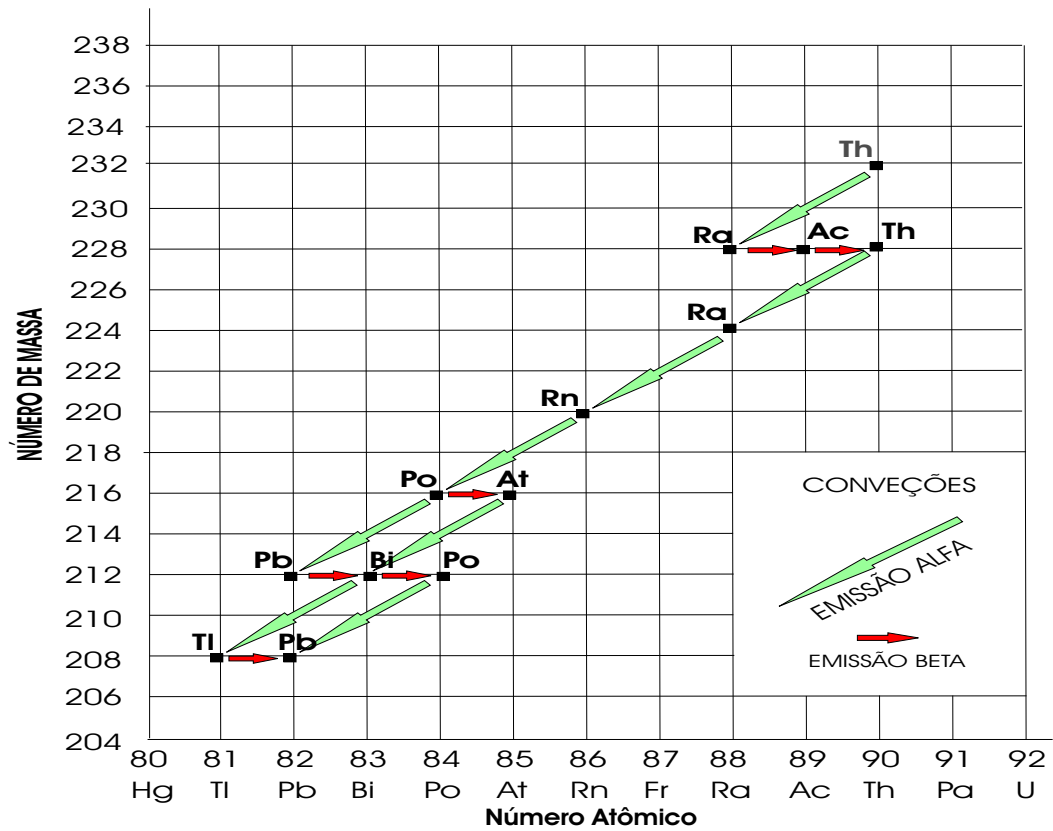


Figura 2.2: Série de decaimento do tório

CAPÍTULO 3

Métodos analíticos

Para calcular-se a produção de calor radiogênico usando a equação 2.8 é preciso conhecer os teores de Th, U e K na amostra. Nesse trabalho, esses teores foram determinados por espectrometria gama utilizando o espectrometro de raios gama do Laboratório de Física Nuclear Aplicada, (LNFA). Ele consiste de um detetor de cintilação de iodeto de sódio ativado com tálio INa(Tl), de $101,6 \times 76,2$ mm. São dois sistemas semelhantes com 1024 canais cada, um unico ADC ORTEC, controlados por um unico computador, com dois detetores Harshaw instalados em castelos de chumbo, ferro e cobre para reduzir o ruído de fundo. O detetor é acoplado a um analisador multicanal informatizado e a aquisição e tratamento dos dados são feitos utilizando-se o programa MAESTRO II da ORTEC.

O espectro gama obtido, após subtraído o ruído de fundo, consiste das contribuições dos emissores gama presentes na rocha; chamamos este espectro de espectro da amostra. Esses emissores gama são, principalmente, o Tl^{208} da série do tório, o Bi^{214} da série do urânio e o K^{40} . A determinação dos elementos Th, U e K através desses radioisótopos pressupõe, portanto; (1) que a razão K^{40}/K_{total} seja constante nas rochas (isto tem-se observado amplamente); (2) que a série do urânio esteja em equilíbrio secular para que a atividade medida do Bi^{214} seja igual ao do U^{238} ; (3) que, também, a série do tório esteja em equilíbrio secular.

Nas figuras 3.1, 3.2 e 3.3, observamos os espectros gama (sem ruído de fundo) obtidos nas contagens, de 90.000 s, dos padrões combinados de Th, u e K. Marcado de vermelho no espectro, temos a região na qual está contida o fotopico de cada radioelemento.

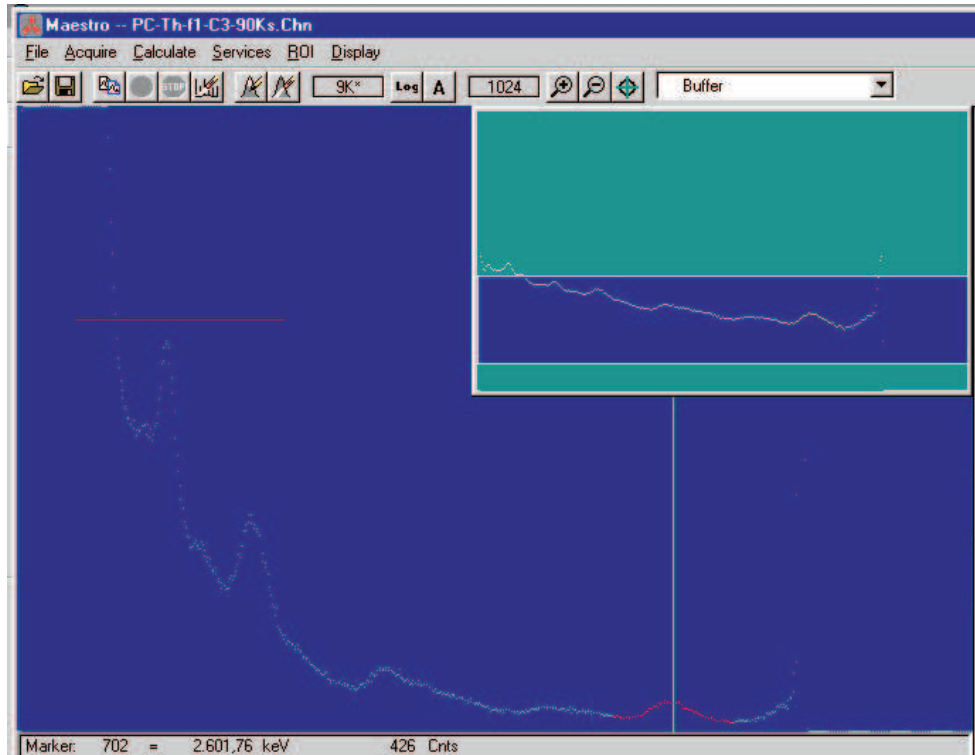


Figura 3.1: Espectro combinado de tório, onde em vermelho temos marcado o intervalo da janela-1

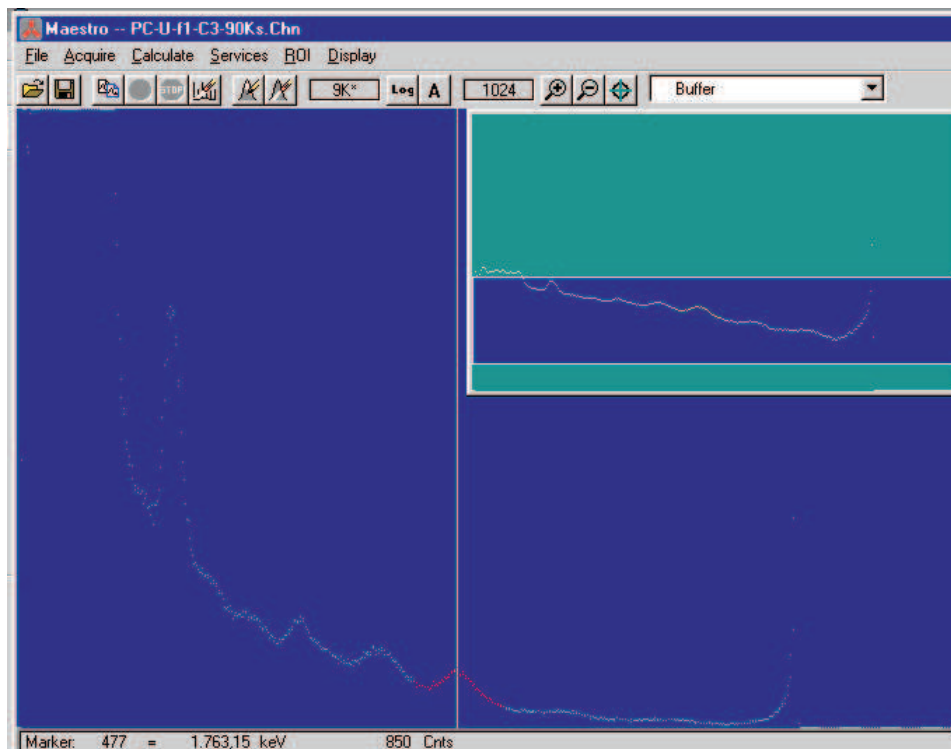


Figura 3.2: Espectro combinado de urânio, onde em vermelho temos marcado o intervalo da janela-2

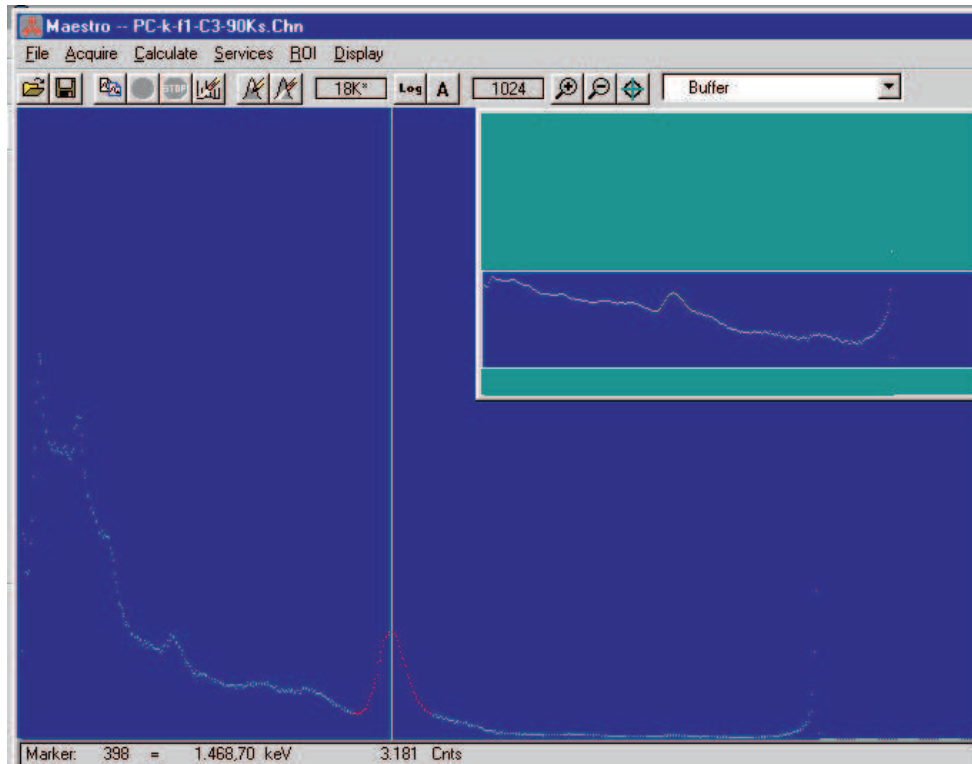


Figura 3.3: Espectro combinado de potássio, onde em vermelho temos marcado o intervalo da janela-3

Aceitos os pressupostos, o próximo passo é obter expressões que nos permita calcular os teores dos elementos Th, U e K a partir das contagens obtidas no espectro da amostra. A este processo chamamos de calibração absoluta do espectrômetro. Para isso, definimos três faixas distintas no espectro, que denominaremos de janelas, de modo que a janela 1 inclui o fotopico de 2,62 MeV do Tl^{208} , a janela 2 inclui o fotopico de 1,76 MeV do Bi^{214} e a janela 3 inclui o fotopico de 1,40 MeV do K^{40} . Assim, chamaremos as janelas 1, 2 e 3 de janelas do Th, do U e do K, respectivamente. Como o espectro da amostra é constituído de contribuições de apenas estes três elementos, a massa S_N do elemento na amostra N pode ser obtido pela expressão:

$$S_N = \sum m_{ij} A_{jN}$$

onde i representa o elemento químico (Th=1, U=2 e K=3), j indica as janelas (1, 2 e 3), A_{jN} são as contagens na janela j da amostra N, subtraído o ruído de fundo e m_{ij} são coeficientes a determinar. S é o símbolo do elemento químico (Th,U ou K) e representa sua massa.

As massas dos elementos Th, U e K na amostra N são, então escritos como:

$$Th_N = \sum_{j=1}^3 m_{1j} A_{jN}, \quad (3.1)$$

$$U_N = \sum_{j=1}^3 m_{2j} A_{jN}, \quad (3.2)$$

$$K_N = \sum_{j=1}^3 m_{3j} A_{jN}, \quad (3.3)$$

Vemos que em cada uma das três equações existem três incógnitas, totalizando nove incógnitas m_{ij} . Essas incógnitas foram determinadas utilizando-se três padrões, que são amostras onde as massas (concentrações) de K, U e Th nelas são conhecidas. Numerando esses padrões como N=1, N=2 e N=3, as equações podem ser obtidas como

$$\begin{aligned} Th_1 &= m_{11} A_{11} + m_{12} A_{21} + m_{13} A_{31} \\ Th_2 &= m_{11} A_{12} + m_{12} A_{22} + m_{13} A_{32} \\ Th_3 &= m_{11} A_{13} + m_{12} A_{23} + m_{13} A_{33} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_1 &= m_{21} A_{11} + m_{22} A_{21} + m_{23} A_{31} \\ U_2 &= m_{21} A_{12} + m_{22} A_{22} + m_{23} A_{32} \\ U_3 &= m_{21} A_{13} + m_{22} A_{23} + m_{23} A_{33} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_1 &= m_{31} A_{11} + m_{32} A_{21} + m_{33} A_{31} \\ K_2 &= m_{31} A_{12} + m_{32} A_{22} + m_{33} A_{32} \\ K_3 &= m_{31} A_{13} + m_{32} A_{23} + m_{33} A_{33} \end{aligned}$$

Nas equações acima, os Th_N , U_N e K_N ($N = 1, 2, 3$) são as massas dos elementos Th, U e K nos padrões 1, 2 e 3, respectivamente e os A_{jN} são as contagens do padrão N nas janelas 1, 2 e 3, subtraído o ruído de fundo. O conhecimento das massas S_N e das contagens A_{jN} dos três padrões permite determinar os nove coeficientes m_{ij} e, assim, obter as expressões para calcular as concentrações de Th, U e K numa amostra. Essas concentrações, respectivamente, C_{Th} , C_U e C_K são obtidas pelas equações

$$C_{Th} = \frac{10^6}{M_{am}}(m_{11}J_1 + m_{12}J_2 + m_{13}J_3); \quad (3.4)$$

$$C_U = \frac{10^6}{M_{am}}(m_{21}J_1 + m_{22}J_2 + m_{23}J_3); \quad (3.5)$$

$$C_K = \frac{10^6}{M_{am}}(m_{31}J_1 + m_{32}J_2 + m_{33}J_3); \quad (3.6)$$

onde M_{am} é a massa da amostra, J_1 , J_2 e J_3 são as contagens nas janelas 1, 2 e 3, respectivamente, subtraindo o ruído de fundo, vistos na tabela em uma tabela ao final do trabalho, C é a concentração dos elementos na amostra sendo a do tório e urânio (C_{Th} e C_U) expressas em ppm e a do potássio (C_K) em %.

3.1 Definição das janelas

Neste trabalho definimos a janela 1 na faixa de 2061 a 2814 keV, a janela 2 de 1636 a 2039 keV e a janela 3 de 883,5 a 1614 keV (Adams, 1970). Essas faixas de energia corresponderam a diferentes faixas correspondentes de canais nos dois espectômetros gama que utilizamos, os quais denominamos de segmento-3 e segmento-4. A tabela 3.1 mostra as faixas de energia e de canais, correspondentes a cada janela, para os dois espectrômetros, como também indica o principal fotopico na janela (Costa, 1997).

Tabela 3.1: Janelas do espectro gama para determinação de Th, U e K nos segmentos 3 e 4

Segmento-3	Canal	Energia (kev)	Fotopico Principal
Janela-1	557 a 759	2061 a 2814	2641 keV
Janela-2	443 a 551	1636 a 2039	1760 keV
Janela-3	241 a 437	883,5 a 1614	1460 keV
Segmento-4	Canal	Energia (kev)	Fotopico principal
Janela-1	548 a 746	2062 a 2814	2641 keV
Janela-2	443 a 542	1637 a 2039	1760 keV
Janela-3	236 a 430	878,2 a 1614	1460keV

3.2 Geometria de contagem

Um fator importante na calibração absoluta é a geometria de contagem. Como apenas parte da radiação emitida pela amostra é registrada pelo detector, faz-se necessário que a geometria de contagem seja a mesma para os padrões e para as amostras. Por mesma geometria de contagem queremos dizer: amostras com densidades semelhantes, acondicionadas de um mesmo modo em recipientes idênticos (recipientes estes de acrílico e forma circular com 76 mm de diâmetro por 33 mm de altura) o qual é assentado no detector numa mesma posição. A observância destes procedimentos é fundamental para que se possa comparar as contagens do padrão e da amostra e, assim, calcular as concentrações absolutas. Em nosso trabalho, as amostras foram moidas para uma mesma granulometria, colocadas em recipientes cilíndricos idênticos e compactadas de um mesmo modo. Apesar de nosso detector ter 102 mm de diâmetro, tivemos de usar um recipiente menor, de 76 mm de diâmetro por 33 mm de altura para melhor se ajustar com a quantidade de amostra dos testemunhos. E, ainda sim, trabalhamos com duas geometrias para atender os testemunhos com menor quantidade de amostras: preparamos uma geometria com 76 mm de diâmetro e 33 mm de altura, denominada de geometria de formato 1 (f-1), e a segunda geometria com 76 mm de diâmetro e 14 mm de altura, denominada de geometria de formato 2 (f-2).

3.3 Padrões

Para nosso trabalho de calibração absoluta, preparamos padrões em que em todos eles estão presentes os elementos Th, U e K com massas e concentrações conhecidas e escolhidas de modo a ficarem na faixa das concentrações desses elementos nas rochas; a esses padrões chamamos de padrões combinados. Esses padrões foram preparados diluindo-se alíquotas dos padrões RGTh-1, RGU-1 e RGK-1 fornecidos pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) numa matriz de quartizito na qual constatamos teores desprezíveis de Th, U e K. A tabela 3.2 mostra os teores dos padrões fornecidos pela AIEA (Argollo, 2001).

Tabela 3.2: Concentrações dos padrões da AIEA

Padrão	Th(ppm)	U(ppm)	K(%)
RGTh-1	800 ± 16	$6,26 \pm 0,42$	$0,019 \pm 0,010$
RGU-1	$0,61 \pm 0,30$	$400,0 \pm 2,1$	menor 0,01
RGK-1	menor 0,01	menor 0,001	$44,8 \pm 0,3$

Nas concentrações que adotamos, em cada um dos padrões um dos três elementos é bastante concentrado e os outros dois comparecem com concentrações baixas. Como trabalhamos com duas geometrias, preparamos duas séries de três padrões cada, uma com o recipiente cheio 33 mm (f-1) e outro com o pote até 14 mm (f-2). As tabelas 3.3 e 3.4 mostram a massa dos elementos e suas respectivas concentrações em cada padrão.

