



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

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

PROPRIEDADES TÉRMICAS DO EMBASAMENTO ADJACENTE À BACIA DE SERGIPE

ROBERTA VIVIANE SOUZA ALVES

SALVADOR – BAHIA

JULHO-2009

Propriedades térmicas do embasamento adjacente à bacia de Sergipe

por

ROBERTA VIVIANE SOUZA ALVES

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA APLICADA

DO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

Comissão Examinadora

_____	Dr. Roberto Max Argollo - Orientador
_____	Dr. Moacyr Moura Marinho
_____	Dr. Alexandre Barreto Costa

Data da aprovação: 17/07/2009

*Sabe aquela sensação
de dever cumprido?!*

Dedico esta monografia à todos
aqueles que me amam.
Principalmente aos meus pais.

RESUMO

Neste trabalho, foram estudadas as propriedades térmicas de rochas da parte sul do embasamento cristalino adjacente à Bacia de Sergipe. Foram coletadas 230 amostras de rochas cristalinas em 186 afloramentos visitados, algumas vezes mais de uma amostra por afloramento, outras nenhuma amostra.

Nos afloramentos, indentificamos as litologias presentes, coletamos amostras e realizamos a localização por GPS. No laboratório determinamos os teores dos elementos K, U e Th por espectrometria gama, densidade, condutividade térmica, difusividade térmica, calor específico e a taxa de produção de calor radiogênico.

Considerando os valores anômalos existentes, os teores de K, U e Th nas rochas analisadas variam entre 0,01 a 4,88 %, 0,03 a 42,55 ppm e 0,42 a 99,47 ppm, respectivamente.

Os valores de condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico variam entre 0,35 a 5,86 $Wm^{-1}K^{-1}$, 1,27 a 2,08x $10^{-6}m^2s^{-1}$ e 0,261 a 0,904 $x10^3Jkg^{-1}K^{-1}$, respectivamente.

As taxas de produção superficial de calor radiogênico, dependentes da densidade e dos teores de K, U e Th das rochas analisadas, refletem principalmente a litologia. Neste trabalho, a taxa de produção de calor variou entre 0,069 a 15,320 μWm^{-3} .

A partir dos resultados obtidos, nenhuma correlação foi vista entre a condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico com a taxa de produção de calor radiogênico.

ABSTRACT

In this work, thermic properties of rocks from the south part of the crystalline emplacement neighboring the Basin of Sergipe were studied. Two hundreds and thirty samples of crystalline rocks were collected in a hundred and eighty-six protruding rocks, sometimes more than one sample for one protruding rock, sometimes, none.

At the outcrops we identified the lithologies, collected samples and indicated in the location using GPS. At the laboratory established the content of the elements K, U and Th by gamma ray spectrometry. In addition we measured the density, the thermal conductivity and diffusivity, the isobaric specific heat and then computed the volumetric ratio of radiogenic heat production.

Considering the anomalous values present, the tenor of K, U and Th in the analyzed rocks vary from 0,01 to 4,88 %, 0,03 to 42,55 ppm and 0,42 to 99,47 ppm, respectively.

The values of thermal conductivity, thermal diffusivity and isobaric specific heat vary from 0,35 to 5,86 $Wm^{-1} K^{-1}$, 1,27 to 2,08 $\times 10^{-6} m^2 s^{-1}$ and 0,261 to 0,904 $\times 10^3 J kg^{-1} K^{-1}$, respectively.

The superficial production taxes of radiogenic heat depend on the density and tenors of K, U and Th of the analyzed rocks, reflect, mainly, the lithology. In this work, production tax of heat varied from 0,069 to 15,320 μWm^{-3} .

From the obtained results, no correlation between thermal conductivity, thermal diffusivity and isobaric specific heat and production tax of radiogenic heat was observed.

ÍNDICE

RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 Área de estudo	3
1.1 Localização	3
1.2 Aspectos Geológicos	3
1.2.1 Embasamento Gnáissico	5
1.2.2 Domínio Estância	8
CAPÍTULO 2 Conceitos teóricos	10
2.1 Transporte de calor	10
2.1.1 Fluxo de calor	10
2.2 Porosidade	11
2.3 Propriedades térmicas das rochas	11
2.3.1 Condutividade térmica	12
2.3.2 Difusividade térmica	14
2.3.3 Calor específico e capacidade calorífica volumétrica	15
2.4 Radioatividade	15
2.4.1 Decaimento radioativo	15
2.4.2 Série radioativa	16
2.4.3 Equilíbrio radiotivo secular	17
2.4.4 Urânio, tório e potássio	18
CAPÍTULO 3 Métodos Analíticos	20
3.1 Medidas dos parâmetros térmicos	20
3.2 Medidas de K, U e Th	20
3.2.1 Análise dos espectros	22
3.2.2 Definição das janelas	24
3.2.3 Geometria de contagem	24

3.2.4	Padrões	25
3.2.5	Obtenção das equações de concentração	25
3.2.6	Nível crítico, limite de detecção e limite de determinação quantitativa	26
3.2.7	Taxa volumétrica de produção de calor radiogênico	27
3.2.8	Medidas de densidade	28
CAPÍTULO 4	Resultados e Discussões	30
4.1	Potássio	30
4.2	Urânio	31
4.3	Tório	31
4.4	Densidade	31
4.5	Taxa de produção de calor radiogênico	32
4.6	Condutividade térmica	32
4.7	Difusividade térmica	32
4.8	Calor específico	33
CAPÍTULO 5	Conclusões	45
	Agradecimentos	46
APÊNDICE A	Litologia, localização, e coordenadas das amostras da área de estudo	47
APÊNDICE B	Teores de K, U e Th, densidade e produção de calor radiogênico das amostras da área de estudo	58
APÊNDICE C	Teores de K, U e Th, condutividade térmica, difusivi- dade térmica e calor específico das amostras da área de estudo	66
	Referências Bibliográficas	70

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Localização do estado de Sergipe no mapa do Brasil (A), estado de Sergipe (B) e localização da área de estudo no mapa do estado de Sergipe (C) . . .	4
1.2	Esquema ilustrativo da geologia do embasamento adjacente à bacia de Sergipe com demarcação em vermelho das unidades estudadas	6
1.3	Mapa geológico da área de estudo	9
2.1	Gráfico exponencial da Lei de decaimento radioativo	17
3.1	Aparelho QuicklineTM - 30	21
3.2	Medidas de campo com o espectrômetro portátil	22
3.3	Espectrômetro gama: Castelos de chumbo	22
4.1	Dispersão dos teores de K nas principais litologias da área de estudo	33
4.2	Mapa de isotores do potássio da área de estudo	34
4.3	Mapa de isotores de urânio da área de estudo	35
4.4	Correlação entre os teores dos elementos potássio, urânio e tório da área de estudo	36
4.5	Dispersão dos teores de U nas principais litologias da área de estudo	37
4.6	Dispersão dos teores de Th nas principais litologias da área de estudo	38
4.7	Mapa de isotores de tório da área de estudo	39
4.8	Dispersão dos valores de densidades nas principais litologias da área de estudo	40
4.9	Mapa de isovalores de densidade da área de estudo	41
4.10	Mapa de isotores da taxa de produção de calor radiogênico da área de estudo	42
4.11	(1)-Dispersão da condutividade térmica nas litologias da área de estudo; (2)- Dispersão da difusividade térmica nas litologias da área de estudo;(3)-Dispersão do calor específico nas litologias da área de estudo	43
4.12	(1)- Gráfico correlação condutividade térmica x produção de calor radiogênio ; (2)- Gráfico correlação difusividade térmica x produção de calor radiogênio e (3)- Gráfico correlação calor específico x produção de calor radiogênio . .	44

INTRODUÇÃO

A bacia de Sergipe, situada na região nordeste do Brasil, é uma das muitas bacias sedimentares ao longo da costa brasileira. Formada durante a abertura do oceano Atlântico Sul, ela é caracterizada como sendo uma sub-bacia da bacia de Sergipe-Alagoas. Na bacia de Sergipe, a estrutura do embasamento sob seus sedimentos, é conhecida através da existência de diversos afloramentos ao longo de suas bordas. Neste trabalho, a área investigada, parte sul do embasamento cristalino adjacente a bacia de Sergipe, abrange terrenos do embasamento do Cráton do São Francisco e do domínio mais externo da Faixa de Dobramentos Sergipana. Completam o quadro estratigráfico regional, os sedimentos mesozóicos da bacia de Sergipe, o Grupo Barreiras e os demais sedimentos superficiais do cenozóico, que não fazem parte do presente trabalho.

O conhecimento das propriedades térmicas das rochas é importante em estudos geotérmicos quantitativos de modelagem termo-mecânicas de bacias e em processos de convecção térmica do manto. São essas propriedades que definem a distribuição de calor na terra.

Do calor existente na crosta continental, parte vem do interior da terra transmitida através do manto e outra parte é produzida na própria crosta. Nesta parte, incluem-se o calor radiogênico, o calor produzido nas reações químicas, a presença de câmaras magmáticas e a circulação de águas termais. O calor radiogênico, que é o resultado final das transformações das energias cinéticas das partículas emitidas e dos núcleos em recuo nos processos de decaimento radioativo, constitui cerca de 40 % do calor presente na crosta. A energia gerada pelo decaimento radioativo dos radioisótopos das famílias do U^{238} , U^{235} e Th^{232} e pelo K^{40} é responsável por mais de 98 % do calor gerado no interior da terra.

Numa bacia sedimentar, o calor radiogênico gerado pelas rochas do embasamento e pelas camadas sedimentares (este menos significativo), somado ao calor proveniente da astenosfera resulta no fluxo de calor superficial total. Esse fluxo desempenha um papel relevante na história térmica da bacia, sendo seu conhecimento importante para se avaliar a geração de hidrocarbonetos. Essa avaliação, realizada por meio de modelamento termomecânico da bacia, requer o conhecimento de parâmetros térmicos como: a taxa volumétrica de produção de calor radiogênico, a condutividade térmica, a difusividade térmica e o calor específico das rochas do embasamento e dos sedimentos (Mottaghy et al., 2005).

Neste trabalho, medimos as propriedades térmicas (condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico) e a densidade nos vários tipos de rochas aflorantes do embasamento da área de estudo, como também determinamos os teores dos elementos K, U e Th e

calculamos a taxa de produção superficial de calor radiogênico nessas rochas. Com os dados obtidos buscamos correlacionar os valores de condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico com as taxas de produção superficial de calor radiogênico das litologias em estudo.

Este trabalho insere-se no estudo mais geral desenvolvido no projeto Geoterm-Ne onde se procura estudar a geração de calor nas bacias de Cumuruxatiba, Jequitinhonha, Sergipe-Alagoas e Pernambuco-Paraíba e nos embasamentos adjacentes. O referido projeto está sendo realizado em parceria com a Petrobras e é desenvolvido no CPGG / UFBA.

O trabalho foi dividido em quatro capítulos. No Capítulo 1 mostramos a localização da área de estudo e descrevemos sua geologia. No Capítulo 2, comentamos os conceitos físicos e geofísicos necessários para o entendimento da pesquisa proposta. No Capítulo 3, apresentamos os métodos analíticos, a metodologia e os equipamentos utilizados nesta pesquisa. Os resultados e discussões pertinentes são assuntos do Capítulo 4. Por último, apresentamos as conclusões e considerações finais.

CAPÍTULO 1

Área de estudo

1.1 Localização

A área de estudo deste trabalho, compreende uma faixa com largura de cerca de cinquenta quilômetros do embasamento emerso adjacente à bacia de Sergipe-Alagoas(figura1.1). Ela localiza-se na região Nordeste do Brasil, abrange a parte meridional do estado de Sergipe, limita-se ao sul com o estado da Bahia.

Dentro desta área, estão localizados, entre outros, os municípios de Estância, Itabaianinha, Boquim, Cristianópolis, Lagarto e Palmares, centros urbanos da região e de suma importância para o desenvolvimento econômico do estado de Sergipe. Existem na região estradas não asfaltadas que facilitam o acesso da região rural a estes centros urbanos, estradas estas que facilitaram nossa locomoção as viagens de campo.

O trabalho é baseado na investigação de 189 afloramentos. Em alguns desses locais de amostragem, pela representatividade das litologias encontradas, fez-se necessária a coleta de mais de uma amostra para estudo, o que conduziu a um total de 230 amostras. Nos trabalhos de campo foram utilizados mapas topográficos e geológicos na escala de 1:100.000, para de facilitar a localização dos locais de amostragem.

1.2 Aspectos Geológicos

A área investigada abrange terrenos do embasamento do Cráton do São Francisco e do domínio mais externo da Faixa de Dobramentos Sergipana. Completam o quadro estratigráfico regional os sedimentos mesozóicos da Bacia de Sergipe, o Grupo Barreiras e os demais sedimentos superficiais do Cenozóico, que não fizeram parte do presente trabalho. Na figura 1.2 observamos um esquema representativo das unidades geológicas do estado de Sergipe com demarcação em vermelho das unidades estudadas enquanto que o mapa geológico da área de estudo é visto na figura 1.3.

O Cráton do São Francisco é unidade geotectônica estabilizada no Paleoproterozóico. Na região ele é representado por rochas gnássicas, migmatíticas e granitóides do Complexo

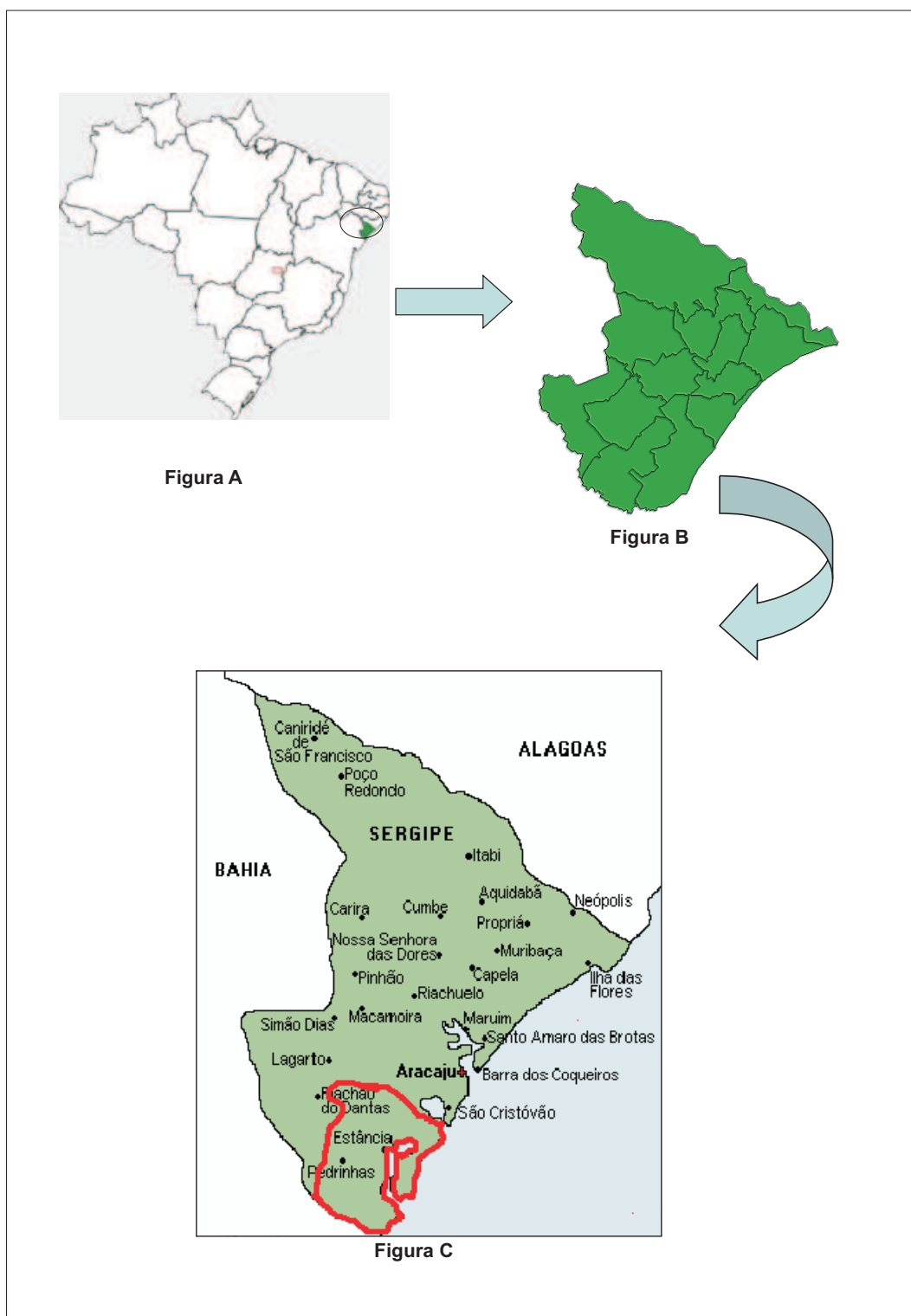


Figura 1.1: Localização do estado de Sergipe no mapa do Brasil (A), estado de Sergipe (B) e localização da área de estudo no mapa do estado de Sergipe (C)

Gnáissico-Migmatítico, por rochas gnáissicas, migmatíticas e granulíticas do Complexo Granulítico, todas de idade arqueana a paleoproterozóica, além de um enxame de diques presentes na região de Arauá, tidos como de idade paleoproterozóica.

A Faixa de Dobramento Sergipana, de idade neoproterozóica, é um cinturão orogênico de direção ONO-ESSE, situado entre o Cráton do São Francisco, ao sul, e o Maciço Pernambuco-Alagoas, ao norte. De acordo com suas feições estruturais e metamórficas, cujas intensidades diminuem de norte para sul, ela pode ser dividida em quatro zonas, ordenadas no mesmo sentido (D'el-Rey Silva, 1999): interna, intermediária, externa e cratônica. A zona interna compreende os domínios Canindé, Poço Redondo e Marancó, enquanto as zonas intermediária, externa e cratônica compreendem, respectivamente, os domínios Macururé, Vaza Barris e Estância. Esses diferentes domínios são limitados por zonas de cisalhamento contracionais oblíquas, com vergência para SO, que expõem sempre os níveis crustais mais profundos em seu compartimento norte. Apenas as litologias predominantemente psamíticas do Domínio Estância estão presentes na área estudada.

Na figura 1.3 observamos o mapa geológico da área de estudo e a seguir, é apresentada uma descrição sucinta de cada uma das unidades litoestatigráficas que compõem o embasamento adjacente à bacia de Sergipe nessa região, com base nas observações de campo e no trabalho de (Santos et al., 1998).

1.2.1 Embasamento Gnáissico

Ocorre na porção centro-sul da área estudada, limitando-se a oeste com o Grupo Estância em contato falhado desaparecendo para norte e para leste encoberta pelos sedimentos terciários do Grupo Barreiras, e prolongando-se para sul para o Estado da Bahia. Faz parte do Cinturão Móvel Salvador-Esplanada (Barbosa e Dominguez, 1996). Comporta os gnaisses, migmatitos e granitóides do Complexo Metamórfico-Migmatítico, as rochas do Complexo Granulítico, além do enxame de diques da região de Arauá.

Segundo Santos et al. (1998), foram registrados pelo menos dois eventos que afetaram o Cinturão móvel Salvador-Esplanada. Um primeiro evento tangencial, em condições metamórficas da fácies granulito, o outro, transcorrente, em ambiência da fácies anfibolito e até xisto verde, retrometamórfico.

Complexo gnáissico-migmatítico

Aflora em duas faixas alongadas, orientadas na direção NE, margeando uma faixa central do Complexo Granulítico. A faixa ocidental limita-se a norte e oeste com o Grupo Estância e, a leste, com o Complexo Granulítico em contatos assinalados por falhas e/ou zonas de cisalhamento. A faixa oriental apresenta contato oeste falhado em relação às rochas granulíticas desaparecendo para norte e leste por sob os sedimentos terciários do Grupo

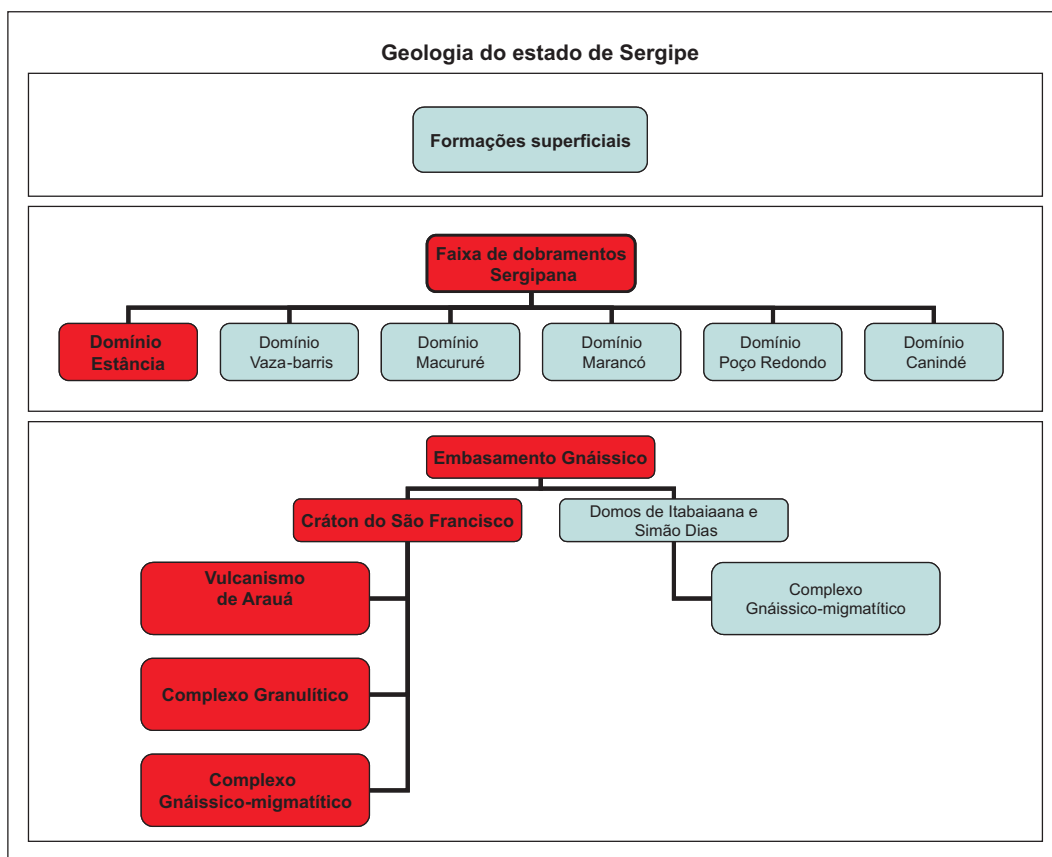


Figura 1.2: Esquema ilustrativo da geologia do embasamento adjacente à bacia de Sergipe com demarcação em vermelho das unidades estudadas

Barreiras.

