

FRANCISCO VALDYR DA SILVA

# INTEGRAÇÃO GAMAESPECTROMÉTRICA-GEOLÓGICA DA FOLHA CURITIBA

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, Curso de Pós-Graduação em Geologia, Área de Concentração Geologia Exploratória, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador Principal:  
Prof. Dr. Francisco José Fonseca Ferreira

Co-orientadores:  
Prof. Dr. José Manuel dos Reis Neto  
Prof. Dr. Sidnei Pires Rostirolla

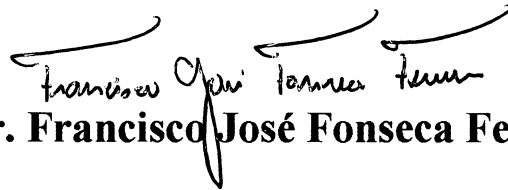
CURITIBA  
1999

# TERMO DE APROVAÇÃO

**FRANCISCO VALDYR DA SILVA**

**Integração Gamaespectrométrica-Geológica, da Folha Curitiba**

**Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Geologia, com área de concentração em Geologia Exploratória, da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos Professores:**



**Presidente: Prof. Dr. Francisco José Fonseca Ferreira**



**Prof. Dr. Alberto Pio Fiori**



**Prof. Dr. Raimundo Almeida Filho**

**Curitiba, setembro de 1999**

*Dedico esta aos meus primeiros orientadores:*

*José Chagas da Silva e Maria do Patrocínio da Silva  
meus pais.*

*Igualmente à minha esposa Ivanize, pelo seu amor e  
incentivo, a minha irmã Cecília e as minhas filhas Ana  
Cecília e Taiana, certeza de que o amanhã será sempre  
um lindo dia.*

## AGRADECIMENTOS

Inúmeras pessoas contribuíram direta ou indiretamente na laboriosa tarefa de executar e concluir este trabalho e, antecipadamente, peço desculpas àquelas que por falha de minha memória não forem citadas.

Ao Prof. Dr. Francisco José Fonseca Ferreira meu orientador e amigo que além de ser o responsável pelo meu retorno as atividades acadêmicas, constituiu-se no maior incentivador deste trabalho.

Ao Prof. Dr. José Manoel dos Reis Neto por sua compreensão e grandiosa colaboração nas discussões sobre este trabalho.

Ao Prof. Dr. Eduardo Salamuni por sua colaboração.

A todos os professores do Departamento de Geologia que trouxeram uma palavra de incentivo para levar a cabo esta árdua tarefa.

Ao Maximilian Forlin pelo espírito de colaboração que tanto me auxiliou na execução deste trabalho.

Ao Oto Laurentino Rosa pela inestimável colaboração na digitalização de mapas e *layers* da área de estudo.

Ao Rodoilton Stevanato pelas “dicas” e colaboração.

A todos os funcionários do Departamento, os quais me deram grande incentivo para realização desta obra.

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) pelo apoio logístico ao ceder as principais bases de dados da área de estudos.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	3
<b>3 MATERIAS</b> .....	5
<b>4 SÍNTESE DOS FUNDAMENTOS GAMAESPECTROMÉTRICOS</b> .....	7
4.1 Radioatividade.....	7
4.1.1 Radiação Alfa.....	7
4.1.2 Radiação Beta.....	7
4.1.3 Radiação Gama.....	8
4.2 Comportamento geoquímico de K, Th e U em rochas e solos.....	14
4.2.1 Potássio.....	14
4.2.2 Tório.....	15
4.2.3 Urânio.....	15
4.2.4 Ocorrências de radionuclídeos em rochas.....	16
<b>5 DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO</b> .....	19
5.1 Pré-processamento dos dados aerogeofísicos.....	19
5.1.1 Tratamento gamaespectrométrico.....	20
5.2 Processamento.....	31
5.2.1 Geração de imagens geofísicas.....	31
5.2.2 Composição RGB.....	31
5.2.3 Imagem digital de sensoriamento remoto.....	34
5.2.4 Drenagem.....	37
5.2.5 Geração de modelo digital de terreno.....	38
5.2.6 Mapa geológico.....	40
5.2.7 Integração de imagens geofísicas e de satélite.....	44
5.2.8 Modelo digital de terreno e integração de imagens.....	48

<b>6 INTEGRAÇÃO GAMAESPECTROMÉTRICA-GEOLÓGICA.....</b>	<b>52</b>
6.1 Aerogamespectrometria da Folha Curitiba.....	52
6.1.1 Abordagem geral.....	52
6.1.1.1 Considerações sobre o potássio.....	52
6.1.1.1.1 Complexo Atuba.....	52
6.1.1.1.2 Complexo Meia Lua e gnaisses tipo Tigre.....	54
6.1.1.1.3 Formação Água Clara.....	55
6.1.1.1.4 Seqüência Perau.....	55
6.1.1.1.5 Formação Betara.....	56
6.1.1.1.6 Formação Capiru.....	56
6.1.1.1.7 Formação Votuverava.....	59
6.1.1.1.8 Formação Antinha.....	60
6.1.1.1.9 Granitóides.....	61
6.1.1.1.10 Aluviões e Formação Guabirotuba.....	63
6.1.1.2 Considerações sobre o tório.....	66
6.1.1.2.1 Complexo Atuba.....	66
6.1.1.2.2 Complexo Meia Lua e gnaisses tipo Tigre.....	68
6.1.1.2.3 Formação Água Clara.....	68
6.1.1.2.4 Seqüência Perau.....	69
6.1.1.2.5 Formação Betara.....	69
6.1.1.2.6 Formação Capiru.....	69
6.1.1.2.7 Formação Votuverava.....	70
6.1.1.2.8 Formação Antinha.....	71
6.1.1.2.9 Granitóides.....	71
6.1.1.2.10 Aluviões e Formação Guabirotuba.....	72
6.1.1.3 Considerações sobre o urânio.....	74
6.1.1.3.1 Complexo Atuba.....	74
6.1.1.3.2 Complexo Meia Lua e gnaisses tipo Tigre.....	76
6.1.1.3.3 Formação Água Clara.....	76
6.1.1.3.4 Seqüência Perau.....	77
6.1.1.3.5 Formação Betara.....	77

6.1.1.3.6 Formação Capiru.....	78
6.1.1.3.7 Formação Votuverava.....	78
6.1.1.3.8 Formação Antinha.....	79
6.1.1.3.9 Granitóides.....	80
6.1.1.3.10 Aluviões e Formação Guabirota.....	81
6.1.1.4 Considerações sobre a razão Th/K.....	83
6.1.1.4.1 Complexo Atuba.....	83
6.1.1.4.2 Complexo Meia Lua.....	84
6.1.1.4.3 Formação Água Clara.....	84
6.1.1.4.4 Seqüência Perau.....	84
6.1.1.4.5 Formação Betara.....	85
6.1.1.4.6 Formação Capiru.....	85
6.1.1.4.7 Formação Votuverava.....	85
6.1.1.4.8 Formação Antinha.....	86
6.1.1.4.9 Granitóides.....	86
6.1.1.4.10 Aluviões e Formação Guabirota.....	86
6.1.1.5 Considerações sobre a razão U/K.....	88
6.1.1.5.1 Complexo Atuba.....	88
6.1.1.5.2 Complexo Meia Lua.....	88
6.1.1.5.3 Formação Água Clara.....	89
6.1.1.5.4 Seqüência Perau.....	89
6.1.1.5.5 Formação Betara.....	89
6.1.1.5.6 Formação Capiru.....	89
6.1.1.5.7 Formação Votuverava.....	90
6.1.1.5.8 Formação Antinha.....	90
6.1.1.5.9 Granitóides.....	91
6.1.1.5.10 Aluviões e Formação Guabirota.....	91
6.1.1.6 Considerações sobre a razão U/Th.....	93
6.1.1.6.1 Complexo Atuba.....	93
6.1.1.6.2 Complexo Meia Lua.....	94
6.1.1.6.3 Formação Água Clara.....	94

6.1.1.6.4 Seqüência Perau.....	94
6.1.1.6.5 Formação Betara.....	94
6.1.1.6.6 Formação Capiru.....	95
6.1.1.6.7 Formação Votuverava.....	95
6.1.1.6.8 Formação Antinha.....	95
6.1.1.6.9 Granitóides.....	96
6.1.1.6.10 Aluviões e Formação Guabirota.....	96
6.1.1.7 Composição Ternária.....	98
6.2 Abordagem por unidades litoestratigráficas.....	102
6.2.1 Complexo Atuba.....	102
6.2.2 Complexo Meia Lua.....	113
6.2.3 Formação Água Clara.....	116
6.2.4 Seqüência Perau.....	121
6.2.5 Formação Betara.....	124
6.2.6 Formação Capiru.....	127
6.2.7 Formação Votuverava.....	135
6.2.8 Formação Antinha.....	141
6.2.9 Unidades graníticas.....	145
6.2.10 Aluviões e Formação Guabirota.....	152
6.2.11 Estatística geral das unidades litoestratigráficas.....	155
6.3 Abordagem por agrupamentos litológicos.....	158
6.3.1 Gnaiss e migmatitos.....	160
6.3.2 Xistos.....	161
6.3.3 Metassedimentos.....	166
6.3.4 Metacalcários e mármore.....	171
6.3.5 Granitos, aluviões e Formação Guabirota.....	176
6.3.6 Síntese dos agrupamentos litológicos.....	176
6.4 Abordagem por domínios tectono-estruturais.....	178
6.4.1 Domínio I.....	178
6.4.2 Domínio II.....	180
6.4.3 Domínio III.....	182



6.4.4 Domínio IV.....	184
6.4.5 Domínio V.....	186
6.4.6 Domínio VI.....	188
6.4.7 Síntese dos domínios tectono-estruturais.....	189
<b>7 CONCLUSÕES.....</b>	<b>199</b>
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>201</b>
<b>9 ANEXO I - MAPA GEOLÓGICO DA FOLHA CURITIBA</b>	

## LISTA DE FIGURAS

1 Localização da área de estudo.....	2
2 Organograma da metodologia.....	4
3 Espectro eletromagnético e suas principais fontes .....	14
4 Teores de K, Th e U em rochas ígneas.....	17
5 O efeito <i>Alias</i> .....	20
6 Mapa de linhas de vôo na Folha Curitiba.....	23
7 Mapa do urânio (dados originais).....	24
8 Mapa da contagem total (filtro coseno direcional).....	25
9 Mapa do potássio (filtro coseno direcional).....	26
10 Mapa do tório (filtro coseno direcional).....	27
11 Mapa do urânio (filtro coseno direcional).....	28
12 Histograma de frequências e estatística da contagem total e do potássio em dados originais e filtrados.....	29
13 Histograma de frequências e estatística do tório e do urânio em dados originais e filtrados.....	30
14 Composição RGB de K, Th e U.....	33
15 Imagem de satélite da Folha Curitiba (Bandas 7-4-1).....	36
16 Drenagem da Folha Curitiba.....	37
17 Modelo digital de terreno.....	39
18 Mapa geológico.....	41
19 O sistema de coordenadas IHS.....	44
20 Diagrama de transformação de domínios (RGB ↔ IHS ↔ RGB).....	46
21 Fusão de imagens geofísicas (K, Th e U) e de satélite.....	47
22 Fusão de imagem de satélite e modelo digital de terreno.....	49
23 Fusão de MDT e composição RGB (K, Th e U) em perspectiva N45W.....	50
24 Fusão de MDT e composição RGB (K, Th e U) em perspectiva S45W.....	51
25 Mapa do potássio e unidades litoestratigráficas.....	64
26 Modelo digital de terreno e unidades litoestratigráficas.....	65
27 Mapa do tório e unidades litoestratigráficas.....	73
28 Mapa do urânio e unidades litoestratigráficas.....	82

29 Mapa da razão Th/K e unidades litoestratigráficas.....	87
30 Mapa da razão U/K e unidades litoestratigráficas.....	92
31 Mapa da razão U/Th e unidades litoestratigráficas.....	97
32 Composição ternária (K, Th e U) e unidades litoestratigráficas.....	101
33 Mapa ternário do Complexo Atuba.....	105
34 Mapa ternário da unidade de hornblenda gnaisses (Pca9).....	106
35 Estatística do potássio nos segmentos de hornblenda gnaisses (Pca9).....	107
36 Estatística do tório nos segmentos de hornblenda gnaisses (Pca9).....	108
37 Estatística do urânio nos segmentos de hornblenda gnaisses (Pca9).....	109
38 Estatística do potássio no Complexo Atuba.....	110
39 Estatística do tório no Complexo Atuba.....	111
40 Estatística do urânio no Complexo Atuba.....	112
41 Mapa ternário do Complexo Meia Lua.....	114
42 Estatísticas de K, Th e U no Complexo Meia Lua.....	115
43 Mapa ternário da Formação Água Clara.....	117
44 Estatística do potássio na Formação Água Clara.....	118
45 Estatística do tório na Formação Água Clara.....	119
46 Estatística do urânio na Formação Água Clara.....	120
47 Mapa ternário da Seqüência Perau.....	122
48 Estatísticas de K, Th e U na Seqüência Perau.....	123
49 Mapa ternário da Formação Betara.....	125
50 Estatísticas de K, Th e U na Formação Betara.....	126
51 Mapa ternário da Formação Capiru.....	131
52 Estatística do potássio na Formação Capiru.....	132
53 Estatística do tório na Formação Capiru.....	133
54 Estatística do urânio na Formação Capiru.....	134
55 Mapa ternário da Formação Votuverava.....	137
56 Estatística do potássio na Formação Votuverava.....	138
57 Estatística do tório na Formação Votuverava.....	139
58 Estatística do urânio na Formação Votuverava.....	140
59 Mapa ternário da Formação Antinha.....	142

60 Estatística do potássio na Formação Antinha.....	143
61 Estatística do tório na Formação Antinha.....	144
62 Estatística do urânio na Formação Antinha.....	145
63 Mapa ternário dos granitos.....	148
64 Estatística do potássio nos granitos.....	149
65 Estatística do tório nos granitos.....	150
66 Estatística do urânio nos granitos.....	151
67 Mapa ternário dos aluviões e da Formação Guabirotuba.....	153
68 Estatísticas de K, Th e U nos aluviões e Formação Guabirotuba.....	154
69 Mapa de agrupamentos litológicos.....	159
70 Mapa ternário dos gnaisses e migmatitos.....	160
71 Mapa ternário dos xistos.....	162
72 Estatística do potássio nos xistos.....	163
73 Estatística do tório nos xistos.....	164
74 Estatística do urânio nos xistos.....	165
75 Mapa ternário dos metassedimentos.....	167
76 Estatística do potássio nos metassedimentos.....	168
77 Estatística do tório nos metassedimentos.....	169
78 Estatística do urânio nos metassedimentos.....	170
79 Mapa ternário dos metacalcários e mármorees.....	172
80 Estatística do potássio nos metacalcários e mármorees.....	173
81 Estatística do tório nos metacalcários e mármorees.....	174
82 Estatística do urânio nos metacalcários e mármorees.....	175
83 Mapa ternário do domínio tectono-estrutural I.....	179
84 Mapa ternário do domínio tectono-estrutural II.....	181
85 Mapa ternário do domínio tectono-estrutural III.....	183
86 Mapa ternário do domínio tectono-estrutural IV.....	185
87 Mapa ternário do domínio tectono-estrutural V.....	187
88 Mapa ternário do domínio tectono-estrutural VI.....	188
89 Estatística do potássio nos domínios tectono-estruturais.....	189
90 Estatística do tório nos domínios tectono-estruturais.....	191

91 Estatística do urânio nos domínios tectono-estruturais.....	192
92 Mapa ternário dos domínios tectono-estruturais .....	194
93 Fusão entre a composição RGB (K-Th-U) e imagem de satélite TM-Landsat (Bandas 7-4-1).....	195
94 Modelo digital de terreno pseudo-iluminado N45E e domínios estruturais.....	196
95 Modelo digital de terreno pseudo-iluminado N45W e domínios estruturais....	197
96 Modelo digital de terreno pseudo-iluminado NS e domínios estruturais.....	198

## LISTA DE TABELAS

1 Série do decaimento radioativo do $^{232}\text{Th}$ .....	10
2 Série do decaimento radioativo do $^{238}\text{U}$ .....	11
3 Série do decaimento radioativo do $^{235}\text{U}$ .....	12
4 Intervalos de energia do Projeto Aerogeofísico Serra do Mar Sul.....	13
5 Teor médio de K, Th e U em rochas ígneas, sedimentares e metamórficas.....	18
6 Unidades litoestratigráficas do mapa geológico.....	42
7 Comportamento radiométrico médio nas unidades da Folha Curitiba.....	156
8 Comportamento médio de K, Th e U nos agrupamentos litológicos da Folha Curitiba.....	177
9 Comportamento médio de K, Th e U nos principais domínios tectono-estruturais da Folha Curitiba.....	193

## RESUMO

O presente trabalho se propõe a aplicar uma metodologia de integração de dados na Folha Curitiba em escala 1:100.000, limitada pelas coordenadas 49°00'e 49°30' de longitude oeste e 25°00'e 25°30' de latitude sul. Para tal foram utilizadas as seguintes bases de dados: gamaespectrometria (CT, K, Th e U); imagens TM-Landsat; drenagem; altimetria e dados geológicos. Com esses dados foram gerados composições RGB (K, Th e U / TM-Landsat) e fusões tridimensionais entre o modelo digital do terreno, gamaespectrometria, imagens de satélite e unidades geológicas. A abordagem metodológica constituiu-se das seguintes etapas: i) geral – análise do comportamento gamaespectrométrico dos radionuclídeos K, Th e U relacionando-os à geologia e aos aspectos de dinâmica da paisagem (drenagem e modelo digital de terreno); ii) litoestratigráfica – na qual as variáveis gamaespectrométricas (K, Th e U) foram analisadas de forma qualitativa e quantitativa em cada uma das unidades litoestratigráficas da área; iii) litológica – implicando em uma reorganização do mapa geológico em agrupamentos caracterizados por similaridades litológicas, analisando-se qualitativamente e quantitativamente o comportamento gamaespectrométrico de gnaisses/migmatitos, xistos, metassedimentos, metacalcários/mármore, aluviões e os sedimentos da Formação Guabirota; iv) estrutural – definição dos padrões de assinatura gamaespectrométrica dos diferentes domínios tectono-estruturais analisados. A metodologia empregada permitiu caracterizar em termos radiométricos as litologias e principais estruturas da área, associar aspectos de relevo a determinadas ocorrências de radionuclídeos e levantar alguns questionamentos a respeito de litologias não compatíveis com determinadas assinaturas gamaespectrométricas verificadas.

## ABSTRACT

A methodology to correlate radiometric data with geology is presented. The study area, "Folha Curitiba" (1:100000) extends from 49°00'-49°30' W and 25°00'-25°30' S. The data bases consisted of: gamaspectrometry (K, Th and U); TM-Landsat imagery; drainage data; hipsometry and geological data. These data generated new informations such as RGB composites (K-Th-U), digital terrain model integrated with geology, satellite images and with gamaespectrometric data. The methodological development involved the following approaches: i) general - where the radiometric behavior of K, Th and U was analyzed for the whole area in relations to geology and landscape aspects. ii) lithostratigraphical - in which the gamaspectrometric variables were analyzed by qualitative and quantitative means, in each litologic layers inside the lithostratigraphic units of the area; iii) lithological - implying in a reorganization of the 90 layers of the geological map in groups based on lithological similarities, with the objective of visualizing quantitative and qualitatively the behavior of gnaisses, schists, metassediments, metacalcareous rocks, alluviums and the sediments of the Guabirota formation; iv) structural - where different signature patterns were identified for each tectonic domain analyzed. This methodology allowed to identify the gamaespectrometric features of the main lithologies and structures of the area, to associate relief aspects to radioisotopes occurrences and also to raise some doubts about incompatibility between gamaespectrometric signatures and lithologies.



## 1 – Introdução

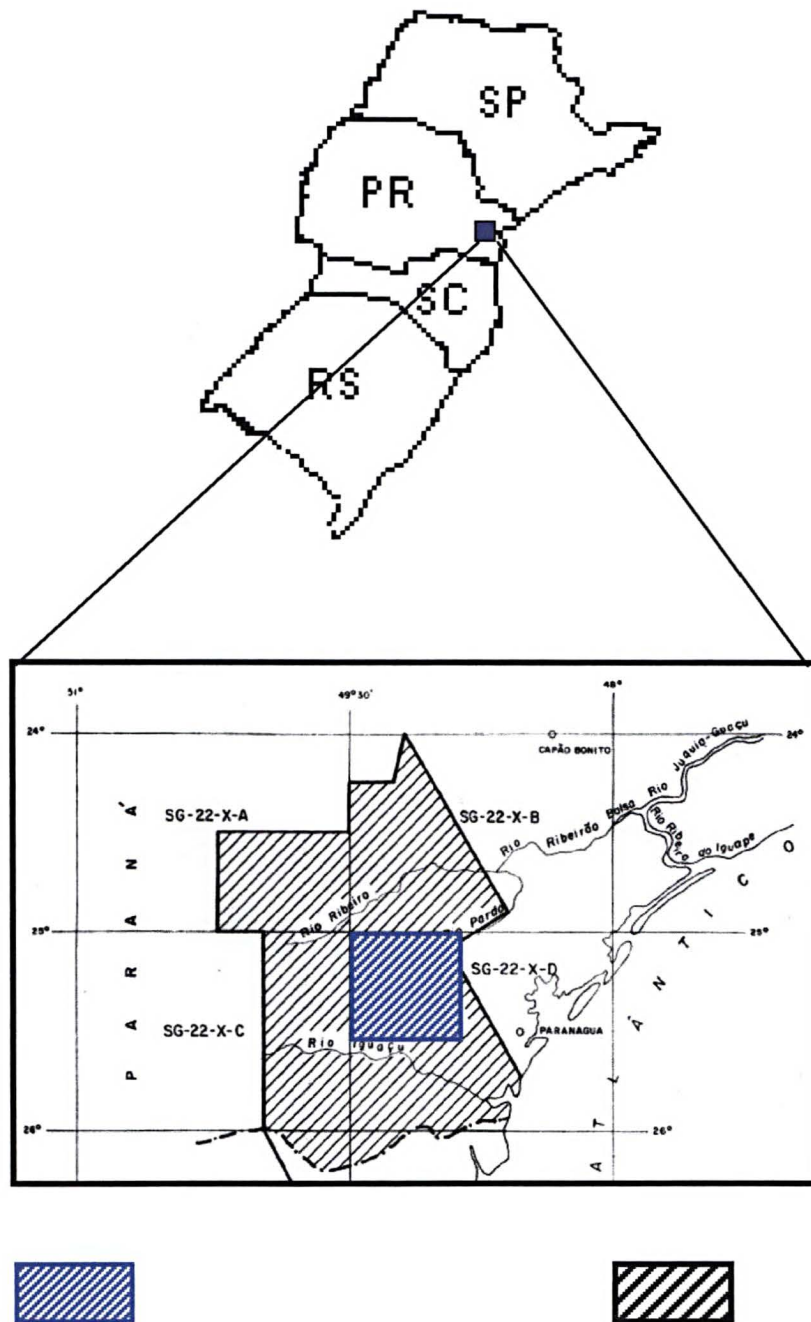
Nas últimas três décadas o crescente desenvolvimento tecnológico possibilitou um grande impulso nas Ciências da Terra. Especificamente em Geologia este avanço vem sendo demonstrado através do surgimento de novas metodologias, tanto na área ambiental quanto na exploratória.

Neste quadro de avanço científico e tecnológico novas formas de abordagem e tratamento de dados aparecem como importantes ferramentas no auxílio à pesquisa geológica. Dentre estas destaca-se o sensoriamento remoto, uma disciplina relativamente nova de caráter interdisciplinar. As técnicas de processamento de imagens originalmente desenvolvidas para manipulação de dados digitais de sensoriamento remoto, têm sido utilizadas também na análise de informações geofísicas. Esse tipo de tecnologia tem-se mostrado mais eficaz no tratamento qualitativo de dados geofísicos (aeromagnéticos e aerogamaespectrométricos) do que os tradicionais mapas de contorno, explorando melhor as informações litológicas e estruturais.

Concomitantemente ao sensoriamento remoto, um outro conjunto de ferramentas também vem se destacando nas últimas décadas, os denominados sistemas de informações geográficas (SIG's). Surgidos a partir da necessidade de relacionar dados de sensoriamento remoto, de levantamentos terrestres e cartográficos, estes constituem poderosas ferramentas de coleta, armazenamento, recuperação, transformação e visualização de dados espaciais a partir do mundo real, para um particular conjunto de propósitos.

A partir dessas tecnologias pretende-se discutir uma metodologia aplicada ao mapeamento geológico da Folha Curitiba (1:100.000), limitada pelos paralelos 25°00' - 25°30'S e meridianos 49° 00' - 49° 30' WGR, (Figura 1).

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



Limites da Folha Curitiba

Levantamento Aerogeofísico Serra do Mar Sul (parcial)

Modificado de Geofoto (1978)

## 2 – Objetivos

A reunião de informações de origens distintas, com o intuito de construir uma base de dados, na qual a integração destas nos forneça informações acerca da geologia da área objeto de estudo, tem sido amplamente adotada, por inúmeros pesquisadores, nos últimos anos.

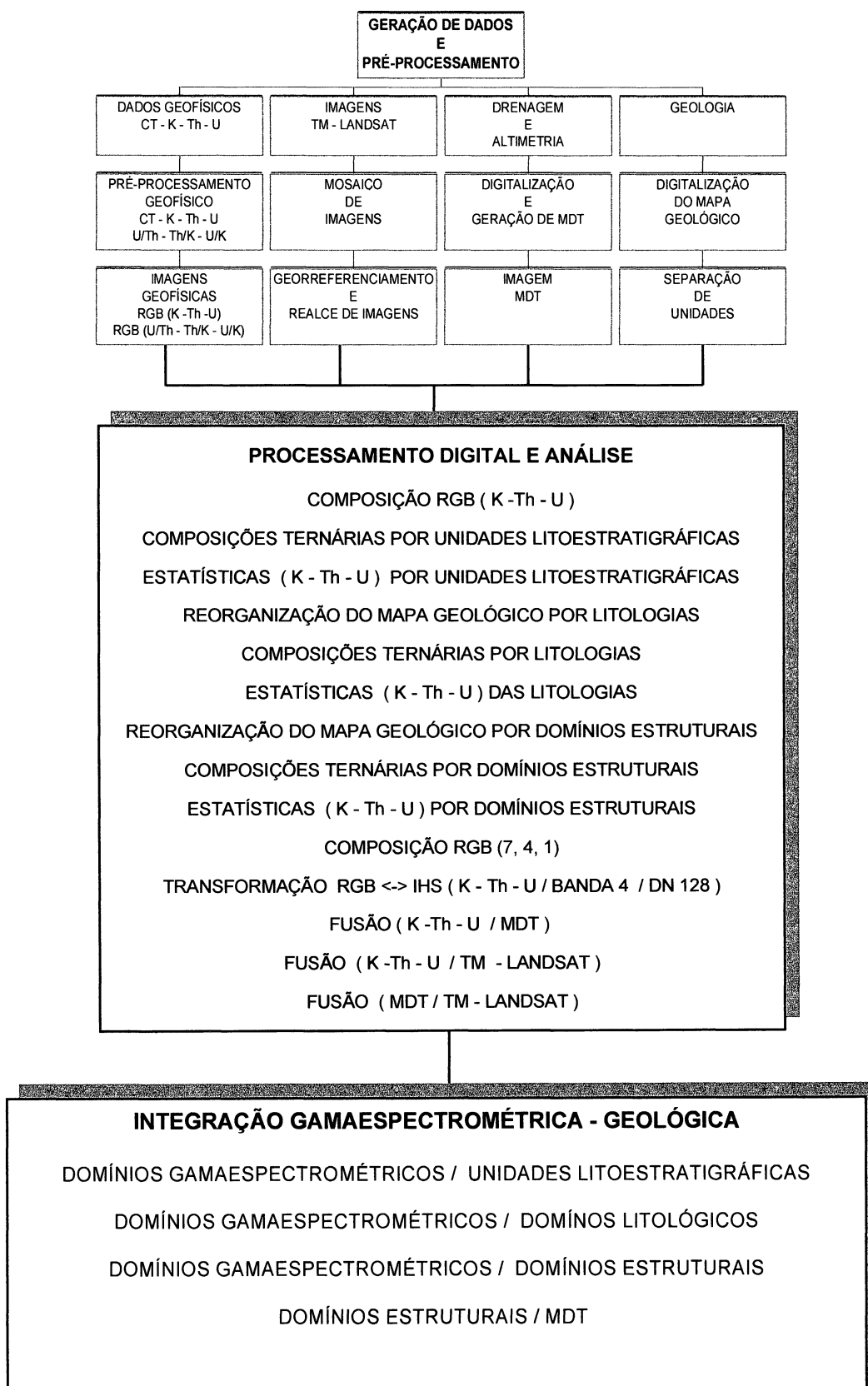
O desenvolvimento de uma abordagem envolvendo processamento digital de imagens TM-Landsat , dados aerogeofísicos (K, Th, U) e modelo digital de terreno, constitui o principal objetivo da presente pesquisa.

Para seu desenvolvimento foram executados os seguintes procedimentos:

- i) utilizar o processamento digital de imagens aerogeofísicas, de modelo digital de terreno, e imagens TM–Landsat aplicável à área de estudo;
- ii) gerar um modelo digital de terreno e relacioná-lo aos principais aspectos gamaespectrométricos, geológicos e estruturais da área;
- iii) integrar e avaliar os dados geofísicos, geológicos e de terreno (drenagem, modelo digital de elevação) usando a tecnologia de Sistema de Informações Geográficas (SIG);
- iv) interpretar os dados aerogeofísicos e associá-los à geologia da área, caracterizando suas principais unidades litoestratigráficas, agrupamentos litológicos e domínios estruturais em termos de assinaturas geofísicas;

Uma síntese da metodologia adotada na pesquisa é mostrada na Figura 2 a seguir.

**FIGURA 2 – ORGANOGRAMA DA METODOLOGIA**



### 3 - Materias

Foram utilizados os seguintes materiais na pesquisa:

- a) Dados aerogamaespectrométricos digitais ( K, Th, U e Contagem Total), provenientes do Projeto Aerogeofísico Serra do Mar Sul, executado pela GEOFOTO S. A. no período de 1973 a 1976, para a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM;
- b) Rede de drenagem digital da Folha Curitiba, escala 1:100.000, cedida pela CPRM à UFPR;
- c) Imagens de satélite TM/Landsat, bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, cedidas pela CPRM à UFPR:
  - i) cena 125 órbita 220 ponto 78 quadrante A;
  - ii) cena 125 órbita 220 ponto 77 quadrante C;
- d) Mapa geológico da Folha Curitiba (SG.22-X-D-I), escala 1:100.000 (CPRM, 1998);
- e) Mapa topográfico da Folha Curitiba (SG.22-X-D-I), escala 1:100.000 (DSG - Min. Exército, 1977);
- f) Mapa da topográfico da Folha Curitiba (SG.22-X-D-I), escala 1:100.000 (COMEC, 1977);
- g) Equipamentos:

Os equipamentos utilizados pertencem ao Laboratório de Processamento de Informações Geocientíficas (LAPIG), do Departamento de Geologia da UFPR:

  - i) Mesa digitalizadora Summagraphics A0;
  - ii) Microcomputador Pentium 350MHz;
  - iii) Estação de Trabalho Hp-Ux/715;
  - iv) Impressoras Laser e a jato de tinta.

h) *Softwares:*

i) AutoCAD, versão 12;

ii) Programa em linguagem Fortran “*Window.exe*”;

iii) Geosoft, Oasis Montaj versão 4.1c

iv) Arc-Info versão 7.0 ;

v) Erdas-Imagine versão 8.2;

## 4 – Síntese dos fundamentos da gamaespectrometria

### 4.1 – Radioatividade

Na natureza a radioatividade é o processo de emissão espontânea de energia (radiação) oriunda de núcleos instáveis de um elemento ou substância. Esta emissão espontânea de energia é denominada de processo de decaimento radioativo, que na natureza ocorre principalmente através dos seguintes decaimentos : alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) e gama( $\gamma$ ).

#### 4.1.1 – Radiação alfa

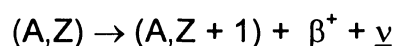
As partículas alfa são constituídas por núcleos de hélio contendo dois prótons e dois neutrons, estando a possibilidade de decaimento sujeita à seguinte relação de massa:

$$M(A, Z) > M(A-4, Z-2) + M(\alpha), \text{ onde:}$$

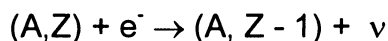
$M(A, Z)$  representa a massa do núcleo pai,  $M(A-4, Z-2)$  expressa a massa do núcleo filho e  $M(\alpha)$  a massa do núcleo de hélio.

#### 4.1.2 – Radiação beta

As partículas beta são elétrons emitidos a partir da transformação de um neutron em um próton ou vice-versa. Existem dois tipos de decaimento, denominados  $\beta^+$  e  $\beta^-$ , dependendo dos estados final e inicial do núcleo. Se o núcleo pai possui excesso de neutrons este submete-se ao decaimento  $\beta^+$ :



onde o número de prótons é acrescido de uma unidade e o de neutrons é reduzido da mesma unidade com a emissão de um elétron e um anti-neutrino. Se o núcleo pai tem excesso de prótons este submete-se ao decaimento  $\beta^-$  :



onde existe o decréscimo do número atômico (absorção de um elétron) e o acréscimo no número de neutrons de uma unidade, sendo emitido um neutrino. As radiações alfa e beta são bastante ionizantes, portanto não possuem grande penetração, sendo facilmente absorvidas pelo ar.

#### 4.1.3 – Radiação gama

Diferentemente dos raios X (comprimentos de onda aproximados de 0.3 Å a 10 Å) e da luz visível (comprimento de onda aproximado 3μ), cuja radiação é emitida através de transições eletrônicas nos átomos, os fótons emitidos por núcleos (comprimento de onda aproximado de 0,03Å), fazem parte de um processo no qual o núcleo libera seu excesso de energia, restabelecendo a estabilidade nuclear. A radiação gama emitida é proveniente de forças eletromagnéticas nucleares, tendo como consequência a redistribuição dos componentes do núcleo atômico (Klimov, 1975).

Ao contrário das emissões alfa e beta a radiação gama possui alto poder de penetração, pois não possui massa e carga elétrica. Em rochas e solos possui alcance aproximado de 30 cm, enquanto que no ar atinge centenas de metros. Os raios gama possuem energias discretas (quantizadas), características de cada isótopo fonte.

O processo de desintegração nuclear é característico de cada radioisótopo, sendo proporcional ao número de radionuclídeos presentes. Assim, o número de núcleos (dN) que decaem em um pequeno intervalo de tempo (dt) é proporcional ao número inicial de núcleos, isto é:



$$dN/dt = -\lambda N \quad \text{ou} \quad N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

onde  $\lambda$  é a constante de decaimento,  $N_0$  é o número de núcleos no instante inicial ( $t=0$ ) e  $N$  é o número de núcleos em um instante de tempo  $t$  qualquer. Quando  $N = N_0/2$  temos a meia vida de um determinado radionuclídeo, a qual é representada abaixo:

$$T_{1/2} = ( 0,693 / \lambda )$$

Geralmente, nos levantamentos gamaespectrométricos registra-se a energia gama proveniente dos seguintes elementos:  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  e  $^{235}\text{U}$ . As tabelas 1, 2 e 3 mostram o decaimento gama dos três últimos radioisótopos citados.

TABELA 1 – DECAIMENTO DO  $^{232}\text{Th}$ 

NUCLÍDEO	MEIA VIDA	$E_{\alpha}$ (Mev)	$E_{\beta}$ (Mev)	$E_{\gamma}$ (Mev)
$^{232}\text{Th}$	$12,39 \times 10^{10}$ anos	3,95 / 4,01		
↓				
$^{228}\text{Ra}$	5,75 anos		0,055	
↓				
$^{228}\text{Ac}$	6,13 horas		2,11	0,34 / 0,90 / 0,96
↓				
$^{228}\text{Th}$	1,913 anos	5,34 / 5,42		0,08 / 0,21
↓				
$^{224}\text{Ra}$	3,64 dias	5,45 / 5,68		0,24
↓				
$^{220}\text{Rn}$	55,6 segundos	6,30		
↓				
$^{216}\text{Po}$	0,145 segundos	6,78		
↓				
$^{212}\text{Pb}$	10,64 horas		0,580	0,23 / 0,30
↓				
$^{212}\text{Bi}$	60,5 meses.	6,05 / 6,09	2,25	0,04 / 0,72 / 1,62
↓				
$^{212}\text{Po}$	304 nanoseg.	8,78		/
$^{208}\text{Tl}$	3,1 meses.		1,8	0,51/0,58/0,86/2, 6
↓				
$^{208}\text{Pb}$	Estável			

Modificado de Minty (1997)

TABELA 2 – DECAIMENTO DO  $^{238}\text{U}$ 

NUCLÍDEO	MEIA VIDA	$E_{\alpha}$ (Mev)	$E_{\beta}$ (Mev)	$E_{\gamma}$ (Mev)
$^{238}\text{U}$	$4,46 \times 10^9$ anos	4,15 – 4,19		
↓				
$^{234}\text{Th}$	24,1 dias		0,10 / 0,19	0,06 / 0,09
↓				
$^{234}\text{Pa}$	1,18 meses		2,29	0,76 / 1,0
↓				
$^{234}\text{Pa}$	6,7 horas		0,53 / 1,13	0,10 / 0,70 / 0,90
$^{234}\text{U}$	$2,48 \times 10^5$ anos	4,72 / 4,77		0,05
↓				
$^{230}\text{Th}$	$7,52 \times 10^4$ anos	4,62 / 4,68		0,06 / 0,14
↓				
$^{226}\text{Ra}$	1602 anos	4,60 / 4,78		0,18
↓				
$^{222}\text{Rn}$	3,82 dias	5,49		0,51
↓				
$^{218}\text{Po}$	3,05 meses	6,11	0,33	
↓				
$^{214}\text{Pb}$	26,8 meses		1,03	0,29 / 0,35
$^{218}\text{At}$	2 seg.	6,65 / 6,70	0,67	
↓				
$^{214}\text{Bi}$	19,7 meses	5,61	3,26	0,60 / 1,12 / 1,76
↓				
$^{214}\text{Po}$	164 μseg.	7,83		0,79
$^{210}\text{Tl}$	1,32 meses		2,30	0,296 / 0,79 / 1,31
↓				
$^{210}\text{Pb}$	~ 22 anos	3,70	0,01 / 0,06	0,04
↓				
$^{210}\text{Bi}$	5,02 dias	4,93 / 4,89 / 4,59	1,15	
↓				
$^{210}\text{Po}$	138,3 dias	5,30		0,80
$^{206}\text{Tl}$	4,19 meses		1,52	
↓				
$^{206}\text{Pb}$	estável			

Modificado de Minty (1997)

TABELA 3 – DECAIMENTO DO  $^{235}\text{U}$ 

NUCLÍDEO	MEIA VIDA	$E_{\alpha}$ (Mev)	$E_{\beta}$ (Mev)	$E_{\gamma}$ (Mev)
$^{235}\text{U}$	$7,13 \times 10^8$ anos	4,36/4,39/4,1-4,6		0,14 / 0,18 / 0,20
↓				
$^{231}\text{Th}$	25,64 horas		0,30	0,02 / 0,08
↓				
$^{231}\text{Pa}$	$3,43 \times 10^4$ anos	5,01 / 4,99 / 4,94		0,02 / 0,29
↓				
$^{227}\text{Ac}$	22 anos	4,95 / 4,94 / 4,87	0,04	0,07
↓				
$^{227}\text{Th}$	18,17 dias	5,76 / 5,98 / 6,04		0,05 / 0,237 / 0,31
↓				
$^{223}\text{Fr}$	21 meses	5,34	1,15	0,05
↓				
$^{223}\text{Ra}$	11,68 dias	5,61 / 5,71 / 5,75		0,14 / 0,27 / 0,33
↓				
$^{219}\text{Rn}$	3,92 seg.	6,42 / 6,55 / 6,82		0,27 / 0,40
↓				
$^{215}\text{Po}$	1,83 mseg.	7,38		
↓				
$^{211}\text{Pb}$	36,1 meses			
↓				
$^{211}\text{Bi}$	2,16 meses	6,28 / 6,62	0,6	0,35
↓				
$^{211}\text{Po}$	0,52 seg.	7,43		0,57 / 0,90
$^{207}\text{Tl}$	4,79 meses		1,44	0,89
↓				
$^{207}\text{Pb}$	estável			

Modificado de Minty (1997)

Nem  $^{232}\text{Th}$  e nem  $^{238}\text{U}$  emitem radiação gama, de modo que a estimativa de suas concentrações é realizada pelos radioisótopos-filho  $^{208}\text{Tl}$  e  $^{214}\text{Bi}$  respectivamente, razão pela qual é utilizada a denominação de urânio e tório equivalentes (eU e eTh). Por motivos práticos a denominação equivalente e seu símbolo é propositadamente omitida nesta pesquisa, sem implicar na perda de sentido que lhe é atribuído.

Neste trabalho as energias de interesse geológico se situam na faixa de 0,2Mev a 3Mev, correspondendo a comprimentos de onda de  $3 \times 10^{-12}$  m e freqüências de  $3 \times 10^{19}$  Hz (Minty 1997). Os intervalos de energia gama detectados na área de pesquisa são mostrados a seguir na tabela 4 (Geofoto 1978).

No Projeto Aerogeofísico Serra do Mar Sul, foi utilizado espectrômetro modelo DGRS-3001, acoplado a um conjunto de 9 cristais NaI(Tl) de formato cilíndrico com dimensões ( 6"x 9" ), totalizando 16,68 litros.

**TABELA 4 - INTERVALOS DE ENERGIA DO PROJETO AEROGEOFÍSICO  
SERRA DO MAR SUL**

CANAL DE ENERGIA	RADIONUCLÍDEO	ENERGIA (Mev)
Contagem Total		1,0 – 2,90
Potássio	$^{40}\text{K}$	1,35 – 1,65
Tório (eTh)	$^{214}\text{Bi}$	1,65 – 2,30
Urânio (eU)	$^{208}\text{Tl}$	2,30 – 2,90

Modificado de Geofoto(1978)

Além de constituir-se num método geofísico, alguns autores (Wilford *et al.* 1997) consideram a aerogamespectrometria como uma técnica de sensoriamento remoto, pois esta denominação aplica-se a qualquer metodologia empregada para estudar à distancia as características físicas e/ou químicas dos objetos (Gupta 1991).

## 4.2 – Comportamento geoquímico de K, Th e U em rochas e solos

### 4.2.1 – Potássio

O  $^{40}\text{K}$  é o único radioisótopo do potássio, ocorrendo em proporção fixa de 0,012% do potássio total natural. Em função disto, a medida da radiação gama pode ser usada para estimar a quantidade total de K. Este é detectado em levantamentos radiométricos com energia de aproximadamente 1,46Mev.

As ocorrências mais comuns em rochas são observadas nos feldspatos potássicos (aproximadamente 13% de K), nas micas (biotita/muscovita com 8% de K) e em rochas félsicas (granitos). Teores menores são encontrados em basaltos, muito baixos em dunitos e perioditos e ausentes em minerais máficos (Dickson & Scott 1997). Segundo esses autores, o comportamento intempérico dos minerais potássicos determina o conteúdo deste radionuclídeo em rochas intemperizadas e solos.

O potássio liberado no processo intempérico pode participar da formação de minerais como a illita, ou ser absorvido em menores quantidades pela argilas. Durante o processo de intemperismo, as matrizes de potássio são destruídas na seguinte ordem:

biotita → feldspato potássico → muscovita

#### 4.2.2 – Tório

O tório ( $^{232}\text{Th}$ ) é pouco abundante na crosta terrestre (aproximadamente 12 ppm), ocorrendo no estado de valência  $\text{Th}^{4+}$ , tendo como característica a baixa solubilidade, excetuando soluções ácidas, conforme Langmuir & Herman (1980 *apud* Dickson & Scott 1997). Todavia, em condições de pH neutro, compostos orgânicos (ácidos húmicos) podem aumentar a solubilidade deste radionuclídeo (Chopin 1988 *apud* Dickson & Scott 1997), sendo altamente móvel quando combinado com complexos orgânicos em aquíferos e solos. Segundo os autores citados, o tório pode ocorrer em níveis maiores que 1000 ppm nos seguintes minerais: allanitas, monazitas, xenotímeos e zircão ou na forma de traços em outros minerais existentes nas rochas.

#### 4.2.3 – Urânio

O urânio ocorre em baixa concentração na crosta terrestre (aproximadamente 3 ppm), quimicamente dominado por seus estados de valência  $\text{U}^{4+}$  e  $\text{U}^{6+}$ . O primeiro estado geralmente está contido em minerais não solúveis, enquanto o segundo associa-se com ânions como os carbonatos, os sulfatos e os fosfatos para formarem espécies solúveis. A mobilidade deste último estado é modificada pela adsorção à óxidos hidratados de ferro, minerais de argila e colóides, como também pela redução para minerais insolúveis de  $\text{U}^{4+}$ , em ambientes redutores (zonas de material carbonoso ou pirita).

O urânio pode se apresentar em rochas como óxidos e silicatos, sendo comum em uraninita e uranotorita; os principais minerais matrizes são: monazita, xenotímeo e zircão, dentre os quais, apenas a monazita e o zircão são resistentes ao intemperismo.

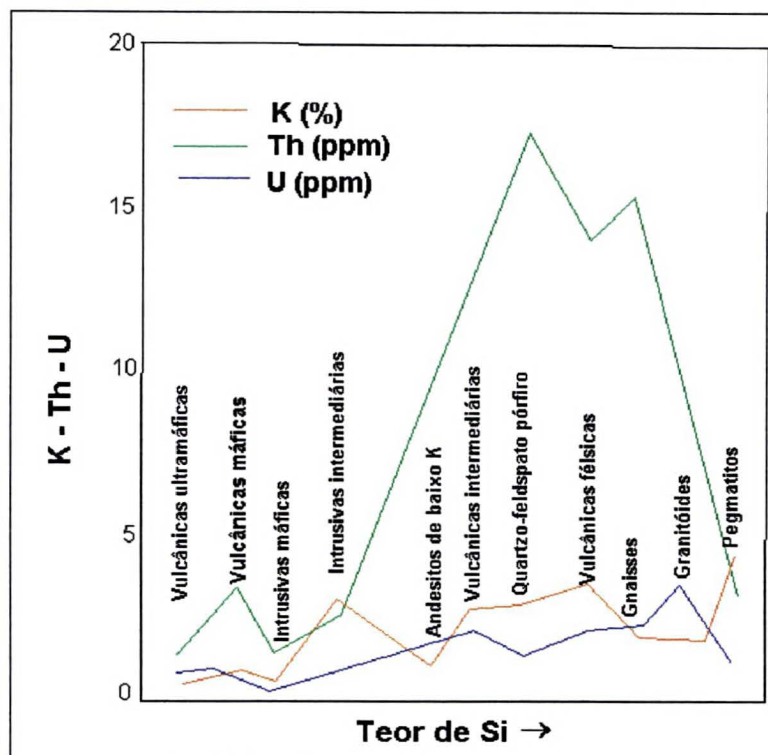
O urânio liberado pela destruição de minerais durante o intemperismo pode ser retido em óxidos de ferro e minerais de argila, ou ainda, em circunstâncias favoráveis, ser precipitado sob condições redutoras formando depósitos de urânio (Dickson & Scott, 1997). Os minerais de urânio estão também presentes em pegmatitos, sienitos, cabornatitos, granitos, gnaisses e alguns folhelhos (Gunn *et al.*, 1997).

#### 4.2.4 – Ocorrência de radionuclídeos em rochas

A aplicação de levantamentos aerogamespectrométricos é baseada no conteúdo variável de radioelementos nas rochas. Segundo Dickson & Scott (1997) o exame de teores em rochas ígneas mostra que existe uma tendência de crescimento na quantidade de radioelementos conforme o aumento de Si (Figura 4), denotando que as rochas félsicas possuem maior quantidade de radioelementos do que as rochas ultrabásicas e máficas.



**FIGURA 4 – TEORES (K-Th-U) EM ROCHAS ÍGNEAS**



Modificado de Dickson & Scott (1997)

Geralmente o tório apresenta variação ascendente maior do que o urânio, mostrando a importância da utilização de razões Th/U para investigar o grau de diferenciação em rochas ígneas. As rochas formadas nos últimos estágios de diferenciação magmática (pegmatitos e aplitos), quando as temperaturas são mais baixas, mostram comportamento de retenção/concentração dos radionuclídeos de potássio e urânio, enquanto os de tório permanecem inalterados, do que decorre altas razões U/Th e Th/K.

A tabela 5 mostra os teores médios de tório e urânio em rochas ígneas, sedimentares e metamórficas.

**TABELA 5 - TEOR MÉDIO DE POTÁSSIO, TÓRIO E URÂNIO EM ROCHAS ÍGNEAS, SEDIMENTARES E METAMÓRFICAS**

TIPO DE ROCHA	K(%)	Th (ppm)	U (ppm)
<b>ROCHAS ÍGNEAS</b>			
Ultrabásicas (peridotito, dunito)	0,01	0,02	0,007
Básicas (gabro, basalto, diabásio, norito)	1,0	3,4	0,8
Básicas – Intermediárias (diorito, andesito, tonalito)	1,9	6,1	1,7
Intermediárias (grandiorito, quartzo diorito, dacito)	2,4	9,8	3,0
Intermediárias – Ácidas (monzonita, quartzo-monzonita)	3,0	16,0	3,6
Ácidas (granito, riolito, latito)	3,5	21,9	4,1
<b>ROCHAS SEDIMENTARES</b>			
Evaporito	0,1	0,4	0,1
Carbonato	0,3	1,6	1,6
Arenitos	1,2	5,7	1,9
Folhelhos	2,7	11,2	3,7
<b>ROCHAS METAMÓRFICAS</b>			
Anfibolito	0,6	2,0	0,9
Greenstone	1,0	3,4	0,8
Grauvacas	2,8	6,7	2,1
Gnaisses	3,4	10,6	2,3
Xistos	2,5	13,5	4,1

Modificado de Galbraith & Saunders (1983).

Segundo Dickson & Scott (1997), o metamorfismo não afeta os teores de radioelementos em rochas metamórficas (gnaisses derivados de granitos e anfibolitos derivados de doleritos). Já as rochas sedimentares têm concentrações de radionuclídeos que refletem, muitas vezes as rochas de origem. Desta forma pode-se esperar que sedimentos imaturos de fontes graníticas possuam teores de radionuclídeos altos, enquanto sedimentos mais maduros constituídos de quartzo devem revelar índices muito mais baixos.

## 5 – Desenvolvimento metodológico

A construção da base de dados e sua manipulação, constituintes da metodologia empregada nesta pesquisa, requereram vários procedimentos os quais são descritos a seguir:

### 5.1 - Pré-processamento dos dados aerogeofísicos

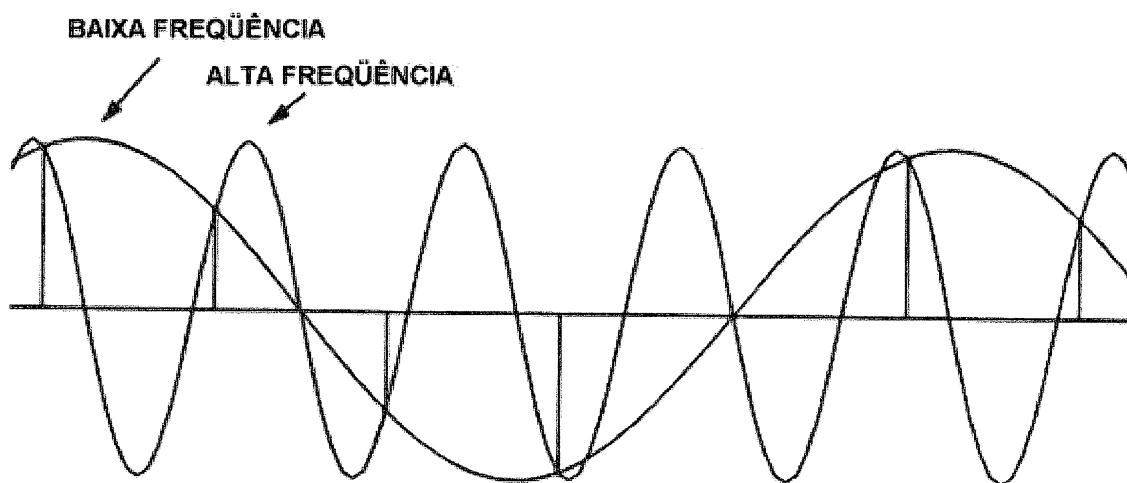
De posse dos dados do Projeto Aerogeofísico Serra do Mar Sul, foi extraída a área limitada pelas coordenadas UTM (650764E, 701854E, 7178170N e 7233526N) da Folha Curitiba, através de um programa em linguagem Fortran *window.exe* (elaborado pelo aluno), projetado para retirada de áreas (janelas) quadradas ou retangulares, em qualquer região do referido projeto. Através da análise estatística dos dados, verificou-se a existência de valores negativos das contagens, atribuídos a problemas na correção altimétrica (Pires 1995; Carvalho 1999). Para amenizar este problema adicionou-se a cada variável o menor valor acrescido da unidade, de forma que todas as variáveis contenham o valor mínimo de 1 cps.

Os dados gamaespectrométricos (K, Th, U e Contagem Total) foram transformados em malhas regulares pelo processo de interpolação da curvatura mínima, o qual produz uma superfície suavizada com valores os mais próximos possíveis dos dados originais (Briggs 1974). A superfície obtida é análoga a uma placa fina linearmente elástica passando pelos valores dos dados com uma flexão mínima, sendo um método rápido e eficiente para grandes conjuntos de dados (Geosoft 1995).

As malhas foram produzidas com dimensões de células de 250 x 250m, usando o *software* Oasis Montaj versão 4.1c. Vasconcellos *et al.* (1990), sugerem que a dimensão ideal da célula deve oscilar entre 1/4 e 1/8 do espaçamento médio das linhas de vôo. Gunn (1998) sugere que o tamanho da célula deve ser maior do que 1/5 do espaçamento médio das linhas de vôo, evitando a perda de informação e

a degradação da imagem através do efeito *aliasing* que faz com que altas frequências apareçam como baixas, distorcendo o conteúdo espectral.

**FIGURA 5 – O EFEITO ALIAS**



Modificado de Tidey (1982)

#### 5.1.1 - Tratamento gamaespectrométrico

Esta etapa do pré-processamento não incluiu as correções rotineiras de levantamentos aerogamaespectrométricos, como as de altura, radiação de fundo (*background*) e efeito Compton (Minty, 1997), uma vez que os dados digitais cedidos pela CPRM já tinham sido corrigidos.

Entretanto, este levantamento apresenta uma série de problemas de aquisição dos dados tais como: utilização de duas bases operacionais (Florianópolis e Curitiba), envolvendo diferentes condições atmosféricas e de radiação de fundo nos testes de calibração; volumes distintos de sensores; espaçamento irregular entre linhas de voo (750m a 1250m); incompatibilidade entre as coordenadas UTM

dos registros de vôo e o posicionamento geográfico dos perfis; grandes variações na altura nominal de vôo (150m), dentre outros ( e.g. Cordeiro & Mantovani 1994).

Dos problemas apresentados, o da incompatibilidade de coordenadas UTM não é significativo, uma vez que o erro é em torno de poucos metros na região metropolitana de Curitiba. O mapa de linhas de vôo da Folha Curitiba é apresentado na Figura 6. Tal erro aumenta de forma centrífuga a partir de Curitiba, tornando-se significativo em regiões mais distantes conforme Cordeiro (1994). Entretanto, em função de problemas de calibração realizados em condições atmosféricas distintas, acentuou-se o efeito de alinhamento dos dados registrados ao longo das linhas de vôo (N30W ). Este efeito é notado no mapas de contagem total, potássio, tório e urânio, nos quais observa-se o aparecimento de fortes ruídos na direção das linhas de vôo. Entretanto tal efeito é mais acentuado no canal do urânio (Figura 7) devido a pobre correlação do urânio com as medidas aéreas em função do radônio ( $^{222}\text{Rn}$ ) presente na atmosfera como radiação de fundo, o qual é um produto da série de decaimento do urânio (Carvalho 1999).

Com o intuito de reduzir tais ruídos, foi adotado um procedimento de correção, através da aplicação de um filtro coseno direcional. Tal filtro possibilita passar ou rejeitar as frequências do espectro em determinada direção estabelecida pelo usuário, segundo um valor de potência do mesmo, o qual determina a intensidade da aplicação do filtro na direção escolhida (Geosoft 1994).

Nos dados em questão a direção das linhas de vôo foi utilizada como direção de filtragem adotando-se a potência de valor 6, como ideal para eliminar as referidas tendências, resultando nos mapas das figuras 8, 9 ,10 e 11. As estatísticas e os histogramas das variáveis gamaespectrométricas antes e após a aplicação do filtro coseno direcional são indicadas nas figuras 12 e 13.

Os dados estatísticos apresentados, mostraram que após o processo de filtragem houve uma atenuação nos valores destas variáveis. Entretanto, os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, no sentido de identificar geofisicamente estruturas e unidades litoestratigráficas até o momento não visualizadas, que serão de extrema importância na integração geofísico-geológica.

O processo de filtragem adotado mostrou sua aplicabilidade nos casos onde coexistam ao mesmo tempo: espaçamento irregular de linhas de vôo e uma densidade de pontos medidos na direção da linha de vôo muito maior do que na direção entre elas.