Tabela 3.3: Padrões de Th, U e K para o formato f-1

Padrões	Massa total (g)	Tório Massa(g)	Tório (ppm)	Urânio Massa (g)	Urânio (ppm)	Potássio Massa (g)	Potássio (%)
Padrão 1	260,00	$1,04 \times 10^{-2}$	40	$5,20 \times 10^{-4}$	2,0	1,3013	0,5
Padrão 2	260,00	$1,30 \times 10^{-3}$	5,0	$3,90 \times 10^{-3}$	15	1,3013	0,5
Padrão 3	260,00	$1,30 \times 10^{-3}$	5,0	$5,20 \times 10^{-4}$	2,0	13,022	5,0

Tabela 3.4: Padrões de Th, U e K para o formato f-2

Padrões	Massa total (g)	Tório Massa(g)	Tório (ppm)	Urânio Massa (g)	Urânio (ppm)	Potássio Massa (g)	Potássio (%)
Padrão 1	115,00	$4,60 \times 10^{-3}$	40	$2,30 \times 10^{-4}$	2,0	0,5743	0,5
Padrão 2	115,00	$5,75 \times 10^{-4}$	5,0	$1,73 \times 10^{-3}$	15	0,5743	0,5
Padrão 3	115,00	$5,75 \times 10^{-4}$	5,0	$2,30 \times 10^{-4}$	2,0	5,7570	5,0

3.4 Material amostrado

No tratamento das amostras de calhas dos poços FFL-1 e MGP-34 cedidas pela Petrobras, notou-se que, em algumas delas havia material suficiente para encher o pote utilizado para contagem, mas em outros o material era insuficiente. Por isso, adotamos duas geometrias para realizar as contagens e utilizar os seguintes critérios para preparar as amostras: (1) amostras com massa superior a 260g enchem o pote ($76\text{ mm} \times 33\text{ mm}$) e configuram o formato 1(f-1); (2) amostras com massa entre 260 e 115 g foram acondicionadas nos potes, numa altura de 14 mm ($76\text{ mm} \times 14\text{ mm}$) constituindo o formato 2 (f-2); e (3) amostras com massa inferior a 115 g (poucas amostras), quando pertencentes a uma mesma litologia, foram misturadas para o formato 2 (f-2).

3.5 Obtenção das equações

Definidas as janelas e conhecidas as massas dos elementos nos padrões, contamos os padrões nos dois espectrômetros, todos no tempo de 90.000 s (25 h) e determinamos as contagens nas janelas, subtraídos os respectivos ruídos de fundo. Os resultados são amostrados

na tabela 3.5. Obtido esses valores, montamos nossas matrizes para o calculo dos coeficientes m_{ij} para o segmento-3 com as geometrias f-1 e f-2 e para o segmento-4 também com a geometria f-1 e f-2.

Tabela 3.5: Contagem dos padrões nas janelas em 90000 s (25 h)

P.Comb.	Castelo	Forma	Jane-1	Jane-2	Jane-3
Th	3	f1	172928	28080	46416
Th	3	f2	101357	16085	26288
Th	4	f1	179026	26114	48967
Th	4	f2	38505	2571	15011
U	3	f1	171043	41779	17320
U	3	f2	101860	26122	10149
U	4	f1	175595	40109	15582
U	4	f2	103791	25020	9605
K	3	f1	230079	19408	7428
K	3	f2	134765	11045	4315
U	4	f1	242981	78170	7097
U	4	f2	143016	4580	41746

Usando os valores das tabelas 3.3, 3.4 e 3.5, temos as matrizes abaixo:

Para o segmento 3 e forma geométrica 1 (f-1) temos:

$$1,29142 m_{11} + 0,31200 m_{12} + 0,15573 m_{13} = 1,04 \times 10^{-2}$$

$$1,90048 m_{11} + 0,46421 m_{12} + 0,19244 m_{13} = 1,30 \times 10^{-3}$$

$$2,55643 m_{11} + 0,21564 m_{12} + 0,08252 m_{13} = 1,30 \times 10^{-3}$$

$$1,29142 m_{21} + 0,31200 m_{22} + 0,15573 m_{23} = 5,2 \times 10^{-4}$$

$$1,90048 m_{21} + 0,46421 m_{22} + 0,19244 m_{23} = 3,9 \times 10^{-3}$$

$$2,55643 m_{21} + 0,21564 m_{22} + 0,08252 m_{23} = 5,2 \times 10^{-4}$$

$$1,29142 m_{31} + 0,31200 m_{32} + 0,15573 m_{33} = 1,3013$$

$$1,90048 m_{31} + 0,46421 m_{32} + 0,19244 m_{33} = 1,3013$$

$$2,55643 m_{31} + 0,21564 m_{32} + 0,08252 m_{33} = 13.022$$

onde obtemos os seguintes coeficientes:

$$m_{11} = 5,137 \times 10^{-4} \quad m_{21} = -7,887 \times 10^{-4} \quad m_{31} = 7,374$$

$$\begin{aligned} m_{12} &= -9,168 \times 10^{-3} & m_{22} &= 1,334 \times 10^{-2} & m_{32} &= -22,747 \\ m_{13} &= 2,380 \times 10^{-2} & m_{23} &= -4,123 \times 10^{-3} & m_{33} &= -11,187 \end{aligned}$$

Para o segmento 3 e forma geométrica 2 (f-2) temos:

$$\begin{aligned} 1,12619 m_{11} + 0,17872 m_{12} + 0,29209 m_{13} &= 4,60 \times 10^{-3} \\ 1,13178 m_{11} + 0,29024 m_{12} + 0,11277 m_{13} &= 5,75 \times 10^{-4} \\ 1,49739 m_{11} + 0,12272 m_{12} + 0,04794 m_{13} &= 5,75 \times 10^{-4} \\ \\ 1,12619 m_{21} + 0,17872 m_{22} + 0,29209 m_{23} &= 2,30 \times 10^{-4} \\ 1,13178 m_{21} + 0,29024 m_{22} + 0,11277 m_{23} &= 1,28 \times 10^{-3} \\ 1,49739 m_{21} + 0,12272 m_{22} + 0,04794 m_{23} &= 2,73 \times 10^{-4} \\ \\ 1,12619 m_{31} + 0,17872 m_{32} + 0,29209 m_{33} &= 0,57436 \\ 1,13178 m_{31} + 0,29024 m_{32} + 0,11277 m_{33} &= 0,57436 \\ 1,49739 m_{31} + 0,12272 m_{32} + 0,04794 m_{33} &= 5,75700 \end{aligned}$$

onde obtemos os seguintes coeficientes:

$$\begin{aligned} m_{11} &= 3,211 \times 10^{-4} & m_{21} &= -4,894 \times 10^{-4} & m_{31} &= 5,415 \\ m_{12} &= -6,440 \times 10^{-3} & m_{22} &= 8,937 \times 10^{-3} & m_{32} &= -15,464 \\ m_{13} &= 1,845 \times 10^{-2} & m_{23} &= -2,794 \times 10^{-3} & m_{33} &= -9,448 \end{aligned}$$

Para o segmento 4 e forma geométrica 1(f-1) temos:

$$\begin{aligned} 1,98918 m_{11} + 0,29016 m_{12} + 0,54408 m_{13} &= 1,04 \times 10^{-2} \\ 1,95106 m_{11} + 0,44566 m_{12} + 0,17313 m_{13} &= 1,30 \times 10^{-3} \\ 2,69979 m_{11} + 0,08686 m_{12} + 0,07886 m_{13} &= 1,30 \times 10^{-3} \\ \\ 1,98918 m_{21} + 0,29016 m_{22} + 0,54408 m_{23} &= 5,20 \times 10^{-4} \\ 1,95106 m_{21} + 0,44566 m_{22} + 0,17313 m_{23} &= 3,90 \times 10^{-3} \\ 2,69979 m_{21} + 0,08686 m_{22} + 0,07886 m_{23} &= 5,20 \times 10^{-4} \\ \\ 1,98918 m_{31} + 0,29016 m_{32} + 0,54408 m_{33} &= 1,3013 \\ 1,95106 m_{31} + 0,44560 m_{32} + 0,17313 m_{33} &= 1,3013 \\ 2,69979 m_{31} + 0,08686 m_{32} + 0,07886 m_{33} &= 13,022 \end{aligned}$$

onde obtemos os seguintes coeficientes:

$$\begin{aligned} m_{11} &= 2,110 \times 10^{-5} & m_{21} &= -1,288 \times 10^{-5} & m_{31} &= 5,668 \\ m_{12} &= -5,766 \times 10^{-3} & m_{22} &= 4,660 \times 10^{-3} & m_{32} &= -18,633 \\ m_{13} &= 2,211 \times 10^{-2} & m_{23} &= -4,660 \times 10^{-3} & m_{33} &= -8,393 \end{aligned}$$

Para o segmento 4 e forma geométrica 2 (f-2) temos:

$$\begin{aligned} 0,42783 m_{11} + 0,02857 m_{12} + 0,16679 m_{13} &= 4,60 \times 10^{-3} \\ 1,15323 m_{11} + 0,27800 m_{12} + 0,10672 m_{13} &= 5,75 \times 10^{-4} \\ 1,58907 m_{11} + 0,05089 m_{12} + 0,04638 m_{13} &= 5,74 \times 10^{-4} \\ \\ 0,42783 m_{21} + 0,02857 m_{22} + 0,16679 m_{23} &= 2,30 \times 10^{-4} \\ 1,15323 m_{21} + 0,27800 m_{22} + 0,10672 m_{23} &= 1,73 \times 10^{-3} \\ 1,58907 m_{21} + 0,05089 m_{22} + 0,04638 m_{23} &= 2,30 \times 10^{-4} \\ \\ 0,42783 m_{31} + 0,02857 m_{32} + 0,16679 m_{33} &= 0,57436 \\ 1,15323 m_{31} + 0,27800 m_{32} + 0,10672 m_{33} &= 0,57436 \\ 1,58907 m_{31} + 0,05089 m_{32} + 0,04638 m_{33} &= 5,7570 \end{aligned}$$

onde obtemos os seguintes coeficientes:

$$\begin{aligned} m_{11} &= 2,359 \times 10^{-4} & m_{21} &= -7,161 \times 10^{-5} & m_{31} &= 4,200 \\ m_{12} &= -8,320 \times 10^{-3} & m_{22} &= 6,318 \times 10^{-3} & m_{32} &= -13,425 \\ m_{13} &= 2,961 \times 10^{-2} & m_{23} &= -4,804 \times 10^{-4} & m_{33} &= -5,029 \end{aligned}$$

3.6 Limite de detecção

Os espectros que se obtêm num espectrômetro por contagem da radiação gama de fonte e amostras são sempre sobrepostos ao espectro da radiação gama de fundo. Nessas condições, fotopicos de interesses podem estar presentes na radiação de fundo, como é o caso daqueles produzidos por radionuclídeos naturais.

Vimos que o espectro devido exclusivamente à amostra é obtido subtraindo-se o espectro da radiação de fundo daquele da radiação total obtido na contagem da amostra. Como as contagens acumuladas que produzem o espectro são variáveis aleatórias, o que é importante saber é qual o número mínimo de contagem obtido no espectro líquido que indica, com um

dado nível de segurança, a presença do radionuclídeo de interesse na amostra. Esse é um dos principais problemas na aplicação da espectrometria gama na análise de materiais cujos níveis de radioatividade são comparáveis à radiação de fundo e que pode ser posto, em termos gerais, como sendo o da definição de limites de detecção do espectrômetro.

A contagem numa janela de interesse no espectro da radiação de fundo, a qual pode decorrer de uma ou mais observações, é caracterizada por um valor observado R_f , ou pela média de n observações $\bar{R}_f$, um valor médio esperado μ_R e por um desvio padrão σ_R . Para a contagem, nesta mesma janela no espectro total da amostra, que é sobreposta à radiação de fundo, o valor observado é caracterizado por E_t , o valor médio esperado μ_E e o desvio padrão σ_E . A contagem na janela devida apenas à amostra é caracterizada por um valor observado A , um valor médio esperado μ_A e por um desvio padrão σ_A dados por

$$A = E_t - E_f, \quad (3.7)$$

$$\mu_A = \mu_E - \mu_R \quad (3.8)$$

$$\sigma_A = (\sigma_E^2 + \sigma_R^2)^{1/2} \quad (3.9)$$

Considere que a amostra não contenha o radionuclídeo que gera a contagem na janela em questão; neste caso tem-se que $\mu_A = 0$. Isto não significa que A seja nulo já que E_t , sendo também uma observação da radiação de fundo, A é a diferença entre essas duas observações. Para o caso de ter-se medido a radiação de fundo n vezes, tem-se

$$A = R_f - \bar{R}_f, \quad (3.10)$$

$$\sigma_o = (\sigma_f^2 + \frac{\sigma_f^2}{n})^{1/2}. \quad (3.11)$$

sendo σ_o o desvio padrão do sinal líquido quando $\mu_A = 0$.

3.6.1 Nível crítico

Currie (1968) definiu os processos pelos quais pode-se obter um nível crítico, L_c e um limite de detecção, L_D , baseado no conhecimento das taxas de contagem da radiação de fundo (branco) do sistema de detecção e na confiança que se deseja atribuir à medida. Segundo aquele autor, tendo-se uma observação experimental, precisa-se decidir ou não se aquilo que está sendo visto foi ou não detectado. Para tal binário, formalmente conhecido como teste de hipótese, a decisão qualitativa está sujeita a dois tipos de erros: decidir que a substância

está presente quando ela não está (α ; erro do tipo I) e, o inverso, falhar em decidir que a substância está presente quando ela está (β ; erro do tipo II). O valor máximo aceitável para α , juntamente com o desvio padrão σ_o do sinal líquido quando $\mu_A = 0$, estabelece o nível crítico L_c sobre o qual podem ser baseadas decisões. Operacionalmente, um sinal observado A precisa exceder L_c para produzir a decisão "detectado".

Segundo Currie, L_c , o nível crítico de detecção representa o nível do sinal líquido acima do qual um sinal bruto pode ser considerado estatisticamente diferente do branco, ou da radiação de fundo e, portanto, pode produzir a decisão "detectado". Matematicamente L_c é dado por

$$L_c = \kappa_\alpha \sigma_o, \quad (3.12)$$

onde κ_α é a abcissa da distribuição normal correspondente a probabilidade $(1 - \alpha)$ e σ_o o desvio padrão do sinal líquido quando $\mu_A = 0$. Para $\alpha = 0,05$, $\kappa_\alpha = 1,645$ e esses valores correspondem a 95 % de certeza que se L_c é excedido existe um sinal líquido; a probabilidade, então, de errar-se em assumir que um sinal foi detectado onde nenhum sinal está presente – erro do tipo I – é 5 %.

3.6.2 Limite de detecção

Definido L_c , pode-se estabelecer um limite de detecção a priori, L_D , especificando L_c , estabelecendo um nível aceitável β para o erro do tipo II e o desvio padrão σ_D , o qual caracteriza a distribuição de probabilidade do sinal líquido quando seu valor verdadeiro μ_A é igual a L_D . Currie definiu L_D , o limite de detecção, como um nível de sinal líquido verdadeiro que, se presente, será detectado com a probabilidade $1 - \beta$. Matematicamente, L_D é expresso como

$$L_d = L_c + \kappa_\beta \sigma_D, \quad (3.13)$$

3.6.3 Limite de determinação

Nem o nível crítico de detecção L_c nem o limite de detecção L_D podem ser considerados satisfatórios em análises quantitativas. O que se deseja, neste caso, é um resultado que seja satisfatoriamente próximo do valor verdadeiro μ_S . Currie (1968) estabeleceu o limite de determinação, L_Q , de tal modo que, para $\mu_S = L_Q$ o desvio padrão σ_Q precisa ser uma pequena fração de μ_S para se ter um desvio relativo aceitável. O limite de determinação

defendido por Currie é

$$L_Q = \kappa_Q \sigma_Q$$

onde L_Q é o valor verdadeiro do sinal líquido μ_S , tendo um desvio padrão σ_Q e $1/\kappa_Q$ é o desvio padrão relativo desejado.

Sumarizando, os níveis L_c , L_D e L_Q são determinados internamente pela estrutura de erro de processo de medida, pelos riscos α e β e por um desvio relativo máximo aceitável para análises quantitativas: L_c é o nível de sinal líquido (resposta do instrumento) acima do qual um sinal observado é considerado "detetado"; L_D é o nível de sinal líquido "verdadeiro" o qual pode ser esperado a priori conduzir á detecção; e L_Q é o nível no qual a precisão da medida é considerada satisfatória para análise quantitativa.

Na aplicação dos limites estudados em radioatividade, tem-se que considerar que os sinais, total e ruído de fundo, estão na forma digital e são governados pela distribuição de Poisson. Nesta caso, a variância σ^2 para N contagens é dada por $\sigma^2 = N$. Se o número de contagem é grande, as distribuições são aproximadamente do tipo "normal" e, nestas circunstâncias, a variação de sinal líquido (número de contagens) é dado por

$$\sigma^2 = \sigma_E^2 + \sigma_R^2 = (\mu_A + \mu_R) + \frac{\mu_R}{n} \quad (3.14)$$

onde, aí, o valor μ_R é assumido ser derivado de n observações do ruído de fundo.

Se tomarmos $\kappa_\alpha = \kappa_\beta = \kappa$ e lembrando que σ_0^2 é a variância quando $\mu_A = 0$ e σ_D^2 é a variância quando $\mu_A = L_D$, as equações para L_c , L_D e L_Q são escritas como (Curie, 1968)

$$L_c = \kappa \sigma_0,$$

$$L_D = \kappa^2 + 2 L_c,$$

$$L_Q = \frac{\kappa_Q^2}{2} [1 + (1 + \frac{4\sigma_0^2}{\kappa_Q^2})^{1/2}],$$

com

$$\sigma_0^2 = \mu_R + \frac{\mu_R}{n}$$

Em nosso trabalho, tomamos um número grande de observações do ruído de fundo (n grande), contado num tempo muito maior que o das amostras, tomamos $\alpha = \beta = 0,05$ ($\kappa = 1,645$) e um desvio padrão relativo desejável de 10 % ($\kappa_Q = 10$).

As tabelas 3.6 e 3.7 mostram os valores do ruído de fundo μ_B e dos limites L_c , L_D e L_Q somados ao ruído de fundo, em contagem por hora (c/h^{-1}) para as contagens das janelas em nossos espectrômetros.

Tabela 3.6: Ruído de fundo médio, nível crítico, limites de detecção e determinação, para o espectrômetro segmento 3, todos expressos em contagem por hora.

Janela	Ruído de fundo (cph)	Nível Crítico L_c (cph)	Limite de detecção L_D (cph)	Limite de determinação L_Q (cph)
1	2692,8	2709,8	2727,0	2798,6
2	686,9	695,6	704,3	741,4
3	539,4	547,0	554,8	587,9

Tabela 3.7: Ruído de fundo médio, nível crítico, limites de detecção e determinação, para o espectrômetro segmento 4, todos expressos em contagem por hora.

Janela	Ruído de fundo (cph)	Nível Crítico L_c (cph)	Limite de detecção L_D (cph)	Limite de determinação L_Q (cph)
1	2709,6	2726,8	2744,0	2815,8
2	503,2	510,6	518,1	550,1
3	490,0	497,3	504,7	536,3

3.7 Obtenção da taxa de calor radiogênico

Com os valores obtido das concentrações do elementos Th, U e K pelas equações 3.4, 3.5 e 3.6, calculamos as taxas de calor radiogênico por quilo da amostra ($\times 10^{-4} \mu W kg^{-1}$), utilizando a equação 2.8.