De acordo com sua heterogeneidade de litotipos aflorantes, o Complexo Gnáissico-Migmatítico foi dividido em cinco unidades litológicas. A primeira unidade (APg1) é aquela de maior expressão do complexo, sendo composta principalmente por biotita gnaisses migmatíticos de coloração acinzentada, com granulação variando de média a grossa, de composição granítica a granodiorítica, exibindo diferentes graus de migmatização, desde estruturas estromáticas, passando aos tipos nebulítico e schlieren até massas granitóides. Conjuntamente com os gnaisses migmatíticos, é comum a presença de anfibolitos em corpos centimétricos concordantes com a foliação dos gnaisses e igualmente deformados. Com menor frequência, aparecem, também, intercalações de quartzitos bem recrystalizados. A segunda unidade (APg2) é composta por uma associação ortognáissica ácida-básica, invadida por granitóides tardios sieno-monzograníticos. As exposições dessa unidade são raras no estado de Sergipe devido à grande extensão dos sedimentos do Grupo Barreiras que a encobrem. Ortognaisses migmatíticos de composição granodiorítica em diferentes estágios de mobilização (diatexistos predominantes), com enclaves de rochas ultramáficas, caracterizam a terceira unidade (APg3). Suas melhores exposições encontram-se próximas à cidade de Tomar do

Geru. A quarta unidade (APg4) é representada por biotita ortognaisses tonalíticos a granodioríticos, de coloração acizentada, de granulação média a grossa e com boa foliação. Ela constitui corpos individualizados na borda oriental da unidade APg1, na interface com o Complexo Granulítico.

Finalmente, a quinta e última unidade do Complexo Gnáissico-Migmatítico (APg5) é a de menor expressão, representada por um único corpo no extremo noroeste da unidade APg3, em contato por falha com os psamitos da Formação Palmares. é constituída por Ortognaisses bandados de composição tonalítica com intercalações de anfibolito sendo o bandamento definido pela alternância de bandas com diferentes concentrações de biotita. Na parte sul do corpo, encontramos rocha granítica de coloração esverdeada, de granulação fina, extremamente homogênea, com megacristais de feldspato de até um centímetro.

Complexo Granulítico

Localiza-se na região centro-sul do estado de Sergipe, constituindo uma faixa alongada na direção SO-NE, em formato de cunha que se estreita para sul, no sentido do Estado da Bahia, separando as duas faixas que compõem o Complexo Gnáissico-migmatítico. O Complexo Granulítico inclui litologias metamorfasadas na fácies granulítica e rochas que lhe são intimamente associadas. Os ortognaisses são as rochas predominantes, em geral de composição charnoquítica a charnoenderbítica, menos comumente enderbítica, com freqüentes intercalações de metanoritos. Dentre as litologias associadas, de ocorrência mais subordinada, destacam-se biotita gnaisses migmatizados e, também, rochas supracrustais que são os gnaisses kinzigíticos, as rochas calcilicáticas e os quartzitos. Macroscopicamente, os ortognaisses apresentam-se bandados, naturalmente refletindo as diferentes proporções de seus constituintes minerais. São de coloração cinza-esverdeado, de granulação fina a média, foliadas, por vezes fundidos com quartzo-feldspáticos em iguais condições de *facies* granulito.

Vulcanismo de Arauá

Designa um enxame de diques de rochas vulcânicas, de natureza ácida-intermediária, com termos básicos mais subordinados, que se encaixam nas rochas do complexos Gnáissico-Migmatítico e Granulítico. Aflora desde a localidade de Tanque Novo, na porção centro-ocidental da área, até a altura da cidade de Arauá, a partir de onde desaparece por sob sedimentos terciários do Grupo Barreiras. Esses diques apresentam-se sob a forma de corpos tabulares com espessuras desde alguns centímetros até dezenas de metros (Silva Filho, Bonfim e Santos, 1977), onde predominam os termos dacíticos e riolíticos porfiríticos, representados por rochas de coloração acizentada, de matriz afanítica a fanerítica muito fina, com fenocristais euédricos e subédricos de plagioclásio, k-feldspato e quartzo. A essas litologias, subordinam-se os dique de basalto/diabásio com pórfiros de plagioclásio e amídalas com preenchimento carbonático.

1.2.2 Domínio Estância

O Domínio Estância ou Série Estância, como foi inicialmente definida por Branner (1913), tem seu nome derivado da cidade de Estância localizada no sul de Sergipe. É o domínio mais meridional e externo da Faixa de Dobramentos Sergipana, limitando-se, ao norte, com o Domínio Vaza-Barris através da falha contracional de alto ângulo do Rio Jacaré-Itaporanga. É composto por sedimentos anquimetamórficos (Allard e Tibana, 1966) predominantemente psamíticos, pouco deformados, com estruturas sedimentares bem preservadas, englobando ainda siltitos, argilitos e calcários. De acordo com a diversidade de seus sedimentos, é agrupado nas formações Acauã, Lagarto e Palmares abaixo descritas.

Formação Acauã

Esta é a formação que apresenta menor extensão dentro do Domínio Estância, com poucas exposições no estado de Sergipe. Ao longo do rio Piauí e a sudeste das regiões de Lagarto e Indiaroba encontramos seus melhores registros. Ela é composta por depósitos carbonáticos de natureza variada e a espessura máxima dessa formação foi estimada em cerca de trezentos metros. De acordo com Saes e Vilas-Boas (1986), são identificados ambientes de supramaré, com gipsita e dolomita, com calcarenitos oolíticos e intraclastos nas fácies intermediárias a sul de Sergipe, onde ocorre exploração para fabricação de cal.

Formação Lagarto

Suas melhores exposições encontram-se nas proximidades da cidade de Lagarto. Seus contatos são falhados com as rochas do embasamento gnáissico e gradacionais com as demais formações do Grupo Estância. Essa formação é constituída por arenitos finos, argilitos, e siltitos laminados, em proporções variáveis, com numerosas estruturas sedimentares preservadas. Essas estruturas são facilmente observadas a noroeste da cidade de Lagarto, na estrada para a cidade de Simão Dias, em escavações para garimpagem de pedras de revestimento, onde siltitos muito litificados exibem marcas onduladas simétricas e assimétricas e gretas de ressecamento. Ainda neste local, no contato com argilitos vermelhos, observam-se várias estruturas de carga e de escape de fluidos. Nessa formação não ocorrem dobramentos significativos, apenas os devidos a basculamentos por falhas normais, e suas camadas possuem mergulhos fracos e regulares.

Formação Palmares

A Formação Palmares é a área mais expressiva no Domínio Estância, com inúmeros afloramentos bem distribuídos e representativos. Seus contatos são tectônicos com as rochas do embasamento gnáissico e gradacionais com as demais unidades do Grupo Estância. Apesar de sua grande abrangência, essa formação não possui uma grande diversidade de litologias, sendo constituída, principalmente, por grauvas e arenitos finos, feldspáticos, compactos, com lentes de conglomerados polimictos desorganizados, com clastos de gnaisses, quartzo,

quartzitos, carbonatos e xistos.

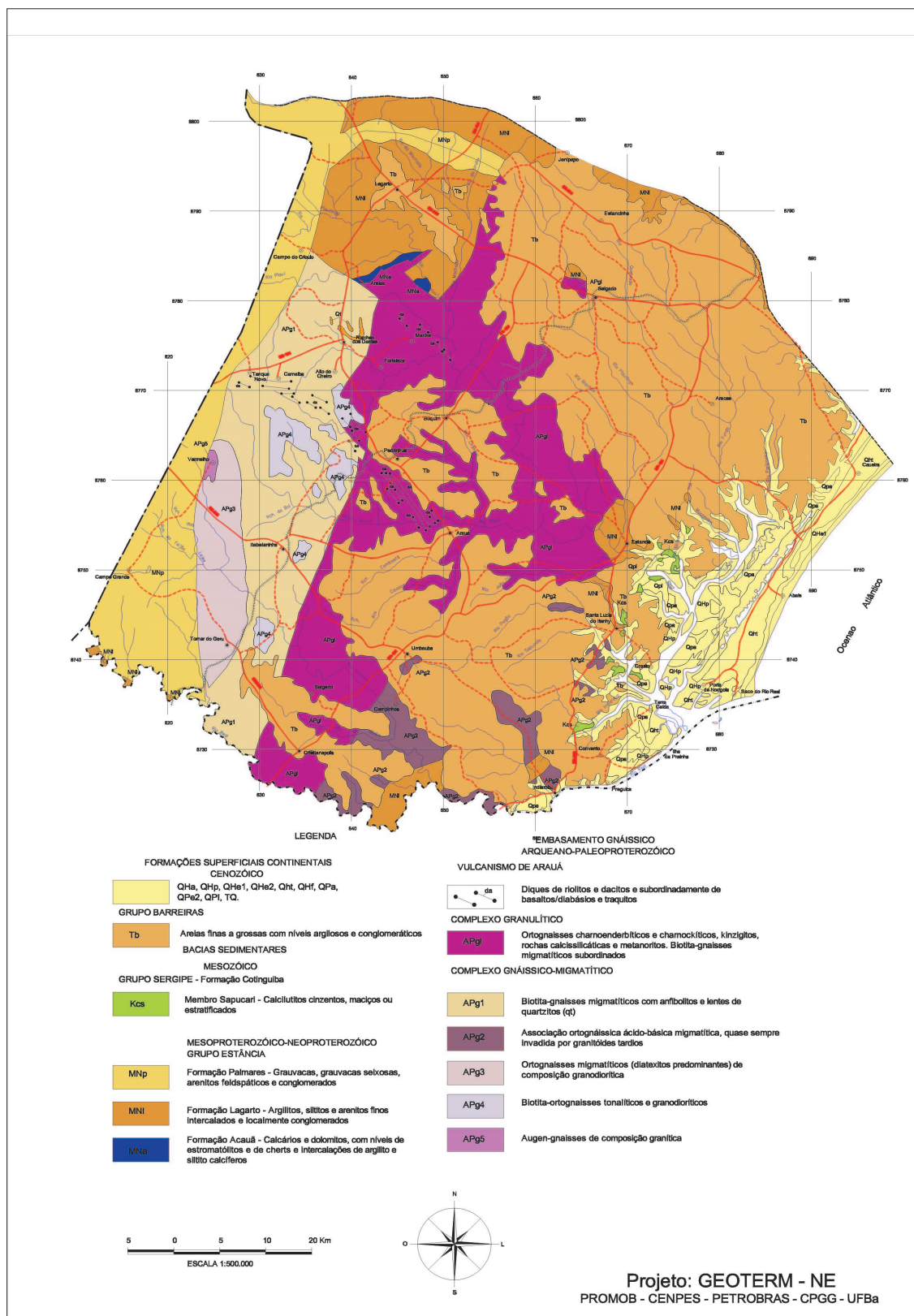


Figura 1.3: Mapa geológico da área de estudo

CAPÍTULO 2

Conceitos teóricos

2.1 Transporte de calor

Calor pode ser definido como a quantidade de energia térmica transferida entre dois corpos com temperaturas diferentes. A energia térmica entre de um corpo é proporcional a sua temperatura e a transferência de energia faz-se do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura. O calor é transportado de um meio para o outro por três mecanismos: condução, convecção e radiação. Nos materiais geológicos, a condução é o mecanismo considerado mais importante no que diz respeito ao transporte de calor. Na condução, a energia é transportada ao longo dos sólidos através da transferência de vibrações das moléculas ou íons na estrutura dos minerais e dos fluidos intersticiais. No mecanismo da convecção, a transmissão do calor envolve o transporte de massa e ocorre principalmente nos fluidos. O processo de transmissão de calor por radiação ocorre por meio de ondas eletromagnéticas (ondas de calor), que se propagam livremente no espaço (Fowler, 1990) e (Halliday et al., 1996).

2.1.1 Fluxo de calor

Se há duas regiões com temperaturas distintas, o calor flui da região mais quente para a mais fria. A condução de calor é regida pela lei de Fourier que estabelece que o fluxo de calor Q entre dois pontos é proporcional ao gradiente de temperatura (∇T) entre eles e é dado pela equação

$$Q = -\lambda \nabla T \quad (2.1)$$

onde λ é a condutividade térmica do material. O sinal negativo na equação 2.1 é para fazer λ positivo já que o fluxo de calor dá-se no sentido contrário ao do gradiente térmico.

Nos materiais isotrópicos, λ é uma grandeza escalar. Já para a maioria dos materiais cristalinos, λ é uma grandeza tensorial possuindo três componentes devido a anisotropia de seus minerais que faz com que λ dependa da energia do fluxo. A equação de condução de calor para o caso tridimensional, com a temperatura variando com x , y , z e t , pode ser escrita

como

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c_p} \nabla^2 T + \frac{A}{\rho c_p} \quad (2.2)$$

onde $\partial T/\partial t$ é a derivada temporal do campo escalar T , ρ , c_p e A são a densidade, o calor específico e a taxa de produção de calor radiogênico da rocha, respectivamente, e $\nabla^2 T$ é o laplaciano do campo T . O termo $\lambda/(\rho c_p)$ é denominado difusividade térmica do material.

2.2 Porosidade

Além de sua composição mineralógica as rochas apresentam também espaços vazios ou preenchidos com fluidos em seu interior. Esses espaços vazios são chamados de poros e podem aparecer em uma variedade muito grande de formas e tamanhos. Um parâmetro importante para caracterizar o meio poroso é a porosidade. Define-se porosidade como sendo a fração de espaços vazios existentes numa rocha quando comparada ao seu volume total, expressa em porcentagem ou seja

$$\phi_t = \frac{V_p}{V_t} = \frac{V_t - V_s}{V_t}, \quad (2.3)$$

onde V_p é o volume poroso da rocha, V_s o volume de sólidos e V_t volume total da rocha. A porosidade influencia muitas das propriedades físicas das rocha, entre elas a densidade e as propriedades térmicas, a condutividade térmica em particular.

Nas rochas, destacam-se dois tipos ou grupos de porosidades: a porosidade primária e a porosidade secundária. A porosidade primária é aquela que a rocha herda do processo de sedimentação e que evolui durante sua compactação, enquanto que a porosidade secundária é aquela que a rocha herda após sua formação por consequência de esforços mecânicos a que é submetida originando fraturas.

2.3 Propriedades térmicas das rochas

O conhecimento das propriedades térmicas de uma rocha é de grande importância na geofísica em estudos geotérmicos da crosta como também em trabalho de modelagem termo-mecânica de bacias. O conhecimento dessas propriedades também é importante no estudo ajudam da distribuição de calor da terra.

Neste trabalho são estudados a condutividade térmica, a difusividade térmica e o calor específico das rochas de parte do embasamento adjacente à bacia de Sergipe.

2.3.1 Condutividade térmica

Nos estudos sobre condução de calor, um parâmetro importante é a condutividade térmica. Ela é uma medida da maior ou menor quantidade de um material em conduzir calor e equivale ao fluxo de calor transmitido através de uma espessura, numa direção normal à superfície, devido ao gradiente de temperatura e sob condições de estado fixas. Pode ser descrita através da equação

$$\lambda = \frac{Q}{\Delta T / \Delta z}, \quad (2.4)$$

na qual o quociente $\frac{\Delta T}{\Delta z}$ é o gradiente de temperatura unidimensional. A condutividade térmica é expressa em $\text{W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, e na maioria das rochas encontradas na superfície terrestre ela varia entre 1 e 7 $\text{W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Um rocha é constituída por um conjunto de minerais, cada um com valores característicos de condutividade térmica. É de esperar-se então que, ao variar as proporções entre os minerais ou a orientação dos cristais, a condutividade sofrerá modificações. De acordo com o arranjo de íons na estrutura cristalina, os minerais possam apresentar anisotropia. Numa escala macroscópica, rochas que exibem uma orientação preferencial dos grãos minerais também podem apresentar anisotropia.

A condutividade térmica é um parâmetro bem complexo, pois, depende de vários fatores. Dentre eles, estão os minerais constituintes da rocha, a natureza e quantidade de seus fluidos intersticiais, a porosidade, a pressão, a temperatura e a anisotropia na direção de propagação do calor. A obtenção dos valores de condutividade pode ser feita a partir de métodos diretos ou indiretos. Os métodos diretos consistem em medições feitas em laboratório em amostras representativas da área de estudo. Na tabela 2.1, temos os valores de condutividade térmica de algumas rochas e minerais.

Influência da porosidade

Rochas que possuem porosidade abaixo de 1%, não sofrem grande influência pelos espaços gerados pelos poros. Neste contexto estão inclusas as rochas metamórficas e ígneas. O grau de saturação dos poros deve ser considerado, pois os espaços secos aumentam a resistência térmica nos contatos entre os grãos (Reys, 2008). Alguns estudos apontam um aumento linear entre a condutividade térmica e a saturação dos poros para rochas com porosidade próximas de 1% (Clauser e Hueges, 1995). Nas rochas que possuem porosidade maiores, a condutividade sofre uma diminuição por conta do aumento da quantidade de espaços vazios entre os grãos.

Influência da temperatura

A condução é o principal meio responsável pelo transporte de calor, desde temperaturas

Rochas	λ (W m^{-1} $^{\circ}C^{-1}$)
Sal	5,5
Peridotito	3,8
Arenito	3,2
Carbonato	2,2 a 2,8
Gnaisse	2,7
Granito	2,6
Ardósia	2,4
Gabro	2,1
Minerais	λ (W m^{-1} $^{\circ}C^{-1}$)
Quartzo	7,2
Magnetita	4,61
Diopsídio	4,23
Zircão	3,90
Moscovita	3,89
Faialita	3,85
Almandina	3,66
Clorita	3,06
Hornblenda	2,91
Serpentina	2,41
Albita	2,34

Tabela 2.1: Condutividade térmica de rochas e minerais (segundo Fowler, 1990)

ambientes até centenas de graus sendo esta inversamente proporcional a temperatura. Isto pode ser explicado pelo diferenciado comportamento termal em cada mineral que constitui a rocha, comportamente este que gera uma resistência entre os grãos, diminuindo a facilidade de movimentação do fluxo de calor. O aumento da temperatura de 1000 à 1200 $^{\circ}C$, ocasiona uma diminuição da condutividade térmica. A transferência de calor por radiação só começa contribuir com eficiência no calor transmitido a partir de 1200 $^{\circ}C$.

Influência da pressão

Nas rochas com porosidade abaixo de 1 %, como as rochas ígneas e metamórficas, a influência da porosidade no valor de λ é desprezível (Reyes, comunicação pessoal). Somente em pressões altas as propriedades físicas da rocha podem ser alteradas devido ao fechamento dos poros. Esse não é o caso de rochas sedimentares nas quais a porosidade fica muito acima de 1%.

Influência da anisotropia

Um corpo é anisotrópico em relação a uma propriedade quando esta propriedade tem valores diferentes segundo uma direção considerada. Resultados diferenciados de condutividade térmica, em diferentes direções, numa mesma rocha pode ser justificado pela anisotropia dos cristais formadores da rocha, pela anisotropia da rocha e pela orientação de falhas e fraturas da rocha (Schon, 1996). Nos estudos de condução de calor, a anisotropia tem sido estudada nos minerais e nas rochas, onde os minerais em sua maioria, têm-se mostrado anisotrópicos. Já nas rochas ígneas e metamórficas, em muitos casos, por conta da orientação aleatória do minerais, a anisotropia pode ser considerada desprezível. Entretanto, para Clauser e Huenges (1995) é viável considerar o fator anisotrópico em rochas com altas condutividades térmicas e ricas em quartzo.

2.3.2 Difusividade térmica

A difusividade térmica é o parâmetro que mede a capacidade do material de difundir a energia térmica em relação a sua capacidade de armazená-la, ou seja, ela expressa a qualidade do material em difundir calor. Materias com valores elevados de difusividade térmica responderão rapidamente as mudanças nas condições térmicas a elas impostas, enquanto que materias com valores reduzidos de difusividade térmica responderão mais lentamente. Este parâmetro é importante na determinação da evolução de sistemas que sofrem processos de aquecimento e ou resfriamento. A difusividade térmica tem dimensão de área por unidade de tempo (m^2s^{-1}) e relaciona-se com a condutividade térmica λ , através da equação

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho c} \quad (2.5)$$

onde c é o calor específico e ρ a densidade.

A tabela 2.2 apresenta os valores da difusividade térmica em $10^{-6}m^2s^{-1}$ de algumas rochas.

Rocha	$\alpha(x10^{-6}m^2s^{-1})$
Cálcario	1,1
Ardósia	1,2
Arenito	1,6
Carvão betuminoso	0,15
Sal	3,1
Gnaisse	1,2

Tabela 2.2: Difusivbidade térmica de algumas rochas

2.3.3 Calor específico e capacidade calorífica volumétrica

A capacidade calorífica determina a variação de temperatura de um determinado corpo ao receber certa quantidade de calor, ela representa a qualidade de um corpo em armazenar calor. É representada pela equação

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}, \quad (2.6)$$

onde ΔQ é a quantidade de calor fornecida ao corpo e ΔT a variação de temperatura do corpo.

A capacidade térmica caracteriza o corpo e não o material que o constitui. A capacidade calorífica de um corpo é numericamente igual à quantidade de calor necessária para elevar sua temperatura em um grau, e é denominada de capacidade calorífica volumétrica quando expressa em unidade de volume (C_v). Quando é representada por unidade de massa temos o chamado calor específico (c), em $J\,Kg^{-1}\,^{\circ}C^{-1}$, como mostra a seguinte equação

$$c = \frac{C}{\rho}, \quad (2.7)$$

sendo ρ a densidade do material.