FIGURA 6 – MAPA DE LINHAS DE VÔO

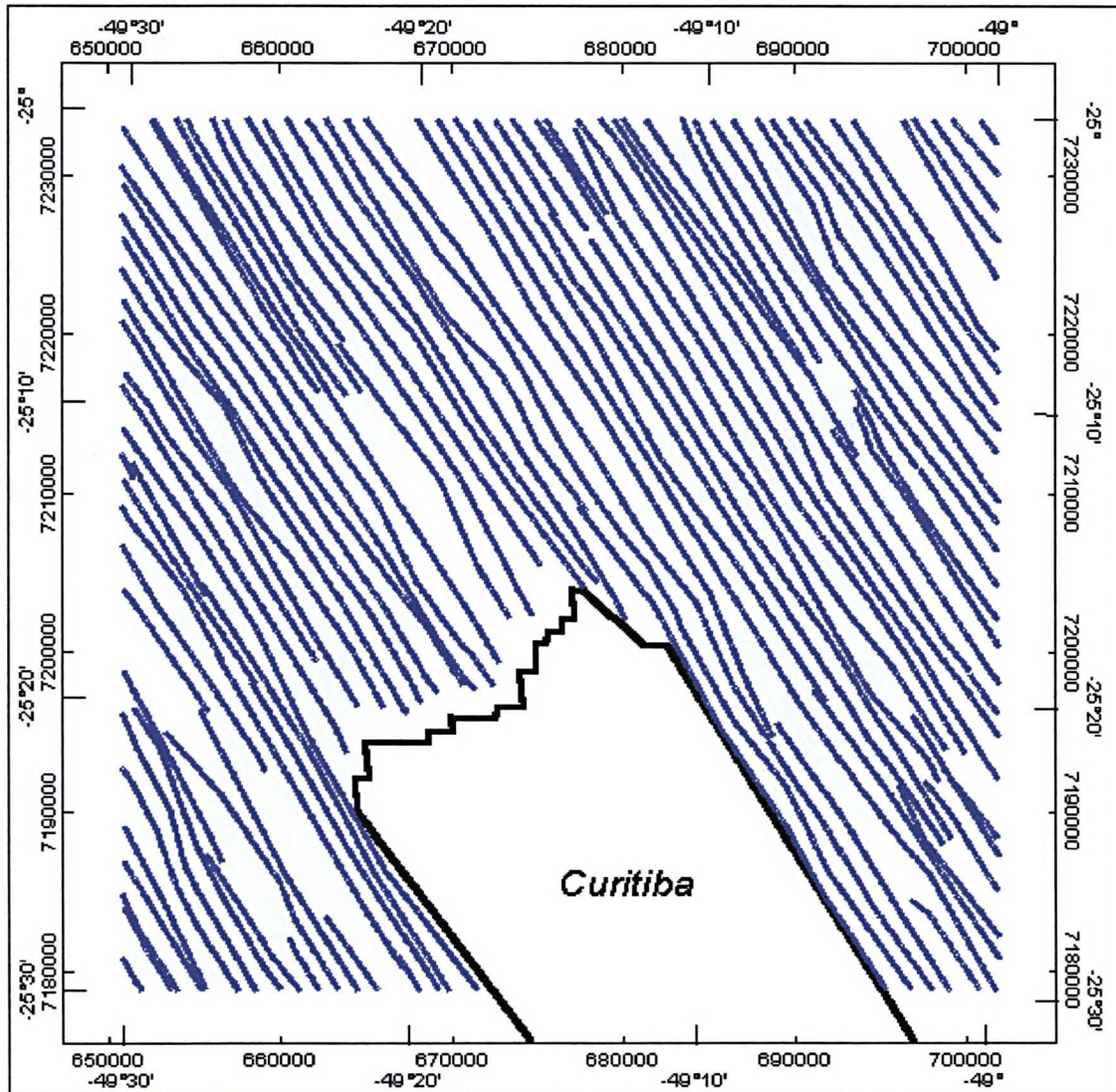
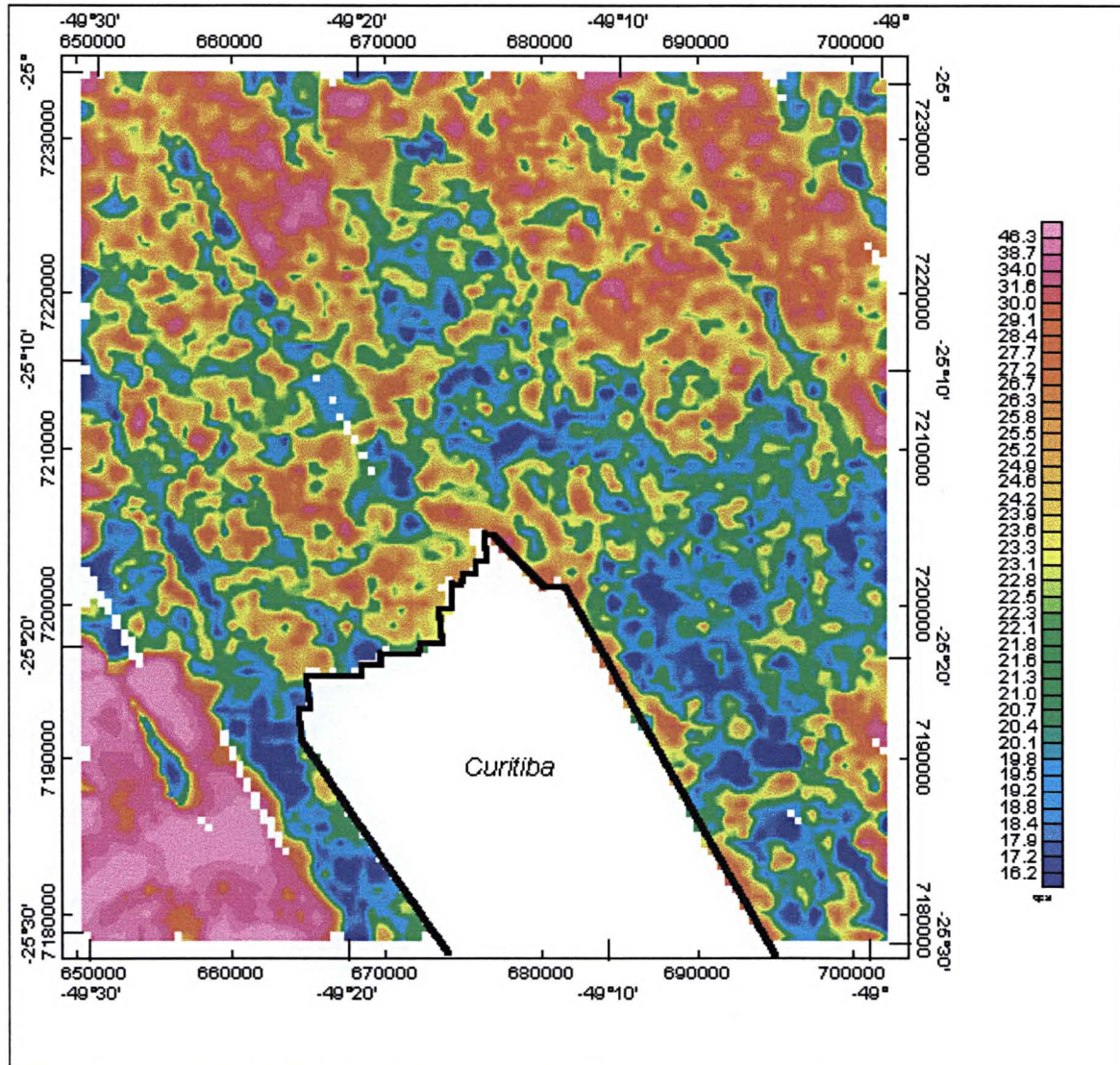


FIGURA 7 – MAPA DO URÂNIO (DADOS ORIGINAIS)





**FIGURA 8 – MAPA DA CONTAGEM TOTAL (FILTRO COSENO DIRECIONAL)**

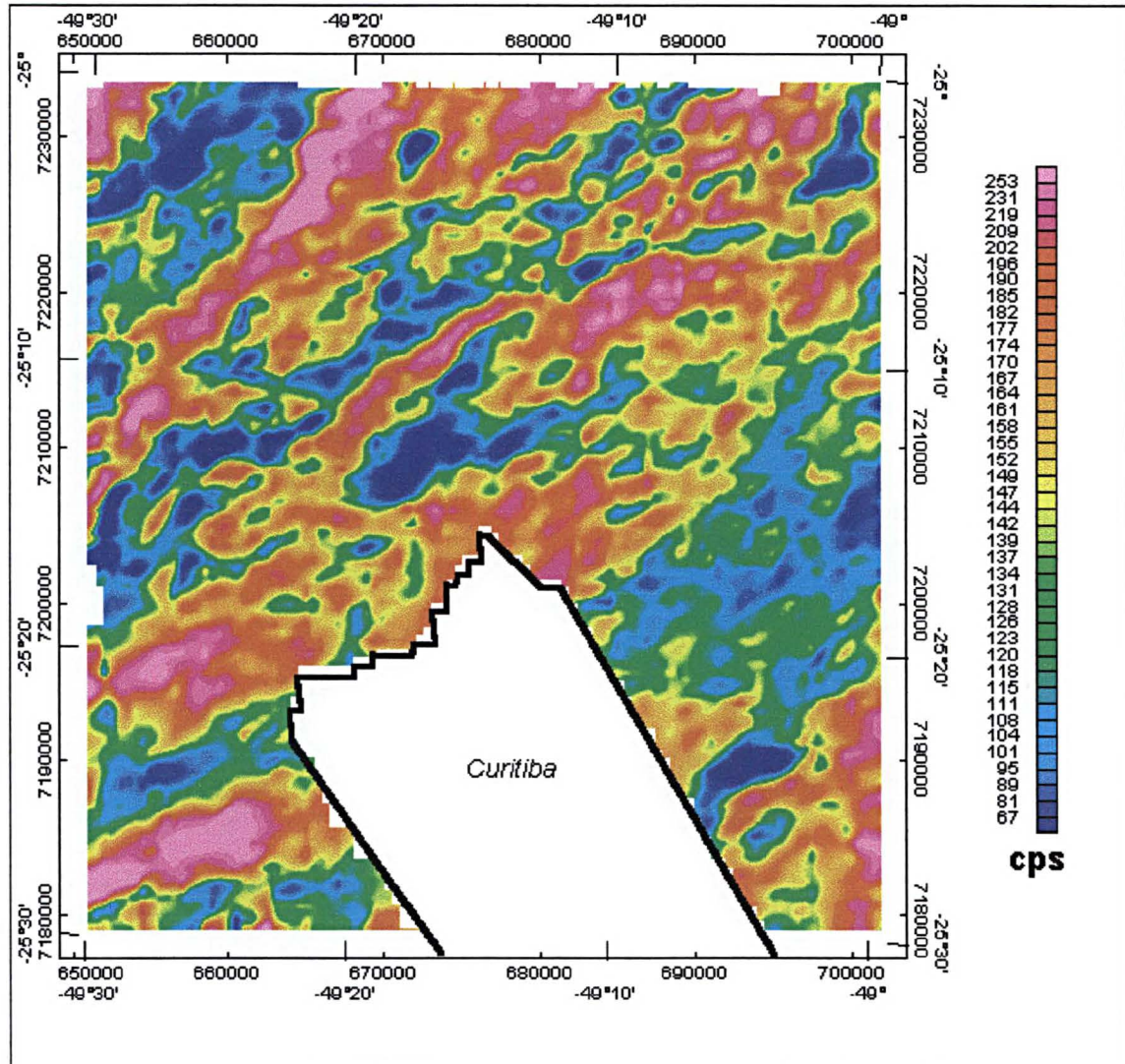


FIGURA 9 - MAPA DO POTÁSSIO (FILTRO COSENO DIRECIONAL)

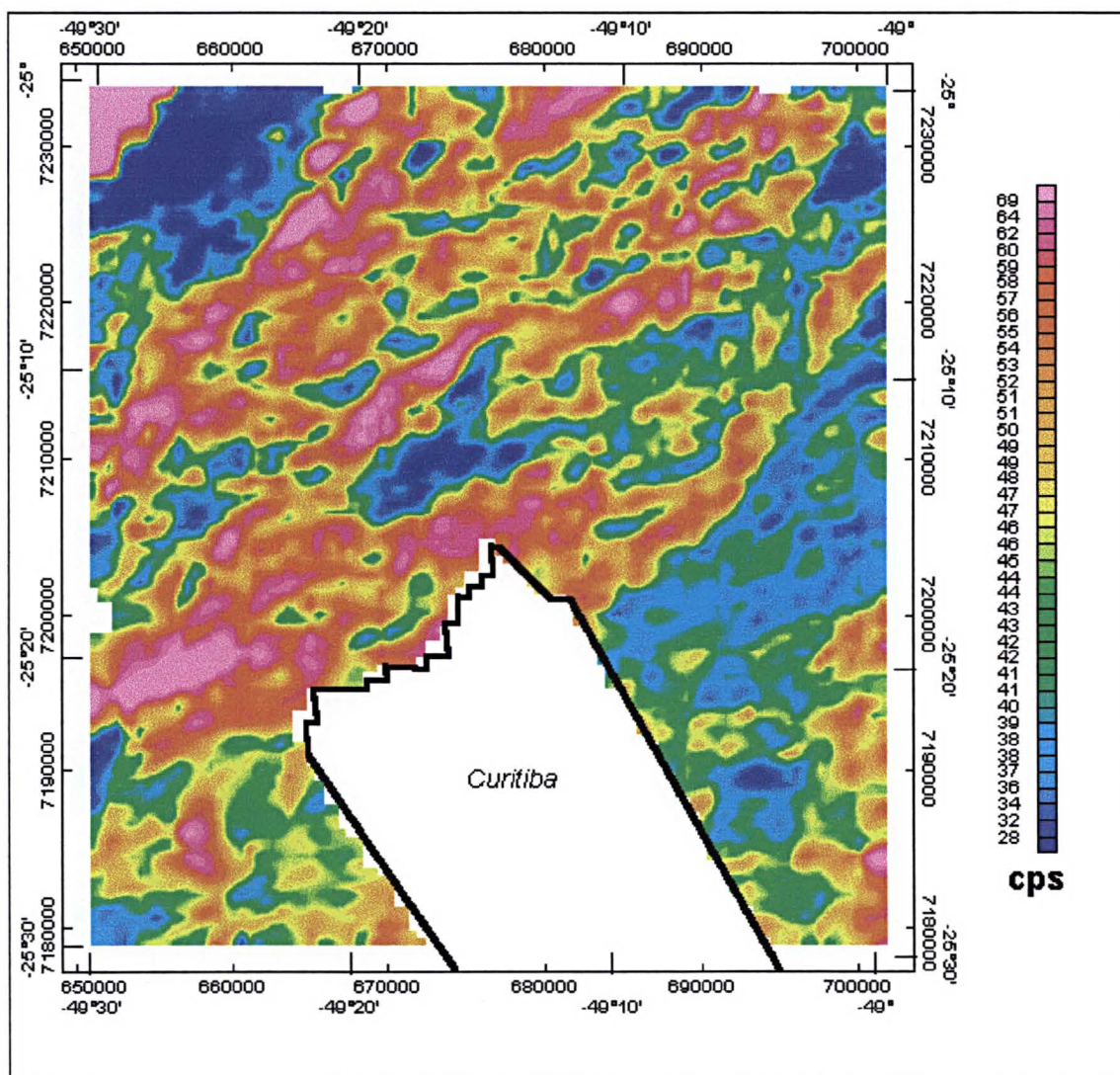


FIGURA 10 - MAPA DO TÓRIO (FILTRO COSENO DIRECIONAL)

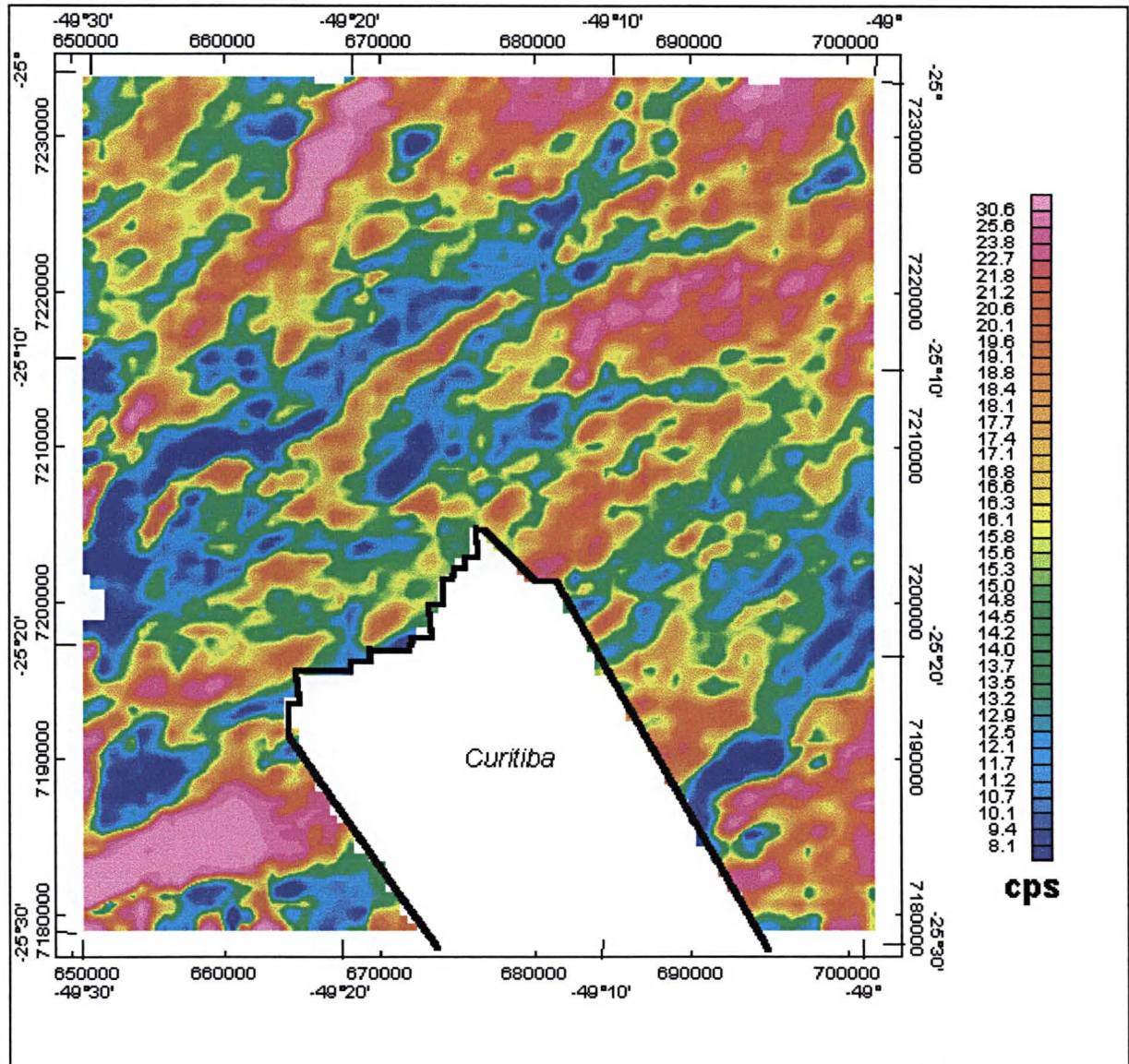
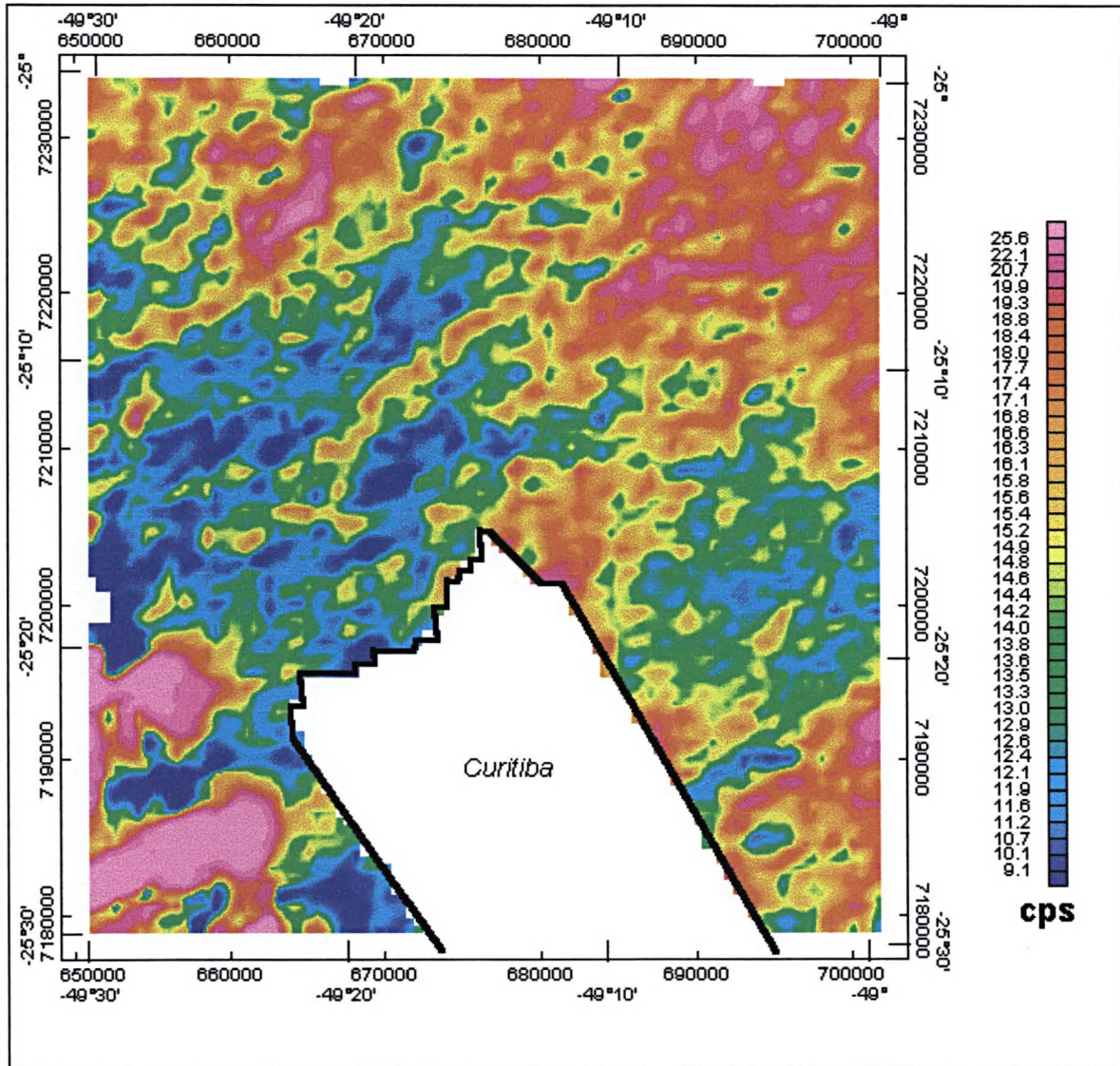
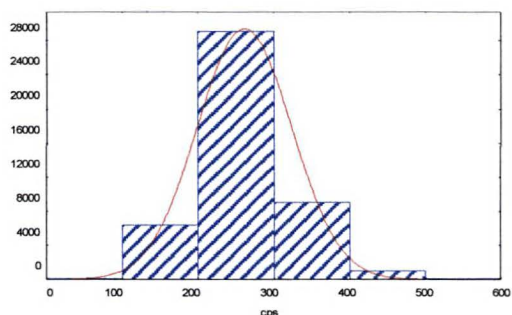
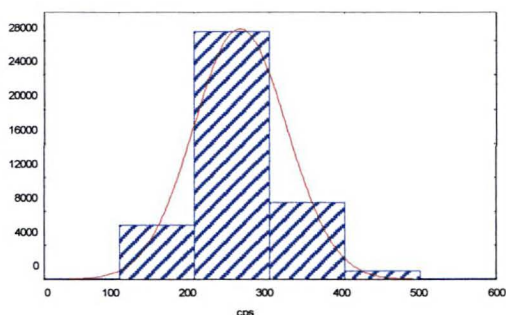


FIGURA 11 – MAPA DO URÂNIO (FILTRO COSENO DIRECIONAL)

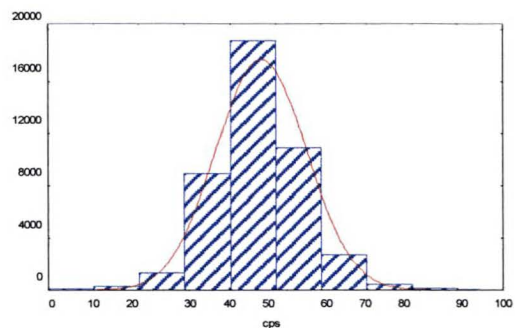
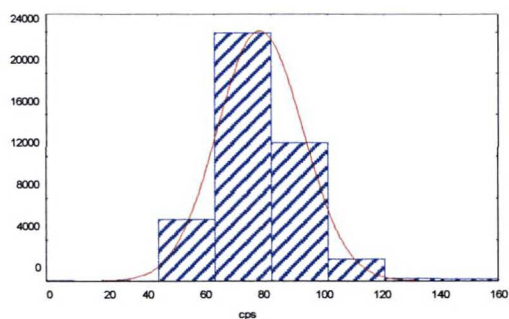


**FIGURA 12 - HISTOGRAMAS DE FREQUÊNCIAS E ESTATÍSTICAS DA CONTAGEM TOTAL E DE K (DADOS ORIGINAIS E FILTRADOS)**



Contagem Total (cps) Dados Originais	
Média	261
Mediana	254
Máximo	851
Mínimo	34
Desvio Padrão	62

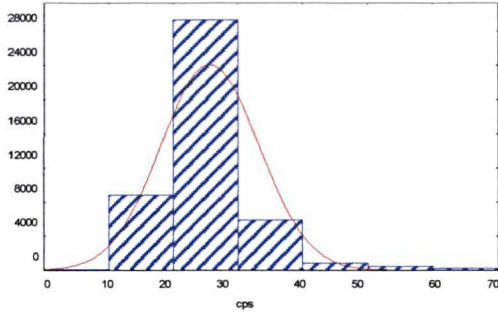
Contagem Total (cps) Dados Filtrados	
Média	148
Mediana	145
Máximo	480
Mínimo	1
Desvio Padrão	46



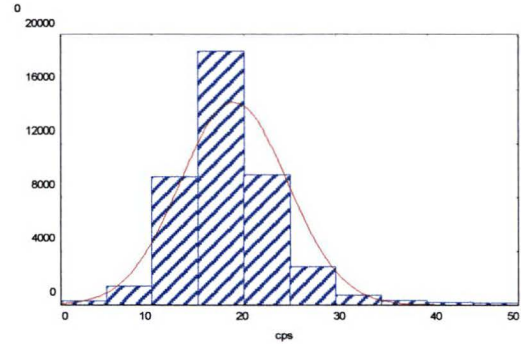
Potássio (cps) Dados Originais	
Média	76
Mediana	74
Máximo	178
Mínimo	32
Desvio Padrão	15

Potássio (cps) Dados Filtrados	
Média	47
Mediana	46
Máximo	99
Mínimo	1
Desvio Padrão	10

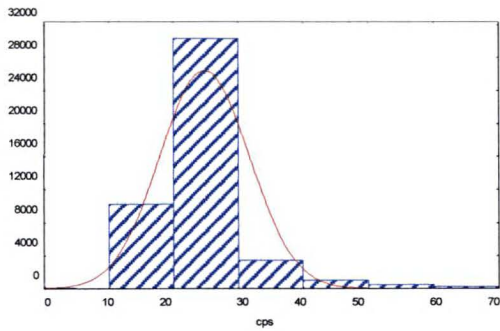
**FIGURA 13 - HISTOGRAMAS DE FREQUÊNCIAS E ESTATÍSTICAS DO TÓRIO E DO URÂNIO (DADOS ORIGINAIS E FILTRADOS)**



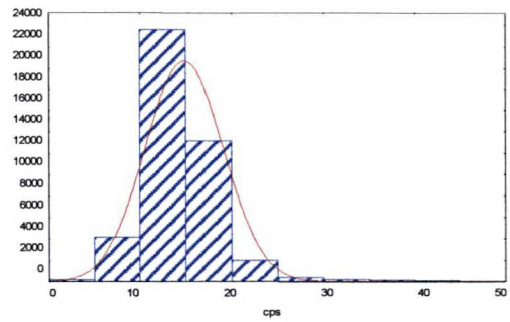
Tório (cps) Dados Originais	
Média	25
Mediana	25
Máximo	99
Mínimo	7
Desvio Padrão	8



Tório (cps) Dados Filtrados	
Média	19
Mediana	18
Máximo	60
Mínimo	1
Desvio Padrão	6



Urânio (cps) Dados Originais	
Média	25
Mediana	23
Máximo	86
Mínimo	11
Desvio Padrão	7



Urânio (cps) Dados Filtrados	
Média	15
Mediana	14
Máximo	53
Mínimo	1
Desvio Padrão	4

## 5.2 – Processamento

Nesta fase realizou-se o processamento dos dados e a geração de novos produtos os quais constituíram a base para a integração geofísico-geológica.

### 5.2.1 - Geração de imagens geofísicas

As malhas geradas no pré-processamento (K, Th e U) em tons de cinza, foram transformadas em imagens *raster* (formato TIF – 8bits), e transportadas para o sistema de processamento de imagens digitais *Erdas-Imagine*. Este processo transforma a variação original dos dados geofísicos em 256 níveis de cinza, do que decorre uma compressão da resolução espectral.

Neste ambiente foi realizado o georreferenciamento das imagens, com base em dez pontos de controle, tendo sido corrigidos para a projeção UTM do esferóide Internacional 1909, *datum* Córrego Alegre, zona UTM 22, com resolução espacial de 30m.

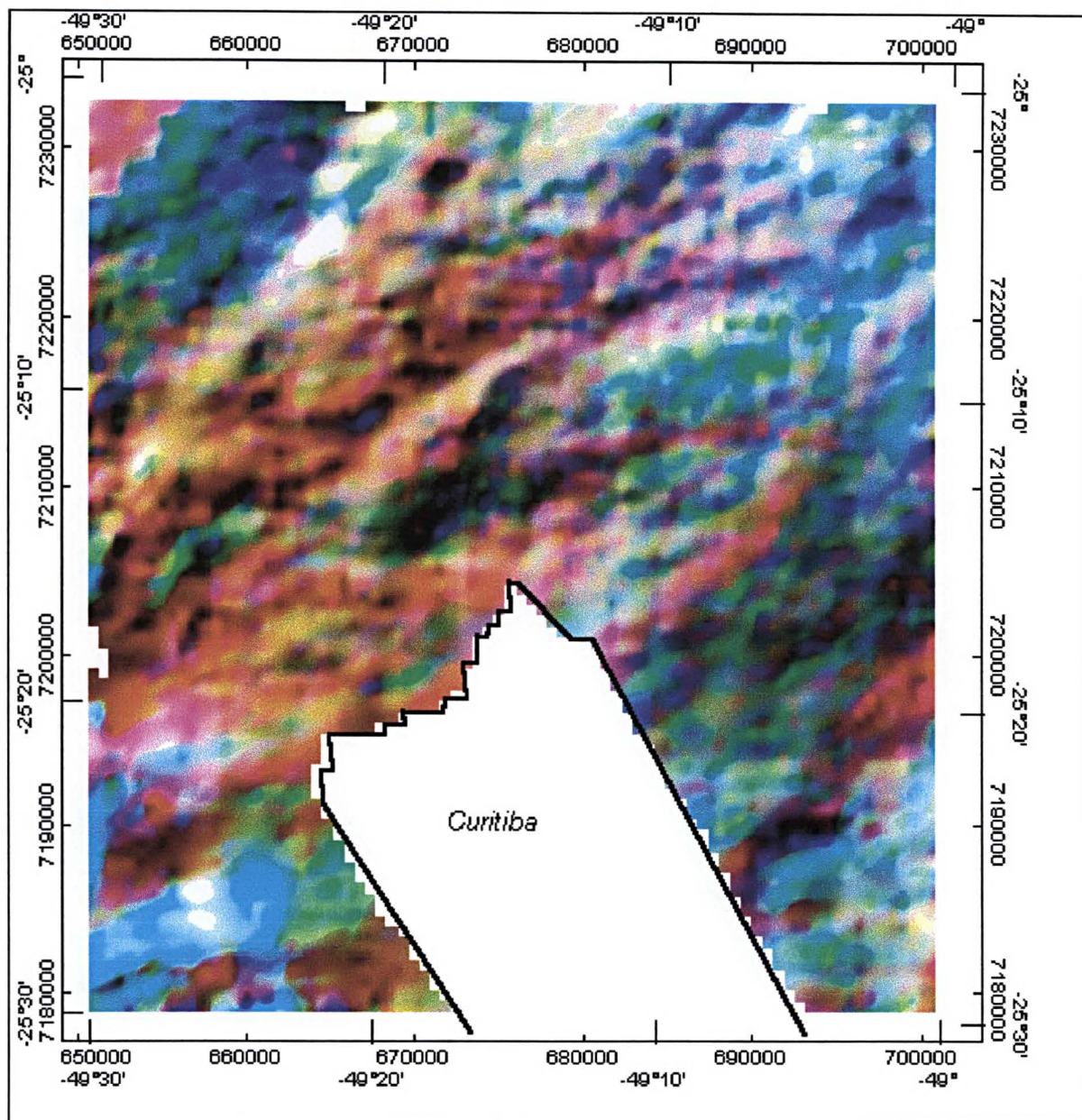
### 5.2.2 – Composição RGB

Composições coloridas RGB têm sido usadas com frequência para a análise de variáveis gamaespectrométricas (Duval 1983). Este processo permite combinar três bandas em uma única imagem, alocando-as nos canais correspondentes as cores primárias vermelho, verde e azul. Nessa composição a percentagem de cada cor primária na imagem final indica a contribuição de cada banda na cena final. Milligan & Gunn (1997) sugerem a associação do urânio ao canal azul, pois este procedimento tende a minimizar a baixa razão sinal-ruído normalmente presente nestes dados.

As imagens de K, Th e U são consideradas como bandas, sendo o potássio alocado ao canal vermelho, o tório ao canal verde e o urânio ao canal azul, conforme é mostrado na Figura 14. Nessa ilustração, tonalidades claras denotam ocorrências elevadas das três variáveis enquanto tonalidades mais escuras expressam baixas intensidades de K, Th e U. As demais tonalidades representam os percentuais relativos da contribuição de cada variável na cena final.



FIGURA 14 - COMPOSIÇÃO RGB DE K, Th e U



### 5.2.3 - Imagem digital de sensoriamento remoto

As imagens de sensores remotos são caracterizadas pelas suas resoluções espacial, espectral e radiométrica. A resolução espacial é definida pela capacidade do sistema sensor em definir objetos na superfície. Quanto menor for o objeto passível de identificação, maior será a sua resolução. O número de bandas espectrais de um sistema sensor e a largura do intervalo do comprimento de onda coberta por cada banda define a resolução espectral. Quanto maior o número de bandas e menor for o intervalo, maior será a resolução espectral. A resolução radiométrica corresponde ao número de níveis digitais utilizados para representação dos dados. Quanto maior o número de níveis, maior a resolução.

A área objeto de estudo encontra-se na junção de pontos e quadrantes diferentes da mesma órbita (cena 125 órbita 220 ponto 78 quadrante A e cena 125 órbita 220 ponto 77 quadrante C). Neste caso, o processamento para obtenção de uma imagem final representativa da área seguiu os seguintes procedimentos:

#### i) Empilhamento das Imagens

As imagens TM-Landsat vem separadas em bandas. No sistema *Erda-Imagine* elas podem ser reunidas em um processo de empilhamento (*layer stack*), permitindo que as bandas constituam uma mesma entidade, onde o usuário utiliza para visualização a combinação de bandas (em RGB) que melhor convier, ou apenas uma banda. Este processo foi realizado para os dois conjuntos de imagens da área.

#### ii) Mosaico

A imagem do ponto 78 quadrante A corresponde a aproximadamente 80% da área de estudo, enquanto a outra (ponto 77 quadrante C) envolve praticamente o restante da Folha Curitiba. Procedeu-se, então, a montagem de um mosaico cobrindo a área de estudo.

#### iii) Escolha de bandas

Após os procedimentos de preparação da imagem final, foram escolhidas as seguintes bandas:

- Banda 1 (azul - 0,45  $\mu\text{m}$  a 0,52  $\mu\text{m}$ ), apresenta elevada penetração em corpos com água, sensibilidade na diferenciação de solo e vegetação, sendo útil no mapeamento de águas (lagos, represas e drenagens);
- Banda 4 (verde - 0,76  $\mu\text{m}$  a 0,90 $\mu\text{m}$ ), possui sensibilidade à vegetação densa, à morfologia do terreno (geomorfologia e solos), servindo no mapeamento de feições geológicas;
- Banda 7 (infra vermelho médio - 2,08  $\mu\text{m}$  a 2,35 $\mu\text{m}$ ), sensível a morfologia do terreno, evidenciando os aspectos geológicos e estruturais.

A combinação dessas bandas 7, 4 e 1 nos canais RGB respectivamente, foi escolhida visando realçar os aspectos geológicos e estruturais da área.

#### iv) Realce de Imagem

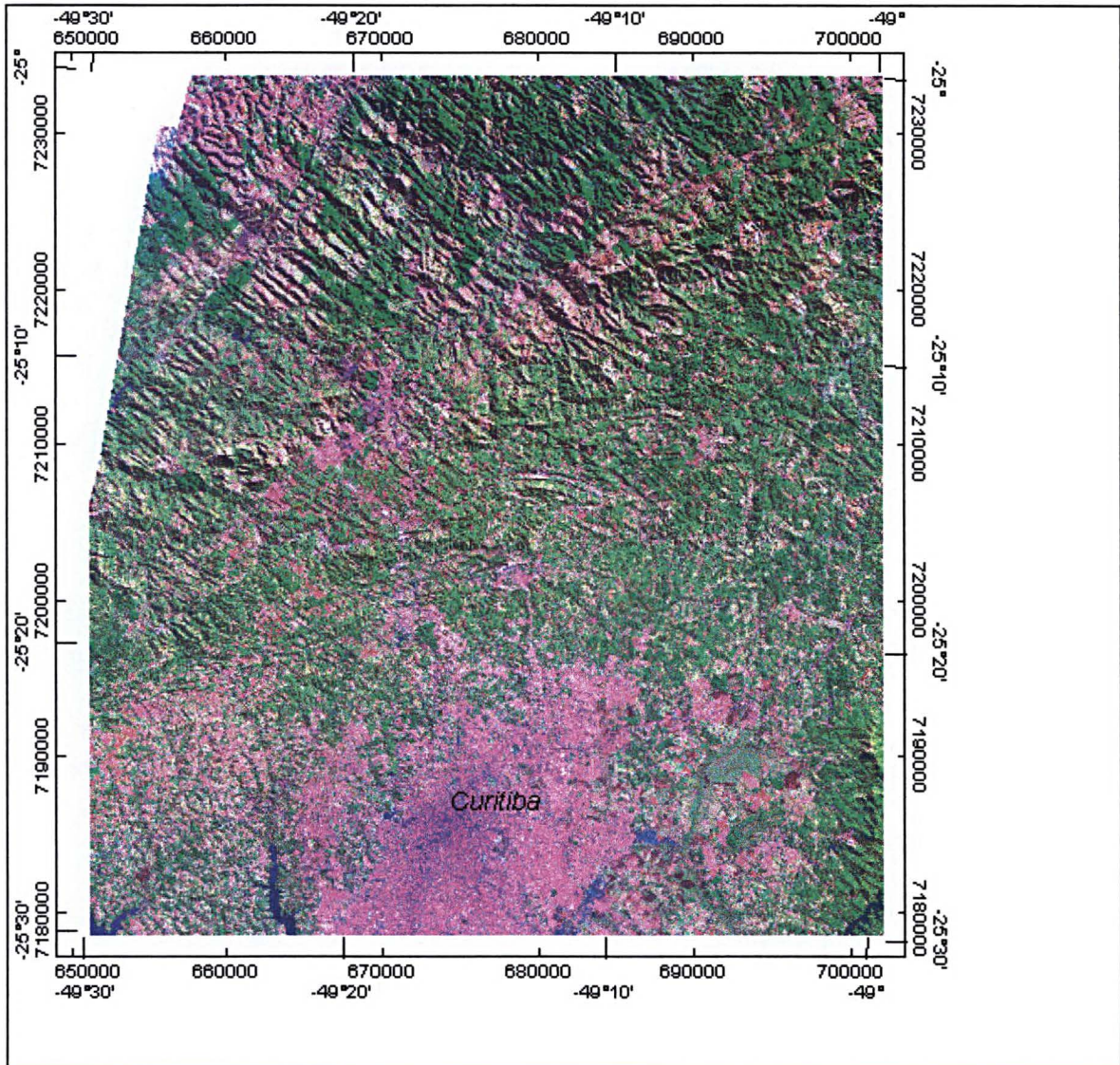
Em geral, os valores de *pixels* (DNs) das imagens de satélite não ocupam a totalidade dos 256 níveis de cinza, pois raramente encontra-se valores extremos de radiação em uma determinada área, tendo como consequência uma concentração de níveis de cinza em estreita faixa de intervalos. De modo a aumentar o contraste, modifica-se o histograma da imagem, forçando a ocupação de todo o intervalo de níveis de cinza disponíveis.

Diversos tipos de contraste podem ser aplicados em função da forma do histograma e do objetivo desejado. No aumento linear a forma e o espaçamento relativo das classes no histograma final permanecem igual ao inicial, com a diferença que todo o intervalo é ocupado nas bandas escolhidas.

Nas bandas escolhidas foi adotado o aumento de contraste linear como técnica de realce da imagem da área de estudo.

#### v) Georreferenciamento

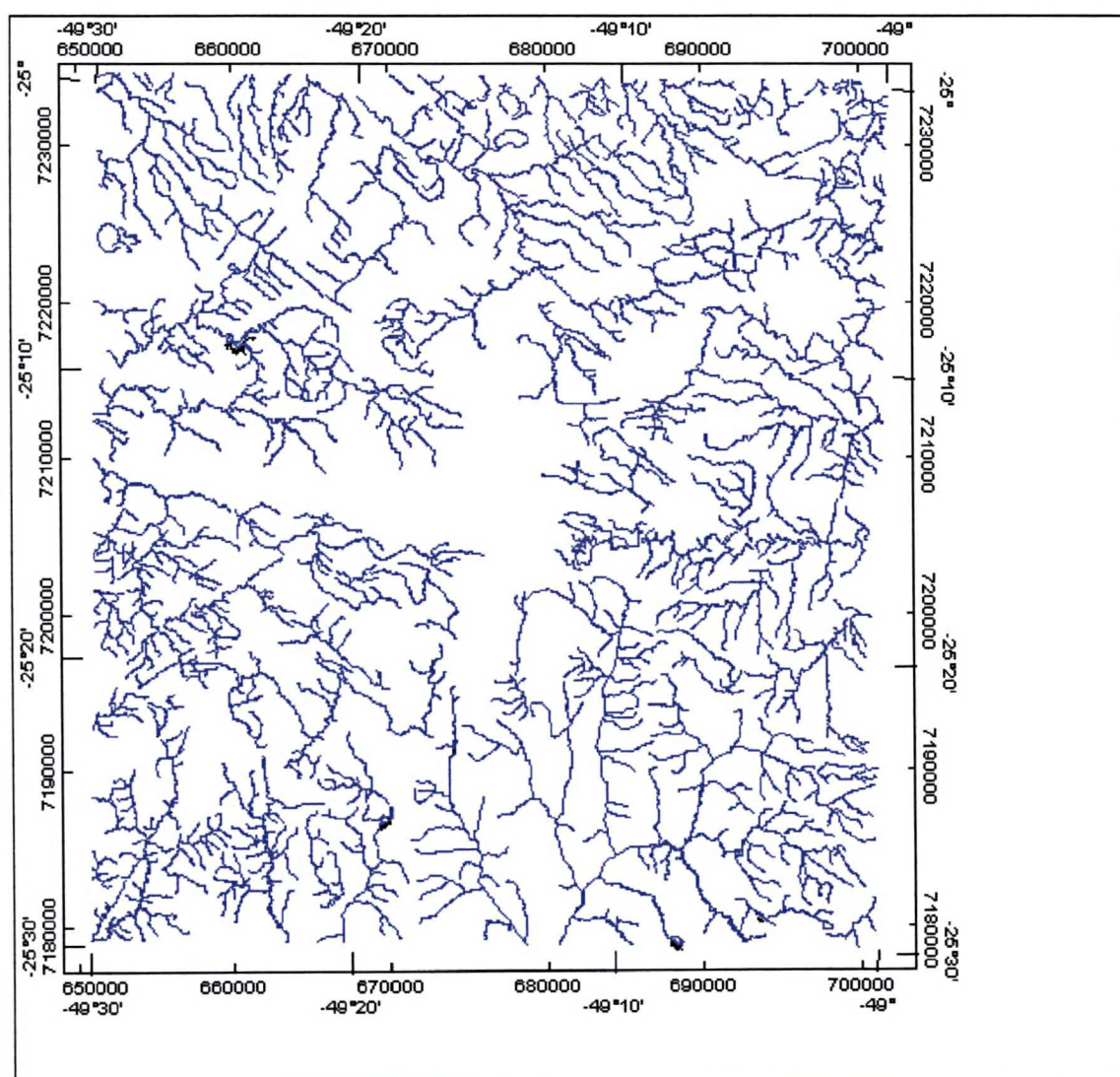
A imagem da Folha Curitiba foi georreferenciada a partir de 150 pontos de controle na carta planimétrica, utilizando-se os seguintes parâmetros: projeção UTM do esferóide Internacional (1909); *datum* Córrego Alegre; zona UTM 22 e resolução espacial de 30m. Ao término deste procedimento a imagem foi cortada nas exatas coordenadas UTM que delimitam a área. A Figura 15 mostra a imagem de satélite final da Folha Curitiba após o cumprimento dos cinco itens descritos no processamento.

**FIGURA 15 – COMPOSIÇÃO RGB DA FOLHA CURITIBA (BANDAS 7 - 4 - 1)**

## 5.2.4 – Drenagem

A rede hidrográfica digitalizada foi cedida pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Devido ao seu aspecto extremamente denso, esta foi reduzida indicando apenas as drenagens principais (Figura 16).

**FIGURA 16 – REDE DE DRENAGEM DA FOLHA CURITIBA**



Modificado de Silva *et al.* 1998

### 5.2.5 - Geração do modelo digital de terreno

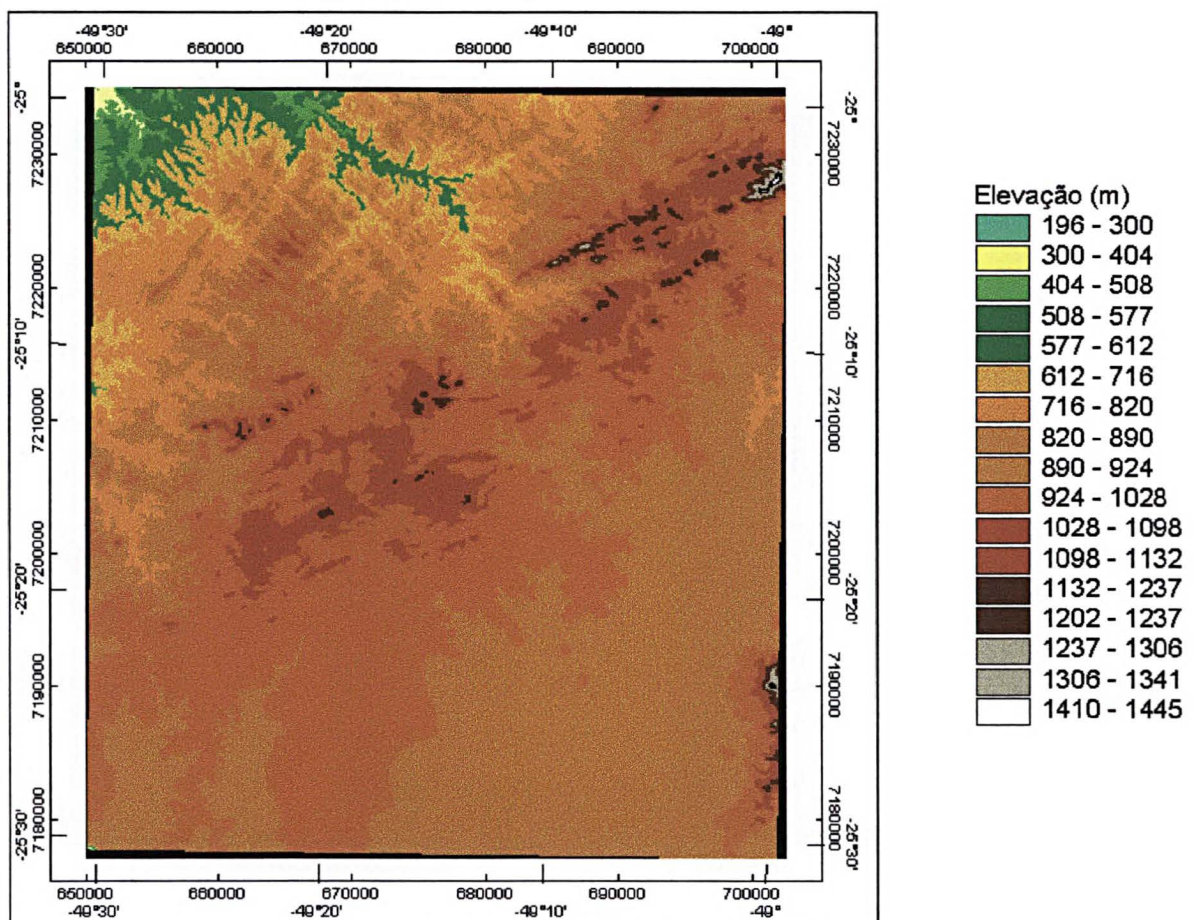
Segundo Burrough (1987) um modelo digital de terreno modela a variação contínua de um atributo "Z" sobre uma superfície bidimensional. Eles são gerados a partir da entrada de pontos e/ou digitalização de linhas de uma mapa convencional, transformados para um formato compatível ao uso em computador.

O mapa da folha topográfica Curitiba em escala 1:100.000, foi digitalizado em CAD (Computer Aided Design), AutoCAD versão 12 com espaçamento de 20m entre as curvas de nível, gerando-se a base digital topográfica, transformada para o formato DXF. Neste formato foi exportado para o sistema geográfico de informações Arc-Info onde se realiza o processo de geração do modelo.

Dentre os métodos matemáticos de ajuste de superfícies que este sistema utiliza, optou-se pelo da rede triangular irregular (TIN), que faz uso de folhas de faces triangulares conexas e contínuas, baseadas na triangulação de Delaunay de nós irregularmente espaçados. Este método permite seguir feições críticas (picos, poços divisores, vales acentuados e etc...) e outras estruturas topológicas mais simples sem gerar redundâncias (Burrough, *op. cit.*).

O modelo digital de terreno (MDT) foi transformado em malha (*grid*) e posteriormente em imagem (Figura 17).

FIGURA 17 – MODELO DIGITAL DE TERRENO



### 5.2.6 - Mapa geológico

O mapa geológico foi digitalizado a partir de suas unidades litoestratigráficas (Figura 18), constituindo 6 unidades do Paleoproterozóico, 17 unidades do Mesoproterozóico, 6 do Neoproterozóico-Cambriano e uma do Quaternário, totalizando 30 níveis de informação. Algumas unidades não foram digitalizadas por possuírem áreas inexpressivas em relação ao levantamento aerogofísico, como por exemplo os gnaisses tipo Tigre inseridos no contexto da Seqüência Perau, o granito Taici e outras com diminutas expressões em área, ou também por estarem inseridas no mesmo contexto estratigráfico (aluviões e Formação Guabirotuba).

Apesar de ser um processo exaustivo, a digitalização individualizada dessas unidades trouxe benefícios e facilidades para a manipulação dos mesmos, além da análise das unidades litoestratigráficas e dos agrupamentos litológicos.

De acordo com Silva *et al.* (1998), a coluna litoestratigráfica do mapa geológico é mostrada na Tabela 6.





**TABELA 6 – UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS DO MAPA GEOLÓGICO**

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	SÍMBOLO
<b>QUATERNÁRIO</b>	
Aluviões e Formação Guabirotuba	Qh + Qpg
<b>JURÁSSICO-CRETÁCEO</b>	
Diques básicos	
<b>NEOPROTEROZOÍCO – CAMBRIANO</b>	
<b>Rochas Intrusivas Granitóides</b>	
Anhangava	Na
Piedade	Np1/Np2
Cerne	Nc
Três Córregos	Ntc
Rio Abaixo	Nra
Chacrinha	Nch
<b>MESOPROTEROZOÍCO</b>	
<b>Formação Antinha</b>	
Metacalcários calcíticos	Ma2
Metargilitos e metassiltitos	Ma3
<b>Formação Votuverava</b>	
Metarenitos	Mv3
Metassedimentos silto-argilosos	Mv4
Filitos carbonosos	Mv8
<b>Formação Capiru</b>	
Metacalcários dolomíticos	Mc2
Metarritimitos silto-arenosos	Mc4
Filitos/metassiltitos/metamargas	Mc5
Filitos/metassiltitos/metamargas com presença de dolinas	Mc6
Filitos carbonosos e metarritmitos	Mc7
Filitos avermelhados	Mc8
Metacalcários dolomíticos finos	Mc9
Sericita xistos/quartzo-biotita-muscovita xistos	Mc10
<b>Formação Betara</b>	
Quartzo-mica xistos	Mb3
<b>Sequência Perau</b>	
Quartzitos finos/metacálciossilicatadas	Mp1/Mp2

<b>Formação Água Clara</b>	
Quartzo-mica xistos/metamargas/mármoreos	<b>Mac1</b>
Mármoreos puros/impuros	<b>Mac3</b>
<b>PALEOPROTEROZOÍCO</b>	
<b>Complexo Meia Lua</b>	
Biotita Gnaisses/metabásicas/quartzitos	<b>Pml</b>
<b>Complexo Atuba</b>	
Epidoto Gnaisses	<b>Pca1</b>
Granada-silimanita xistos/migmatitos	<b>Pca2</b>
Biotita gnaisses	<b>Pca4/Pca5</b>
Biotita Gnaisses leucocráticos	<b>Pca6</b>
Anfibolitos , homoblenda gnaisses	<b>Pca8</b>
Homoblenda gnaisses bandados/ migmatitos	<b>Pca9</b>

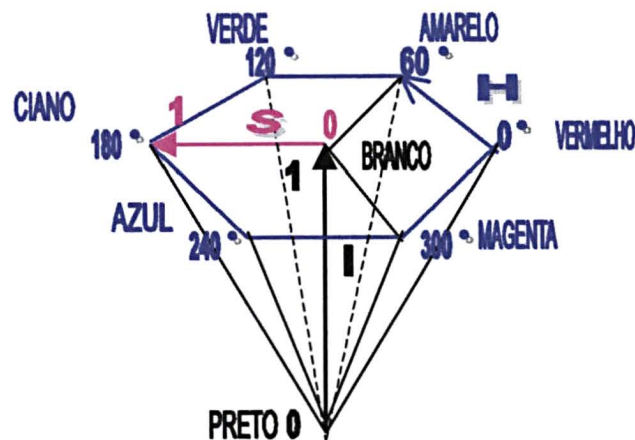
### 5.2.7 - Integração de imagens geofísicas e de satélite

Para proceder a integração de imagens geofísicas e de satélite, foi necessário utilizar a transformação de domínios RGB  $\leftrightarrow$  IHS.

O IHS corresponde a um sistema de representação de cores alternativo ao RGB. Os parâmetros utilizados: I - intensidade; H - matiz; e S - saturação, representam as cores de uma forma mais próxima daquela assimilada pelo sistema visual humano. A matiz define a cor do objeto, a intensidade o brilho e a saturação expressa o grau de pureza da cor (Crósta 1993).

O domínio IHS utiliza outro sistema de coordenadas (cônico), ao invés de coordenadas cartesianas como no sistema RGB. A Figura 19 mostra que a matiz (H) é medida em torno de um eixo vertical variando de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ , a saturação varia de 0 no eixo vertical até 1 na base das superfícies de faces triangulares do cone hexagonal, enquanto a intensidade (I) varia de 0 (preto) a 1 (branco) ao longo do eixo vertical do cone.

FIGURA 19 – O SISTEMA DE COORDENADAS IHS



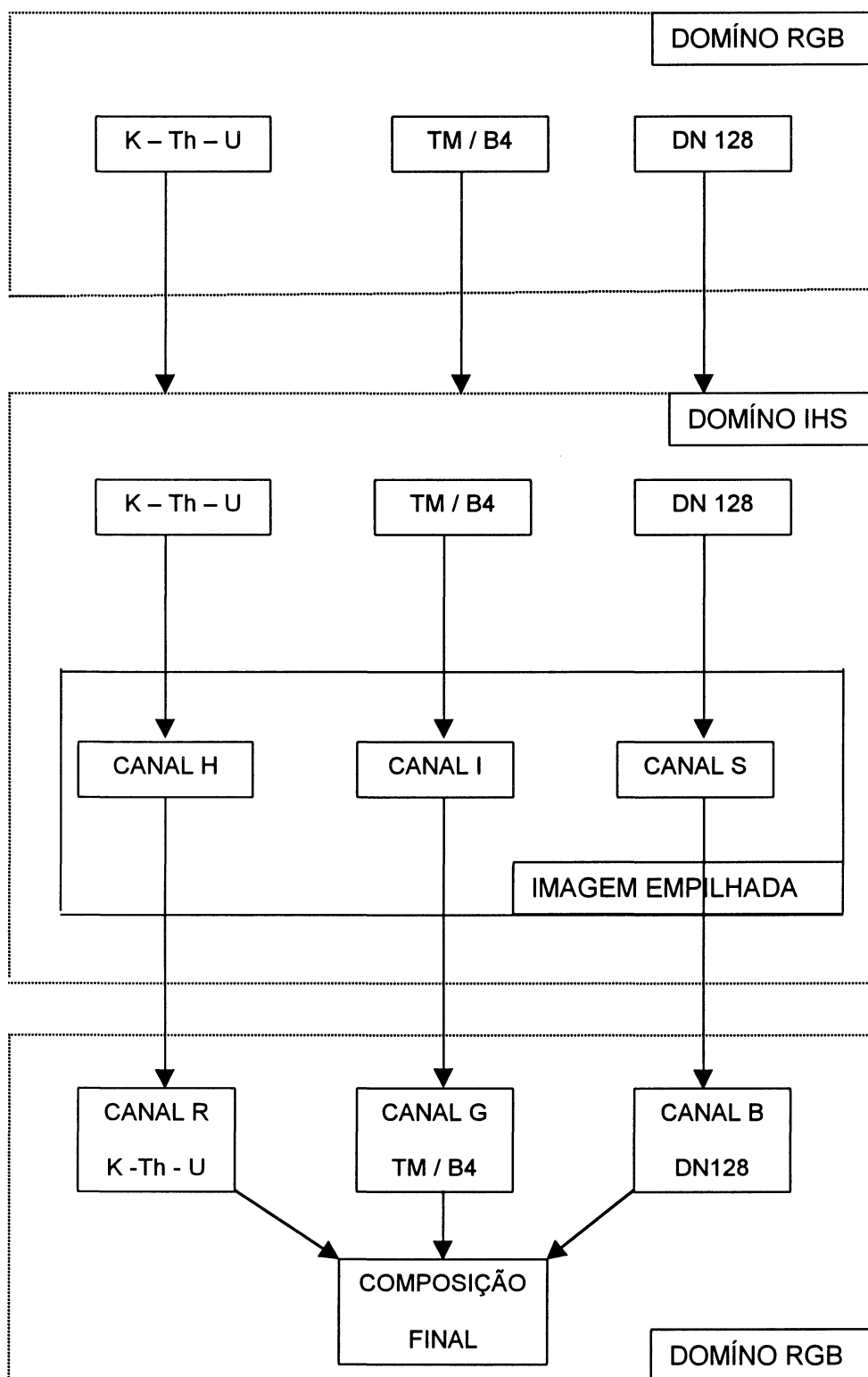
Modificado de Milligan & Gunn (1997)

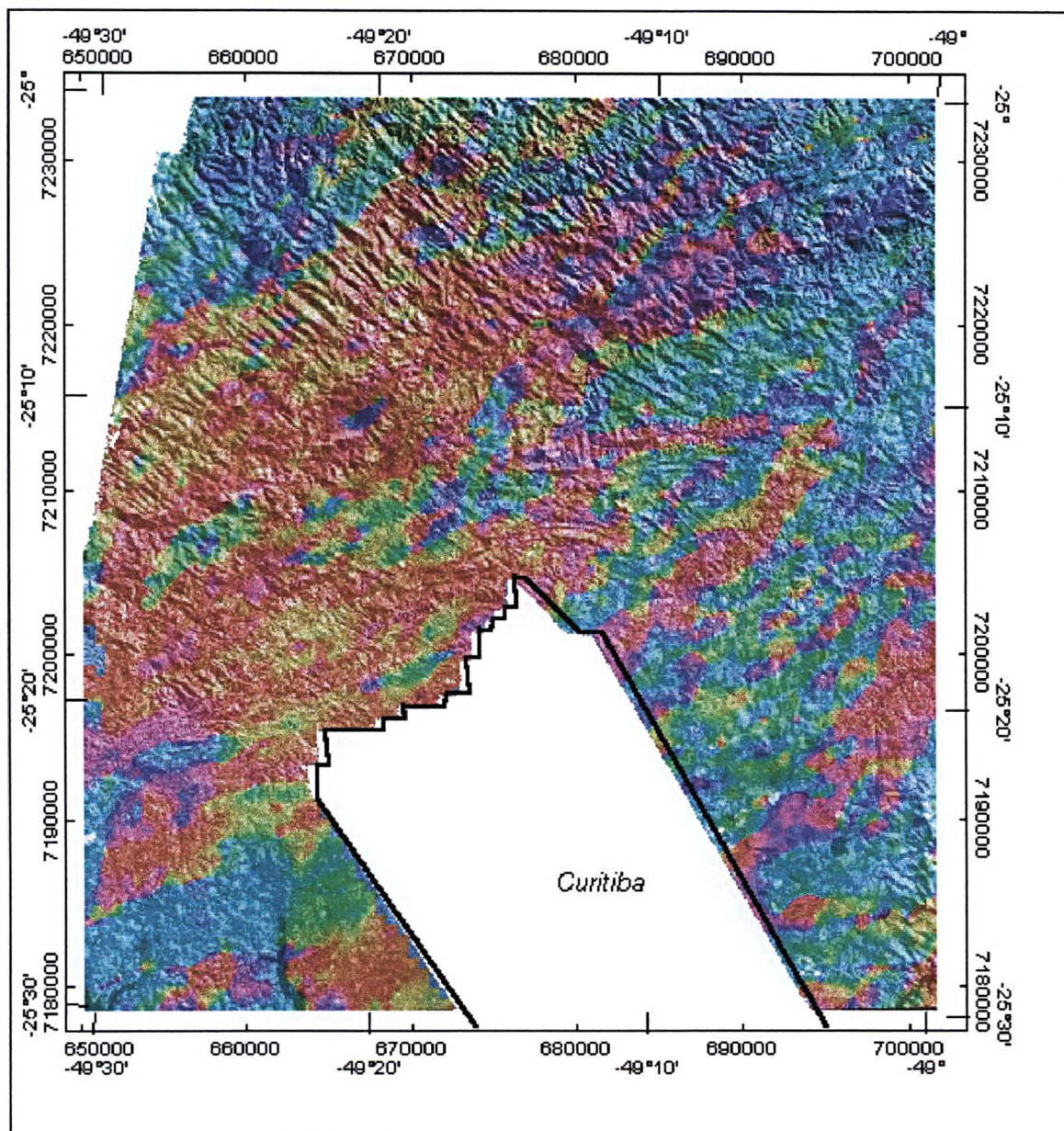
Uma das maiores aplicações desta técnica tem sido a integração de dados de diversas naturezas. Harris *et al.* (1990), utilizaram o IHS na integração de imagens de RADAR com dados geofísicos e mapas geológicos. A colocação dos dados de RADAR no canal I, geofísica no H e uma imagem sintética com valor de pixel DN=128 no S, permitiu observar os dados estruturais juntamente com a informação temática da geofísica sem que houvesse destaque de uma imagem sobre à outra.