CAPÍTULO 4

Discussões e conclusões

4.1 Discussão

A partir das equações 3.4, 3.5, 3.6 e 2.8, foram calculadas as concentrações de Th, U, K e as taxas de calor radiogênico nas amostras. Nas tabelas do apêndice A, estão os valores calculados das concentrações de Th, U, K e das taxas de produção de calor radiogênico os quais utilizamos na geração dos perfis para os poços FFL-1 e o MGP-34 localizados na bacia do Recôncavo. Como estes poços têm grandes profundidades, de 3127 e 3627m, respectivamente, foram elaborados três perfis para cada poço: poço FFL-1 de 0 a 1050m, 1050 a 2100m e 2100 a 3150m; poço MGP-34 de 0 a 1220m, 1220 a 2440m e 2440 a 3660m.

Os limites de determinação expressos em concentrações neste nosso trabalho foram 1,0 ppm para o Th; 0,5 ppm para o U e 0,05 % para o K.

Para o tório, os valores obtidos variaram de 1,6 a 25,5 ppm, ficando todos acima do limite de 1,0 ppm.

Para o urânio, os valores calculados variaram de -0,4 a 5,82 ppm. Alguns valores ficaram abaixo do limite inferior de 0,5 ppm e uns poucos deram negativos; estes consideramos "não detectado" e designamos por "n.d."

Para o potássio, os valores calculados ficaram acima do limite de 0,05 % e os valores calculados variaram de 0,05 a 2,5 %.

Para uma melhor interpretação dos dados dos perfis, colocamos ao lado de cada um dos, uma coluna da formação litológica referente a cada profundidade do poço.