Nos estudos de rochas, normalmente supõe-se o processo de transferência de calor como sendo um processo adiabático, admitindo-se a ocorrência de uma expansão térmica. Este efeito de aumento de volume é mais relevante nas rochas com maior porosidade.

2.4 Radioatividade

A radioatividade está ligada diretamente ao núcleo do átomo. É um fenômeno pelo qual os núcleos atômicos sofrem transformações e emitem radiações, podendo, nesse processo, formar novos elementos químicos. Desde sua descoberta no século XIX por Henri Becquerel, ocasionou efeitos importantes nas ciências da Terra e é de grande importância em estudos geotérmicos.

2.4.1 Decaimento radioativo

Desintegração radioativa é a desintegração espontânea de um núcleo instável mediante a emissão de partículas α , e ou, β e também de radiação gama, dando origem a um novo elemento. Um núcleo que sofre desintegração espontânea é chamada de radionuclídeo.

Lei do decaimento radioativo

A desintegração de qualquer elemento radioativo é um evento aleatório, independente de átomos vizinhos, das condições físicas (pressão e temperatura) e estado químico do átomo. A probabilidade de um determinado tipo de núcleo sofrer decaimento radioativo por unidade de tempo, é uma constante denominada constante de decaimento ou constante de desintegração e representada por λ .

Se um determinado núcleo desintegra-se, a taxa de decaimento de N núcleos é proporcional a N , ou seja,

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (2.8)$$

Se tivermos, inicialmente, N_o núcleos idênticos, o número N que sobreviverá depois de um tempo t será

$$N = N_o e^{-\lambda t}, \quad (2.9)$$

que é a equação que representa a lei do decaimento radioativo.

Meia-vida

A meia-vida de um radionuclídeo, representada pela letra T , é definida como o tempo em que um número inicial de núcleos radioativos é reduzido à metade. Da equação 2.9, obtêm-se

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}, \quad (2.10)$$

Atividade

Ao número de desintegrações de um dado radionuclídeo, por unidade de tempo, denomina-se atividade representada por A . Ela é a taxa de decaimento definida pela equação 2.8 tomado com o sinal positivo, ou seja

$$A = \lambda N. \quad (2.11)$$

2.4.2 Série radioativa

É possível que um nuclídeo pai decaia para um nuclídeo filho que por sua vez decaia para outro nuclídeo e assim sucessivamente, até chegar à estabilidade. Denominamos o conjunto de decaimento sucessivos de uma série radioativa.

Suponhamos que um núcleo pai, denotado por N_1 , tenha uma constante de decaimento λ_1 e produz um núcleo filho também radioativo N_2 o qual decai com uma constante de

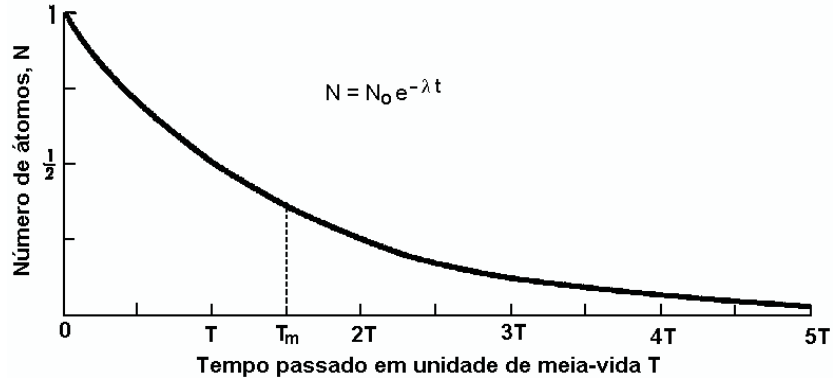


Figura 2.1: Gráfico exponencial da Lei de decaimento radioativo

decaimento λ_2 , que por sua vez decai para um núcleo estável N_3 . O sistema pode ser descrito pelas equações

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1. \quad (2.12)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2. \quad (2.13)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2. \quad (2.14)$$

Admitindo-se como condições iniciais $N_1 = N_1^o$, $N_2 = 0$ e $N_3 = 0$ em $t=0$, temos as seguintes equações

$$N_1(t) = N_1^o e^{-\lambda_1 t}. \quad (2.15)$$

$$N_2(t) = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^o (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}). \quad (2.16)$$

$$N_3(t) = N_1^o \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right). \quad (2.17)$$

como soluções das equações 2.12, 2.13, 2.14 para N_1 , N_2 e N_3 , respectivamente.

2.4.3 Equilíbrio radiativo secular

Dizemos que uma série radioativa está em equilíbrio secular quando as atividades de todos os membros da série são iguais e não muda dentro de um determinado intervalo de tempo.

Podemos então escrever

$$\frac{dN_1}{dt} = \text{constante}. \quad (2.18)$$

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \lambda_3 N_3 = \dots = \lambda_{n-1} N_{n-1} = \lambda_n N_n, \quad (2.19)$$

ou

$$A_1 = A_2 = A_3 = \dots = A_{n-1} = A_n, \quad (2.20)$$

As igualdades mostradas em 2.19 e 2.20 são inconsistentes já que o núcleo tipo 1 decaindo reduz o termo $\lambda_1 N_1 = A^1$ desfazendo as igualdades. Pode-se conseguir um equilíbrio aproximado se λ^1 for muito menor que os outros λ da série de modo que $\lambda_1 N_1$ possa ser considerado constante. A esse equilíbrio, denomina-se equilíbrio secular. Esse é o caso da série do U^{238} cujo λ é da ordem de $10^{-10} a^{-1}$ enquanto para outros membros da série λ é no mínimo $10^{-6} a^{-1}$.

2.4.4 Urânio, tório e potássio

Grande parte do calor no interior da terra é gerado pela transformação das energias cinéticas das partículas de radiação e dos núcleos de recuo em calor na interação com o material terrestre devido principalmente aos radioisótopos dos elementos urânio, tório e potássio. A presença destes elementos nas rochas fundamenta-se na existência de certos minerais. O U^{238} ($T_{238}=4,468$ Ga), U^{235} ($T_{235}=0,704$ Ga) e Th^{232} ($T_{232}=14,01$ Ga) constituem as três séries radioativas naturais que terminam nos isótopos estáveis do chumbo Pb^{206} , Pb^{207} e Pb^{208} , respectivamente, enquanto que o potássio possui um único radioisótopo natural, o K^{40} . Essas três séries e mais o K^{40} respondem por cerca de 98% do calor gerado na terra.

Apresentando-se com uma concentração média de 2,5 ppm na crosta continental, o urânio é um metal, que participa nas rochas como elemento traço e que possui ambos os isótopos naturais instáveis os quais constituem duas das três séries radioativas naturais, a do U^{238} e a do U^{235} . O urânio é mais abundante em rochas de composição ácida, como os granitos e riolitos, com teores de 2 a 8 ppm. Os basaltos contêm cerca de 0,1 ppm e as rochas ultrabásicas, salvo em raras exceções, alguns centésimos de ppm.

O tório é um elemento metálico com um único isótopo natural, o Th^{232} , o qual é radioativo, e que, também, aparece como elemento traço na crosta terrestre. É encontrado em quantidades pequenas na maioria das rochas e solos, onde é aproximadamente três vezes mais abundante do que o urânio.

O potássio pode ser definido como um dos componentes principais da crosta terrestre, com concentração média de 2,5 % na crosta continental e 0,4 % na crosta oceânica. Os principais minerais à base de potássio são: os feldspatos potássicos, principalmente o ortoclásio e a microclina, com aproximadamente 13 % de K; e as micas, biotita e moscovita, com aproximadamente 8 % de K. Conseqüentemente, as rochas ácidas, como os granitos, sienitos, sienogranitos e leucogranitos, apresentam altos teores de potássio, contrariamente às rochas básicas (gabros, peridotitos etc). Ao contrário do urânio e do tório, o potássio é um elemento muito freqüente nos minerais, principalmente nos alumino-silicatos como os feldspatos potássicos e as micas.

CAPÍTULO 3

Métodos Analíticos

Neste capítulo descreveremos todos os métodos analíticos utilizados para o tratamento das amostras deste trabalho. Neste contexto estão inseridos as medidas de condutividade, difusividade térmica e calor específico, como também a obtenção das concentrações dos radioelementos potássio, urânio e tório e da taxa volumétrica de produção de calor radiogênico.

3.1 Medidas dos parâmetros térmicos

Para a obtenção da condutividade térmica, difusividade térmica e capacidade calorífica utilizamos o analisador de propriedades térmicas Quickline™ - 30, da Anter Corporation (figura 3.1). Esse medidor está equipado com sondas planas, calibradas para medir condutividade térmica na faixa de 0,30 a 7,0 $Wm^{-1}K^{-1}$. Ele aplica a técnica da medição de transientes de temperatura no qual submete-se o material a um pulso de calor por um sensor e registra-se sua resposta no decorrer do tempo. Essa resposta é fornecida num intervalo de tempo menor que 10 minutos. O analisador fornece a condutividade térmica, a difusividade térmica e a capacidade calorífica volumétrica. Obtivemos o calor específico pela equação 2.7.

As amostras em análise possuem dimensões laterais acima de 6 cm, espessuras maiores que 3 cm e são polidas para um melhor contato da sonda do aparelho com as faces das rochas, evitando a perda de calor e assim diminuindo os erros de leitura.

3.2 Medidas de K, U e Th

Para a determinação das concentrações dos radioisótopos potássio, urânio e tório utilizamos o método da espectrometria gama, o mais utilizado em laboratório para esta finalidade. Uma vantagem deste método é que ele não é destrutivo, ou seja, a amostra da rocha não precisa sofrer qualquer tratamento químico para ser analisada. Esta técnica já foi descrita de forma bem clara por vários autores como Adams e Gasparine (1970), Alves Jr. (2004) e Sapucaia (2004), sendo ela de ótima eficácia e de custo baixo. Medimos esses teores



Figura 3.1: Aparelho QuicklineTM - 30

no campo, diretamente no afloramento e no laboratório em amostras de rochas moídas. Mesmo que a medida de campo seja influenciada pela emissão gama do solo e das rochas circunvizinhas, ela permite distinguir corpos com níveis radioativos diferentes, ajudando a decidir a necessidade ou não de mais de uma amostragem do local.

Em campo, as medidas das concentrações do K, U e Th foram determinadas utilizando um espectrômetro portátil, modelo GS-512 da Geofisika, com um detector de cintilação de INa(Tl) de 76,2 x 76,2 mm (figura 3.2). Este sistema possui 512 canais e uma memória de 512 Kb, onde 4000 espectros podem ser armazenados. Na medida in situ utilizamos um tempo de contagem de 3 minutos com o detector apoiado em faces planas das rochas. O ruído de fundo, a ser subtraído de espectro, tem como fontes principais, a radiação cósmica, a radiação atmosférica e o ruído eletrônico do próprio instrumento, o qual é definido e introduzido no sistema computacional do espectrômetro através de quatro parâmetros.

Em laboratório, para a obtenção dos teores, as amostras coletadas são pulverizadas há uma mesma granulometria e acondicionadas em potes plásticos de 125 mm x 40 mm. Utilizamos dois espectrômetros gama, SEG3 E SEG4, ambos com detectores de cintilação de INa(Tl) da Harshaw com 102 mm de diâmetro e 76 mm de altura. Para reduzir a radiação de fundo, estes detectores estão instalados no interior de castelos independentes, ambos com dimensões externas de 76 x 86 x 76 cm e paredes de 12 cm de chumbo e 0,5 cm de cobre (internamente), situados numa sala subterrânea climatizada, localizada no Laboratório de Física Nuclear Aplicada (LFNA) da UFBA (figura 3.3). O programa para obtenção dos espectros e tratamento de dados foi o MAESTRO B32, versão 5.34.



Figura 3.2: Medidas de campo com o espectrômetro portátil



Figura 3.3: Espectrômetro gama: Castelos de chumbo

3.2.1 Análise dos espectros

As contribuições dos emissores gama presentes em uma rocha constitui o chamado espectro da amostra, o qual é obtido da contagem da amostra depois de subtraído o ruído de fundo.

Esses emissores são, principalmente, K^{40} , os membros da série do Th^{232} , principalmente o Tl^{208} , e os membros da série do U^{238} , destacando-se o Bi^{214} . O uso destes radioisótopos na determinação dos teores de K, U e Th pressupõe que: (i) a razão K^{40}/K_{total} seja constante nas rochas; (ii) a série do U^{238} esteja em equilíbrio secular - para termos a atividade do Bi^{214} igual àquela do U^{238} ; e (iii) a série do Th^{232} também esteja em equilíbrio secular.

Aceito estes pressupostos, definimos três faixas distintas de energia no espectro, denominadas de janelas, onde cada uma delas inclua um dos picos de interesse. A janela 1 inclui o fotopico 1460 KeV do K^{40} , a janela 2 inclui o fotopico de 1760 KeV do Bi^{214} , e a janela 3 o fotopico de 2614 KeV do Tl^{208} . Como no espectro da amostra existem apenas contribuições dos elementos K, U e Th, a massa S_N do elemento S, na amostra N, é obtida pela seguinte expressão

$$S_N = \sum m_{ij} A_{j,N} \quad (3.1)$$

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

A massa dos três elementos na amostra podem ser escritas na forma de três equações

$$K_N = \sum_{j=1}^3 m_{1j} A_{j,N} \quad (3.2)$$

$$U_N = \sum_{j=1}^3 m_{2j} A_{j,N} \quad (3.3)$$

$$Th_N = \sum_{j=1}^3 m_{3j} A_{j,N} \quad (3.4)$$

Existem três incógnitas em cada uma destas equações, totalizando nove incógnitas m_{ij} . Estes coeficientes são determinados medindo-se as atividades $A_{j,N}$ nas três janelas (subtraído o ruído de fundo) de três padrões (N=1, N=2 e N=3), sendo que as massas de K, U e Th nesses padrões são conhecidas.

Tendo em mãos os valores dos coeficientes m_{ij} , as concentrações de potássio C_K (em %), as concentrações de C_U (em ppm) e as concentrações de tório C_{Th} (em ppm) na amostra são obtidos pelas equações

$$C_K = \frac{10^2}{Mt} (m_{11} J_1 + m_{12} J_2 + m_{13} J_3) \quad (3.5)$$

$$C_U = \frac{10^6}{Mt}(m_{21}J_1 + m_{22}J_2 + m_{23}J_3) \quad (3.6)$$

$$C_{Th} = \frac{10^6}{Mt}(m_{31}J_1 + m_{32}J_2 + m_{33}J_3) \quad (3.7)$$

onde M é a massa da amostra, t é o tempo de contagem e J_1 , J_2 e J_3 são as contagens no tempo t (subtraído o ruído de fundo) nas janelas 1, 2 e 3, respectivamente. É importante enfatizar que estas equações só são válidas se as amostras e os padrões forem contados na mesma geometria.

3.2.2 Definição das janelas

Na tabela 3.1 apresentamos as faixas de energia que foram utilizadas no laboratório e o fotopico principal incluído em cada janela.

Janela	Fotopico principal (keV)	Faixas de energia Detector 3 (keV)	Faixas de energia Detector 4 (keV)
Janela 1	1461	1192,9 a 1591,7	1178 a 1584
Janela 2	1764	1628,9 a 2038,9	1622 a 2039,4
Janela 3	2614	2076,23 a 2855,2	2077,4 a 2904,7

Tabela 3.1: Janelas dos espectros gama para a determinação dos teores de K, U e Th com os detectores 3 e 4.

3.2.3 Geometria de contagem

Um fator importante na calibração absoluta é a geometria de contagem. Como apenas parte da radiação emitida pela amostra é detectada pelo detector, faz-se necessário que a geometria de contagem seja a mesma para os padrões e para as amostras para que se possa comparar as contagens dos padrões e das amostras e, assim, calcular as concentrações absolutas. Para isto, faz-se necessário que as amostras e padrões sejam condicionadas em vasilhames semelhantes e posicionados num mesmo modo no detector. Ademais, as amostras devem ter densidades não diferido em mais que 20% para reduzir efeitos de auto absorção. As massas das amostras variaram de 800 a 1100g. com a maioria deles em torno de 900g e foram acondicionadas em potes idênticos de plástico.

3.2.4 Padrões

Os padrões combinados em utilizados neste trabalho foram preparados diluindo-se alíquotas dos padrões RGK-1, RGU-1 e RGTh-1, fornecidas pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), em uma matriz de quartzito, onde se tem desprezíveis os teores de K, U e Th. A tabela 3.2 descreve os teores dos padrões RGK-1, RGU-1 E RGTh-1.

Padrão	K(%)	U(ppm)	Th(ppm)
RGK-1	$44,8 \pm 0,30$	$< 0,001$	$< 0,01$
RGU-1	$> 0,01$	$400,00 \pm 0,30$	$0,61 \pm 0,30$
RGTh-1	$0,019 \pm 0,010$	$6,26 \pm 0,42$	$800,0 \pm 16$

Tabela 3.2: Teores dos padrões RGK-1, RGU-I e RGTh-1 fornecidos pela (AIEA).

Na tabela 3.3 estão as composições dos padrões 1, 2 e 3 utilizadas neste trabalho, com a indicação da massa e a concentração dos elementos K, U e Th.

Padrão	Massa total (g)	Massa do potássio (g)	Teor do potássio (%)	Massa do urânio (g)	Teor do urânio (ppm)	Massa do tório (g)	Teor do tório (ppm)
1	838,20	41,91	5,00	$1,676 \times 10^{-3}$	2,00	$4,191 \times 10^{-3}$	5,00
2	836,53	4,183	0,50	$1,255 \times 10^{-2}$	15,00	$4,183 \times 10^{-3}$	5,00
3	834,17	4,171	0,50	$1,668 \times 10^{-3}$	2,00	$3,336 \times 10^{-2}$	40,00

Tabela 3.3: Dados das massas e dos teores de K, U e Th dos padrões combinados.

3.2.5 Obtenção das equações de concentração

A partir das equações 3.2, 3.3 e 3.4 e os valores da tabela 3.3, determinam-se os coeficientes m_{ij} , os quais, substituídos nas equações 3.5 a 3.7 definem as equações que detreminam as concentrações de potássio(%), urânio(ppm) e tório(ppm) para o detector 3

$$C_K = \frac{1}{M}t(1511,65J_1 - 2633,29J_2 - 357,81J_3) \quad (3.8)$$

$$C_U = \frac{1}{M}t(2065,09J_1 + 17125,57J_2 - 7426,30J_3) \quad (3.9)$$

$$C_{Th} = \frac{1}{M}t(14511, 52J_1 - 11495, 78J_2 + 30441, 60J_3) \quad (3.10)$$

e para o detector 4

$$C_K = \frac{1}{M}t(1046, 52J_1 - 1796, 19J_2 - 195, 09J_3) \quad (3.11)$$

$$C_U = \frac{1}{M}t(-60, 915J_1 + 12773, 28J_2 - 6019, 57J_3) \quad (3.12)$$

$$C_{Th} = \frac{1}{M}t(55, 424J_1 - 6662, 57J_2 + 26829, 28J_3) \quad (3.13)$$

Nessas equações, M é a massa da amostra em gramas, J_1 , J_2 e J_3 são as contagens no tempo t nas janelas 1,2 e 3, respectivamente e t é o tempo de contagem, em segundos.

3.2.6 Nível crítico, limite de detecção e limite de determinação quantitativa

Para os valores obtidos neste trabalho, utilizamos as equações descritas por Currie (1968) para obtermos o nível crítico N_C , o limite de detecção L_D e o limite de determinação quantitativa L_Q

$$N_C = \kappa\sigma_0 \quad (3.14)$$

$$L_D = \kappa^2 + 2N_C \quad (3.15)$$

$$L_Q = \frac{\kappa_Q^2}{2} \left[1 + \left(1 + \frac{4\sigma_0^2}{\kappa_Q^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (3.16)$$

com

$$\sigma_0^2 = \mu_R + \frac{\mu_R}{n} \quad (3.17)$$

onde se assume que o valor médio μ_R é derivado de n observações do ruído de fundo.

Para obtenção do σ_0 , o ruído de fundo foi integrado em 25 horas tomamos $\kappa = 1,645$ e um desvio padrão relativo máximo permitido desejável de 10 % (κ_Q) nas atividades líquidas de todas as janelas.

Nas Tabelas 3.4 e 3.5 mostramos os valores do ruído de fundo, do nível crítico e dos limites de detecção e de determinação, em contagem por hora (cph), nas três janelas dos detectores 3 e 4.

Detector 3	Ruído de fundo (cph)	Nível crítico N_C (cph)	Limite de detecção L_D (cph)	Limite de determinação L_Q (cph)
Janela 1	2711 ± 73	$17,30 \pm 0,46$	$34,37 \pm 0,92$	$106,2 \pm 2,9$
Janela 2	697 ± 26	$8,68 \pm 0,46$	$17,48 \pm 0,65$	$54,8 \pm 2,0$
Janela 3	549 ± 23	$8,43 \pm 0,35$	$15,53 \pm 0,65$	$48,9 \pm 2,0$

Tabela 3.4: Ruído de fundo, nível crítico e limites de detecção e de determinação para o detector 3, espessos em contagem por hora.

Detector 4	Ruído de fundo (cph)	Nível crítico N_C (cph)	Limite de detecção L_D (cph)	Limite de determinação L_Q (cph)
Janela 1	2743 ± 52	$17,23 \pm 0,32$	$34,57 \pm 0,66$	$106,8 \pm 2,9$
Janela 2	512 ± 25	$7,44 \pm 0,36$	$15,00 \pm 0,73$	$54,8 \pm 2,0$
Janela 3	488 ± 18	$7,27 \pm 0,35$	$14,64 \pm 0,54$	$48,9 \pm 2,0$

Tabela 3.5: Ruído de fundo, nível crítico e limites de detecção e de determinação para o detector 4, espessos em contagem por hora.