A técnica utilizada por Harris (*op. cit.*) foi implementada na integração de dados geofísicos radiométricos com a imagem TM-Landsat da área. Este procedimento no sistema Erdas-Imagine é descrito a seguir:

- foi selecionada a imagem radiométrica obtida através da composição RGB de K, Th e U (Figura 17);
- em seguida relacionou-se a banda 4 da imagem TM-Landsat por apresentar sensibilidade a morfologia do terreno e aos aspectos estruturais da área. A partir desta foi gerada uma imagem sintética com valor de pixel constante (DN=128);
- as imagens geofísica, de satélite e sintética foram individualmente transformadas do domínio RGB para o IHS;
- no domínio IHS estas imagens são empilhadas no processo denominado *layer stack*, de forma a termos no *layer 1* (canal I) a imagem de satélite, no *layer 2* (canal H) a imagem geofísica e no *layer 3* (canal S) a imagem sintética;
- as imagens empilhadas no domínio IHS sofreram a transformação inversa para o domínio RGB de forma a termos no canal vermelho (R) a imagem de satélite, no canal verde (G) a imagem geofísica e no canal azul (B) a imagem sintética. A Figura 20 mostra o diagrama de transformação e o resultado deste procedimento é mostrado na Figura 21.

**FIGURA 20 – DIAGRAMA DE TRANSFORMAÇÃO DE DOMÍNIOS**



**FIGURA 21 – FUSÃO DE IMAGENS GEOFÍSICAS (K Th U) E DE SATÉLITE**

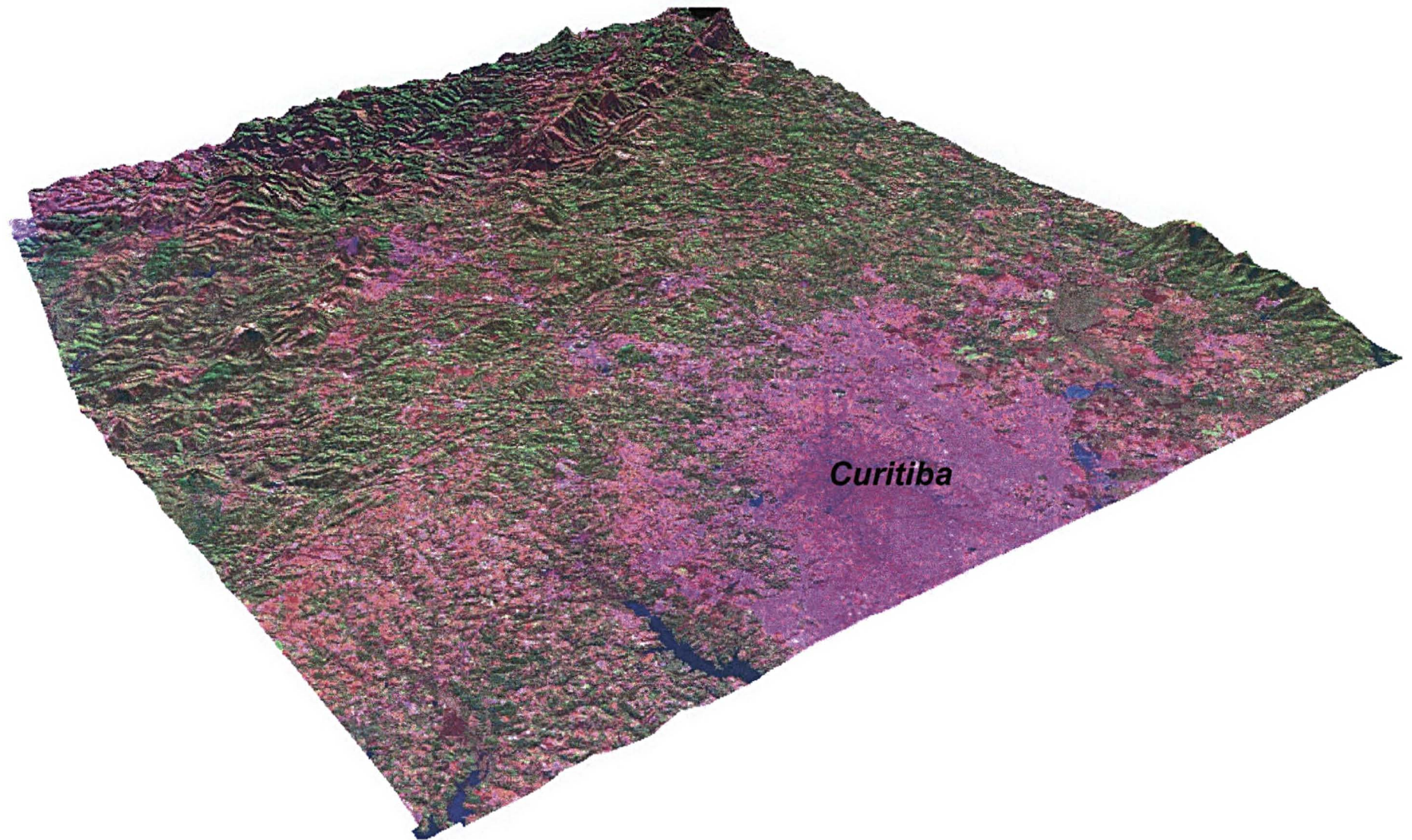
### 5.2.8 – Modelo digital de terreno e integração de imagens

Este outro tipo de integração, consiste em realizar a superposição de imagens com o modelo digital de terreno, proporcionando a visualização em perspectiva destas com o relevo gerado. Este procedimento é realizado no *software* de sistemas de informações geográficas *Arc-Info*, onde, a partir do modelo digital de terreno, é gerada uma superfície regular com células de dimensões 800m x 800m, com sua respectiva variação altimétrica. Nesta são sobrepostas as imagens obtidas no processamento digital, tanto de satélite quanto as geofísicas. Desta forma, foram geradas as seguintes cenas:

- i) Imagem de satélite com a combinação de bandas (7, 4, 1) e o modelo digital de terreno, Figura 22;
- ii) Modelo digital de terreno com a composição RGB de K, Th e U, visualizada nas direções NW e SW (figuras 23 e 24).



**FIGURA 22 – FUSÃO DE IMAGEM DE SATÉLITE E MODELO DIGITAL DE TERRENO**



**FIGURA 23 – FUSÃO DE MODELO DIGITAL DE TERRENO E COMPOSIÇÃO RGB ( K, Th, U) - PERSPECTIVA N45W**

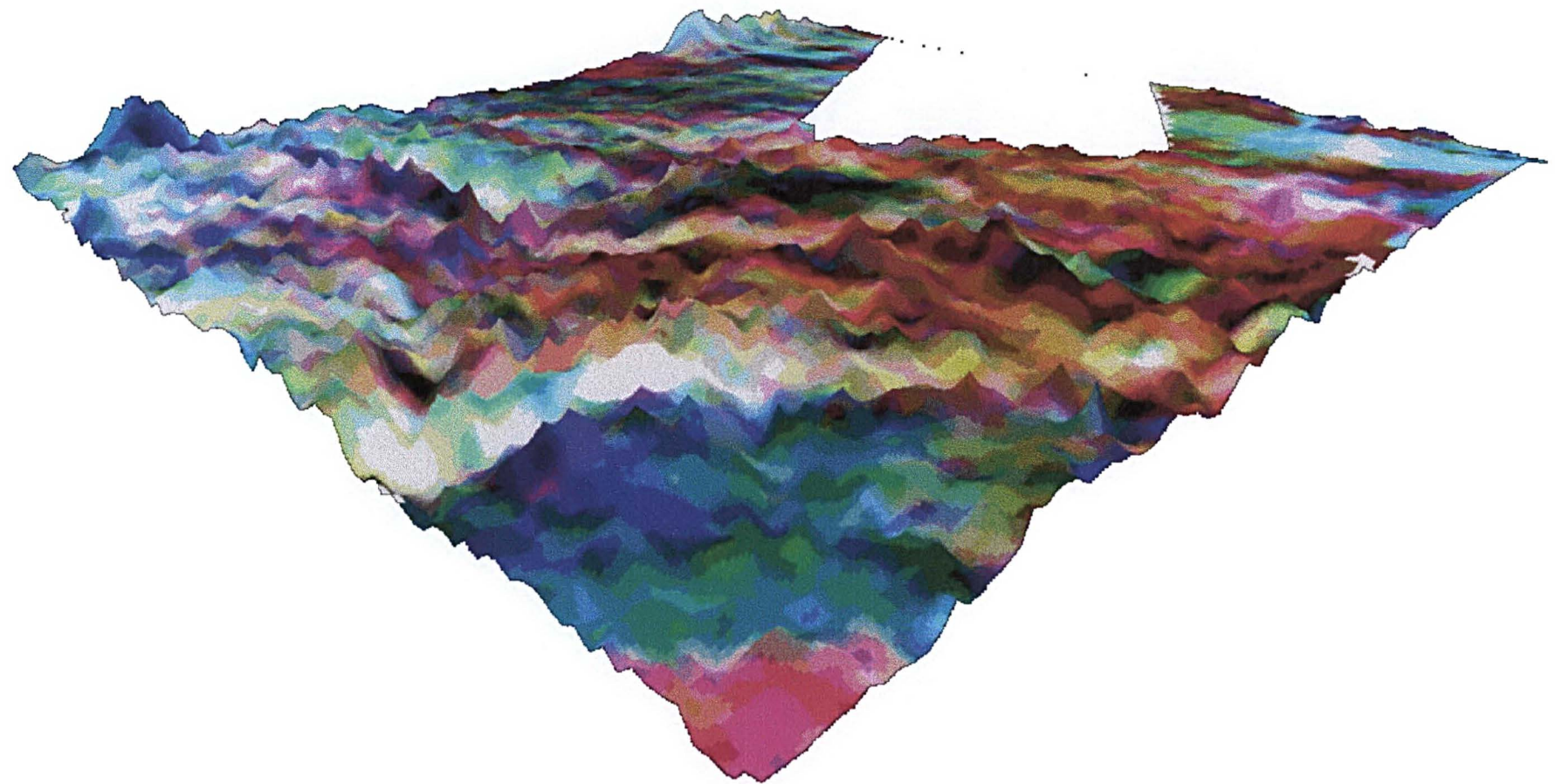
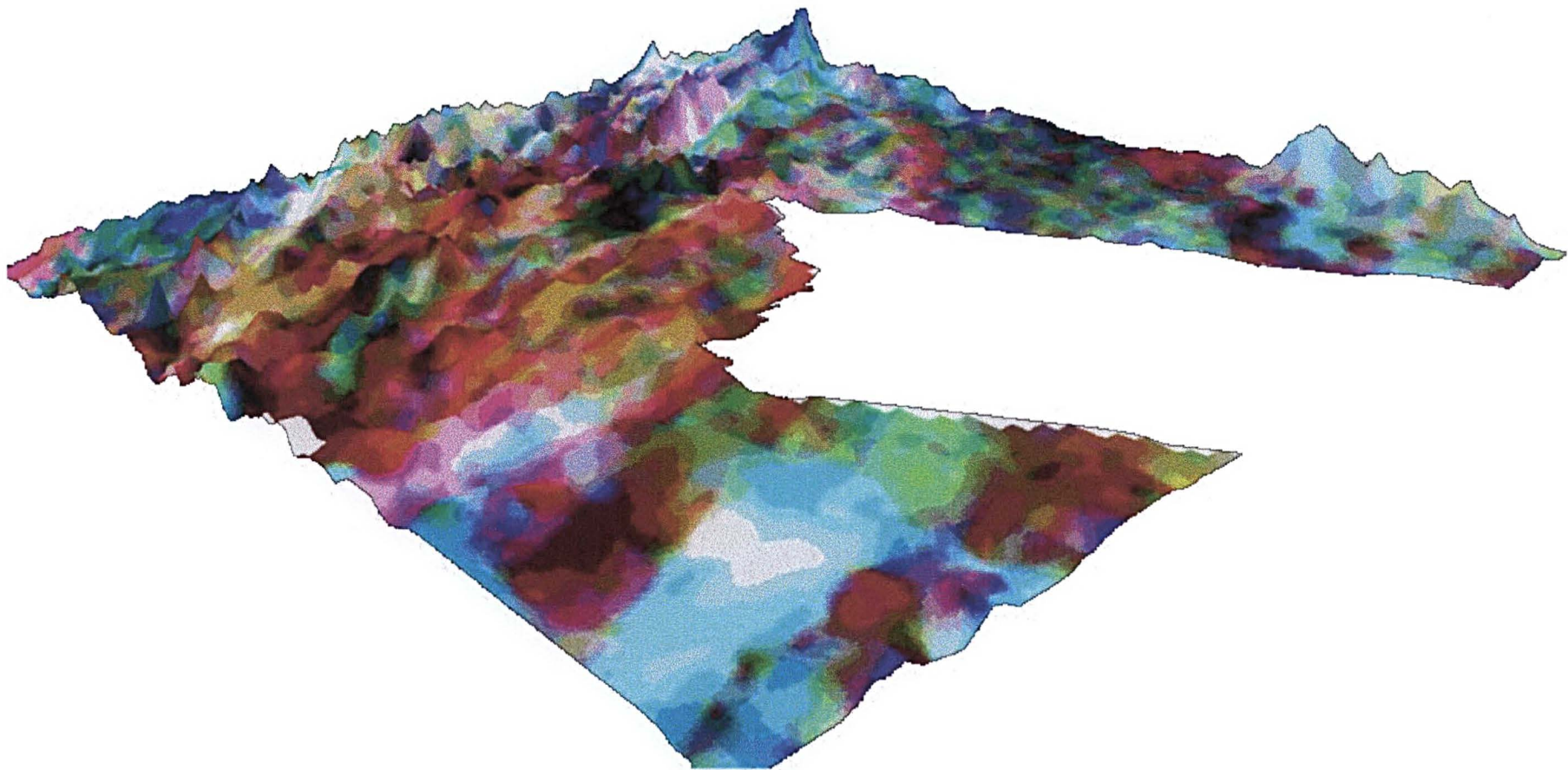


FIGURA 24 – FUSÃO DE MODELO DIGITAL DE TERRENO E COMPOSIÇÃO RGB (K, Th, U) - PERSPECTIVA S45W



## 6 - Integração gamaespectrométrica-geológica

### 6.1- Aerogamespectrometria da Folha Curitiba

#### 6.1.1 - Abordagem geral

Nesta fase foi realizada uma análise de caráter geral acerca do comportamento das variáveis potássio, tório e urânio, em correspondência com a geologia para toda a Folha Curitiba. Convém ressaltar que as considerações geológicas da área de estudo, tiveram como uma das bases principais o relatório do Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (Silva *et al.* 1998), para a referida folha.

##### 6.1.1.1 - Considerações sobre o potássio

Observando o mapa do potássio (Figura 25), as principais unidades litoestratigráficas são descritas em termos globais como segue:

###### 6.1.1.1.1 - Complexo Atuba

O Complexo Atuba, em geral, é caracterizado por valores médios a baixos de potássio. As litologias localizadas no extremo sudeste da folha, representadas pelas unidades epidotos gnaisses (Pca1), granada-sillimanita xistos (Pca2) e quartzitos (Pca3), apresentam valores médios de K. A unidade de epidoto gnaisses faz contato com o granito Anhangava (Na) a leste, com a unidade hornblenda gnaisses (Pca9) a norte e a SW com as unidades Pca2 + Pca3. É interessante notar que, apesar de serem esperados valores baixos de K, talvez pelo acentuado caráter cálcico da unidade, observam-se índices mais elevados desta variável na região próxima ao contato com o granito Anhangava. Tais contagens não devem refletir os litotipos

característicos desta unidade (epidoto gnaisses tonalíticos finos – Pca1), mas representarem teores de K provenientes do maciço granitóide, uma vez que sendo o potássio um elemento muito solúvel, deve ter sido carregado pela drenagem a partir da serra do Anhangava.

A unidade Pca9 ocorre em grande extensão, ocupando a região centro-leste da folha, caracterizada por baixos valores de potássio e representada por uma associação constituída por biotita–hornblenda gnaisses, biotita gnaisses, migmatitos estromáticos, lentes de rochas metabásicas e, menos freqüentemente, de metaultrabásicas serpentinizadas/talcificadas. Apesar de tais lentes metabásicas/metaultrabásicas (Pca7) não serem cartografadas, provavelmente em função da escala do mapeamento geológico, elas devem ter contribuído para os mais baixos valores de potássio deste segmento. Entretanto índices bem mais elevados ocorrem a sul do referido compartimento, justamente nas proximidades da região de contato com o granito Anhangava (Na). Tais teores são também interpretados como uma concentração secundária de potássio em argilo-minerais provenientes de processos intempéricos atuantes sobre o referido granito.

Uma característica marcante deste segmento de hornblenda gnaisses (Pca9) é o forte contraste de contagens de potássio com os filitos (Mc8 da Formação Capiru), o qual rastreia perfeitamente o contato geológico entre tais unidades.

No núcleo do Antiforme do Setuva afloram porções das unidades hornblenda gnaisses (Pca9), biotita hornblenda gnaisses e biotita gnaisses (Pca4+Pca5). Os biotita-hornblenda gnaisses (Pca5), com porfiroclastos de feldspato potássico róseo da ordem média de 3-4cm, podendo atingir até 10cm, e os biotita gnaisses bandados miloníticos (Pca4), com uma mineralogia básica composta por quartzo, feldspato potássico, plagioclásio, biotita, muscovita e acessória constituída por epidoto, zircão, apatita, sericita, clorita e mica branca, são representados, em geral, por valores moderados a baixos de potássio, apesar da presença subordinada de xistos feldspáticos. As exposições dos biotita gnaisses (Pca9), situadas ao sul das unidades descritas, mostram valores mais elevados do que as litologias homônimas da região centro-leste da folha. Tal elevação nos teores de potássio pode ser atribuída as atividades das zonas de falha e, talvez, ao retrometamorfismo no fácies

xisto verde baixo, zona da clorita, implicando um aumento de potássio. É interessante observar que, no conjunto, as litologias do Antiforme do Setuva são bem marcadas no mapa do potássio.

Os segmentos do Complexo Atuba localizados no limite sudoeste da folha, envolvendo as unidades biotita gnaisses (Pca6), anfibolitos (Pca8) e hornblenda gnaisses (Pca9) na região de Santo Onofre, apresentam em suas regiões centrais valores altos de potássio, atribuídos a uma possível remobilização de quartzo-feldspato, apesar de não existirem evidências geológicas.

Em zonas de cisalhamento transcorrentes normalmente ocorrem concentrações de fluidos silicosos ou alcalinos, as quais podem explicar a ocorrência de valores moderados a altos de potássio nestas regiões. Este fato pode ser constatado nas áreas limítrofes das rochas do Complexo Atuba com a Formação Capiru, na zona de cisalhamento transcorrente (ZCT) da Lancinha e na ZCT de Morro Agudo.

#### 6.1.1.1.2 - Complexo Meia Lua e Gnaisses Tipo Tigre

O Complexo Meia Lua é bem caracterizado por baixos valores de potássio. Aflora na região centro-oeste da folha, entre a Serra das Endoenças e o Rio Meia Lua, na localidade de Conceição dos Correias. Seus limites são tectônicos, com os contatos meridionais dados pelo núcleo Betara através da ZCT da Lancinha. Os demais contatos são bem caracterizados no mapa da Figura 25. As litologias dominantes no Complexo Meia Lua são biotita-hornblenda gnaisses, biotita gnaisses graníticos e lentes subordinadas de rochas metabásicas, as quais certamente contribuem para os baixos valores de potássio registrados.

Os gnaisses tipo Tigre ocorrem no extremo norte da folha, em contato com a Seqüência Perau, em uma estreita faixa incompatível com a baixa resolução espacial do levantamento geofísico.

#### 6.1.1.1.3 - Formação Água Clara

A Formação Água Clara situa-se a NW da folha, constituindo uma faixa de direção NE-SW, posicionada entre o Granito Três Córregos e a Formação Antinha. Aflora também na região sudeste da Serra do Voturuvu. Trata-se de uma seqüência metavulcanossedimentar incluindo rochas carbonáticas puras e impuras (mármore calcíticos, cálcio-xistos, rochas calciossilicáticas, quartzo mica-xistos, quartzitos e anfibolitos).

A unidade Mac1, em contato com o granito Três Córregos, é representada por metamargas e mármore impuros, os quais predominam sobre os quartzo-mica xistos, revelando teores muito baixos de potássio, portanto compatíveis com este conjunto litológico. Por outro lado, a outra porção desta mesma unidade, em contato com as rochas das formações Votuverava e Antinha, apresenta valores médios a altos de potássio devido a predominância de quartzo-mica xistos sobre os outros litotipos expostos.

As litologias de Mac3, representadas por mármore calcíticos, puros e impuros, cálcio-xistos e rochas calciossilicáticas, também apresentam valores muito baixos de potássio em correspondência a estes litotipos.

As formações Água Clara e Antinha são praticamente inseparáveis do ponto de vista da assinatura geofísica do potássio. Chamam a atenção os índices mais elevados de potássio na unidade Mac1, os quais deveriam refletir baixos teores de potássio. Entretanto, como esta unidade está em contato com litologias do tipo metarenitos, metarritmitos e metassiltitos ricos em potássio (vide Figura 25), é provável que as expressões geofísicas observadas sejam provenientes da migração de potássio dos terrenos mais elevados de Mv4 (metassedimentos silto-argilosos).

#### 6.1.1.1.4 - Seqüência Perau

Esta é bem caracterizada por valores altos de potássio em seu segmento setentrional, gradando para valores médios na parte sul. Os valores elevados de potássio podem expressar os quartzitos miloníticos devido a presença de micas,

enquanto que os índices médios talvez reflitam a predominância de rochas cálcio-silicatadas. É difícil tentar fazer uma separação geofísica entre a Seqüência Perau, a Formação Votuverava e a Formação Capiru em função de contagens médias semelhantes, as quais podem refletir litologias similares associadas à atividade indiscriminada de zonas de cisalhamento neste conjunto litológico.

#### 6.1.1.1.5 - Formação Betara

A unidade mais expressiva em área é constituída por metapelitos xistosos, incluindo quartzo-mica xistos, granada-quartzo-mica xistos com a presença de muscovita.

Apresenta valores moderados a altos de potássio refletindo a abundância de muscovita nos quartzo-mica xistos, inviabilizando a separação geofísica desta unidade com os metarritmitos silto-arenosos (Mc4) da Formação Capiru e metarritmitos (Mv8) da Formação Votuverava. Entretanto alguns valores baixos existem, creditando-se talvez à presença de rochas quartzíticas (Mb2) e xistos carbonatados (Mb6), com grandes variações litológicas, justificando desta forma os baixos valores de potássio.

#### 6.1.1.1.6 - Formação Capiru

A Formação Capiru distribui-se segundo uma faixa com direção NE-SW e larguras variando entre 9 a 19 km, ocupando a região central da folha. Seus limites geológicos são representados a norte pela ZCT da Lancinha, balizados pelas formações Votuverava, Betara, Seqüência Perau e rochas do Complexo Meia Lua, enquanto que a sul limita-se através de descontinuidade de médio ângulo com rochas do Complexo Atuba. Tais limites são bem caracterizados no mapa da Figura 35, refletindo acentuado contraste gamaespectrométrico em relação aos



compartimentos adjacentes. Assim, as zonas de cisalhamento são bem demarcadas no mapa do potássio.

As unidades de metarenitos (Mc1, Mc3) e quartzitos (Mc11) não foram descritas em função da pequena expressão em área, representadas por metarenitos finos, metarritmitos, ortoquartzitos e quartzitos finos, respectivamente.

A unidade de sericita xistos (Mc10) corresponde a uma tectonofácies derivada da atuação de uma zona de cisalhamento sobre uma seqüência psamopelítica (Formação Capiru) e os gnaisses ortoderivados do embasamento (Complexo Atuba). Assim sendo, os valores moderados a altos de potássio podem refletir regiões com predomínio de rochas ortoderivadas (metamorfismo sobre rochas ígneas), enquanto os valores baixos de potássio estão associados a um maior percentual de rochas com contribuição carbonática.

O modelo digital de terreno (Figura 26), mostra que o extremo NE da unidade Mc10 (sericita xistos) é caracterizado por cotas altimétricas mais elevadas, onde ocorrem solos espessos e maduros, com baixos valores de potássio, enquanto que para sudoeste tem-se meias encostas com rede de drenagens orientadas segundo NW, expondo as rochas, o que pode explicar os valores mais altos de potássio.

No extremo SW da Antiforma do Setuva, a unidade Mc9 é constituída por metacalcários maciços de granulação fina, caracterizados por baixos valores de potássio, sobretudo na sua porção central, incluindo suas extensões ENE e NE. Tal assinatura é uma das mais típicas da Folha Curitiba.

No segmento em contato com a Formação Votuverava, esta unidade apresenta valores mais altos de potássio, provavelmente, devido a influência de fluidos que percolaram a ZCT da Lancinha, os quais marcam o contato entre a unidade Mc9 e as formações Votuverava e Betara.

A unidade Mc8 distribui-se ao longo de uma faixa adjacente as rochas do Complexo Atuba. Apresenta em sua constituição filitos homogêneos a rítmicos, com bandamento centimétrico a decimétrico marcado pela alternância de materiais nas frações argila e silte, todos com coloração avermelhada. Quando menos alterados, possuem a sericita como mineral micáceo mais importante, denotando a presença de altos valores de potássio.

Ao longo do contato com o embasamento ocorrem exposições descontínuas de metassedimentos argilosos de cores vermelho escuras a castanho-avermelhadas, consideradas com provável contribuição vulcânica, notadamente tufos. Apresentam-se, muitas vezes, extremamente alterados, sendo facilmente confundíveis com filitos. Em algumas regiões, entretanto, tais litotipos exibem um melhor grau de preservação com prováveis metatufos de matriz silto-argilosa com cor esverdeada clara. São comuns também profiroblastos placóides, provavelmente de clorita.

Localizada predominantemente ao longo da faixa sudoeste, a norte da cidade de Campo Magro, a unidade Mc7 é representada por sericita filitos geralmente ferruginosos, refletindo valores moderados a elevados de potássio.

Em suas lentes separadas por Mc5, a unidade Mc6 é caracterizada por filitos, metassiltitos e metamargas com presença de dolinas, apresentando valores moderados a elevados de potássio, porém menos ricos em potássio do que a primeira unidade (Mc5).

Situada entre as unidades Mc7 e Mc6, a unidade Mc5 possui características litológicas transicionais entre aquelas unidades, compreendendo os mesmos litotipos anteriores, com o acréscimo de metamargas finas esbranquiçadas, também apresentando valores altos a muito altos de potássio devido aos sericita filitos.

Metarritmitos silto-arenosos caracterizam a unidade Mc4, sendo comum metarenitos com colorações cinza médios a claros, marcados por camadas de metassiltitos cinza claros e metassiltitos/filitos carbonosos, marcando bem a unidade através de valores médios a altos de potássio. O segmento nas adjacências da unidade Mc9 apresenta menores teores de potássio devido a uma maior profusão de lentes de metarenitos ortoquartzíticos (Mc3) e metacalcários dolomíticos (Mc9).

Ocorrendo desde o extremo nordeste da folha até a região centro-sudoeste, na localidade de Conceição dos Macacos, a unidade Mc2 é caracterizada por metacalcários dolomíticos, delineando bem a unidade com valores médios a altos de potássio, entretanto menores que Mc4.

#### 6.1.1.1.7 - Formação Votuverava

Compreende uma espessa faixa que domina quase toda a porção noroeste da folha, com limites tectônicos dados através de transcorrências ou cavalgamentos com as formações Capiru, Água Clara e Betara. As unidades gamaespectrometricamente mapeadas referem-se aos litotipos representados por Mv8, Mv4 e Mv3, enquanto as demais não foram geofisicamente cartografadas por representarem pouca expressão em área.

A unidade metavulcanossedimentar Mv8 ocupa segmento significativo da folha, afora uma exposição isolada no extremo nordeste da área, em contato com as rochas da Seqüência Perau e da Formação Capiru. A porção principal estende-se na direção NE-SW até os contatos com as rochas da Formação Betara e do Complexo Meia Lua a SW, tendo como limites laterais a ZCT da Lancinha e a unidade metapelítica Mv4.

Esta unidade é constituída por rochas do domínio metavulcanossedimentar, predominando metarritmitos com contribuição expressiva de filitos carbonosos, metassiltitos, metamargas e metarenitos finos, aflorando freqüentemente rochas vulcanoclásticas e metabásicas (Mv6), perfeitamente caracterizadas por baixos valores de potássio. Os filitos presentes na unidade Mv8, contribuem para índices médios a altos de potássio, inclusive nas lentes de metarenitos (Mv3).

A unidade de metassedimentos silto-argilosos (Mv4) situa-se na porção NW da folha, em contato com rochas da Formação Antinha e da unidade de filitos carbonosos (Mv8), englobando em sua área de ocorrência lentes das unidades Mv3, Mv8, além do granito Piedade. Apresenta como principais litotipos metargilitos e metassiltitos avermelhados a alaranjados bastante homogênos, os quais são responsáveis pelos valores médios a altos de potássio verificados nesta unidade. As rochas metabásicas e outros corpos de natureza similar, além de arenitos não mapeados na escala 1:100.000, são, no conjunto, delineados por baixos valores de potássio.

Ocorrendo segundo lente de direção N45E, nas proximidades do flanco sul do granito Piedade, a unidade Mv3 é caracterizada por metarenitos finos,

notadamente em sua porção nordeste, perfeitamente mapeada por baixos valores de potássio. Metassiltitos de cor arroxeadada clara são responsáveis por teores moderados a altos de potássio no restante da unidade.

#### 6.1.1.1.8 - Formação Antinha

Exposta a noroeste da folha, a Formação Antinha é limitada a norte através da zona de cisalhamento transcorrente Tijuco, em contato com a porção carbonática da Formação Água Clara, e a sul, através da ZCT de Morro Agudo, contígua a Formação Votuverava. As litologias presentes neste contexto são representadas basicamente por metarenitos, filitos diversos e sedimentos químicos, estes últimos expressos por extensos pacotes de metacalcários calcíticos e eventuais intercalações de níveis ferro-manganesíferos. A análise gamaespectrométrica da formação é enfocada em suas unidades mais representativas em área, quais sejam Ma3 e Ma2.

A unidade Ma3 de forma aproximadamente triangular, é constituída por metarenitos finos a fino-médios. Em termos de assinatura geofísica, esta unidade é subdividida em duas porções: a primeira, situada a SW, é caracterizada por valores moderados a baixos de potássio, enquanto que na segunda, posicionada a NE, predominam índices baixos a muito baixos. A quantidade de argilo minerais nos metassiltitos e metargilitos é maior no segmento SW, enquanto o percentual destes minerais é menor na porção NE, o que pode explicar o contraste observado.

A unidade Ma2 constitui-se de extensos pacotes de metacalcários calcíticos, eventualmente portadores de pirita, galena e fluorita, predominantemente mapeados por valores moderados a baixos de potássio. É interessante notar a similaridade de assinaturas entre os segmentos NE das unidades Ma2 e Ma3.

#### 6.1.1.1.9 – Granitóides

As respostas gamaespectrométricas das rochas intrusivas granitóides contemplam apenas aqueles corpos que possuem expressão em área compatível com a resolução do levantamento aerogeofísico.

O granito Chacrinha é um pequeno corpo situado nas proximidades nordeste do Granito Cerne, na localidade de Freguesia dos Laras. Constitui-se de quartzo-álcali feldspato sienitos e tonalitos subordinados cinza rosados de granulação grossa, foliados e com megacristais de feldspato potássico, sendo perfeitamente mapeado por valores médios de potássio.

Localizando-se a aproximadamente 5km de Rio Branco do Sul e de forma grosseiramente circular, com 4,5 km<sup>2</sup> de área, o Granito Rio Abaixo ocorre intrudido na Formação Votuverava. Apresenta-se como biotita granitos róseos equigranulares a porfiríticos de granulação média a grossa, caracterizado por baixos valores de potássio.

O Complexo Granítico Três Córregos aflora no extremo noroeste da folha. Compreende granitóides híbridos de natureza cálcio-alcalina que inclui hornblenda-biotita granitos com texturas porfiríticas a megaporfiríticas, apresentando megacristais de feldspato potássico de cor rósea a cinza. A composição mineralógica encerra principalmente feldspato potássico sendo, por esta razão, perfeitamente discriminado por elevados índices de potássio. Os outros minerais presentes são: plagioclásio, quartzo, biotita e hornblenda, tendo como acessórios titanita, zircão, allanita, apatita e opacos; sericita, epidoto, clorita e carbonatos constituem os produtos de alteração mais comuns. A assinatura geofísica bem caracterizada pelo contraste com a unidade Mac1 (quartzo-mica xistos), sugere uma redefinição no desenho do contato entre essas unidades.

O granito Cerne é representado por uma pequena exposição na porção extremo oeste da folha, na localidade de Conceição dos Correias. Este corpo ocorre sob a forma de pequenos lajedos, blocos e matações *in situ*, em que predominam hornblenda-quartzo álcali feldspato granito de cor rósea, caracterizado por valores moderados a altos de potássio.

A unidade granítica Piedade é intrusiva na unidade Mv4 da Formação Votuverava. De forma elíptica, orientada segundo N45E, foram individualizados dois domínios, Np1 e Np2. O domínio Np1, representado pelos álcali-sienitos a quartzo sienitos cinza claros com granulação média a grossa, têm como mineral máfico principal a biotita, além de magnetita e hastingsita. No domínio dos álcali-granitos (Np2) ocorrem monzogranitos, sienogranitos e álcali-granitos de granulação fina a grossa, rosados e avermelhados.

O comportamento geofísico do granitóide Piedade é caracterizado por três núcleos de altos valores de potássio separados por vales, dispostos no flanco oeste do maciço. É interessante observar que os limites de tais anomalias extrapolam o contato geológico do corpo e adentram na unidade de metassedimentos silto-argilosos (Mv4). Por outro lado, constata-se um núcleo central com moderados a baixos valores de potássio, coincidente com áreas de cotas altimétricas mais elevadas. Por conseguinte, interpreta-se a resposta do núcleo central como resultado da depleção de potássio pelos processos intempéricos e de evolução pedogenética, o qual foi transportado através das drenagens para regiões mais baixas, sobretudo na área do vale do rio Bromado, entre as localidades de Itupava e Bromado, onde justamente situam-se as anomalias que extrapolam o contato geológico do granito Piedade.

O granito Anhangava, situado no extremo sudeste da folha, é intrusivo nas rochas do Complexo Atuba. Este maciço é constituído basicamente de biotita granitos de coloração rósea, leucocráticos, ricos em sílica. A composição mineralógica encerra principalmente feldspato potássico, sendo por este motivo mapeado por valores médios a altos de potássio. Outros minerais presentes são: quartzo, plagioclásio (oligoclásio), tendo como acessórios zircão, titanita, allanita e fluorita. A diferenciação de assinaturas do potássio neste maciço granitóide, pode ser interpretada como variações de alcalinidade, as quais refletiriam intrusões graníticas com composições distintas.

#### 6.1.1.1.10 - Aluviões e Formação Guabirota

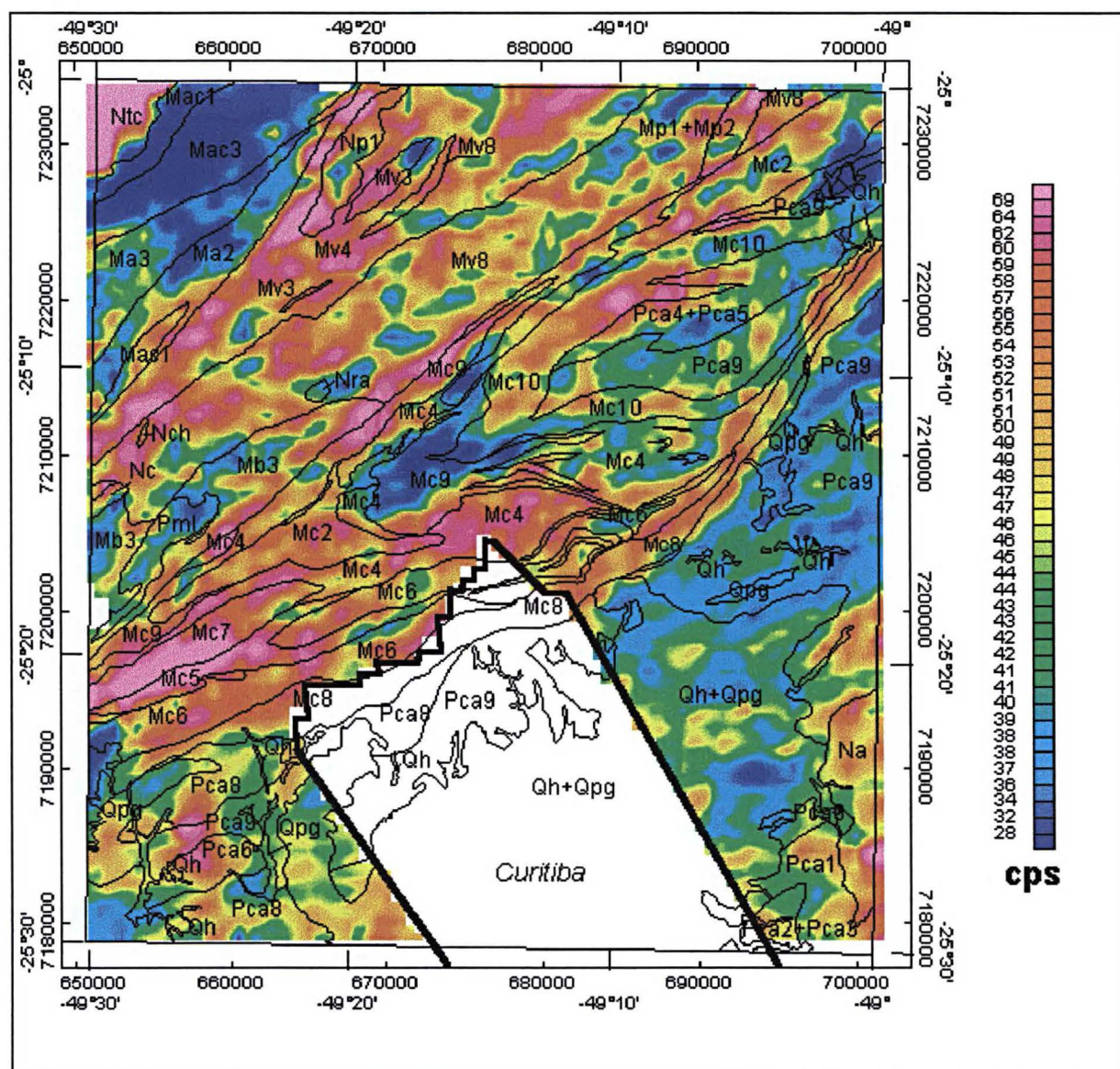
A Formação Guabirota apresenta-se exposta em sua maior parte na porção sul-sudeste da folha, notadamente no município de Curitiba, cobrindo uma área de aproximadamente 900km<sup>2</sup>. Caracteriza-se por argilitos e, subordinadamente, por lentes descontínuas de arcósios ou arenitos arcosianos, onde destaca-se também sedimentos argilo-arenosos. Os conglomerados são, na sua maioria, constituídos por uma matriz de arenitos grossos ou médios de coloração esverdeada; os seixos são subangulosos a subarredondados (2 a 5 cm), representados predominantemente por quartzo e, subordinadamente, por feldspatos e fragmentos de rochas do embasamento.

Na região entre Campina Grande do Sul e Bocaiúva do Sul, ocorrem ortoconglomerados em sua maioria ortoquartzíticos com gradação normal e com matriz de areia fina/silte.

Geralmente, a Formação Guabirota, é refletida por baixos a moderados valores de potássio, talvez em função da presença de areia e cascalhos. Entretanto, existem segmentos com valores moderados a altos, talvez em função de maiores concentrações de argilitos e arcósios. A nordeste de Curitiba existe uma grande similaridade das assinaturas geofísicas entre a Formação Guabirota e a unidade de hornblenda gnaisses (Pca9) do Complexo Atuba.

Os sedimentos aluvionares distribuem-se principalmente na porção sul da folha. Compreendem depósitos de sedimentos inconsolidados, constituídos por argilas, siltes areias, cascalhos e argilas tufoas. Os litotipos destas unidades refletem valores médios a baixos de potássio.

FIGURA 25 - MAPA DO POTÁSSIO E UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS







### 6.1.1.2 - Considerações sobre o tório

Tomando-se como base o mapa da Figura 27, são feitas considerações gerais, a seguir, sobre o comportamento do tório nas principais unidades litoestratigráficas.

O tório revela padrões de assinaturas similares ao do urânio, como aqueles de fortes anomalias da área nordeste da folha, aqui denominada região anômala associada ao Anticlinório do Setuva (RAAS). Entretanto observa-se neste canal que os elevados valores de tório são menos dispersos do que os de urânio, devido a menor mobilidade do primeiro radionuclídeo.

A porção centro-oeste da folha apresenta também um padrão semelhante ao do urânio, o mesmo acontecendo nos tratos SW e na área que circunda o granito Anhangava. Uma importante característica é a demarcação das zonas de cisalhamento e de cavalgamento, as quais são delineadas por valores altos de tório.

#### 6.1.1.2.1 - Complexo Atuba

O Complexo Atuba, em geral, apresenta contagens médias a baixas de tório, destacando-se, entretanto, fortes anomalias no canto SW da folha.

As unidades localizadas no extremo sudeste da área são representadas por epidotos gnaisses (Pca1), xistos e quartzitos (Pca2 + Pca3) apresentando valores médios a altos de tório. Estas unidades fazem contato com o granito Anhangava a leste e a unidade de hornblenda gnaisses (Pca9) a norte. Valores baixos de tório deveriam ser esperados, entretanto observam-se teores mais elevados desta variável nas regiões próximas ao granito Anhangava. Tais teores não refletem os litotipos característicos das unidades que circundam o granito, mas representam contagens de tório provenientes do granito, uma vez que estas se encontram em regiões mais baixas onde os referidos teores tenham sido carreados, pelas drenagens, de cotas mais elevadas da serra de Anhangava.

Representada por uma associação de biotita–hornblenda gnaisses, biotita gnaisses, migmatitos estromáticos, lentes de rochas metabásicas e, menos freqüentemente, de metaultrabásicas serpentinizadas/talcificadas, a unidade Pca9 ocorre em grande extensão, ocupando a região centro-leste da folha, caracterizada por baixos valores de tório. Entretanto índices mais elevados ocorrem a norte do referido compartimento, tendo como causa a atividade de falhas, ou provenientes de terrenos mais altos da Formação Capiru.

As unidades Pca9 e Pca4+Pca5 afloram na Antiforma do Setuva. Os biotita-hornblenda gnaisses (Pca5) e os biotita gnaisses bandados miloníticos (Pca4), com uma mineralogia básica composta por quartzo, feldspato potássico, plagioclásio, biotita, muscovita e acessória constituída por epidoto, zircão, apatita, sericita, clorita e mica branca possuem moderadas a altas contagens de tório. As exposições dos hornblenda gnaisses (Pca9), situadas ao sul das unidades descritas mostram valores mais elevados do que as correspondentes litologias da região centro-leste da folha. Tal elevação nos teores de tório pode ser atribuída a mobilização do radionuclídeo para regiões preferenciais, devido as zonas de cisalhamento transcorrente e de cavalgamento que envolvem estas áreas (Pca9, Pca4 e Pca5).

Valores moderados a altos de tório ocorrem nos segmentos do Complexo Atuba localizadas no limite sudoeste da folha, envolvendo as unidades de bitotita gnaisses (Pca6), anfibolitos (Pca8) e hornblenda gnaisses (Pca9), na região anômala de Santo Onofre. Tais anomalias aparentemente não correspondem as litologia da área, sendo difíceis de serem explicadas. Assim como verificado no urânio, é necessário um levantamento geológico-geofísico mais detalhado desta região.

Porções da unidade Pca8 na extremidade sul da folha e a norte da unidade Pca9, apresentam teores baixos a muito baixos de tório devido a ocorrência de rochas anfibolíticas e metaultrabásicas.

#### 6.1.1.2.2 - Complexo Meia Lua e Gnaisses Tipo Tigre

Os gnaisses tipo Tigre inseridos na região da Seqüência Perau mostram contagens elevadas de tório, as quais podem ser atribuídas aos quartzitos ricos em minerais pesados, tais como zircão, titanita e hematita, assim como a concentrações decorrentes da mobilização do tório através das zonas de falha.

Rochas ortoderivadas alteradas do Complexo Meia Lua são bem caracterizadas no canal do tório por baixos índices desta variável. Entretanto, uma forte anomalia é observada neste complexo talvez pela presença de zona de falhamentos ou ainda pela existência de corpos graníticos não discriminados na escala de trabalho (1:100.000).

#### 6.1.1.2.3 - Formação Água Clara

A NW da folha, posicionada entre o granito Três Córregos e a Formação Antinha, a Formação Água Clara é representada pelas unidades Mac1 e Mac3.

Em contato com o granito Três Córregos, metamargas e mármores impuros são predominantes sobre quartzo-mica xistos na unidade Mac1, a qual apresenta teores moderados a altos de Th, incompatíveis com este conjunto de litotipos. Uma explicação para tais teores é, talvez, a ocorrência de possíveis intrusões de corpos ígneos, associadas ao granito Três Córregos. Por outro lado, a outra porção desta mesma unidade, em contato com as rochas da Formação Votuverava e da Formação Antinha apresenta valores de Th médios e altos em sua porção NE, associados a mobilização deste radionuclídeo em virtude da movimentação tectônica nas proximidades da ZCT Tijuco, enquanto a outra porção, situada a SW, apresenta padrões mais baixos em concordância com a litologia.

Os litotipos de Mac3 representados por mármores calcíticos, puros e impuros, cálcio-xistos e rochas cálciossilicáticas, apresentam valores moderados a baixos de Th considerados normais para estas litologias. Na região ao longo do rio

Curriola e no contato com a unidade Mac1, valores médios a altos são verificados, sendo atribuídos a migração de tório adsorvido as argilas.

#### 6.1.1.2.4 - Seqüência Perau

Em toda sua extensão, a Seqüência Perau mostra valores altos de contagens de tório, talvez relacionados a grande quantidade de falhamentos na região. Os elevados teores registrados podem também ser reflexo da elevada capacidade de concentração, nos quartzitos, de minerais ricos em tório.

#### 6.1.1.2.5 – Formação Betara

Em geral apresenta valores baixos de tório devido aos filitos. As ocorrências mais elevadas estão associadas a dois fatores: um de ordem tectônica, no cruzamento das zonas de cisalhamento Betara e Lancinha e o outro de ordem litológica, devido aos quartzitos intercalados nos metapelitos xistosos.

#### 6.1.1.2.6 – Formação Capiru

Teores moderados a baixos de tório são padrões normais desta formação, tanto para as rochas metacalcárias quanto para os filitos. Entretanto a NE da folha os segmentos de metacalcários (Mc2), sericita xistos (Mc10), metarritmitos (Mc4) e filitos (Mc8) apresentam teores elevados, atribuídos a influência de zonas de intenso falhamento.

A porção SW da faixa Capiru, nas unidades de filitos (Mc5 e Mc6), apresentam valores moderados a altos. As razões litológicas para este aumento de teores ainda não foram determinadas a luz do conhecimento geológico atual, cabendo aí uma investigação geofísico-geológica mais detalhada. Outra

possibilidade é a mobilização de tório através das zonas de cisalhamento e cavalgamento que envolvem estas unidades. A unidade de filitos carbonosos (Mc7) apresenta valores moderados de tório em concordância com as litologias desta unidade. Convém ressaltar que nesta mesma região existem elevadas ocorrências de urânio (Figura 28), associadas a maior capacidade de mobilização do mesmo em relação ao tório.

#### 6.1.1.2.7- Formação Votuverava

A unidade de filitos carbonosos (Mv8) é bem caracterizada pelo canal do tório por valores moderados a baixos. Em sua porção NE, em contato com a Seqüência Perau e a Formação Capiru, predominam valores moderados a altos de tório, atribuídos as zonas de cisalhamento transcorrentes.

A assinatura do tório na unidade Mv4 apresenta índices moderados a altos em quase toda sua extensão, ressaltando-se fortes anomalias na região entre o granito Piedade e a falha de Morro Agudo e na porção extremo nordeste, nas imediações do granito Chacrinha. Tais teores são atribuídos a conjunção de falhamentos e influência dos corpos graníticos.

A unidade Mv3 ocorre segundo lente de direção N45E, nas proximidades do flanco sul do granito Piedade. É caracterizada por metarenitos finos, notadamente em sua porção nordeste, perfeitamente mapeada por baixos a moderados valores de tório. Metassiltitos são responsáveis por valores moderados a altos no restante da unidade.

#### 6.1.1.2.8 – Formação Antinha

As litologias presentes neste contexto são representadas basicamente por metarenitos, filitos diversos e sedimentos químicos. Estes últimos incluem extensos pacotes de metcalcários calcíticos e eventuais intercalações de níveis ferro-manganesíferos. A análise gamespectrométrica da formação é enfocada em suas unidades mais representativas em área, quais sejam: Ma3 e Ma2.

A unidade Ma3 é constituída por metarenitos finos a fino-médios. A assinatura geofísica da unidade revela duas porções distintas: uma no segmento NE, representada por calcários mais ricos em matéria orgânica, do que decorre valores mais altos de tório; e outra, a SW, com calcários menos ricos em matéria orgânica, denotando menores teores de tório.

Variação de teores são verificados na unidade Ma2, a porção nordeste desta apresenta maior concentração de Th por estar relacionada às zonas de falhas de cavalgamento Invernada e Morro Agudo, enquanto a porção sudoeste apresenta valores moderados a baixos.

#### 6.1.1.2.9 – Granitóides

O granito Chacrinha é um pequeno corpo situado na localidade de Freguesia dos Laras. Constitui-se de quartzo-álcali feldspato sienitos e tonalitos subordinados cinza rosados de granulação grossa, foliados e com megacristais de feldspato potássico, sendo mapeado por valores moderados a altos de tório. É interessante notar que as anomalias deste são intensas, extrapolando seus limites na direção noroeste, as quais podem estar associadas a apófises do maciço, ou mesmo sugerindo a redefinição dos contatos geológicos.

Intrudido na Formação Votuverava e caracterizado por baixos valores de Th o granito Rio Abaixo é representado por biotita granitos róseos equigranulares a porfiríticos de granulação média a grossa.

Aflorando no extremo noroeste da folha, o granito Três Córregos tem como composição mineralógica principal feldspato potássico, sendo este bem caracterizado por valores moderados a baixos de tório.

Com predominância de álcali feldspato, o granito Cerne aflora na porção extremo oeste da folha, na localidade de Conceição dos Correias. Caracteriza-se por valores moderados a altos de Th, extrapolando seus limites, sugerindo também uma redefinição geológica de seus contatos.

Intrusivo na unidade Mv4, o maciço granítico Piedade, é representado por altos valores de tório em quase toda sua extensão, inclusive extrapolando os limites do corpo até as imediações da zona de falhamento de Morro Agudo, sugerindo migração de tório adsorvido as argilas.

O granito Anhangava localiza-se na porção extremo sudeste da folha, intrudido nas rochas do Complexo Atuba. Este maciço é constituído basicamente por biotita granitos de coloração rósea, leucocráticos, ricos em sílica. Os outros minerais são: quartzo, plagioclásio (oligoclásio), tendo como acessórios zircão, titanita, allanita e fluorita, que refletem valores moderados a altos de tório.

#### 6.1.1.2.10 - Aluviões e Formação Guabiro tuba

Exposta em sua maior parte na porção sul-sudeste da folha, a Formação Guabiro tuba envolve uma área de aproximadamente 900Km<sup>2</sup>. Esta unidade caracteriza-se por argilitos, e lentes descontínuas de arcósios ou arenitos arcosianos subordinados, além de sedimentos argilo-arenosos e rochas do embasamento. Em geral, o comportamento da Formação Guabiro tuba está associado a valores baixos de Th, devido a areias e cascalhos. Entretanto na região que circunda o granito Anhangava, são observados valores moderados a altos, entendidos como provenientes de anfibolitos, metabasitos e granitóides do embasamento e/ou dos maciços graníticos da Serra do Mar, os quais foram transportados e se fixaram superficialmente nesta formação. Também são





### 6.1.1.3 - Considerações sobre o urânio

As considerações gerais sobre a variável urânio, tomando-se como base o mapa da Figura 28, nas principais unidades litoestratigráficas são descritas conforme se segue.

O mapa do urânio revela padrões de assinaturas geofísicas bem nítidos. A porção NE da folha apresenta um conjunto de fortes anomalias, o qual engloba, conjuntamente, rochas da Formação Votuverava, da Seqüência Perau, da Formação Capiro e do Complexo Atuba, aqui designada de região anômala associada ao Anticlinório do Setuva (RAAS).

A porção centro-oeste da folha apresenta um padrão correspondente a valores médios a baixos de urânio. Já o segmento SW apresenta os mais elevados índices de urânio, relacionados as rochas da Formação Capiro e de unidades do Complexo Atuba na região de Santo Onofre, aqui denominada região anômala de Santo Onofre (RASO). Outra área anômala refere-se parcialmente ao granito Piedade e a tratos ao seu entorno ocidental, em domínios de rochas metassedimentares silto-argilosas (Mv4). Situação semelhante ocorre nas vizinhanças do granito Anhangava, com anomalias de urânio em rochas do Complexo Atuba e da Formação Guabirota.

#### 6.1.1.3.1 - Complexo Atuba

O Complexo Atuba é caracterizado por contagens médias a baixas de urânio, entretanto fortes anomalias ocorrem no canto SW da folha. As unidades localizadas no extremo sudeste da folha, identificadas como Pca1 (epidotos gnaisses) e Pca2 + Pca3 (xistos e quartzitos), fazem contato com o granito Anhangava (Na) a leste e com a Formação Guabirota a norte, além da unidade de hornblenda gnaisses (Pca9). É interessante notar que, apesar de serem esperados valores baixos de urânio, observam-se índices mais elevados desta variável nas regiões próximas ao

granito Anhangava. Tais contagens não devem refletir os litotipos característicos das unidades que circundam o granito, mas representarem teores de urânio provenientes dele, uma vez que estas litologias se encontram em regiões topograficamente mais baixas.

A unidade Pca9 ocorre em grande extensão, ocupando a região centro-leste da folha. Caracterizada por baixos valores de urânio, é representada por uma associação de biotita–hornblenda gnaisses, biotita gnaisses, migmatitos estromáticos, lentes de rochas metabásicas e, menos freqüentemente, de metaultrabásicas serpentinizadas/talcificadas. Entretanto índices bem mais elevados ocorrem a norte do referido compartimento, interpretados ou pela atividade de falhas as quais poderiam propiciar mobilização dos fluidos, ou serem provenientes de terrenos mais elevados da Formação Capiru.