FFL-1

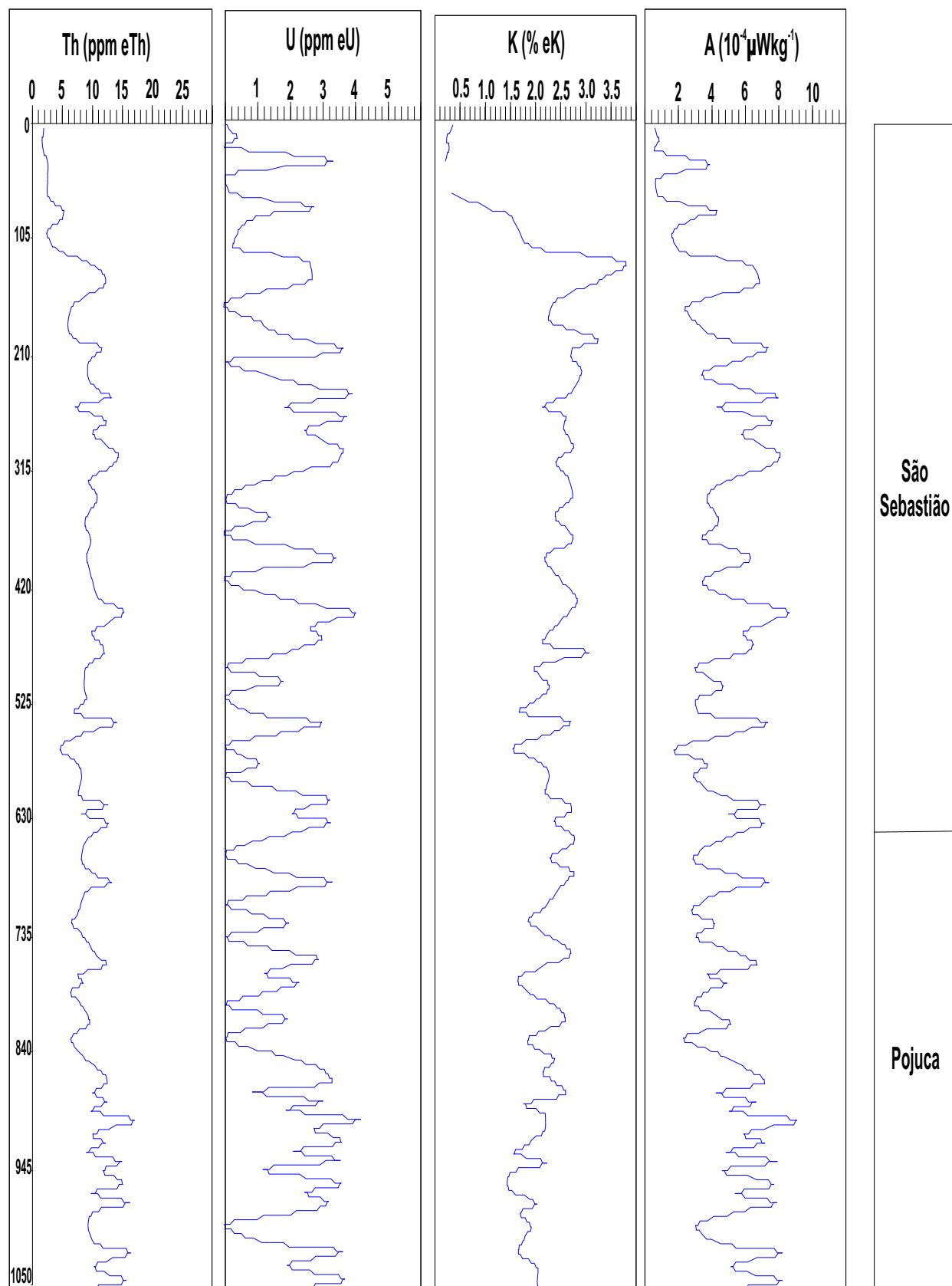


Figura 4.1: Perfis do poço FFL-1, na profundidade de 0 a 1050m

FFL-1

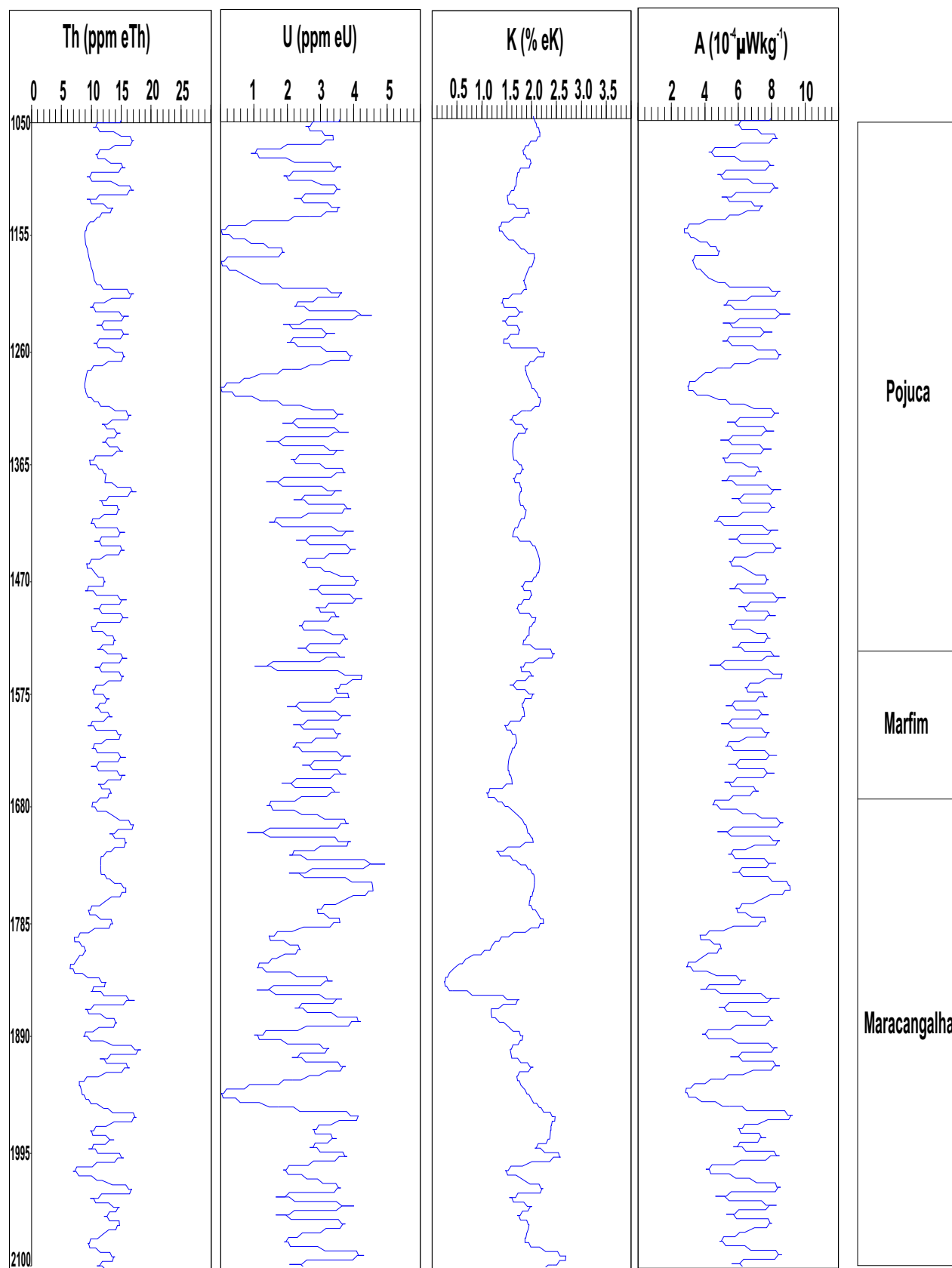


Figura 4.2: Perfis do poço FFL-1, na profundidade de 1050 a 2100m

FFL-1

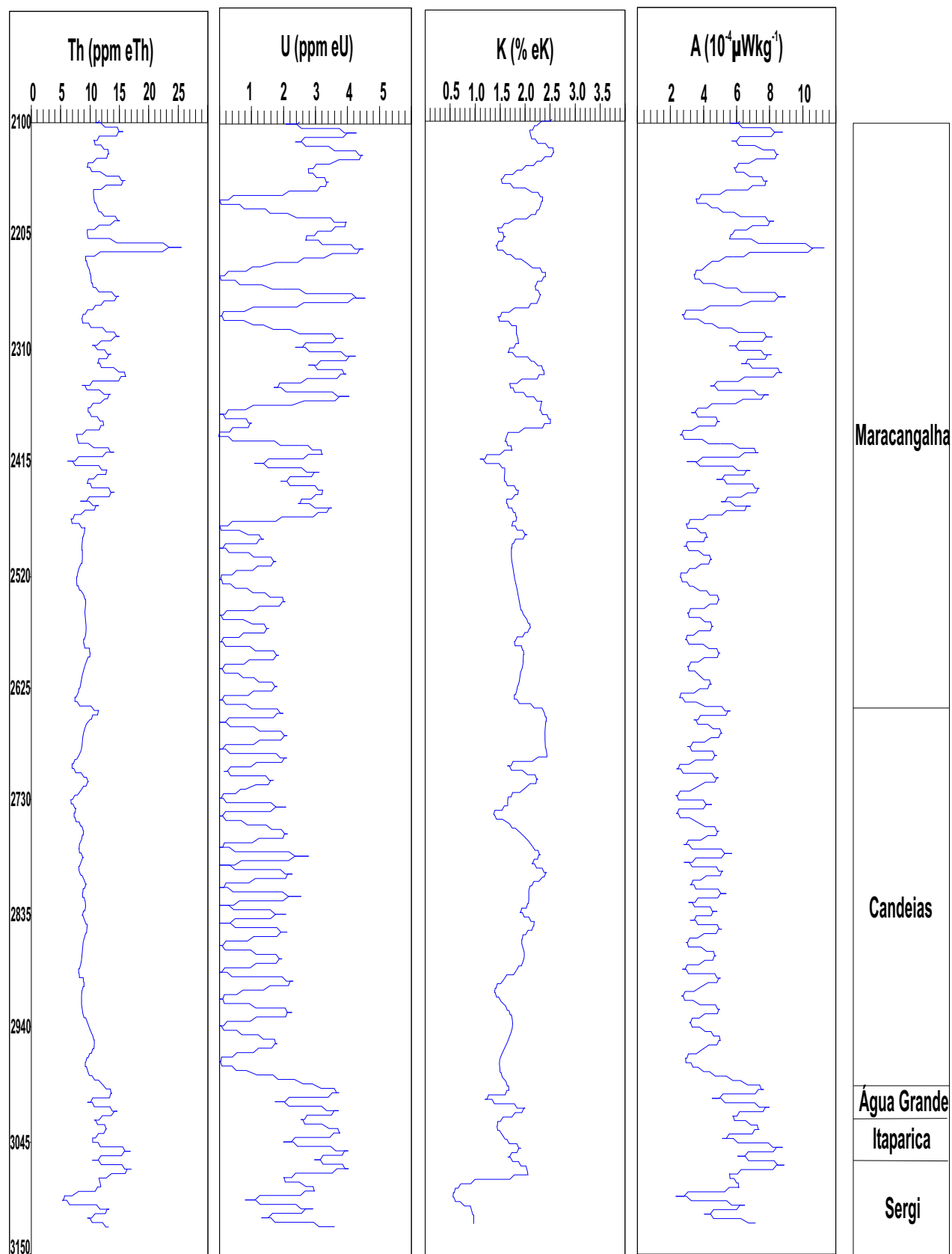


Figura 4.3: Perfis do poço FFL-1, na profundidade de 2100 a 3150m

MGP-34

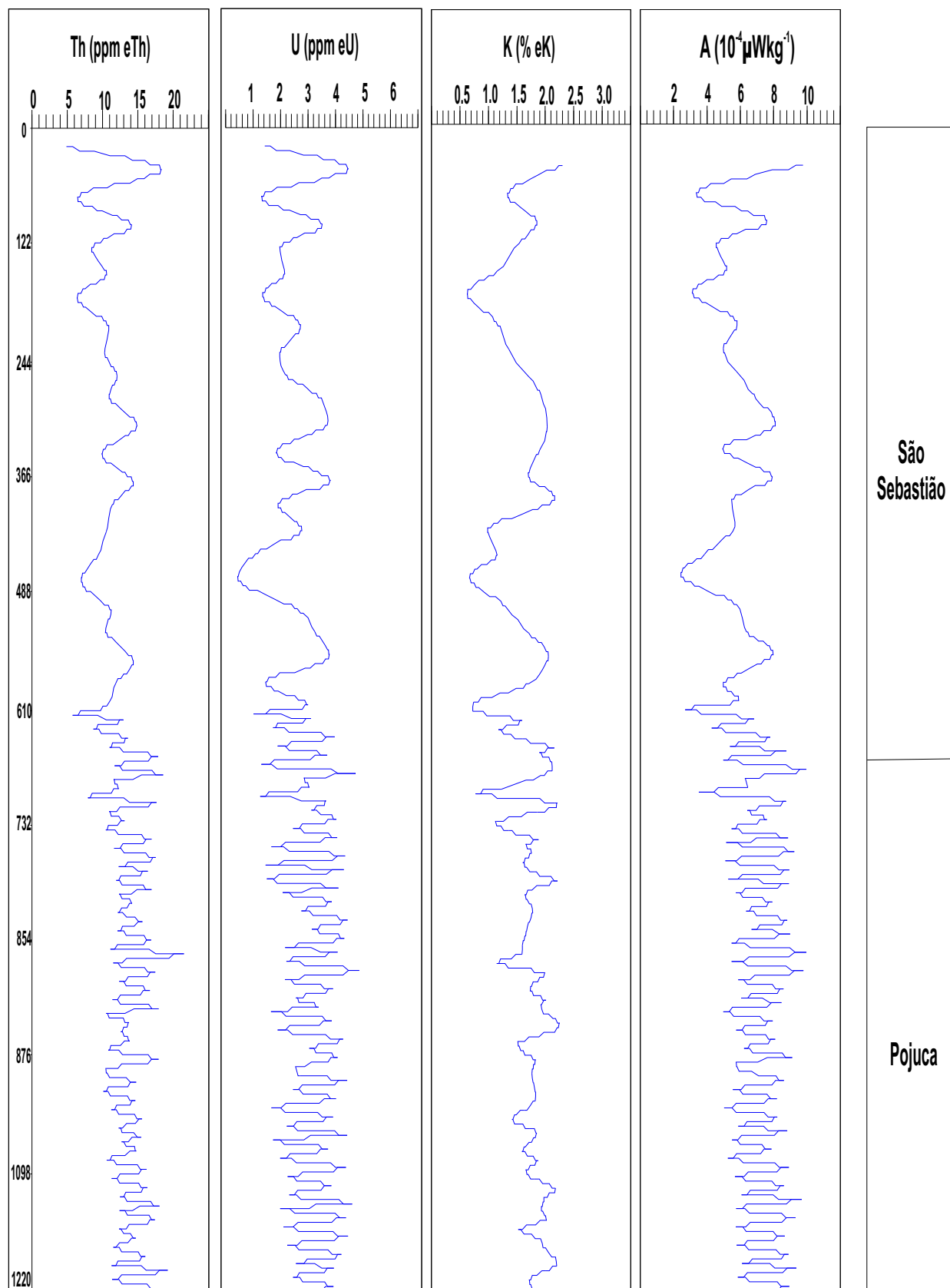


Figura 4.4: Perfis do poço MGP-34, na profundidade de 0 a 1220m

MGP-34

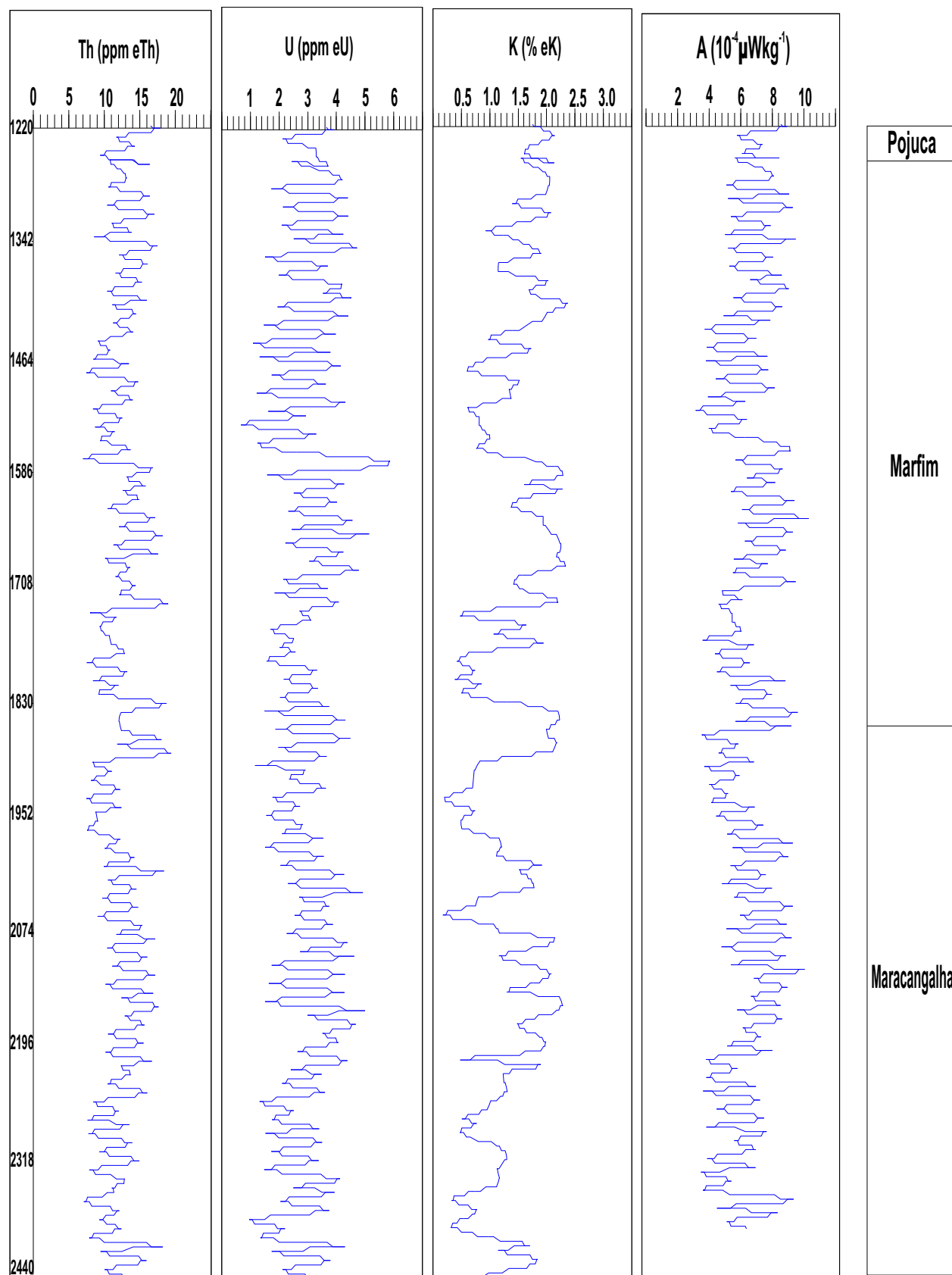


Figura 4.5: Perfis do poço MGP-34, na profundidade 1220 a 2440m

MGP-34

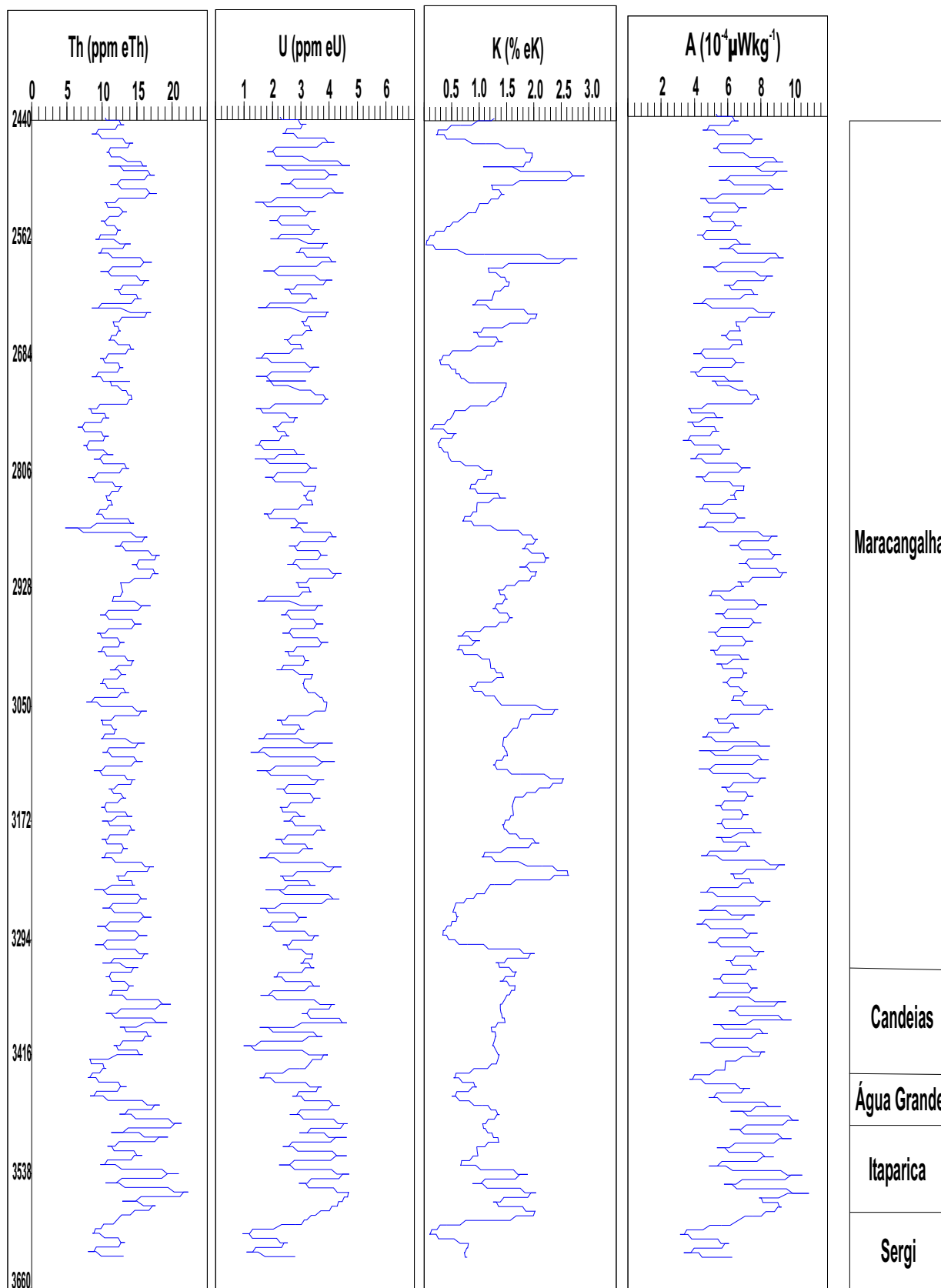


Figura 4.6: Perfis do poço MGP-34, na profundidade de 2440 a 3660m

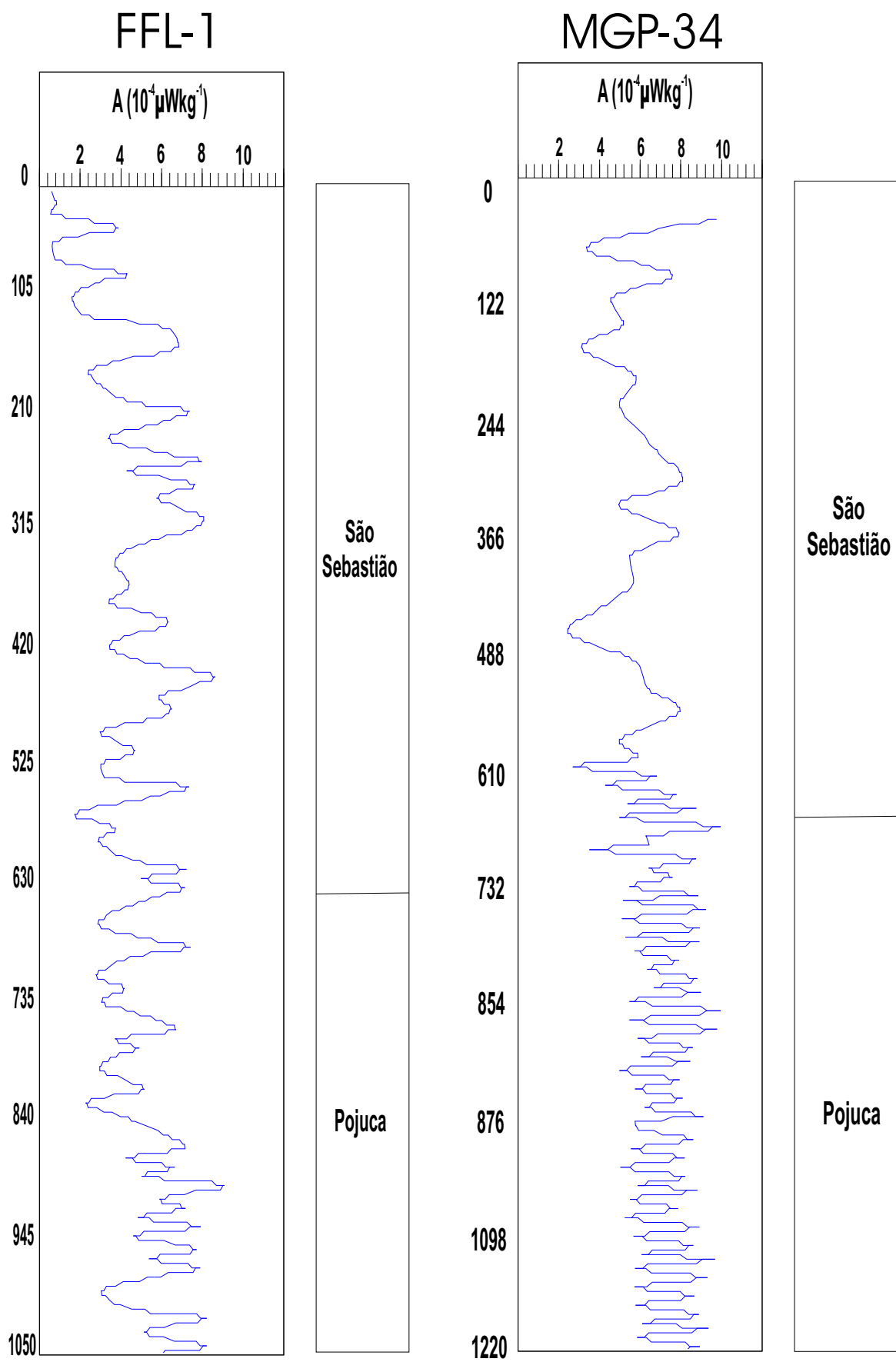


Figura 4.7: Comparação entre os perfis de calor radiogênico

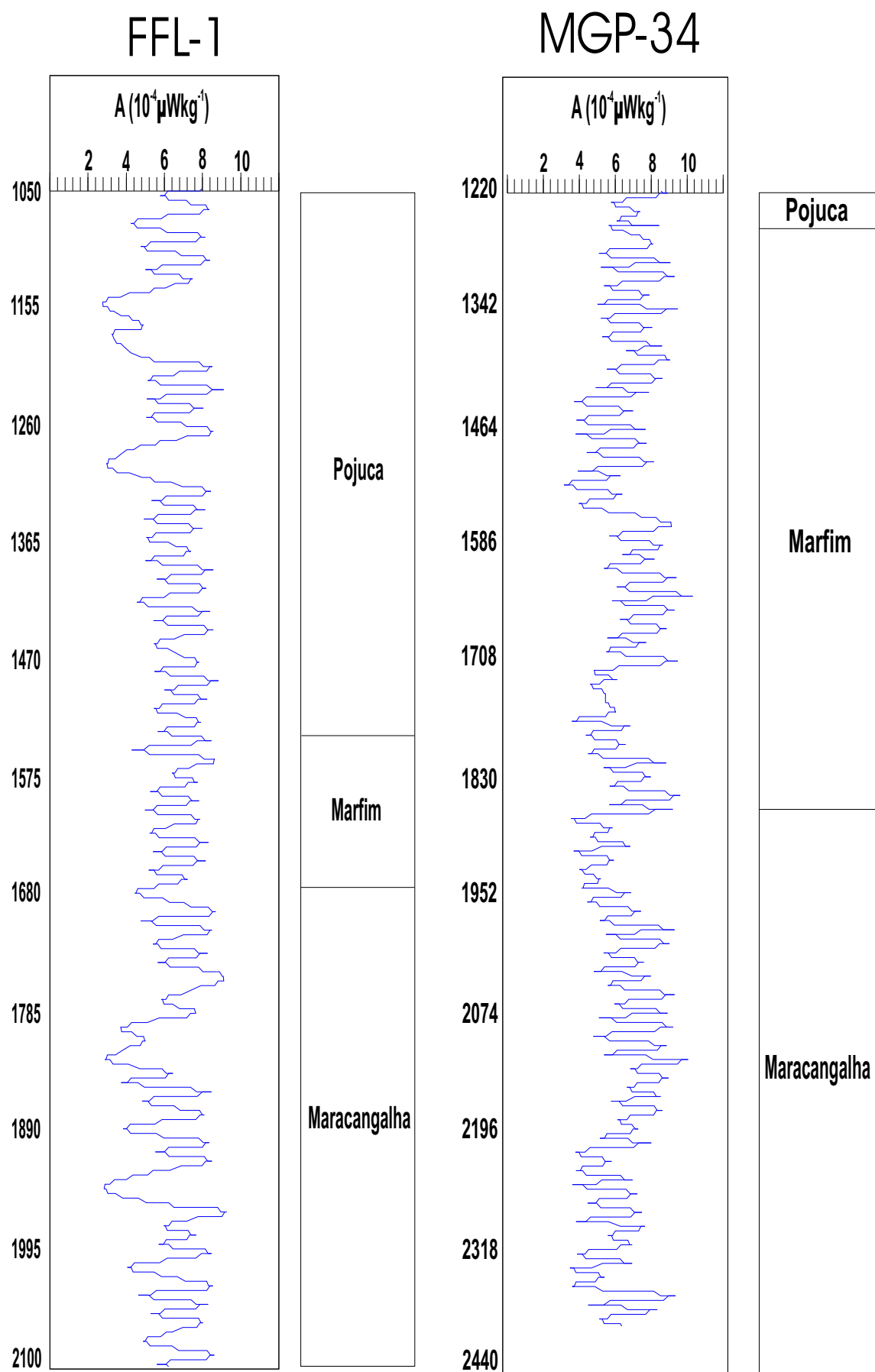


Figura 4.8: Comparação entre os perfis de calor radiogênico

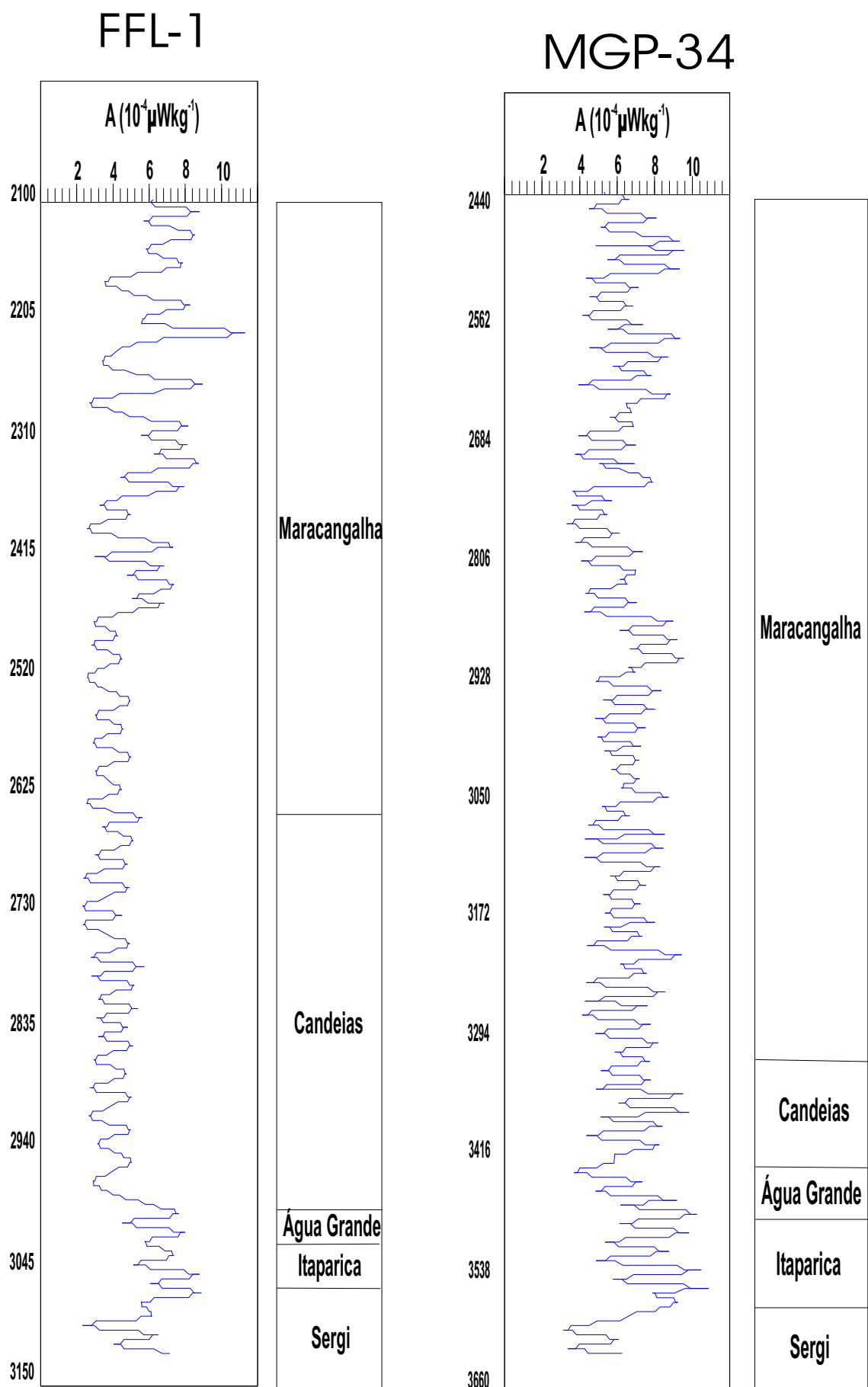


Figura 4.9: Comparação entre os perfis de calor radiogênico

Com os resultados obtidos, tornou-se possível caracterizar zonas de contato entre diferentes formações litológicas encontradas nos poços devido às consideráveis mudanças de valores das concentrações do Th, U e K.

Perfil do poço FFL-1

No perfil da figura 3.1, na faixa referente à formação São Sebastião, nota-se grande variação nas concentrações dos radioelementos, principalmente o potássio, por esta formação apresentar intercalações de arenitos grossos, siltitos e folhelhos. É observado também uma mudança dos valores das concentrações dos perfis quando há uma mudança dos arenitos grossos da formação São Sebastião para os arenitos finos da formação Pojuca, caracterizando assim zona de contato de litologia.

Na faixa referente a formação Pojuca, vistas nos perfis das figuras 3.1 e 3.2, observou-se à mesma variação, por esta formação apresentar arenitos variando de muito fino a médio, às vezes silticos, calcíferos e folhelhos cinzas.

A faixa do perfil da figura 3.3, compreendida entre as profundidades 2460 e 3000 m, refere-se a uma região de folhelhos da formação Maracangalha passando para os folhelhos e siltitos com calcários calcíferos e dolomitos da formação Candeias. Esta faixa caracteriza-se por uma baixa concentração dos radioelementos e uma baixa taxa de geração de calor radiogênico devido às características dessas formações. Ainda neste perfil, nota-se claramente as variações dos valores das concentrações dos radioelementos na mudança de litologia dos folhelhos e siltitos com calcários calcíferos e dolomíticos da formação Candeias para os arenitos da formação Água Grande; dos arenitos da formação Água Grande para os folhelhos da formação Itaparica e por último, o contato entre os folhelhos da formações Itaparica e os arenitos da formação Sergi, caracterizando, assim, as mudanças observadas nos perfis.

Perfis do poço MGP-34:

No perfil da figura 3.4, na faixa referente à formação São Sebastião, nota-se a grande variação nas concentrações dos radioelementos, devido a esta formação apresentar intercalações de arenitos grossos, siltitos e folhelhos. É observado, também, uma leve correlação dos perfis quando há uma mudança dos arenitos grossos da formação São Sebastião para os arenitos muito fino a médio, às vezes silticos, calcíferos e folhelhos cinzas da formação Pojuca.

Na faixa dos perfis referentes aos arenitos muito finos a médios, calcíferos e folhelhos cinzas da formação Pojuca, vista nas figuras 3.5 e 3.6, observou-se pouca variação das concentrações dos radioelementos.