3.2.7 Taxa volumétrica de produção de calor radiogênico

Os principais radioisótopos que se encontram naturalmente nas rochas são os K^{40} e os membros das famílias do urânio e do tório. Ao calor gerado nas rochas, resultado do decaimento radioativo destes isótopos instáveis, denominamos de calor radiogênico. Esse calor é produzido no processo de absorção pelas rochas das energias cinéticas das partículas emitidas e dos recuos dos núcleos, como também pela absorção da energia de radiação gama em sua interação com a matéria que constitui a rocha.

A taxa de produção de calor radiogênico nas rochas é uma propriedade petrofísica, isotópica e que não sofre influência da pressão e temperatura locais, dependendo exclusivamente dos teores dos litófilos K, U e Th e das constantes de produção de calor radiogênico (Q_i), de cada elemento, as quais dependem da meia vida dos radionuclídeos e fração da energia do decaimento absorvida pela rocha. A constante Q_i é dada por:

$$Q_i = \frac{N_A \ln 2}{M_i T_i} E_i, \quad (3.18)$$

onde, N_A é o número de Avogrado, M_i e T_i são a massa atômica e a meia-vida do radioisótopo, respectivamente e E_i é a energia absorvida. Os valores de Q para os principais radioisótopos que geram calor estão apresentados na tabela 3.6.

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

Tabela 3.6: Taxa de produção de calor dos principais radioisótopos naturais.

A potência de calor radiogênico, A, gerado por quilo de rocha é, portanto, dada por

$$A = Q_i C_i, \quad (3.19)$$

onde C_i é a concentração do radioelemento em peso. Considerando os valores Q dos radioelementos dados na tabela 3.6, a potência gerada de calor radiogênico (A) em $\mu W kg^{-1}$ (quilo de rocha) é expressa por:

$$A = 10^{-5}(3,48C_K + 9,52C_U + 2,56C_{Th}), \quad (3.20)$$

onde, C_K é dado em porcentagem e C_U e C_{Th} em ppm. A partir desta expressão podemos obter A em $\mu W m^{-3}$ (volume de rocha):

$$A = 10^{-5}\rho(3,48C_K + 9,52C_U + 2,56C_{Th}), \quad (3.21)$$

onde ρ é a densidade da rocha.

3.2.8 Medidas de densidade

Determinamos a densidade das amostras de rocha utilizando um picnômetro com água e o procedimento desenvolvido por Oliveira (2006). Este dispositivo constitui-se de um tubo cilíndrico de acrílico com tampa nas duas extremidades, cujo volume é um pouco maior que o das amostras a serem analisadas, para minimizar o erro relativo nas medidas. A tampa

inferior é colada e serve de base do cilindro; a superior possui um pequeno orifício de 2 mm de diâmetro aproximadamente próximo à borda, o qual permitirá a saída do ar quando a tampa é colocada no cilindro. O volume do dispositivo é determinado pela massa de água necessária para preenchê-lo tampado e sem a presença de bolhas de ar no interior (m_1).

Em primeiro tempo as amostras são lavadas e colocadas em estufa, para secagem total para podermos medir o peso das amostras secas (m_{am}). Num segundo passo, introduz-se a amostra, previamente saturada no cilindro vazio, visando a determinação da massa de água que será adicionada para preencher o restante do volume tampado, sem deixar bolhas de ar (m_2). O volume externo da amostra é obtido por

$$V_{ext} = m_1 - m_2 \quad (3.22)$$

onde a densidade da água é considerada 10^3 kg m^{-3} . Conhecidos m_{am} e V_{ext} , a densidade da amostra ρ é

$$\rho = \frac{m_{am}}{V_{ext}} \quad (3.23)$$

CAPÍTULO 4

Resultados e Discussões

Neste trabalho coletamos 230 amostras e dividimos a área de estudo em seis litologias predominantes os granitos, os quartzitos, os granulitos, os gnaisses, os ortognaisses e os metarenitos. Nelas determinamos os teores de potássio, urânio e tório, a produção de calor radiogênico, a densidade, a condutividade térmica, a difusividade térmica e capacidade calorífica. Em algumas amostras, não fizemos algumas dessas determinações devido a inadequação das amostras para certas medidas. A medição das propriedades térmicas (condutividade térmica, difusividade térmica e capacidade calorífica) foi a mais prejudicada neste aspecto resultando em que somente 63 amostras foram analisadas. Devido a este fato, a correlação entre estes parâmetros foi realizada como um todo, sem a correlação de litologia por litologia, diferente da análise dos teores de potássio, urânio, tório e da taxa de produção de calor radiogênico, onde cada litologia foi analisada individualmentecada para uma melhor avaliação dos dados. Na construção dos gráficos, para os valores não detectados admitimos o valor 0,00 (nd) e os valores anômalos de urânio e tório só foram utilizados nos gráficos de dispersão.

4.1 Potássio

Os teores de K estão apresentados no apêndice B. Eles variam de 0,01 a 4,88 % com média de $2,24 \pm 1,28$. Observa-se que os granitos, os granulitos ácidos, os granulitos intermediários e os ortognaisses são as rochas com as concentrações mais elevadas deste elemento.

Já os metarenitos apresentam teores intermediários de K, variando de 0,23 a 3,38 % sendo que a maioria das amostras encontra-se entre 1,7 a 2,5 %. A figura 4.1 mostra a dispersão dos teores de k nas principais unidades litológicas. Os quartzitos, apresentam os menores teores de potássio variando entre 0,00 e 0,21%.

Usando os dados do apêndice B, a figura 4.2 salienta os teores de potássio através do mapa de isoteores, ressaltando as unidades litológicas que apresentam teores elevados do elemento K.

4.2 Urânio

As concentrações de urânio determinadas na área de um modo geral, variam entre 0,03 e 9,38 ppm, mas, em uma amostra de rocha ortognaisse cinza-escuro foi detectada concentração de 42,55 ppm (apêndices A e B). Para o urânio, este teor é considerado anômalo e devido a este aspecto não foi incorporado ao conjunto de dados utilizados na construção do mapa de isotores de urânio da área de estudo (figura 4.3). Os quartzitos, apresentaram teores baixos, variando entre 0,29 a 0,90 ppm. Na figura 4.4 onde são apresentadas as relações entre os elementos K, U e Th observamos que altos teores de urânio estão relacionados com altas concentrações de potássio e tório.

A figura 4.5 mostra a dispersão dos teores de urânio nas principais unidades litológicas da área de estudo. Os quartzitos apresentaram os menores teores de U variando entre 0,19 a 2,49 ppm.

4.3 Tório

O teor de tório nas amostras analisadas varia entre 0,42 e 54,86 ppm, mas, encontramos valores de tório relativamente altos como 65,37, 68,38, 78,43, 93,24 e 99,72 ppm nos granulitos ácidos e ortognaisses. A figura 4.7 apresenta o mapa de isotores do Th da área de estudo usando como dados as medidas do apêndice 2. Na figura 4.4, observa-se que os teores altos de U e Th correspondem a altos teores de K. Na mesma figura observa-se que os teores de U e Th se relacionam, valores altos de U correspondem a valores altos de Th.

A figura 4.6 mostra a dispersão dos teores do tório nas principais unidades litológicas da área de estudo.

4.4 Densidade

Foram calculadas as densidades de 226 amostras. Seus valores variam aproximadamente entre $2,5$ e $3,1 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$. Estes respectivos valores foram utilizados no cálculo da taxa de produção do calor radiogênico, e estão apresentados no apêndice A. Na figura 4.8 observamos a dispersão dos valores de densidade nas unidades da área de estudo e as densidades médias calculadas para as diferentes litologias são as mostradas na tabela 4.1.

4.5 Taxa de produção de calor radiogênico

Os valores das taxas de produção volumétrica de calor radiogênico se encontram no apêndice B. De acordo com a tabela 4.1 observamos que as litologias que apresentam os maiores valores médios de produção volumétrica superficial de calor radiogênico são os granitos e ortognaisses com $2,940 \pm 1,885$ e $2,265 \pm 2,624 \mu W m^{-3}$, respectivamente. Na figura 4.10 temos o mapa de distribuição das taxas de produção de calor radiogênico da área de estudo.

Os quartzitos pouco contribuem para a taxa de produção de calor radiogênico da área por apresentar a menor taxa média de produção superficial de calor radiogênico, $0,339 \pm 0,297 \mu W m^{-3}$.

4.6 Condutividade térmica

Os valores de condutividade térmica variaram entre $0,35$ e $5,86 W m^{-1} K^{-1}$. Na figura 4.11 vemos a dispersão dos valores de condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico nas litologias estudadas.

Nos quartzitos encontramos os maiores valores de condutividade térmica. Eles variam de $2,32$ a $5,86 W m^{-1} K^{-1}$. Este alto valor é explicado pela grande quantidade de quartzo que o compõe. Um quartzo é um mineral que possui alta condutividade térmica, assim, quanto maior a sua presença em uma rocha, maior será a condutividade da rocha que o contém.

Neste trabalho verificamos a existência de correlação entre os parâmetros térmicos e os valores de produção de calor radiogênico. A partir dos gráficos apresentados na figura 4.12 observa-se que não existe nenhum tipo de correlação entre estes parâmetros. Nas rochas em estudo não foram realizadas medidas com as rochas saturadas e só foram realizadas medidas de uma direção, logo, não temos conclusões sobre a influência da saturação de fluido e da anisotropia na condutividade térmica destas rochas.

4.7 Difusividade térmica

A partir dos gráficos apresentados na figura 4.11, observamos que a distribuição dos valores de difusividade térmica foi semelhante a dos valores de condutividade térmica. Os valores de difusividade térmica variaram entre $1,27$ e $2,08 \times 10^{-6} m^2 s^{-1}$. Também analisamos a correlação entre a difusividade e a taxa de produção de calor (figura 4.12), constatando não haver correlação entre eles.

4.8 Calor específico

Calculamos o calor específico utilizando a equação 2.7, dividindo a capacidade calorífica de cada amostra pela sua respectiva densidade. Os valores variaram entre 0,261 a 0,904 x $10^3 JKg^{-1}K^{-1}$, sendo que nos quartzitos eles variaram entre 1,100 e 1,299 x $10^3 JKg^{-1}K^{-1}$ devido a alta condutividade térmica desta litologia. No gráfico 3 apresentado na figura 4.12, observamos que o calor específico também não possui nenhuma correlação com a taxa de produção de calor radiogênico.

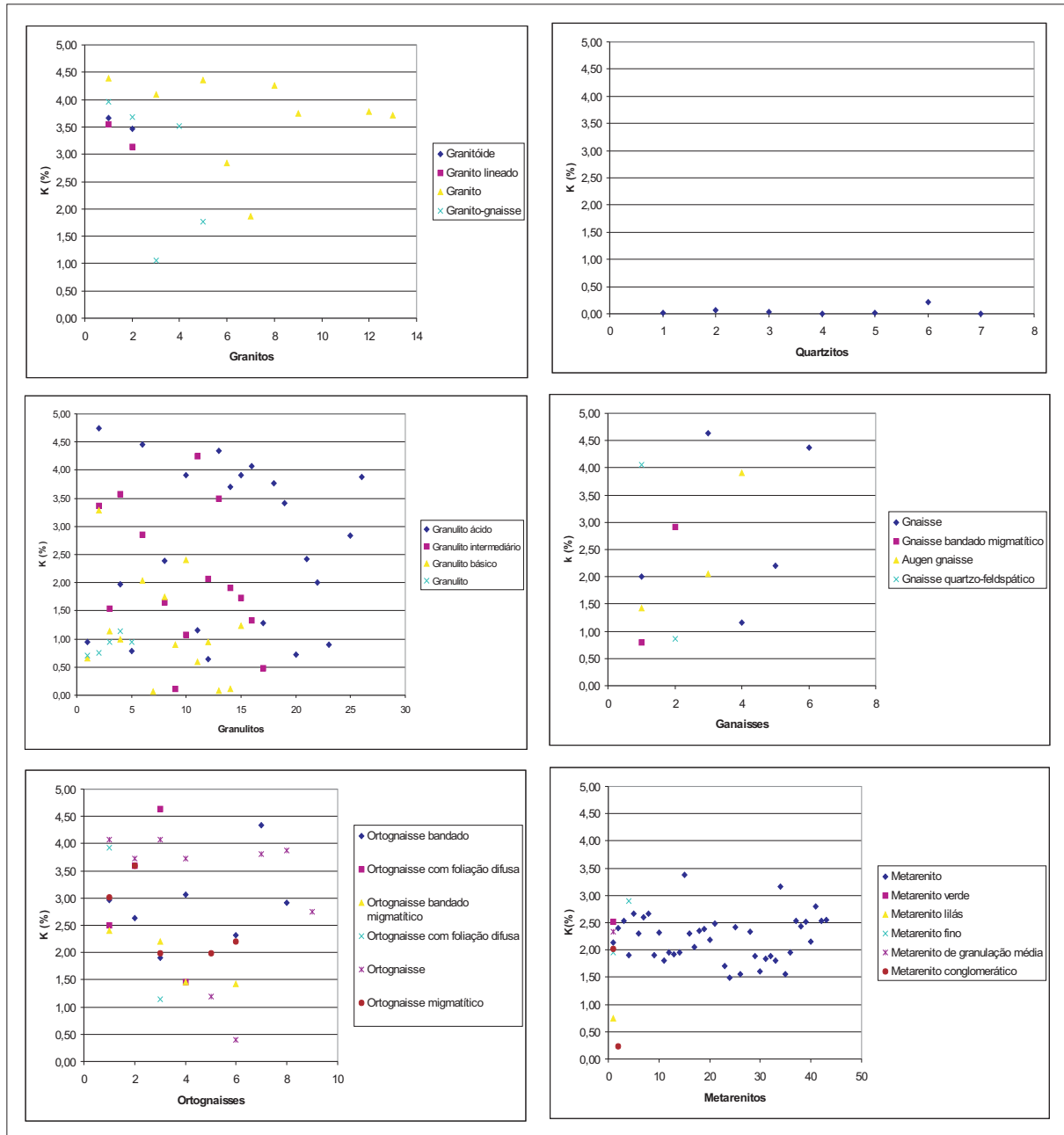


Figura 4.1: Dispersão dos teores de K nas principais litologias da área de estudo

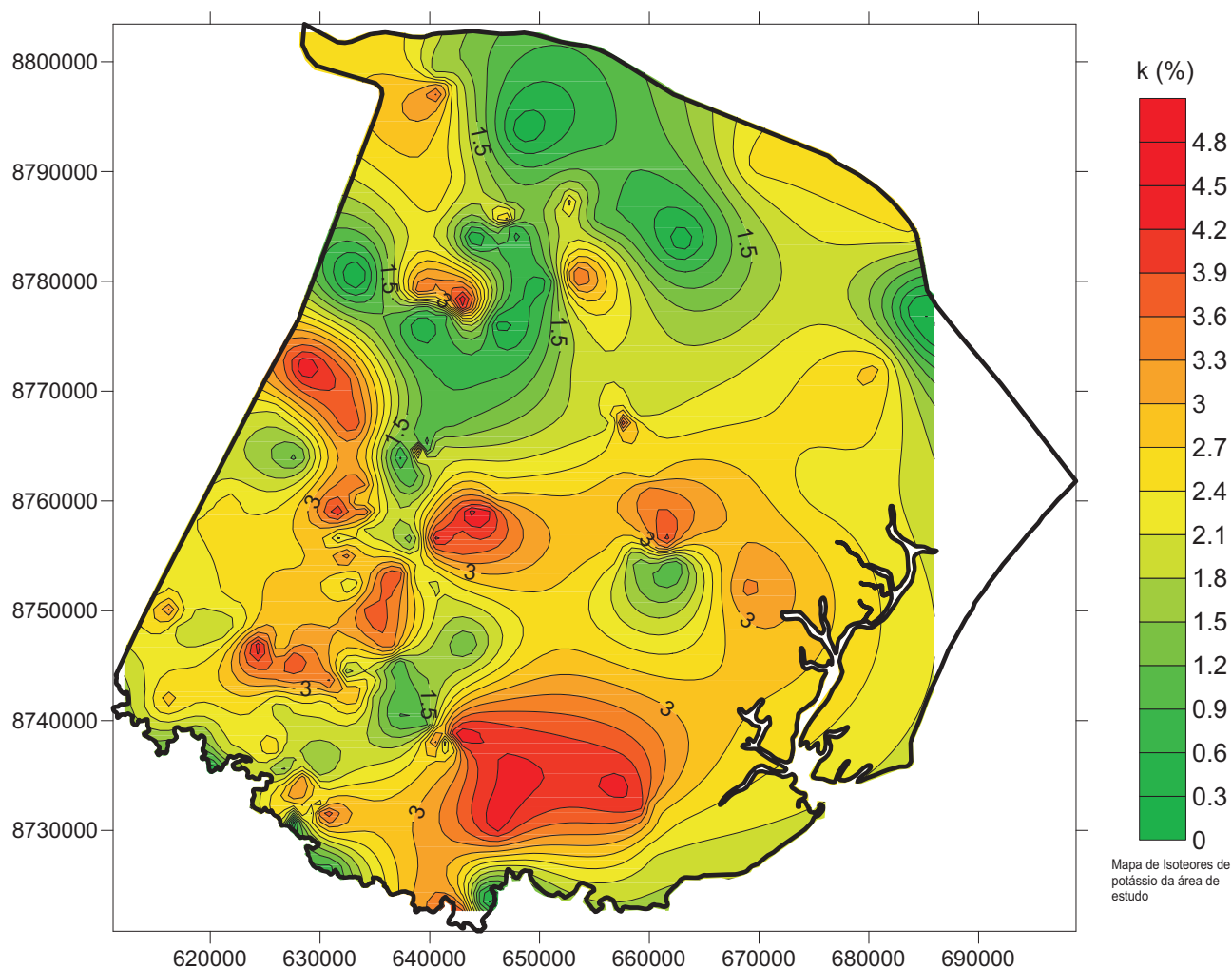


Figura 4.2: Mapa de isotores do potássio da área de estudo

Litologia	k (%)	U (ppm)	Th (ppm)	Densidade 10^3 kg m^{-3}	Calor Radiogênico $\mu\text{W m}^{-3}$
Granitos	1,05 - 4,39	0,10 - 9,48	0,84 - 50,62	$2,652 \pm 0,051$	$2,940 \pm 1,885$
Quartzitos	0,00 - 0,21	0,19 - 2,49	0,61 - 4,96	$2,575 \pm 0,044$	$0,339 \pm 0,297$
Granulitos	0,06 - 4,74	0,00 - 9,08	0,42 - 88,93	$2,757 \pm 0,117$	$1,259 \pm 1,622$
Gnaisses	0,79 - 4,64	0,23 - 5,27	0,73- 57,66	$2,671 \pm 0,045$	$1,817 \pm 1,561$
Ortognaisses	0,40 - 4,63	0,17 - 9,38	0,56 - 78,43	$2,649 \pm 0,040$	$2,265 \pm 2,624$
Metarenito	0,23 - 3,38	0,97 - 4,93	1,40 - 21,36	$2,659 \pm 0,048$	$1,536 \pm 0,505$

Tabela 4.1: Variação dos teores dos elementos potássio, urânio e tório, densidade média e taxa média de produção de calor radiogênico nas principais litologias da área de estudo