No Antiforme do Setuva afloram porções das unidades de biotita-hornblenda gnaisses (Pca9), Pca4 constituídos por biotita gnaisses bandados miloníticos e biotita gnaisses porfiroclásticos (Pca5), com uma mineralogia básica composta por quartzo, feldspato potássico, plagioclásio, biotita, muscovita e acessória constituída por epidoto, zircão, apatita, sericita, clorita e mica branca. A presença dos acessórios na unidade Pca4 contribui para valores moderados a altos de urânio. As exposições da unidade Pca9 (biotita-hornblenda gnaisses), situadas ao sul das unidades descritas (Pca4+Pca5), mostram valores mais elevados do que as litologias homônimas da região centro-leste da folha. Tal elevação nos teores de urânio nesta e na unidade Pca5 pode ser atribuída a fatores tectônicos, devido às zonas de cisalhamento transcorrente e de cavalgamento que envolvem estas áreas. A movimentação tectônica teria provocado a mobilização do urânio para estas regiões preferenciais, configurando uma armadilha de origem tectônica e não litológica.

Os segmentos do Complexo Atuba localizados no canto sudoeste da folha, envolvendo as unidades de biotita gnaisses (Pca6), anfibolitos (Pca8) e biotita–hornblenda gnaisses (Pca9), na região anômala de Santo Onofre, apresentam em suas regiões centrais valores elevados de urânio. Tais anomalias são difíceis de serem explicadas com base no conhecimento das litologias da área, sendo

necessário um trabalho de mapeamento geológico e levantamentos gamaespectrométricos terrestres detalhados, para equacionar as relações geologia/geofísica.

#### 6.1.1.3.2 - Complexo Meia Lua e Gnaisses tipo Tigre

Os gnaisses tipo Tigre na região da Seqüência Perau, mostram valores elevados os quais podem ser atribuídos aos quartzitos ricos em minerais pesados como zircão e titanita, como também, nas suas relações com zonas de falhamento.

A unidade Pml do Complexo Meia Lua é bem caracterizada por valores baixos desta variável, em virtude da presença de rochas ortoderivadas muito alteradas, as quais poderiam permitir a lixiviação do urânio.

#### 6.1.1.3.3 - Formação Água Clara

A formação Água Clara situa-se a NW da folha, representada por uma faixa de direção NE-SW, posicionada entre o granito Três Córregos e a Formação Antinha (Mac1 e Mac3). Aflora também na região sudeste da Serra do Voturuvu (Mac2). Trata-se de uma seqüência metavulcanossedimentar incluindo rochas carbonáticas puras e impuras (mármore calcíticos, cálcio-xistos, rochas calciossilicáticas, quartzo mica-xistos, quartzitos e anfibolitos).

Os litotipos de Mac1, em contato com o granito Três Córregos, são representados por metamargas e mármore impuros os quais predominam sobre quartzo-mica xistos. Apresentam teores moderados a altos de urânio, incompatíveis com este conjunto litológico, talvez associados a pequenas intrusões de corpos ígneos relacionadas ao granito Três Córregos. Por outro lado, a outra faixa desta mesma unidade, em contato com as rochas da Formação Votuverava e da Formação Antinha apresenta valores médios a altos desta variável gamaespectrométrica em sua porção NE, talvez em função da movimentação nas

proximidades da ZCT Tijuco, enquanto a porção SW exibe padrões mais baixos em concordância com as litologias mapeadas.

As litologias de Mac3 representadas por mármore calcíticos, puros e impuros, cálcio-xistos e rochas cálcio-silicáticas, apresentam valores moderados a baixos de urânio em concordância a estes litotipos. A porção NE, em contato com a zona de cisalhamento do Tijuco, apresenta valores médios a altos, assim como na região do rio Curriola, denotando a migração do urânio.

#### 6.1.1.3.4 - Seqüência Perau

Permeada em toda sua extensão por valores altos de contagem de urânio, tal padrão pode ser devido a grande quantidade de falhamentos e a conseqüente mobilização do urânio pelas falhas. Tais índices elevados podem também ser reflexo da elevada capacidade de concentração de minerais ricos em urânio nos quartzitos.

#### 6.1.1.3.5 – Formação Betara

A unidade mais expressiva em área, representada por baixos valores de urânio, é constituída de metapelitos xistosos, incluindo quartzo-mica xistos e granada-quartzo-mica xistos com a presença de muscovita. Pontualmente ocorrem pequenas anomalias de intensidade média que podem ser creditadas à presença de quartzitos intercalados.

#### 6.1.1.3.6 – Formação Capiru

Em geral teores moderados a baixos de urânio são padrões normais desta formação, tanto para as rochas metacalcárias quanto para os filitos. Entretanto, a NE da folha, as unidades desta formação de metacalcários dolomíticos, sericitaxistos, metarritimitos e filitos (Mc2, Mc10, Mc4 e Mc8) apresentam teores elevados, os quais são atribuídos à influência de zonas intenso falhamento.

Na porção SW da faixa Capiru ocorrem variações de teores de urânio nas unidades de filitos (Mc5, Mc6 e Mc7). Já os segmentos destas unidades localizadas a NE apresentam contagens moderadas a baixas, enquanto nas porções SW predominam altos valores. As razões para esta variação de teores ainda não foram determinadas, cabendo aí uma investigação geológica e geofísica mais detalhada.

#### 6.1.1.3.7- Formação Votuverava

A unidade metavulcanossedimentar Mv8 é bem caracterizada no canal do urânio por dois compartimentos distintos: o primeiro, situado na porção centro-nordeste, é caracterizado pela predominância de valores moderados a altos, atribuídos à proximidade das zonas de intenso falhamento da região anômala RAAS; o segundo compartimento, localizado na região centro-sudoeste, apresenta valores moderados a baixos em concordância com as litologias desta unidade, representadas por filitos carbonosos.

A unidade de metassedimentos silto-argilosos (Mv4) situa-se na porção noroeste da folha, em contato com as rochas da Formação Antinha e da unidade de filitos (Mv8), englobando em sua área lentes das unidades de metarenitos (Mv3) e Mv8, além do granito Piedade. Em termos de assinatura de urânio, apresenta valores moderados a altos em sua porção centro–nordeste, ressaltando-se fortes anomalias na região entre o granito Piedade e a falha de Morro Agudo e na área próxima ao granito Chacrinha. Tais índices são creditados à conjunção de falhamentos e corpos graníticos.

A unidade Mv3 é caracterizada por metarenitos finos, notadamente em sua porção nordeste, perfeitamente mapeada por baixos valores de urânio. Metassiltitos de cor arroxeada clara são responsáveis por valores moderados a altos deste radioisótopo no restante da unidade.

#### 6.1.1.3.8 – Formação Antinha

Situada a noroeste da folha, é limitada a norte pela zona de cisalhamento transcorrente Tijuco, com a porção carbonática da Formação Água Clara e, a sul, pela falha de Morro Agudo e a Formação Votuverava. As litologias presentes neste contexto envolvem basicamente metarenitos, filitos diversos e sedimentos químicos, estes últimos representados por extensos pacotes de metacalcários calcíticos e eventuais intercalações de níveis ferro-manganesíferos. A análise gamespectrométrica da formação é enfocada em suas unidades mais representativas em área, quais sejam: Ma3 e Ma2.

A unidade Ma3, exposta de forma aproximadamente triangular, é constituída por metarenitos finos a fino-médios. Geofisicamente, esta unidade é caracterizada por duas porções distintas: uma a NE, onde predominam calcários mais ricos em matéria orgânica e, conseqüentemente, valores mais altos de urânio; a outra a SW, é constituída por calcários mais puros e menor volume de matéria orgânica denotando menores teores deste radionuclídeo.

A unidade de metacalcários calcíticos (Ma2) também apresenta variação de teores: a porção nordeste mostra maior concentração de urânio por estar relacionada às zonas de falha de cavalgamento Invernada e Morro Agudo, enquanto a porção sudoeste apresenta valores moderados a baixos em correspondência aos litotipos característicos da unidade.

#### 6.1.1.3.9 – Granitóides

O granito Chacrinha, aflora a nordeste do granito Cerne, na localidade de Freguesia dos Laras. Constitui-se de quartzo-álcali feldspato sienitos e tonalitos subordinados cinza rosados de granulação grossa, foliados e com megacristais de feldspato potássico, sendo mapeado por valores moderados de urânio. É interessante ressaltar o incremento deste radionuclídeo para noroeste, podendo estar associado a apófises do maciço.

Localizando-se a aproximadamente 5km de Rio Branco do Sul e de forma grosseiramente circular, com 4,5 km<sup>2</sup> de área, o granito Rio Abaixo ocorre intrudido na Formação Votuverava. Apresenta-se como biotita granitos róseos equigranulares a porfiríticos de granulação média a grossa, caracterizado por baixos valores de urânio.

O complexo granítico Três Córregos aflora no extremo noroeste da folha. A composição mineralógica encerra principalmente feldspato potássico. Outros minerais presentes são: plagioclásio, quartzo, biotita, hornblenda, tendo como acessórios titanita, zircão, allanita apatita e opacos; sericita, epidoto, clorita e carbonatos. Estes acessórios são responsáveis pelos altos valores de urânio.

O granito Cerne constitui uma pequena exposição localizada no extremo oeste da folha, na localidade de Conceição dos Correias. Neste predominam álcali feldspato granito de cor rósea, caracterizado por valores moderados de urânio.

A unidade granítica Piedade, intrusiva na unidade Mv4 da Formação Votuverava, é representada por um corpo de forma elíptica orientado segundo N45E. Neste observa-se que a porção próxima a zona de falhamento de Morro Agudo possui valores altos de urânio, registrando-se fortes anomalias a SW do corpo interpretadas como produtos de lixiviamento deste radioisótopo.

O granito Anhangava, situado na região extremo sudeste da folha, é intrusivo nas rochas do Complexo Atuba. Este maciço é constituído basicamente por biotita granitos de coloração rósea, leucocráticos, ricos em sílica. A composição mineralógica encerra principalmente feldspato potássico. Outros minerais presentes



são: quartzo, plagioclásio (oligoclásio), tendo como acessórios zircão, titanita, allanita e fluorita, responsáveis por valores moderados a altos de urânio.

#### 6.1.1.1.10 - Aluviões e Formação Guabirota

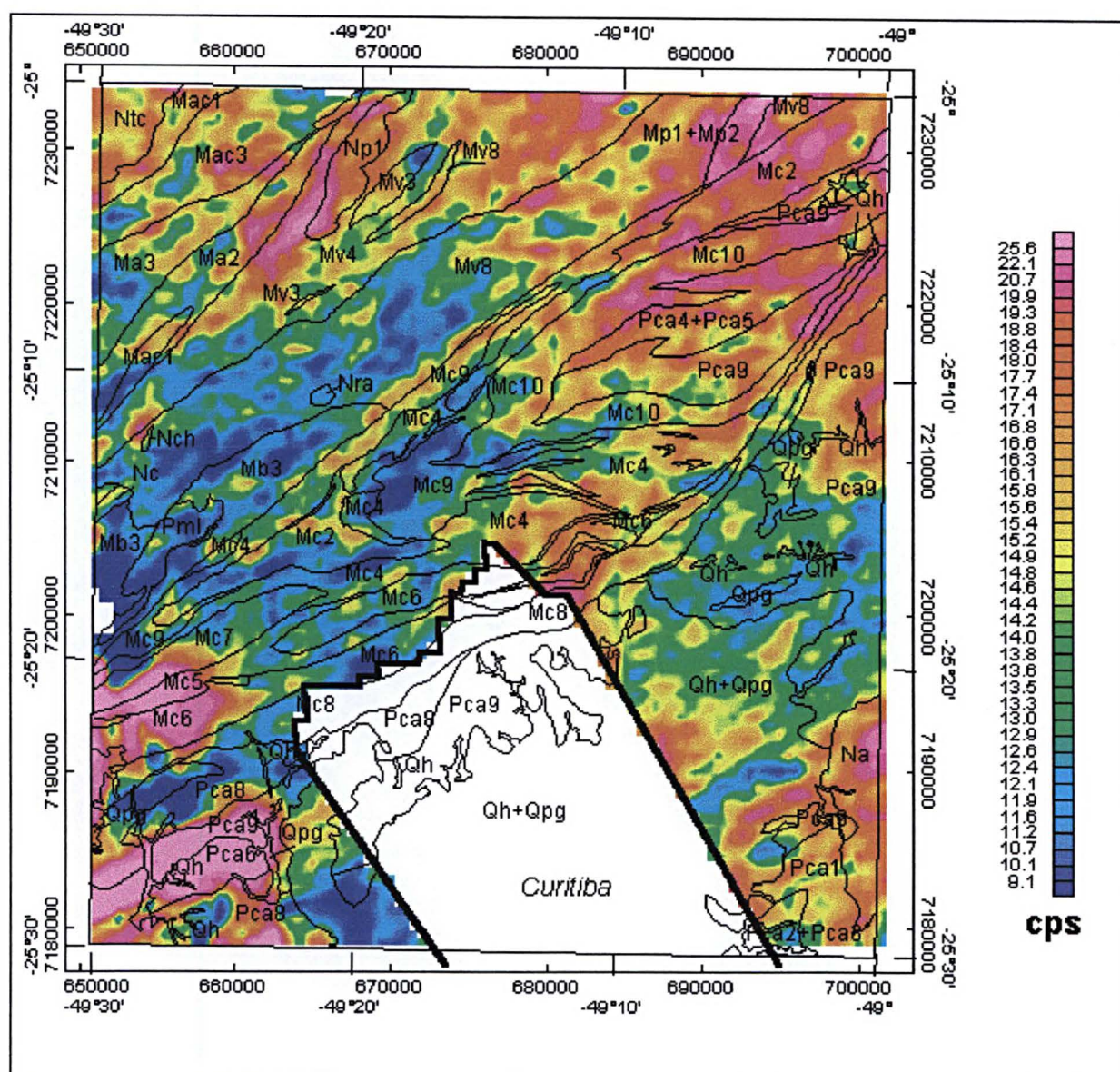
A Formação Guabirota aflora em sua maior parte na porção sul-sudeste da folha, notadamente no município de Curitiba, cobrindo uma área de aproximadamente 900km<sup>2</sup>.

Esta unidade caracteriza-se por argilitos e lentes descontínuas de arcósios ou arenitos arcosianos subordinados, além de sedimentos argilo-arenosos. Os conglomerados são na maioria suportados por grãos com a matriz constituída por arenito grosso ou médio esverdeado; os seixos são subangulosos a subarredondados (2 a 5 cm), sendo constituído predominantemente por quartzo e de modo subordinado por feldspatos e fragmentos de rochas do embasamento. Em geral, o comportamento da Formação Guabirota, está associado a valores baixos de urânio, devido a areias e cascalhos.

Na região que circunda o granito Anhangava são verificados valores moderados a altos, entendidos como provenientes das regiões mais elevadas da serra, os quais foram transportados e se fixaram na superfície desta formação. Também são observados valores moderados a altos nas imediações do limite do levantamento, requerendo pesquisas geológico-geofísicas mais acuradas.

Em síntese as ocorrências de urânio podem estar associadas a sedimentos provenientes de anfibolitos, metabasitos e granitóides do embasamento e/ou dos maciços graníticos da Serra do Mar.

FIGURA 28 – MAPA DO URÂNIO E UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS



#### 6.1.1.4 - Considerações sobre a razão Th/K

O mapa da razão Th/K (Figura 29), denota regiões demarcadas por fortes anomalias nas bordas dos quatro quadrantes da folha.

##### 6.1.1.4.1 - Complexo Atuba

As rochas do Complexo Atuba, na maioria de suas unidades, se destacam por fortes anomalias decorrentes da baixa concentração de potássio, em contraste com teores moderados a altos de tório. Estas ocorrências são evidenciadas nas seguintes unidades: epidoto gnaisses (Pca1); granada-sillimanita xistos (Pca2); quartzitos (Pca3) e biotita gnaisses (Pca4+Pca5 e Pca6).

A unidade de hornblenda gnaisses (Pca9) mostra segmentos distribuídos em diferentes regiões da folha. O trato localizado na borda leste caracteriza-se pela compartimentação em duas porções: a primeira, a norte, exibe valores elevados desta razão, sobretudo pelas baixas contagens de potássio; a segunda, a sul, é representada por baixos valores devido a predominância de potássio. Os baixos teores de potássio verificados no segmento de Pca9, localizado no anticlinório do Setuva, contribuem para valores elevados desta razão. Índices altos de tório são verificados no segmento localizado na região de Santo Onofre, caracterizando esta unidade com altos valores da razão Th/K.

As unidades de anfíbolitos e hornblenda gnaisses (Pca8) localizadas na região sudoeste da folha são caracterizadas por variações da razão Th/K, em função da variação de teores de tório.

#### 6.1.1.4.2 - Complexo Meia Lua

O Complexo Meia Lua apresenta variações internas desta razão, distinguindo-se duas porções: a primeira, a SW, mostra valores baixos (baixo teores de tório e moderados de potássio); a segunda, na porção NE, ocorre predominância de tório sobre potássio, elevando os valores da razão Th/K.

#### 6.1.1.4.3 - Formação Água Clara

As rochas da Formação Água Clara, situadas no extremo NW da folha, são representadas por quartzo-mica xistos (Mac1) e mármores (Mac3), sendo caracterizadas por altos valores desta razão, sobretudo pelas baixíssimas ocorrências de potássio (assinatura bastante característica), apesar de ocorrerem moderadas a baixas contagens de tório.

#### 6.1.1.4.4 - Seqüência Perau

Os quartzitos e rochas metacálciossilicatadas desta unidade possuem valores altos da razão Th/K; este padrão pode ser atribuído a grande quantidade de falhamentos na região onde o tório teria se mobilizado, ou em função de elevados teores de Th, reflexo da capacidade de concentração de minerais ricos neste radionuclídeo nos quartzitos.

#### 6.1.1.4.5 – Formação Betara

Os quartzo-mica xistos da Formação Betara, são caracterizados por baixos valores da razão Th/K; a NE são verificadas elevações nos valores desta razão, talvez devido aos quartzitos intercalados (Mb2) nos filitos, os quais concorrem para aumento nos teores de tório.

#### 6.1.1.4.6 – Formação Capiuru

Em geral, a Formação Capiuru apresenta valores moderados a baixos desta razão, principalmente em função do mesmo comportamento do Th, tanto para as rochas metacalcárias quanto para os filitos. Entretanto, em algumas porções, são observadas elevações desta razão: a NE da folha os segmentos de metacalcários (Mc2), sericita xistos (Mc10), metarritmitos (Mc4) e filitos (Mc8) apresentam teores elevados, atribuídos a influência de zonas de intenso falhamento; a SW da faixa Capiuru, os filitos (Mc6) também apresentam elevação desta razão, em função do incremento de tório na região da ZCT de Almirante Tamandaré.

#### 6.1.1.4.7- Formação Votuverava

Os filitos carbonosos (Mv8), são bem caracterizados por baixo valores desta razão. Entretanto, a porção NE apresenta índices moderados a altos em função do incremento de tório, atribuídos as zonas de cisalhamento transcorrentes.

Em sua porção NE, a unidade metassedimentar silto-argilosa (Mv4), é caracterizada por contagens moderadas a altas da razão Th/K, enquanto que no restante da unidade os índices são moderados a baixos.

A unidade Mv3 (metarenitos finos), nas proximidades do flanco leste do granito Piedade, é caracterizada por baixas a moderadas razões Th/k.

#### 6.1.1.4.8 – Formação Antinha

Caracterizada por moderados a baixos índices de potássio e moderados a altos teores de tório, a Formação Antinha apresenta-se com valores altos a moderados desta razão.

#### 6.1.1.4.9 – Granitóides

O granito Chacrinha, é bem caracterizado por altos valores da razão Th/K, reflexo de elevados teores de tório.

Caracterizado por baixos valores de tório e moderados de potássio, o granito Rio Abaixo também é representado por baixos valores da razão entre estas variáveis.

Com acentuada participação de feldspatos potássicos, o granito Três Córregos é muito bem caracterizado por baixíssimos valores da razão Th/K.

O granito Cerne é identificado por valores moderados a altos de Th/K, em virtude da maior ocorrência de potássio sobre o tório.

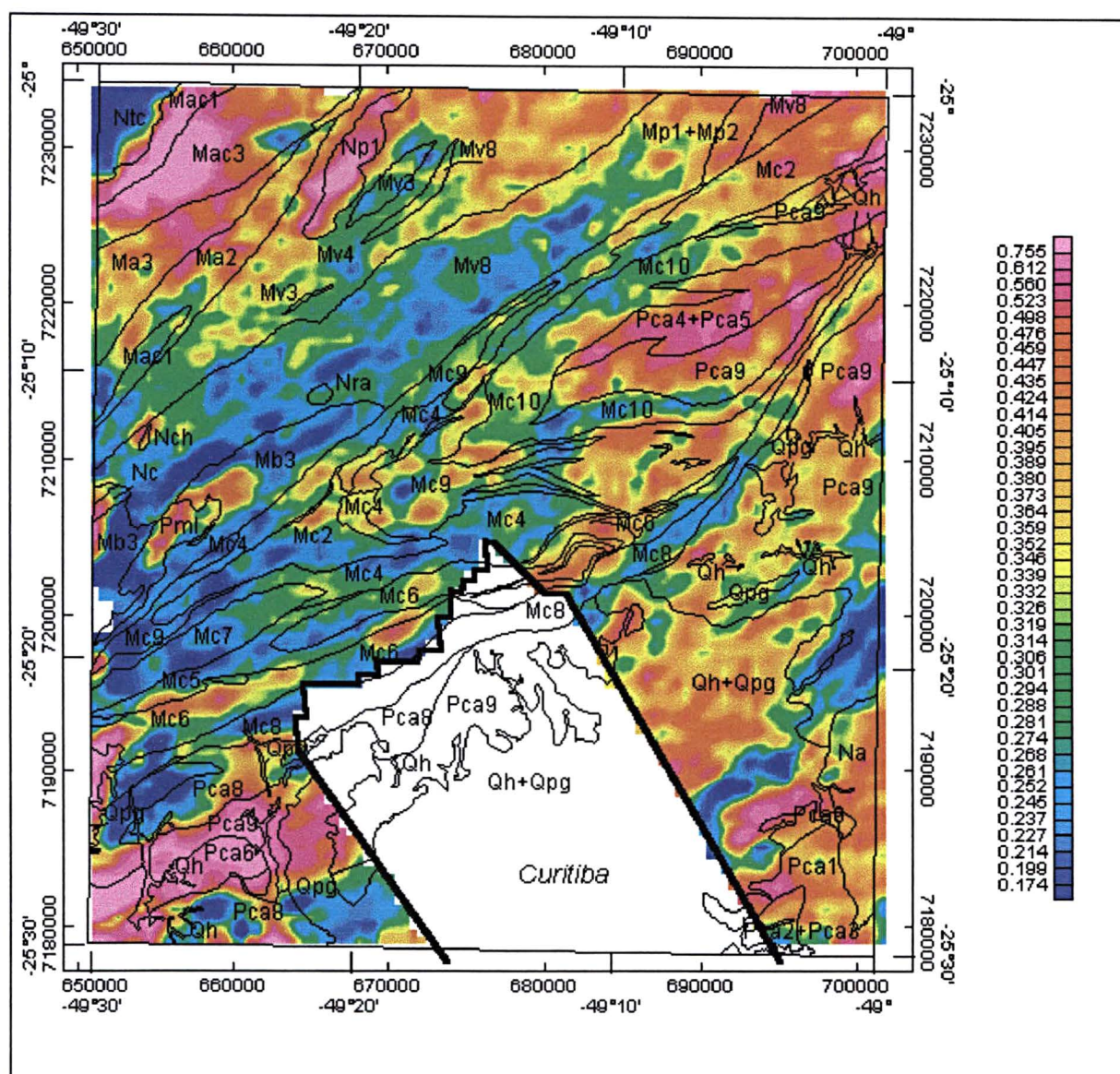
A unidade granítica Piedade é representada por altos a elevados valores desta razão, em virtude das altas contagens de tório em quase toda sua extensão.

O granito Anhangava apresenta valores moderados a altos da razão Th/K, devido a predominância de maiores concentrações de tório.

#### 6.1.1.4.10 - Aluviões e Formação Guabirota

A Formação Guabirota é caracterizada em sua maior parte, por moderados a baixos teores de potássio, do que decorre valores elevados da razão Th/K.

FIGURA 29 – MAPA DA RAZÃO Th/K E UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS



#### 6.1.1.5 - Considerações sobre a razão U/K

O mapa da razão U/K (Figura 30) apresenta padrão similar ao da razão Th/K, bem caracterizada por regiões de fortes anomalias nas bordas dos quatro quadrantes da folha.

##### 6.1.1.5.1 - Complexo Atuba

É caracterizado por valores moderados a altos em quase toda sua extensão, decorrentes da predominância de teores de urânio sobre os de potássio nas rochas desta formação. Pronunciadas anomalias ocorrem no segmento SE da folha, nas unidades pertencentes ao anticlinório do Setuva e na região anômala de Santo Onofre.

A leste da folha, a unidade de hornblenda gnaisses (Pca9) apresenta variações nesta razão, em função da variabilidade do urânio, que ocorre com maiores teores a norte desta unidade, enquanto baixos valores de K estão presentes em todo o segmento.

As unidades de anfíbolitos e hornblenda gnaisses (Pca8), localizadas na região sudoeste da folha, são caracterizadas por variações na razão U/K, em função de oscilações nos teores de urânio.

##### 6.1.1.5.2 - Complexo Meia Lua

O Complexo Meia Lua apresenta variação interna da razão U/K, distinguindo-se duas porções: a primeira a SW, com valores baixos desta razão (baixo urânio e moderados a baixos valores de potássio); na porção NE, ocorre predominância de teores de urânio sobre os de potássio, elevando os valores da referida razão.



#### 6.1.1.5.3 - Formação Água Clara

As rochas da Formação Água Clara, representadas por quartzo-mica xistos (Mac1) e mármore (Mac3), situadas no extremo NW da folha, são caracterizadas por altos valores desta razão, sobretudo pelas baixíssimas ocorrências de K.

#### 6.1.1.5.4 - Seqüência Perau

Os quartzitos e rochas metacálciossilicatadas desta unidade, possuem valores altos da razão U/K; a predominância do urânio é atribuída a fatores tectônicos e litológicos.

#### 6.1.1.5.5 – Formação Betara

Os quartzo-mica xistos da Formação Betara são caracterizados por baixos valores da razão U/K, em toda sua extensão. As elevações verificadas nos valores desta razão são devidas aos quartzitos intercalados (Mb2) nos filitos, os quais contribuem para o aumento nos teores de U.

#### 6.1.1.5.6 – Formação Capiru

Em geral a Formação Capiru apresenta valores moderados a baixos desta razão, principalmente em função do mesmo comportamento do urânio, tanto nas rochas metacálcárias quanto nos filitos. Entretanto, em algumas porções, são observadas elevações desta razão nos metacalcários (Mc2), nos sericita xistos (Mc10), nos metarritmitos (Mc4) e filitos (Mc8), atribuídas a influência de zonas de intenso falhamento; nos filitos representados pelas unidades Mc5 e Mc6, tal elevação é devida ao incremento de urânio nas zonas de falhamentos transcorrente

e de cavalgamento. A unidade de filitos carbonosos (Mc7), é bem caracterizada por baixo valores desta razão, devido a elevadas contagens de potássio, talvez por ser circundada por zonas de cisalhamento.

#### 6.1.1.5.7 - Formação Votuverava

A unidade de filitos carbonosos (Mv8) é bem definida por baixos valores desta razão. Entretanto, no extremo NE, valores moderados a altos são ressaltados em função da litologia e da proximidade das zonas de cisalhamento transcorrentes. As porções central e sudoeste apresentam valores baixos em virtude da ocorrência de lentes de metabásicas.

Em quase toda sua extensão, a unidade metassedimentar silto-argilosa (Mv4) é caracterizada por valores moderados a baixos de U/K, excetuando-se a extremidade NE onde predominam contagens moderadas a altas.

A unidade Mv3 (metarenitos finos), nas proximidades do flanco leste do granito Piedade, é caracterizada por baixos valores da razão U/K devido a maior ocorrência de potássio. Entretanto, a extremidade NE apresenta valores moderados em virtude do decréscimo nos teores de potássio.

#### 6.1.1.5.8 – Formação Antinha

É caracterizada em quase toda sua extensão por moderados a altos índices da razão U/K, em virtude dos elevados valores de contagens de potássio. A região SW da unidade Ma3 apresenta-se com valores baixos a moderados desta razão, em virtude da ocorrência de calcários mais puros e menor volume de matéria orgânica, denotando menores teores de urânio e moderados de potássio. A unidade Ma2 também apresenta baixos valores da razão, sobretudo pela predominância do potássio sobre o urânio, em correspondência aos litotipos característicos da unidade (metacalcários calcíticos).

#### 6.1.1.5.9 – Granitóides

O granito Chacrinha, é bem caracterizado por valores moderados a baixos da razão U/K devido a maior predominância de potássio.

Caracterizado por moderados valores de urânio e potássio, o granito Rio Abaixo também é representado por baixos a moderados valores da razão entre estas variáveis.

Em função da predominância de feldspatos potássicos, o granito Três Córregos é muito bem caracterizado na razão U/K por baixíssimos valores deste quociente.

O granito Cerne é identificado pela razão U/K através de valores moderados a baixos em virtude da maior ocorrência de potássio.

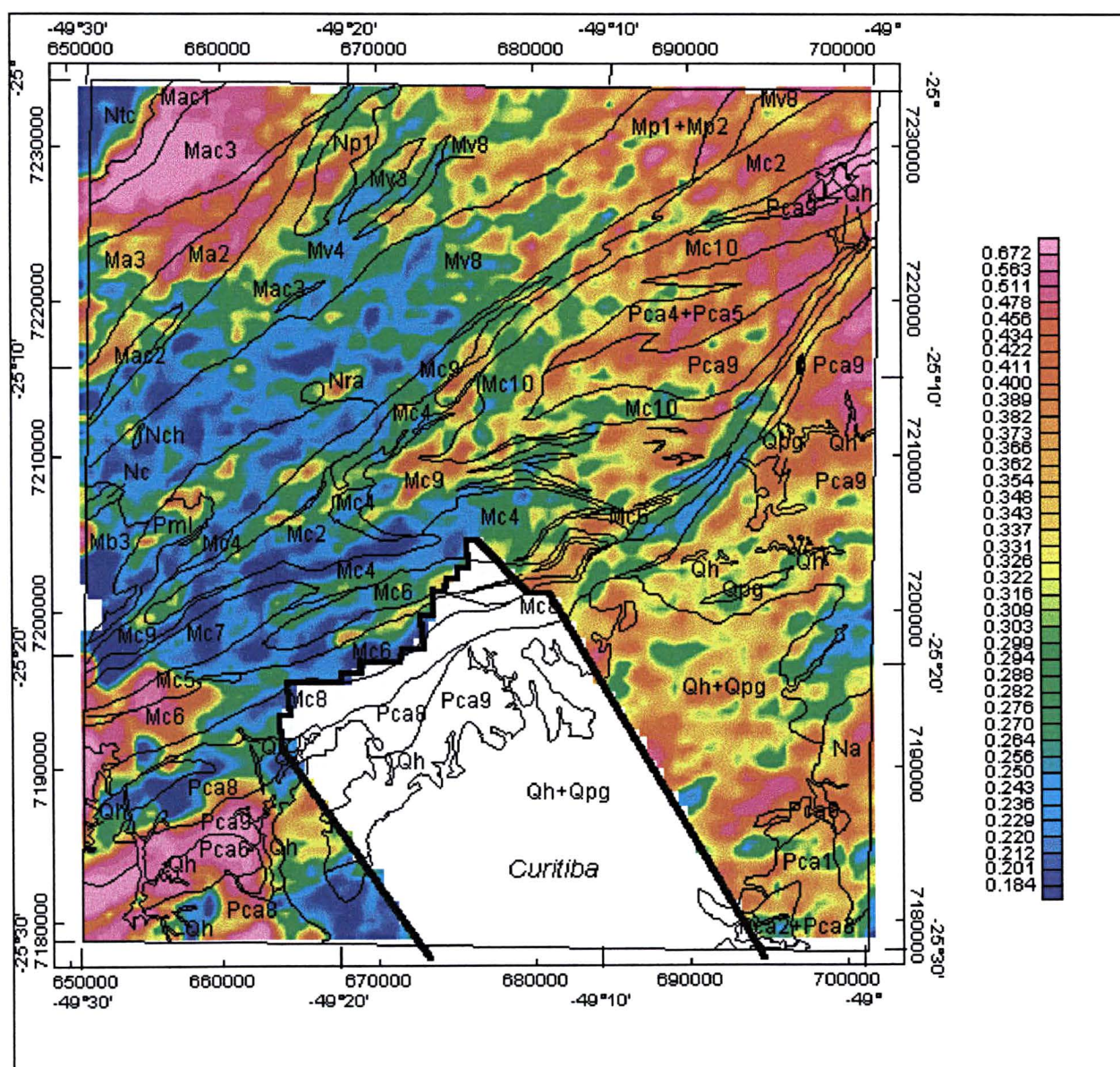
A unidade granítica Piedade é representada por moderados a elevados valores desta razão, em virtude dos altos índices de urânio e moderados a baixos de potássio.

O granito Anhangava é mapeado por valores médios a altos da razão U/K, devido a elevadas ocorrências de urânio e moderadas de potássio.

#### 6.1.1.5.10 - Aluviões e Formação Guabirota

A Formação Guabirota é caracterizada, em sua maior parte, por moderados a baixos teores de potássio, do que decorre altos índices da razão U/K.

FIGURA 30 – MAPA DA RAZÃO U/K E UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS



#### 6.1.1.6 - Considerações sobre a razão U/Th

O mapa da razão U/Th (Figura 31) apresenta um padrão mesclado, alternando valores altos e baixos em quase toda a folha.

##### 6.1.1.6.1 - Complexo Atuba

As rochas do Complexo Atuba na porção SE da folha, representadas por epidoto gnaisses (Pca1), granada-sillimanita xistos (Pca2), quartzitos (Pca3) e hornblenda gnaisses (Pca9) são mapeadas por valores moderados a baixos desta razão em virtude de maiores teores de tório.

As unidades a oeste de Curitiba, representadas por biotita gnaisses (Pca6), anfíbolitos (Pca8) e hornblenda gnaisses (Pca9), apresentam valores moderados a baixos desta razão. Nesta mesma região, ao sul da unidade Pca8, é verificada uma elevação nos valores desta razão sugerindo uma maior ocorrência de urânio sobre o tório.

A unidade Pca9, situada a leste da folha, apresenta variações nesta razão desde valores elevados nas adjacências do granito Anhangava (baixo tório e médio urânio), até valores baixos em ocorrências localizadas na borda leste da folha.

As porções do Complexo Atuba situadas na antiforma do Setuva, representadas por biotita gnaisses (Pca4 + Pca5) e hornblenda gnaisses (Pca9), possuem valores moderados a altos tanto de tório quanto de urânio. Entretanto, a razão entre estas variáveis mostra uma predominância de tório nos biotita gnaisses e urânio nos hornblenda gnaisses.

#### 6.1.1.6.2 - Complexo Meia Lua

O Complexo Meia Lua apresenta baixas razões U/Th em sua porção central; em suas bordas nordeste e sudoeste há um crescimento de valores, decorrente do declínio dos teores de tório.

#### 6.1.1.6.3 - Formação Água Clara

Os quartzo-mica xistos (Mac1) e mármore (Mac3) da Formação Água Clara, possuem valores baixos a moderados em grande parte da formação. A unidade Mac1 em sua porção SW, na região do rio Tacaniça, apresenta um incremento de urânio, refletido no aumento da razão. A unidade Mac3 exibe valores moderados a elevados em sua porção NE devido a baixas concentrações de tório e moderadas a elevadas contagens de urânio, notadamente na área da ZCT Tijuco.

#### 6.1.1.6.4 - Seqüência Perau

Os quartzitos e rochas metacálciossilicatadas desta unidade possuem valores médios a altos da razão U/Th, sendo atribuídos a fatores litológicos e tectônicos, já comentados.

#### 6.1.1.6.5 – Formação Betara

Os quartzo-mica xistos da Formação Betara, são caracterizados por baixos valores da razão U/Th em grande parte de sua área. A NE, em uma faixa bem definida, ocorrências elevadas são registradas em função do decréscimo de tório, ocorrendo o mesmo com a borda oeste desta formação.

#### 6.1.1.6.6 – Formação Capiru

Em geral, a Formação Capiru apresenta grande variabilidade da razão U/Th em quase toda sua extensão. É de se salientar, que em algumas regiões ocorrem valores altos desta razão, com maior ocorrência de urânio sobre tório. Tais elevações são observadas nas unidades de metacalcários (Mc2) e metarritmitos (Mc4) situadas nas porções SW e central da formação, nos segmentos SW de filitos (Mc5, Mc6 e Mc7), na região central dos metacalcários (Mc9) e em quase toda a área dos sericita xistos (Mc10).

#### 6.1.1.6.7- Formação Votuverava

A unidade de filitos carbonosos (Mv8) é bem caracterizada por moderados a altos valores desta razão, devido fundamentalmente aos baixo índices de tório. Na porção SW são verificadas ocorrências isoladas de baixos valores da razão.

Os metarenitos (Mv3) apresentam valores moderados em quase toda sua extensão e uma elevação da razão no extremo nordeste, em função de baixíssimos índices de tório.

A unidade Mv4 constituída de metassedimentos silto-argilosos, é caracterizada por valores moderados a baixos desta razão, excetuando-se algumas ocorrências isoladas de valores moderados a altos.

#### 6.1.1.6.8 – Formação Antinha

Os metargilitos e metassiltitos (Ma3), apresentam valores moderados a baixos da razão em quase toda sua área de ocorrência. Valores elevados são observados na porção extremo NE, nas proximidades da junção entre a ZC Invernada e a ZCT Tijuco, região onde há maior abundância de urânio em relação ao tório.

A unidade de metacalcários calcíticos (Ma2) é caracterizada, em geral, por moderados a altos índices da razão U/Th, em virtude dos elevados valores de contagens de urânio em relação aos de tório.

#### 6.1.1.6.9 – Granitóides

O granito Chacrinha é bem caracterizado por valores baixos de razão U/Th, em função da maior predominância de tório.

Caracterizado por valores baixos de U e Th, o granito Rio Abaixo é representado por valores moderados a altos da razão destas variáveis, denotando uma maior concentração de U em relação ao Th.

O granito Três Córregos, é muito bem caracterizado por valores moderados a altos da razão U/Th, talvez em função de algumas áreas diferenciadas.

O granito Cerne é identificado pela razão U/Th através de valores moderados a baixos em virtude da maior ocorrência de tório.

A unidade granítica Piedade é bem mapeada nesta razão por baixíssimos valores, em função da predominância de tório sobre urânio.

O granito Anhangava é representado por valores moderados da razão U/Th; ocorrências isoladas a norte denotam uma elevação desta razão, devido ao decréscimo de tório.

#### 6.1.1.6.10 - Aluviões e Formação Guabirotuba

A Formação Guabirotuba é caracterizada, em sua maior parte, por moderados a baixos valores de razão U/Th; na faixa a leste de Curitiba apresenta um aumento da razão U/Th devido principalmente ao baixíssimos teores de tório.





#### 6.1.1.7 – Composição ternária

A composição ternária de K, Th e U da Folha Curitiba (Figura 32), enseja o comportamento relativo desses radionuclídeos em um única prancha, permitindo a visualização simultânea das variáveis gamaespectrométricas. É importante ressaltar que a composição ternária das variáveis radiométricas no âmbito do *software Geosoft*, mostra o mesmo grau de qualidade da imagem processada no sistema *Erdas Imagine*, mostrada na Figura 14.

As rochas do Complexo Atuba, a oeste de Curitiba, apresentam tonalidades azuis claras denotando predominância de tório e urânio; nesta região também observa-se uma faixa com tonalidade branca, evidenciando a ocorrência de altos teores dos três radionuclídeos. A leste da folha, a unidade de hornblenda gnaisses (Pca9) possui predominância de tório e urânio na porção setentrional, enquanto urânio e potássio predominam na porção meridional. As unidades situadas no Anticlinório do Setuva apresentam predominância de tório e urânio.

O Complexo Meia Lua exhibe um núcleo com predominância de tório e potássio; já a borda NE mostra ocorrência alta de urânio, enquanto na borda SW predomina o potássio.

Na Formação Água Clara as rochas representadas por mármore puro e impuros (Mac3), apresentam duas porções bem definidas: a primeira a NE com maiores teores de potássio e urânio, além da ocorrência de tório em pontos isolados; a segunda situada a SW, exhibe predomínio de tório e urânio. Na unidade de quartzo-mica xistos e mármore (Mac1) predominam urânio e tório.

Em seu segmento norte, a Seqüência Perau apresenta ocorrências elevadas dos três radionuclídeos, enquanto a sul existe predomínio de urânio e tório.

A Formação Betara caracteriza-se pela maior predominância de potássio, em alguns pontos ocorre maior contribuição de tório e urânio.

A Formação Capiru exhibe comportamento variado. Em sua porção NE predominam urânio e tório, enquanto na porção central baixas ocorrências dos três radionuclídeos são verificadas na unidade de metacalcários dolomíticos (Mc9).

A unidade de metarritmitos silto-arenosos (Mc4) mostra significativa variabilidade: na porção NE predominam urânio e tório, enquanto no segmento central as ocorrências de potássio são ressaltadas; no segmento SW observa-se maior contribuição de potássio e tório. A SW da faixa Capiuru a unidade de metacalcários (Mc9) exibe teores de potássio em maior proporção; a unidade de filitos carbonosos (Mc7) apresenta predominância de potássio e tório em sua porção NE, enquanto no restante de sua área de ocorrência potássio e urânio são dominantes. A unidade de filitos (Mc5) apresenta comportamento similar ao dos filitos carbonosos. Entretanto, em sua porção SW, a tonalidade branca indica ocorrência simultânea de elevadas contagens de K, Th e U. Os filitos da unidade Mc6 denotam acentuada ocorrência de urânio e tório associados, além de potássio no seu extremo SW. Na região segmentada pela ZCT Almirante Tamandaré, a tonalidade branca mostra a ocorrência de altos valores dos três radionuclídeos, enquanto a porção NE de Mc6 é caracterizada por ocorrências de potássio associadas ao tório. A unidade de filitos (Mc8) tem como característica marcante a presença de potássio em quase toda sua extensão, diferenciando-a das rochas do Complexo Atuba.

A unidade de filitos carbonosos (Mv8) da Formação Votuverava, apresenta em sua porção NE ocorrências significativas de potássio e urânio. Na vizinhança da Seqüência Perau ocorre contribuição de elevados teores dos três radionuclídeos. Nas porções central e sudoeste observam-se ocorrências de potássio associadas ao tório e manchas escuras que denotam a ausência de contribuição significativa dos três radioisótopos. A unidade de metassedimentos silto-argilosos Mv4 apresenta tonalidades brancas, onde ocorrem altos valores de K, Th e U, como também nas regiões extremo NE e na faixa oeste entre o granito Piedade e a Formação Antinha. Em outras áreas ocorrem associações de potássio com tório (tonalidade amarela). A unidade de metarenitos Mv3 exibe potássio e tório, ao passo que na sua porção extremo NE nota-se baixas contribuições dos radionuclídeos.

Nos metacalcários calcíticos (Ma2) da Formação Antinha, ocorre predominância de potássio e urânio no segmento NE. Já na porção central observa-

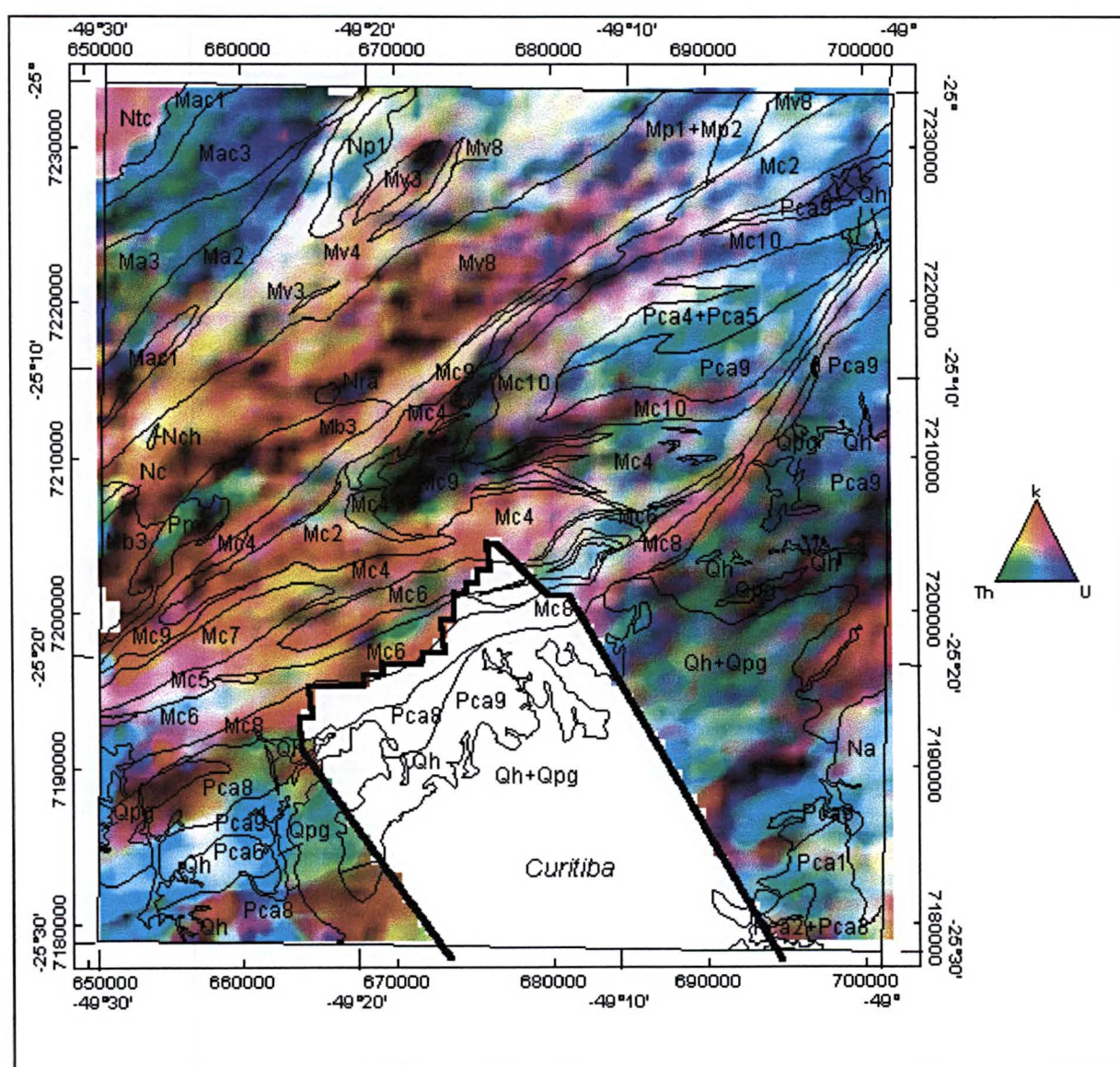
se uma associação de altos teores de tório e urânio, enquanto que na região sudoeste verifica-se contribuições simultâneas de potássio, tório e urânio. A unidade de metargilitos e metassilitos (Ma3) exhibe ocorrências de tório associado ao urânio, e em alguns pontos nota-se boas relações de potássio e urânio.

As maiores unidades granitóides são bem caracterizadas pela composição ternária, destacando-se: o granito Três Córregos, no qual predomina o potássio, em detrimento de teores moderados de urânio e baixos de tório; o granito Anhangava, com maiores contribuições de tório e urânio; o granito Piedade mostra um zoneamento caracterizado, em sua região central, por tório e urânio, enquanto que em suas bordas constata-se o predomínio dos três radionuclídeos. Dentre os granitos de menor expressão em área destacam-se: Rio Abaixo com baixíssima concentração de radionuclídeos; Chacrinha com ocorrências de tório e potássio; e Cerne caracterizado pela associação de tório e potássio.

A Formação Guabirotuba e aluviões são caracterizados, em geral, pela associação de tório e urânio. A leste de Curitiba observa-se uma faixa cuja envoltória representa a associação de potássio e urânio, com seu interior refletindo a ausência de elevadas contagens de radionuclídeos. A oeste de Curitiba esta formação mostra ao norte potássio e tório, enquanto a sul predominam maiores contagens de potássio associadas a moderados a baixos índices de tório e urânio.

No tópico seguinte o estudo do comportamento gamspectrométrico será realizado especificamente nos compartimentos da Folha Curitiba, correspondentes as várias unidades litoestratigráficas, o qual permitirá uma análise mais acurada.

**FIGURA 32 – COMPOSIÇÃO TERNÁRIA (K Th U) E UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS**



## 6.2 - Abordagem por unidades litoestratigráficas

No tópico anterior foi realizada uma tentativa de avaliar, de modo qualitativo, o comportamento de cada uma das variáveis (K, Th e U) em toda a Folha Curitiba. Com o intuito de proceder uma análise mais detalhada, esta nova abordagem toma como base também a carta geológica da folha, porém com ênfase nas unidades litoestratigráficas. Desta forma foram selecionados 30 layers distintos, assim distribuídos: 6 *layers* do Paleoproterozóico, 17 *layers* do Mesoproterozóico, 6 *layers* do Neoproterozóico-Cambriano e 1 *layer* do Quaternário e Formação Guabirotuba. Considerando que a cada *layer* associa-se três variáveis (K, Th e U), foram geradas 90 imagens gamaespectrométricas distintas, dificultando a análise. Entretanto, para simplificar a interpretação, foram construídas composições ternárias (K, Th e U) para os diversos *layers* da folha, as quais permitiram não só a análise gamaespectrométrica de forma conjunta, como também a quantificação das contagens de K, Th e U em cada compartimento geológico selecionado.

### 6.2.1- Complexo Atuba

As diversas litologias que compõem o Complexo Atuba são mostradas na Figura 33. Antes de iniciar as análises qualitativa e quantitativa deste complexo, deve-se levar em consideração que a unidade de hornblenda gnaisses (Pca9) aflora em oito segmentos distintos, conforme mostra a Figura 34. Nesta observa-se que a maior expressão em área é representada pela unidade Pca9f, a qual possui variações significativas, com predomínio de potássio na porção meridional provavelmente proveniente do granito Anhangava (também visível nas figuras 23 e 24) e maiores concentrações de tório e urânio no segmento setentrional, talvez oriundas dos terrenos mais elevados da Formação Capiru.

Com o objetivo de quantificar as variáveis gamespectrométricas, foram construídos os gráficos estatísticos dos diversos segmentos da unidade Pca9,

(figuras 35, 36 e 37) representativas de K, Th e U dos compartimentos observados na Figura 34.

Para o potássio, as unidades Pca9a e Pca9c exibem os maiores valores médios de potássio, com 48cps e 47cps respectivamente, enquanto a unidade Pca9h apresenta a maior variabilidade. Em relação ao tório e ao urânio observa-se que as menores médias encontram-se na unidade Pca9b, em contraste com a unidade Pca9c, a qual mostra os maiores índices médios de tório (28cps) e urânio (24cps). Para esta unidade, sugere-se levantamentos geofísico-geológicos de campo detalhados, uma vez que nela ocorrem teores elevados dos três radionuclídeos. É interessante destacar que na unidade Pca9g aspectos tectônicos podem ter influenciado a distribuição espacial de radioelementos, uma vez que a mesma apresenta uma maior concentração de potássio no seu limite meridional, na região da ZCT em contato com a unidade de sericita xistos (Mc10), enquanto que no seu limite setentrional, em contato com os biotita gnaisses (Pca4 + Pca5), esta é perfeitamente caracterizada pela predominância de tório e urânio. Tomando-se o valor médio das médias dos diversos segmentos da unidade Pca9, foram realizadas as estatísticas do restante do Complexo Atuba, as quais são indicadas nas figuras 38, 39 e 40.

Os dados de potássio (Figura 38) mostram uma média praticamente constante, em torno de 45 cps. Nota-se aí uma elevação desta média de K (50cps) para a unidade de biotita gnaisses (Pca6), a qual localiza-se na região onde também ocorrem fortes anomalias de tório e urânio. Por outro lado, observa-se que as maiores variações de potássio situam-se no contexto da unidade de hornblenda gnaisses (Pca9), oscilando de 14cps a 72cps.

Em relação ao tório, a média geral situa-se em torno de 21cps. Observa-se que a maior variabilidade encontra-se nas litologias Pca9 e Pca8. Também é importante assinalar que as menores variabilidades, tanto de tório quanto de potássio e urânio, foram registradas na unidade de granada-sillimanita xistos (Pca2).

A unidade Pca8 (anfíbolitos) possui um núcleo central com a presença simultânea de altos teores de K, Th e U (tonalidade clara). Sua porção NW é

caracterizada por elevadas contagens de tório e urânio, além de potássio associado ao tório. Por outro lado, a porção SW é dominada pela ocorrência de potássio associado ao urânio. Estatisticamente o potássio desta unidade representa a segunda maior média do complexo (45cps), enquanto o tório e o urânio são muito variáveis nesta região. A maior contribuição média é a do tório (17cps), enquanto a do urânio é de 14 cps. As contagens significativas de potássio e as contribuições de tório e urânio estão associadas as proximidades da referida zona anômala, sem que se saiba as causas destas ocorrências.

A unidade Pca6 destaca-se sobre as demais por apresentar médias muito elevadas de K (50cps), Th (38cps) e U (30cps), conforme observa-se nas estatísticas destes radionuclídeos (figuras 38, 39 e 40). Tais comportamentos, também observados de forma qualitativa nos tópicos 6.1.1.1.1, 6.1.1.2.1 e 6.1.1.3., não são explicados à luz do conhecimento geológico atual.

As unidades de biotita gnaisses (Pca4 + Pca5) revelam predomínio espacial de tório e urânio. Tal comportamento também é verificado estatisticamente, com valores médios de Th (21cps) e U (18cps) considerados altos, só suplantados pela unidade de biotita gnaisses (Pca6). Nesta mesma unidade observa-se que o limite indicado pela zona de cavalgamento é permeado por ocorrências bem caracterizadas de potássio e urânio, não observadas nitidamente na composição ternária da folha (Figura 32).

As unidades de granada-sillimanita xistos (Pca2) e quartzitos (Pca3), possuem predominância espacial de tório e urânio, ocorrendo potássio na borda sul desta unidade com a terceira maior média (44cps), também sendo atribuída a migração deste radionuclídeo. Os teores de tório e urânio são baixos em relação as outras unidades do Complexo Atuba.

A unidade de epidoto gnaisses (Pca1) é caracterizada por teores significativos de potássio, constituindo a segunda maior média (45cps). Tais índices são interpretados como provenientes do granito Anhangava. Contagens de tório são predominantes sobre as de urânio conforme constata-se estatisticamente nas figuras 39 e 37. Os teores de tório e urânio não são condizentes com a litologia



desta unidade, sendo atribuídos ao processo de carreamento destes pelas drenagens, a partir do maciço granítico Anhangava.