Na faixa dos perfis referentes aos arenitos finos a médios bem selecionados, intercalados à camadas de folhelhos e que correspondem a depósitos de origem flúvio-deltaica da formação Marfim, vistas nas figuras 3.5, observou-se variação das concentrações dos radioelementos,

principalmente na concentração do potássio.

Nota-se claramente uma mudança nos dados dos perfis quando se atravessa o contato entre os arenitos finos a médios bem selecionados da formação Marfim e dos folhelhos da formação Marcangalha.

Os perfis da figura 3.6, mostram-nos claramente a mudança de litologia dos folhelhos e siltitos com calcários calcíferos e dolomitos das formações Candeias para os arenitos da formação Água Grande; dos arenitos da formações Água Grande para os folhelhos da formação Itaparica; e por último, o contato entre os folhelhos da formações Itaparica e os arenitos da formação Sergi.

Os perfis 3.7, 3.8 e 3.9, mostram a comparação realizada entre as taxas de produção de calor radiogênico dos poços FFL-1 e MGP-34. É possível observar que estes valores apresentam as seguintes variações: de 4 a $8 \cdot 10^{-4} \mu W kg^{-1}$ na formação São Sebastião; de 5 a $8 \cdot 10^{-4} \mu W kg^{-1}$ na formação Pojuca; de 4,5 a $8 \cdot 10^{-4} \mu W kg^{-1}$ na formação Marfim; de 5 a $8 \cdot 10^{-4} \mu W kg^{-1}$ na formação Maracangalha; de 5,5 a $8 \cdot 10^{-4} \mu W kg^{-1}$ na formação Areia Grande; de 6 a $8 \cdot 10^{-4} \mu W kg^{-1}$ na formação Itaparica e de 3,5 a $6 \cdot 10^{-4} \mu W kg^{-1}$ na formação Sergi. Na profundidade de 2460 e 3000 m, equivalente ao intervalo da formação Candeias do poço FFL-1, não foi possível inferir algum resultado coerente sobre a taxa de produção de calor radiogênico, devido aos problemas de valores negativos medidos no teor do urânio. Deste modo, fica inviável a comparação do valor da taxa de geração de calor radiogênico nesta formação com aquela da formação Candeias do poço MGP-34.

4.2 Conclusões

Os resultados obtidos pelo método da espectrometria gama, mostram-se satisfatórios para a determinação dos perfis das concentrações do Th, U e K e da taxa de geração de calor radiogênico.

Conclui-se que este método apresenta boa eficiência e um baixo custo.

Considerando que o perfil de raio gama é aplicado para diferenciar os folhelhos dos não folhelhos, o método aplicado neste trabalho realizou esta função de maneira satisfatória.

Conclui-se que os valores obtidos nos perfis das taxas de produção de calor radiogênico apresentam uma boa correlação, de modo que estes podem ser utilizados para correlações com afloramentos da bacia do Recôncavo.

Agradecimentos

Aos familiares, em especial aos meus pais Paulo Bezerra Alves e Maria Edinilde Souza Alves, pelo amor, paciência, carinho e dedicação que me deram em minha trajetória de vida até este momento. As minhas irmãs Aline, Vanessa e Roberta por tudo que representam pra mim.

Em especial a Djanilma Silva dos Santos, uma pessoa muito especial que me acompanhou durante esta jornada e que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos.

A todos os professores do CPGG, em especial ao professor Roberto Max de Argollo, meu orientador, que me proporcionou uma orientação clara e objetiva na pesquisa realizada.

Aos funcionários do CPGG que, direta, ou indiretamente me ajudaram na realização do meu trabalho.

A Agência Nacional de Petróleo(ANP) pela concessão da bolsa de pesquisa pelo período de 2 anos, a FINEP, a Petrobras, pelas amostras cedidas e a Guilherme Assunção Gontijo, funcionário da Petrobrás, no auxílio da aquisição das amostras.

A todos os meu colegas de curso durante este anos, pelo companheirismo e amizade que puderam me proporcionar.

APÊNDICE A

As tabelas, de A.1 até A.10 (poço FFL-1) e de A.11 até A.22 (poço MGP-34), apresentam os valores obtidos no tratamento das amostras dos poços FFL-1 e MGP-34 onde, nas colunas das tabelas, temos as seguintes informações: (Amostra) número da amostra; (Z(m)) a profundidade da amostra; (Tempo) o tempo de contagem da amostra no espectrômetro; (f-1 ou f-2) a forma geométrica; (Massa (g)) a massa da amostra no recipiente em gramas; (Jan-1, Jan-2 e Jan-3) os valores de suas contagens nas janelas 1, 2 e 3, subtraída o ruído de fundo; (Th(ppm)) a concentração de tório ; (U(ppm)) de urânio e (K(%)) potássio, por último; (A ($10^{-4}\mu Wkg^{-1}$)) a taxa de calor radiogênico. Com estes valores foram gerados os perfis mostrados nas tabela de A.1 à A.22.

Tabela A.1: Tabela do poço FFL-1

Amostra	Z (m)	Tempo vivo (ks)	Forma geométrica	Massa (g)	Jan-1	Jan-2	Jan-3	Th (ppm eTh)	U (ppm eU)	K (% eK)	A ($10^{-4}\mu Wkg^{-1}$)
1	6,0	30	f-1	260,00	8473	717	841	1,9	n.d.	0,354	0,52
2	15,0	30	f-1	260,00	6000	793	701	1,6	0,38	0,235	0,85
3	24,0	30	f-1	260,00	7581	747	827	1,8	n.d.	0,283	0,50
4	36,0	30	f-1	260,00	15549	3417	1826	2,6	3,31	0,212	3,88
5	50,0	30	f-1	260,00	5503	947	1131	2,5	n.d.	0,052	0,55
6	64,5	30	f-1	260,00	11500	1535	1285	2,5	0,13	0,330	0,90
7	78,0	30	f-2	115,00	15952	2400	1535	5,2	2,71	1,007	4,27
8	87,0	30	f-1	260,00	27930	2905	2082	4,8	1,04	1,495	2,74
9	100,5	30	f-1	260,00	26039	2103	1011	2,3	0,43	1,703	1,60
10	114,0	30	f-2	116,20	18311	1422	1035	4,5	0,25	1,933	2,07
11	127,5	30	f-2	115,00	38593	1701	1989	10,3	2,59	3,746	6,41
12	145,5	30	f-2	115,00	35251	1685	2167	12,1	2,66	3,319	6,79
13	163,5	30	f-1	260,00	44006	2230	2829	6,5	n.d.	2,361	2,07
14	181,5	30	f-1	260,00	39031	3664	2489	5,9	1,00	2,264	3,24
15	195,0	30	f-2	115,00	32200	2986	1753	6,8	1,75	3,235	4,53
16	204,0	30	f-2	115,00	32212	2170	2209	11,5	3,61	2,755	7,35
17	213,0	30	f-2	115,00	30743	3301	2368	9,4	2,27	2,697	5,50
18	226,5	30	f-1	260,00	57912	3554	4106	9,2	n.d.	2,917	2,96
19	240,0	30	f-2	115,00	32225	3511	2654	10,6	2,37	2,757	5,94
20	249,0	30	f-2	115,00	30949	2293	2415	13,1	3,89	2,523	7,93
21	258,0	30	f-2	115,00	24138	2589	1803	7,1	1,82	2,134	4,28
22	267,0	30	f-2	115,00	31224	2219	2305	12,3	3,74	2,601	7,61
23	280,5	30	f-2	115,00	30393	3392	2523	10,0	2,43	2,559	5,76
24	297,0	30	f-2	115,00	32599	2150	2518	14,2	3,61	2,765	8,03
25	309,0	30	f-2	115,00	29031	2031	2344	13,2	3,44	2,402	7,50
26	322,5	30	f-1	260,00	50103	5154	3984	9,4	1,64	2,662	4,90
27	340,5	30	f-1	260,00	57022	3784	4733	10,8	n.d.	2,730	3,08
28	358,5	30	f-1	260,00	45076	4616	3683	8,8	1,39	2,387	4,40
29	376,5	30	f-1	260,00	55196	3367	4260	9,8	n.d.	2,748	2,85
30	394,5	30	f-1	260,00	48889	6212	4310	9,1	3,40	2,192	6,32

Tabela A.2: Tabela do poço FFL-1

Amostra	Z (m)	Tempo vivo (ks)	Forma geométrica	Massa (g)	Jan-1	Jan-2	Jan-3	Th (ppm eTh)	U (ppm eU)	K (% eK)	A ($10^{-4}\mu Wkg^{-1}$)
31	412,5	30	f-1	260,00	53817	3856	4496	10,0	n.d.	2,506	2,99
32	430,5	30	f-1	260,00	54657	5728	4639	11,0	1,82	2,831	5,54
33	444,0	30	f-2	115,00	32724	2348	2699	15,3	4,00	2,676	8,64
34	457,0	30	f-2	115,00	29808	3452	2557	10,0	2,64	2,431	5,92
35	471,0	30	f-2	115,00	25815	1741	2042	11,6	2,94	2,167	6,51
36	480,0	30	f-2	115,00	34225	3403	2825	11,9	1,67	3,072	5,72
37	493,5	30	f-1	260,00	44786	3446	3978	8,9	n.d.	2,003	2,59
38	507,0	30	f-2	115,00	26160	2786	2130	8,6	1,78	2,274	4,704
39	520,5	30	f-1	260,00	45626	3400	4011	9,0	n.d.	2,072	2,60
40	534,0	30	f-2	115,00	19141	1931	1666	7,1	0,94	1,682	3,29
41	543,0	30	f-2	115,00	30499	1767	2377	14,1	2,93	2,678	7,32
42	552,0	30	f-2	115,00	25354	2776	1887	7,3	2,07	2,218	4,60
43	565,5	30	f-1	260,00	29446	1586	1994	4,6	n.d.	1,546	1,43
44	579,0	30	f-2	115,00	22972	2233	1808	7,6	1,06	2,109	3,70
45	592,5	30	f-1	260,00	46266	2937	3605	8,2	n.d.	2,272	2,43
46	606,0	30	f-2	115,00	25277	2746	1954	7,7	1,95	2,201	4,58
47	615,0	30	f-2	115,00	31063	1932	2261	12,6	3,21	2,700	7,22
48	624,0	30	f-2	115,00	29662	3062	2073	8,1	2,05	2,715	4,97
49	633,0	30	f-2	115,00	28255	1917	2240	12,7	3,24	2,367	7,15
50	646,5	30	f-1	260,00	51488	5196	3961	9,4	1,59	2,784	4,88
51	664,5	30	f-1	260,00	46167	2871	3562	8,1	n.d.	2,286	2,40
52	678,0	30	f-1	115,00	23121	2389	1874	10,0	1,71	2,759	5,16
53	687,0	30	f-2	115,00	30578	1962	2336	13,2	3,28	2,618	7,42
54	696,0	30	f-2	115,00	27113	2838	2157	8,8	1,76	2,392	4,75
55	709,5	30	f-1	260,00	44230	2774	3461	7,9	n.d.	2,179	2,32
56	723,0	30	f-2	115,00	21853	2485	1709	6,5	1,95	1,848	4,18
57	736,5	30	f-1	260,00	49795	3266	3875	8,7	n.d.	2,421	2,64
58	750,0	30	f-2	115,00	30344	3106	2428	10,0	1,78	2,705	5,19
59	759,0	30	f-2	115,00	27310	1705	2122	12,2	2,85	2,352	6,66
60	768,0	30	f-2	155,00	28901	2967	2443	7,6	1,19	1,882	3,73

Tabela A.3: Tabela do poço FFL-1

Amostra	Z (m)	Tempo vivo (ks)	Forma geométrica	Massa (g)	Jan-1	Jan-2	Jan-3	Th (ppm eTh)	U (ppm eU)	K (% eK)	A ($10^{-4}\mu Wkg^{-1}$)
61	777,0	30	f-2	155,00	26462	1815	2049	8,5	2,27	1,644	4,90
62	786,0	30	f-2	115,00	21137	2195	1572	6,3	1,41	1,903	3,62
63	799,5	30	f-1	260,00	50208	3213	3740	8,4	n.d.	2,478	2,62
64	813,0	30	f-2	115,00	29301	3075	2339	9,5	1,92	2,580	5,15
65	826,5	30	f-1	260,00	37210	2345	2822	6,4	n.d.	1,840	1,94
66	844,5	30	f-1	260,00	45697	4873	3677	8,5	1,77	2,371	4,68
67	858,0	30	f-2	115,00	25748	1768	2109	12,1	3,00	2,139	6,69
68	867,0	30	f-2	115,00	28088	1926	2218	12,5	3,25	2,346	7,11
69	876,0	30	f-2	115,00	6631	610	545	10,0	0,83	2,575	4,24
70	885,0	30	f-2	115,00	5415	414	508	12,5	2,99	1,767	6,65
71	894,0	30	f-2	115,00	6363	702	579	10,0	1,86	2,189	5,07
72	903,0	30	f-2	115,00	6988	570	693	17,1	4,15	2,199	9,08
73	912,0	30	f-2	115,00	6762	817	623	10,2	2,72	2,185	5,95
74	921,0	30	f-2	115,00	5803	493	525	12,2	3,56	1,825	7,14
75	930,0	30	f-2	115,00	5195	646	540	9,0	2,08	1,574	4,84
76	939,0	30	f-2	115,00	6689	491	606	14,9	3,52	2,228	7,92
77	948,0	30	f-2	115,00	5079	585	641	11,7	1,15	1,497	4,61
78	959,5	30	f-2	115,00	5058	476	595	15,1	3,54	1,432	7,72
79	966,0	30	f-2	115,00	5639	718	590	9,7	2,43	1,673	5,39
80	975,0	30	f-2	115,00	6167	438	627	16,3	3,17	2,037	7,89
81	984,0	30	f-2	115,00	5785	748	610	10,0	2,60	1,690	5,62
82	997,5	30	f-1	245,70	9620	695	910	9,2	n.d.	1,918	2,42
83	1011,0	30	f-2	115,00	5414	603	580	10,3	1,35	1,752	4,54
84	1020,0	30	f-2	115,00	5610	488	640	16,4	3,61	1,665	8,21
85	1033,5	30	f-1	248,62	10061	1158	998	10,2	1,90	2,049	5,14
86	1047,0	7,2	f-2	115,00	6383	506	631	15,7	3,67	2,034	8,22
87	1056,0	7,2	f-2	115,00	6520	788	624	10,3	2,55	2,080	5,79
88	1065,0	7,2	f-2	115,00	6521	463	660	17,1	3,35	2,156	8,32
89	1078,5	7,2	f-1	242,41	8629	924	954	10,7	0,91	1,829	4,24
90	1092,0	7,2	f-2	115,00	6261	496	628	15,7	3,61	1,990	8,14

Tabela A.4: Tabela do poço FFL-1

Amostra	Z (m)	Tempo vivo (ks)	Forma geométrica	Massa (g)	Jan-1	Jan-2	Jan-3	Th (ppm eTh)	U (ppm eU)	K (% eK)	A ($10^{-4}\mu Wkg^{-1}$)
91	1101,0	7,2	f-2	115,00	5403	641	544	9,2	1,89	1,715	4,76
92	1110,0	7,2	f-2	115,00	5668	485	659	17,1	3,59	1,688	8,38
93	1120,0	7,2	f-2	115,00	5178	662	558	9,3	2,20	1,513	5,00
94	1128,0	7,2	f-2	115,00	5253	486	561	13,7	3,58	1,536	7,44
95	1137,0	7,2	f-2	115,00	6474	810	664	11,0	2,68	1,963	6,05
96	1150,5	7,2	f-1	251,88	8170	761	928	9,0	n.d.	1,342	2,30
97	1168,5	7,2	f-1	244,03	9121	1076	917	9,5	1,92	1,851	4,90
98	1176,5	7,2	f-1	241,73	10446	806	973	9,8	n.d.	2,070	2,73
99	1200,0	7,2	f-2	115,00	5701	638	615	11,0	1,44	1,835	4,81
100	1208,5	7,2	f-2	115,00	6111	495	667	17,1	3,64	1,892	8,51
101	1218,0	7,2	f-2	115,00	5049	666	586	9,8	2,23	1,389	5,12
102	1227,0	7,2	f-2	115,00	6377	616	678	16,2	4,54	1,824	9,12
103	1236,0	7,2	f-2	115,00	5110	651	626	10,9	1,89	1,411	5,08
104	1245,0	7,2	f-2	115,00	5734	467	632	16,3	3,43	1,767	8,05
105	1254,0	7,2	f-2	115,00	5132	655	605	10,4	2,00	1,442	5,06
106	1263,0	7,2	f-2	115,00	6978	549	647	15,6	3,96	2,256	8,56
107	1276,5	7,2	f-1	234,26	8970	1075	888	9,4	2,14	1,883	5,10
108	1294,5	7,2	f-1	243,90	10186	821	912	8,9	n.d.	1,981	2,67
109	1308,0	7,2	f-2	115,00	6268	662	594	10,5	1,44	2,185	4,82
110	1317,0	7,2	f-2	115,00	6138	502	657	16,7	3,68	1,900	8,44
111	1326,0	7,2	f-2	115,00	5512	684	672	11,8	1,86	1,560	5,33
112	1335,0	7,2	f-2	115,00	6215	528	614	14,9	3,85	1,923	8,14
113	1344,0	7,2	f-2	115,00	5504	634	658	11,9	1,37	1,664	4,92
114	1353,0	7,2	f-2	115,00	5531	501	612	15,3	3,70	1,621	8,00
115	1362,0	7,2	f-2	115,00	5436	673	577	9,71	2,10	1,639	5,06
116	1371,0	7,2	f-2	115,00	5931	517	542	12,5	3,75	1,841	7,41
117	1380,0	7,2	f-2	115,00	5496	639	677	12,2	1,36	1,628	5,00
118	1389,0	7,2	f-2	115,00	5915	490	675	17,5	3,62	1,796	8,56
119	1398,0	7,2	f-2	115,00	5923	734	662	11,3	2,19	1,747	5,59
120	1407,0	7,2	f-2	115,00	6191	538	614	14,8	3,93	1,895	8,18