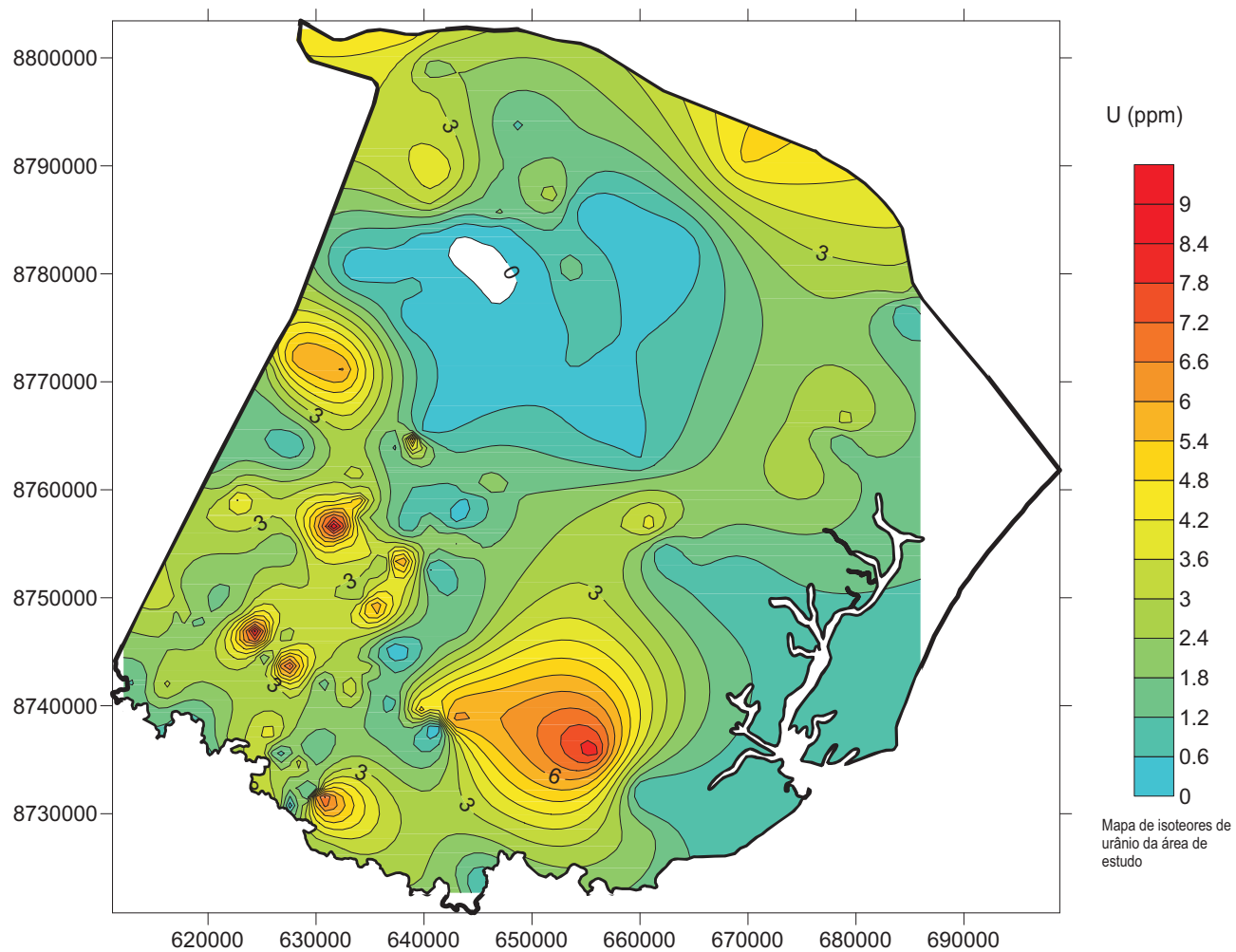


Figura 4.3: Mapa de isotores de urânio da área de estudo

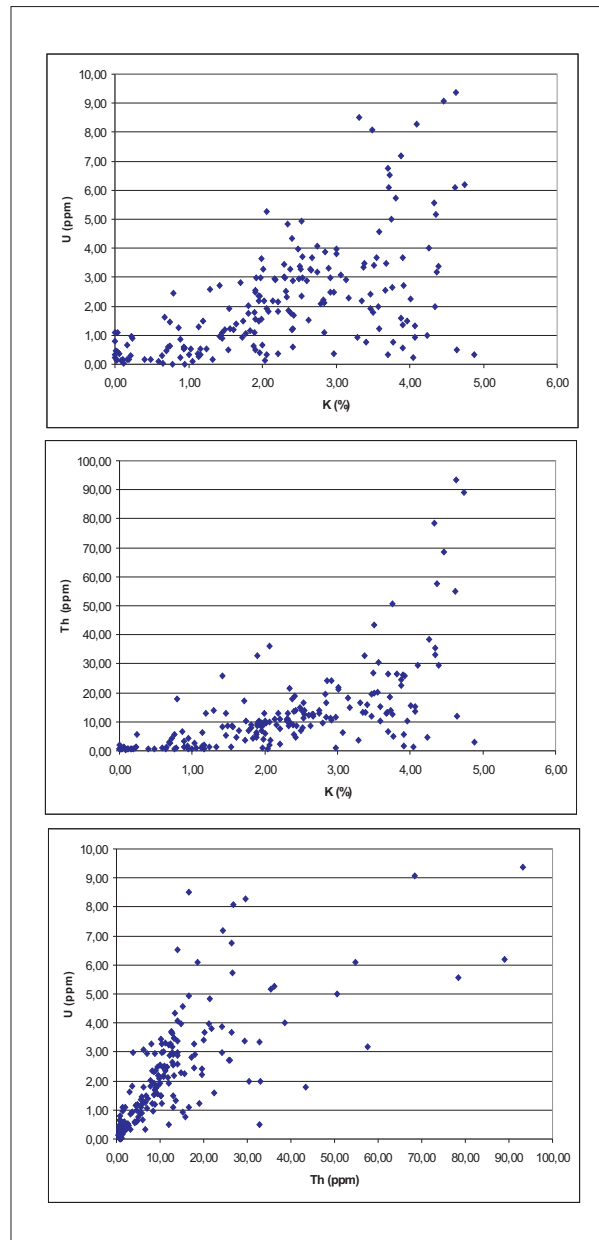


Figura 4.4: Correlação entre os teores dos elementos potássio, urânio e tório da área de estudo

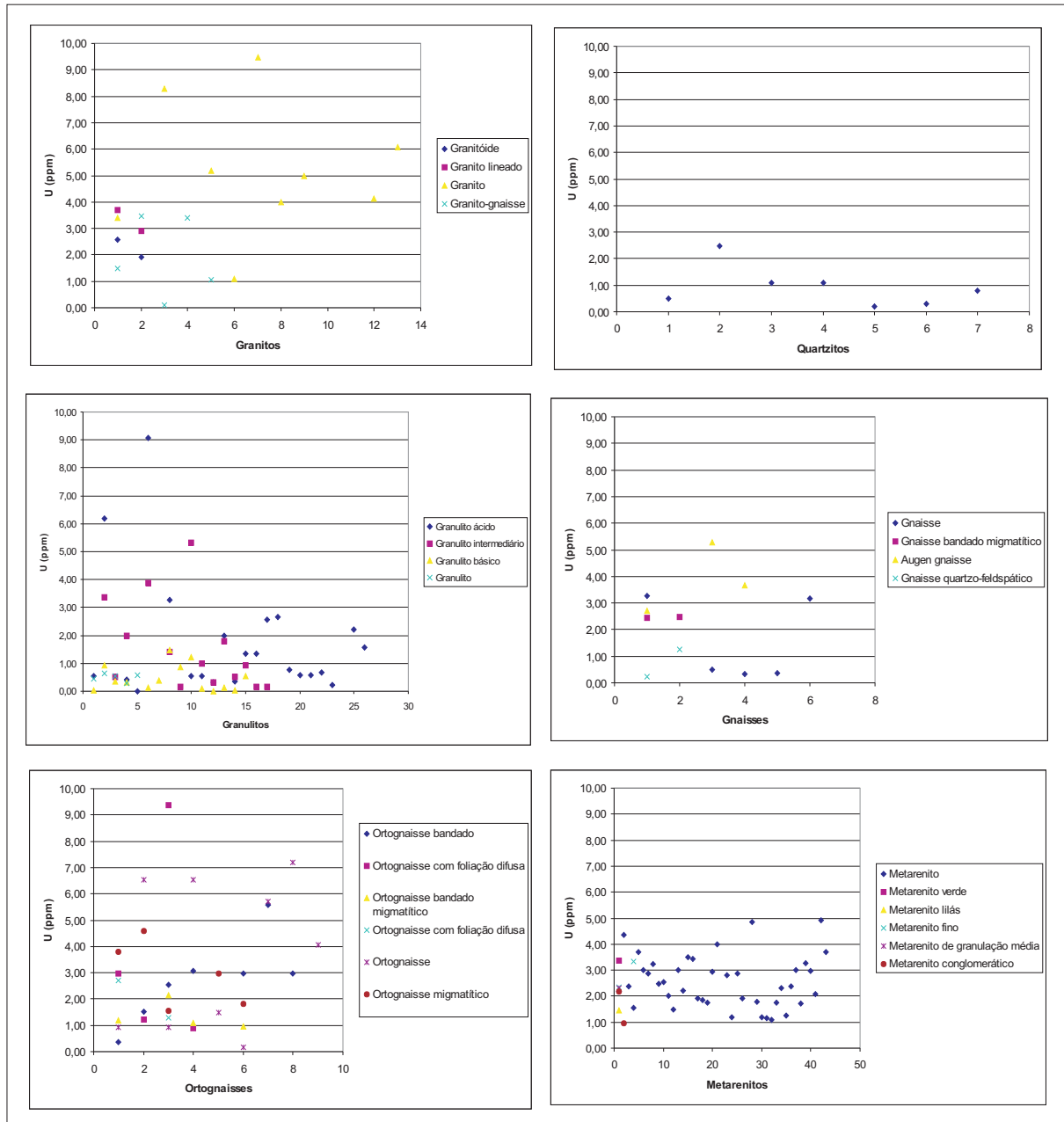


Figura 4.5: Dispersão dos teores de U nas principais litologias da área de estudo

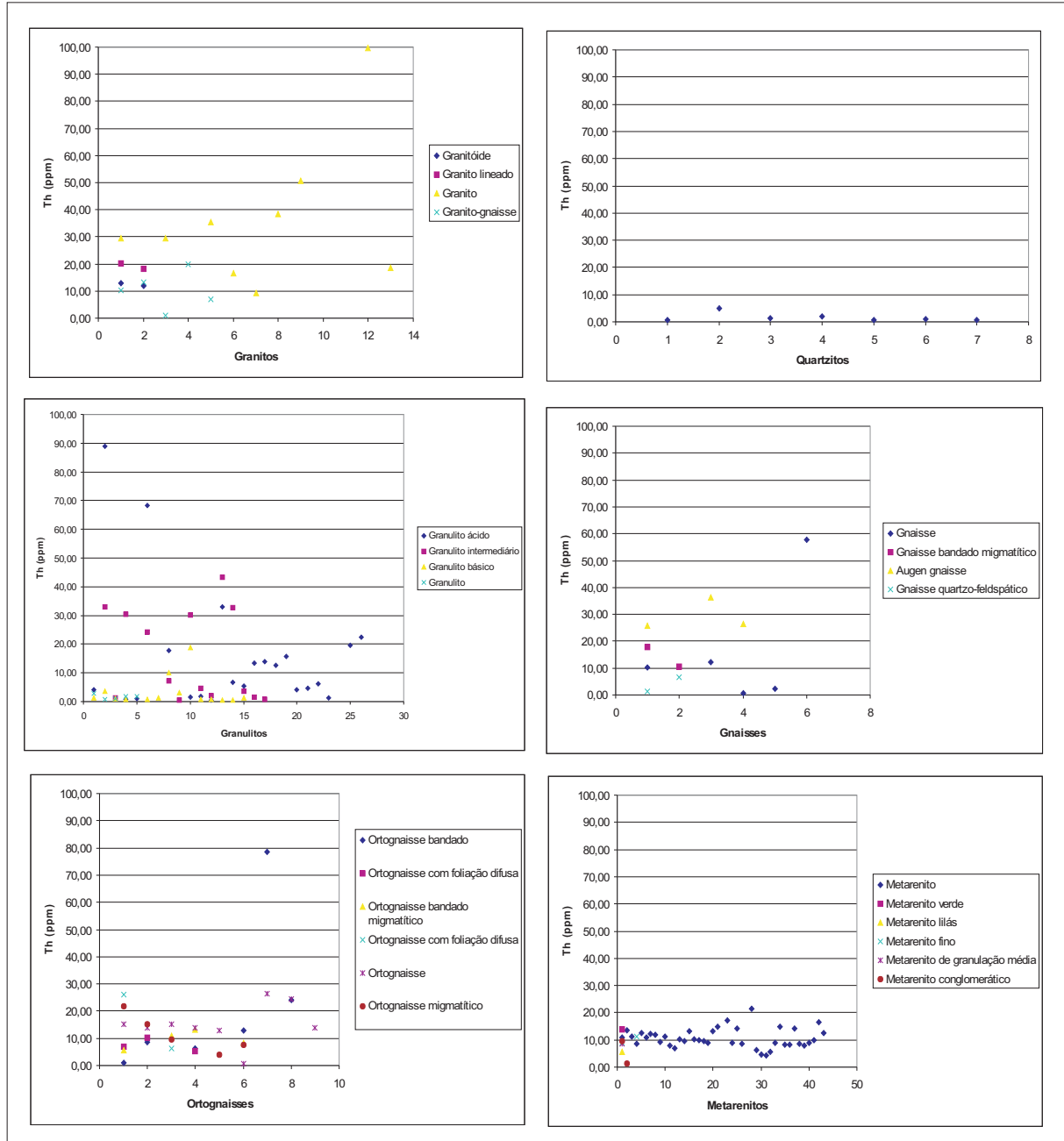


Figura 4.6: Dispersão dos teores de Th nas principais litologias da área de estudo

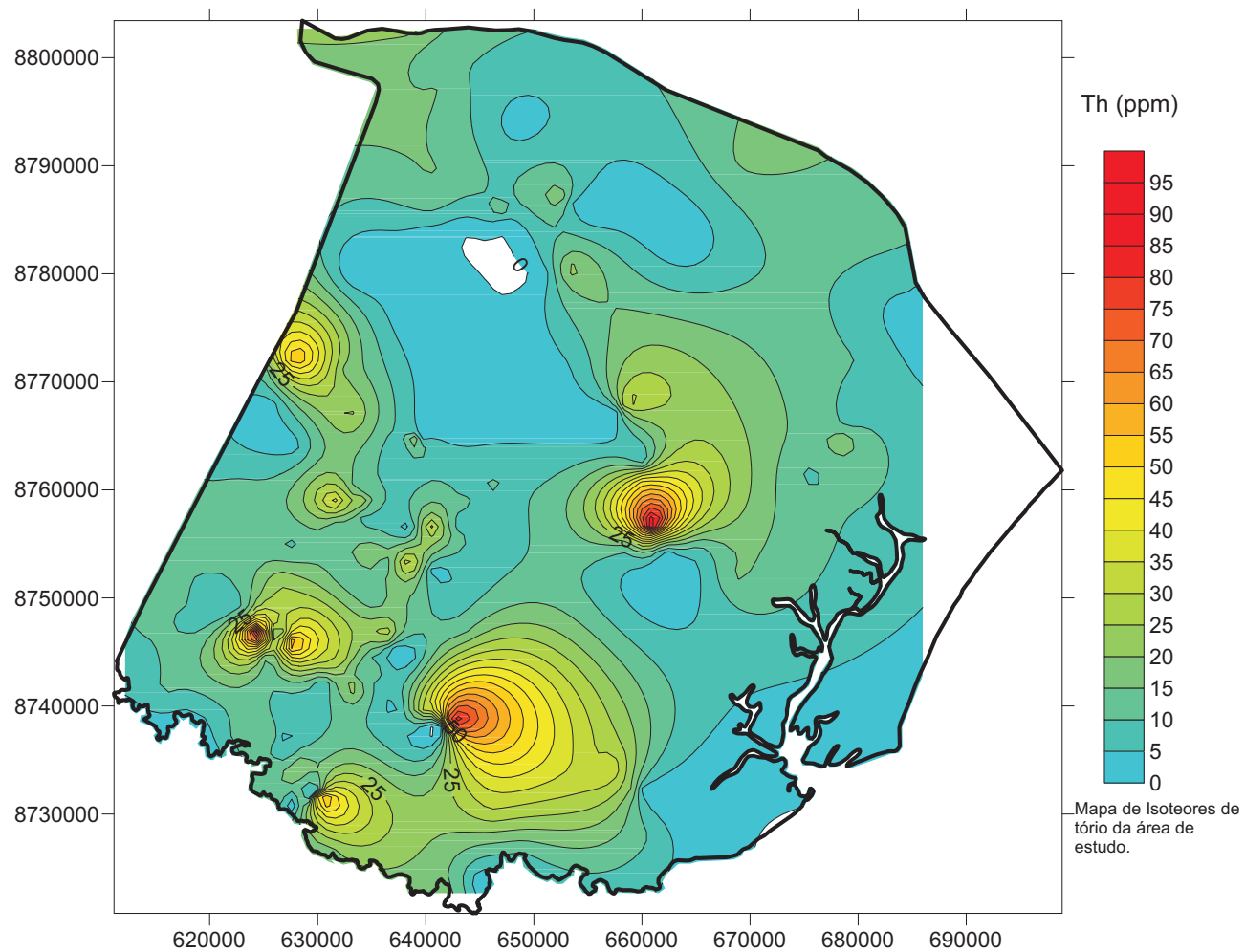


Figura 4.7: Mapa de isotores de tório da área de estudo

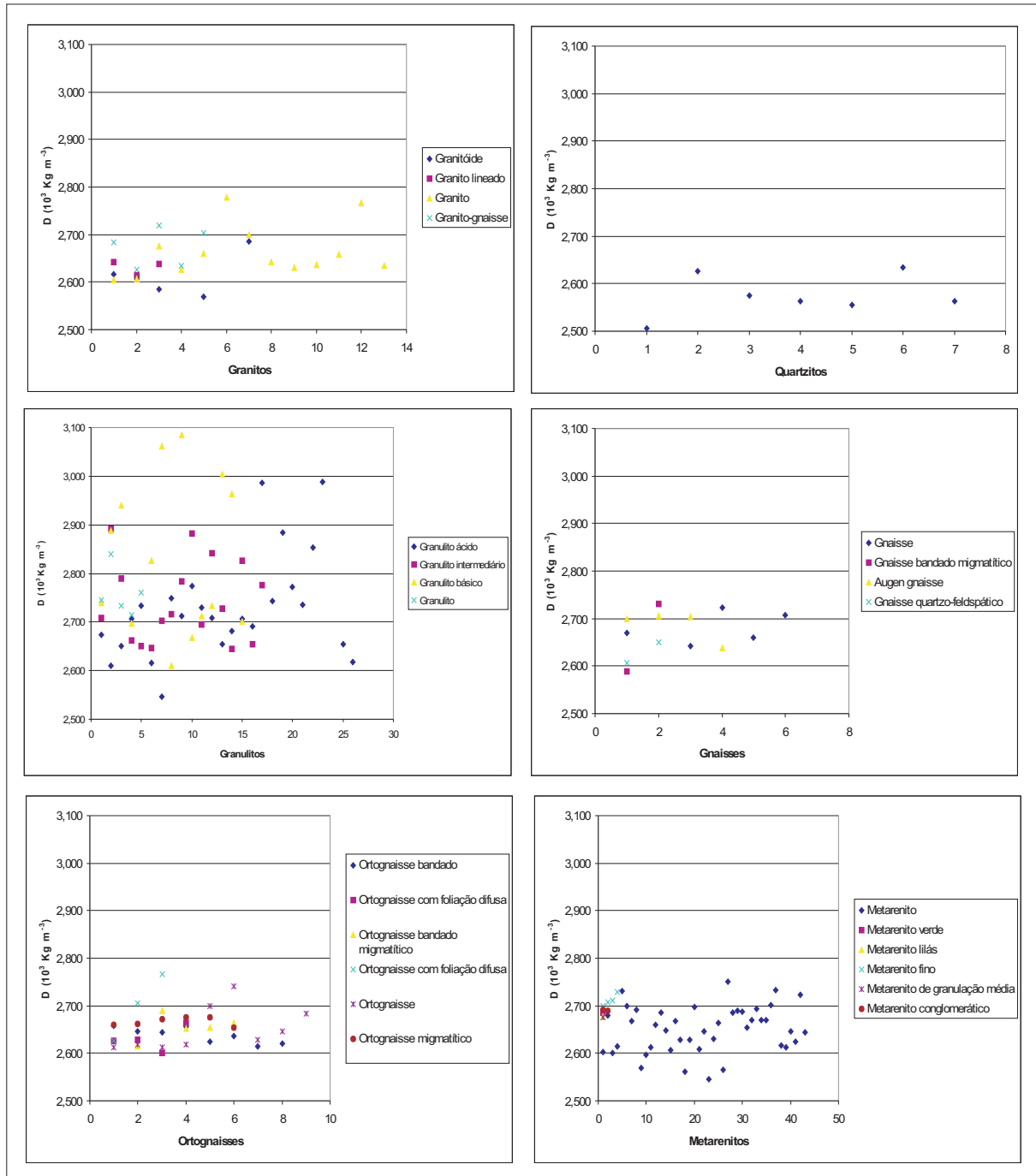


Figura 4.8: Dispersão dos valores de densidades nas principais litologias da área de estudo