**FIGURA 33 – MAPA TERNÁRIO DO COMPLEXO ATUBA**

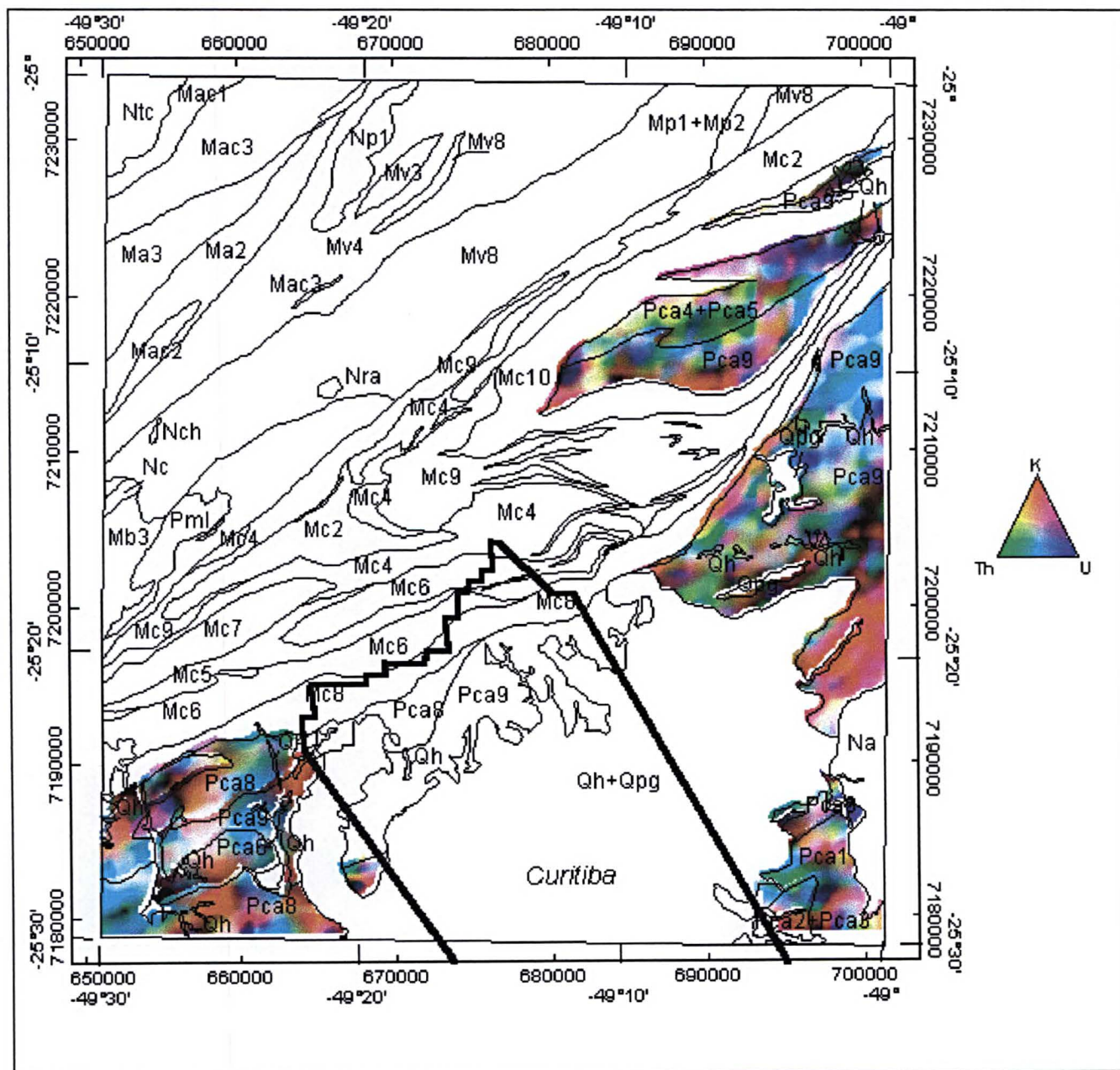
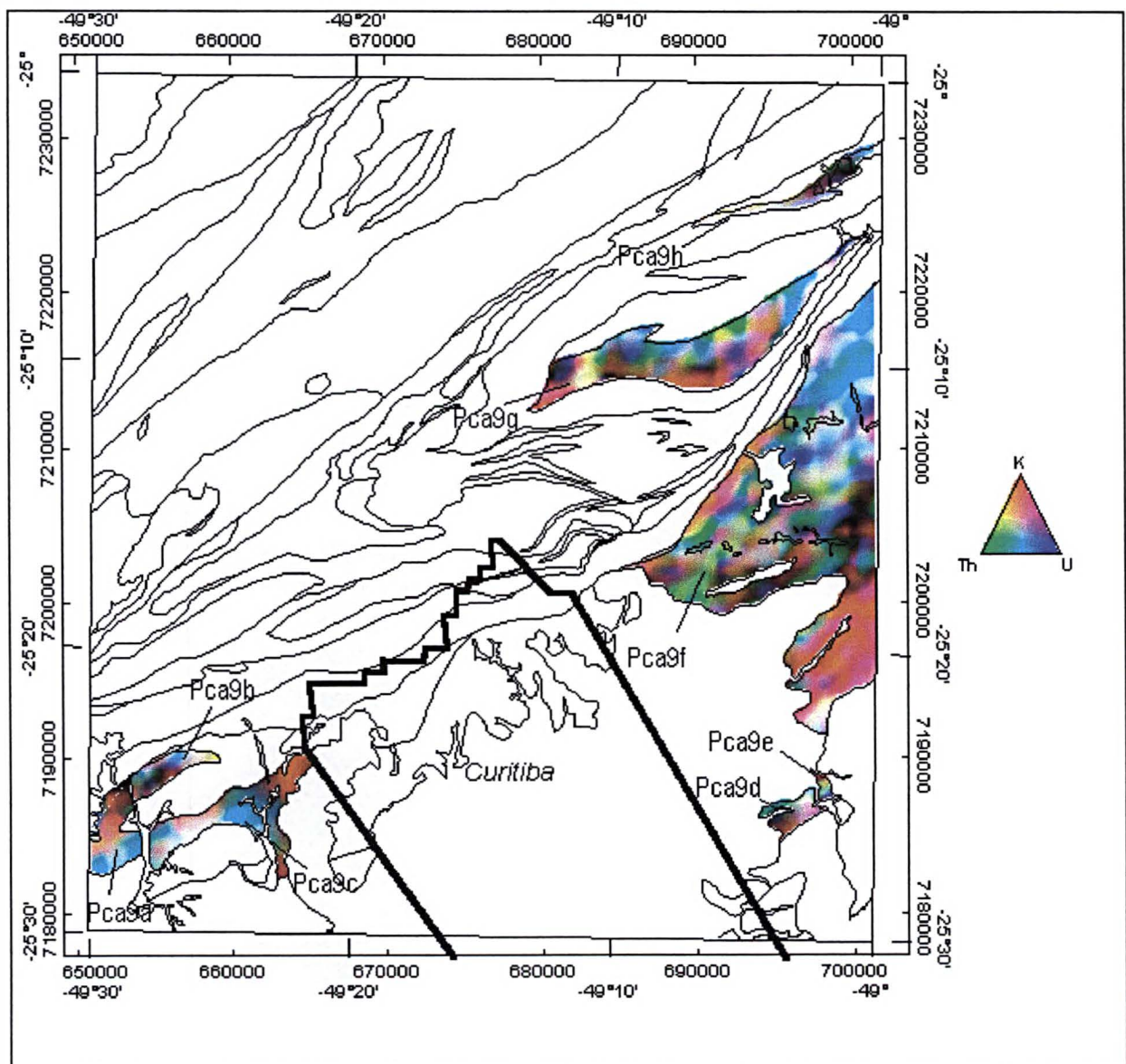
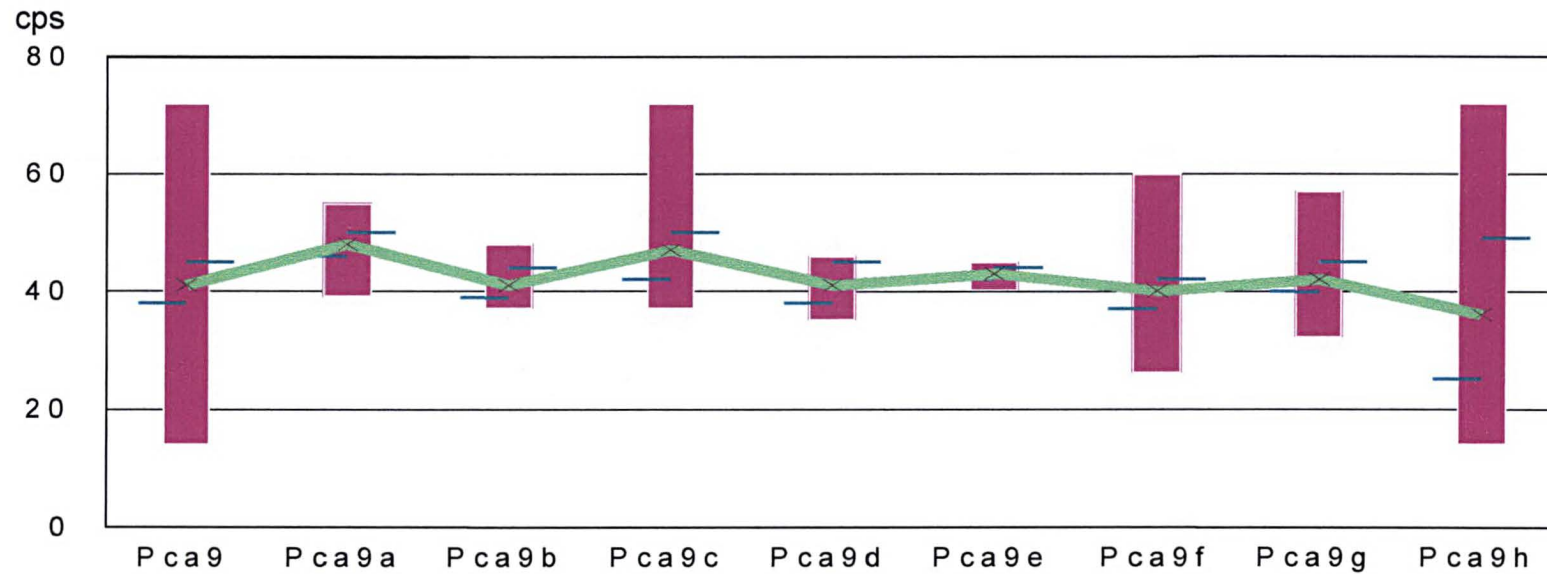


FIGURA 34 – MAPA TERNÁRIO DA UNIDADE DE HORNBLENDA GNAISSES

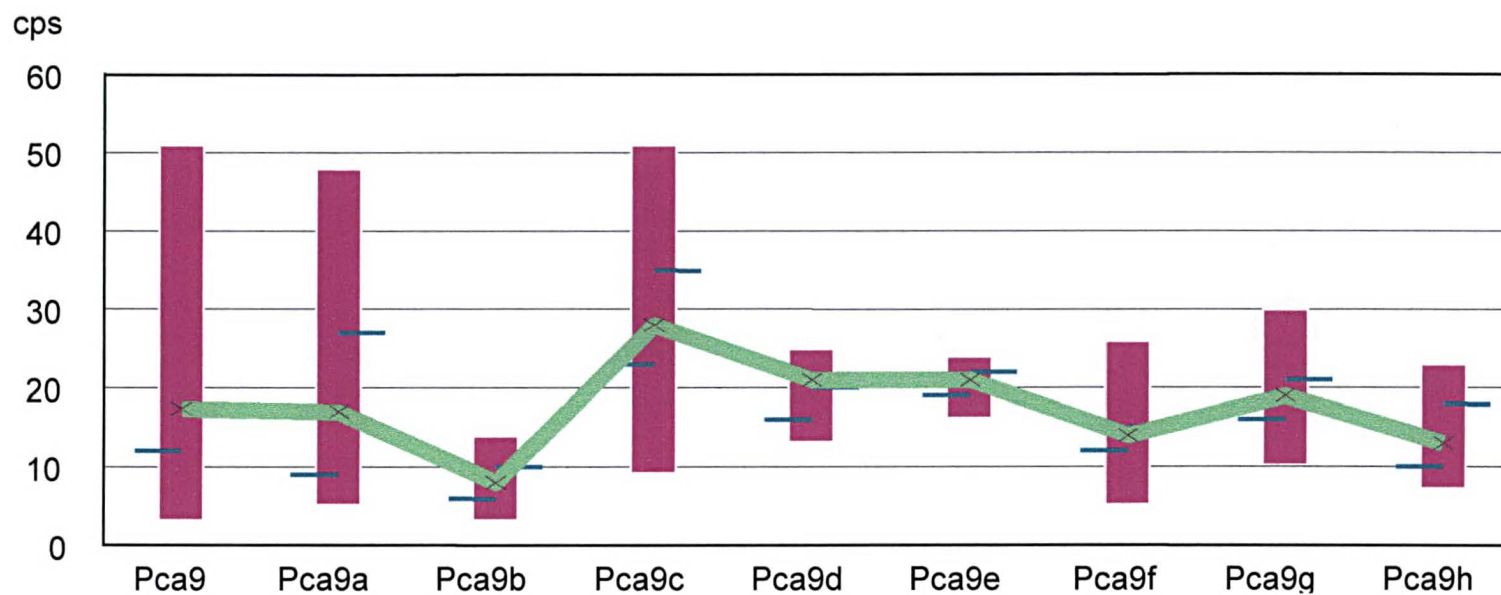


**FIGURA 35 – ESTATÍSTICA DO POTÁSSIO NOS SEGMENTOS DA UNIDADE Pca9 DO COMPLEXO ATUBA**



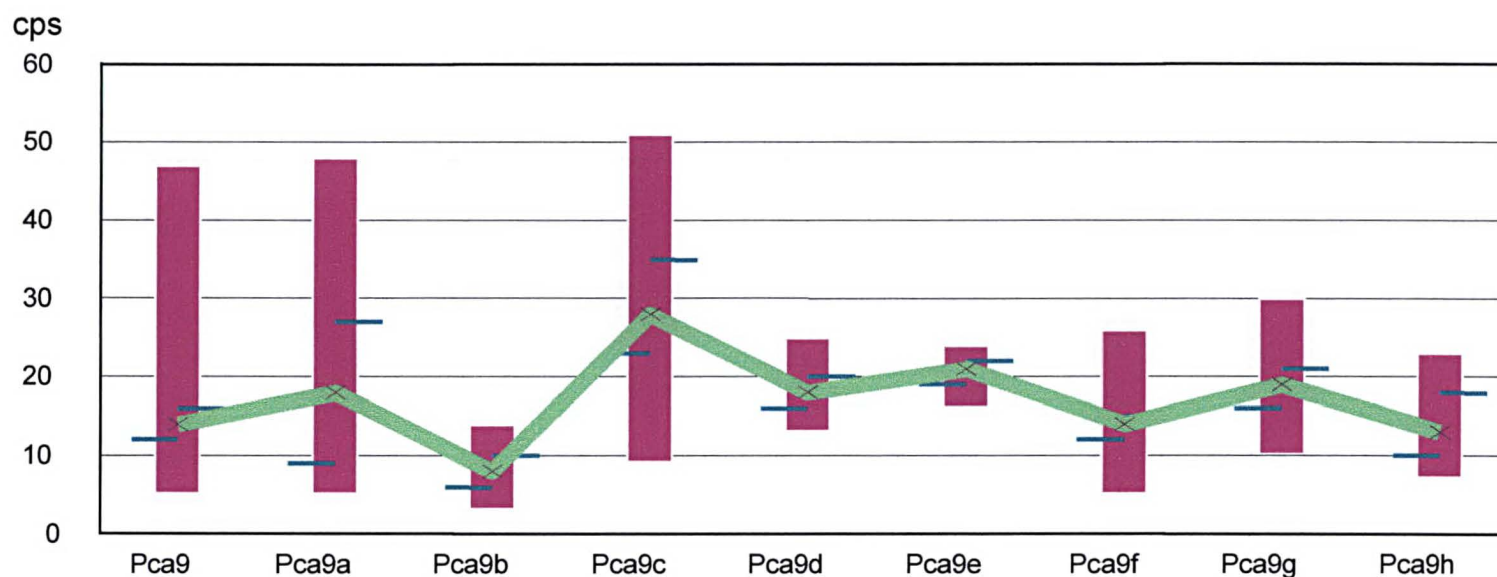
Potássio (cps)	Pca9	Pca9a	Pca9b	Pca9c	Pca9d	Pca9e	Pca9f	Pca9g	Pca9h
Mínimo	14	39	37	37	35	40	26	57	14
25%	38	46	39	42	38	42	37	40	25
Mediana	41	48	40	46	42	44	39	42	32
75%	45	50	44	50	45	44	42	45	49
Máximo	72	55	48	72	46	45	60	32	72
Média	42,38	48	41	47	41	44	40	42	36
Desvio Padrão	6,2	3,0	2,7	7,2	3,7	1,2	5,2	4,1	14,8

**FIGURA 36 – ESTATÍSTICA DO TÓRIO NOS SEGEMENTOS DA UNIDADE Pca9 DO COMPLEXO ATUBA**



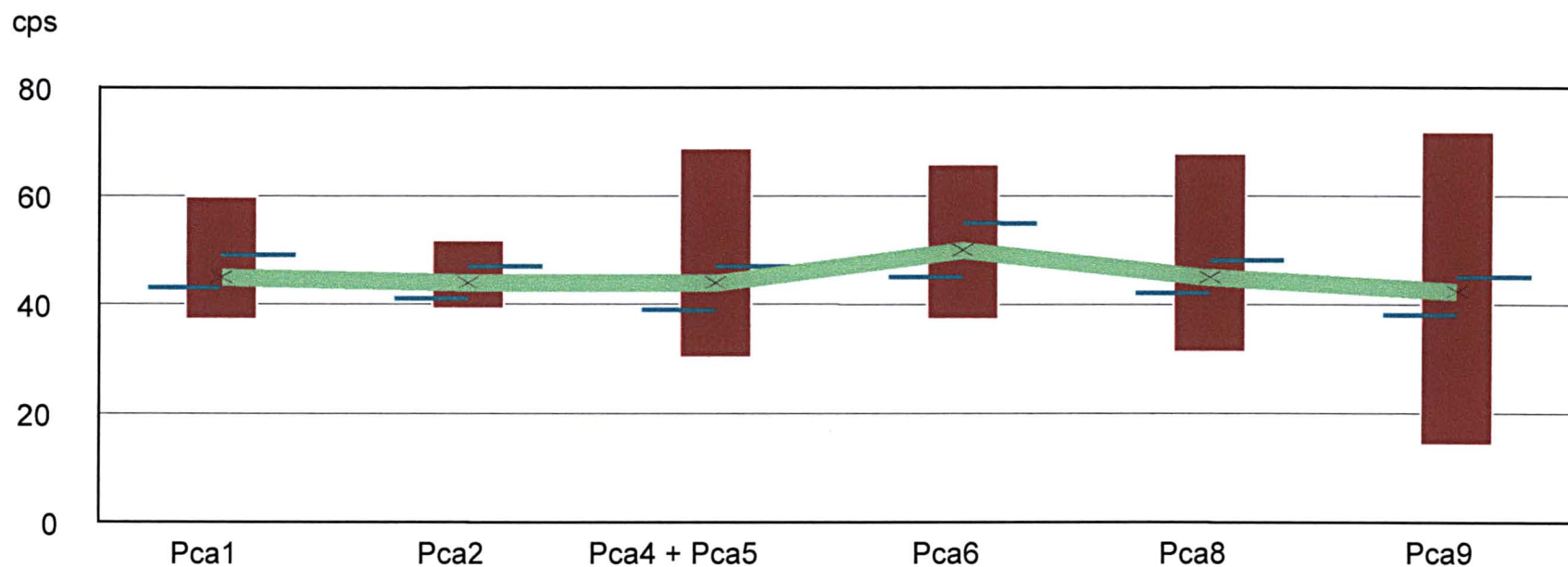
Tório (cps)	Pca9	Pca9a	Pca9b	Pca9c	Pca9d	Pca9e	Pca9f	Pca9g	Pca9h
Mínimo	3	5	3	9	13	16	5	10	7
25%	12	9	6	23	16	19	12	16	10
Mediana	15	17	8	28	18	21	14	19	13
75%	18	27	10	35	20	22	15	21	18
Máximo	51	48	14	51	25	24	26	30	23
Média	17,4	18	8	28	18	21	14	19	13
Desvio Padrão	6,3	10,7	2,8	8,3	2,6	1,9	3,0	3,6	4,7

**FIGURA 37 – ESTATÍSTICA DO URÂNIO NOS SEGMENTOS DAS UNIDADES Pca9 DO COMPLEXO ATUBA**



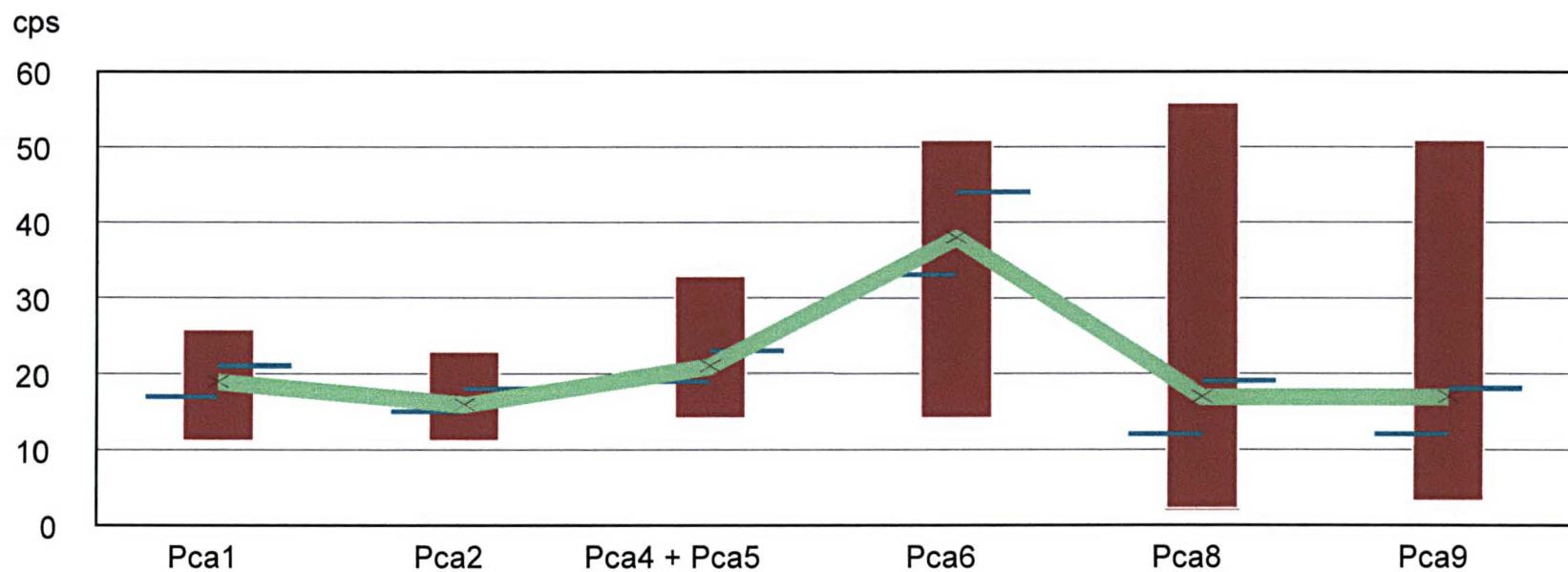
Urânio (cps)	Pca9	Pca9a	Pca9b	Pca9c	Pca9d	Pca9e	Pca9f	Pca9g	Pca9h
Mínimo	5	7	5	9	18	20	9	11	12
25%	12	13	8	16	14	17	12	15	15
Mediana	14	16	10	24	15	18	13	16	17
75%	18	24	12	31	17	19	15	17	19
Máximo	47	38	18	47	11	16	21	24	23
Média	16,4	18	10	24	15	18	13	16	17
Desvio Padrão	7,5	7,0	2,9	8,9	1,5	0,6	2,2	2,0	2,5

**FIGURA 38 – ESTATÍSTICA DO POTÁSSIO NAS UNIDADES DO COMPLEXO ATUBA**



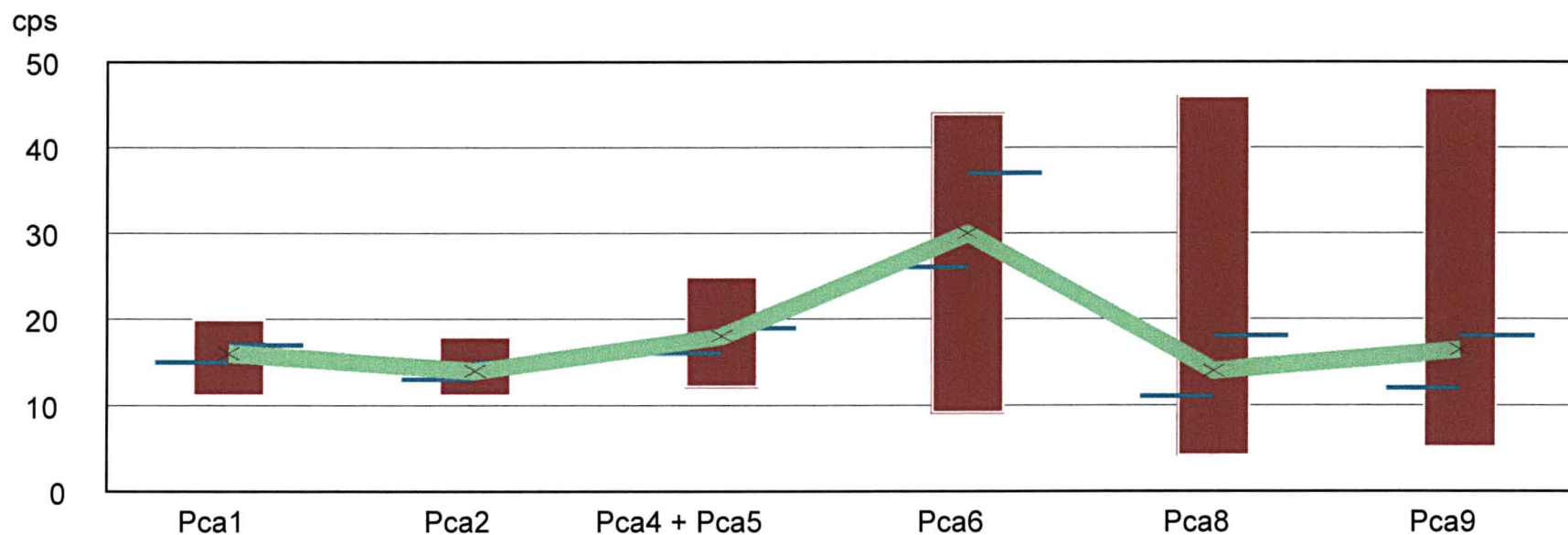
Potássio (cps)	Pca1	Pca2	Pca4 + Pca5	Pca6	Pca8	Pca9
Mínimo	37	39	30	37	31	14
25%	43	41	39	45	42	38
Mediana	45	44	43	49	45	41
75%	49	47	47	55	48	45
Máximo	60	52	69	66	68	72
Média	45	44	43	50	45	42,38
Desvio Padrão	4,3	3,3	7,4	6,9	5,0	6,2

FIGURA 39 – ESTATÍSTICA DO TÓRIO NAS UNIDADES DO COMPLEXO ATUBA



Tório (cps)	Pca1	Pca2	Pca4 + Pca5	Pca6	Pca8	Pca9
Mínimo	11	11	14	14	2	3
25%	17	15	19	33	12	12
Mediana	19	16	21	39	15	15
75%	21	18	23	38	19	18
Máximo	26	23	33	51	56	51
Média	19	16	21	38	17	17,4
Desvio Padrão	2,3	2,6	3,3	7,8	9,2	6,3

FIGURA 40 – ESTATÍSTICA DO URÂNIO NAS UNIDADES DO COMPLEXO ATUBA



Urânio (cps)	Pca1	Pca2	Pca4 e Pca5	Pca6	Pca8	Pca9
Mínimo	11	11	12	9	4	5
25%	9	13	16	26	11	12
Mediana	10	14	18	30	15	14
75%	11	15	19	37	18	18
Máximo	20	18	25	44	46	47
Média	10	14	18	30	14	16,4
Desvio Padrão	4,3	3,3	7,4	6,9	5,0	6,2

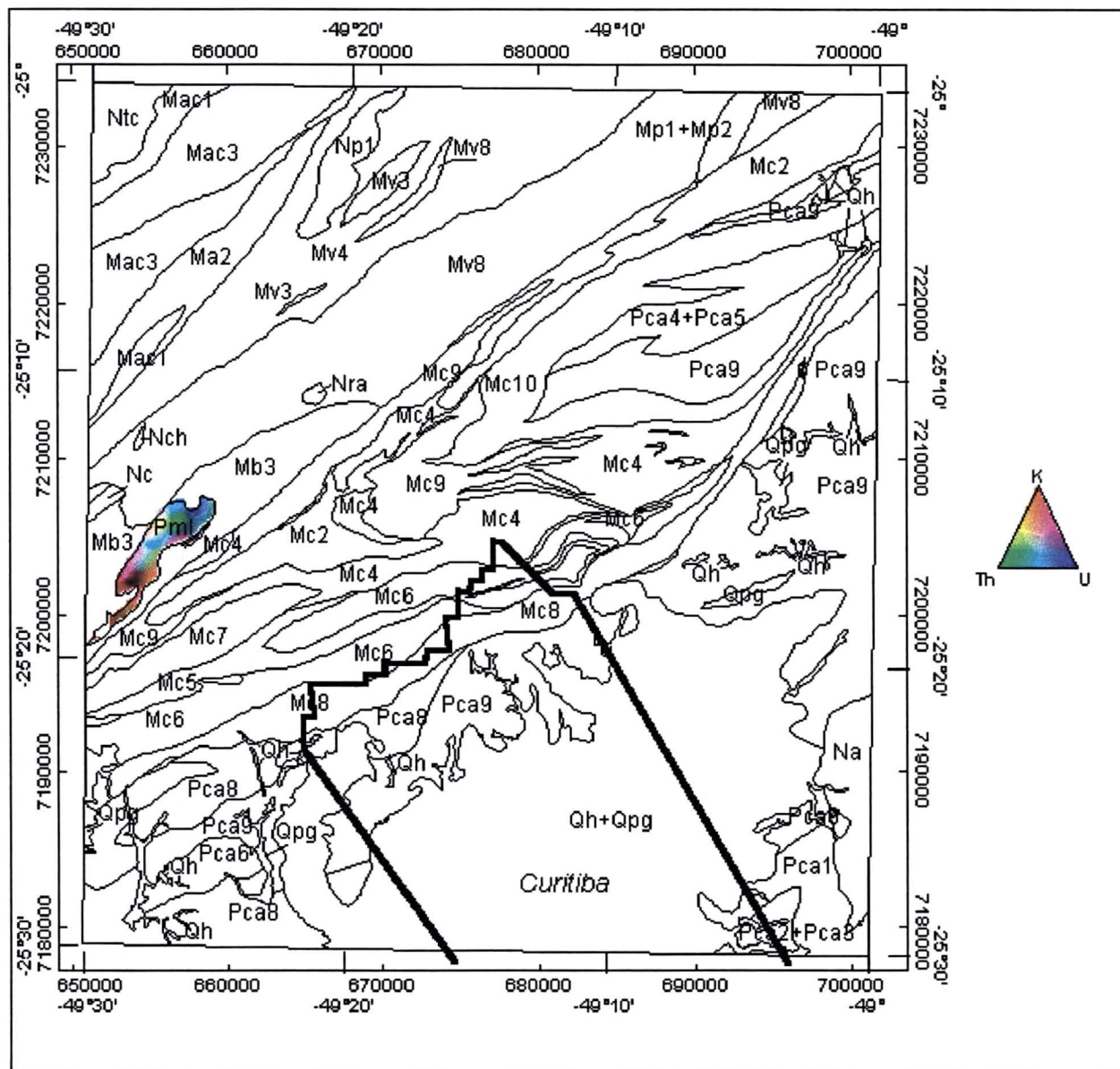


### 6.2.2 – Complexo Meia Lua

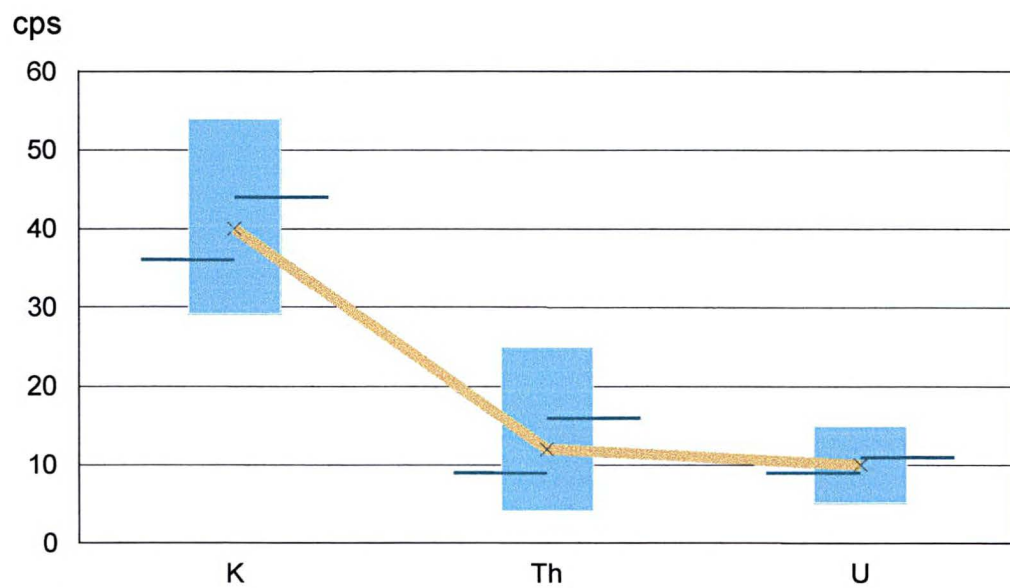
Este complexo (Figura 41) é caracterizado pela diferenciação na distribuição espacial dos radioisótopos. As porções central e nordeste revelam maiores ocorrências de urânio e tório com isoladas contribuições de potássio, em contraste com a porção SW na qual predomina o potássio com baixas contribuições de urânio e tório. Nota-se também neste complexo uma pequena área de tonalidade escura denotando pouca contribuição dos radionuclídeos. Convém ressaltar que a riqueza de detalhes na distribuição espacial dos radioelementos não é verificada na composição ternária (Figura 32) e nos mapas das variáveis gamaespectrométricas individuais (figuras 25, 27 e 28). Os litotipos do complexo são representados por biotita-hornblenda gnaisses, biotita gnaisses graníticos e lentes subordinadas de rochas metabásicas, as quais estariam contribuindo para as baixas ocorrências de potássio. Os teores de tório e urânio podem estar associados a zonas de cavalgamento e transcorrência que circundam o complexo.

A Figura 42 mostra as estatísticas de K, Th e U para o Complexo Meia Lua, observando-se que a maior abundância de potássio pode ser decorrente da presença de feldspatos nos biotita gnaisses.

FIGURA 41 – COMPOSIÇÃO TERNÁRIA DO COMPLEXO MEIA LUA



**FIGURA 42 - ESTATÍSTICA DO POTÁSSIO, DO TÓRIO E DO URÂNIO NO COMPLEXO MEIA LUA**



	Potássio	Tório	Urânio
Mínimo	29	4	5
25%	36	9	9
Mediana	40	12	10
75%	44	16	11
Máximo	54	25	15
Média	40	12	10
Desvio Padrão	5,3	4,7	2,0

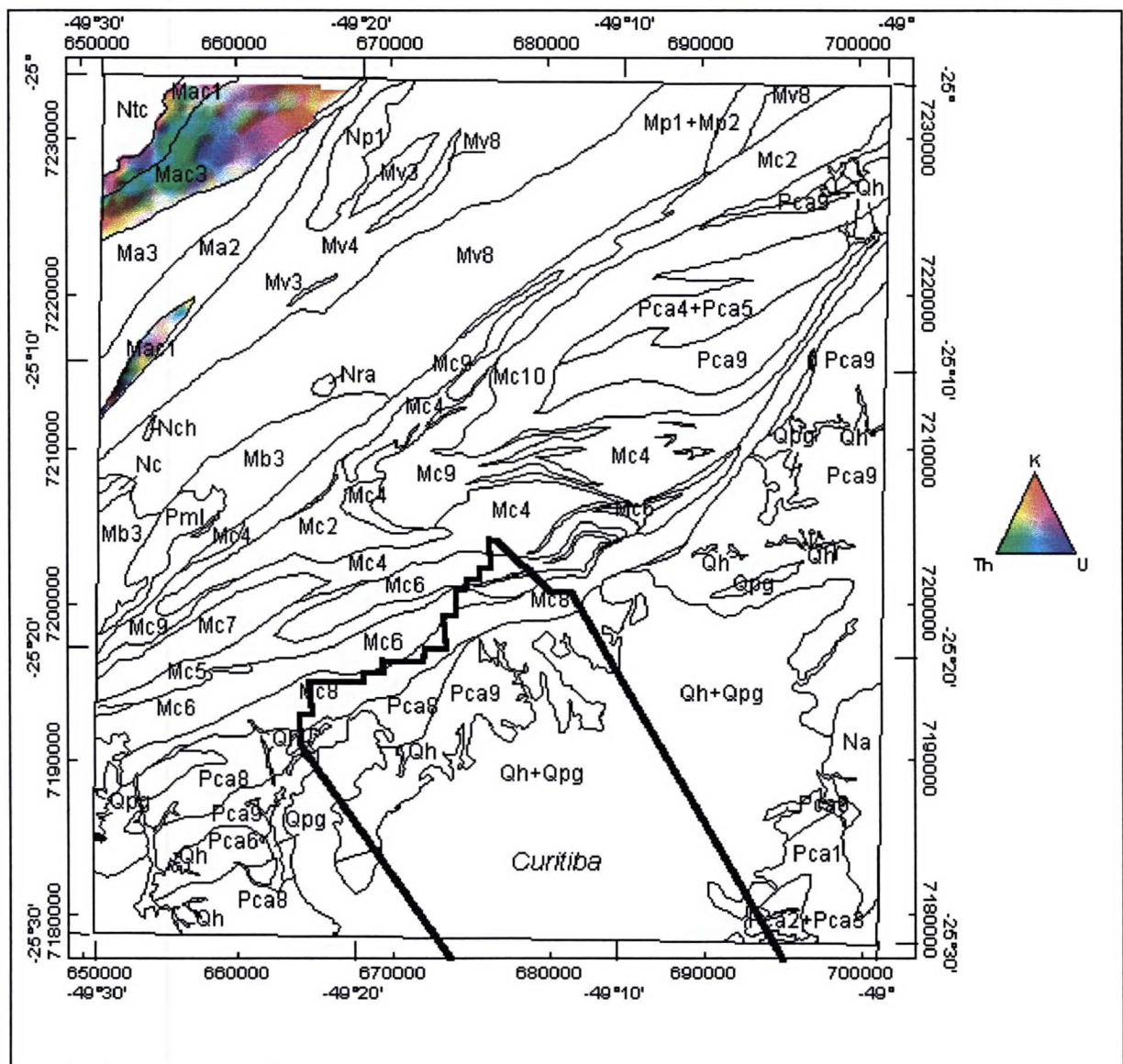
### 6.2.3 - Formação Água Clara

Conforme ilustrado na Figura 43, a unidade de quartzo-mica xistos (Mac1) possui contribuições isoladas de potássio devido aos cálcio-xistos e xistos grafitosos, notadamente no contato com o granito Três Córregos. Nesta unidade observa-se significativo predomínio espacial de tório e urânio, apesar da litologia não ser favorável a estas ocorrências, sendo atribuído a possíveis intrusões de corpos ígneos associados ao granito Três Córregos.

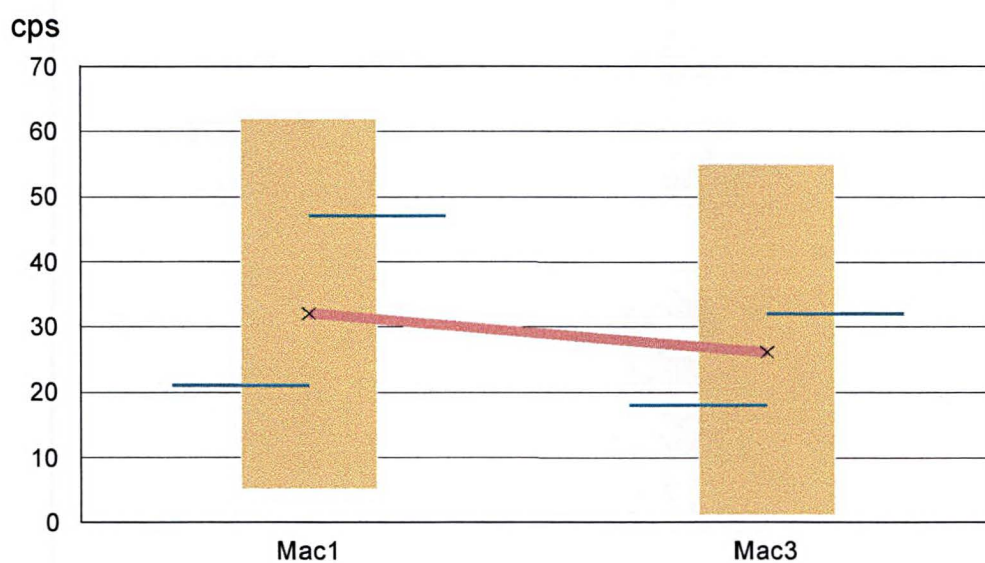
A unidade de mármore puros e impuros, cálcio xistos e mica xistos (Mac3) apresenta maiores concentrações de potássio em sua porção NE e no seu extremo SW, talvez em decorrência da influência da ZCT Tijuco. Em grande parte da unidade há o predomínio de tório e urânio, os quais talvez estejam adsorvidos a solos argilosos e espessos.

Estatisticamente pode-se observar nas figuras 44, 45 e 46 que o comportamento das variáveis gamaespectrométricas nas duas unidades é semelhante.

FIGURA 43 – MAPA TERNÁRIO DA FORMAÇÃO ÁGUA CLARA

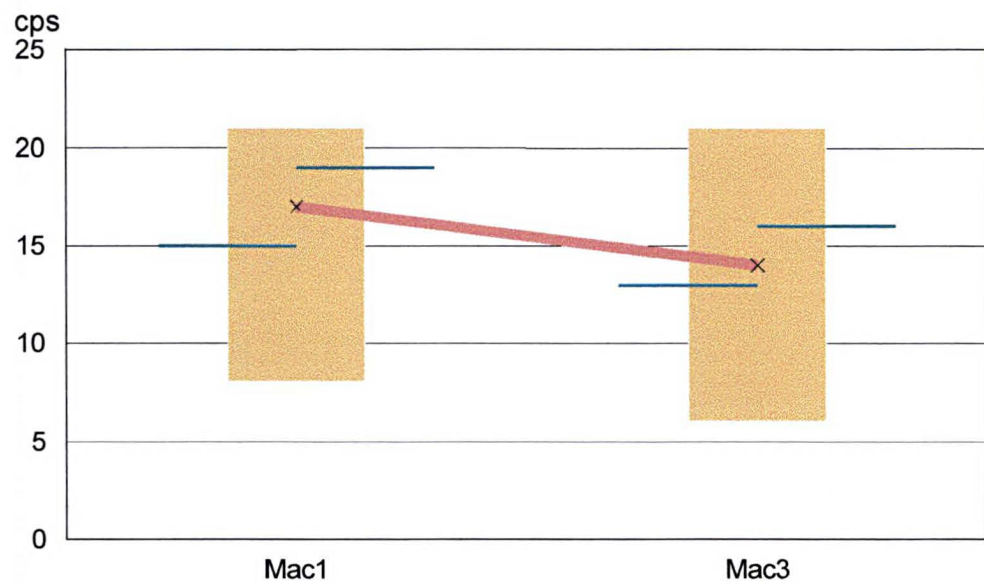


**FIGURA 44 – ESTATÍSTICA DO POTÁSSIO NA FORMAÇÃO ÁGUA CLARA**



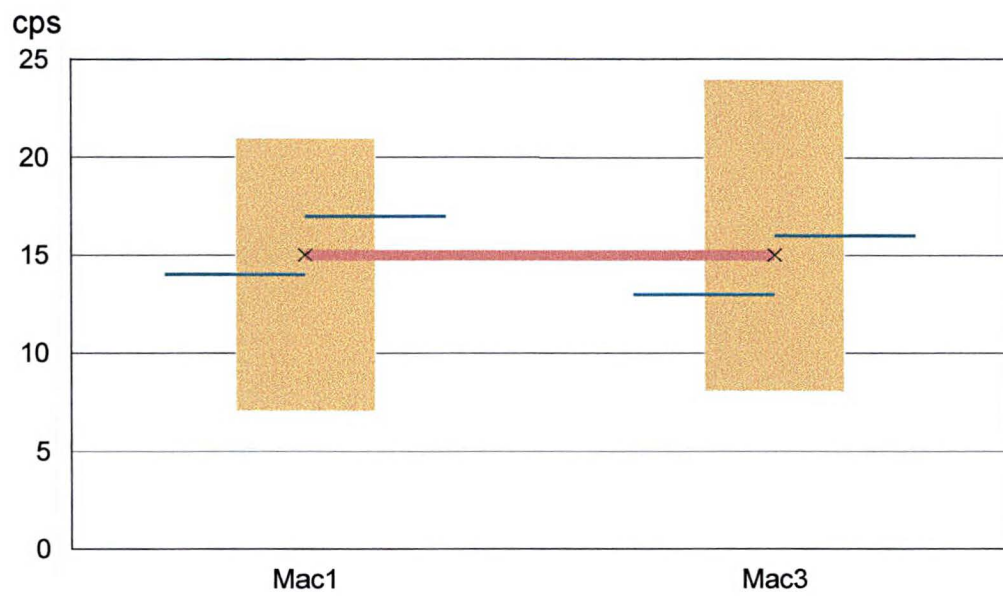
Potássio (cps)	Mac1	Mac3
Mínimo	5	1
25%	21	18
Mediana	32	27
75%	47	32
Máximo	62	55
Média	32	26
Desvio Padrão	14,5	10,1

**FIGURA 45 – ESTATÍSTICA DO TÓRIO NA FORMAÇÃO ÁGUA CLARA**



Tório (cps)	Mac1	Mac3
Mínimo	8	6
25%	15	13
Mediana	17	14
75%	19	16
Máximo	21	21
Média	17	14
Desvio Padrão	3,0	2,6

**FIGURA 46 – ESTATÍSTICA DO URÂNIO NA FORMAÇÃO ÁGUA CLARA**



Urânio (cps)	Mac1	Mac3
Mínimo	7	8
25%	14	13
Mediana	15	15
75%	17	16
Máximo	21	24
Média	15	15
Desvio Padrão	2,8	2,3



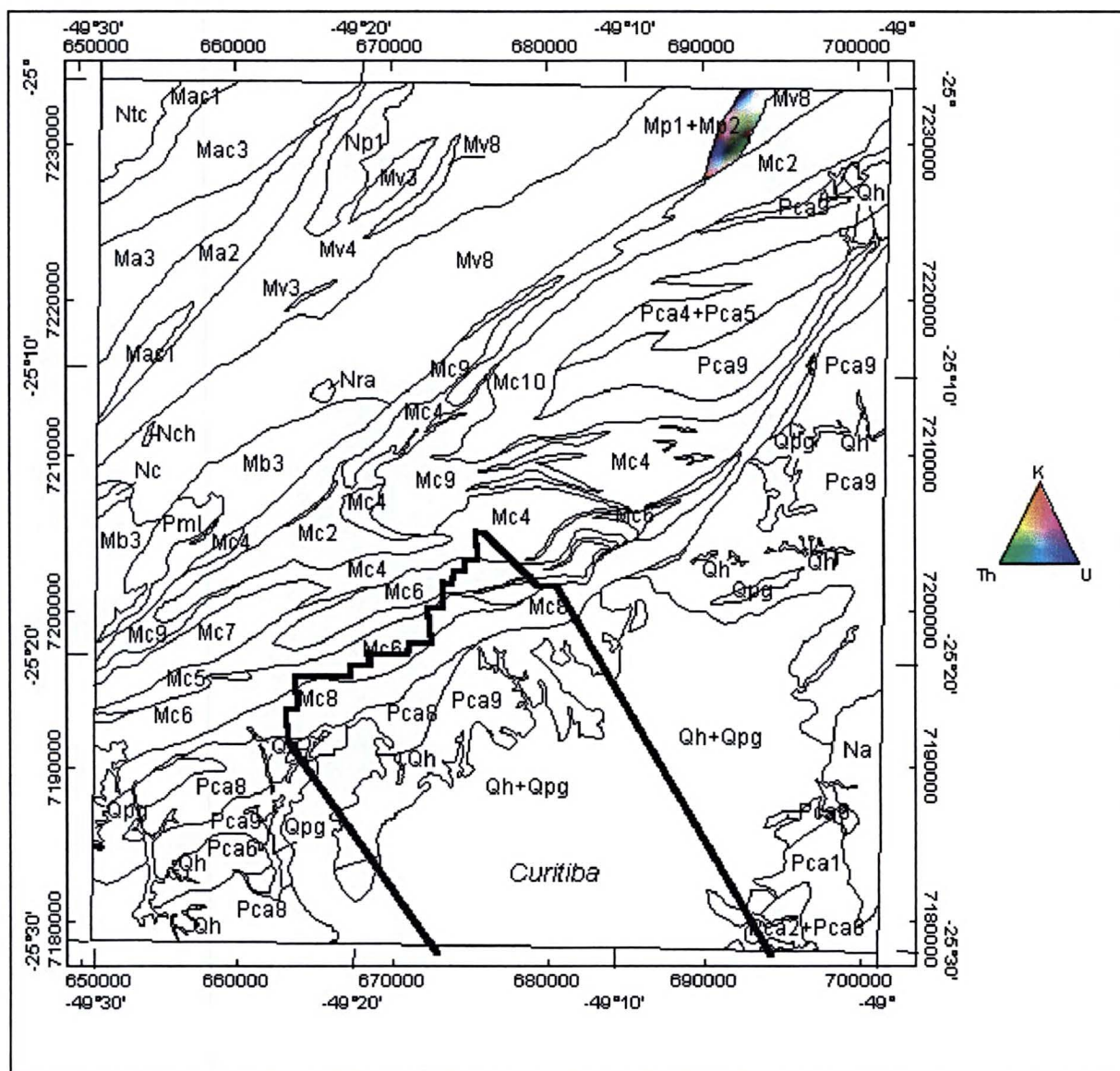
#### 6.2.4 - Seqüência Perau

Localizada na porção NE da folha, representada por uma faixa em contato com as rochas das formações Votuverava e Capiru, a Seqüência Perau revela predominância espacial de tório e urânio com isoladas, porém significativas, contribuições de potássio, não verificadas no mapa ternário geral (Figura 47). A NE da unidade ressalta-se um área de tonalidade branca indicativa da simultaneidade de elevados valores dos três radionuclídeos.

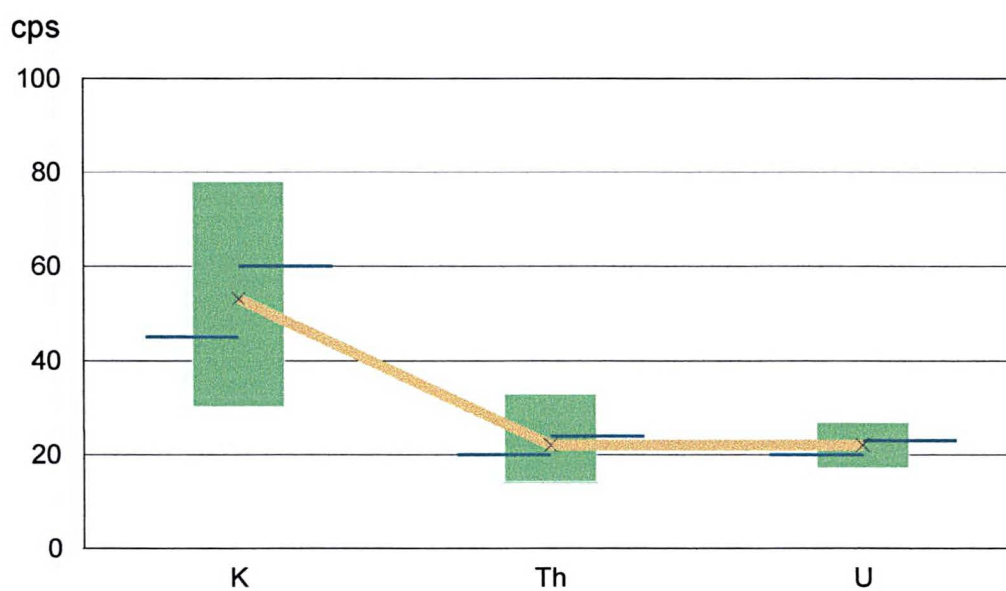
Apesar da pouca expressão em área, esta unidade apresenta contribuições importantes das três variáveis em questão, pois suas médias são consideradas altas conforme mostra a Figura 48.

Em termos litológicos, as ocorrências de potássio podem ser atribuídas aos quartzitos miloníticos, enquanto tório e urânio podem estar associados tanto aos quartzitos quanto a mobilização destes radioisótopos através das zonas de cisalhamento e cavalgamento pertencentes a esta unidade. Os gnaisses tipo Tigre encontram-se inseridos nesta seqüência, porém com baixa expressão em área.

FIGURA 47 – MAPA TERNÁRIO DA SEQÜÊNCIA PERAU



**FIGURA 48 – ESTATÍSTICA DE K, Th E U NA SEQÜÊNCIA PERAU**



	Potássio	Tório	Urânio
Mínimo	30	14	17
25%	45	20	20
Mediana	53	22	22
75%	60	24	23
Máximo	78	33	27
Média	53	22	22
Desvio Padrão	9,5	3,3	2,0

### 6.2.5 - Formação Betara

Representada no mapa da Figura 49, esta formação exhibe aspectos diferenciados. O extremo NE revela a presença de altos teores dos três radionuclídeos (tonalidade branca) e uma faixa bem definida de tonalidade roxa (ocorrências de K e U), de direção NE-SW, provavelmente decorrente da exposição de quartzitos (Mb2) inseridos nos quartzo-mica xistos (Mb3), estes últimos aflorando em maior área.

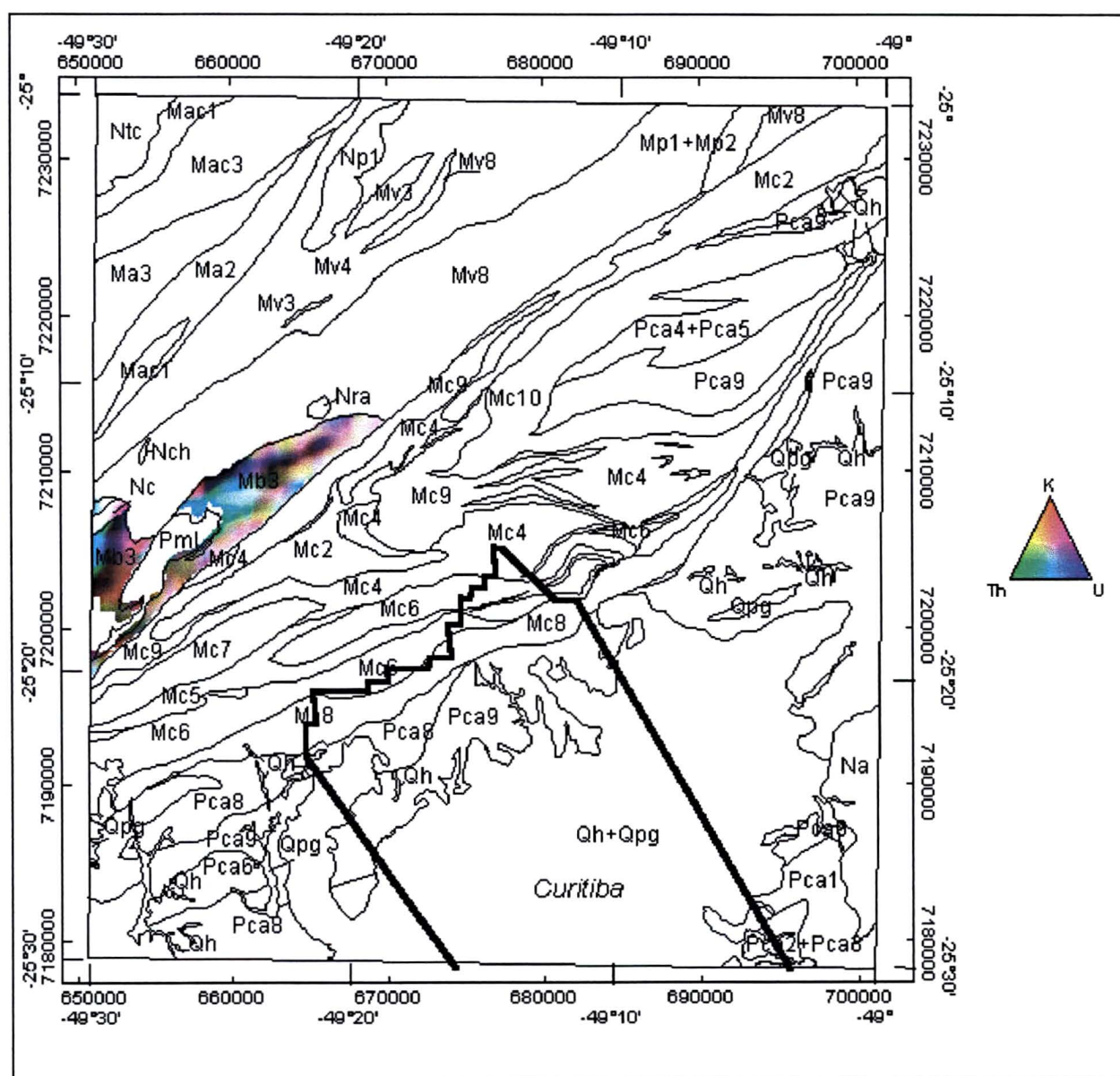
Na borda oeste, a norte do Complexo Meia Lua, observa-se uma pequena faixa de tonalidade escura (baixa contribuição de radionuclídeos), atribuída a metamargas aí situadas. A porção situada a NE do Complexo Meia Lua exhibe predominância de tório e urânio decorrentes da intercalação de quartzitos nos metapelitos xistosos.

A faixa limitada entre o Complexo Meia Lua e pelas rochas da Formação Capiru, revela variações de tonalidade refletindo a predominância do potássio em associação com menores contribuições dos outros radioisótopos.

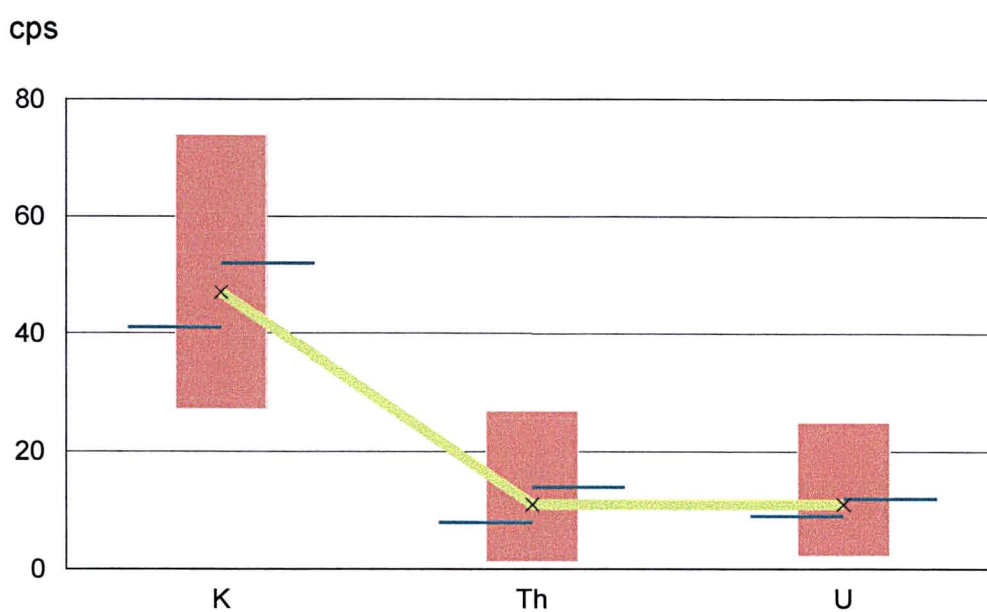
Finalmente, a borda oeste no limite da folha é caracterizada por três faixas: a primeira, na vizinhança do Complexo Meia Lua, exhibe maior abundância de potássio associado ao urânio; a segunda, definida por uma área de tonalidade arroxeadada (K e U) mostra seu limite meridional com tonalidades escuras, denotando pouca contribuição dos radionuclídeos; e a terceira é caracterizada por teores elevados de urânio e tório devido aos quartzitos.

Estatisticamente os teores de potássio são mais elevados (Figura 60), reflexo dos litotipos da formação. As contagens de tório e urânio mostram-se subordinadas e relacionadas as intercalações de quartzitos, com comportamento estatístico semelhante.

FIGURA 49 – MAPA TERNÁRIO DA FORMAÇÃO BETARA



**FIGURA 50 – ESTATÍSTICA DE K, Th E U NA FORMAÇÃO BETARA**



	Potássio	Tório	Urânio
Mínimo	27	1	2
25%	41	8	9
Mediana	46	11	11
75%	52	14	12
Máximo	74	27	25
Média	47	11	11
Desvio Padrão	8,3	4,7	2,6

### 6.2.6 - Formação Capiuru

Esta formação (Figura 51), aflora numa faixa NE-SW, ocupando a região central da folha. É limitada a norte pela ZCT da Lancinha e faz contato com as formações Votuverava, Betara, Seqüência Perau e rochas do Complexo Meia Lua, ao passo que a sul faz contato com as rochas do Complexo Atuba através de uma grande descontinuidade de médio ângulo. A seguir descreve-se o comportamento gamaespectrométrico das unidades com maior expressão em área desta formação.

A unidade de sericita xistos e quartzo-biotita-muscovita xistos (Mc10), em sua porção NE, apresenta predomínio de tório e urânio em função da mobilização destes elementos através do intenso falhamento existente nesta região.

A norte das unidades do Complexo Atuba (Pca4 + Pca5) uma faixa bem definida de tonalidade arroxeadada denota a presença simultânea de urânio e potássio, o primeiro sendo reflexo da migração de urânio e/ou carreamento a partir de terrenos mais elevados, e o segundo proveniente dos litotipos de rochas ortoderivadas desta unidade.

No restante da unidade existe a predominância de potássio associado aos outros radionuclídeos e, em alguns pontos, observa-se tonalidades escuras (baixas contagens dos radioisótopos). A grande variabilidade espacial do potássio, também é diagnosticada estatisticamente na Figura 52, estando associada a presença tanto de rochas ortoderivadas quanto de rochas paraderivadas com contribuição carbonática.

Os metacalcários dolomíticos e metassedimentos areno-argilosos (Mc9), em sua faixa de contato com a ZCT da Lancinha, apresentam um certo predomínio de tório e urânio, apesar da ocorrência de potássio em algumas porções. Tal predomínio deve-se, talvez, a influência da percolação de fluídos na referida zona de cisalhamento transcorrente.