Tabela A.5: Tabela do poço FFL-1

Amostra	Z (m)	Tempo vivo (ks)	Forma geométrica	Massa (g)	Jan-1	Jan-2	Jan-3	Th (ppm eTh)	U (ppm eU)	K (% eK)	A ($10^{-4}\mu Wkg^{-1}$)
121	1416,0	7,2	f-2	115,00	5520	613	561	9,9	1,46	1,825	4,55
122	1425,0	7,2	f-2	115,00	5811	540	635	15,6	3,99	1,686	8,38
123	1434,0	7,2	f-2	115,00	5609	712	622	10,5	2,27	1,628	5,42
124	1443,0	7,2	f-2	115,00	6633	558	644	15,5	4,06	2,068	8,56
125	1456,5	7,2	f-1	230,97	9786	1155	878	9,2	2,45	2,169	5,44
126	1470,0	7,2	f-2	115,00	6609	575	559	12,3	4,14	2,080	7,82
127	1479,0	7,2	f-2	115,00	5842	743	565	9,1	2,66	1,788	5,48
128	1488,0	7,2	f-2	115,00	6616	583	662	15,9	4,26	2,008	8,83
129	1497,0	7,2	f-2	115,00	5993	795	640	10,4	2,88	1,703	6,00
130	1506,0	7,2	f-2	115,00	6434	490	641	16,2	3,55	2,079	8,25
131	1515,0	7,2	f-2	115,00	6153	741	597	9,9	2,35	1,958	5,46
132	1524,0	7,2	f-2	115,00	6241	527	592	14,1	3,82	1,951	7,93
133	1533,0	7,2	f-2	115,00	6083	750	649	11,0	2,31	1,837	5,65
134	1542,0	7,2	f-2	115,00	7291	519	650	16,0	3,71	2,462	8,47
135	1551,0	7,2	f-2	115,00	5361	569	579	10,6	1,02	1,782	4,29
136	1560,0	7,2	f-2	115,00	6629	572	645	15,4	4,17	2,043	8,63
137	1569,0	7,2	f-2	115,00	5925	844	647	10,2	3,42	1,560	6,40
138	1578,0	7,2	f-2	115,00	6402	532	566	13,1	3,83	2,041	7,71
139	1587,0	7,2	f-2	115,00	5845	698	619	10,6	1,99	1,812	5,25
140	1596,0	7,2	f-2	115,00	6061	537	577	13,5	3,91	1,853	7,82
141	1605,0	7,2	f-2	115,00	5072	655	561	9,4	2,18	1,453	4,98
142	1614,0	7,2	f-2	115,00	5601	490	603	15,0	3,60	1,680	7,87
143	1623,0	7,2	f-2	115,00	5627	695	597	10,1	2,16	1,700	5,23
144	1632,0	7,2	f-2	115,00	5582	528	633	15,7	3,91	1,591	8,30
145	1641,0	7,2	f-2	115,00	5410	711	600	9,9	2,45	1,525	5,41
146	1650,0	7,2	f-2	115,00	5460	508	626	15,7	3,77	1,565	8,16
147	1659,0	7,2	f-2	115,00	5497	671	641	11,2	1,83	1,610	5,17
148	1668,0	7,2	f-2	115,00	4320	476	543	13,4	3,57	1,090	7,21
149	1679,5	7,2	f-1	241,97	7930	939	935	10,2	1,39	1,530	4,46
150	1695,0	7,2	f-2	115,00	6192	523	673	17,0	3,85	1,884	8,66

Tabela A.6: Tabela do poço FFL-1

Amostra	Z (m)	Tempo vivo (ks)	Forma geométrica	Massa (g)	Jan-1	Jan-2	Jan-3	Th (ppm eTh)	U (ppm eU)	K (% eK)	A ($10^{-4}\mu Wkg^{-1}$)
151	1704,0	7,2	f-2	115,00	5923	616	696	13,0	0,80	1,929	4,76
152	1713,0	7,2	f-2	115,00	6472	535	646	15,9	3,90	2,023	8,48
153	1722,0	7,2	f-2	115,00	5120	683	671	11,6	2,08	1,307	5,41
154	1731,0	7,2	f-2	115,00	6151	675	563	11,6	4,94	1,683	8,26
155	1740,0	7,2	f-2	115,00	6448	754	672	11,6	2,06	2,042	5,64
156	1749,0	7,2	f-2	115,00	6807	621	634	14,5	4,52	2,061	8,73
157	1758,0	7,2	f-2	115,00	6806	627	668	15,6	4,58	2,030	9,07
158	1771,5	7,2	f-1	239,37	9907	1257	955	9,5	2,91	1,960	5,87
159	1785,0	7,2	f-2	115,00	6660	497	572	13,6	3,55	2,225	7,62
160	1798,5	7,2	f-1	230,53	6719	787	668	7,3	1,47	1,456	3,78
161	1812,0	7,2	f-2	211,98	6797	604	694	9,1	2,40	1,110	5,01
162	1825,5	7,2	f-1	184,07	3023	433	465	6,5	1,11	0,546	2,92
163	1839,0	7,2	f-2	87,39	1843	327	370	12,4	3,36	0,237	6,45
164	1848,0	7,2	f-2	87,16	2139	324	419	10,1	1,08	0,416	3,76
165	1857,0	7,2	f-2	93,25	4695	398	540	17,2	3,63	1,736	8,47
166	1866,0	7,2	f-2	95,79	3788	521	452	9,0	2,23	1,186	4,84
167	1875,0	7,2	f-2	94,96	4060	462	493	14,3	4,19	1,224	8,08
168	1888,5	7,2	f-1	196,77	6642	701	648	8,8	1,02	1,820	3,84
169	1902,0	7,2	f-2	99,15	4557	375	582	18,3	3,25	1,566	8,32
170	1911,0	7,2	f-2	105,78	5234	660	610	11,4	2,14	1,624	5,53
171	1920,0	7,2	f-2	97,52	5466	437	556	16,4	3,76	2,036	8,49
172	1929,0	7,2	f-2	104,16	4812	585	447	8,0	2,17	1,705	4,71
173	1942,5	7,2	f-1	198,96	7971	614	701	8,5	n.d.	1,944	2,51
174	1956,0	7,2	f-2	97,10	5565	620	577	12,1	1,72	2,159	5,48
175	1965,0	7,2	f-2	99,18	6506	494	613	17,5	4,13	2,466	9,27
176	1974,0	7,2	f-2	99,00	6130	722	526	9,9	2,78	2,393	6,00
177	1983,0	7,2	f-2	115,70	6980	495	583	13,8	3,49	2,369	7,68
178	1992,0	7,2	f-2	101,99	5706	696	524	9,6	2,67	2,067	5,71
179	2001,0	7,2	f-2	113,90	7465	527	635	15,4	3,78	2,571	8,44
180	2014,5	7,2	f-1	221,00	6632	811	632	6,9	1,87	1,470	4,07

Tabela A.7: Tabela do poço FFL-1

Amostra	Z (m)	Tempo vivo (ks)	Forma geométrica	Massa (g)	Jan-1	Jan-2	Jan-3	Th (ppm eTh)	U (ppm eU)	K (% eK)	A ($10^{-4}\mu Wkg^{-1}$)
181	2028,0	7,2	f-2	101,61	6013	442	588	16,8	3,61	2,236	8,53
182	2037,0	7,2	f-2	108,33	4801	574	533	9,8	1,66	1,549	4,64
183	2046,0	7,2	f-2	108,30	6095	520	582	14,7	4,01	2,012	8,28
184	2055,0	7,2	f-2	103,98	5205	617	618	12,2	1,65	1,710	5,28
185	2064,0	7,2	f-2	104,90	5669	470	553	14,8	3,75	1,949	8,01
186	2077,5	7,2	f-1	225,47	8468	992	841	9,4	1,90	1,877	4,87
187	2091,0	7,2	f-2	107,46	7430	568	583	13,9	4,31	2,668	8,60
188	2100,0	7,2	f-2	109,01	6659	735	605	10,9	2,06	2,417	5,60
189	2109,0	7,2	f-2	108,85	6419	556	621	15,6	4,28	2,089	8,80
190	2118,0	7,2	f-2	115,81	6672	785	636	10,6	2,37	2,156	5,71
191	2127,0	7,2	f-2	104,19	7092	570	552	13,2	4,48	2,580	8,55
192	2140,5	7,2	f-1	227,80	9731	1201	911	9,6	2,80	2,088	5,84
193	2154,0	7,2	f-2	111,28	5029	444	597	16,0	3,40	1,517	7,86
194	2163,0	7,2	f-2	112,80	6217	798	637	10,6	2,84	1,884	6,08
195	2172,0	7,2	f-1	221,26	10613	792	965	10,7	n.d.	2,341	2,98
196	2181,0	7,2	f-2	110,95	6528	722	637	11,5	1,85	2,273	5,50
197	2190,0	7,2	f-2	115,93	6316	542	627	15,1	3,92	1,928	8,26
198	2199,0	7,2	f-2	116,48	5637	809	617	9,5	3,28	1,453	6,06
199	2208,0	7,2	f-2	119,95	5879	780	623	9,7	2,72	1,608	5,63
200	2217,0	7,2	f-2	121,86	6092	619	980	25,6	4,50	1,407	1,15
201	2226,0	7,2	f-2	120,21	5994	809	617	9,4	2,97	1,631	5,79
202	2239,5	7,2	f-1	251,22	12017	865	1041	10,1	n.d.	2,391	2,91
203	2253,0	7,2	f-1	248,16	10615	1208	1028	10,5	1,96	2,199	5,33
204	2262,0	7,2	f-2	121,46	7778	666	690	14,9	4,55	2,316	8,96
205	2271,0	7,2	f-2	117,02	6607	722	656	11,4	1,65	2,185	5,24
206	2280,0	7,2	f-1	258,20	8305	670	884	8,5	n.d.	1,461	2,13
207	2289,0	7,2	f-2	114,19	5864	697	631	11,0	1,94	1,826	5,30
208	2298,0	7,2	f-2	114,08	5973	525	611	14,9	3,87	1,822	8,16
209	2307,0	7,2	f-1	226,99	9013	1115	946	10,4	2,36	1,867	5,55
210	2316,0	7,2	f-2	116,28	5902	586	596	13,6	4,26	1,662	8,11

Tabela A.8: Tabela do poço FFL-1

Amostra	Z (m)	Tempo vivo (ks)	Forma geométrica	Massa (g)	Jan-1	Jan-2	Jan-3	Th (ppm eTh)	U (ppm eU)	K (% eK)	A ($10^{-4}\mu Wkg^{-1}$)
211	2325,0	7,2	f-2	116,29	7017	860	690	11,3	2,78	2,171	6,29
212	2334,0	7,2	f-2	107,19	6712	511	617	16,1	3,94	2,361	8,70
213	2343,0	7,2	f-1	237,42	8121	947	809	8,6	1,69	1,713	4,41
214	2352,0	7,2	f-2	115,66	6179	561	584	13,4	4,06	1,859	7,95
215	2361,0	7,2	f-1	229,46	10041	1087	964	11,0	1,58	2,332	5,12
216	2370,0	7,2	f-1	234,90	10814	791	936	9,7	n.d.	2,288	2,81
217	2380,0	7,2	f-2	116,47	7014	691	680	12,3	1,01	2,488	4,98
218	2390,0	7,2	f-1	231,21	8278	659	746	7,7	n.d.	1,705	2,28
219	2397,0	7,2	f-2	115,02	5275	679	515	8,2	2,47	1,593	5,02
220	2406,0	7,2	f-2	113,21	5398	432	553	14,1	3,20	1,728	7,26
221	2415,0	7,2	f-2	223,80	6704	779	693	6,2	1,08	1,099	2,99
222	2424,0	7,2	f-2	117,09	5220	432	528	12,8	3,09	1,597	6,78
223	2433,0	7,2	f-2	115,93	5247	640	559	9,4	1,91	1,585	4,78
224	2442,0	7,2	f-2	110,82	5582	431	547	14,2	3,24	1,868	7,36
225	2451,0	7,2	f-2	114,63	5429	686	519	8,4	2,45	1,682	5,06
226	2457,0	7,2	f-2	115,18	5350	483	501	11,5	3,51	1,624	6,85
227	2466,0	7,2	f-1	247,77	8966	1103	739	6,8	2,58	1,836	4,82
228	2475,0	7,2	f-1	231,44	8976	780	879	9,1	n.d.	1,738	2,60
229	2484,0	7,2	f-1	240,07	8985	960	810	8,7	1,38	2,045	4,26
230	2493,0	7,2	f-1	236,06	8715	682	834	8,6	n.d.	1,747	2,36
231	2506,5	7,2	f-1	247,16	8558	1005	851	8,7	1,77	1,726	4,50
232	2524,5	7,2	f-1	250,24	9289	725	809	7,7	n.d.	1,796	2,33
233	2542,5	7,2	f-1	250,52	9431	1122	928	9,2	2,05	1,865	4,97
234	2556,0	7,2	f-1	234,90	9566	768	888	9,1	n.d.	1,919	2,62
235	2569,5	7,2	f-1	243,12	9546	1039	882	9,4	1,54	2,107	4,59
236	2583,0	7,2	f-1	233,15	8880	711	852	8,9	n.d.	1,783	2,46
237	2592,0	7,2	f-1	238,93	9359	1083	938	10,0	1,86	1,970	5,01
238	2605,5	7,2	f-1	239,66	10026	822	916	9,1	n.d.	1,960	2,70
239	2623,5	7,2	f-1	240,58	8649	993	798	8,3	1,81	1,862	4,49
240	2637,0	7,2	f-1	230,21	8485	662	727	7,5	n.d.	1,789	2,31

Tabela A.9: Tabela do poço FFL-1

Amostra	Z (m)	Tempo vivo (ks)	Forma geométrica	Massa (g)	Jan-1	Jan-2	Jan-3	Th (ppm eTh)	U (ppm eU)	K (% eK)	A ($10^{-4}\mu Wkg^{-1}$)
241	2646,0	7,2	f-2	113,01	6748	754	650	11,4	2,00	2,303	5,62
242	2655,0	7,2	f-1	230,53	11394	872	970	10,0	n.d.	2,421	3,07
243	2668,0	7,2	f-1	239,33	10511	1162	865	8,9	2,11	2,402	5,13
244	2682,0	7,2	f-1	226,96	10593	743	811	8,5	n.d.	2,410	2,75
245	2691,0	7,2	f-1	225,96	9723	1054	721	7,7	2,10	2,437	4,81
246	2700,0	7,2	f-1	229,86	8472	793	723	7,0	0,13	1,642	2,49
247	2712,0	7,2	f-1	231,88	9713	1060	884	9,8	1,70	2,253	4,90
248	2727,0	7,2	f-1	232,22	8335	733	697	6,8	0,04	1,659	2,35
249	2733,0	7,2	f-1	234,21	7843	955	739	7,6	2,08	1,651	4,51
250	2745,0	7,2	f-1	221,40	7316	736	712	7,3	0,01	1,366	2,36
251	2758,0	7,2	f-1	240,00	8801	1063	864	8,9	2,13	1,796	4,92
252	2772,0	7,2	f-1	228,68	9990	792	795	8,0	n.d.	2,137	2,72
253	2781,0	7,2	f-1	228,77	10196	1213	861	8,9	2,79	2,304	5,72
254	2790,0	7,2	f-1	222,40	9809	799	782	8,1	n.d.	2,132	2,78
255	2799,0	7,2	f-1	218,02	9639	1073	760	8,4	2,28	2,431	5,17
256	2808,0	7,2	f-1	228,58	10208	751	886	9,4	n.d.	2,213	2,74
257	2817,0	7,2	f-1	225,86	9244	1111	821	8,7	2,55	2,073	5,37
258	2826,0	7,2	f-1	229,84	9600	694	863	9,2	n.d.	2,069	2,56
259	2835,0	7,2	f-1	224,44	8400	991	785	8,6	2,08	1,895	4,84
260	2844,0	7,2	f-1	225,31	9829	704	872	9,5	n.d.	2,174	2,66
261	2853,0	7,2	f-1	229,85	9353	1081	857	9,2	2,12	2,102	5,12
262	2862,0	7,2	f-1	233,62	9426	734	853	8,8	n.d.	1,938	2,55
263	2875,5	7,2	f-1	237,19	9043	1039	821	8,6	1,96	1,983	4,75
264	2889,0	7,2	f-1	222,44	8693	732	768	8,1	n.d.	1,822	2,54
265	2898,0	7,2	f-1	222,79	7707	985	819	9,0	2,30	1,575	5,04
266	2911,5	7,2	f-1	224,80	7395	685	797	8,5	n.d.	1,388	2,31
267	2925,0	7,2	f-2	111,37	5247	652	516	8,7	2,27	1,678	4,98
268	2938,5	7,2	f-1	215,44	8363	697	863	9,8	n.d.	1,752	2,58
269	2956,5	7,2	f-1	219,35	7882	961	912	10,7	1,80	1,650	5,03
270	2971,5	7,2	f-1	216,81	7531	672	818	9,2	n.d.	1,492	2,40

Tabela A.10: Tabela do poço FFL-1

Amostra	Z (m)	Tempo vivo (ks)	Forma geométrica	Massa (g)	Jan-1	Jan-2	Jan-3	Th (ppm eTh)	U (ppm eU)	K (% eK)	A ($10^{-4}\mu Wkg^{-1}$)
271	2986,5	7,2	f-1	220,24	7494	959	865	9,9	2,09	1,499	5,04
272	3000,0	7,2	f-2	99,32	4837	440	494	13,7	3,73	1,667	7,65
273	3009,0	7,2	f-2	113,43	4376	568	543	9,5	1,74	1,198	4,50
274	3018,0	7,2	f-2	110,18	6018	490	579	14,7	3,71	1,990	7,98
275	3027,0	7,2	f-2	105,70	5300	692	593	10,8	2,54	1,628	5,74
276	3036,0	7,2	f-2	116,32	5167	517	549	12,8	3,77	1,433	7,37
277	3045,0	7,2	f-2	120,56	5711	708	644	10,5	2,00	1,600	5,16
278	3054,0	7,2	f-2	109,32	6012	518	642	16,9	4,00	1,914	8,80
279	3063,0	7,2	f-2	109,35	5645	761	610	10,4	2,96	1,655	6,05
280	3072,0	7,2	f-2	110,28	6248	526	655	17,1	4,02	2,000	8,89
281	3081,0	7,2	f-2	112,39	6270	729	648	11,5	2,02	2,046	5,57
282	3090,0	7,2	f-2	112,43	3127	379	455	11,8	2,95	0,711	6,09
283	3099,0	7,2	f-2	242,47	4638	607	630	5,3	0,80	0,560	2,30
284	3110,0	7,2	f-2	116,11	3567	389	510	13,2	2,93	0,860	6,46
285	3117,0	7,2	f-2	117,38	3930	510	546	9,5	1,31	0,974	4,03
286	3126,0	7,2	f-2	106,97	3795	444	498	13,2	3,60	0,970	7,14

Tabela A.11: Tabela do poço MGP-34

Amostra	Z (m)	Tempo vivo (ks)	Forma geométrica	Massa (g)	Jan-1	Jan-2	Jan-3	Th (ppm eTh)	U (ppm eU)	K (% eK)	A ($10^{-4}\mu Wkg^{-1}$)
1	18,0	7,2	f-2	94,52	893	235	247	4,9	1,43	n.d.	2,56
2	45,0	7,2	f-2	59,58	3832	318	386	18,4	4,48	2,304	9,77
3	72,0	7,2	f-2	94,94	3345	383	317	6,5	1,32	1,345	3,39
4	99,0	7,2	f-2	95,37	4887	401	479	14,1	3,51	1,854	7,60
5	126,0	7,2	f-2	100,97	4399	543	448	8,5	1,99	1,539	4,61
6	153,0	7,2	f-2	111,38	3588	283	394	10,6	2,15	1,158	5,15
7	180,0	7,2	f-2	112,62	2664	382	365	6,3	1,34	0,625	3,12
8	207,0	7,2	f-2	110,09	3757	352	418	10,8	2,72	1,129	5,75
9	234,0	7,2	f-2	105,68	4551	589	550	10,3	1,97	1,359	4,98
10	261,0	7,2	f-2	109,20	4515	290	438	12,1	2,19	1,636	5,74
11	283,5	7,2	f-2	96,00	5606	752	576	11,0	3,43	1,922	6,74
12	315,0	7,2	f-2	104,29	5781	463	554	14,9	3,70	2,034	8,04
13	342,0	7,2	f-2	113,87	5768	662	571	9,9	1,83	1,903	4,94
14	369,0	7,2	f-2	112,34	5607	508	580	14,4	3,82	1,707	7,91
15	396,0	7,2	f-2	106,36	6072	688	609	11,4	1,93	2,153	5,51
16	423,0	7,2	f-2	103,88	3325	335	387	10,5	2,76	1,005	5,68
17	450,0	7,2	f-2	113,51	4017	481	515	9,4	1,09	1,156	3,85
18	477,0	7,2	f-2	111,81	2463	293	365	7,0	0,49	0,665	2,49
19	504,0	7,2	f-2	109,21	3998	337	423	11,2	2,60	1,289	5,78
20	531,0	7,2	f-2	95,36	5124	700	545	10,5	3,24	1,714	6,36
21	558,0	7,2	f-2	97,57	5434	436	507	14,4	3,71	2,052	7,93
22	585,0	7,2	f-2	99,41	4862	562	572	11,9	1,46	1,709	5,02
23	606,0	7,2	f-2	108,24	3062	373	408	10,6	2,99	0,744	5,82
24	615,0	7,2	f-2	115,10	2680	345	334	5,8	1,01	0,726	2,70
25	624,0	7,2	f-2	102,23	4539	378	462	12,9	3,10	1,585	6,80
26	633,0	7,2	f-2	105,16	3910	507	467	8,7	1,73	1,178	4,29
27	642,0	7,2	f-2	91,98	4448	431	460	13,6	3,96	1,598	7,80
28	651,0	7,2	f-2	93,93	5302	597	522	11,1	1,90	2,151	5,39
29	660,0	7,2	f-2	102,38	5487	447	615	17,9	3,70	1,892	8,76
30	669,0	7,2	f-2	103,62	5651	602	584	11,7	1,32	2,114	4,98