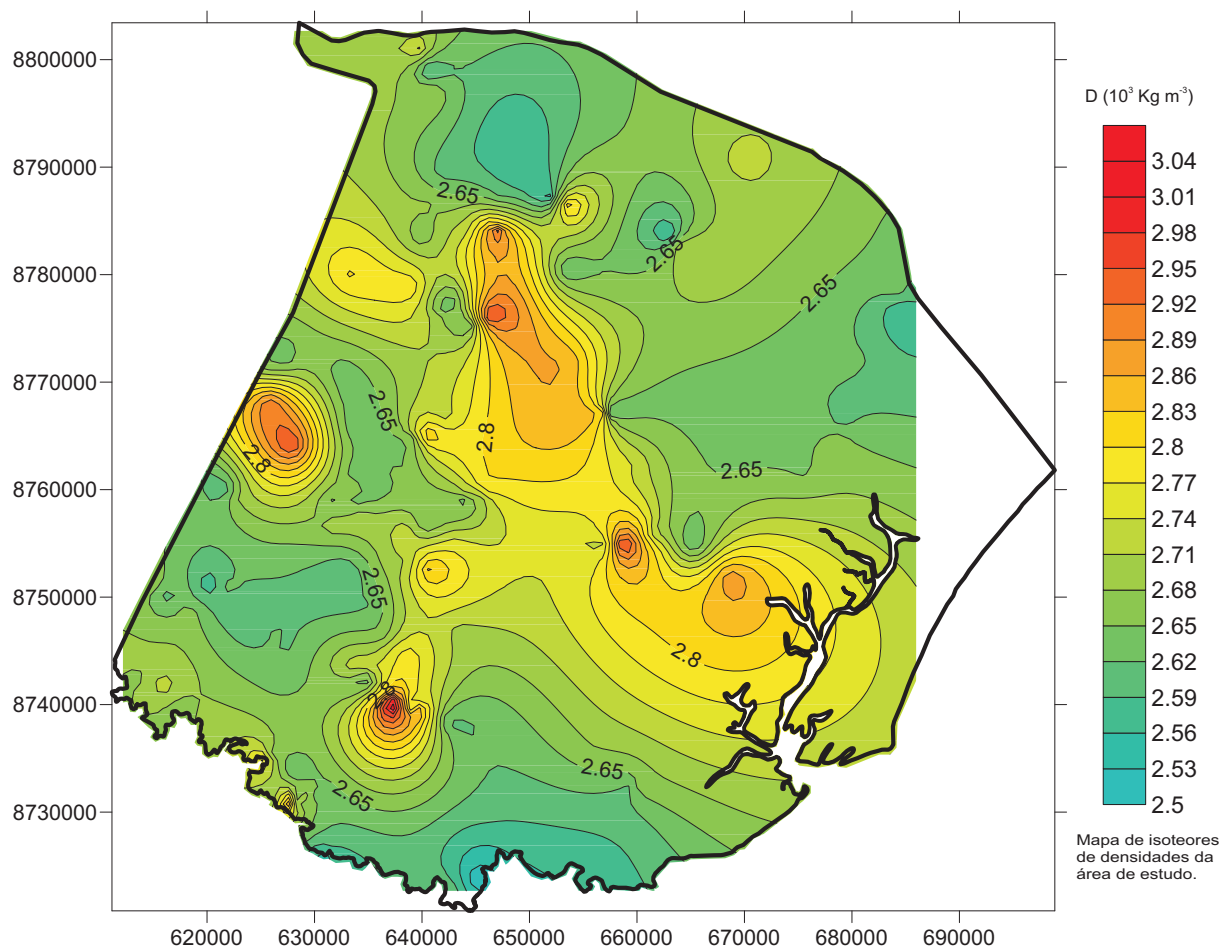


Figura 4.9: Mapa de isovalores de densidade da área de estudo

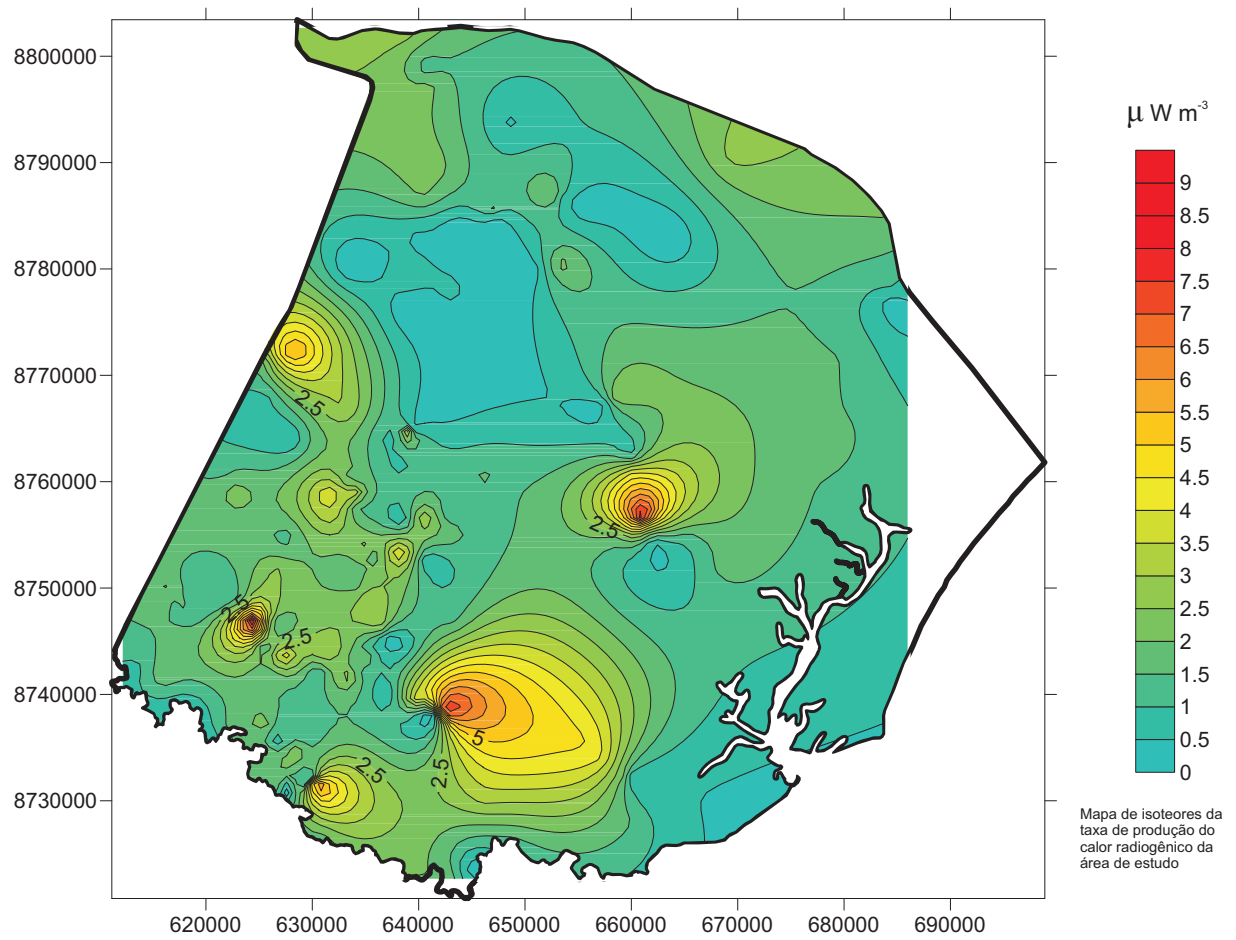


Figura 4.10: Mapa de isoteores da taxa de produção de calor radiogênico da área de estudo

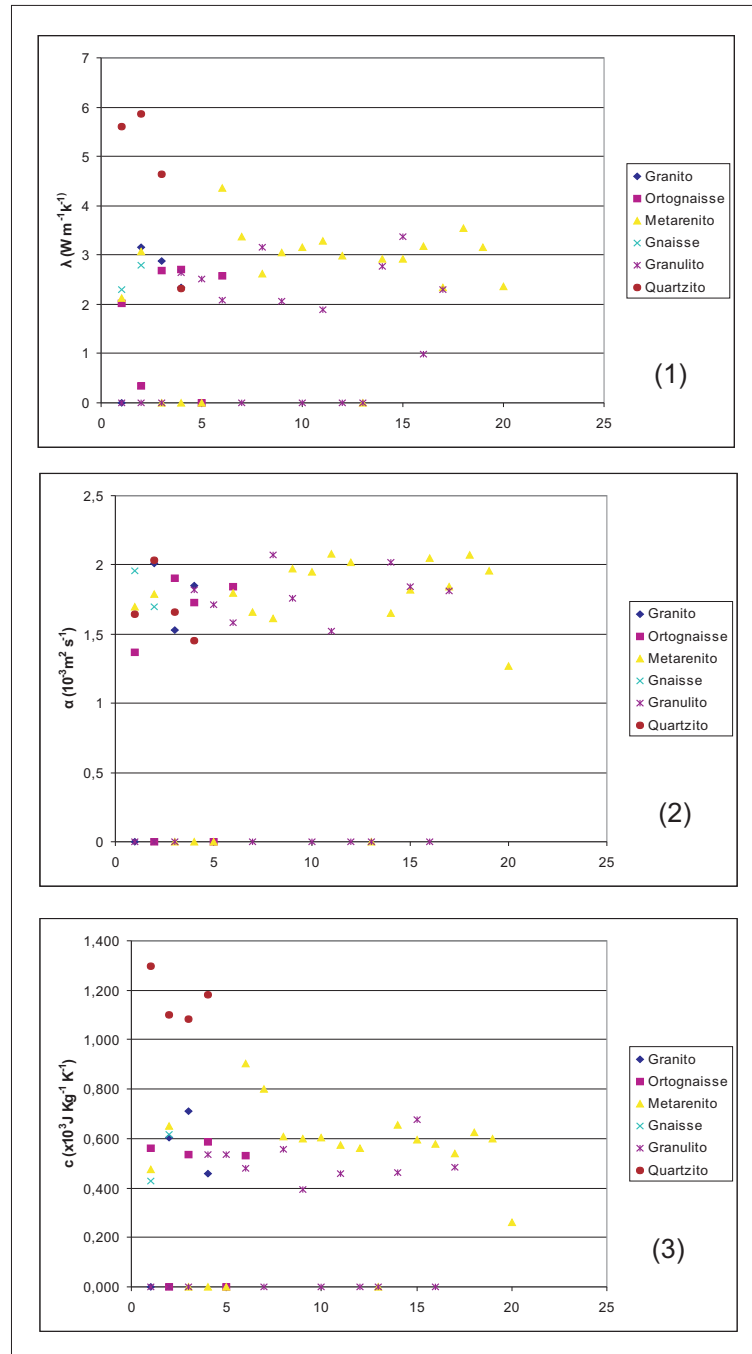


Figura 4.11: (1)-Dispersão da condutividade térmica nas litologias da área de estudo; (2)-Dispersão da difusividade térmica nas litologias da área de estudo;(3)-Dispersão do calor específico nas litologias da área de estudo

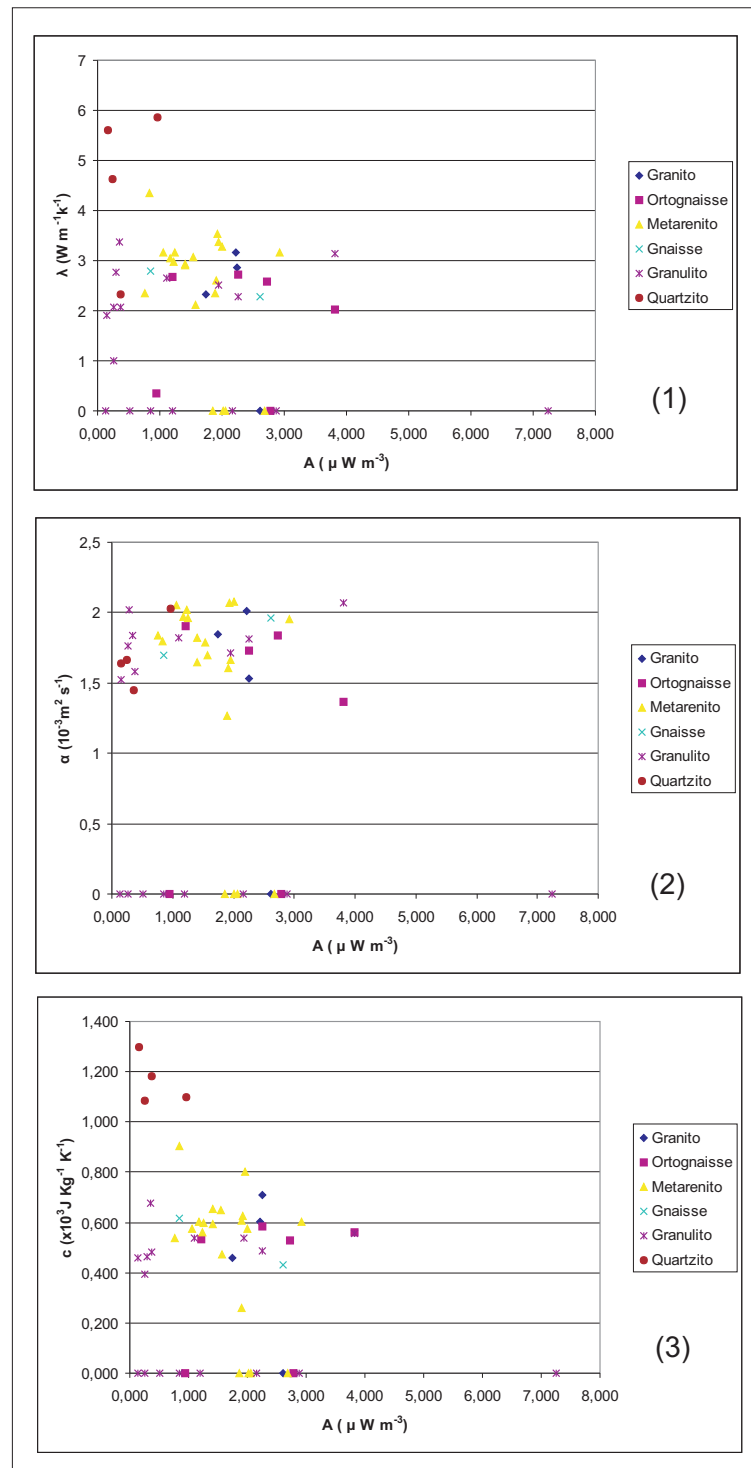


Figura 4.12: (1)- Gráfico correlação condutividade térmica x produção de calor radiogênio ; (2)- Gráfico correlação difusividade térmica x produção de calor radiogênio e (3)- Gráfico correlação calor específico x produção de calor radiogênio

CAPÍTULO 5

Conclusões

Com os resultados obtidos neste trabalho, contribuímos para o conhecimento das propriedades térmicas de rochas cristalinas do embasamento adjacente à bacia de Sergipe.

Os resultados obtidos pelo método da espectrometria gama, mostram-se satisfatórios para determinação das concentrações do K, U e Th e da taxa de geração de calor radiogênico, sendo um método simples e de baixo custo.

Os granitos, os granulitos ácidos, os granulitos intermediários e os ortognaisses são as litologias que possuem as mais elevadas concentrações de potássio.

Concluimos que as litologias que mais contribuem para a produção de calor radiogênico na área de estudo são os granitos e os ortognaisses com taxa média de produção de calor de $2,940 \pm 1,885$ e $2,265 \pm 2,624 \mu W m^{-3}$, respectivamente. Já os quartzitos são os que menos contribuem para produção de calor radiogênico, possuindo $0,339 \pm 0,297 \mu W m^{-3}$, como taxa média de produção de calor radiogênico.

Os quartzitos apresentaram os valores mais elevados condutividade térmica variando entre $2,32$ a $5,86 W m^{-1} K^{-1}$ e os mais elevados valores de calor específico, entre $1,100$ e $1,299 \times 10^3 J K g^{-1} K^{-1}$. Estes valores estão diretamente ligados a grande quantidade de quartzo que constitui um quartzito. A condutividade térmica de uma rocha depende da quantidade de quartzo que a constitui e ela cresce com o aumento deste.

Não observamos qualquer correlação entre a taxa de produção de calor radiogênico com a condutividade térmica, difusividade térmica e o calor específico.

Agradecimentos

Quero agradecer primeiramente a Deus, por me proporcionar mais esta vitória.

À minha família, alicerce de minha educação e onde sempre encontrei apoio para realizar meus sonhos, em especial aos meus pais Paulo e Ednilde, meus irmãos Aline, Paulo e Vanessa pelo carinho e apoio, e em memória a minha querida Vovó Teté.

Ao meu namorado Vinícius, fundamental em minha vida e que através de seu companheirismo e incentivo é também responsável por mais esta conquista.

À todos os professores, em especial ao meu orientador Dr. Roberto Max de Argollo pela confiança, pelo conhecimento passado e pela possibilidade de trabalhar neste projeto. Ao Dr. Moacyr Marinho pela paciência e por toda ajuda em várias etapas deste trabalho. A queridinha Jacira Freitas, não só para mim e sim para todos os alunos.

Ao projeto GEOTERM que possibilitou os recursos para a realização deste trabalho.

Diversos colegas criaram um ambiente acadêmico incentivador para o término da minha graduação. Sou grata a turma de 2005.1, onde conheci grandes pessoas e fiz muitos amigos, em especial a Fernanda, Dian, Caio e Liêge, como também a uma pessoa que pude conhecer no decorrer da faculdade e que se transformou em um grande amigo, Leonardo.

A Alexandre e Cristian pela grande paciência e apoio na execução deste trabalho. A Clériston, pelos inúmeros afloramentos quebrados, inúmeros potinhos batidos e pelo coleguismo de sempre.

E agradeço finalmente a todos aqueles que torcem por mim, e que porventura tenha esquecido de citar.

APÊNDICE A

Litologia, localização, e coordenadas das amostras da área de estudo

Amostra	Unidade	Litologia	Localização	Datum WGS 84	
				X	Y
GeSe 001	MNI	Metarenito	NW de indiaroba	660314	8728014
GeSe 002	APg2	Ortognaisse	NW de indiaroba	659759	8732176
GeSe 003	APg2	Ortognaisse bandado	NW de indiaroba	659887	8732158
GeSe 004	APg2	Granito	NW de indiaroba	657120	8734250
GeSe 005	APg2	Granito	NW de indiaroba	655755	8735714
GeSe 006-A	APgl	Granulito ácido	SE-222, Umbaúba/Cristianópolis	641885	8738098
GeSe 006-B	APgl	Granulito intermediário	SE-222, Umbaúba/Cristianópolis	641885	8738098
GeSe 007-A	APgl	Granulito ácido	SE-222, Umbaúba/Cristianópolis	642194	8738302
GeSe 007-B	APgl	Granulito ácido	SE-222, Umbaúba/Cristianópolis	642194	8738302
GeSe 008-A	APgl	Granulito intermediário	SE-222, Umbaúba/Itabaianinha	638619	8744704
GeSe 008-B	APgl	Granulito ácido	SE-222, Umbaúba/Itabaianinha	638619	8744704
GeSe 009	APgl	Granulito ácido	SE-222, Umbaúba/Itabaianinha	637047	8745282
GeSe 010	APgl	Granulito intermediário	SE-222, Umbaúba/Itabaianinha	636380	8746472
GeSe 011	Apg1	Ortognaisse	SE-222, Umbaúba/Itabaianinha	635299	8749084
GeSe 012-A	APg1	Granitóide	SE-222, Umbaúba/Itabaianinha	634177	8750138
GeSe 012-B	APg1	Granitóide	SE-222, Umbaúba/Itabaianinha	634177	8750138
GeSe 013-A	APg1	Granitóide	SE-222, Umbaúba/Itabaianinha	632890	8752332
GeSe 013-B	APg1	Gnaise	SE-222, Umbaúba/Itabaianinha	632890	8752332
GeSe 014	APg3	Ortognaisse bandado	SE-222, Itabaianinha/ Tobias Barreto	627500	8754746
GeSe 015	MNp	Metarenito	SE-222, Itabaianinha/ Tobias Barreto	622715	8759254
GeSe 016	MNp	Metarenito	SE-222, Itabaianinha/ Tobias Barreto	621787	8760192
GeSe 017	MNp	Metarenito	SE-222, Itabaianinha/ Tobias Barreto	619227	8762098
GeSe 018	MNp	Metarenito	SE-222, Itabaianinha/ Tobias Barreto	616842	8761830
GeSe 019	MNp	Metarenito	SE-222, Itabaianinha/ Tobias Barreto	614910	8761680

Amostra	Unidade	Litologia	Localização	Datum WGS 84	
				X	Y
GeSe 020	MN1	Metarenito	SE-222, Itabaianinha/ Tobias Barreto	613536	8762248
GeSe 021	MN1	Metarenito	SE-222, Itabaianinha/ Tobias Barreto	612178	8764526
GeSe 022	APg1	Ortognaisse migmatítico	Fazenda Nova Esperança	630131	8731853
GeSe 023	APgl	Granulito ácido	BR-101, divisa Bahia/Sergipe	630788	8726234
GeSe 024	APgl	Cataclasito	Fazenda Francisco Benjamim	633696	8725474
GeSe 025	APgl	Gnaisse	Fazenda Francisco Benjamim	632705	8725774
GeSe 026-A	APg2	Granito	Fazenda Sr. Dezinho	646032	8730188
GeSe 026-B	APg2	Granito	Fazenda Sr. Dezinho	646032	8730188
GeSe 027	MN1	Metarenito	Fazenda Fundão	648963	8726342
GeSe 028	APgl	Gnaisse bandado migmatítico	BR-101, após divisa BA/SE	631135	8726642
GeSe 029-A	APg2	Granito rosa	Fazenda Cana Brava	643666	8726740
GeSe 029-B	APg2	Granito verde-escuro	Fazenda Cana Brava	643666	8726740
GeSe 030	MN1	Quartzito	Fazenda Cana Brava	644978	8723786
GeSe 031-A	APg2	Ortognaisse rosado grosso	Fazenda do Sr. Soquinha	642746	8722674
GeSe 031-B	APg2	Ortognaisse rosado fino a médio	Fazenda do Sr. Soquinha	642746	8722674
GeSe 031-C	APg2	Ortognaisse verde-rosado fino	Fazenda do Sr. Soquinha	642746	8722674
GeSe 031-D	APg2	Aplito	Fazenda do Sr. Soquinha	642746	8722674
GeSe 032-A	APg3	Ortognaisse bandado (banda clara)	Tomar do Geru - Pedreira do Jaburu	626265	8741584
GeSe 032-B	APg3	Ortognaisse bandado (banda escura)	Tomar do Geru - Pedreira do Jaburu	626265	8741584
GeSe 033-A	APg3	Ortognaisse bandado	Tomar do Geru - Pedreira Cardoso	627247	8743698
GeSe 033-B	APg3	Enclave ultramáfico	Tomar do Geru - Pedreira Cardoso	627247	8743698
GeSe 034-A	APg3	Ortognaisse cinza-escuro	Tomar do Geru - Pedreira Canavieiras	627458	8745784
GeSe 034-B	APg3	Ortognaisse bandado	Tomar do Geru - Pedreira Canavieiras	627458	8745784

Amostra	Unidade	Litologia	Localização	Datum WGS 84	
				X	Y
GeSe 035	APg3	Ortognaisse com foliação difusa	Tomar do Geru - Pedreira Tanque Branco	626259	8746592
GeSe 036	APg3	Ortognaisse com foliação difusa	Tomar do Geru	625466	8744542
GeSe 037-A	APg3	Ortognaisse com foliação difusa	Tomar do Geru	624436	8746690
GeSe 037-B	APg3	Ortognaisse bandado	Tomar do Geru	624436	8746690
GeSe 038	MNp	Metarenito	Tomar do Geru - Pedreira do Jaburu	623167	8748632
GeSe 039	MNp	Metarenito	Tomar do Geru	621234	8748256
GeSe 040	MNp	Metarenito	Tomar do Geru	678780	8747732
GeSe 041	MNp	Metarenito	Tomar do Geru	618110	8748234
GeSe 042	MNp	Metarenito	Tomar do Geru	617196	8748440
GeSe 043	MNp	Metarenito	Tomar do Geru	616240	8750060
GeSe 044	MNp	Metarenito	Tomar do Geru	615154	8751402
GeSe 045	MNp	Metarenito	Tomar do Geru	618097	8751142
GeSe 046	MNp	Metarenito	Tomar do Geru	620247	8751168
GeSe 047	MNp	Metarenito	Tomar do Geru	621719	8750976
GeSe 048	APg3	Ortognaisse bandado	Tomar do Geru	626487	8751676
GeSe 049	APgl	Granulito ácido	Fazenda Nova Esperança	630194	8731734
GeSe 050	APgl	Granulito intermediário	Fazenda do Grupo do G. Barbosa	630100	8731181
GeSe 051	APg1	Granito-gnaiss	Fazenda do Grupo do G. Barbosa	629328	8731401
GeSe 052	APg1	Granito-gnaiss	Fazenda do Grupo do G. Barbosa	628561	8731211
GeSe 053-A	APg1	Anfibolito	Fazenda do Grupo do G. Barbosa	627961	8730959
GeSe 053-B	APg1	Silexito	Fazenda do Grupo do G. Barbosa	627961	8730959
GeSe 054	APg1	Metagabro porfírico	Fazenda Riacho	627170	8730980
GeSe 055	APg1	Granodiorito porfírico	Fazenda Riacho	626768	8731040