O segmento de metacalcários dolomíticos situado na porção central da faixa Capiuru é caracterizado por um núcleo de potássio associado a teores baixos de urânio. Convém ressaltar que neste núcleo a unidade é atravessada por uma descontinuidade, o que pode explicar também as ocorrências de potássio e urânio.

Abaixo do citado núcleo ocorrem associações de potássio e tório. Nos mapas gerais, a variabilidade espacial dos radionuclídeos não é tão evidente e a composição ternária (Figura 32) exibe uma tonalidade escura denotando baixa participação dos radioisótopos, enquanto os mapas individuais de K, Th e U (figuras 25, 27 e 28), mostram apenas tonalidades indicativas de baixos teores.

Os filitos da unidade Mc8, em sua porção extremo NE, apresentam teores mais elevados de tório e urânio provavelmente proveniente do intenso falhamento desta região. No restante da unidade o potássio destaca-se espacialmente, pois os filitos pouco alterados possuem a sericita como mineral micáceo mais importante, denotando a presença deste radionuclídeo. Na porção SW é observada a associação de potássio com urânio e tório.

A unidade Mc7, caracterizada por sericita filitos geralmente ferruginosos, apresenta teores de potássio significativos, possuindo a maior média dentre as unidades da faixa Capiro, conforme mostra a Figura 52. Por outro lado, verificam-se teores de Th e U notadamente na porção NE desta unidade, talvez pela presença de duas descontinuidades, uma situada a norte e a outra sul (ZCT de Morro Grande) ou devido a própria litologia (filitos carbonosos).

A unidade de filitos (Mc6) em seu segmento SW, cortada pela ZCT Almirante Tamandaré, apresenta espacialmente tório e urânio como radionuclídeos dominantes e ocorrências localizadas de potássio. Neste segmento é observada uma tonalidade escura, reflexo da presença de metacalcários dolomíticos (Mc2). O segmento central da unidade Mc6 é bem caracterizado pelo predomínio de potássio sobre o tório e o urânio na porção SW; na porção onde também é segmentada pela ZCT Almirante Tamandaré, predominam tório e urânio. Um pequeno segmento inserido nos metarritmitos (Mc4), apresenta contribuição elevada dos três radionuclídeos.

Os filitos reunidos na unidade Mc5, apresentam uma distribuição espacial predominante de Th e U, entretanto as ocorrências de K elevadas constituem-se na segunda maior média da Formação Capiro (Figura 52). Estas constatações podem ser explicadas, talvez, pelas zonas de cavalgamento e cisalhamento (Morro Grande e Almirante Tamandaré).



A unidade Mc4, representada por metarritmitos silto-arenosos, é caracterizada por quatro segmentos: o primeiro, a SW, revela predomínio de potássio, em virtude dos litotipos da unidade e das falhas de cavalgamento e cisalhamento (Morro Grande); no segundo, nas adjacências do segmento anterior e da unidade Mc9, predominam urânio e tório sobre o potássio, apesar da presença da mesma litologia. O contraste observado deve-se a uma maior profusão de lentes de metarenitos ortoquartzíticos (Mc3) e metacalcários dolomíticos (Mc9); o terceiro segmento é constituído por uma faixa na porção NE da Formação Capiru, entre as unidades Mc9 e Mc2, estendendo-se na direção NE até o contato com a ZCT da Lancinha. Este é caracterizado por porções onde ocorrem teores altos dos três radionuclídeos (tonalidade branca) e variações destes sobretudo no contato com a ZCT da Lancinha. Na porção mais estreita deste segmento é denotada a baixa contribuição dos radioisótopos (tonalidade escura), reflexo da influência das unidades Mc9 e Mc2. A porção SW deste segmento revela ocorrências de potássio e tório; finalmente, o último segmento, localizado na parte central da faixa Capiru, é constituído de uma lente entre as unidades de metacalcários Mc2 e Mc9. Seu comportamento gamaespectrométrico mostra predomínio do potássio na borda sul, urânio e tório na parte central e potássio associado ao urânio na borda norte.

Os metacalcários dolomíticos representativos da unidade Mc2 distribuem-se em dois segmentos, o primeiro a NE onde predominam o tório e o urânio em sua porção nordeste, talvez devido ao intenso falhamento da região. No restante do segmento os elevados teores de potássio foram interpretados como representativos destas litologias. Convém ressaltar as contagens muito baixas dos três radionuclídeos em alguns pontos deste segmento. O segundo segmento, situado entre as unidades Mc4 e Mc9, apresenta uma grande variabilidade espacial dos radionuclídeos; a tonalidade branca, revelando altos teores dos três radioisótopos, encontra-se exatamente sobre uma descontinuidade de médio ângulo, enquanto no restante do segmento o potássio é predominante, porém associado a teores de tório e urânio.

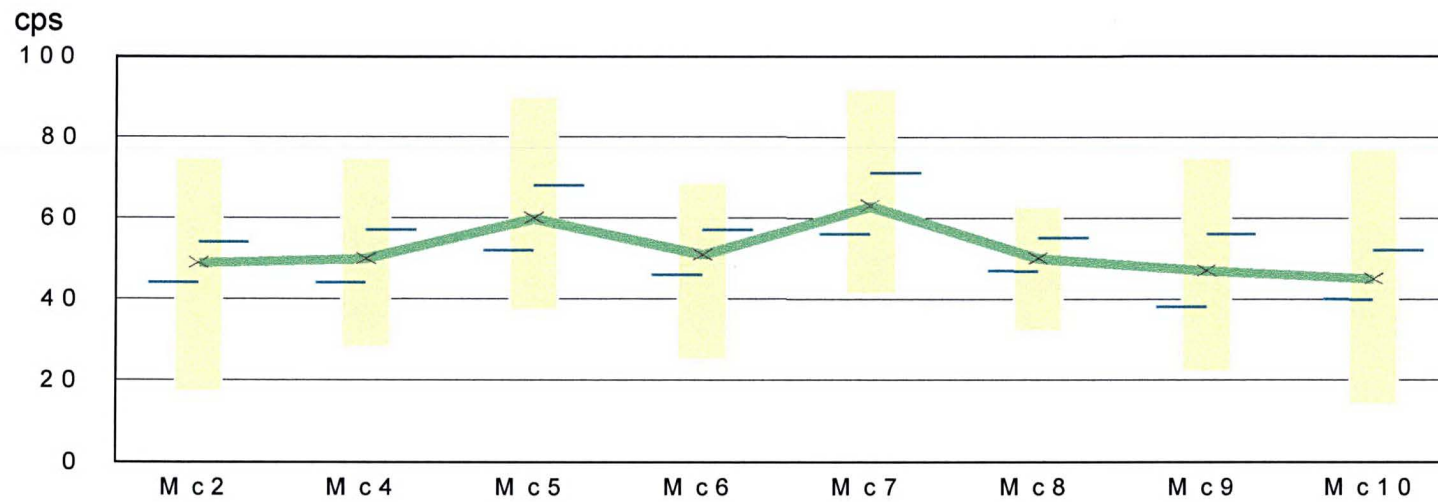
Os dados estatísticos do potássio revelam que as maiores médias desta variável se encontram nas unidades de filitos Mc7, Mc5 e Mc6. Tal comportamento

poderia ser atribuído a descontinuidades e zonas de cavalgamento e cisalhamento (Almirante Tamandaré e Morro Grande). Registra-se também a maior variabilidade de potássio na unidade de sericita xistos (Mc10).

Os índices de tório e urânio na faixa Capiru (figuras 53 e 54) apresentam padrão constante em termos de suas médias, entretanto ressaltando a variabilidade do tório na unidade Mc10. O comportamento do urânio é similar ao tório, destacando-se maiores variações nas unidades de filitos Mc5 e Mc7.

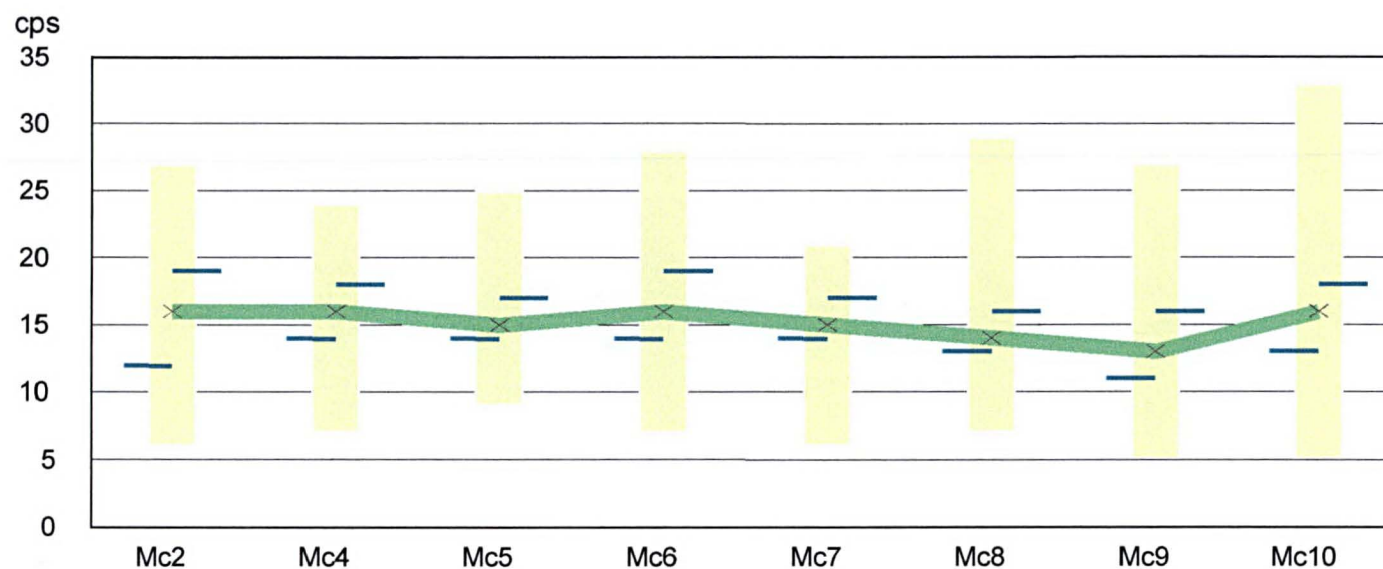


**FIGURA 52 - ESTATÍSTICA DO POTÁSSIO NA FORMAÇÃO CAPIRU**



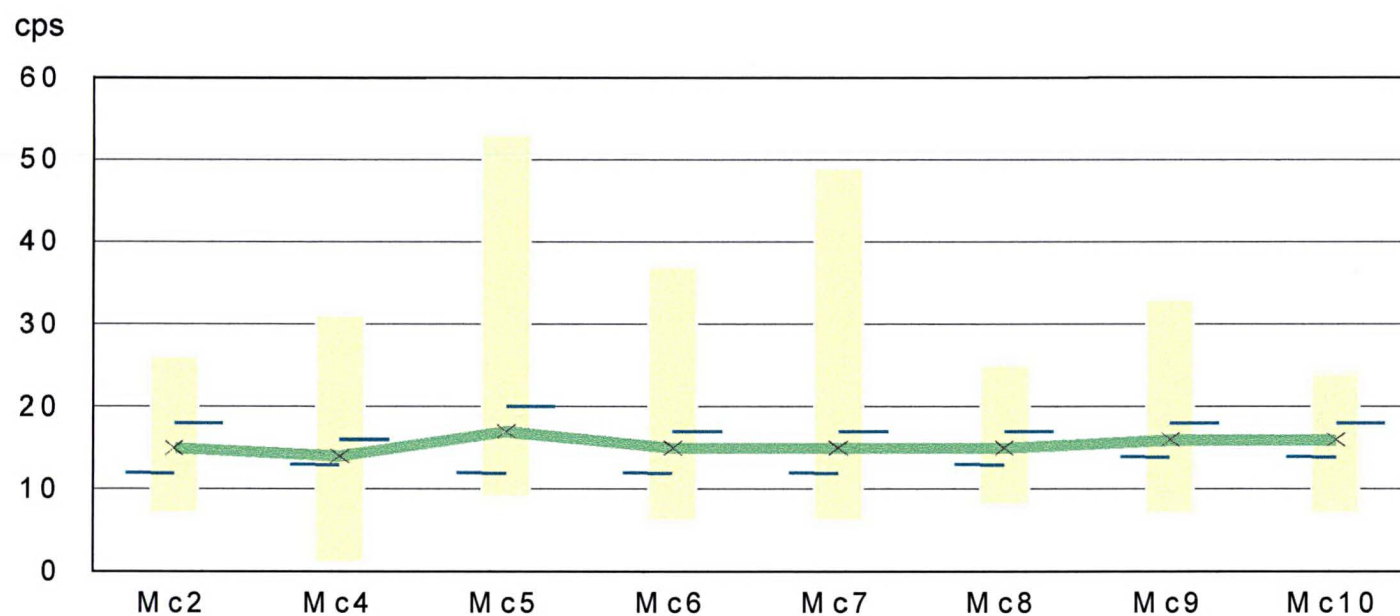
Potássio (cps)	Mc2	Mc4	Mc5	Mc6	Mc7	Mc8	Mc9	Mc10
Mínimo	17	28	37	25	41	32	22	14
25%	44	44	52	46	56	47	38	40
Mediana	49	52	52	52	63	51	48	46
75%	54	57	68	57	71	55	56	52
Máximo	75	75	90	69	92	63	75	77
Média	49,5	50	60	51,5	64	51	48	46
Desvio Padrão	8,4	7,9	11,3	7,0	10,2	5,9	11,6	9,58

FIGURA 53 – ESTATÍSTICA DO TÓRIO NA FORMAÇÃO CAPIRU



Tório(cps)	Mc2	Mc4	Mc5	Mc6	Mc7	Mc8	Mc9	Mc10
Mínimo	6	7	9	7	6	7	5	5
25%	12	14	14	14	14	13	11	13
Mediana	15	16	15	16	15	14	13	16
75%	19	18	17	19	17	16	16	18
Máximo	27	24	25	28	21	29	27	33
Média	16	16	15	16	15	14	13	16
Desvio Padrão	4,1	3,0	2,8	3,5	2,3	3,1	3,8	3,7

**FIGURA 54 – ESTATÍSTICA DO URÂNIO NA FORMAÇÃO CAPIRU**



Urânio (cps)	Mc2	Mc4	Mc5	Mc6	Mc7	Mc8	Mc9	Mc10
Mínimo	7	1	9	6	6	8	1	7
25%	12	13	12	12	12	13	12	14
Mediana	16	14	14	14	13	14	14	16
75%	18	16	20	17	17	17	15	18
Máximo	26	31	53	37	49	25	33	24
Média	15	14	17	15	15	15	12	16
Desvio Padrão	3,7	2,7	9,4	4,6	2,9	2,7	2,9	2,9

### 6.2.7 - Formação Votuverava

O mapa ternário da Formação Votuverava (Figura 55) apresenta padrões bem definidos em suas unidades mais representativas.

Os filitos carbonosos (Mv8), situados no extremo NE da folha, circundados por rochas da Seqüência Perau e pela unidade Mc2 da Formação Capiru, apresentam teores de potássio associados aos de urânio em quase toda sua extensão, enquanto no contato com a Seqüência Perau revelam-se teores altos de tório.

O segmento de maior extensão em sua porção setentrional é caracterizado pela predominância de U e Th, com intercalações de tonalidades claras onde ocorrem em grande intensidade os três radionuclídeos. A porção centro-meridional desta unidade apresenta uma miscelânea de teores dos radioisótopos, entretanto são observadas tonalidades escuras, em função de lentes de rochas metabásicas. Tonalidades amarelas (K e Th) são freqüentes, sobretudo na faixa próxima ao contato com a unidade de metassedimentos silto-argilosos (Mv4). No contato com as rochas da Formação Betara observam-se ocorrências simultâneas de K e U, além de porções escuras (baixa contribuição de radionuclídeos) provenientes de lentes de litologias metabásicas (Mv6).

A unidade de metassedimentos silto-argilosos (Mv4) possui comportamento similar a unidade Mv8. Tonalidades claras, indicativas de ocorrência simultânea de altos teores de K, Th e U, são observadas no flanco oeste do granito Piedade e na região de contato com a unidade de filitos carbonosos (Mv8) nas proximidades do granito Chacrinha. Tais teores elevados são atribuídos a influência destes granitóides.

A porção setentrional desta unidade é caracterizada pela ocorrência de tonalidades brancas (altos teores de K, Th e U), além da predominância espacial de urânio e tório associados ao potássio, enquanto que na porção meridional observa-se predomínio de potássio relacionado ao tório e ao urânio.

Os metargilitos e metassiltitos avermelhados contribuem para os teores altos de potássio, tório e urânio observados. Por outro lado, corpos metabásicos e/ou de

natureza similar, além de arenitos não mapeados na escala 1:100.000, contribuem para os baixos índices das três variáveis.

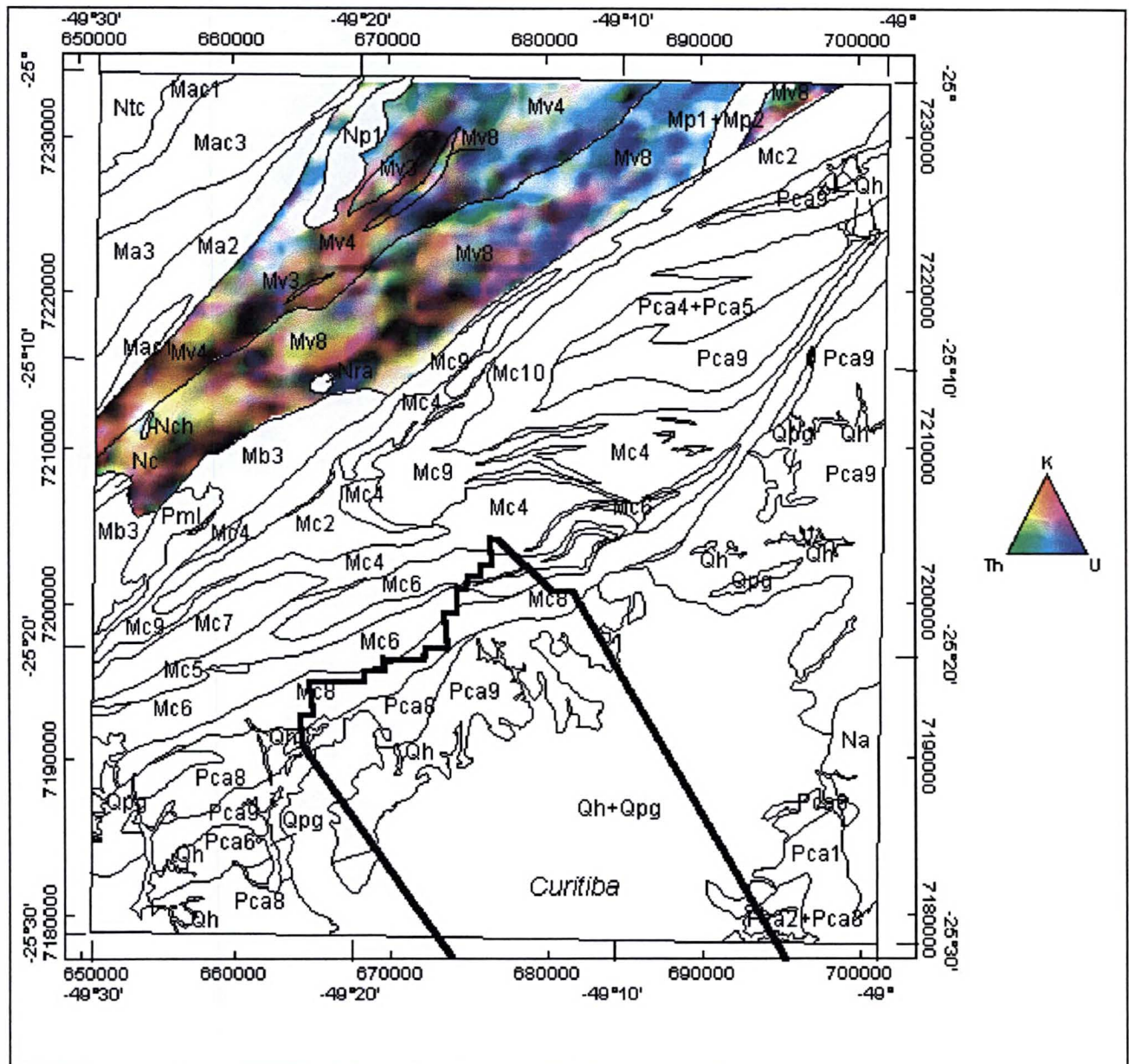
A lente de metarenitos (Mv3), tem como característica marcante a ausência de radionuclídeos na porção extremo NE, talvez reflexo da litologia. Entretanto, esta anomalia estende-se pela unidade Mv4 até as proximidades da lente de Mv8, sugerindo uma análise geofísico-geológica mais detalhada nesta região. No restante desta lente, alternam-se ocorrências de urânio, tório e potássio devido aos metassiltitos.

Com respeito ao potássio, a análise qualitativa da composição ternária sobre toda folha, indica uma predominância espacial deste radionuclídeo na unidade de filitos carbonosos (Mv8). Entretanto, a análise espacial e estatística mais detalhada da Formação Votuverava, mostra que a unidade Mv8 é a que possui os menores teores, havendo predomínio de contagens elevadas nas unidades Mv3 e Mv4 (Figura 56), as quais apresentam maiores concentrações médias de potássio, além de se verificar a maior variabilidade nos metassedimentos silto-argilosos (Mv4).

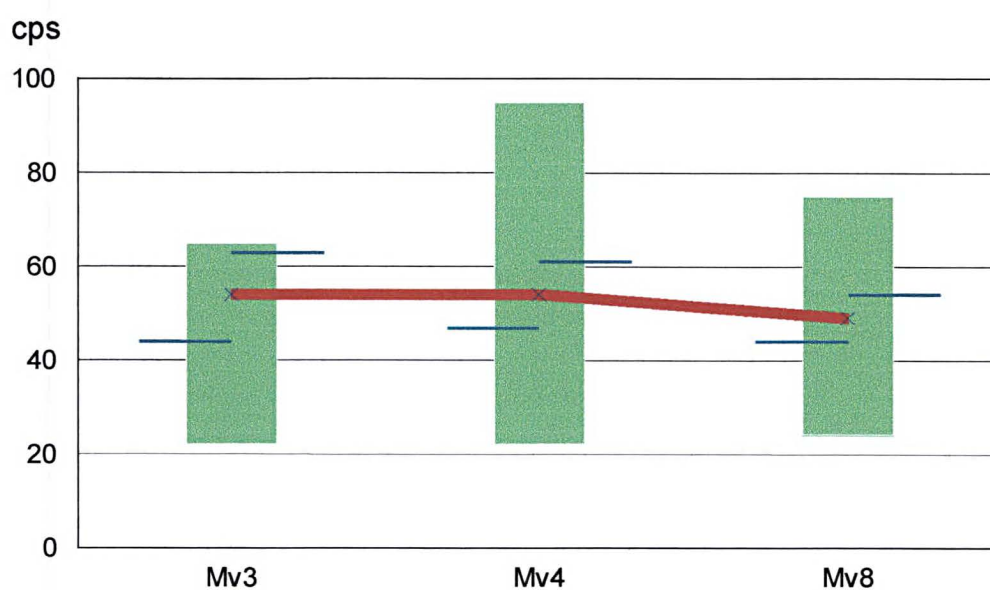
Em relação ao tório e ao urânio (figuras 67 e 68) as unidades da Formação Votuverava possuem comportamento similar, apesar da unidade Mv4 exibir simultaneamente as maiores médias e a maior variabilidade.



FIGURA 55 – MAPA TERNÁRIO DA FORMAÇÃO VOTUVERAVA

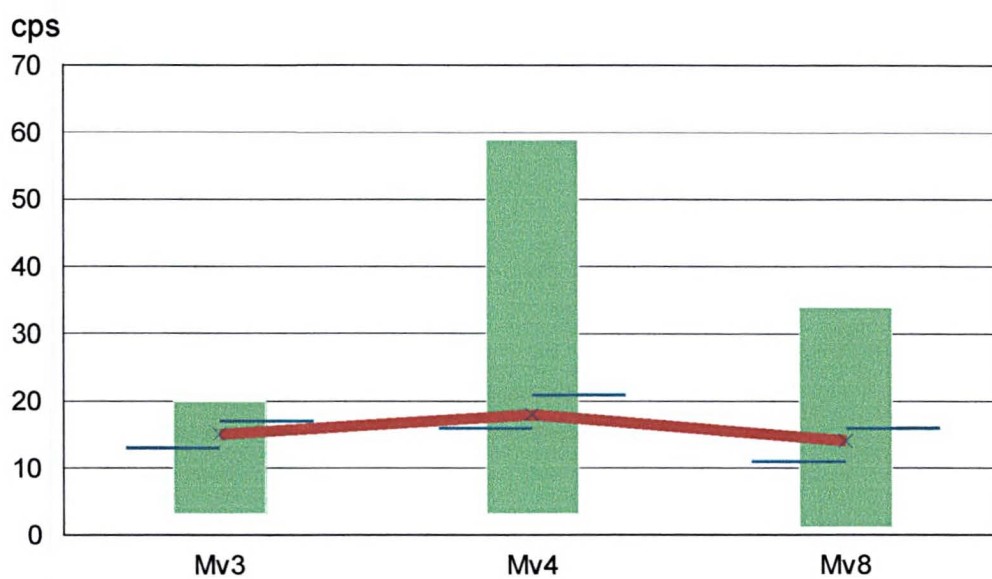


**FIGURA 56 – ESTATÍSTICA DO POTÁSSIO NA FORMAÇÃO VOTUVERAVA**



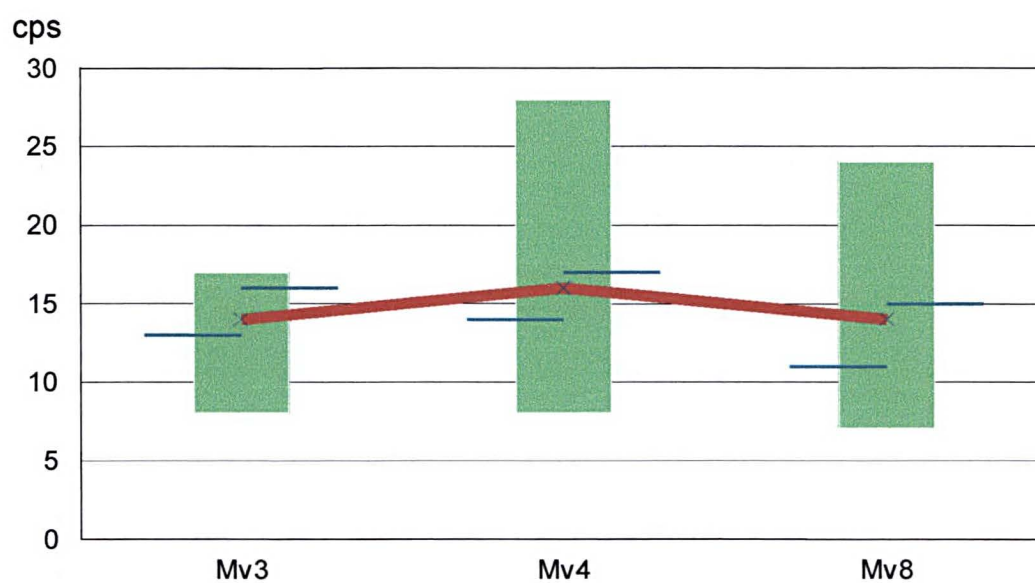
Potássio (cps)	Mv3	Mv4	Mv8
Mínimo	22	22	24
25%	44	47	44
Mediana	60	54	49
75%	63	61	54
Máximo	65	95	75
Média	54	54	49
Desvio Padrão	13,0	9,1	7,6

**FIGURA 57 – ESTATÍSTICA DO TÓRIO NA FORMAÇÃO VOTUVERAVA**



Tório (cps)	Mv3	Mv4	Mv8
Mínimo	3	3	1
25%	13	16	11
Mediana	16	18	13
75%	17	21	16
Máximo	20	59	34
Média	15	18	14
Desvio Padrão	3,6	5,1	4,1

**FIGURA 58 – ESTATÍSTICA DO URÂNIO NA FORMAÇÃO VOTUVERAVA**



Urânio (cps)	Mv3	Mv4	Mv8
Mínimo	8	8	7
25%	13	14	11
Mediana	15	15	13
75%	16	17	15
Máximo	17	28	24
Média	14	16	14
Desvio Padrão	2,3	2,8	2,9

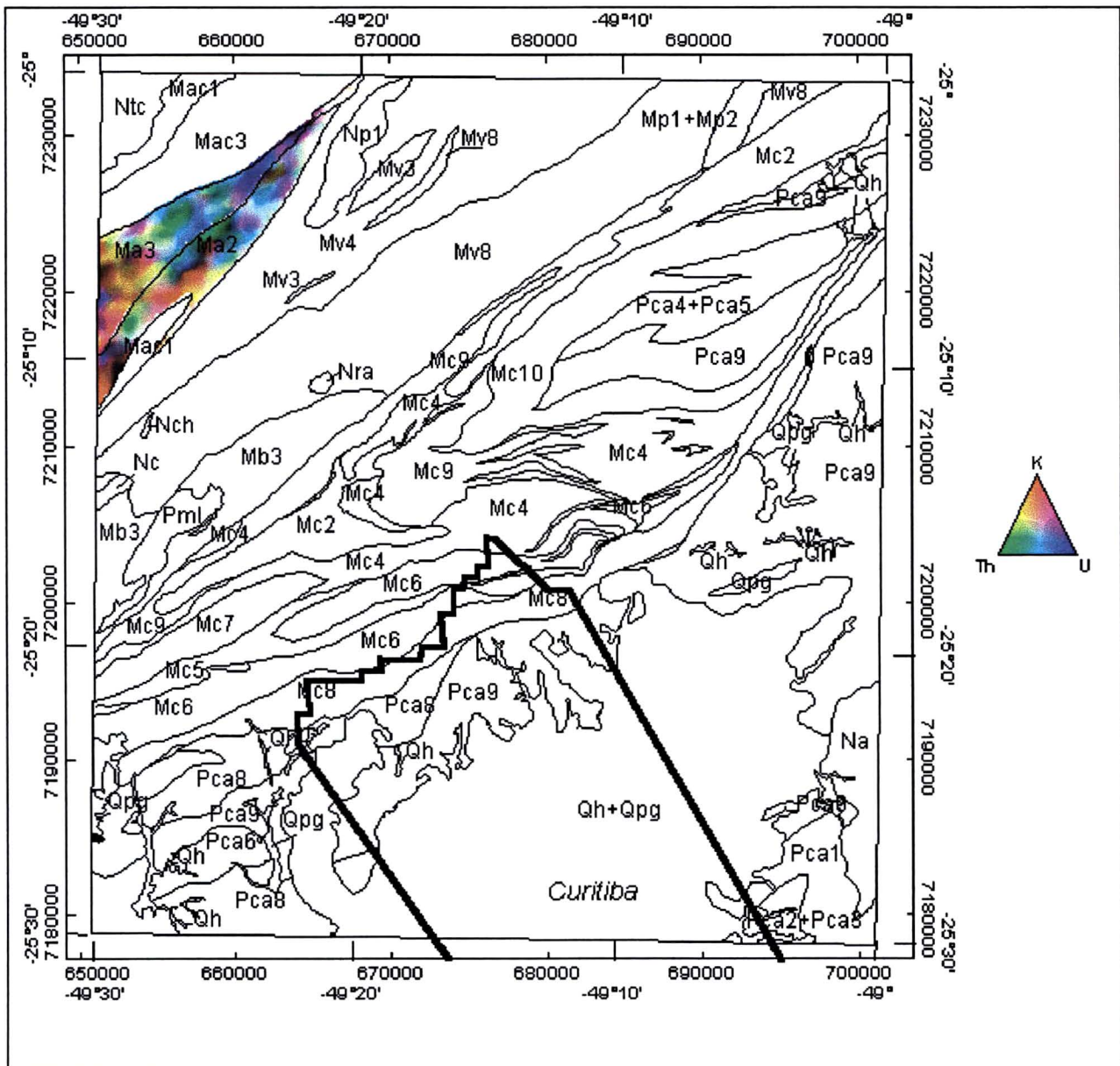
### 6.2.8 – Formação Antinha

As unidades mais representativas em área da Formação Antinha são os metargilitos (Ma3) e os matacalcários calcíticos (Ma2), conforme indica a Figura 59. A unidade Ma3 pode ser caracterizada por três segmentos: o primeiro a NE revela a simultaneidade de ocorrências de potássio e urânio; o segmento central reflete o predomínio do tório e do urânio sobre o potássio; e a porção SE mostra predomínio de potássio e tório. É interessante notar que na análise ternária geral da Folha Curitiba as tonalidades amarelas (K e Th) na porção SW da unidade não são tão acentuadas. Litologicamente, o percentual de argilo minerais nos metassiltitos e metargilitos é maior na porção SW, explicando os maiores teores de potássio associados ao tório. Por outro lado os tratos central e nordeste encerram calcários mais ricos em matéria orgânica, explicando os teores elevados de tório e urânio.

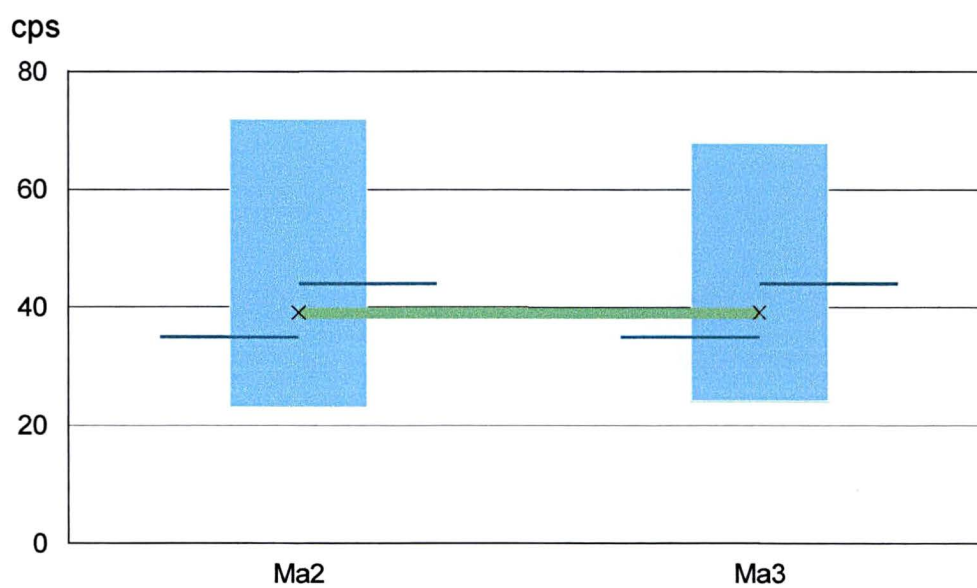
Os metacalcários calcíticos (Ma2) apresentam em sua porção extremo NE a ocorrência de teores elevados dos três radionuclídeos, talvez em função da confluência da zona de cavalgamento Invernada e da zona de cisalhamento Morro Agudo. Neste mesmo segmento denota-se ocorrências de urânio e tório com mesclas de potássio. Os tratos central e sudoeste revelam predominância de potássio sobre o tório e o urânio. Em termos litológicos os teores de potássio podem ser atribuídos aos metacalcários calcíticos portadores de pirita, galena e fluorita. As ocorrências dos demais radionuclídeos estariam associadas a fatores tectônicos, vinculados as zonas de cavalgamento (Brejal e Invernada) e cisalhamento (Morro Agudo).

Os dados estatísticos das unidades da Formação Antinha apresentam o mesmo comportamento para os três radioisótopos, conforme é indicado nas figuras 60, 61 e 62.

FIGURA 59 – MAPA TERNÁRIO DA FORMAÇÃO ANTINHA

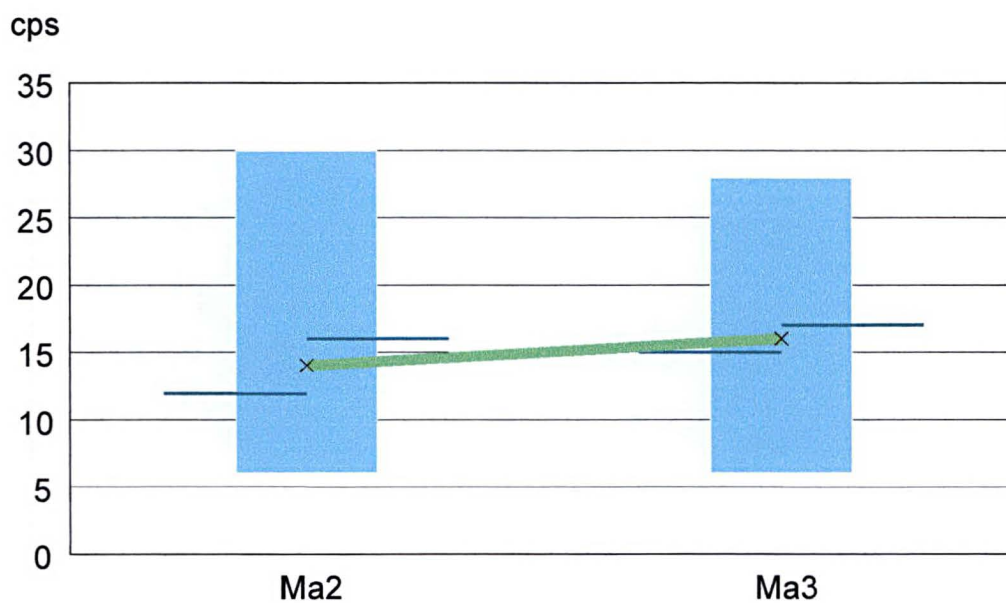


**FIGURA 60 – ESTATÍSTICA DO POTÁSSIO NA FORMAÇÃO ANTINHA**



Potássio (cps)	Ma2	Ma3
Mínimo	23	24
25%	35	35
Mediana	39	39
75%	44	44
Máximo	72	68
Média	40	39
Desvio Padrão	7,7	7,0

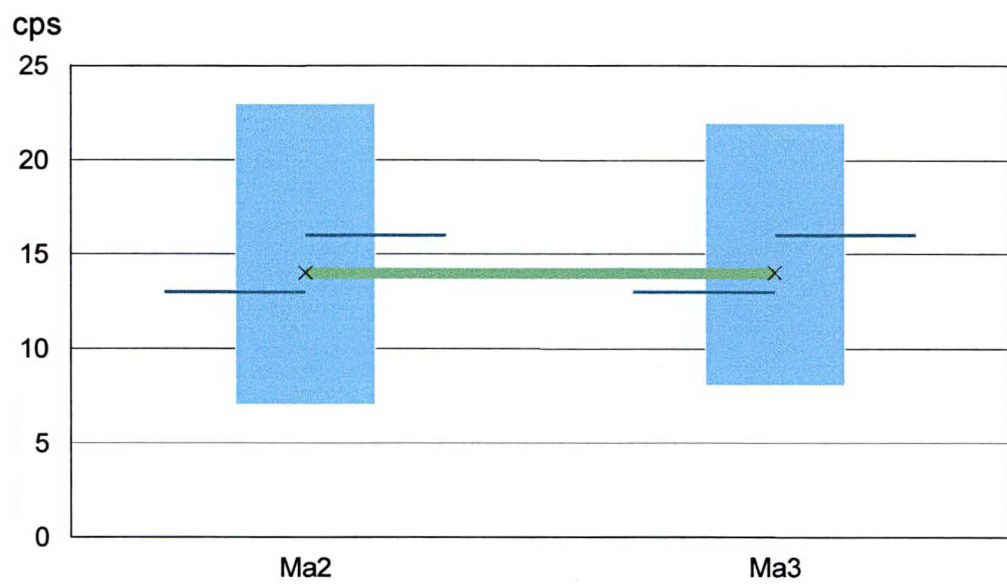
**FIGURA 61 – ESTATÍSTICA DO TÓRIO NA FORMAÇÃO ANTINHA**



Tório (cps)	Ma2	Ma3
Mínimo	6	6
25%	12	15
Mediana	14	16
75%	16	17
Máximo	30	28
Média	14	16
Desvio Padrão	3,0	2,1



**FIGURA 62 – ESTATÍSTICA DO URÂNIO NA FORMAÇÃO ANTINHA**



Urânio (cps)	Ma2	Ma3
Mínimo	7	8
25%	13	13
Mediana	14	14
75%	16	16
Máximo	23	22
Média	14	14
Desvio Padrão	2,9	2,4

### 6.2.9 – Unidades graníticas

Os granitos mais representativos em área são mostrados na Figura 63 e o comportamento radiométrico espacial, além das estatísticas (figuras 64, 65 e 66), são abordados a seguir.

Apesar do granito Chacrinha não ser bem visualizado nesta escala de trabalho, o mapa ternário geral dá uma indicação de ocorrências predominantes de tório e potássio. Quantitativamente, tal corpo mostra pouco urânio em contraposição a significativas contribuições de potássio e tório, representando a terceira maior média deste último radioelemento dentre os granitos. Em termos litológicos tem como mineral principal o feldspato potássico, responsável pelos teores elevados de potássio.

Com baixíssima expressão em área, o granito Rio Abaixo é caracterizado estatisticamente pelos menores teores de potássio, tório e urânio.

O complexo granítico Três Córregos apresenta variações internas na distribuição espacial dos radionuclídeos, não observadas anteriormente no mapa ternário geral (Figura 32). Na porção extremo NW nota-se o predomínio de potássio, enquanto que a tonalidade amarela que se destaca a norte do referido granito, caracteriza a simultaneidade de potássio e tório. Na borda do maciço, em contato com as rochas da Formação Água Clara, são observadas ocorrências de tório e urânio, aparentemente incompatíveis com a composição mineralógica do granito, representada principalmente por megacristais de feldspato potássico, apesar de ocorrerem os seguintes minerais acessórios: titanita, zircão e allanita, os quais poderiam responder pelas citadas ocorrências.

Considerando o contato geológico atual do granito, estatisticamente, este corpo revela as maiores contagens de potássio de toda área de estudo. Baixos teores de tório são característicos deste granitóide, enquanto o urânio apresenta a terceira maior média dentre os granitos, a qual pode ser atribuída aos minerais acessórios presentes.

Intrudido na Formação Betara, o granito Cerne mostra duas porções distintas: a primeira, no contato com a Formação Votuverava exibe predominância do

potássio sobre o urânio; a segunda, na borda da folha, mostra predomínio do tório. Em termos quantitativos este corpo possui a terceira média maior em potássio e tório.

O granito Piedade é caracterizado pela variabilidade espacial dos radionuclídeos, a qual não é tão bem observada na composição ternária (Figura 32). Tal aspecto é ressaltado pela variedade de tonalidades em vários segmentos onde se destacam: potássio e urânio na borda SE; altos teores dos três radioisótopos nas porções SW e NW; urânio e tório na porção central; e potássio predominado sobre tório e urânio na borda norte. Dentre os granitos, o Piedade é o mais rico em tório e urânio (atribuído aos acessórios zircão, titanita, allanita e fluorita) e a segunda maior média em potássio, cujas possíveis causas foram explicadas na análise do potássio neste granito (tópico 6.1.1.1.9).

A unidade granítica Anhangava se caracteriza por apresentar porções gamespectrometricamente bem definidas. A porção norte revela dois segmentos distintos: um na borda da folha onde predominam urânio e tório; e o outro no contato com as rochas do Complexo Atuba onde são maiores as ocorrências de potássio e urânio, além de potássio associado a tório (tonalidade amarela). Na porção central teores de urânio e tório são predominantes, enquanto que no segmento sul o potássio aparece associado ao tório (no limite leste) e ao urânio. Estatisticamente o granito Anhangava revela teores altos de urânio e médios de tório, talvez oriundos de zircão, titanita allanita e fluorita, além de teores significativos de potássio em função dos feldspatos potássicos.

FIGURA 63 – MAPA TERNÁRIO DOS GRANITÓIDES

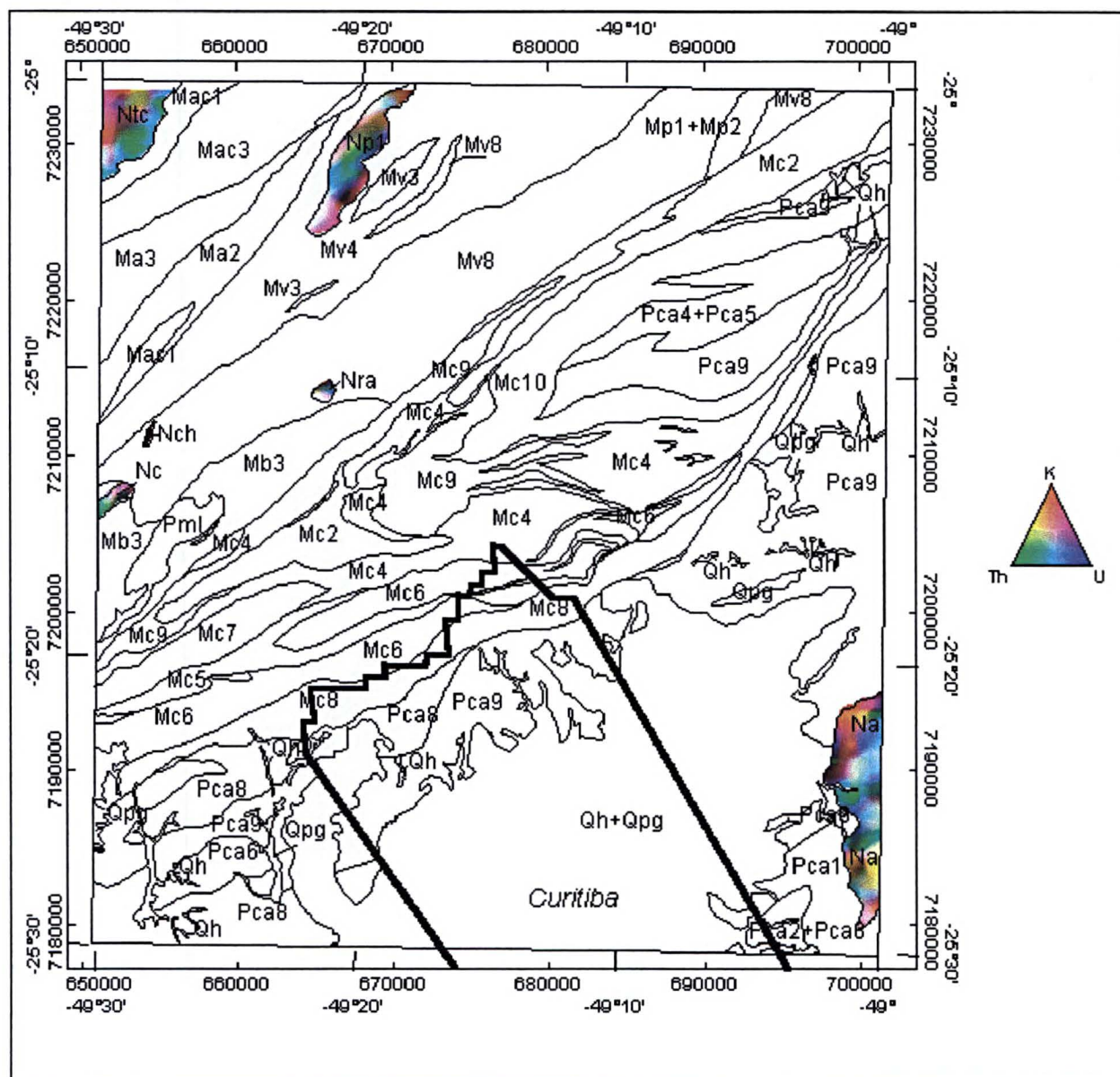
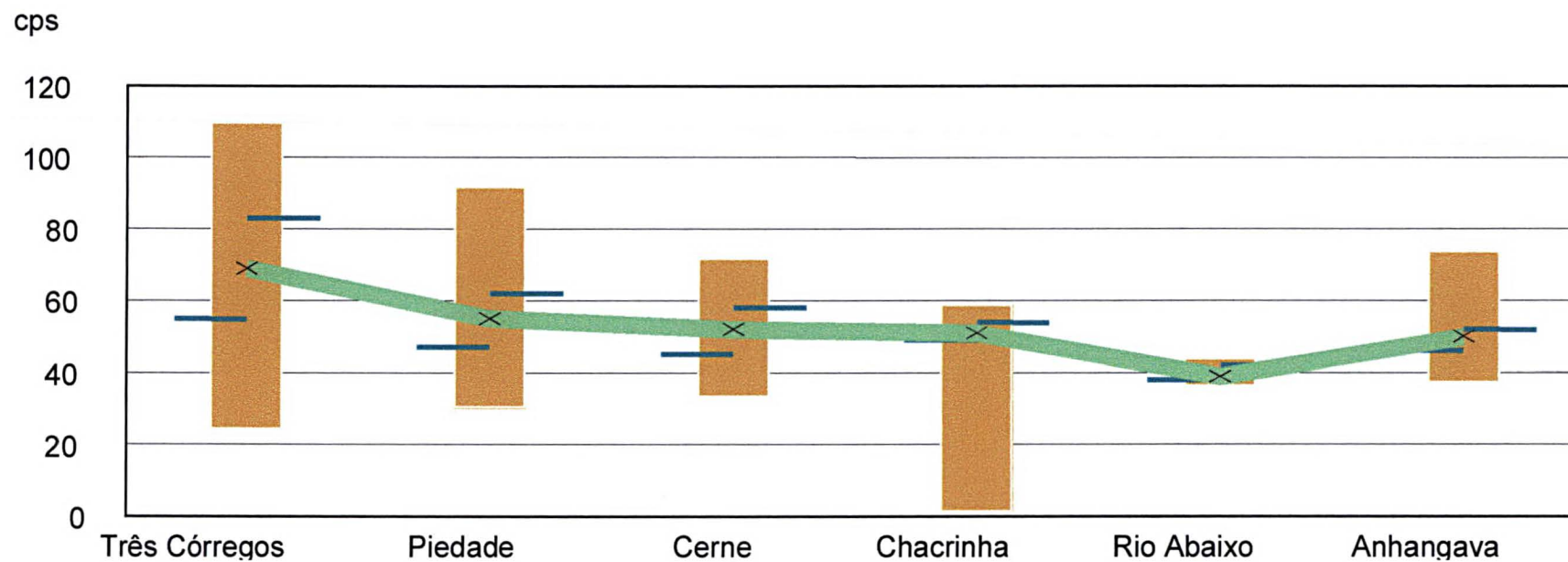
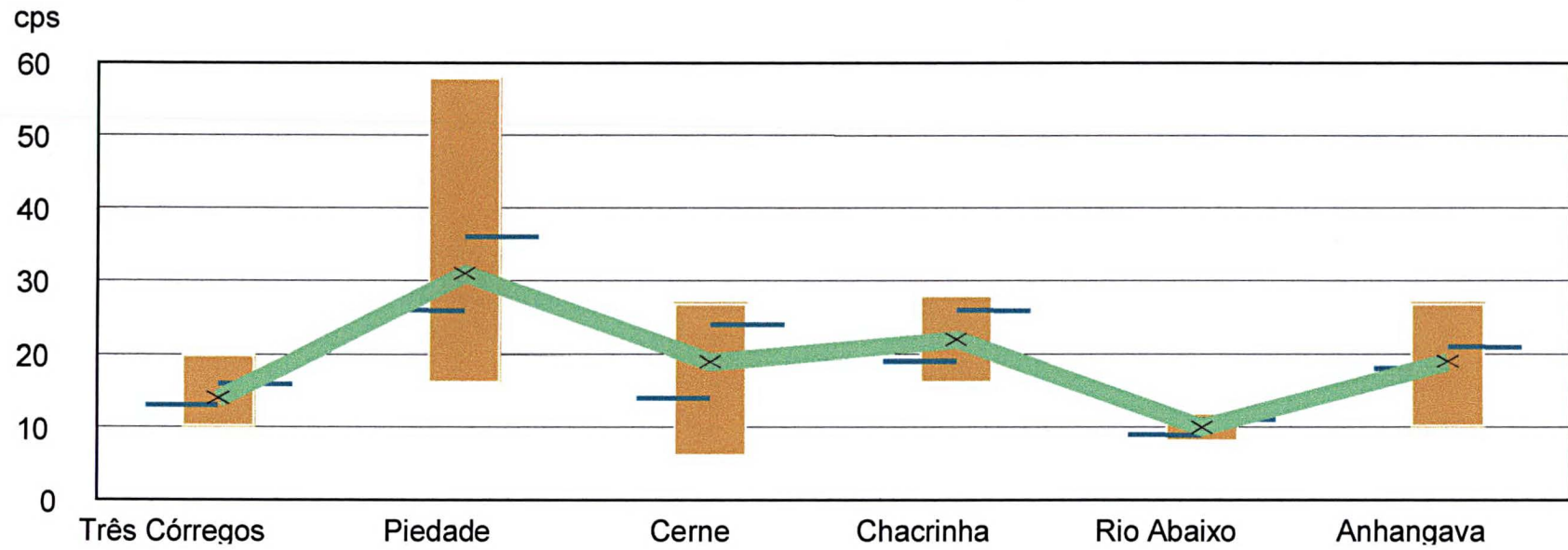


FIGURA 64 – ESTATÍSTICA DO POTÁSSIO NOS GRANITÓIDES



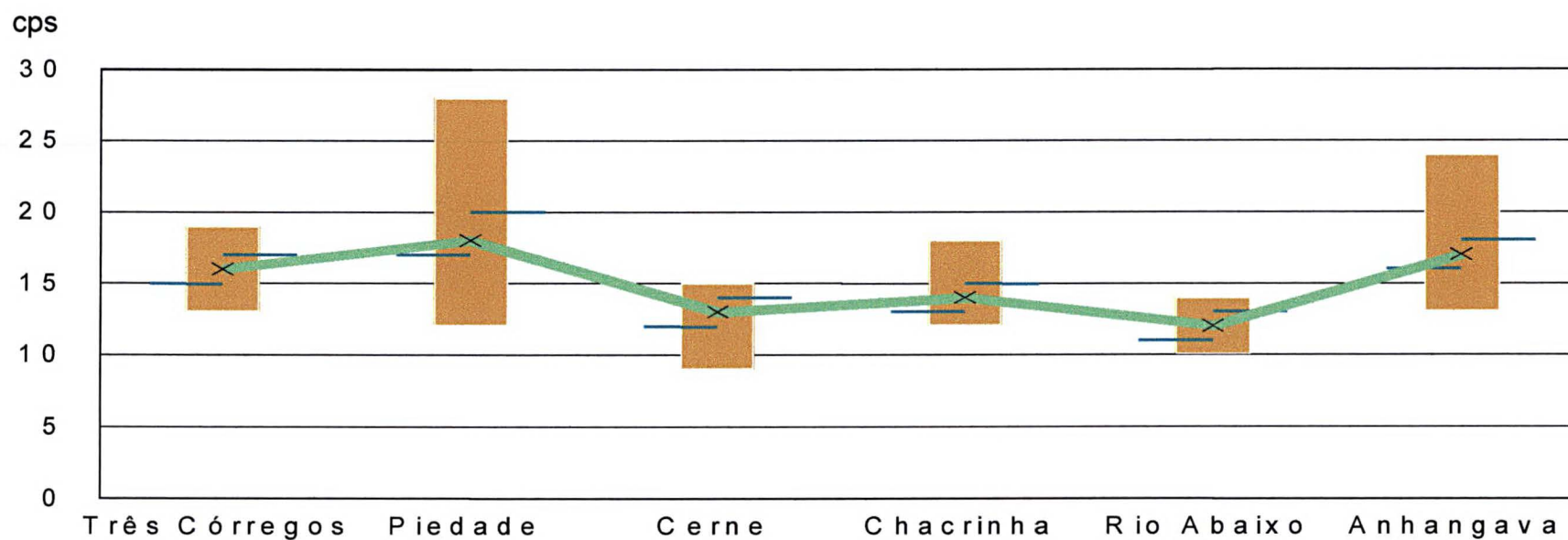
Potássio (cps)	Três Córregos	Piedade	Cerne	Chacrinha	Rio Abaixo	Anhangava
Mínimo	24	30	33	1	36	37
25%	55	47	45	49	38	46
Mediana	72	54	50	51	39	50
75%	83	62	58	54	42	52
Máximo	110	92	72	59	44	74
Média	69	55	52	51	39	50
Desvio Padrão	18,41	11,16	8,6	7,8	2,0	5,3

FIGURA 65 – ESTATÍSTICA DO TÓRIO NOS GRANITÓIDES



Tório (cps)	Três Córregos	Piedade	Cerne	Chacrinha	Rio Abaixo	Anhangava
Mínimo	10	16	6	16	8	10
25%	13	26	14	19	9	46
Mediana	14	31	20	23	10	19
75%	16	36	24	26	11	21
Máximo	20	58	27	28	12	27
Média	14	31	19	22	10	19
Desvio Padrão	2,1	8,1	5,8	3,7	1,0	2,8

FIGURA 66 – ESTATÍSTICA DO URÂNIO NOS GRANITÓIDES



Urânio (cps)	Três Córregos	Piedade	Cerne	Chacrinha	Rio Abaixo	Anhangava
Mínimo	13	12	9	12	10	13
25%	15	17	12	13	11	16
Mediana	16	18	13	14	12	17
75%	17	20	14	15	13	18
Máximo	19	28	15	18	14	24
Média	16	18	13	14	12	17
Desvio Padrão	1,4	2,7	1,4	1,3	0,48	2,0

### 6.2.10 - Aluviões e Formação Guabirota

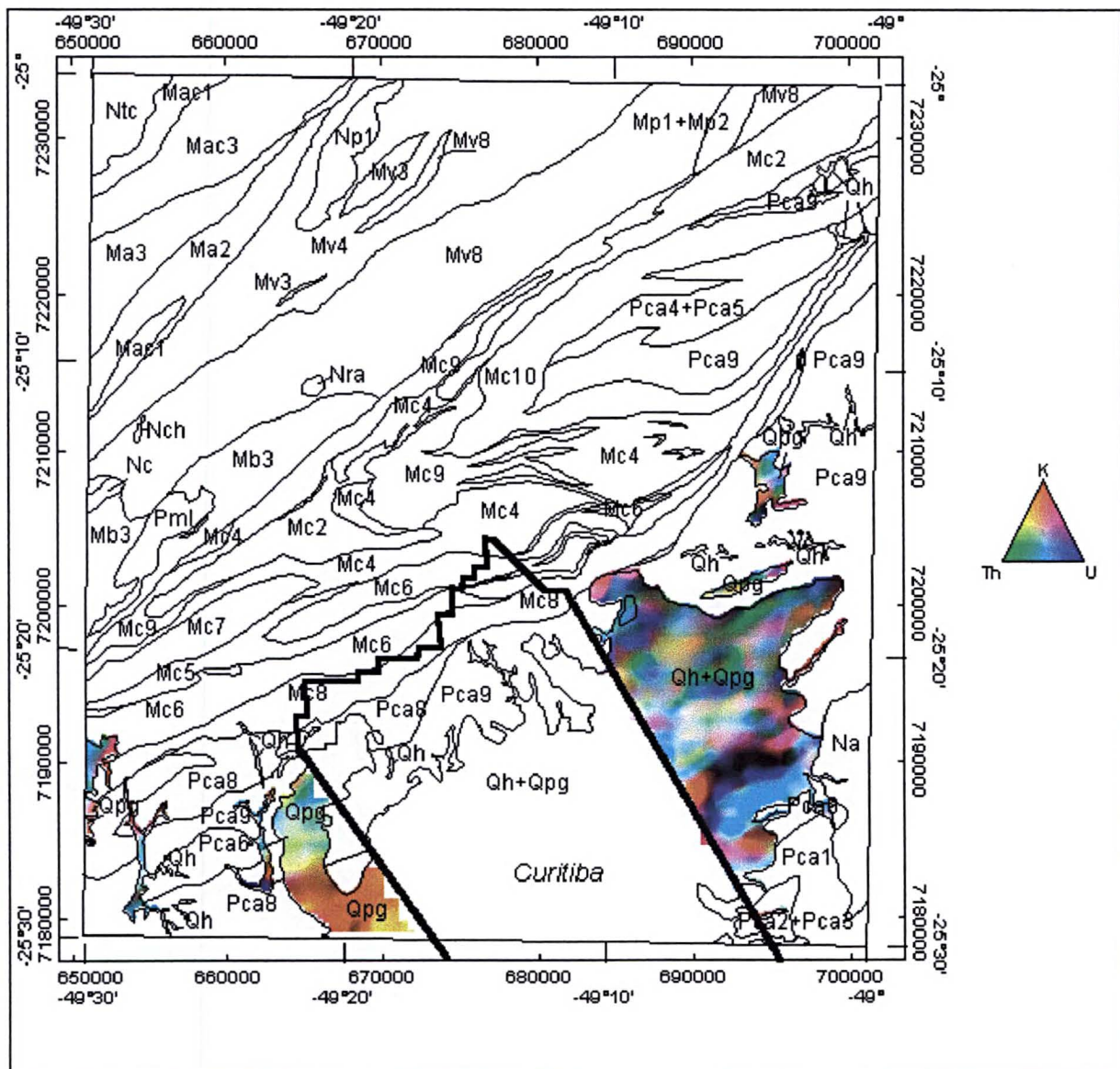
A distribuição espacial de radionuclídeos (Figura 67) apresenta grande variabilidade. O segmento localizado a leste de Curitiba é caracterizado por uma faixa escura indicando baixas contribuições dos radioisótopos. Imediatamente a sul desta faixa observa-se uma área com preeminência de urânio e tório, provavelmente provenientes de regiões mais elevadas do granito Anhangava, enquanto a sul nota-se o potássio associado ao urânio. A porção central deste segmento é caracterizada por ocorrências de altos teores dos três radioisótopos (tonalidades brancas). No contato deste segmento com a Formação Capiru nota-se que o potássio está associado ao urânio devido a influência desta formação, enquanto no restante da porção predominam urânio e tório com manchas de potássio. Os tratos inseridos na unidade de biotita gnaisses (Pca9) apresentam teores predominantes de tório e urânio sobre o potássio.