Tabela A.12: Tabela do poço MGP-34

Amostra	Z (m)	Tempo vivo (ks)	Forma geométrica	Massa (g)	Jan-1	Jan-2	Jan-3	Th (ppm eTh)	U (ppm eU)	K (% eK)	A ($10^{-4}\mu Wkg^{-1}$)
31	678,0	7,2	f-2	94,62	5870	526	622	18,6	4,70	2,123	9,97
32	687,0	7,2	f-2	100,68	5350	718	615	11,6	2,87	1,663	6,29
33	696,0	7,2	f-2	107,40	4027	382	460	12,3	3,03	1,225	6,46
34	703,5	7,2	f-2	99,44	2841	380	397	8,0	1,25	0,804	3,54
35	711,0	7,2	f-2	101,84	5909	439	607	17,6	3,60	2,164	8,70
36	720,0	7,2	f-2	97,86	5516	730	582	11,1	3,12	1,856	6,45
37	729,0	7,2	f-2	99,45	4004	464	480	13,1	4,02	1,141	7,58
38	738,0	7,2	f-2	101,78	4598	627	558	10,6	2,45	1,355	5,50
39	747,0	7,2	f-2	100,77	5498	484	595	16,9	4,07	1,874	8,86
40	756,0	7,2	f-2	105,65	5129	612	604	11,6	1,67	1,656	5,15
41	765,0	7,2	f-2	98,70	5304	504	604	17,5	4,35	1,755	9,24
42	774,0	7,2	f-2	101,06	4840	571	601	12,3	1,45	1,608	5,09
43	783,0	7,2	f-2	95,58	5168	485	559	16,4	4,30	1,799	8,93
44	792,0	7,2	f-2	94,38	5401	582	550	12,0	1,50	2,214	5,27
45	799,5	7,2	f-2	102,04	5688	496	605	16,9	4,11	1,931	8,92
46	807,0	7,2	f-2	108,57	5531	694	671	12,4	2,07	1,647	5,72
47	816,0	7,2	f-2	106,28	5398	488	547	14,2	3,87	1,747	7,92
48	825,0	7,2	f-2	97,54	5389	704	616	12,2	2,75	1,776	6,36
49	834,0	7,2	f-2	96,93	5120	506	552	15,7	4,44	1,710	8,83
50	843,0	7,2	f-2	96,38	5289	726	616	12,1	3,14	1,670	6,67
51	852,0	7,2	f-2	97,37	5020	490	578	16,9	4,30	1,654	9,00
52	861,0	7,2	f-2	102,07	4991	633	580	11,2	2,17	1,600	5,49
53	870,0	7,2	f-2	100,90	5109	474	702	21,5	4,08	1,592	9,95
54	879,0	7,2	f-2	97,22	4134	577	568	11,6	2,21	1,156	5,47
55	888,0	7,2	f-2	97,97	5859	563	621	17,5	4,87	1,974	9,80
56	897,0	7,2	f-2	105,41	5693	702	654	12,4	2,19	1,817	5,88
57	906,0	7,2	f-2	103,66	5337	477	597	16,7	3,91	1,743	8,60
58	915,0	7,2	f-2	102,26	5837	720	604	11,4	2,57	2,005	6,06
59	924,0	7,2	f-2	105,12	5538	419	621	18,0	3,37	1,917	8,47
60	933,0	7,2	f-2	104,72	5485	611	550	10,6	1,64	1,997	4,97

Tabela A.13: Tabela do poço MGP-34

Amostra	Z (m)	Tempo vivo (ks)	Forma geométrica	Massa (g)	Jan-1	Jan-2	Jan-3	Th (ppm eTh)	U (ppm eU)	K (% eK)	A ($10^{-4}\mu Wkg^{-1}$)
61	942,0	7,2	f-2	102,67	6131	481	525	13,7	3,86	2,252	7,95
62	951,0	7,2	f-2	99,93	5776	663	621	12,6	1,90	2,106	5,75
63	960,0	7,2	f-2	104,35	5043	522	536	13,8	4,25	1,527	8,10
64	969,0	7,2	f-2	106,38	5489	755	619	10,9	3,04	1,592	6,23
65	978,0	7,2	f-2	103,22	5581	494	634	18,0	4,07	1,832	9,11
66	987,0	7,2	f-2	110,87	5854	741	612	10,5	2,57	1,811	5,77
67	996,0	7,2	f-2	101,13	5418	702	594	11,2	2,70	1,767	6,06
68	1005,0	7,2	f-2	100,86	5446	529	554	14,8	4,43	1,788	8,62
69	1014,0	7,2	f-2	102,22	5324	663	543	10,1	2,45	1,827	5,56
70	1023,0	7,2	f-2	101,01	5337	481	537	14,6	4,01	1,823	8,19
71	1032,0	7,2	f-2	109,25	5199	621	606	11,3	1,67	1,630	5,04
72	1041,0	7,2	f-2	103,13	4677	470	560	15,6	3,91	1,416	8,20
73	1050,0	7,2	f-2	98,38	5184	651	608	12,31	2,23	1,730	5,87
74	1059,0	7,2	f-2	101,16	5593	529	574	15,5	4,42	1,853	8,81
75	1068,0	7,2	f-2	107,07	5551	661	665	12,7	1,73	1,758	5,51
76	1077,0	7,2	f-2	105,64	5013	663	548	14,7	3,72	1,588	7,86
77	1086,0	7,2	f-2	106,58	5514	652	573	10,6	1,99	1,871	5,26
78	1095,0	7,2	f-2	102,92	5326	529	598	16,3	4,38	1,654	8,91
79	1104,0	7,2	f-2	103,01	5410	669	594	11,3	2,25	1,798	5,67
80	1113,0	7,2	f-2	103,98	6141	481	597	16,3	3,85	2,181	8,61
81	1122,0	7,2	f-2	101,78	5822	709	641	12,5	2,31	1,979	6,08
82	1131,0	7,2	f-2	100,68	5922	546	642	18,0	4,60	1,974	9,68
83	1140,0	7,2	f-2	104,78	5781	687	647	12,4	1,99	1,931	5,75
84	1149,0	7,2	f-2	104,86	6123	543	645	17,4	4,37	2,011	9,32
85	1158,0	7,2	f-2	100,99	4962	639	626	12,4	2,11	1,523	5,72
86	1167,0	7,2	f-2	103,39	5836	548	570	14,7	4,46	1,919	8,67
87	1176,0	7,2	f-2	98,62	5457	658	578	11,5	2,25	1,959	5,77
88	1185,0	7,2	f-2	98,45	5911	497	571	16,1	4,22	2,156	8,88
89	1194,0	7,2	f-2	95,27	5722	685	562	11,4	2,55	2,198	6,11
90	1203,0	7,2	f-2	101,07	5762	469	650	19,2	3,93	2,011	9,36

Tabela A.14: Tabela do poço MGP-34

Amostra	Z (m)	Tempo vivo (ks)	Forma geométrica	Massa (g)	Jan-1	Jan-2	Jan-3	Th (ppm eTh)	U (ppm eU)	K (% eK)	A ($10^{-4}\mu Wkg^{-1}$)
91	1212,0	7,2	f-2	106,62	5558	710	623	11,3	2,46	1,723	5,84
92	1221,0	7,2	f-2	107,52	5696	495	652	17,9	3,92	1,808	8,94
93	1230,0	7,2	f-2	102,80	5978	694	610	11,8	2,12	2,145	5,78
94	1239,0	7,2	f-2	104,83	5094	410	518	14,2	3,28	1,756	7,37
95	1248,0	7,2	f-2	106,31	5411	753	558	9,4	3,30	1,618	6,10
96	1257,0	7,2	f-2	106,14	6113	469	604	16,4	3,68	2,138	8,45
97	1256,0	7,2	f-2	102,94	5005	657	577	10,8	2,44	1,550	5,64
98	1275,0	7,2	f-2	103,69	5966	526	528	13,2	4,22	2,054	8,11
99	1284,0	7,2	f-2	100,65	5384	602	535	10,7	1,73	2,041	5,08
100	1293,0	7,2	f-2	104,39	5971	545	617	16,4	4,41	1,950	9,07
101	1302,0	7,2	f-2	102,82	4570	599	548	10,4	2,14	1,392	5,19
102	1311,0	7,2	f-2	97,92	5845	513	597	17,1	4,41	2,079	9,29
103	1320,0	7,2	f-2	107,36	5125	650	604	11,1	2,09	1,551	5,38
104	1329,0	7,2	f-2	102,70	3872	501	515	13,8	4,24	0,939	7,88
105	1338,0	7,2	f-2	100,78	4127	577	470	8,7	2,51	1,238	5,04
106	1347,0	7,2	f-2	102,11	5335	560	632	17,4	4,71	1,593	9,49
107	1356,0	7,2	f-2	104,62	5469	620	613	12,0	1,53	1,889	5,20
108	1365,0	7,2	f-2	105,20	4204	448	572	16,1	3,70	1,157	8,06
109	1374,0	7,2	f-2	101,03	4205	575	585	11,6	1,99	1,148	5,26
110	1383,0	7,2	f-2	99,31	5666	493	553	15,3	4,16	2,013	8,58
111	1392,0	7,2	f-2	101,08	5481	770	583	10,4	3,53	1,685	6,61
112	1401,0	7,2	f-2	100,10	5840	532	585	16,0	4,47	2,004	9,04
113	1410,0	7,2	f-2	101,66	6125	673	569	11,1	1,95	2,375	5,53
114	1419,0	7,2	f-2	96,18	5670	508	526	14,5	4,41	2,071	8,62
115	1428,0	7,2	f-2	104,27	5239	589	572	11,2	1,47	1,845	4,92
116	1437,0	7,2	f-2	101,16	4553	472	514	14,0	3,99	1,400	7,87
117	1446,0	7,2	f-2	103,63	3343	417	458	9,2	1,09	0,982	3,72
118	1455,0	7,2	f-2	102,06	5029	464	439	10,8	3,78	1,726	6,98
119	1464,0	7,2	f-2	102,92	3560	440	435	8,5	1,32	1,128	3,83
120	1473,0	7,2	f-2	91,93	3224	437	450	13,5	4,15	0,817	7,69

Tabela A.15: Tabela do poço MGP-34

Amostra	Z (m)	Tempo vivo (ks)	Forma geométrica	Massa (g)	Jan-1	Jan-2	Jan-3	Th (ppm eTh)	U (ppm eU)	K (% eK)	A ($10^{-4}\mu Wkg^{-1}$)
121	1482,0	7,2	f-2	101,60	2714	414	393	7,5	1,74	0,626	3,79
122	1491,0	7,2	f-2	100,57	4576	428	516	14,7	3,62	1,502	7,73
123	1500,0	7,2	f-2	103,95	4237	504	545	10,9	1,21	1,336	4,41
124	1509,0	7,2	f-2	107,44	4927	542	555	13,9	4,32	1,373	8,15
125	1518,0	7,2	f-2	102,62	2851	429	436	8,4	1,65	0,634	3,94
126	1527,0	7,2	f-2	98,88	2943	331	418	12,5	2,92	0,817	6,28
127	1536,0	7,2	f-2	101,03	2772	335	412	8,7	0,67	0,816	3,15
128	1545,0	7,2	f-2	106,03	3399	404	437	11,5	3,30	0,871	6,39
129	1554,0	7,2	f-2	103,68	3491	446	478	9,5	1,26	1,003	3,97
130	1563,0	7,2	f-2	104,09	2920	308	457	13,7	2,61	0,778	6,27
131	1572,0	7,2	f-2	107,28	5795	988	536	7,0	5,82	1,429	7,82
132	1581,0	7,2	f-2	104,80	6296	532	625	16,7	4,25	2,141	9,07
133	1590,0	7,2	f-2	102,05	6138	669	648	13,1	1,58	2,282	5,65
134	1599,0	7,2	f-2	92,10	4627	459	520	15,8	4,25	1,607	8,65
135	1608,0	7,2	f-2	98,51	6196	736	633	12,6	2,51	2,282	6,40
136	1617,0	7,2	f-2	107,48	5254	509	572	14,8	4,02	1,597	8,18
137	1626,0	7,2	f-2	104,24	4690	629	565	10,5	2,33	1,376	5,38
138	1635,0	7,2	f-2	103,43	5985	557	636	17,2	4,56	1,942	9,41
139	1644,0	7,2	f-2	105,79	5974	738	651	12,0	2,43	1,941	6,08
140	1653,0	7,2	f-2	100,67	6440	612	670	18,2	5,14	2,133	10,31
141	1662,0	7,2	f-2	101,71	6067	699	587	11,3	2,24	2,252	5,81
142	1671,0	7,2	f-2	102,17	6304	515	632	17,6	4,22	2,227	9,30
143	1680,0	7,2	f-2	104,08	6228	777	576	10,1	3,05	2,170	6,26
144	1689,0	7,2	f-2	108,30	7015	623	591	13,7	4,77	2,324	8,85
145	1698,0	7,2	f-2	109,76	5373	686	643	11,6	2,16	1,570	5,57
146	1707,0	7,2	f-2	101,82	4498	442	517	14,4	3,71	1,413	7,71
147	1716,0	7,2	f-2	102,65	5376	641	621	12,3	1,84	1,803	5,52
148	1725,0	7,2	f-2	109,29	6568	528	704	18,9	4,07	2,155	9,47
149	1734,0	7,2	f-2	92,37	2994	498	416	8,2	2,74	0,689	4,94
150	1743,0	7,2	f-2	94,11	2302	329	379	11,7	3,09	0,494	6,13

Tabela A.16: Tabela do poço MGP-34

Amostra	Z (m)	Tempo vivo (ks)	Forma geométrica	Massa (g)	Jan-1	Jan-2	Jan-3	Th (ppm eTh)	U (ppm eU)	K (% eK)	A ($10^{-4}\mu Wkg^{-1}$)
151	1752,0	7,2	f-2	102,54	4639	547	485	9,4	1,71	1,636	4,60
152	1761,0	7,2	f-2	105,56	3389	312	385	10,5	2,52	1,0667	5,46
153	1770,0	7,2	f-2	99,89	5377	633	562	11,2	2,02	1,949	5,46
154	1779,0	7,2	f-2	103,22	2816	302	427	12,7	2,57	0,757	5,97
155	1788,0	7,2	f-2	96,99	2228	363	374	7,6	1,59	0,418	3,59
156	1797,0	7,2	f-2	89,85	2723	341	407	13,3	3,33	0,743	6,82
157	1806,0	7,2	f-2	94,44	2441	429	418	8,4	2,16	0,387	4,35
158	1815,0	7,2	f-2	96,67	3103	373	412	12,0	3,35	0,855	6,56
159	1824,0	7,2	f-2	98,94	2834	466	477	9,4	2,03	0,510	4,52
160	1833,0	7,2	f-2	95,97	4171	412	587	18,8	3,74	1,307	8,82
161	1842,0	7,2	f-2	98,45	5662	613	589	12,3	1,50	2,203	5,35
162	1851,0	7,2	f-2	97,90	5959	513	479	12,1	4,32	2,232	7,98
163	1860,0	7,2	f-2	99,54	5601	651	622	12,7	1,87	2,007	5,72
164	1869,0	7,2	f-2	101,48	6073	539	646	18,1	4,49	2,056	9,62
165	1878,0	7,2	f-2	102,77	5992	682	608	11,8	1,98	2,183	5,67
166	1887,0	7,2	f-2	107,26	6084	465	686	19,4	3,67	2,053	9,18
167	1896,0	7,2	f-2	108,99	3295	425	457	8,6	1,16	0,886	3,61
168	1905,0	7,2	f-2	101,12	2799	335	389	11,1	2,89	0,728	5,84
169	1914,0	7,2	f-2	98,02	3080	490	429	8,1	2,37	0,715	4,59
170	1923,0	7,2	f-2	106,46	3246	441	466	12,2	3,62	0,700	6,82
171	1932,0	7,2	f-2	106,80	2163	401	414	7,5	1,78	0,208	3,68
172	1941,0	7,2	f-2	105,40	2371	322	427	12,4	2,73	0,450	5,93
173	1950,0	7,2	f-2	100,98	2993	429	445	8,8	1,55	0,738	3,99
174	1959,0	7,2	f-2	106,12	2420	344	351	9,1	2,84	0,495	5,21
175	1968,0	7,2	f-2	105,94	2811	470	434	7,7	2,11	0,505	4,16
176	1977,0	7,2	f-2	98,61	3743	407	436	12,2	3,54	1,136	6,88
177	1986,0	7,2	f-2	88,82	3437	434	440	10,0	1,51	1,210	4,43
178	1995,0	7,2	f-2	94,97	3642	391	467	14,2	3,56	1,126	7,42
179	2004,0	7,2	f-2	108,56	5610	660	557	10,0	2,04	1,907	5,17
180	2013,0	7,2	f-2	102,63	5073	508	642	18,4	4,27	1,523	9,30

Tabela A.17: Tabela do poço MGP-34

Amostra	Z (m)	Tempo vivo (ks)	Forma geométrica	Massa (g)	Jan-1	Jan-2	Jan-3	Th (ppm eTh)	U (ppm eU)	K (% eK)	A ($10^{-4}\mu Wkg^{-1}$)
181	2022,0	7,2	f-2	107,95	5415	681	589	10,6	2,30	1,701	5,50
182	2031,0	7,2	f-2	101,14	5630	588	567	14,6	4,92	1,771	9,02
183	2040,0	7,2	f-2	99,86	3672	581	517	9,7	2,71	0,836	5,36
184	2049,0	7,2	f-2	109,77	3518	466	553	14,8	3,74	0,726	7,59
185	2058,0	7,2	f-2	105,40	2608	517	507	9,0	2,54	0,176	4,79
186	2067,0	7,2	f-2	108,28	4077	481	572	15,4	3,88	0,999	7,97
187	2076,0	7,2	f-2	102,62	4541	626	609	11,7	2,26	1,239	5,59
188	2085,0	7,2	f-2	105,36	6366	549	645	17,2	4,38	2,125	9,31
189	2094,0	7,2	f-2	98,69	5455	686	546	10,4	2,72	1,938	5,94
190	2103,0	7,2	f-2	99,55	4353	528	572	16,1	4,60	1,160	8,90
191	2112,0	7,2	f-2	104,45	5093	606	577	11,1	1,74	1,696	5,10
192	2121,0	7,2	f-2	97,96	5813	500	596	17,2	4,29	2,085	9,21
193	2130,0	7,2	f-2	101,68	4912	565	516	10,2	1,64	1,774	4,79
194	2139,0	7,2	f-2	103,40	4678	512	606	16,9	4,29	1,306	8,86
195	2148,0	7,2	f-2	105,97	6076	662	639	12,4	1,51	2,179	5,38
196	2157,0	7,2	f-2	95,25	6282	565	618	17,7	4,98	2,288	1,01
197	2166,0	7,2	f-2	93,18	5632	728	625	12,9	2,99	1,987	6,84
198	2175,0	7,2	f-2	100,94	5027	551	578	15,6	4,68	1,487	8,97
199	2184,0	7,2	f-2	103,99	5726	799	606	10,5	3,53	1,726	6,66
200	2193,0	7,2	f-2	99,49	5594	480	555	15,5	4,05	1,990	8,52
201	2202,0	7,2	f-2	102,38	5442	689	552	10,2	2,65	1,844	5,77
202	2211,0	7,2	f-2	95,50	2932	469	543	16,7	4,38	0,478	8,62
203	2220,0	7,2	f-2	99,06	5547	693	625	12,4	2,43	1,880	6,14
204	2229,0	7,2	f-2	110,14	4400	448	527	13,7	3,49	1,237	7,25
205	2238,0	7,2	f-2	107,07	4523	609	573	10,5	2,11	1,252	5,14
206	2247,0	7,2	f-2	108,44	4559	452	587	16,1	3,60	1,297	7,99
207	2256,0	7,2	f-2	103,27	3452	437	437	8,5	1,34	1,050	3,83
208	2265,0	7,2	f-2	108,77	3204	315	433	12,1	2,51	0,900	5,79
209	2274,0	7,2	f-2	101,53	2555	410	401	7,6	1,77	0,507	3,81
210	2283,0	7,2	f-2	101,66	3166	394	470	13,5	3,40	0,771	6,96