Amostra	Unidade	Litologia	Localização	Datum WGS 84	
				X	Y
GeSe 056	APg1	Ortognaisse bandado migmatítico	Lajedo do Serrote	629661	8735284
GeSe 057	APg1	Granito lineado	Cristiápolis	628554	8734591
GeSe 058	APg1	Granito lineado	Cristiápolis	628185	8734057
GeSe 059	APg1	Granito lineado	Cristiápolis	627743	8733410
GeSe 060	APg1	Ortognaisse bandado migmatítico	Cristiápolis, Cascavel	626740	8735239
GeSe 061	APg1	Granada-biotita-gnaiss	Cristiápolis, Cascavel	625572	8735021
GeSe 062	APg1	Ortognaisse bandado migmatítico	Cristiápolis, Cascavel	626060	8735356
GeSe 063	APg1	Ortognaisse com foliação difusa	Cristiápolis, Cascavel	626939	8735600
GeSe 064	APg1	Ortognaisse migmatítico	Tanque Grande	626799	8737271
GeSe 065	APg1	Ortognaisse	Cristianópolis	625766	8737336
GeSe 066	MNp	Metarenito	Tomar do Geru	623572	8737777
GeSe 067-A	MNp	Metarenito de granulação fina	SW Tomar do Geru	621480	8737082
GeSe 067-B	MNp	Metarenito de granulação média	SW Tomar do Geru	621480	8737082
GeSe 067-C	MNp	Metarenito conglomerático	SW Tomar do Geru	621480	8737082
GeSe 067-D	MNp	Metassilito+flito	SW Tomar do Geru	621480	8737082
GeSe 068	MNI	Metaconglomerado	SW Tomar do Geru	620053	8735593
GeSe 069	MNp	Metarenito	SW Tomar do Geru	620578	8738147
GeSe 070	MNp	Metarenito	SW Tomar do Geru	619323	8739058
GeSe 071	MNp	Metarenito	SW Tomar do Geru	617572	8739484
GeSe 072	MNp	Metarenito muito fino	SW Tomar do Geru	615915	8741681
GeSe 073	MNp	Metarenito	SW Tomar do Geru	613525	8742555
GeSe 074	MNp	Metarenito	SW Tomar do Geru	612364	8744251
GeSe 075-A	APg4	Ortognaisse bandado migmatítico	NW Tomar do Geru	630547	8742275

Amostra	Unidade	Litologia	Localização	Datum WGS 84	
				X	Y
GeSe 075-B	APg4	Ortognaisse bandado migmatítico	NW Tomar do Geru	630547	8742275
GeSe 076	APg4	Ortognaisse migmatítico	NW Tomar do Geru	631083	8743354
GeSe 077	APg1	Ortognaisse com foliação difusa	NW Tomar do Geru	632569	8744306
GeSe 078-A	APg1	Augen gnaiss	NW Tomar do Geru	633646	8744306
GeSe 078-B	APg1	Gnaiss bandado migmatítico	NW Tomar do Geru	633646	8744306
GeSe 079	APg1	Augen gnaiss	NW Tomar do Geru	633288	8741711
GeSe 080	APgl	Granulito intermediário	NE Tomar do Geru	634983	8744873
GeSe 081	APgl	Granulito intermediário	NE Tomar do Geru	635200	8744364
GeSe 082	APgl	Granulito intermediário	NE Tomar do Geru	635054	8743367
GeSe 083-A	APgl	Granulito ácido	NE Tomar do Geru	634765	8742504
GeSe 083-B	APgl	Granulito básico	NE Tomar do Geru	634765	8742504
GeSe 084-A	APgl	Ortognaisse de coloração clara	NE Tomar do Geru	636210	8741185
GeSe 084-B	APgl	Ortognaisse de coloração clara	NE Tomar do Geru	636210	8741185
GeSe 085	APgl	Granulito intermediário	E Tomar do Geru	637231	8740059
GeSe 086	APgl	Granulito básico	E Tomar do Geru	639082	8739912
GeSe 087	APgl	Granulito ácido	E Tomar do Geru	639686	8739422
GeSe 088	APgl	Granulito intermediário	E Tomar do Geru	640469	8738362
GeSe 089	APgl	Granulito ácido	NW de Umbaúba	643348	8746948
GeSe 090	APgl	Ortognaisse	NE de Itabaianinha	638455	8753207
GeSe 091	APgl	Augen gnaiss	NE de Itabaianinha	637720	8753372
GeSe 092	APg1	Granito-gnaiss	NE de Itabaianinha	636173	8753134
GeSe 093	APg1	Ortognaisse migmatítico	NE de Itabaianinha	635070	8753795
GeSe 094-A	APgl	Granulito ácido	NE de Itabaianinha	638491	8756314

Amostra	Unidade	Litologia	Localização	Datum WGS 84	
				X	Y
GeSe 094-B	APgl	Granulito ácido	NE de Itabaianinha	638491	8756314
GeSe 095	APgl	Granulito ácido	NE de Itabaianinha	640388	8756536
GeSe 096	APgl	Granulito ácido	NE de Itabaianinha	642936	8756910
GeSe 097	APgl	Gnaise	NE de Itabaianinha	643876	8759106
GeSe 098	Apgl	Granulito ácido	NE de Itabaianinha	644040	8759495
GeSe 099	Da	Dique de diabásio	NE de Itabaianinha	645695	8760050
GeSe 100	APgl	Granulito intermediário	NE de Itabaianinha	645378	8759514
GeSe 101	APgl	Granulito ácido	NE de Itabaianinha	642977	8755469
GeSe 102	APgl	Granulito intermediário	NE de Itabaianinha	640694	8752616
GeSe 103	APgl	Ortognaisse migmatítico	N de Itabaianinha	632230	8755200
GeSe 104	APgl	Granito	N de Itabaianinha	631831	8756586
GeSe 105-A	APgl	Granito	NW de Itabaianinha	631507	8758874
GeSe 105-B	APgl	Ortognaisse migmatítico	NW de Itabaianinha	631507	8758874
GeSe 106	APgl	Anfibolito	NW de Itabaianinha	627963	8754099
GeSe 107	Da	Dique de diabásio	NW de Itabaianinha	625842	8768174
GeSe 108-A	MNp	Metarenito	SW Riachão do Dantas, SE-104	625468	8771261
GeSe 108-B	MNp	Filito	SW Riachão do Dantas, SE-104	625468	8771261
GeSe 109-A	APgl	Granito	SW Riachão do Dantas, SE-104	627242	8772050
GeSe 109-B	MNp	Metarenito	SW Riachão do Dantas, SE-104	627242	8772050
GeSe 110	Da	Dique de andesito	SW Riachão do Dantas, SE-104	628519	8772255
GeSe 111	APgl	Ortognaisse	SW Riachão do Dantas, SE-104	638762	8775885
GeSe 112	MNa	Metacalcário	NW Riachão do Dantas, estrada para Colégio	633262	8779927
GeSe 113	MNp	Metaconglomerado	NW Riachão do Dantas, estrada para Colégio	633417	8781011

Amostra	Unidade	Litologia	Localização	Datum WGS 84	
				X	Y
GeSe 114	MNp	Metarenito	NW Riachão do Dantas, estrada para Colégio	632182	8781597
GeSe 115	APgl	Ortognaisse	N de Itabaianinha	634261	8757603
GeSe 116	APgl	Ortognaisse bandado migmatítico	N de Itabaianinha	633942	8759002
GeSe 117	APgl	Granito-gnaisse	N de Itabaianinha	633630	8760124
GeSe 118	APgl	Granito	N de Itabaianinha	633716	8761235
GeSe 119	APg4	Augen gnaisse	N de Itabaianinha	633194	8765813
GeSe 120	APg4	Granito lineado	N de Itabaianinha	633071	8766968
GeSe 121	APgl	Granito	N de Itabaianinha	632724	8769161
GeSe 122	APgl	Granito	N de Itabaianinha	632494	8771081
GeSe 123	APgl	Granito	NE Itabaianinha, estrada para Pedrinhas	635559	8759932
GeSe 124	APg	Gnaisse quartzo-feldspático	NE Itabaianinha, estrada para Pedrinhas	637295	8761722
GeSe 125	Qt	Quartzito	NE Itabaianinha, estrada para Pedrinhas	638460	8761962
GeSe 126-A	Da	Dique aplítico	NE Itabaianinha, estrada para Pedrinhas	637750	8764200
GeSe 126-B	APgl	Ortognaisse	NE Itabaianinha, estrada para Pedrinhas	637750	8764200
GeSe 127-A	APgl	Granulito	NE Itabaianinha, estrada para Pedrinhas	639214	8764756
GeSe 127-B	APgl	Hornblenda- Granulito	NE Itabaianinha, estrada para Pedrinhas	639214	8764756
GeSe 128	APgl	Granulito	NE Itabaianinha, estrada para Pedrinhas	639954	8764835
GeSe 129-A	Da	Dique gabróico	NE Itabaianinha, estrada para Pedrinhas	640595	8764835
GeSe 129-B	APgl	Gnaisse	NE Itabaianinha, estrada para Pedrinhas	640595	8764835
GeSe 130	APgl	Granulito	NW de Pedrinhas, SE-XXX	641995	8766732
GeSe 131	APgl	Granulito	NW de Pedrinhas, SE-XXX	641799	8768161
GeSe 132	APgl	Granulito	NW de Pedrinhas, SE-XXX	640784	8770865
GeSe 133	APgl	Dique básico	N de Riachão do Dantas, SE-XXX	639404	8777809

Amostra	Unidade	Litologia	Localização	Datum WGS 84	
				X	Y
GeSe 134	APgl	Gnaiss	N de Riachão do Dantas, SE-XXX	639193	8778895
GeSe 135	MNI	Metarenito	N de Riachão do Dantas, SE-XXX	639858	8783498
GeSe 136-A	APgl	Granulito básico	E de Arauá, estrada para BR-101	657087	8754784
GeSe 136-B	APgl	Granulito ácido	E de Arauá, estrada para BR-101	657087	8754784
GeSe 137-A	APgl	Granulito básico	E de Arauá, estrada para BR-101	658694	8754891
GeSe 137-B	APgl	Granulito básico	E de Arauá, estrada para BR-101	658694	8754891
GeSe 138	MNI	Metarenito	BR-101, junto a Estância	668607	8752073
GeSe 139	APgl	Granulito ácido	WNW de Estância, margem Rio Piaui	665270	8754731
GeSe 140	APgl	Granito (+ recente)	WNW de Estância, Fazenda Oriente	662134	8754457
GeSe 141	APgl	Sienito	WNW de Estância, Fazenda Barros	661136	8756620
GeSe 142	APgl	Granulito intermediário e granada	WNW de Estância, Fazenda Barros	661350	8756269
GeSe 143	APgl	Granulito ácido	NW de Estância, na estrada para Boquim	660073	8761061
GeSe 144	APgl	Granulito básico	NW de Estância, Fazenda Bom Gosto	659958	8762534
GeSe 145	APgl	Gnaiss quartzo-feldspático	E de Boquim, região do Cachimbo	656770	8767018
GeSe 146	APgl	Granulito intermediário	E de Boquim, região do Cachimbo	657487	8767248
GeSe 147	APgl	Granulito ácido	E de Boquim, região do Cachimbo	658617	8768012
GeSe 148-A	APgl	Granulito básico	NE de Boquim, estrada asfaltada (SE-160) para Salgado	653866	8771972
GeSe 148-B	APgl	Granulito ácido	NE de Boquim, estrada asfaltada (SE-160) para Salgado	653866	8771972
GeSe 148-C	APgl	Granulito ácido	NE de Boquim, estrada asfaltada (SE-160) para Salgado	653866	8771972
GeSe 149	APgl	Granulito básico	NE de Boquim, estrada asfaltada (SE-160) para Salgado	654945	8773361
GeSe 150	MNI	Metarenito	NE de Estância, Riacho Fundo 3	678672	8764858
GeSe 151	MNI	Metarenito	NE de Estância, local denominado Pedreira	678982	8765982
GeSe 152	MNI	Metarenito	NE de Estância, local denominado Pedreira	675545	8751640

Amostra	Unidade	Litologia	Localização	Datum WGS 84	
				X	Y
GeSe 153	MNI	Quartzito	NE de Estância, Acampamento Rosa de Luxemburgo	680834	8772251
GeSe 154	MNI	Quartzito conglomerático	SE de Itaporanga d'Ajuda	684236	8777844
GeSe 155	MNI	Quartzito	SE de Itaporanga d'Ajuda	684313	8777257
GeSe 156	MNI	Quartzito	SE de Itaporanga d'Ajuda	685974	8774893
GeSe 157	MNI	Metarenito	NE de Lagarto	648454	8793711
GeSe 158	MNI	Metassiltito	ENE de Lagarto	669564	8790628
GeSe 159	MNI	Metarenito	Pedreira MM, a NW de Itaporanga d'Ajuda	683884	8784908
GeSe 160-A	MNI	Metarenito verde	Pedreira Serra Azul, estrada Riachão do Dantas-Lagarto	640430	8786813
GeSe 160-B	MNI	Metarenito lilás	Pedreira Serra Azul, estrada Riachão do Dantas-Lagarto	640430	8786813
GeSe 161	MNI	Metarenito	Margem da estrada Riachão do Dantas-Lagarto	641727	8789490
GeSe 162	MNI	Metarenito	ENE de Lagarto, Povoado de Caraíbas	654471	8790898
GeSe 163	MNI	Quartzito	NW de Salgado, São Bento de Cima e de Baixo	663061	8783635
GeSe 164	APgl	Granulito básico	NW de Salgado, entre São Bento de Baixo e Posto Fiscal	664097	8782585
GeSe 165	APgl	Granulito básico	NW de Salgado, estrada para Lagarto (SE-270)	655495	8785774
GeSe 166-A	APgl	Granulito intermediário	Faz. Cuí, estrada Salgado-Lagarto (SE-270)	653658	8786454
GeSe 166-B	APgl	Granulito básico	Faz. Cuí, estrada Salgado-Lagarto (SE-270)	653658	8786454
GeSe 167-A	APgl	Granulito ácido	SE de Lagarto, estrada para Salgado (SE-270)	652448	8787052
GeSe 167-B	APgl	Granulito básico	SE de Lagarto, estrada para Salgado (SE-270)	652448	8787052
GeSe 168	MNI	Metarenito	SE de Lagarto, estrada para Salgado (SE-270)	651916	8787170
GeSe 169	MNI	Metarenito	SSE de Lagarto, Povoado de Cocão a partir da SE-270	647079	8787007
GeSe 170	MNI	Filito	SSE de Lagarto, próximo ao Rio Piauí	646851	8785837
GeSe 171	MNa	Metacalcário	SSE de Lagarto, Faz. Brejinho (do Prefeito)	647512	8784547
GeSe 172	APgl	Granulito básico	SSE de Lagarto, na Faz. Brejinho (do Prefeito)	647065	8784357

Amostra	Unidade	Litologia	Localização	Datum WGS 84	
				X	Y
GeSe 173	MNa	Metacalcário	SSE de Lagarto, Faz. Brejinho (do Prefeito)	647080	8784416
GeSe 174	MNa	Metacalcário	S de Lagarto, entre os povoados de Cajazeira e Curralinho	644052	8783960
GeSe 175-A	APgl	Granito-gnaiss	S de Lagarto, entre os povoados de Cajazeira e Curralinho	643066	8783867
GeSe 175-B	APgl	Granito	S de Lagarto, entre os povoados de Cajazeira e Curralinho	643066	8783867
GeSe 176	APgl	Granulito básico	NE de Riachão do Dantas, Fazenda Areias	641531	8776398
GeSe 177	Qt	Quartzito	NE de Riachão do Dantas, Fazenda Areias	641623	8776622
GeSe 178	APgl	Hornblenda-gnaiss	NE de Riachão do Dantas, Fazenda Areias	642902	8777920
GeSe 179	APgl	Granulito intermediário	SE de Riachão do Dantas, Fazenda Maxixe	640858	8774290
GeSe 180	APgl	Granulito básico	SE de Riachão do Dantas, na estrada para a Fazenda Maxixe	642033	8774079
GeSe 181-A	APgl	Granulito intermediário	E de Riachão do Dantas, Fazenda Maxixe	644487	8775268
GeSe 181-B	APgl	Granulito básico	E de Riachão do Dantas, Fazenda Maxixe	644487	8775268
GeSe 182	APgl	Granulito básico	E de Riachão do Dantas, Fazenda Maxixe	646145	8776216
GeSe 183	APgl	Granulito intermediário	NE de Riachão do Dantas, entre as fazendas Maxixe e Piauí	650806	8779872
GeSe 184	APgl	Granulito ácido	NE de Riachão do Dantas, Fazenda Piauí-Povoado dos Treze	653337	8780430
GeSe 185	MNI	Metarenito	NW de Lagarto, na estrada para Simão Dias (SE-270)	641672	8796813
GeSe 186-A	MNI	Metargilito	NW de Lagarto, pedreira na estrada para Simão Dias	640991	8797310
GeSe 186-B	MNI	Metarenito muito fino	NW de Lagarto, pedreira na estrada para Simão Dias	640991	8797310
GeSe 186-C	MNI	Metarenito fino	NW de Lagarto, pedreira na estrada para Simão Dias	640991	8797310
GeSe 187	MNp	Metarenito	NW de Lagarto, na estrada para Simão Dias (SE-270)	640702	8798936
GeSe 188	MNI	Metarenito	NW de Lagarto, na estrada para Simão Dias (SE-270)	639651	8800981
GeSe 189	MNp	Metarenito	NW de Lagarto, na estrada para Simão Dias (SE-270)	638725	8802673

APÊNDICE B

Teores de K, U e Th, densidade e produção de calor radiogênico das amostras da área de estudo

Amostra	Teores			Densidade ($\times 10^3 \text{ kgm}^{-3}$)	Calor radiogênico (μWm^{-3})
	K(%)	U(ppm)	Th(ppm)		
GeSe 001	2,14	2,19	10,80	2,603	1,456
GeSe 002	4,07	0,92	15,26	2,612	1,619
GeSe 003	2,97	0,35	1,04	2,658	0,434
GeSe 004	4,35	5,18	35,35	2,661	4,122
GeSe 005	4,10	8,29	29,54	2,676	4,518
GeSe 006-A	0,95	0,56	4,14	2,674	0,514
GeSe 006-B	3,37	3,35	32,88	2,892	3,696
GeSe 007-A	4,74	6,18	88,93	2,610	7,909
GeSe 007-B	nd	nd	nd	2,651	nd
GeSe 008-A	1,54	0,51	1,38	2,790	0,384
GeSe 008-B	1,97	0,41	0,88	2,706	0,352
GeSe 009	0,78	nd	1,09	2,734	0,150
GeSe 010	3,57	2,00	30,33	2,663	2,905
GeSe 011	3,73	6,53	13,92	2,619	2,901
GeSe 012-A	3,67	1,91	11,98	2,617	1,839
GeSe 012-B	3,47	1,91	11,98	2,607	1,588
GeSe 013-A	nd	nd	nd	2,586	nd
GeSe 013-B	2,01	3,28	10,38	2,670	1,730
GeSe 014	2,63	1,53	8,67	2,647	1,215
GeSe 015	2,40	4,34	13,42	2,680	2,252
GeSe 016	2,53	2,36	11,25	2,601	1,562
GeSe 017	1,90	1,54	8,74	2,614	1,141
GeSe 018	2,67	3,68	12,65	2,732	2,095
GeSe 019	2,30	3,00	10,85	2,699	1,737
GeSe 020	2,60	2,88	12,18	2,668	1,805
GeSe 021	2,66	3,23	11,95	2,691	1,900
GeSe 022	2,21	1,81	7,73	2,654	1,187
GeSe 023	nd	nd	nd	2,546	nd
GeSe 024	nd	nd	nd	nd	nd
GeSe 025	nd	nd	nd	nd	nd
GeSe 026-A	4,39	3,39	29,48	2,605	3,204
GeSe 026-B	nd	nd	nd	2,607	nd
GeSe 027	1,90	2,49	9,30	2,569	1,390
GeSe 028	0,79	2,44	17,80	2,588	1,852
GeSe 029-A	nd	nd	nd	2,569	nd

Amostra	Teores			Densidade ($\times 10^3 \text{ kgm}^{-3}$)	Calor Radiogênico (μWm^{-3})
	K(%)	U(ppm)	Th(ppm)		
GeSe 029-B	nd	nd	nd	2,686	nd
GeSe 030	0,01	0,48	0,61	2,506	0,154
GeSe 031-A	4,01	2,26	15,21	2,615	1,966
GeSe 031-B	nd	nd	nd	2,539	nd
GeSe 031-C	nd	nd	nd	2,692	nd
GeSe 031-D	nd	nd	nd	2,695	nd
GeSe 032-A	1,91	2,55	9,97	2,644	1,792
GeSe 032-B	3,07	3,07	6,15	2,656	1,478
GeSe 033-A	nd	nd	nd	2,624	nd
GeSe 033-B	3,49	8,08	26,75	2,598	4,093
GeSe 034-A	3,86	42,55	65,37	2,615	15,320
GeSe 034-B	2,31	2,98	12,82	2,637	1,826
GeSe 035	2,50	2,96	7,03	2,626	1,441
GeSe 036	3,59	1,21	10,32	2,628	1,325
GeSe 037-A	4,63	9,38	93,24	2,601	8,951
GeSe 037-B	4,33	5,57	78,43	2,614	7,029
GeSe 038	2,32	2,53	11,06	2,598	1,571
GeSe 039	1,81	2,01	7,85	2,613	1,190
GeSe 040	1,95	1,50	6,88	2,659	1,029
GeSe 041	1,92	2,99	10,31	2,686	1,653
GeSe 042	1,95	2,20	9,55	2,648	1,382
GeSe 043	3,38	3,49	13,17	2,607	2,052
GeSe 044	2,30	3,43	10,15	2,668	1,778
GeSe 045	2,06	1,92	10,05	2,629	1,345
GeSe 046	2,35	1,85	9,54	2,561	1,286
GeSe 047	2,39	1,74	8,99	2,628	1,259
GeSe 048	2,92	2,97	24,21	2,619	2,630
GeSe 049	4,46	9,08	68,38	2,616	7,248
GeSe 050	nd	nd	nd	2,650	nd
GeSe 051	1,77	1,07	6,99	2,703	0,926
GeSe 052	3,51	3,41	20,01	2,634	2,526
GeSe 053-A	0,17	0,18	0,71	2,726	0,112
GeSe 053-B	nd	nd	nd	2,922	nd
GeSe 054	0,19	0,18	0,72	3,010	0,127
GeSe 055	2,65	3,29	12,45	2,676	1,938
GeSe 056	1,46	1,08	13,07	2,651	1,294