A oeste de Curitiba, em contato com as rochas do Complexo Atuba, a Formação Guabirota apresenta uma faixa de direção aproximada norte-sul, caracterizada por duas porções: a setentrional com predomínio de urânio e tório sobre o potássio e a meridional caracterizada pela predominância de potássio com ocorrências isoladas de tório. Os pequenos segmentos cartografados na borda SW da folha apresentam tório e urânio e ocorrências isoladas de potássio.

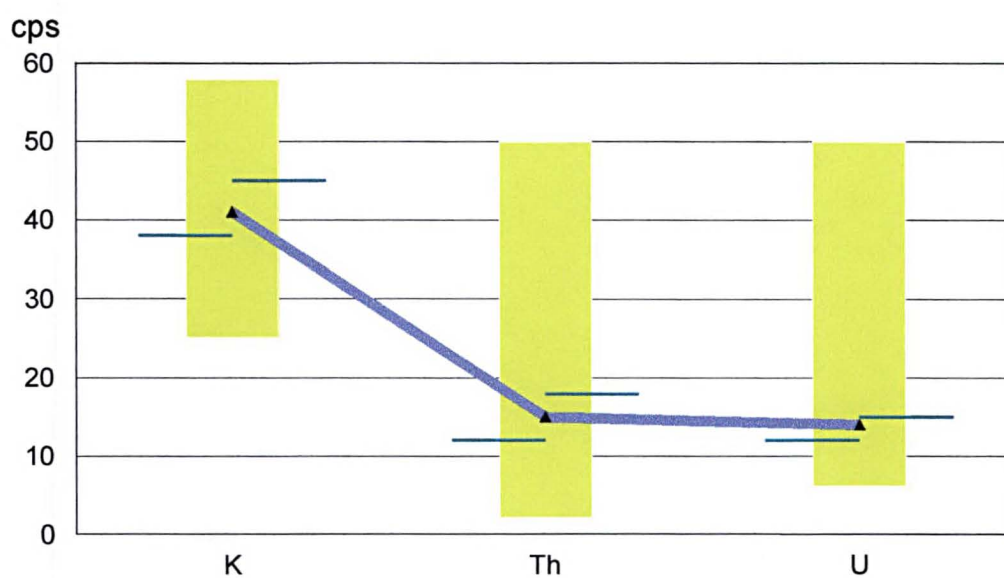
Litologicamente, as ocorrências de potássio na Formação Guabirota estão associadas aos arcósios. As contagens de tório e de urânio podem estar relacionadas a sedimentos provenientes de anfíbolitos, metabasitos e granitóides do embasamento e/ou dos maciços graníticos da Serra do Mar. A Figura 68 mostra as estatísticas dos radionuclídeos nos aluviões e Formação Guabirota.



FIGURA 67 – MAPA TERNÁRIO DE ALUVIÕES E FORMAÇÃO GUABIROTUBA



**FIGURA 68 – ESTATÍSTICA DE K, Th E U NOS ALUVIÕES E NA FORMAÇÃO GUABIROTUBA**



(cps)	Potássio	Tório	Urânio
Mínimo	25	2	6
25%	38	12	12
Mediana	41	15	14
75%	45	18	15
Máximo	58	50	50
Média	41	15	14
Desvio Padrão	4,7	5,1	3,4

### 6.2.11 – Estatística geral das unidades litoestratigráficas

Ao finalizar esta abordagem é apresentada a seguir a tabela síntese do comportamento médio das variáveis gamaespectrométricas nas principais unidades litoestratigráficas da Folha Curitiba. Nesta ressalta-se que as maiores concentrações de potássio na folha se encontram nas unidades granitóides, enquanto que as menores ocorrem na Formação Betara e no Complexo Meia Lua. Em relação ao tório, as maiores contribuições são registradas na Seqüência Perau e nos granitos, contrastando com as menores contribuições da Formação Betara e do Complexo Meia Lua. O urânio apresenta maiores teores na Seqüência Perau, e os menores no Complexo Meia Lua.

**Tabela 7 – COMPORTAMENTO RADIOMÉTRICO MÉDIO NAS PRINCIPAIS UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS DA FOLHA CURITIBA**

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		Potássio (cps)	Tório (cps)	Urânio (cps)
<b>QUATERNÁRIO</b>				
Aluviões e Formação Guabirota		41	15	14
<b>NEOPROTEROZOÍCO - CAMBRIANO</b>				
<b>Rochas Intrusivas Granitóides</b>				
Anhangava	Na	50	19	17
Piedade	Np1/Np2	55	31	18
Cerne	Nc	52	19	13
Três Córregos	Ntc	69	14	16
Rio Abaixo	Nra	39	10	12
Chacrinha	Nch	51	22	14
<b>MESOPROTEROZOÍCO</b>				
<b>Formação Antinha</b>				
Metacalcários Calcíticos	Ma2	40	14	14
Metargilitos e Metassiltitos	Ma3	39	16	14
<b>Formação Votuverava</b>				
Metarenitos	Mv3	54	15	14
Metassedimentos silto-argilosos	Mv4	54	18	16
Filitos carbonosos	Mv8	49	14	14
<b>Formação Capiru</b>				
Metacalcários dolomíticos	Mc2	49,5	16	15
Metarritimitos silto-arenosos	Mc4	50	16	14
Filitos/metassiltitos/metamargas	Mc5	51	15	16
Filitos/metassiltitos/metamargas	Mc6	51,5	16	15
Filitos carbonosos e metarritimitos	Mc7	64	15	15
Filitos avermelhados	Mc8	51	14	15
Metacalcários dolomíticos finos	Mc9	48	13	13
Sericita xistos/quartzo-biotita-muscovita xistos	Mc10	46	16	16

<b>Formação Betara</b>				
Quartzo-mica xistos	Mb3	47	11	11
Seqüência Perau				
Quartzitos finos/metacálciossilicatadas	Mp1/Mp2	53	22	22
Formação Água Clara		29,0	15,5	15,0
Quartzo-mica xistos/metamargas/mármoreos	Mac1	32	17	15
Mármoreos puros/impuros	Mac3	26	14	15
<b>PALEOPROTEROZOÍCO</b>				
<b>Complexo Meia Lua</b>				
Biotita Gnaisses/metabásicas/quartzitos	(Pml)	40	12	10
<b>Complexo Atuba</b>		43,8	18,0	14,5
Epidoto Gnaisses	Pca1	45	19	10
Granada-silimanita xistos/migmatitos	Pca2	44	16	14
Biotita gnaisses	Pca4/Pca5	43	21	18
Biotita Gnaisses leucocráticos	Pca6	50	38	30
Anfibolitos , homoblenda gnaisses	Pca8	45	17	14
Homoblenda gnaisses bandados/ migmatitos	Pca9	42,38	17,4	16,4

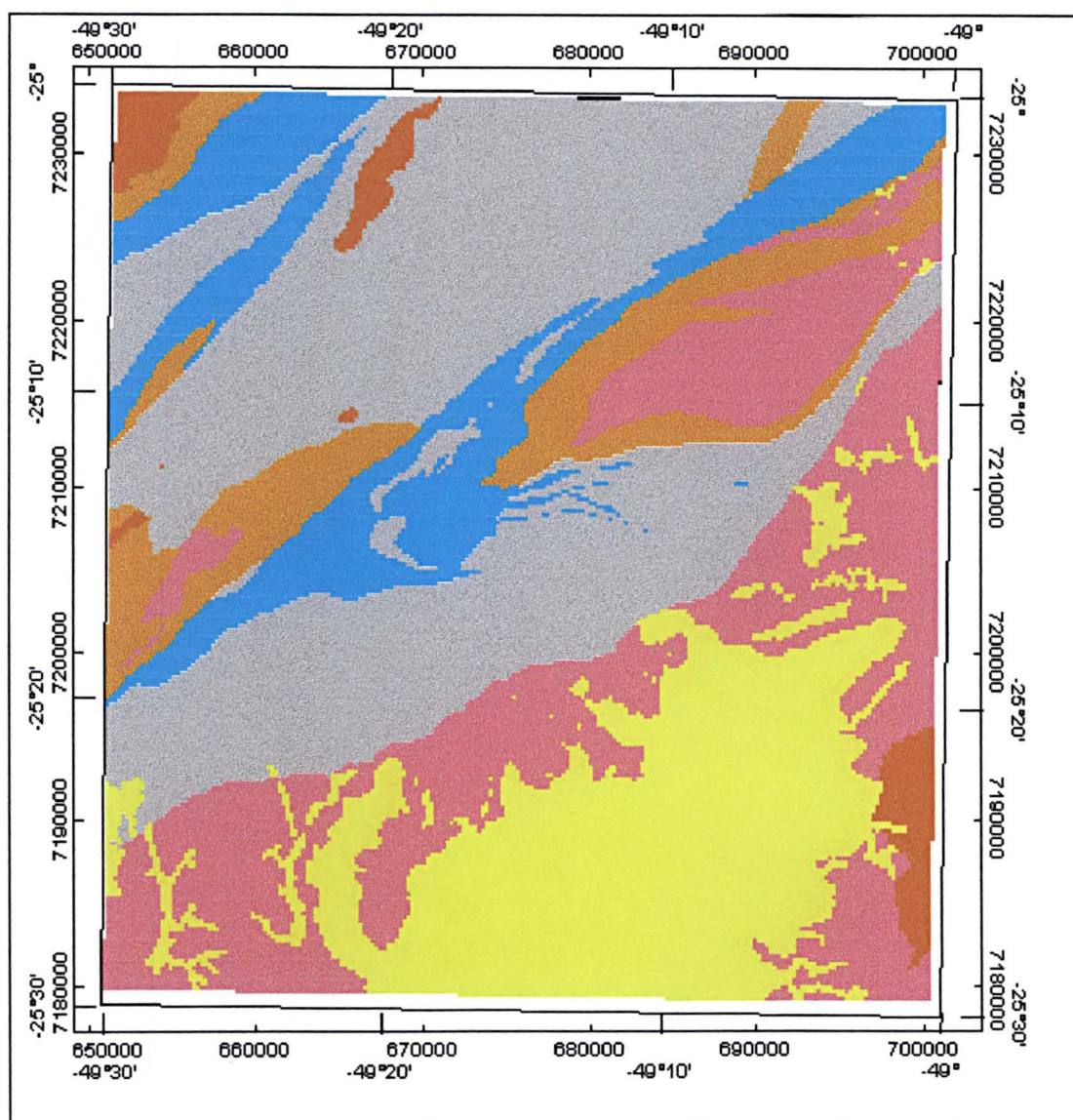
### 6.3 - Abordagem por agrupamentos litológicos

Até o momento foi realizada a descrição dos compartimentos da Folha Curitiba de duas formas: a primeira, de maneira geral, observando o comportamento de cada variável radiométrica (K, Th e U) em toda área de estudo; a segunda, descrevendo e mostrando a composição ternária destes mesmos radioelementos nos *layers* correspondentes às unidades litoestratigráficas, além de suas estatísticas.

Considerando que as unidades litoestratigráficas analisadas no item anterior envolvem litologias distintas, adotou-se neste item uma nova abordagem, reorganizando o mapa geológico da Figura 22 de acordo com as similaridades litológicas, definindo-se, assim, os agrupamentos litológicos da Folha Curitiba, apresentados no mapa da Figura 69.

A versatilidade da metodologia permite a manipulação de *layers* contendo informações radiométricas, tornando possível reunir litologias similares, facilitando sobremaneira a integração geofísico-geológica, ao mostrar o comportamento dos radioelementos segundo tais agrupamentos, conforme é descrito a seguir:

**FIGURA 69 – MAPA DE AGRUPAMENTOS LITOLÓGICOS**

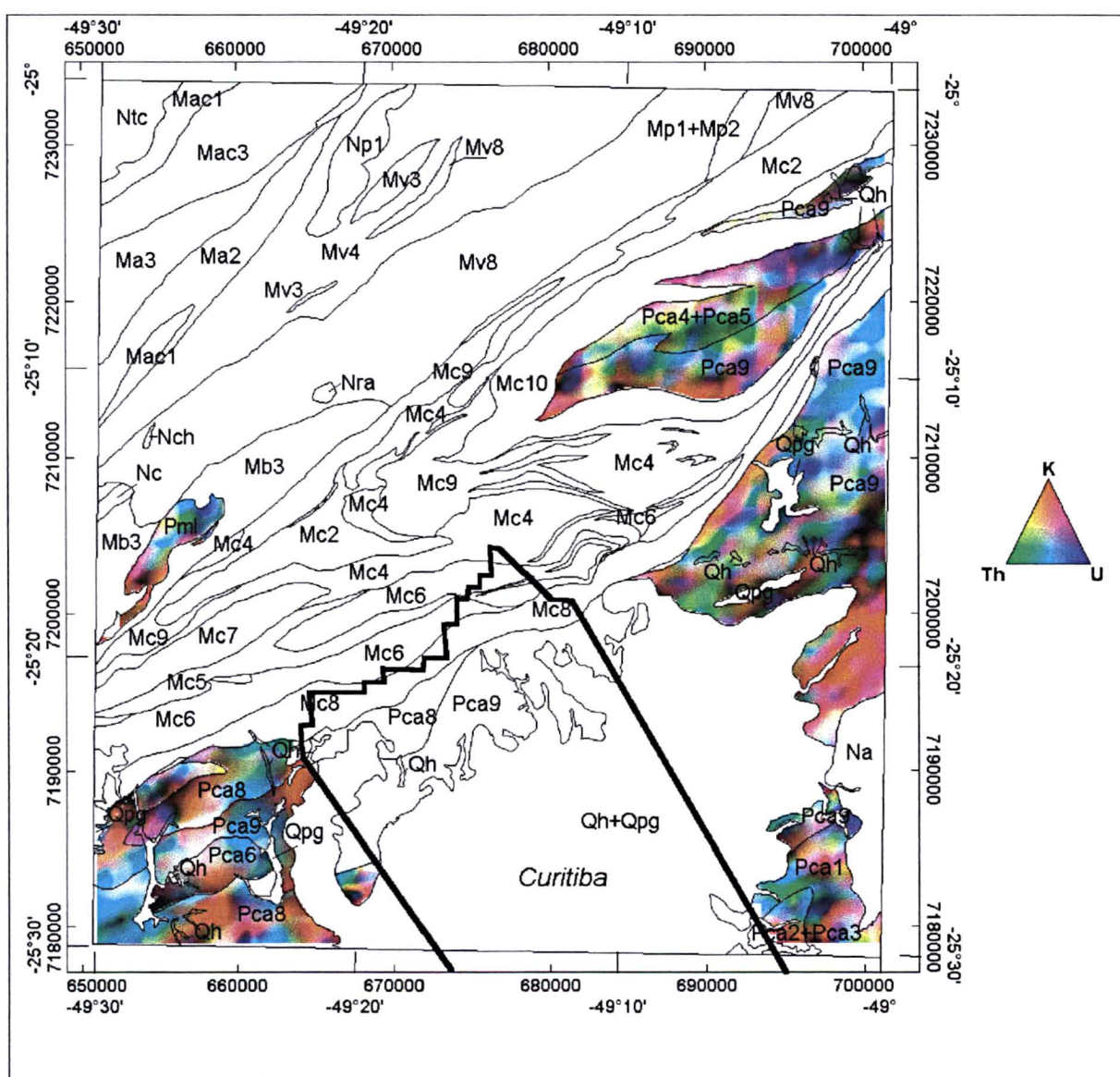


- ALUVIÕES E FORMAÇÃO GUABIROTUBA
- GRANITOS
- METACALCÁRIOS E MÁRMORES
- METASSEDIMENTOS
- XISTOS
- GNAISSES E MIGMATITOS

### 6.3.1 – Gnaisses e migmatitos

Os gnaisses e migmatitos (Figura 70) são representados pelas unidades litoestratigráficas correspondentes aos complexos Atuba e Meia Lua, os quais já foram descritos nos itens 6.2.1 e 6.2.2 deste capítulo, inclusive com suas respectivas estatísticas.

**FIGURA 70 - MAPA TERNÁRIO DE GNAISSES E MIGMATITOS**





### 6.3.2 – Xistos

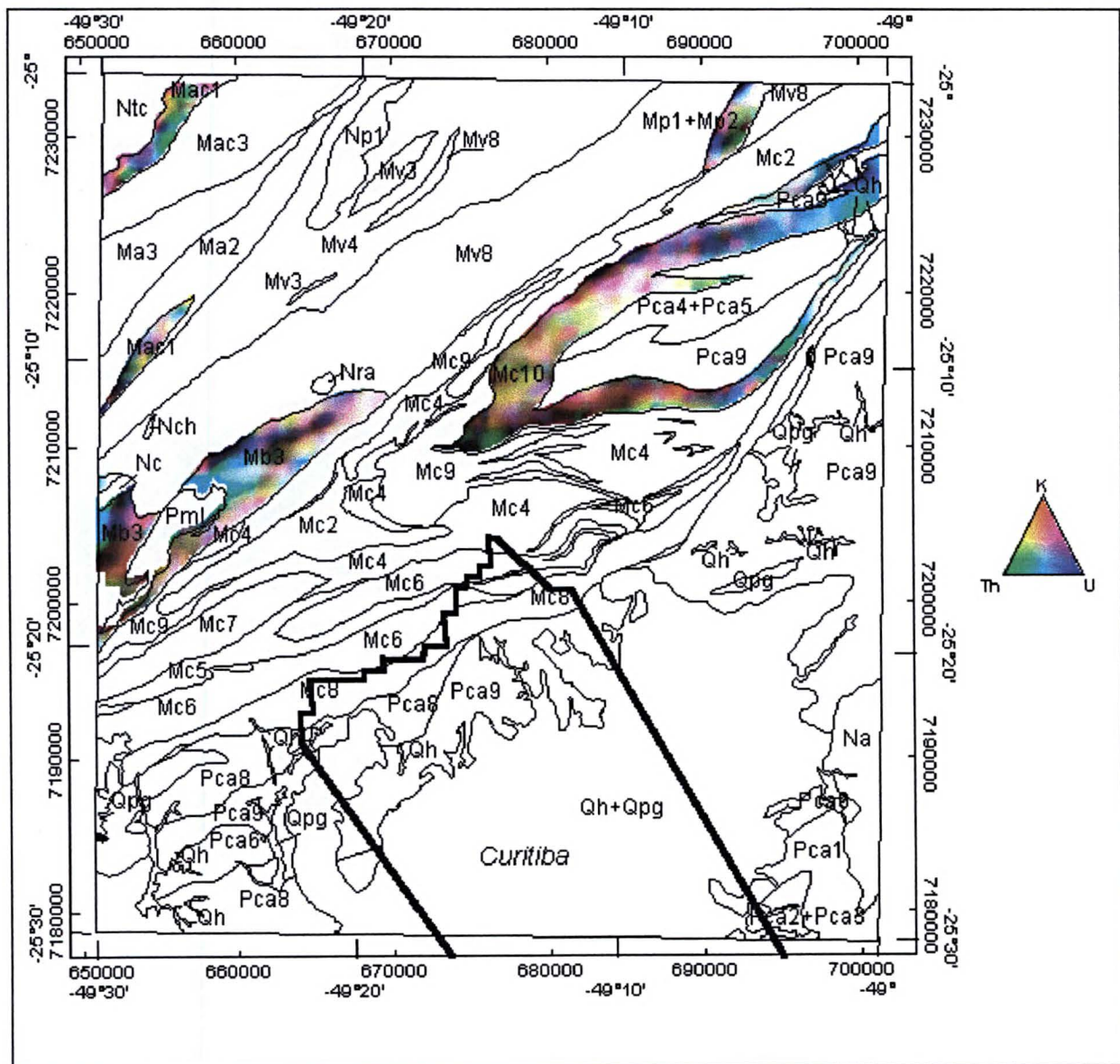
O agrupamento litológico representado pelos xistos (Figura 71) envolve litologias homônimas das seguintes unidades litoestratigráficas: Formação Água Clara (quartzo-mica xistos, metamargas e mármore impuros subordinados - Mac1); Seqüência Perau (quartzitos finos e metacálciossilicatadas – Mp1+Mp2); Formação Betara (quartzo-mica xistos finos a médios – Mb3); Formação Capiru (quartzo-biotita muscovita xistos – Mc10).

A variabilidade espacial dos três radionuclídeos foi interpretada na abordagem por unidades litoestratigráficas neste capítulo (Mac1 – item 6.2.3; Mb3 – item 6.2.5; Mp1+Mp2 – item 6.2.4; Mc10 - item 6.2.6).

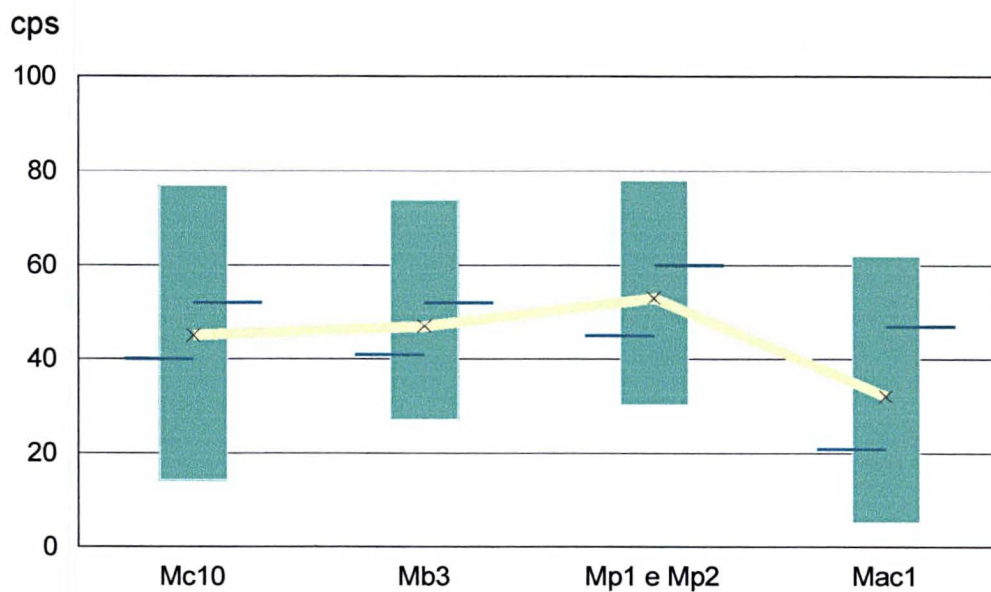
A estatística do potássio neste agrupamento é mostrada na Figura 72, onde registra-se que a maior média situa-se na Seqüência Perau (53cps), decorrente de quartzitos miloníticos em área de intensos falhamentos, enquanto as unidades de sericita xistos (Mc10) e quartzo-mica xistos (Mb3) apresentam médias semelhantes (46cps e 47cps respectivamente), reflexo de litologias micáceas. Já a unidade de quartzo-mica xistos (Mac1), é caracterizada pela menor média deste radionuclídeo (32cps), devido a intercalações de metamargas e mármore impuros.

As estatísticas das variáveis tório e urânio (figuras 73 e 74) mostram comportamento semelhante. As maiores médias destes radioisótopos (22cps) situam-se no contexto da Seqüência Perau, em função provavelmente da combinação de minerais acessórios radioativos nos quartzitos e da influência da percolação de fluidos nesta área de intenso tectonismo. As médias dos sericita xistos (Mc10) e dos quartzo-mica xistos (Mac1) são semelhantes (16 cps e 17 cps respectivamente), reflexo da similaridade litológica destas formações. Já as médias de tório e urânio nos quartzo-mica xistos da Formação Betara são iguais relativamente baixas (11cps), talvez em função da intercalação de lentes metabásicas.

FIGURA 71 - MAPA TERNÁRIO DOS XISTOS

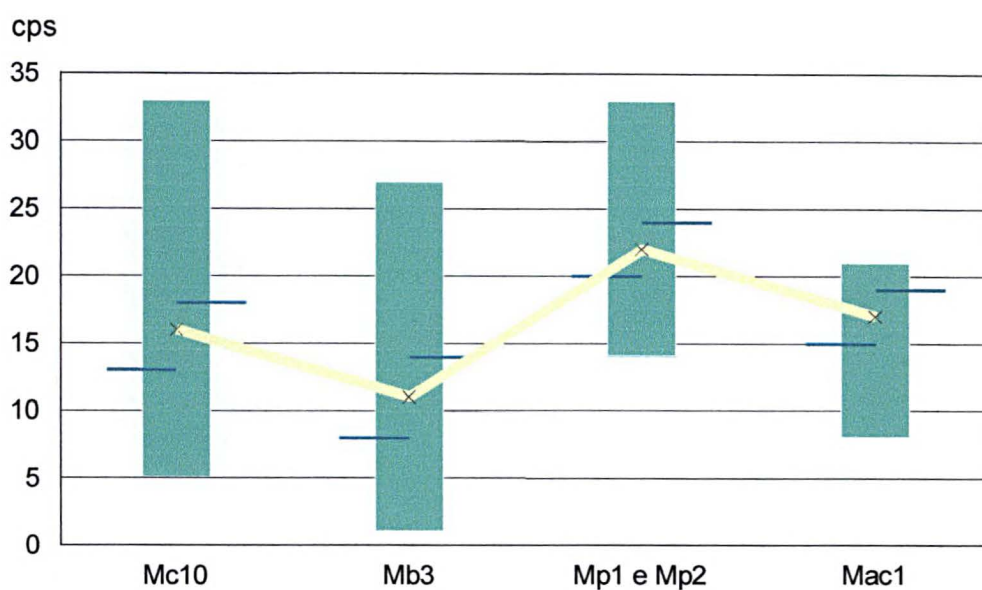


**FIGURA 72 – ESTATÍSTICA DO POTÁSSIO NOS XISTOS**



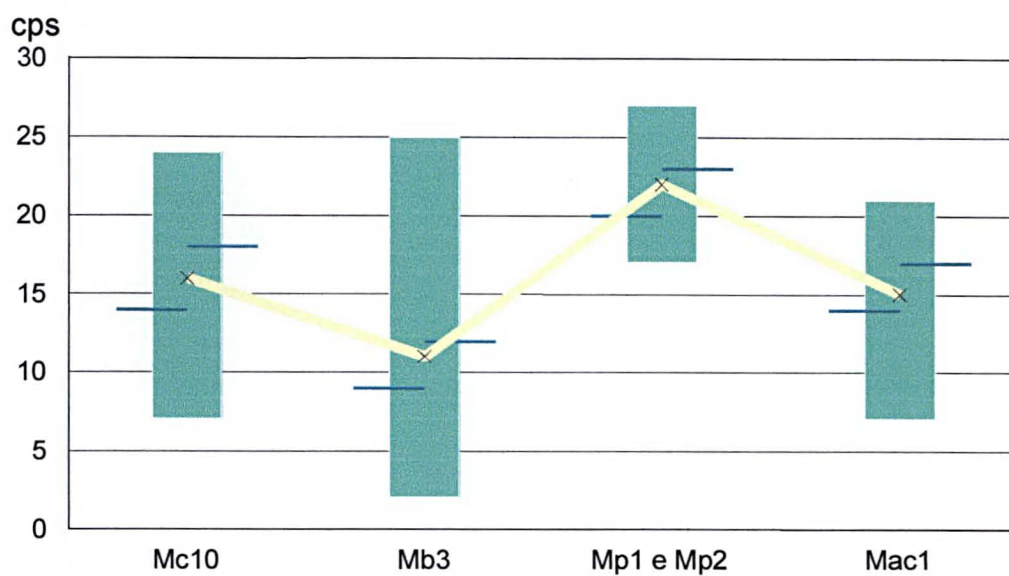
Potássio (cps)	Mc10	Mb3	Mp1 e Mp2	Mac1
Mínimo	14	27	30	5
25%	40	41	45	21
Mediana	46	46	53	32
75%	52	52	60	47
Máximo	77	74	78	62
Média	46	47	53	32
Desvio Padrão	9,5	8,3	9,5	14,4

**FIGURA 73 – ESTATÍSTICA DO TÓRIO NOS XISTOS**



Tório (cps)	Mc10	Mb3	Mp1 e Mp2	Mac1
Mínimo	5	1	14	8
25%	13	8	24	15
Mediana	16	11	22	17
75%	18	14	24	19
Máximo	33	27	33	21
Média	16	11	22	17
Desvio Padrão	3,7	4,7	3,3	3,0

**FIGURA 74 – ESTATÍSTICA DO URÂNIO NOS XISTOS**



Urânio (cps)	Mc10	Mb3	Mp1 e Mp2	Mac1
Mínimo	7	2	17	7
25%	14	9	20	14
Mediana	16	11	22	15
75%	18	12	23	17
Máximo	24	25	27	21
Média	16	11	22	15
Desvio Padrão	2,9	2,6	2,0	2,8

### 6.3.3 – Metassedimentos

Os metassedimentos ocupam área expressiva da Folha Curitiba, envolvendo algumas unidades das formações Água Clara, Capiuru e Votuverava como mostra a Figura 75. A variabilidade espacial dos radionuclídeos nestes metassedimentos foi comentada neste capítulo através dos itens 6.2.3, 6.2.6 e 6.2.7.

Conforme indicado na Figura 76, as maiores médias do potássio ocorrem na unidade de filitos carbonosos (Mc7) em função de intercalações de metarritmitos nos filitos da Formação Capiuru, e na unidade de filitos, metassiltitos e metamargas (Mc5), talvez em função das zonas de cavalgamento e cisalhamento aí presentes. Os metargilitos e metassiltitos (Ma3) da Formação Antinha apresentam a menor média (39cps) do conjunto dos metassedimentos. Neste trato (Ma3) foi comentado que a porção SW é mais rica em potássio, enquanto que no segmento NE existe a predominância de tório e urânio (item 6.2.8). As demais unidades apresentam médias semelhantes, em torno de 52cps, reflexo das similaridades litológicas.

Em relação ao tório (Figura 77), nota-se que os valores médios são aproximadamente constantes para todos os compartimentos analisados. Entretanto, observa-se que as menores médias (14cps) situam-se nos filitos carbonosos (Mv8), em virtude da profusão de intercalações de rochas metabásicas, as quais são perfeitamente identificadas por tonalidades escuras (baixas contagens de K, Th e U) e na unidade de filitos avermelhados (Mc8), reflexo de seus litotipos. A maior média de tório (18cps) ocorre nos metassedimentos silto-argilosos (Mv4), os quais também apresentam a maior variabilidade.

A Figura 78, representativa da estatística do urânio, mostra médias semelhantes as do tório. Cabe ressaltar que as maiores variabilidades são registradas nas unidades da Formação Capiuru, talvez em função da maior mobilidade do urânio em relação ao tório.

FIGURA 75 – MAPA TERNÁRIO DOS METASSEDIMENTOS

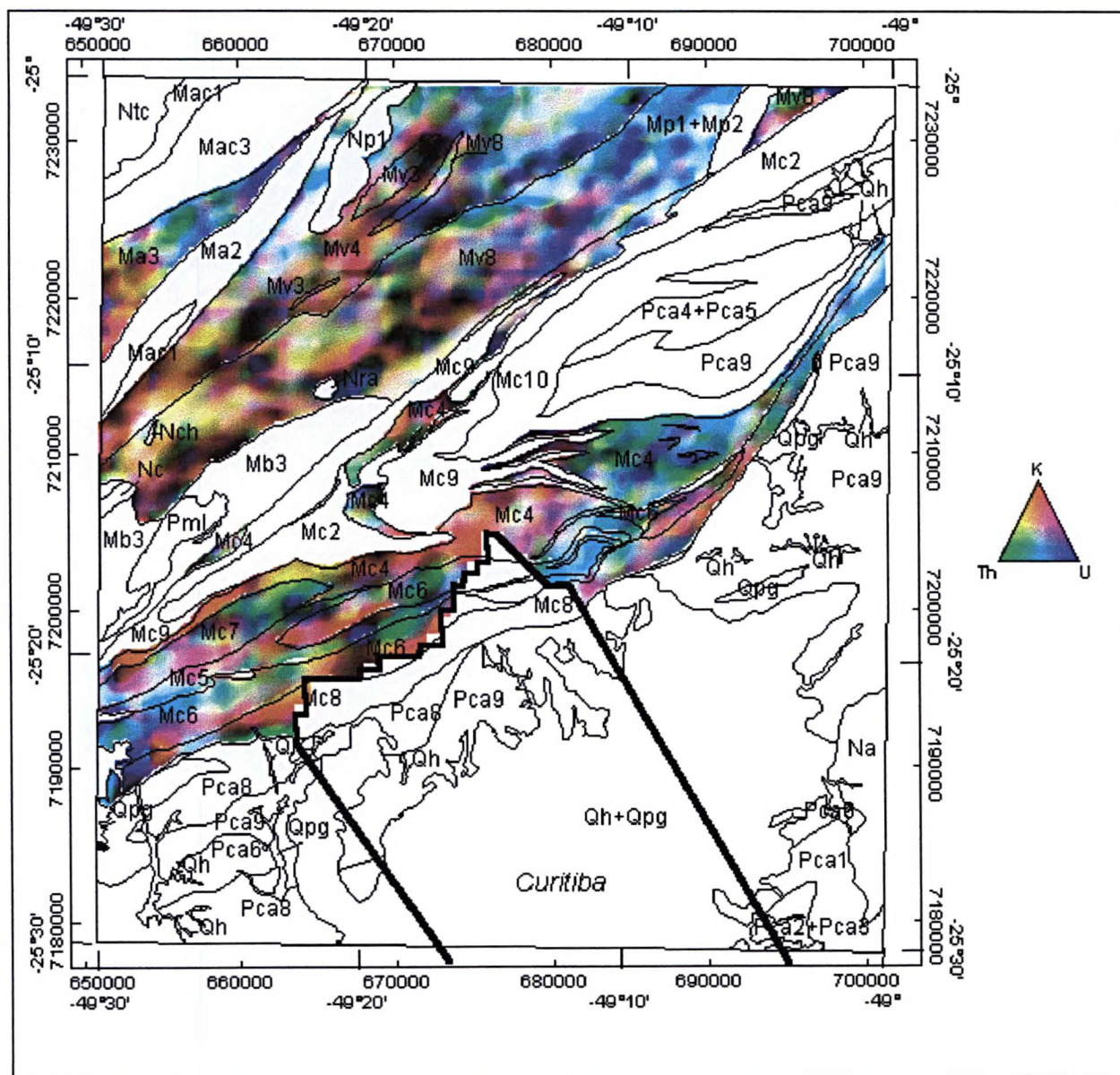
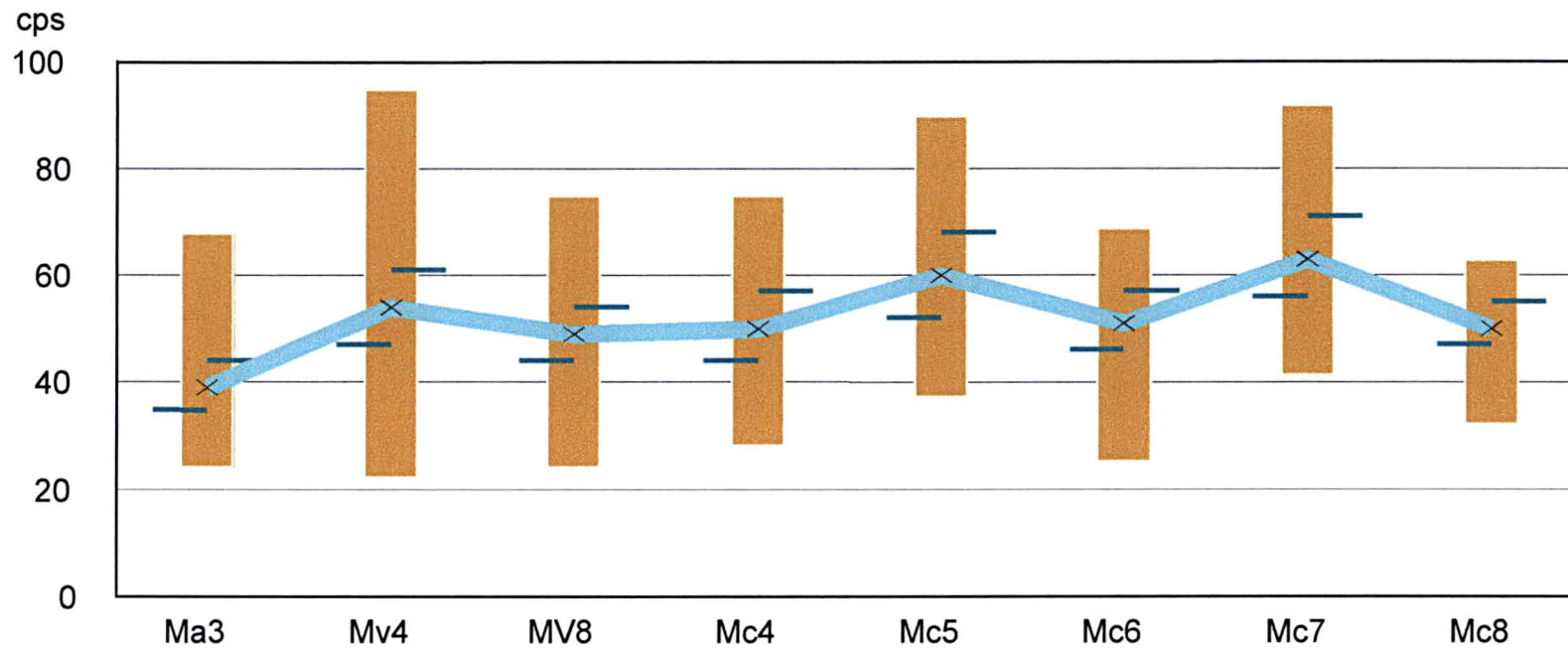


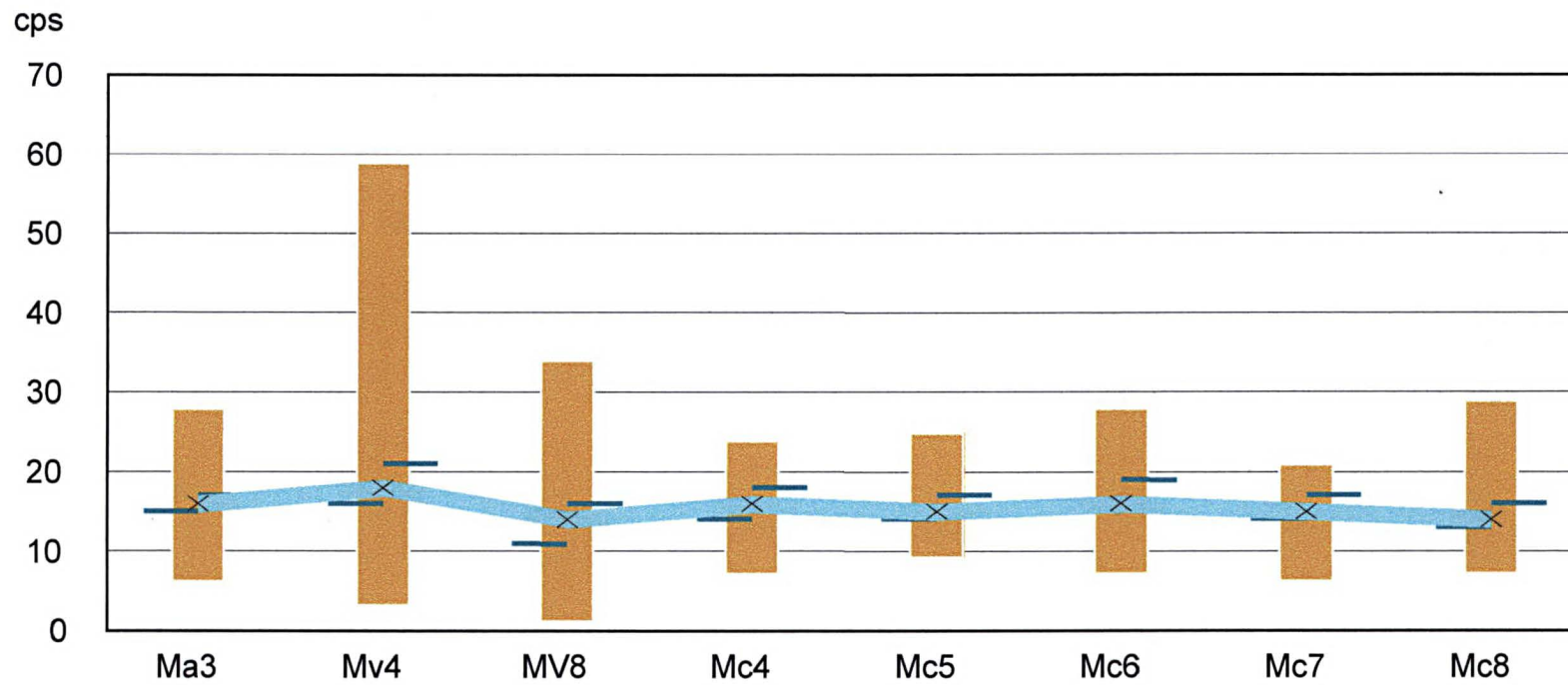
FIGURA 76 – ESTATÍSTICA DO POTÁSSIO NOS METASSEDIMENTOS



Potássio (cps)	Ma3	Mv4	Mv8	Mc4	Mc5	Mc6	Mc7	Mc8
Mínimo	24	22	24	28	37	25	41	32
25%	35	47	44	44	52	47	56	47
Mediana	39	54	49	52	60	53	63	51
75%	44	61	54	57	68	57	71	55
Máximo	68	95	75	75	90	69	92	63
Média	39	54	49	52	60	53	63	51
Desvio Padrão	6,9	13,0	7,6	7,9	11,3	7,5	10,28	5,9

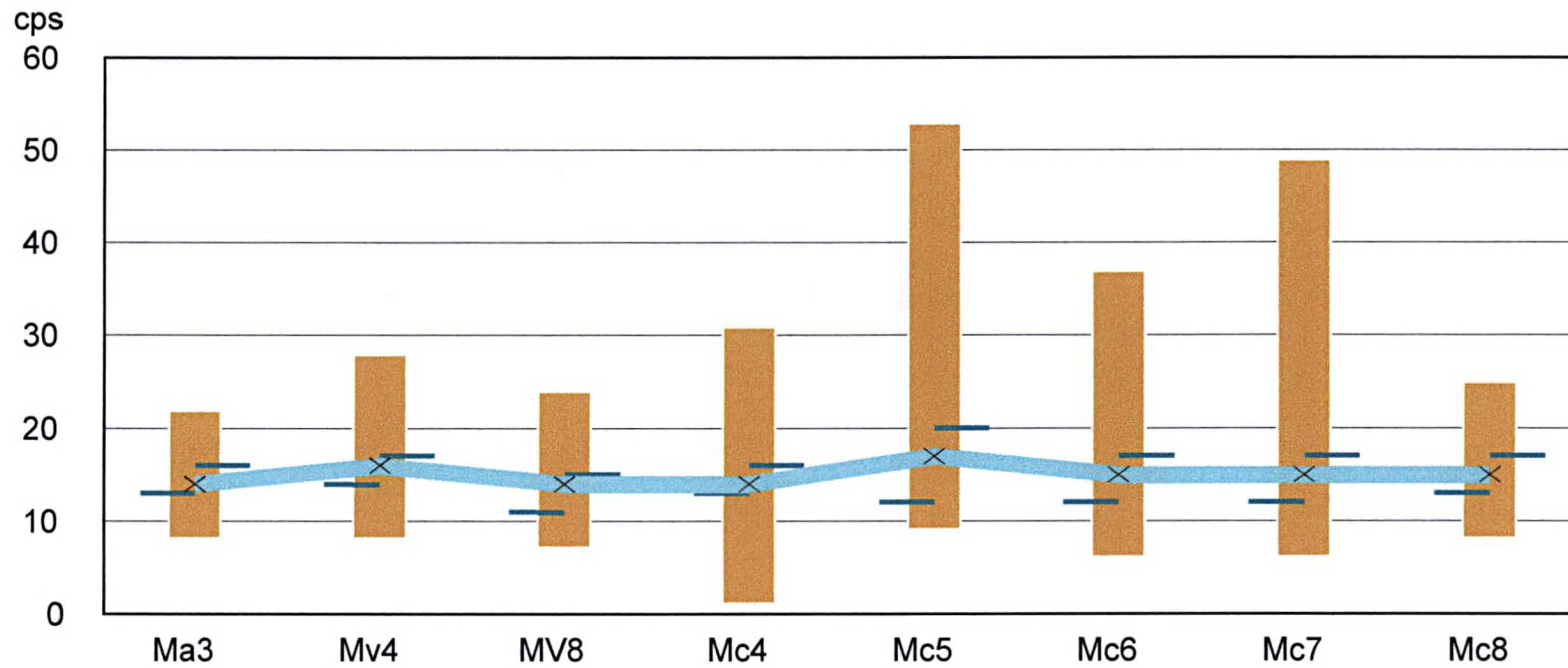


FIGUR 77 – ESTATÍSTICA DO TÓRIO NOS METASSEDIMENTOS



Tório (cps)	Ma3	Mv4	Mv8	Mc4	Mc5	Mc6	Mc7	Mc8
Mínimo	6	3	1	7	9	7	6	7
25%	15	16	11	14	14	14	14	13
Mediana	16	18	13	16	15	16	15	14
75%	17	21	16	18	17	19	17	16
Máximo	28	59	34	24	25	28	21	29
Média	16	18	14	16	15	16	15	14
Desvio Padrão	2,1	5,1	4,1	3,0	2,8	3,5	2,3	3,1

FIGURA 78 – ESTATÍSTICA DO URÂNIO NOS METASSEDIMENTOS



Urânio (cps)	Ma3	Mv4	Mv8	Mc4	Mc5	Mc6	Mc7	Mc8
Mínimo	8	8	7	1	9	6	6	8
25%	13	14	11	13	12	12	12	13
Mediana	14	15	13	14	14	14	13	14
75%	16	17	15	16	20	17	17	17
Máximo	22	28	24	31	53	37	49	25
Média	14	16	14	14	17	15	15	15
Desvio Padrão	2,4	2,8	2,9	3,0	9,4	4,6	7,3	2,7

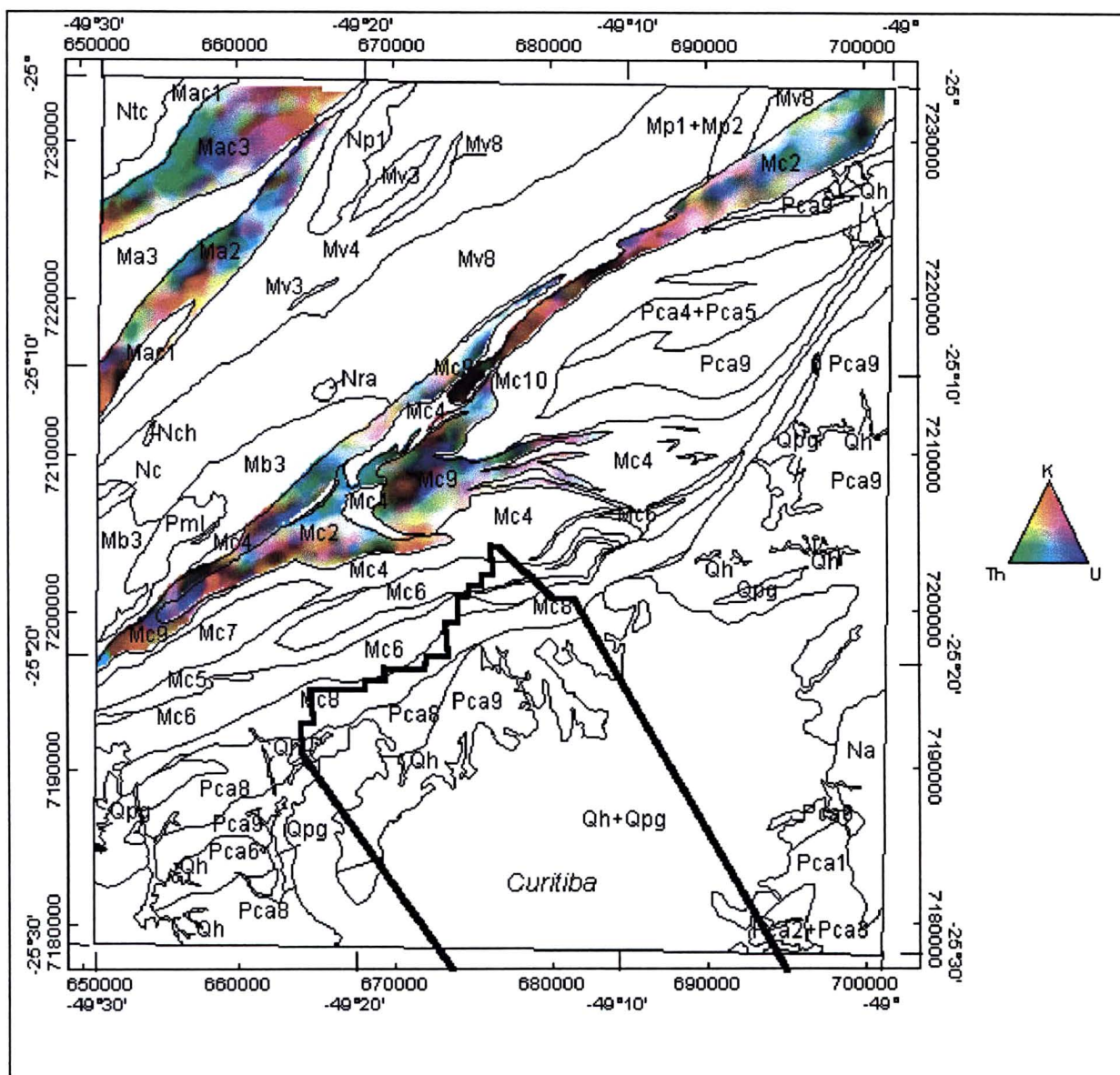
#### 6.3.4 - Metacalcários e mármore

Os metacalcários e mármore pertencentes as formações Água Clara (mármore puros - Mac3); Capiru (metacalcários dolomíticos - Mc2 e Mc9) e Antinha (metacalcários calcíticos – Mac3) são representados na Figura 79. A variabilidade espacial dos radionuclídeos nestas litologias foi comentada neste capítulo nos seguintes itens: 6.2.3, 6.2.6 e 6.2.8.

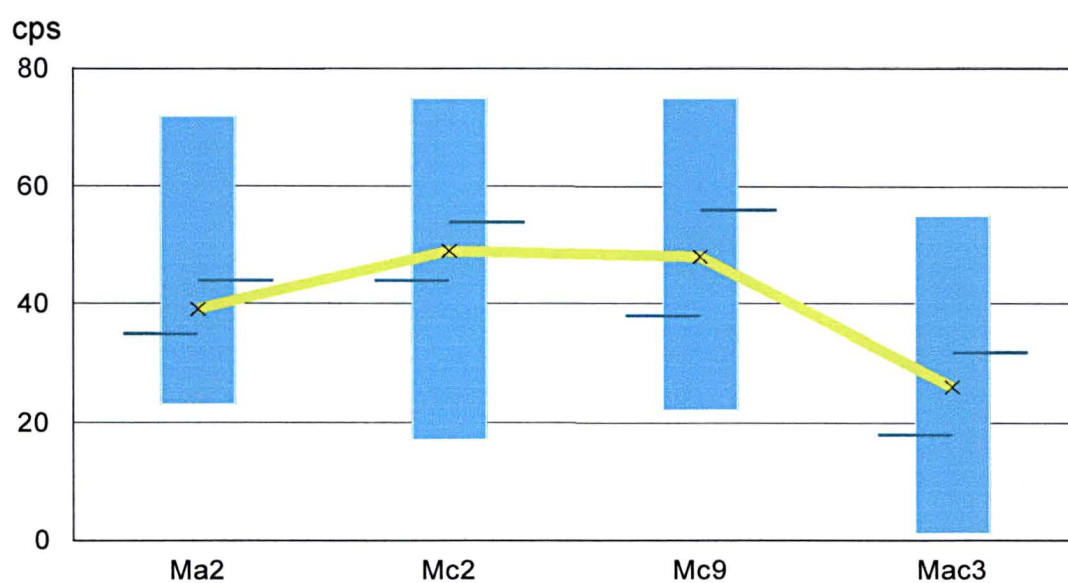
Em termos estatísticos as maiores médias de potássio (Figura 80), referem-se aos metacalcários dolomíticos da Formação Capiru (Mc2 e Mc9) com contagens de 49cps e 48cps respectivamente, provavelmente devido a intercalações de metassedimentos areno-argilosos com níveis de flogopita sobretudo na unidade Mc9. Uma outra explicação seria a influência da zona de cisalhamento transcorrente da Lancinha através da percolação de fluidos. A menor média deste conjunto corresponde as rochas carbonáticas da Formação Água Clara (Mac3), com 27cps, talvez pelo seu caráter extremamente alterado (espessa cobertura de solo argiloso vermelho escuro) e pelas litologias constituídas de mármore calcíticos puros e impuros, além de cálcio xistos e rochas cálcio-silicatadas subordinadas. Já os metacalcários calcíticos finos da Formação Antinha (Ma2) revelam um teor médio de potássio (40cps) representativo de extensos pacotes desta litologia.

Como era de se esperar, as contagens de tório e urânio são muito baixas nos metacalcários e mármore. As estatísticas destes radionuclídeos (figuras 81 e 82), mostram comportamentos extremamente semelhantes para os diversos pacotes litológicos analisados, destacando-se apenas uma maior variabilidade de urânio na unidade de metacalcários dolomíticos Mc9, talvez em função das intercalações já mencionadas.