Tabela A.18: Tabela do poço MGP-34

Amostra	Z (m)	Tempo vivo (ks)	Forma geométrica	Massa (g)	Jan-1	Jan-2	Jan-3	Th (ppm eTh)	U (ppm eU)	K (% eK)	A ($10^{-4}\mu Wkg^{-1}$)
211	2292,0	7,2	f-2	99,26	2373	374	391	7,8	1,52	0,472	3,61
212	2301,0	7,2	f-2	106,44	3667	428	510	13,9	3,51	0,925	7,23
213	2310,0	7,2	f-2	103,64	4088	520	486	9,3	1,73	1,273	4,47
214	2319,0	7,2	f-2	110,95	4534	436	561	14,9	3,38	1,298	7,49
215	2328,0	7,2	f-2	106,05	3644	458	422	7,9	1,48	1,134	3,82
216	2337,0	7,2	f-2	106,00	4373	508	507	12,8	4,11	1,179	7,60
217	2346,0	7,2	f-2	102,07	4259	620	582	11,0	2,49	1,085	5,58
218	2355,0	7,2	f-2	102,41	3312	463	439	11,3	3,93	0,744	6,91
219	2364,0	7,2	f-2	96,35	2184	393	366	7,1	2,05	0,330	3,88
220	2373,0	7,2	f-2	96,77	3120	415	427	12,1	3,74	0,773	6,93
221	2382,0	7,2	f-2	100,62	2531	358	445	9,3	0,99	0,547	3,51
222	2391,0	7,2	f-2	99,59	1786	241	383	12,4	2,20	0,326	5,40
223	2400,0	7,2	f-2	103,83	3288	428	416	8,0	1,41	0,970	3,73
224	2409,0	7,2	f-2	96,13	5080	483	602	18,2	4,30	1,708	9,35
225	2418,0	7,2	f-2	98,31	3714	488	468	9,4	1,75	1,150	4,48
226	2427,0	7,2	f-2	94,78	4977	425	527	16,0	3,78	1,838	8,33
227	2436,0	7,2	f-2	94,50	4355	553	490	10,1	2,12	1,529	5,14
228	2445,0	7,2	f-2	101,57	2867	368	451	13,1	3,19	0,661	6,64
229	2454,0	7,2	f-2	101,80	2480	476	462	8,5	2,39	0,232	4,54
230	2463,0	7,2	f-2	102,19	4195	495	532	14,5	4,19	1,128	8,08
231	2472,0	7,2	f-2	94,74	4962	568	506	10,7	1,81	1,950	5,13
232	2486,0	7,2	f-2	92,27	5103	514	553	16,4	4,74	1,769	9,32
233	2490,0	7,2	f-2	93,07	3645	489	505	11,0	1,75	1,105	4,86
234	2499,0	7,2	f-2	90,93	6762	477	575	17,5	4,29	2,918	9,58
235	2508,0	7,2	f-2	100,33	4385	605	574	11,2	2,29	1,241	5,49
236	2517,0	7,2	f-2	97,09	4768	506	600	17,8	4,50	1,461	9,34
237	2526,0	7,2	f-2	93,20	3400	440	475	10,5	1,40	1,061	4,38
238	2535,0	7,2	f-2	89,81	3035	364	422	13,5	3,53	0,887	7,13
239	2544,0	7,2	f-2	97,84	2842	458	486	9,8	1,91	0,527	4,52
240	2553,0	7,2	f-2	94,90	2265	389	420	12,7	3,65	0,318	6,84

Tabela A.19: Tabela do poço MGP-34

Amostra	Z (m)	Tempo vivo (ks)	Forma geométrica	Massa (g)	Jan-1	Jan-2	Jan-3	Th (ppm eTh)	U (ppm eU)	K (% eK)	A ($10^{-4}\mu Wkg^{-1}$)
241	2562,0	7,2	f-2	96,83	2124	407	449	9,1	1,93	0,139	4,21
242	2571,0	7,2	f-2	94,01	1916	409	452	14,1	3,94	0,042	7,37
243	2577,0	7,2	f-2	99,65	4104	613	514	9,6	2,83	1,099	5,53
244	2586,0	7,2	f-2	90,45	6478	466	559	17,1	4,22	2,785	9,37
245	2596,0	7,2	f-2	99,13	3855	498	486	9,8	1,69	1,202	4,54
246	2607,0	7,2	f-2	97,82	4787	469	567	16,7	4,11	1,556	8,72
247	2616,0	7,2	f-2	93,43	4319	594	560	11,7	2,42	1,324	5,77
248	2625,0	7,2	f-2	100,89	4017	415	531	15,6	3,56	1,188	7,80
249	2634,0	7,2	f-2	100,89	3200	432	431	8,5	1,50	0,905	3,93
250	2643,0	7,2	f-2	98,18	5579	460	578	16,9	3,94	2,030	8,79
251	2652,0	7,2	f-2	94,19	5228	699	582	11,7	3,04	1,769	6,50
252	2661,0	7,2	f-2	103,66	3429	404	460	12,7	3,39	0,893	6,78
253	2670,0	7,2	f-2	95,03	4455	597	539	11,0	2,41	1,432	5,61
254	2679,0	7,2	f-2	100,86	2821	349	477	14,5	3,07	0,656	6,88
255	2688,0	7,2	f-2	104,29	2403	406	495	9,7	1,42	0,274	3,93
256	2697,0	7,2	f-2	104,81	2973	433	477	13,0	3,65	0,566	7,00
257	2706,0	7,2	f-2	106,72	2811	418	453	8,5	1,42	0,582	3,75
258	2715,0	7,2	f-2	102,51	3397	373	478	13,9	3,17	0,929	6,90
259	2714,0	7,2	f-2	108,23	4920	611	593	11,0	1,79	1,487	5,04
260	2733,0	7,2	f-2	98,76	4247	456	505	14,3	3,96	1,290	7,88
261	2742,0	7,2	f-2	105,54	2763	408	429	8,1	1,44	0,605	3,66
262	2751,0	7,2	f-2	106,05	2426	346	401	11,0	2,89	0,462	5,73
263	2760,0	7,2	f-2	103,92	1903	388	367	6,5	2,02	0,112	3,63
264	2769,0	7,2	f-2	101,59	2428	297	374	11,0	2,57	0,591	5,47
265	2778,0	7,2	f-2	100,58	1947	337	374	7,4	1,40	0,248	3,31
266	2787,0	7,2	f-2	107,32	2487	380	430	11,6	3,14	0,412	6,11
267	2796,0	7,2	f-2	98,14	2467	378	428	8,9	1,38	0,491	3,75
268	2805,0	7,2	f-2	101,69	4069	422	493	13,8	3,57	1,222	7,36
269	2814,0	7,2	f-2	103,28	3528	471	426	8,0	1,74	1,048	4,07
270	2823,0	7,2	f-2	98,04	3205	394	443	12,9	3,50	0,842	6,92

Tabela A.20: Tabela do poço MGP-34

Amostra	Z (m)	Tempo vivo (ks)	Forma geométrica	Massa (g)	Jan-1	Jan-2	Jan-3	Th (ppm eTh)	U (ppm eU)	K (% eK)	A ($10^{-4}\mu Wkg^{-1}$)
271	2832,0	7,2	f-2	94,12	4669	657	533	10,5	3,10	1,488	6,15
272	2841,0	7,2	f-2	104,18	3556	411	436	11,5	3,40	0,963	6,52
273	2850,0	7,2	f-2	102,51	3507	481	476	9,2	1,70	0,956	4,31
274	2859,0	7,2	f-2	105,83	3139	386	507	14,5	3,23	0,715	7,03
275	2868,0	7,2	f-2	99,90	4085	531	300	4,8	2,65	1,539	4,28
276	2877,0	7,2	f-2	104,65	6147	531	614	16,3	4,26	2,070	8,96
277	2886,0	7,2	f-2	92,75	5039	646	567	11,9	2,58	1,788	6,11
278	2895,0	7,2	f-2	94,68	5825	446	591	18,2	3,94	2,274	9,20
279	2904,0	7,2	f-2	92,33	5230	681	661	14,3	2,53	1,736	6,66
280	2913,0	7,2	f-2	92,45	5507	485	586	18,1	4,43	2,054	9,56
281	2922,0	7,2	f-2	93,08	5339	698	612	12,7	2,86	1,840	6,61
282	2931,0	7,2	f-2	100,98	4163	395	464	13,0	3,33	1,354	6,98
283	2940,0	7,2	f-2	97,22	4423	529	545	11,5	1,49	1,517	4,89
284	2949,0	7,2	f-2	101,77	4282	443	577	16,9	3,78	1,247	8,36
285	2958,0	7,2	f-2	99,30	4729	601	504	9,7	2,31	1,615	5,24
286	2967,0	7,2	f-2	96,87	3917	424	518	15,6	3,80	1,169	8,02
287	2976,0	7,2	f-2	98,36	3070	504	479	9,3	2,35	0,608	4,83
288	2985,0	7,2	f-2	83,29	3147	382	400	13,2	3,97	1,013	7,51
289	2994,0	7,2	f-2	94,22	2974	495	468	9,4	2,45	0,594	4,95
290	3003,0	7,2	f-2	97,14	3734	369	477	14,5	3,28	1,191	7,26
291	3012,0	7,2	f-2	91,28	3895	533	516	11,2	2,15	1,213	5,33
292	3021,0	7,2	f-2	100,29	4340	401	475	13,4	3,39	1,447	7,18
293	3030,0	7,2	f-2	93,93	3572	583	498	9,7	3,06	0,831	5,69
294	3039,0	7,2	f-2	91,72	3604	360	439	13,9	3,37	1,226	7,18
295	3048,0	7,2	f-2	90,30	4440	663	429	7,8	3,93	1,497	6,26
296	3057,0	7,2	f-2	94,24	6013	441	548	16,4	3,86	2,443	8,73
297	3066,0	7,2	f-2	98,98	4988	606	509	9,9	2,18	1,800	5,25
298	3075,0	7,2	f-2	103,41	4751	387	452	12,1	3,12	1,677	6,66
299	3084,0	7,2	f-2	102,77	4365	524	509	10,0	1,52	1,449	4,52
300	3093,0	7,2	f-2	99,04	4614	475	558	16,1	4,12	1,430	8,54

Tabela A.21: Tabela do poço MGP-34

Amostra	Z (m)	Tempo vivo (ks)	Forma geométrica	Massa (g)	Jan-1	Jan-2	Jan-3	Th (ppm eTh)	U (ppm eU)	K (% eK)	A ($10^{-4}\mu Wkg^{-1}$)
301	3102,0	7,2	f-2	98,17	4175	476	480	10,0	1,23	1,515	4,28
302	3111,0	7,2	f-2	103,36	4529	502	574	15,8	4,20	1,262	8,48
303	3120,0	7,2	f-2	101,38	4591	510	447	8,8	1,46	1,746	4,25
304	3129,0	7,2	f-2	95,19	6161	445	516	14,8	3,82	2,525	8,30
305	3138,0	7,2	f-2	97,66	5711	653	547	11,0	2,15	2,227	5,63
306	3147,0	7,2	f-2	102,46	5011	449	501	13,4	3,69	1,694	7,54
307	3156,0	7,2	f-2	101,22	4807	611	521	9,9	2,27	1,599	5,25
308	3165,0	7,2	f-2	106,95	4888	400	524	14,3	3,15	1,626	7,24
309	3174,0	7,2	f-2	96,72	4385	586	507	10,0	2,40	1,420	5,35
310	3183,0	7,2	f-2	99,55	4855	453	522	14,7	3,86	1,630	8,01
311	3192,0	7,2	f-2	98,14	5392	620	505	10,0	2,11	2,100	5,30
312	3201,0	7,2	f-2	104,85	5017	427	508	13,7	3,42	1,693	7,34
313	3210,0	7,2	f-2	95,78	3493	460	474	10,0	1,56	1,062	4,42
314	3219,0	7,2	f-2	98,25	6002	517	608	17,4	4,42	2,150	9,40
315	3228,0	7,2	f-2	93,80	6256	697	579	12,1	2,29	2,610	6,20
316	3237,0	7,2	f-2	108,40	4439	443	546	14,7	3,51	1,275	7,54
317	3246,0	7,2	f-2	100,86	3606	485	458	8,9	1,78	1,060	4,35
318	3255,0	7,2	f-2	103,06	3415	507	580	16,4	4,36	0,622	8,56
319	3264,0	7,2	f-2	100,83	2829	441	502	10,1	1,59	0,517	4,28
320	3273,0	7,2	f-2	95,04	2712	339	510	17,0	3,20	0,625	7,62
321	3282,0	7,2	f-2	98,64	2615	420	460	9,3	1,67	0,467	4,14
322	3291,0	7,2	f-2	98,38	2483	396	525	16,5	3,64	0,349	7,80
323	3300,0	7,2	f-2	102,18	3444	535	486	9,0	2,36	0,786	4,83
324	3309,0	7,2	f-2	98,93	5350	403	554	16,6	3,41	2,004	8,18
325	3318,0	7,2	f-2	95,24	4368	631	519	10,1	2,99	1,311	5,89
326	3327,0	7,2	f-2	94,24	4540	384	491	15,1	3,44	1,686	7,74
327	3336,0	7,2	f-2	94,95	4188	545	508	10,5	2,05	1,382	5,13
328	3345,0	7,2	f-2	91,00	4414	396	468	14,5	3,68	1,659	7,80
329	3354,0	7,2	f-2	92,20	4231	507	505	11,2	1,58	1,551	4,90
330	3363,0	7,2	f-2	92,07	4312	440	601	19,8	4,16	1,385	9,51

Tabela A.22: Tabela do poço MGP-34

Amostra	Z (m)	Tempo vivo (ks)	Forma geométrica	Massa (g)	Jan-1	Jan-2	Jan-3	Th (ppm eTh)	U (ppm eU)	K (% eK)	A ($10^{-4}\mu Wkg^{-1}$)
331	3372,0	7,2	f-2	95,91	4609	657	544	10,6	3,04	1,398	6,08
332	3381,0	7,2	f-2	93,89	4698	498	618	19,3	4,60	1,470	9,83
333	3387,0	7,2	f-2	92,19	3917	505	560	12,6	1,55	1,222	5,12
334	3396,0	7,2	f-2	94,18	4076	409	538	17,1	3,76	1,316	8,41
335	3405,0	7,2	f-2	96,57	3815	452	532	11,7	0,99	1,243	4,37
336	3414,0	7,2	f-2	99,45	4428	451	542	15,7	3,90	1,371	8,21
337	3423,0	7,2	f-2	97,02	4354	660	469	8,3	3,52	1,280	5,92
338	3432,0	7,2	f-2	105,39	2876	358	396	10,4	2,96	0,696	5,78
339	3441,0	7,2	f-2	104,79	2679	412	427	8,1	1,56	0,543	3,74
340	3450,0	7,2	f-2	109,50	3919	469	523	13,5	3,72	0,955	7,34
341	3459,0	7,2	f-2	106,91	3156	558	489	8,4	2,70	0,499	4,88
342	3468,0	7,2	f-2	99,29	4108	495	610	18,1	4,37	1,055	9,18
343	3477,0	7,2	f-2	99,14	4838	672	635	12,5	2,61	1,374	6,17
344	3486,0	7,2	f-2	98,48	4268	518	691	21,4	4,65	1,057	10,26
345	3495,0	7,2	f-2	97,61	4474	659	584	11,3	2,94	1,212	6,12
346	3504,0	7,2	f-2	101,70	4890	540	670	19,4	4,62	1,354	9,83
347	3513,0	7,2	f-2	102,42	3991	592	571	10,9	2,36	0,957	5,36
348	3522,0	7,2	f-2	106,35	4305	563	600	15,8	4,62	0,980	8,77
349	3531,0	7,2	f-2	105,22	3460	547	536	9,9	2,24	0,688	4,90
350	3540,0	7,2	f-2	98,14	5730	538	696	20,9	4,70	1,888	10,48
351	3549,0	7,2	f-2	98,56	3882	618	552	10,5	2,93	0,880	5,79
352	3558,0	7,2	f-2	93,84	5747	510	698	22,3	4,66	2,039	10,85
353	3567,0	7,2	f-2	96,95	5254	847	694	12,9	4,38	1,260	7,93
354	3576,0	7,2	f-2	95,01	5522	477	585	17,6	4,24	2,024	9,25
355	3585,0	7,2	f-2	95,35	6038	814	683	13,5	3,51	1,989	7,50
356	3594,0	7,2	f-2	102,07	2212	321	381	11,0	2,80	0,417	5,62
357	3603,0	7,2	f-2	103,47	1761	310	430	8,7	0,95	0,091	3,17
358	3612,0	7,2	f-2	105,77	2963	305	450	13,2	2,54	0,799	6,08
359	3621,0	7,2	f-2	104,57	2791	373	410	8,0	1,09	0,727	3,35
360	3627,0	7,2	f-2	103,85	2988	331	447	13,1	2,80	0,783	6,28

Referências bibliográficas

- Adams, J. A. S.; Gasparine, P. (1970) Gamma-Ray Spectrometry of Rocks, Elsevier Company.
- Argollo, R. M. (2001) Cronologias de sedimentação Recente e de Deposição de Metais Pesados na Baía de Todos os Santos Usando Pb^{210} e Cs^{137} , Tese de Doutorado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- Costa, A. B. (1997) Rotinas para Determinação de Th, U e K em Rochas, Edufba.
- Kaplan, I. (1978) Física Nuclear, Editora Guanabara Dois S.A.
- Petrobras (2002) Excursão de Campo à Bacia do Recôncavo com a Universidade Federal da Bahia, Petrobras.
- Pietre, S.; Fúlfaro O, V. J. (1983) Geologia do Brasil, Edusp.
- Ribeiro, F. B.; Roque, A. (2002) Vertical Distribution of uranium, thorium and potassium and of volumetric heat production rates in the São Francisco Basin, Petrobras.
- Rybach, L. (1986) Amount and Significance of Radioactive Heat sources in sediments, Edições Technip.
- Sapucaia, N. S. (2002) Integração Geológica entre a bacia do recôncavo e seu embasamento: estudo através de algumas áreas alvos, UFBA.
- SGM (1996) Mapa Geológico do Estado da Bahia, Texto Explicativo, SGM.