Amostra	Teores			Densidade ($\times 10^3 \text{ kgm}^{-3}$)	Calor Radiogênico (μWm^{-3})
	K(%)	U(ppm)	Th(ppm)		
GeSe 057	3,55	3,69	20,12	2,642	2,615
GeSe 058	3,14	2,92	18,07	2,615	2,222
GeSe 059	3,47	2,43	19,52	2,639	2,248
GeSe 060	nd	nd	nd	2,654	nd
GeSe 061	1,99	3,63	12,82	2,785	2,069
GeSe 062	1,42	0,95	8,34	2,664	0,941
GeSe 063	1,46	0,89	5,40	2,664	0,729
GeSe 064	1,98	2,97	3,88	2,676	1,207
GeSe 065	2,75	4,07	13,97	2,683	2,256
GeSe 066	2,18	2,93	13,07	2,698	1,860
GeSe 067-A	1,96	2,35	9,02	2,700	1,412
GeSe 067-B	2,33	2,31	8,66	2,675	1,398
GeSe 067-C	2,02	2,17	9,59	2,692	1,406
GeSe 067-D	2,97	2,47	11,67	2,747	1,751
GeSe 068	0,23	0,97	1,40	2,689	0,366
GeSe 069	1,89	1,78	6,24	2,690	1,062
GeSe 070	1,61	1,20	4,73	2,688	0,783
GeSe 071	1,84	1,16	4,32	2,653	0,756
GeSe 072	2,90	3,32	11,29	2,728	1,926
GeSe 073	1,89	1,08	5,51	2,670	0,827
GeSe 074	1,81	1,76	9,07	2,693	1,246
GeSe 075-A	2,40	1,19	5,75	2,661	0,915
GeSe 075-B	nd	nd	nd	2,615	nd
GeSe 076	nd	nd	nd	2,676	nd
GeSe 077	3,92	2,71	25,94	2,627	2,781
GeSe 078-A	1,42	2,71	25,78	2,699	2,611
GeSe 078-B	2,92	2,49	10,50	2,731	1,659
GeSe 079	N	N	N	2,705	N
GeSe 080	2,85	3,87	24,22	2,647	2,879
GeSe 081	nd	nd	nd	2,702	nd
GeSe 082	1,65	1,40	7,10	2,717	1,02
GeSe 083-A	2,38	3,28	17,88	2,748	2,344
GeSe 083-B	1,74	1,49	10,10	2,610	1,203
GeSe 084-A	nd	nd	nd	2,706	nd
GeSe 084-B	1,14	1,29	6,20	2,767	0,889

Amostra	Teores			Densidade ($\times 10^3 \text{ kgm}^{-3}$)	Calor Radiogênico (μWm^{-3})
	K(%)	U(ppm)	Th(ppm)		
GeSe 085	0,11	0,15	0,57	2,783	0,091
GeSe 086	0,89	0,85	3,19	3,085	0,597
GeSe 087	nd	nd	nd	2,713	nd
GeSe 088	1,07	5,32	30,15	2,882	3,791
GeSe 089	3,91	0,55	1,56	2,773	0,633
GeSe 090	1,19	1,50	12,99	2,700	1,395
GeSe 091-A	2,06	5,27	36,15	2,704	4,053
GeSe 091-B	3,70	6,77	26,41	2,711	3,929
GeSe 092	3,96	1,48	10,24	2,683	1,451
GeSe 093	3,01	3,81	21,77	2,659	2,725
GeSe 094-A	1,16	0,54	1,83	2,729	0,378
GeSe 094-B	0,64	0,31	0,56	2,708	0,179
GeSe 095	4,34	1,98	33,08	2,655	3,150
GeSe 096	3,70	0,34	6,61	2,681	0,886
GeSe 097	4,64	0,50	12,06	2,642	1,368
GeSe 098	3,91	1,36	5,53	2,707	1,102
GeSe 099	2,84	2,12	11,75	2,789	1,677
GeSe 100	4,24	1,00	4,54	2,694	0,967
GeSe 101	3,76	2,66	12,72	2,744	1,947
GeSe 102	2,06	0,32	2,01	2,842	0,437
GeSe 103	3,59	4,58	15,17	2,661	2,526
GeSe 104	1,86	9,48	9,23	2,700	3,249
GeSe 105-A	4,26	4,00	38,57	2,643	4,008
GeSe 105-B	1,99	1,56	9,41	2,671	1,225
GeSe 106	1,03	0,54	2,64	2,961	0,458
GeSe 107	2,08	1,82	3,59	2,919	0,985
GeSe 108-A	3,17	2,30	14,84	2,669	1,893
GeSe 108-B	3,01	3,96	21,11	2,680	2,739
GeSe 109-A	3,75	4,99	50,62	2,631	5,002
GeSe 109-B	1,56	1,24	8,15	2,670	1,017
GeSe 110	4,62	6,08	54,86	2,660	5,704
GeSe 111	0,40	0,17	0,56	2,741	0,122
GeSe 112-A	nd	0,33	0,60	2,805	0,131
GeSe 112-B	nd	0,22	0,51	2,793	0,095
GeSe 113	nd	nd	nd	nd	nd
GeSe 114	1,95	2,36	8,18	2,702	1,356
GeSe 115	3,81	5,72	26,553	2,629	3,567

Amostra	Teores			Densidade ($\times 10^3 \text{ kgm}^{-3}$)	Calor Radiogênico (μWm^{-3})
	K(%)	U(ppm)	Th(ppm)		
GeSe 116	2,21	2,14	10,82	2,690	1,500
GeSe 117	3,68	3,47	13,20	2,627	2,092
GeSe 118	nd	nd	nd	2,636	nd
GeSe 119	3,90	3,66	26,31	2,639	3,055
GeSe 120	nd	nd	nd	2,638	nd
GeSe 121	3,72	6,08	18,62	2,634	3,121
GeSe 122	nd	nd	nd	2,627	nd
GeSe 123	nd	nd	nd	2,657	nd
GeSe 124	0,86	1,27	6,63	2,650	0,849
GeSe 125	0,24	0,90	5,74	2,645	0,637
GeSe 126-A	3,31	8,51	16,61	2,658	3,590
GeSe 126-B	3,88	7,18	24,34	2,647	3,816
GeSe 127-A	0,70	0,45	2,73	2,745	0,376
GeSe 127-B	0,68	1,62	3,05	2,754	0,705
GeSe 128	0,75	0,63	0,75	2,839	0,299
GeSe 129-A	1,88	0,63	4,75	2,829	0,699
GeSe 129-B	1,16	0,34	0,73	2,723	0,249
GeSe 130	0,94	0,54	1,06	2,733	0,304
GeSe 131	1,14	0,28	1,82	2,714	0,306
GeSe 132	0,94	0,59	1,74	2,760	0,368
GeSe 133	3,77	0,75	5,03	2,793	0,925
GeSe 134	2,21	0,35	2,42	2,659	0,458
GeSe 135	2,54	2,99	14,07	2,732	2,003
GeSe 136-A	4,07	1,34	13,51	2,691	1,655
GeSe 136-B	1,29	2,58	13,94	2,987	1,934
GeSe 137-A	0,06	0,37	1,26	3,062	0,213
GeSe 137-B	3,41	0,76	15,78	2,883	1,715
GeSe 138	2,43	1,70	8,72	2,616	1,299
GeSe 139	0,72	0,58	4,16	2,772	0,518
GeSe 140	3,78	4,11	99,72	2,767	8,510
GeSe 141	4,37	3,18	57,66	2,708	5,228
GeSe 142	3,50	1,78	43,33	2,727	3,820
GeSe 143	2,42	0,59	54,58	2,736	0,705
GeSe 144	2,04	0,12	0,69	2,826	0,283
GeSe 145	4,05	0,23	1,33	2,606	0,513

Amostra	Teores			Densidade ($\times 10^3 \text{ kgm}^{-3}$)	Calor Radiogênico (μWm^{-3})
	K(%)	U(ppm)	Th(ppm)		
GeSe 146	1,90	0,51	32,83	2,644	2,526
GeSe 147	2,00	0,66	6,09	2,853	0,823
GeSe 148-A	nd	nd	nd	nd	nd
GeSe 148-B	0,89	0,23	1,33	2,988	0,260
GeSe 148-C	nd	nd	nd	nd	nd
GeSe 149	2,41	1,23	18,91	2,668	1,828
GeSe 150	2,52	3,27	7,93	2,612	1,572
GeSe 151	2,16	2,96	8,83	2,645	1,542
GeSe 152	2,79	2,09	9,76	2,624	1,433
GeSe 153	0,06	2,49	4,96	2,626	0,961
GeSe 154	nd	0,80	0,80	2,563	0,248
GeSe 155	0,03	1,09	1,42	2,576	0,364
GeSe 156	nd	1,08	2,08	2,564	0,400
GeSe 157	2,53	4,93	16,66	2,723	2,679
GeSe 158	2,75	3,17	12,85	2,590	1,882
GeSe 159	2,55	3,70	12,51	2,644	2,013
GeSe 160-A	2,51	3,37	14,02	2,685	2,059
GeSe 160-B	0,75	1,46	5,71	2,678	0,834
GeSe 161	2,48	3,98	14,82	2,609	2,204
GeSe 162	nd	nd	nd	2,645	nd
GeSe 163	0,01	0,19	0,63	2,555	0,088
GeSe 164	0,59	0,09	0,85	2,713	0,138
GeSe 165	0,95	nd	0,77	2,733	0,144
GeSe 166-A	1,73	0,94	3,57	2,827	0,682
GeSe 166-B	0,65	0,04	1,22	2,740	0,158
GeSe 167-A	2,83	2,22	19,66	2,653	2,158
GeSe 167-B	3,29	0,94	3,57	2,887	0,853
GeSe 168	1,71	2,81	17,20	2,545	1,953
GeSe 169	1,49	1,20	8,77	2,630	1,027
GeSe 170	3,35	2,17	13,22	2,618	1,804
GeSe 171	0,16	0,67	0,81	2,818	0,254
GeSe 172	1,13	0,35	1,02	2,941	0,290
GeSe 173	0,04	0,43	0,67	2,839	0,169
GeSe 174	0,02	0,13	0,50	2,726	0,071
GeSe 175-A	1,05	0,10	0,84	2,720	0,184

Amostra	Teores			Densidade ($\times 10^3 \text{ kgm}^{-3}$)	Calor Radiogênico (μWm^{-3})
	K(%)	U(ppm)	Th(ppm)		
GeSe 175-B	2,84	1,08	16,53	2,779	1,736
GeSe 176	1,00	0,33	0,82	2,696	0,235
GeSe 177	0,21	0,29	0,98	2,634	0,158
GeSe 178	4,88	0,32	3,12	2,640	0,740
GeSe 179	nd	nd	nd	2,709	nd
GeSe 180	1,24	0,54	1,34	2,700	0,348
GeSe 181-A	1,33	0,16	1,48	2,654	0,264
GeSe 181-B	0,08	0,14	0,42	3,003	0,081
GeSe 182	0,12	0,03	0,63	2,964	0,069
GeSe 183	0,48	0,16	0,79	2,775	0,145
GeSe 184	3,88	1,58	22,45	2,617	2,251
GeSe 185	2,42	2,88	14,03	2,664	1,911
GeSe 186-A	nd	nd	nd	2,682	nd
GeSe 186-B	nd	nd	nd	2,708	nd
GeSe 186-C	nd	nd	nd	2,711	nd
GeSe 187	1,55	1,91	8,61	2,565	1,170
GeSe 188	nd	nd	nd	2,751	nd
GeSe 189	2,34	4,84	21,36	2,686	2,925

APÊNDICE C

Teores de K, U e Th, condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico das amostras da área de estudo

Amostra	Teores			Calor radiogênico (μWm^{-3})	Condutividade térmica ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)	Difusividade térmica ($\times 10^{-6}\text{m}^2\text{s}^{-1}$)	Calor específico ($\times 10^3\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$)
	K(%)	U(ppm)	Th(ppm)				
GeSe 049	4,46	9,08	68,38	7,248	nd	nd	nd
GeSe 054	0,19	0,18	0,72	0,127	1,56	1,49	0,348
GeSe 055	2,65	3,29	12,45	1,938	nd	nd	nd
GeSe 057	3,55	3,69	20,12	2,615	nd	nd	nd
GeSe 058	3,14	2,92	18,07	2,222	3,16	2,01	0,604
GeSe 059	3,47	2,43	19,52	2,248	2,87	1,53	0,709
GeSe 062	1,42	0,95	8,34	0,941	0,35	nd	nd
GeSe 064	1,98	2,97	3,88	1,207	2,68	1,90	0,534
GeSe 065	2,75	4,07	13,97	2,256	2,71	1,73	0,585
GeSe 066	2,18	2,93	13,07	1,860	nd	nd	nd
GeSe 067-A	1,96	2,35	9,02	1,412	2,92	1,65	0,656
GeSe 067-C	2,02	2,17	9,59	1,406	2,91	1,82	0,594
GeSe 068	0,23	0,97	1,40	0,366	3,07	1,58	0,721
GeSe 069	1,89	1,78	6,24	1,062	3,17	2,05	0,576
GeSe 071	1,84	1,16	4,32	0,756	2,35	1,84	0,539
GeSe 072	2,90	3,32	11,29	1,926	3,54	2,07	0,627
GeSe 074	1,81	1,76	9,07	1,246	3,16	1,96	0,598
GeSe 077	3,92	2,71	25,94	2,781	nd	nd	nd
GeSe 078-A	1,42	2,71	25,78	2,611	2,29	1,96	0,430
GeSe 080	2,85	3,87	24,22	2,879	nd	nd	nd
GeSe 083-B	1,74	1,49	10,10	1,203	nd	nd	nd
GeSe 093	3,01	3,81	321,77	2,725	2,58	1,84	0,530

Amostra	Teores			Calor radiogênico ($\mu W m^{-3}$)	Condutividade térmica ($W m^{-1} K^{-1}$)	Difusividade térmica ($\times 10^{-6} m^2 s^{-1}$)	Calor específico ($\times 10^3 J kg^{-1} K^{-1}$)
	K(%)	U(ppm)	Th(ppm)				
GeSe 098	3,91	1,36	5,53	1,102	2,65	1,82	0,536
GeSe 099	2,84	2,12	11,75	1,677	2,89	1,99	0,523
GeSe 101	3,76	2,66	12,72	1,947	2,52	1,71	0,536
GeSe 108-A	3,17	2,30	14,84	1,893	2,36	1,27	0,261
GeSe 112-A	nd3	0,33	0,60	0,131	nd	nd	nd
GeSe 124	0,86	1,27	6,63	0,849	2,79	1,7	0,615
GeSe 126-B	3,88	7,18	24,34	3,816	2,02	1,37	0,387
GeSe 127-A	0,70	0,45	2,73	0,376	2,08	1,58	0,481
GeSe 133	3,77	0,75	5,03	0,925	2,5	1,96	0,458
GeSe 135	2,54	2,99	14,07	2,003	3,28	2,08	0,575
GeSe 138	2,43	1,70	8,72	1,299	2,98	2,02	0,562
GeSe 139	0,72	0,58	4,16	0,518	nd	nd	nd
GeSe 141	4,37	3,18	57,66	5,228	2,16	1,81	0,439
GeSe 142	3,50	1,78	43,33	3,820	3,15	2,07	0,557
GeSe 148-B	0,89	0,23	1,33	0,260	2,06	1,76	0,395
GeSe 150	2,52	3,27	7,93	1,572	2,12	1,7	0,475
GeSe 151	2,16	2,96	8,83	1,542	3,08	1,79	0,650
GeSe 153	0,06	2,49	4,96	0,961	5,86	2,03	1,100
GeSe 154	nd	0,80	0,80	0,248	4,63	1,66	1,085
GeSe 155	0,03	1,09	1,42	0,364	nd	nd	1,180
GeSe 157	2,53	4,93	16,66	2,679	nd	nd	nd
GeSe 158	2,75	3,17	12,85	1,882	nd	nd	nd

Amostra	Teores			Calor radiogênico ($\mu W m^{-3}$)	Condutividade térmica ($W m^{-1} K^{-1}$)	Difusividade térmica ($\times 10^{-6} m^2 s^{-1}$)	Calor específico ($\times 10^3 J kg^{-1} K^{-1}$)
	K(%)	U(ppm)	Th(ppm)				
GeSe 159	2,55	3,70	12,51	2,013	nd	nd	nd
GeSe 160-A	2,51	3,37	14,02	2,059	nd	nd	nd
GeSe 160-B	0,75	1,46	5,71	0,834	4,35	1,80	0,904
GeSe 164	0,59	0,09	0,85	0,138	nd	nd	nd
GeSe 165	0,95	nd	0,77	0,144	1,9	1,52	0,457
GeSe 167-A	2,83	2,22	19,66	2,158	nd	nd	nd
GeSe 167-B	3,29	0,94	3,57	0,853	nd	nd	nd
GeSe 168	1,71	2,81	17,20	1,953	3,37	1,66	0,801
GeSe 170	3,35	2,17	13,22	1,804	2,48	1,74	0,524
GeSe 172	1,13	0,35	1,02	0,290	2,76	2,02	0,462
GeSe 173	0,04	0,43	0,67	0,169	4,41	1,79	0,866
GeSe 174	0,02	0,13	0,50	0,071	5,25	2,06	0,935
GeSe 175-B	2,84	1,08	16,53	1,736	2,33	1,85	0,457
GeSe 177	0,21	0,29	0,98	0,158	5,61	1,64	1,299
GeSe 180	1,24	0,54	1,34	0,348	3,38	1,84	0,678
GeSe 181-A	1,33	0,16	1,48	0,264	0,99	nd	nd
GeSe 184	3,88	1,58	22,45	2,251	2,29	1,81	0,485
GeSe 185	2,42	2,88	14,03	1,911	2,61	1,61	0,608
GeSe 187	1,55	1,91	8,61	1,170	3,04	1,97	0,600
GeSe 189	2,34	4,84	21,36	2,925	3,16	1,95	0,603

Referências Bibliográficas

- Adams, J. A. S. e Gasparine, P. (1970) *Gamma-Ray Spectrometry of Rocks*, Elsevier Company.
- Allard, G. D. e Tibana, P. (1966) Extensão pré-cretácea e petrografia da série estância, reconstituída pelo estudo dos conglomerados cretáceos do recôncavo, *Boletim técnico da Petrobras*, **9**, n.1:17–45.
- Alves Jr., P. B. (2004) Determinação de perfis de taxa de produção de calor radiogênico em poços da bacia do Recôncavo, Trabalho de graduação, monografia, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- Barbosa, J. S. F. e Dominguez, J. M. L. (1996) *Geologia da Bahia: texto explicativo para o mapa geológico ao milionésimo*, SICT/SGM, Salvador.
- Branner, J. C. (1913) The estancia beds of bahia, sergipe and alagoas, brazil, *American Journal of Science*, **4**, **210(35)**:619–631.
- Clauser, C. e Hueges, E. (1995) Thermal conductivity of rocks and minerals, *AGU Handbook f Physical constant.*, **39**:105–126.
- Currie, L. A. (1968) Limites for qualitative detection and quantitative determination. application to radiochemistry, *Analytical Chemistry*, **40(3)**:586–593.
- D’el-Rey Silva, L. J. H. (1999) Basin infilling in the southern-central part of the sergipano belt (ne brazil) and implications for the evolution of pan-african/brasiliano cratons and neoproterozoic sedimentary cover, *Journal of South American Earth Sciences*, **12**:453–470.
- Fowler, C. M. R. (1990) *The solid earth - An introduction to global geophysics*, University Press, Cambridge.
- Halliday, D.; Resnick, R. e Krane, K. (1996) *Física 2- Livros Técnicos e Científicos*, Editora S.A.
- Mottaghy, D.; Schellschmidt, R.; Popov, Y. A.; Clauser, C.; Kukkonen, L. T.; Nover, G. and Milanovsky, S. e Romushkevich, R. A. (2005) New heat data from the immediate vicinity of the Kola super-deep borehole: vertical variation in heat flow confirmed and attributed to advection, *Tectonophysics*.
- Oliveira, N. B. (2006) Efeitos do gradiente do campo magnético na determinação da porosidade por ressonância magnética nuclear, Tese de doutorado, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

- Reys, L. M. G. (2008) Distribuição vertical da taxa volumétrica de produção de calor radiogênico no Cráton do São Francisco, Tese de doutorado, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- Saes, G. S. e Vilas-Boas, G. S. (1986) Fácies sedimentares e modelo de sedimentação da formação acauã, pré-cambriano superior no nordeste da bahia, *Revista Brasileira de Geociências*, **16**, n.b:294–300.
- Santos, R. A.; Martins, A. A. M.; Neves, J. P. e Leal, R. A. (1998) *Geologia e Recursos Minerais do Estado de Sergipe*, CPRM/Codise.
- Sapucaia, N. S. (2004) Diferenciação litológica, teores de potássio, urânio, tório e taxa de produção de calor radiogênico no embasamento adjacente às bacias sedimentares de Camamu e Almada, Tese de mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- Schon, J. H. (1996) *Physical properties of rocks*, Editora Pergamon.
- Silva Filho, M. A.; Bonfim, L. F. C. e Santos, R. A. (1977) *Projeto Baixo São Francisco/Vaza-Barris: Relatório*, vol. XIX, CPRM, Salvador.