FIGURA 79 – MAPA TERNÁRIO DOS METACALCÁRIOS E MÁRMORES

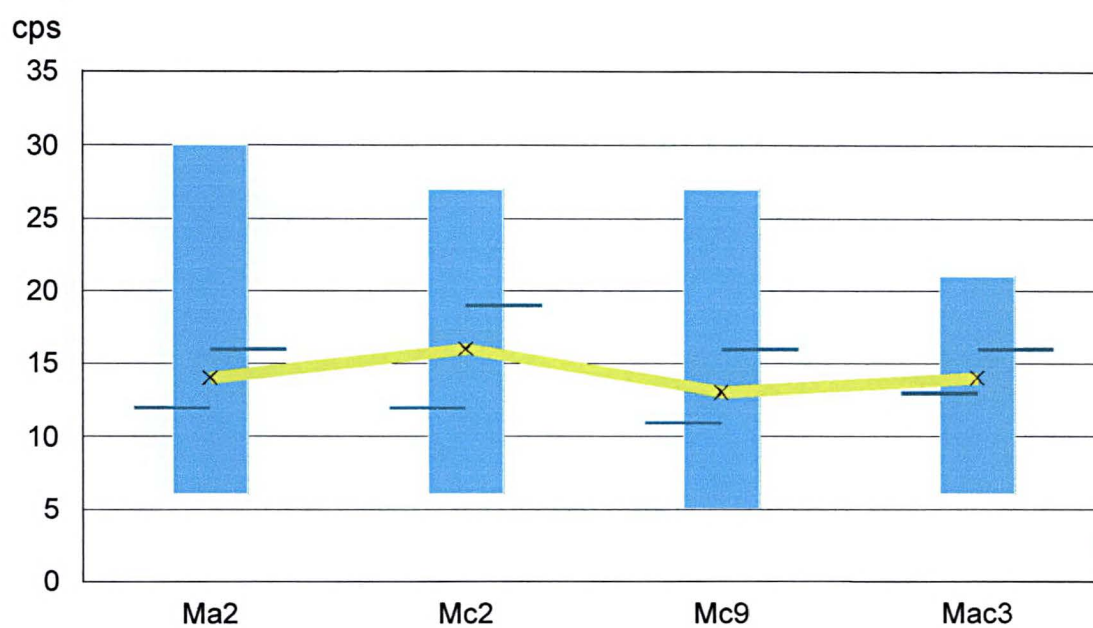


**FIGURA 80 – ESTATÍSTICA DO POTÁSSIO NOS METACALCÁRIOS E MÁRMORES**



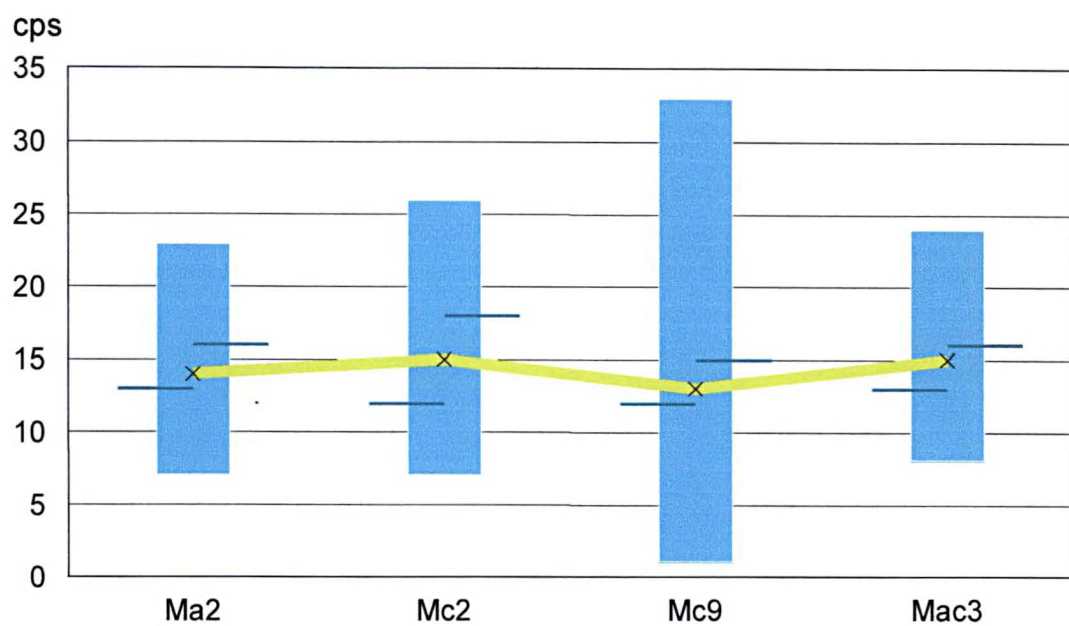
Potássio (cps)	Ma2	Mc2	Mc9	Mac3
Mínimo	23	17	22	1
25%	35	44	38	18
Mediana	39	49	48	27
75%	44	54	56	32
Máximo	72	75	75	55
Média	40	49	48	27
Desvio Padrão	7,7	8,4	11,65	10,16

**FIGURA 81 – ESTATÍSTICA DO TÓRIO NOS METACALCÁRIOS E MÁRMORES**



Tório (cps)	Ma2	Mc2	Mc9	Mac3
Mínimo	6	6	5	6
25%	12	12	11	13
Mediana	14	15	13	14
75%	16	19	16	16
Máximo	30	27	27	21
Média	14	16	13	14
Desvio Padrão	3,0	4,1	3,7	2,6

**FIGURA 82 – ESTATÍSTICA DO URÂNIO NOS METACALCÁRIOS E MÁRMORES**



Urânio (cps)	Ma2	Mc2	Mc9	Mac3
Mínimo	7	7	1	8
25%	13	12	12	13
Mediana	14	16	14	15
75%	16	18	15	16
Máximo	23	26	33	24
Média	14	15	13	15
Desvio Padrão	2,9	3,7	2,9	2,3

### 6.3.5 – Granitos, aluviões e Formação Guabirotuba

As rochas intrusivas granitóides, os aluviões e a Formação Guabirotuba correspondem a unidades litoestratigráficas que já foram descritas neste capítulo, nos itens 6.2.9 e 6.2.10, assim como suas respectivas estatísticas.

### 6.3.6 – Síntese dos agrupamentos litológicos

Finalmente, a Tabela 8 mostra uma visão global das médias dos três radionuclídeos nos diversos agrupamentos litológicos anteriormente analisados, além das unidades que os compõem. Observa-se aí que as maiores médias de potássio, tório e urânio correspondem as rochas intrusivas granitóides, em contraste com os metacalcários e mármore, reflexo direto das litologias envolvidas.

Os metassedimentos apresentam média de potássio praticamente similar aos granitos em função de contribuições elevadas deste radionuclídeo nas formações Capiru (Mc7 – 64 cps e Mc5 – 60 cps), cujas causas ainda não são geologicamente bem explicadas.

Os xistos e gnaisses apresentam valores médios de potássio aproximados, enquanto que neste último registrou-se uma maior média de tório (20 cps) decorrente de altos valores desta variável na unidade Pca6 do Complexo Atuba. Ressalta-se que tal unidade mostra médias elevadas de potássio (50 cps) e urânio (30 cps), cujas causas deverão ser objeto de estudos detalhados de campo para explicar tais anomalias. Valores elevados de urânio e tório (22 cps) foram registrados na Seqüência Perau, cujas causas foram comentadas na análise do agrupamento litológico dos xistos.



**TABELA 8 – COMPORTAMENTO MÉDIO DE K, Th e U NOS PRINCIPAIS AGRUPAMENTOS LITOLÓGICOS DA FOLHA CURITIBA**

Agrupamento Litológico	Potássio (cps)	Tório (cps)	Urânio(cps)
<b>Aluviões e Formação Guabirotuba</b>	41,0	15,0	14,0
<b>Rochas Intrusivas Granitóides</b>	52,6	19,1	15,0
Anhangava (Na)	50	19	17
Piedade (Np1 + Np2)	55	31	18
Cerne (Nc)	52	19	13
Três Córregos (Ntc)	69	14	16
Rio Abaixo (Nra)	39	10	12
Chacrinha (Nch)	51	22	14
<b>Metacalcários e Mármore</b>	41,0	14,3	14,0
Formação Antinha (Ma2)	40	14	14
Formação Capiru (Mc2)	49,5	15,5	15
Formação Capiru (Mc9)	47	14	12
Formação Água Clara (Mac3)	27	14	15
<b>Metassedimentos</b>	52,3	15,5	15,0
Formação Antinha (Ma3)	39	16	14
Formação Votuverava (Mv4)	54	18	16
Formação Votuverava (Mv8)	49	14	14
Formação Capiru (Mc4)	50	16	14
Formação Capiru (Mc5)	60	15	17
Formação Capiru (Mc6)	51,5	16	15
Formação Capiru (Mc7)	64	15	15
Formação Capiru (Mc8)	51	14	15
<b>Xistos</b>	44,5	16,5	16,0
Formação Capiru (Mc10)	46	16	16
Formação Betara (Mb3)	47	11	11
Seqüência Perau (Mp1/Mp2)	53	22	22
Formação Água Clara (Mac1)	32	17	15
<b>Gnaisses</b>	44,2	20,0	15,5
Complexo Meia Lua (Pml)	40	12	10
Complexo Atuba (Pca1)	45	19	16
Complexo Atuba (Pca2)	44	16	14
Complexo Atuba (Pca4/Pca5)	43	21	18
Complexo Atuba (Pca6)	50	38	30
Complexo Atuba (Pca8)	45	17	14
Complexo Atuba (Pca9)	42,38	17,4	16,4

## 6.4 - Abordagem por domínios tectono-estruturais

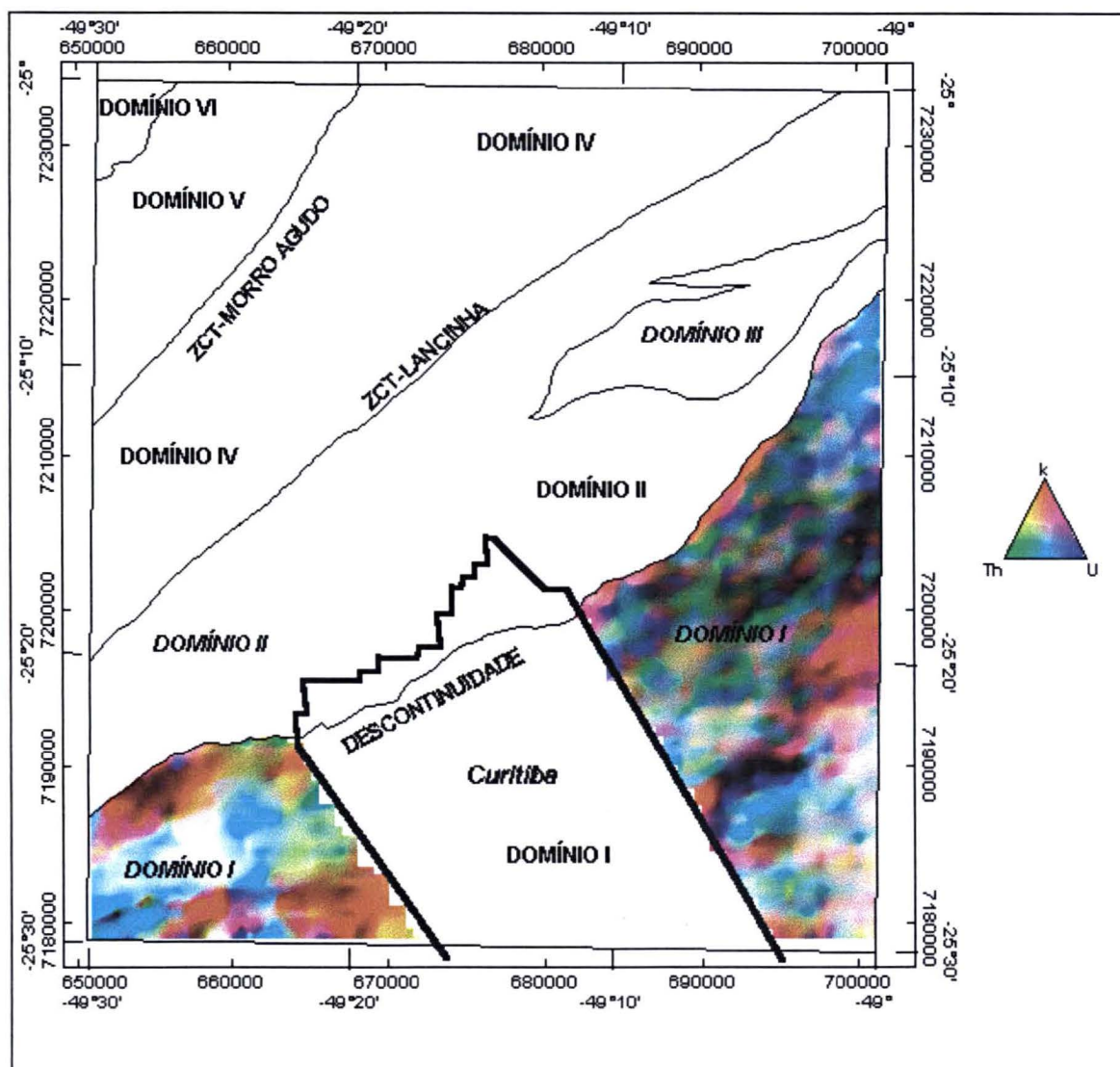
A terceira e última tentativa de análise da variabilidade espacial do potássio, do tório e do urânio por compartimentos é feita tomando-se como base os domínios tectono-estruturais da Folha Curitiba, adaptado de Silva *et al.* (1998). De acordo com estes autores, a deformação presente nas rochas mostra registros de desenvolvimento sob a influência de tectônicas de baixo ângulo (cavalgamento) e de alto ângulo (transcorrências).

### 6.4.1 – Domínio I

Este domínio é constituído por rochas ortognáissicas bandadas, reunidas no Complexo Atuba, em contato tectônico com os metassedimentos da Formação Capiru, associado a uma zona de descontinuidade de médio ângulo e cavalgamento subordinadas aos metassedimentos sobre o embasamento. Na região central deste domínio tais gnaisses estão recobertos por sedimentos da Bacia de Curitiba (Formação Guabirota).

Os aspectos mais relevantes da composição ternária deste domínio (Figura 83), referem-se aos altos valores de potássio, os quais permeiam o contato com o Domínio II, através da descontinuidade de médio ângulo. Os demais aspectos deste mapa já foram descritos nos itens anteriores, destacando-se a oeste de Curitiba uma zona anômala de urânio e tório (tonalidades azuis), onde ressalta-se em sua região central uma tonalidade branca indicativa de altos teores dos três radionuclídeos, cujas causas merecem estudos geofísico-geológicos mais detalhados.

FIGURA 83 – MAPA TERNÁRIO DO DOMÍNIO TECTONO-ESTRUTURAL I

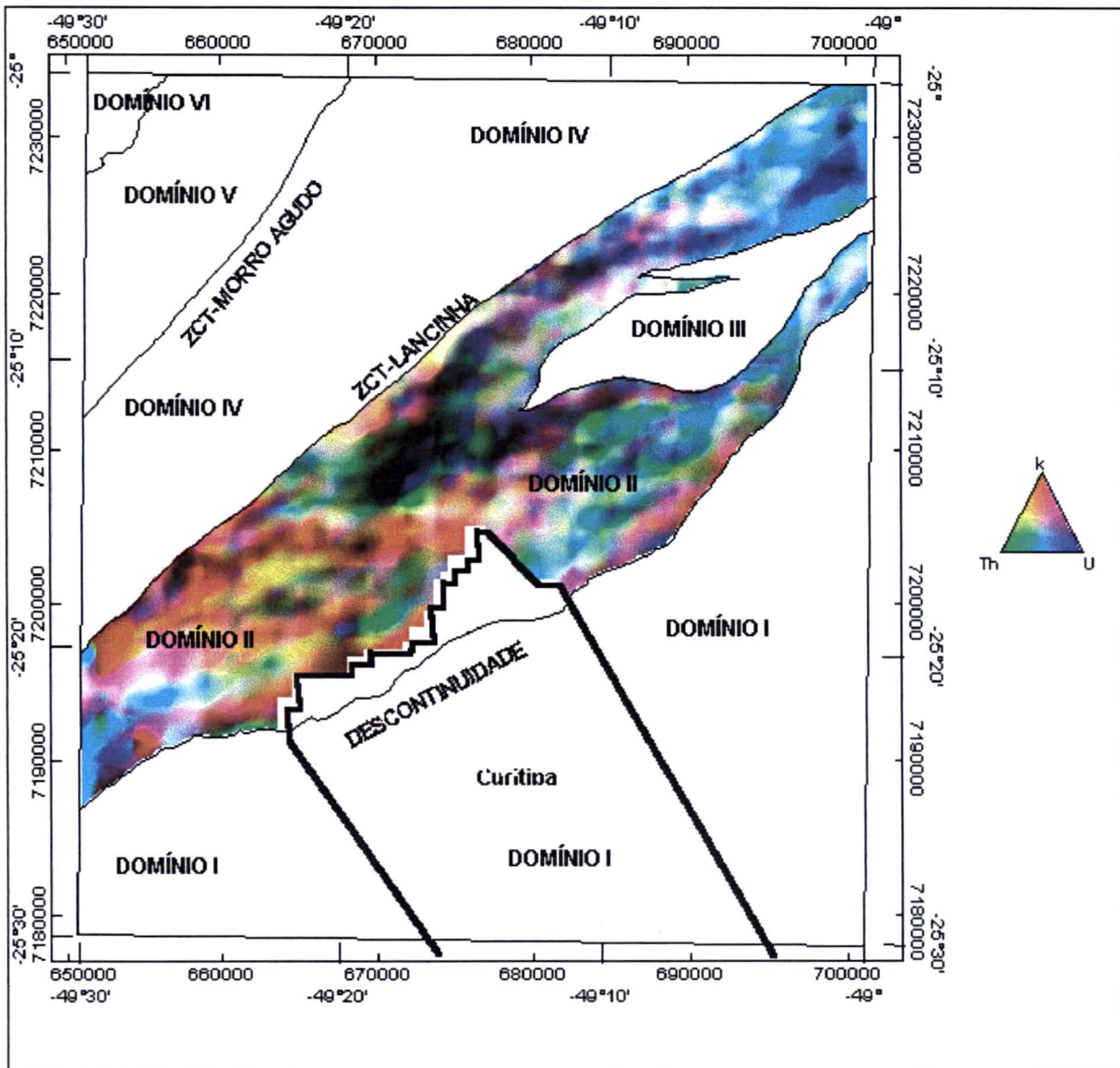


#### 6.4.2 – Domínio II

Encontra-se limitado a sul, por descontinuidade que põe em contato as rochas do Complexo Atuba e a norte pela zona de cisalhamento transcorrente da Lancinha. Apesar de Silva *et al.* (1998) considerarem o aqui denominado Domínio III como representativo da exposição de rochas do embasamento (antiforme do Setuva), resolveu-se tratá-lo a parte em função das suas características gamaespectrométricas. Um dos aspectos mais marcantes deste domínio (Figura 84), são as perfeitas assinaturas dos metacalcários dolomíticos (Mc2 e Mc9) caracterizadas por tonalidades escuras denotando baixas contribuições de potássio, tório e urânio.

Notável é a definição da Formação Capiru, nos contatos a sul com o Complexo Atuba, através da descontinuidade de médio ângulo e a norte com a Formação Votuverava, através da zona de cisalhamento transcorrente da Lancinha. Em ambos os contatos registra-se a ocorrência dos três radionuclídeos, entretanto os teores de potássio destacam-se, conforme pode ser melhor visualizado na fusão das imagens gamaespectrométricas (composição RGB de K, Th e U) e de satélite da Figura 93. Os demais aspectos de variabilidade espacial já foram comentados nos itens anteriores.

FIGURA 84 – MAPA TERNÁRIO DO DOMÍNIO TECTONO-ESTRUTURAL II

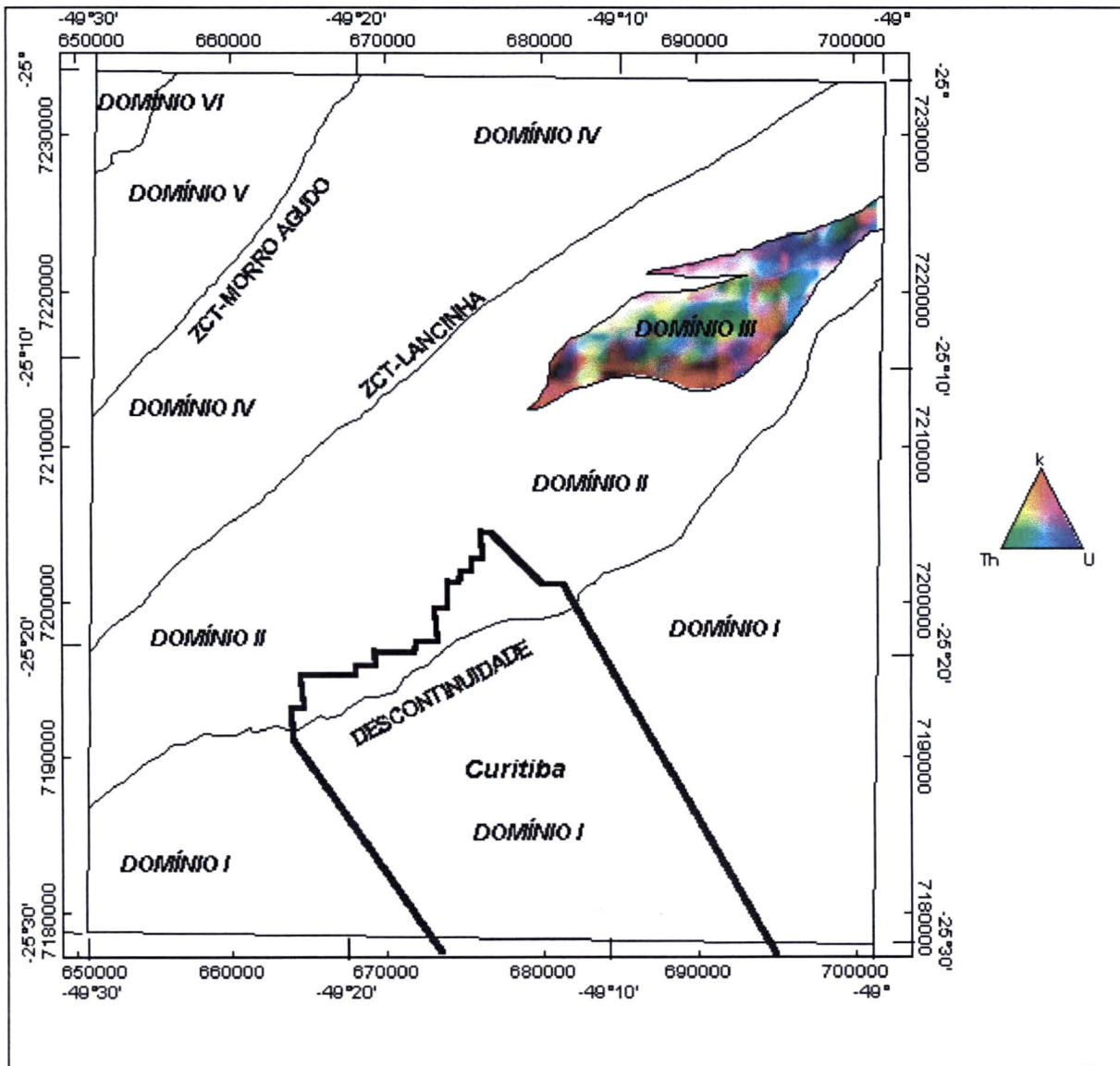


### 6.4.3 – Domínio III

Este domínio representa uma janela estrutural composta por rochas do Complexo Atuba. De acordo com o mapa geológico anexo, seu limite meridional é representado por uma zona de cisalhamento enquanto que o limite setentrional é limitado por zona de cavalgamento. As assinaturas gamaespectrométricas da Figura 85 revelam elevados teores de potássio acompanhando as estruturas de médio e alto ângulos, conforme já verificado e realçado na Figura 93. O mesmo não ocorre com estruturas de baixo ângulo. Assim sendo, é possível que a gamaespectrometria possa ser uma ferramenta útil na distinção entre tectônicas de cavalgamento e transcorrentes.

Um outro aspecto muito importante diz respeito ao padrão gamaespectrométrico do Domínio III, o qual é totalmente distinto do Domínio II e extremamente similar ao Domínio I, conforme observado na composição RGB do potássio, do urânio e do tório fundida com a imagem de satélite (Figura 93). Esta foi a razão principal da separação do Domínio III do Domínio II, em contraposição a Silva *et al.* (*op. cit.*).

FIGURA 85 – MAPA TERNÁRIO DO DOMÍNIO TECTONO-ESTRUTURAL III



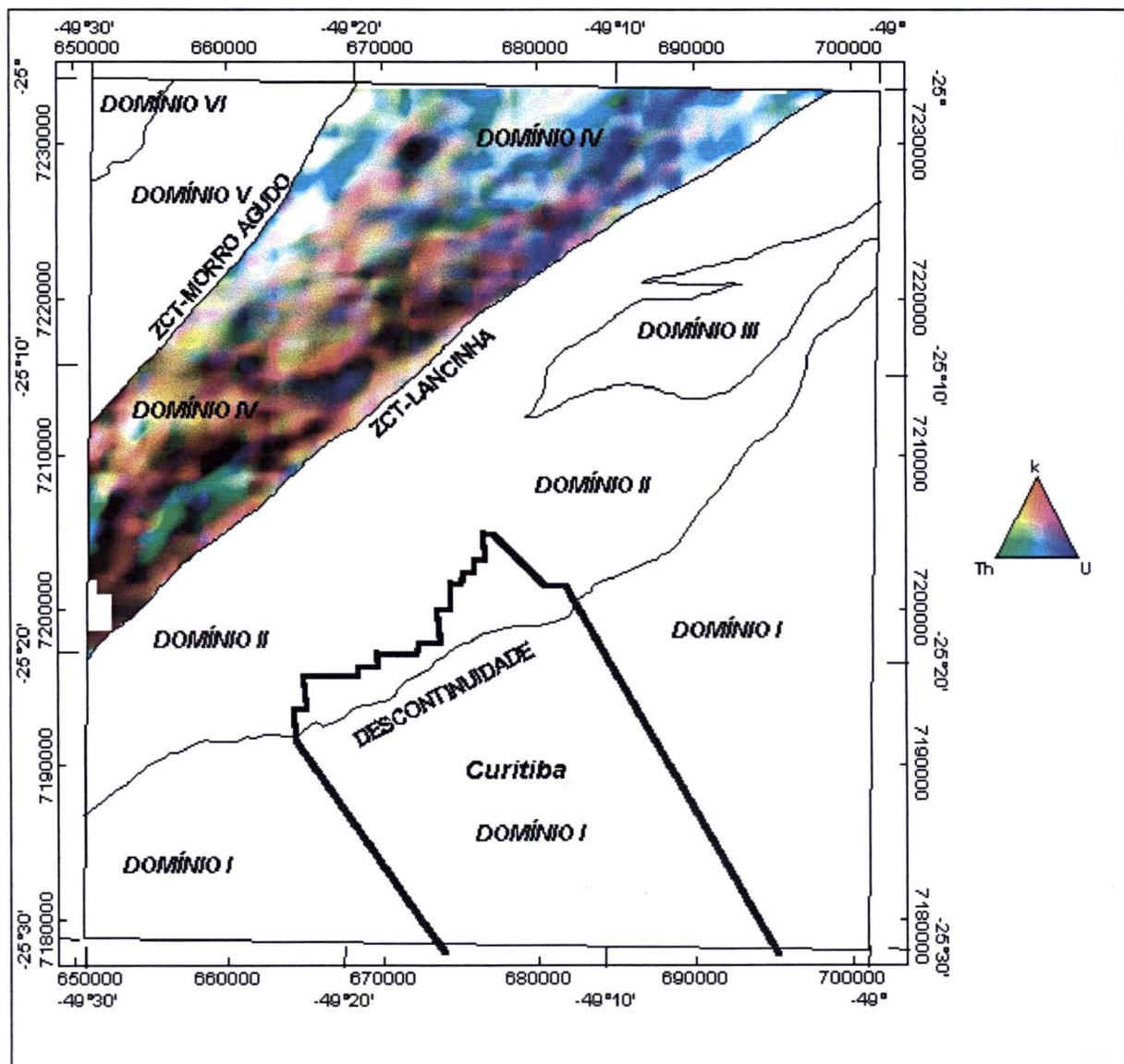
#### 6.4.4 – Domínio IV

Compreendido entre as zonas de cisalhamento da Lancinha a norte e Morro Agudo a sul, o Domínio IV (Figura 86) apresenta alguns aspectos interessantes. As tonalidades escuras (teores muito baixos de radionuclídeos) aparecem com destaque, representando as rochas metabásicas intercaladas na unidade metavulcanossedimentar da Formação Votuverava, a exceção da extremidade NE da unidade Mv3 interpretada pela predominância de metarenitos.

Este domínio é caracterizado pela abundância de urânio e tório no seu segmento setentrional, em contraste com a forte presença de potássio no segmento meridional. As ocorrências de potássio, tório e urânio (tonalidades claras) são registradas na porção NW deste domínio, reflexo da presença do granito Piedade, além do predomínio de tório nas rochas do Complexo Meia Lua.



FIGURA 86 – MAPA TERNÁRIO DO DOMÍNIO TECTONO-ESTRUTURAL IV

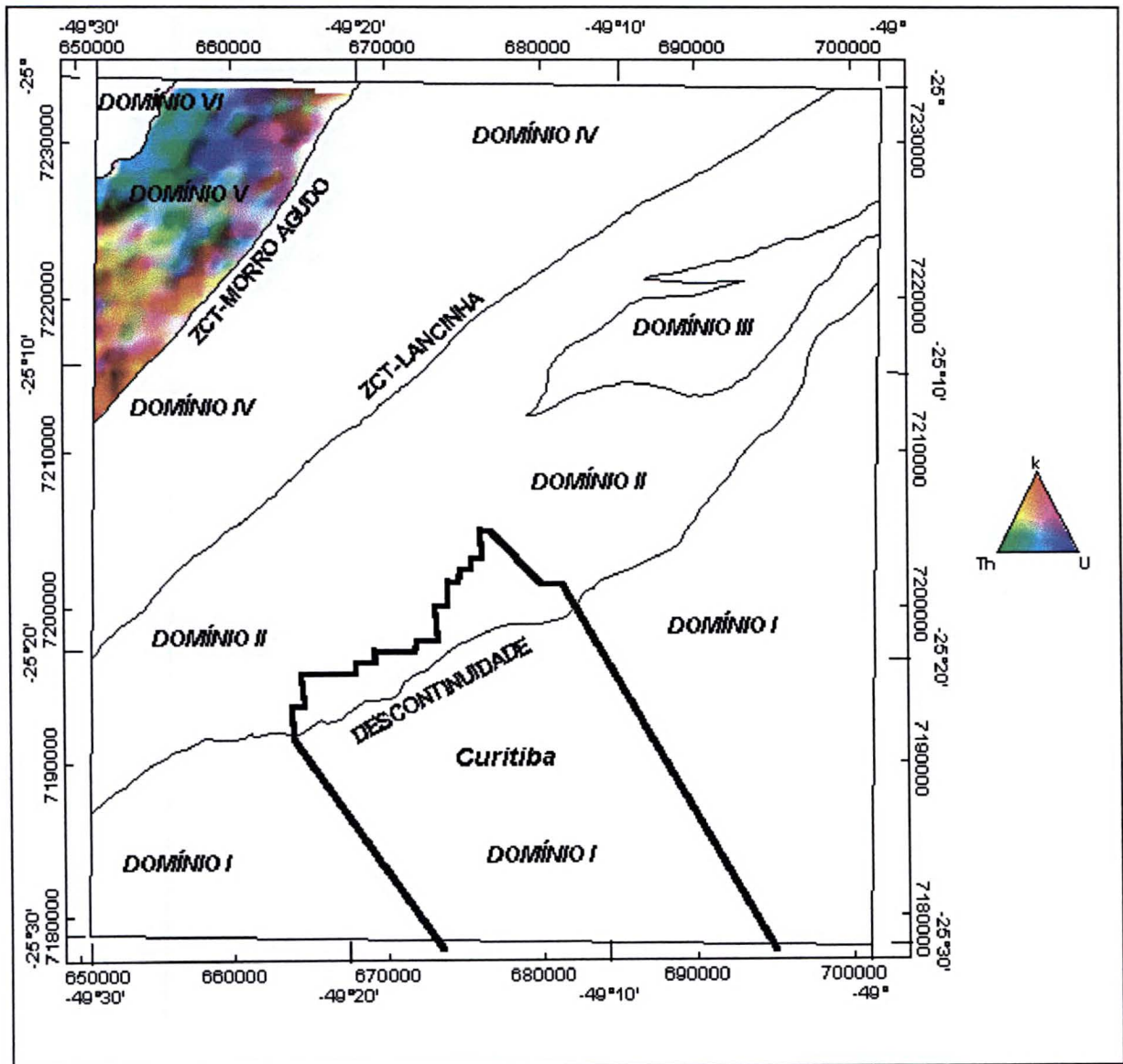


#### 6.4.5 – Domínio V

Este domínio é limitado a sul pela zona de cisalhamento transcorrente de Morro Agudo e a norte através do contato com o granito Três Córregos (Figura 87). Neste também observa-se concentrações elevadas de potássio permeando a zona de transcorrência. Uma característica importante é a definição da unidade de quartzo-mica xistos, metamargas e mármore (Mac1), caracterizada por teores significativos de tório e urânio.

No restante do domínio observa-se predominância de potássio e tório no segmento meridional, enquanto que no setentrional são verificadas maiores contribuições de urânio e tório com núcleos de potássio.

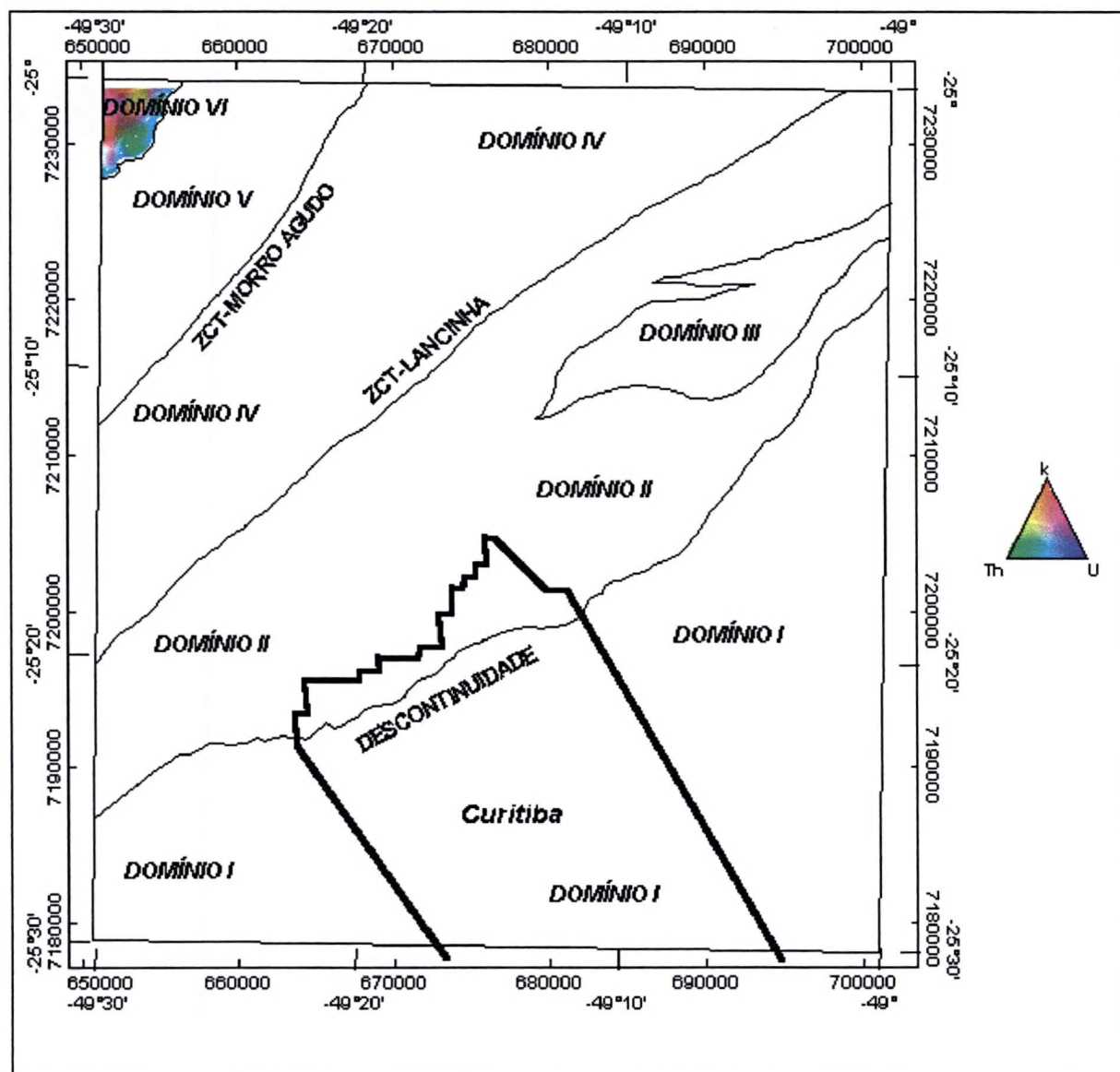
FIGURA 87 – MAPA TERNÁRIO DO DOMÍNIO TECTONO-ESTRUTURAL V



## 6.4.6 – Domínio VI

É caracterizado pelo granito Três Córregos cujo mapa ternário é mostrado na Figura 88. A variabilidade espacial deste granito já foi comentada no item 6.2.9.

**FIGURA 88 – MAPA TERNÁRIO DO DOMÍNIO TECTONO-ESTRUTURAL VI**

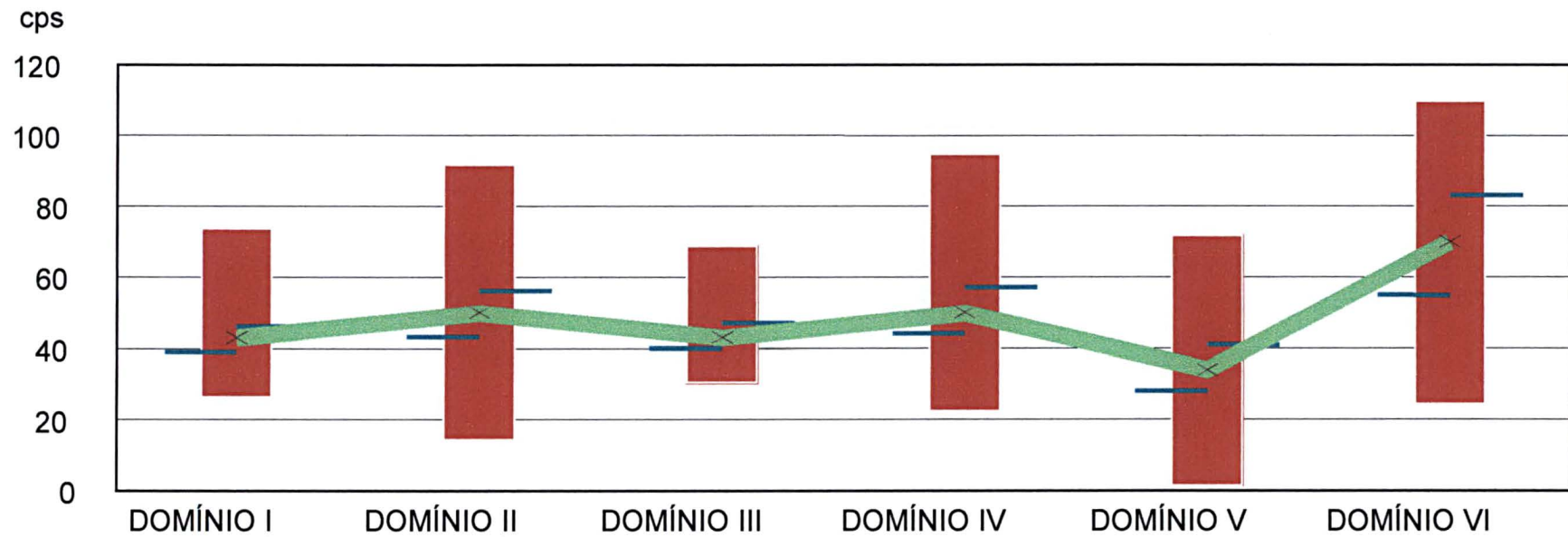


#### 6.4.7 – Síntese dos domínios tectono-estruturais

Encerrando a análise gamaespectrométrica dos domínios tectono-estruturais, as figuras 89, 90 e 91 apresentam as suas estatísticas. Os seguintes aspectos podem ser levantados: a maior média de potássio no Domínio VI é decorrente do granito Três Córregos; a maior ocorrência de tório no Domínio III (rochas do Complexo Atuba) e a maior variabilidade deste radionuclídeo no Domínio IV; médias em torno de 15cps para o urânio e pronunciadas variabilidades para os Domínios V e II. Uma síntese dos valores médios de K, Th e U em cada domínio é apresentada na tabela 9.

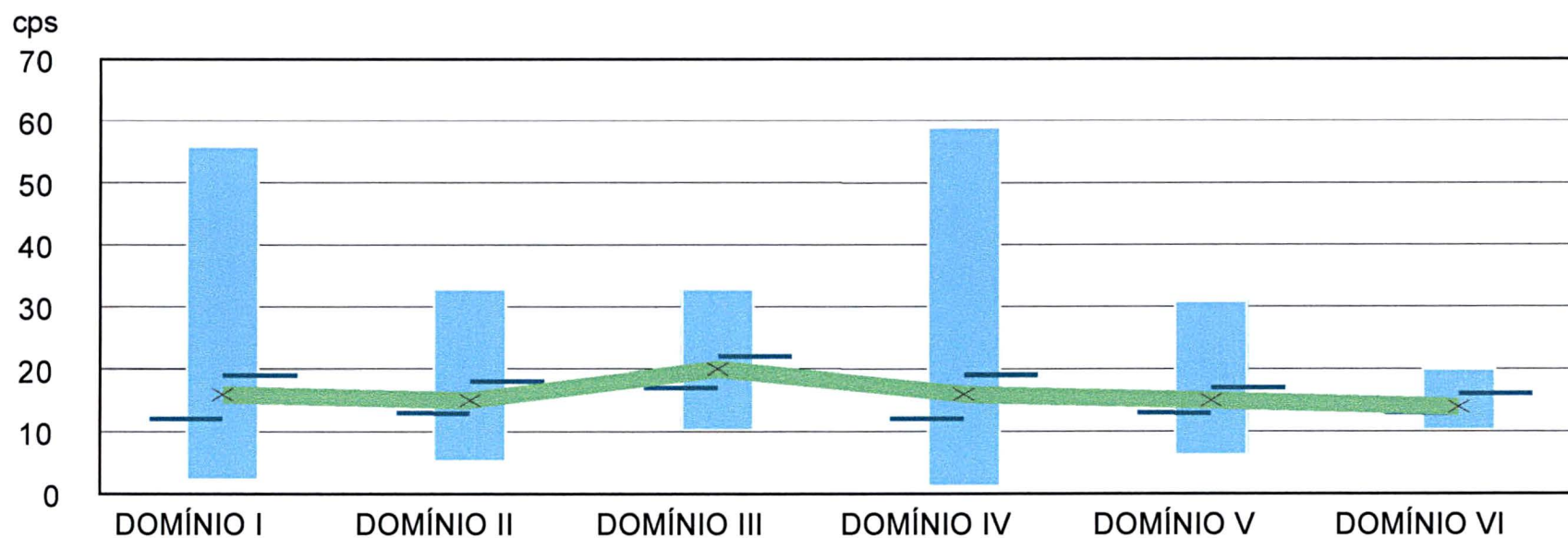
Finalmente, são apresentados os mapas finais dos domínios estruturais. O primeiro mostra todos os domínios a partir da composição ternária dos três radionuclídeos (Figura 92); o segundo, apresentado na Figura 93, mostra os domínios através da fusão da imagem gamaespectrométrica (composição RGB de K, Th e U) com a imagem de satélite TM-Landsat (banda 4), o qual foi bastante útil para definição de padrões gamaespectrométricos nos domínios selecionados. Por último é apresentado uma seqüência de mapas ilustrando os domínios estruturais associados ao modelo digital de terreno com as seguintes direções de pseudoiluminação: N45E (Figura 104); N45W (Figura 95) e NS (Figura 96), que apesar de não terem sido mencionados anteriormente foram muito úteis na compreensão da variabilidade espacial dos radionuclídeos levando em consideração a dinâmica da paisagem.

FIGURA 89 – ESTATÍSTICA DO POTÁSSIO NOS DOMÍNIOS ESTRUTURAIS



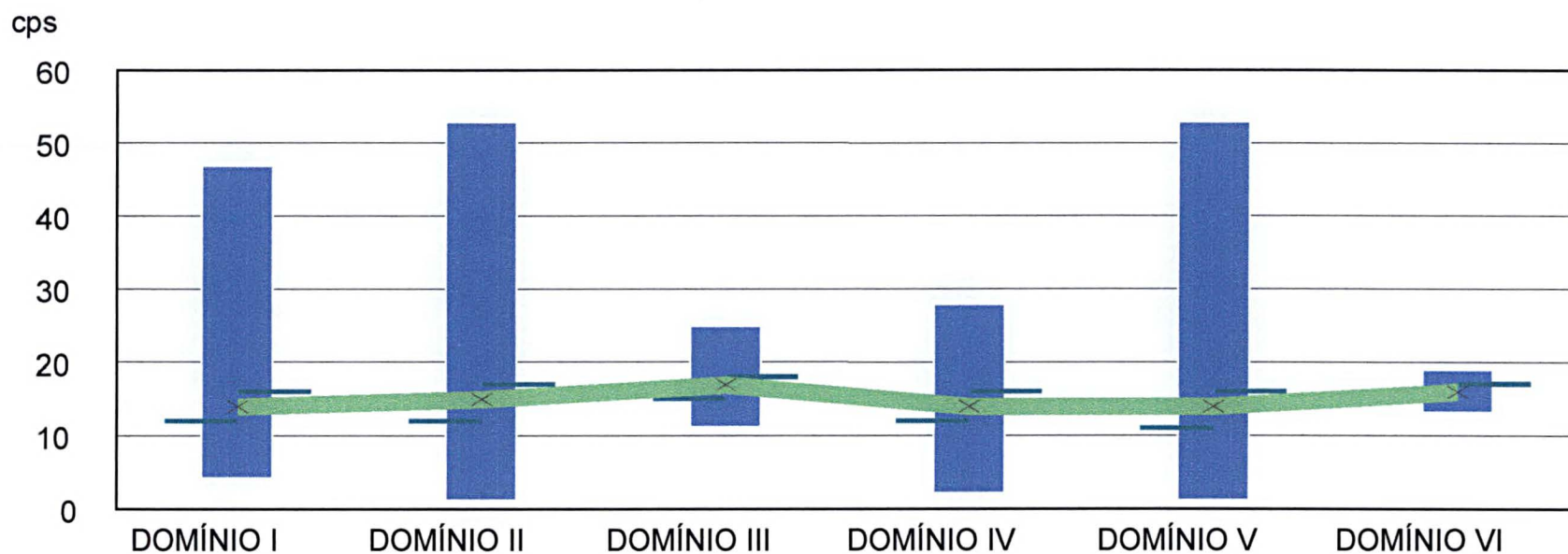
Potássio (cps)	DOMÍNIO I	DOMÍNIO II	DOMÍNIO III	DOMÍNIO IV	DOMÍNIO V	DOMÍNIO VI
Mínimo	26	14	30	22	1	24
25%	39	43	40	44	28	55
Mediana	42	50	42	50	34	73
75%	46	56	47	57	41	83
Máximo	74	92	69	95	72	110
Média	43	50	43	50	34	70
Desvio Padrão	5,8	9,9	6,0	8,9	11,3	18,3

FIGURA 90 – ESTATÍSTICA DO TÓRIO NOS DOMÍNIOS ESTRUTURAIS



Tório (cps)	DOMÍNIO I	DOMÍNIO II	DOMÍNIO III	DOMÍNIO IV	DOMÍNIO V	DOMÍNIO VI
Mínimo	2	5	10	1	6	10
25%	12	13	17	12	13	13
Mediana	15	15	20	15	15	14
75%	19	18	22	19	17	16
Máximo	56	33	33	59	31	53
Média	16	15	20	16	15	14
Desvio Padrão	7,3	3,6	3,7	6,1	2,8	6,2

**FIGURA 91 – ESTATÍSTICA DO URÂNIO NOS DOMÍNIOS ESTRUTURAIS**



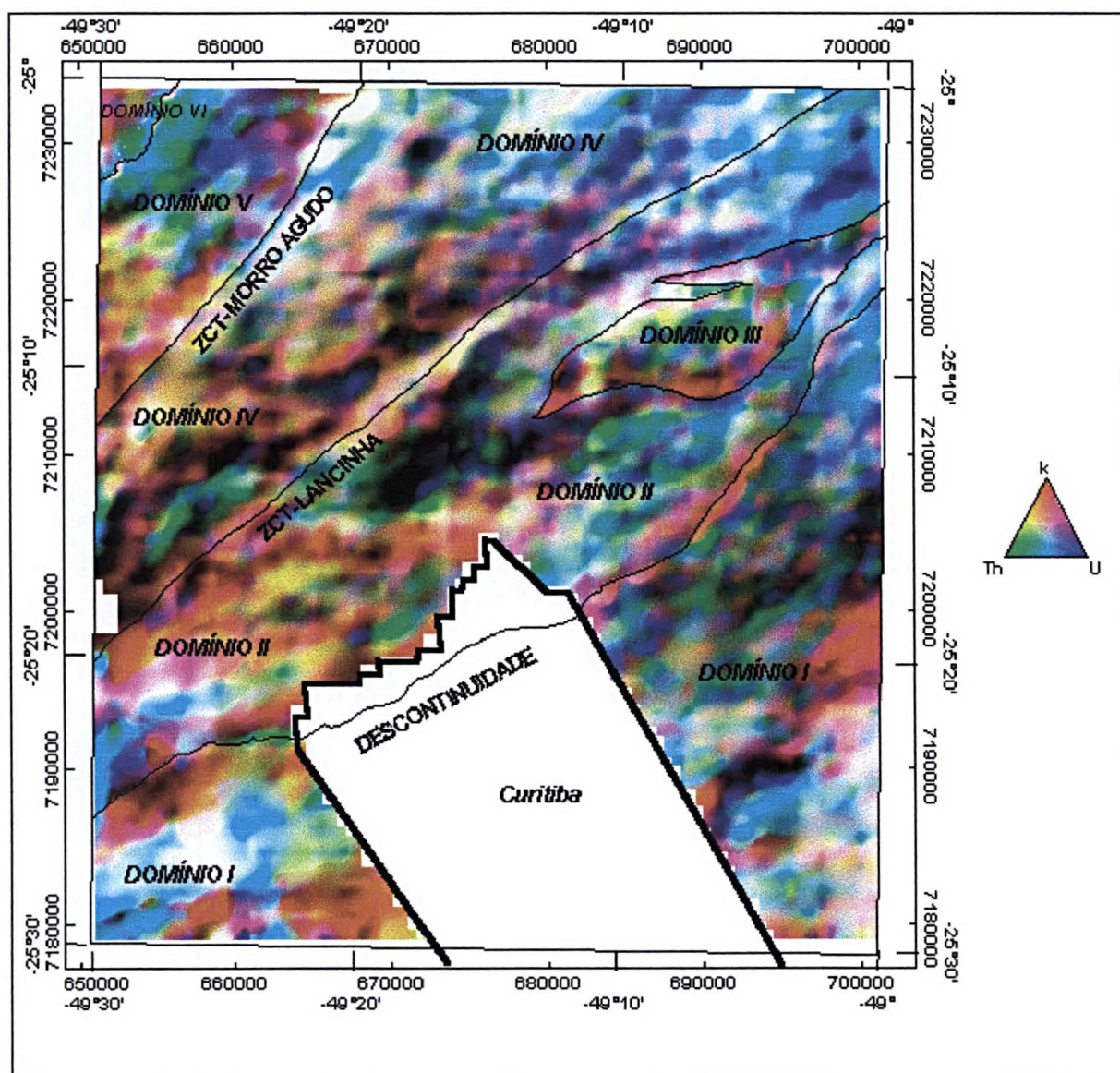
Urânio (cps)	DOMÍNIO I	DOMÍNIO II	DOMÍNIO III	DOMÍNIO IV	DOMÍNIO V	DOMÍNIO VI
Mínimo	4	1	11	2	1	13
25%	12	12	15	12	11	15
Mediana	14	14	17	14	13	16
75%	16	17	18	16	16	17
Máximo	47	53	25	28	53	19
Média	14	15	17	14	14	16
Desvio Padrão	5,4	4,2	2,2	3,5	6,2	1,4



**TABELA 9 – COMPORTAMENTO MÉDIO DE K, Th e U NOS PRINCIPAIS  
DOMÍNIOS TECTONO-ESTRUTURAIS DA FOLHA CURITIBA**

DOMÍNIO	Potássio (cps)	Tório (cps)	Urânio(cps)
DOMÍNIO I	43	16	14
DOMÍNIO II	50	15	15
DOMÍNIO III	43	20	17
DOMÍNIO IV	50	16	14
DOMÍNIO V	34	15	14
DOMÍNIO VI	70	14	16

FIGURA 92 – MAPA TERNÁRIO DOS DOMÍNIOS TECTONO-ESTRUTURAIS



**FIGURA 93 – FUSÃO ENTRE A COMPOSIÇÃO RGB (K-Th-U) E A IMAGEM DE SATÉLITE BANDA 4**

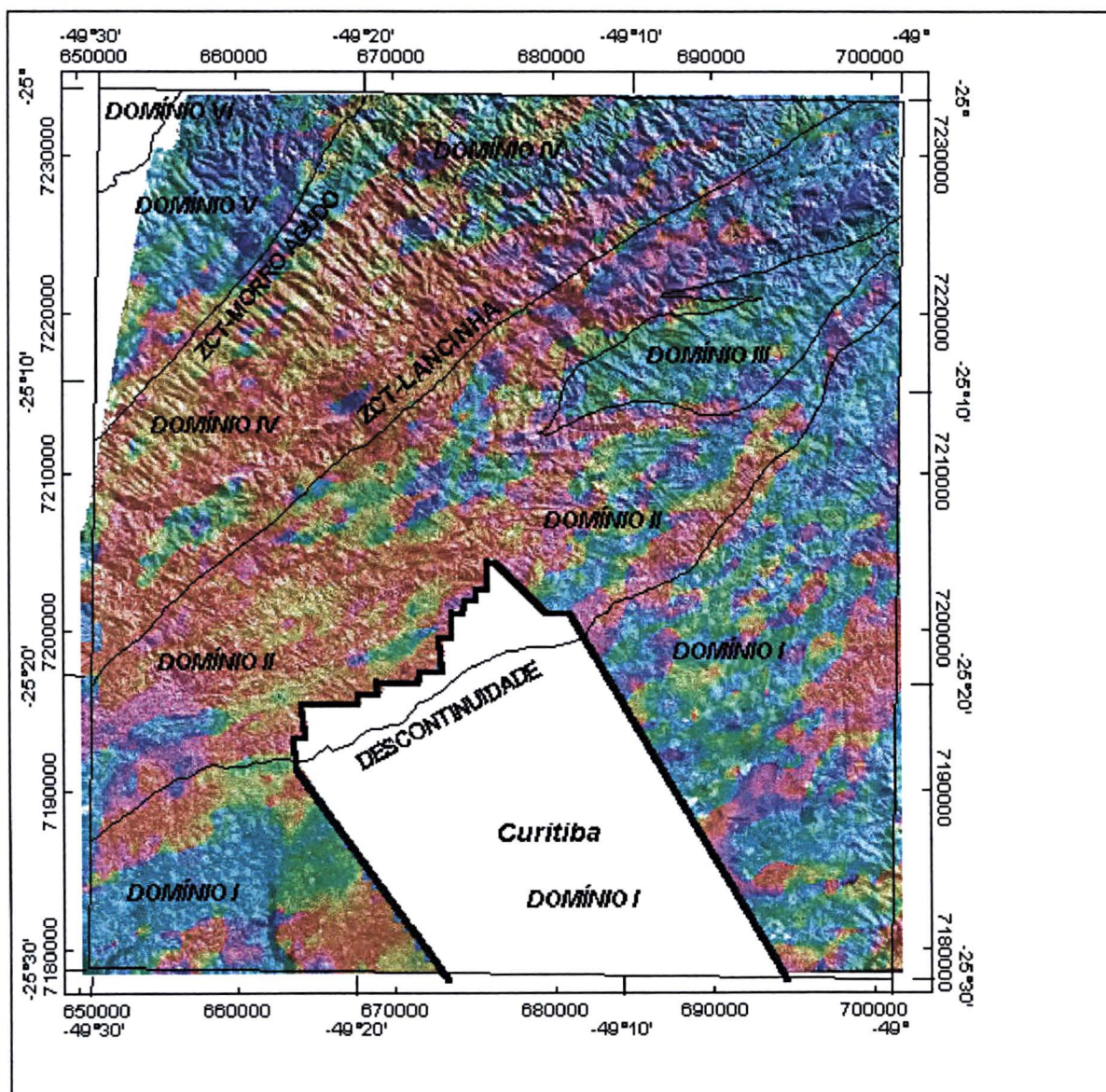


FIGURA 94 – MAPA DE DOMÍNIOS E MDT PSEUDO-ILUMINADO (N45E)

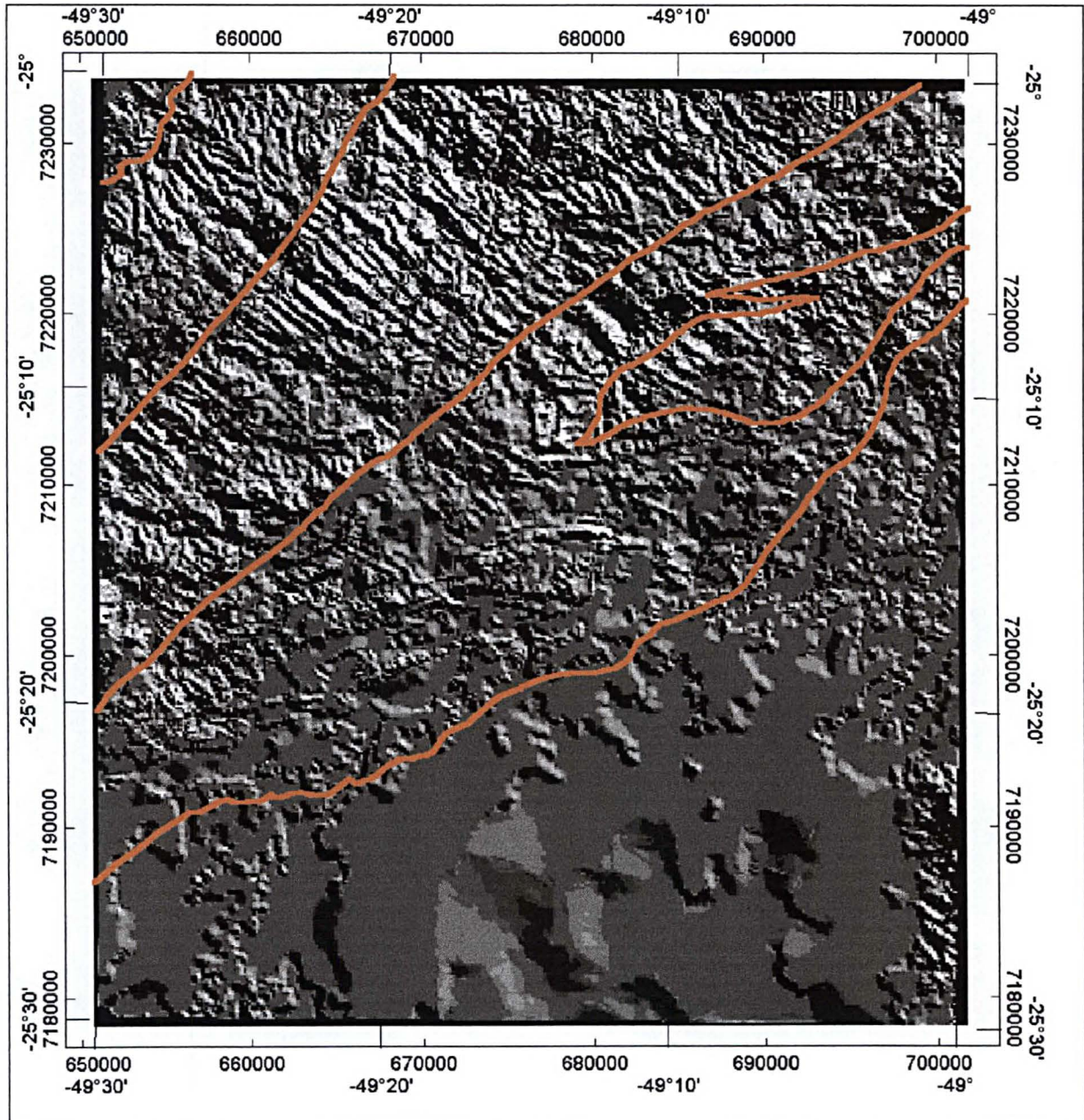


FIGURA 95 – MAPA DE DOMÍNIOS E MDT PSEUDO-ILUMINADO (N45W)

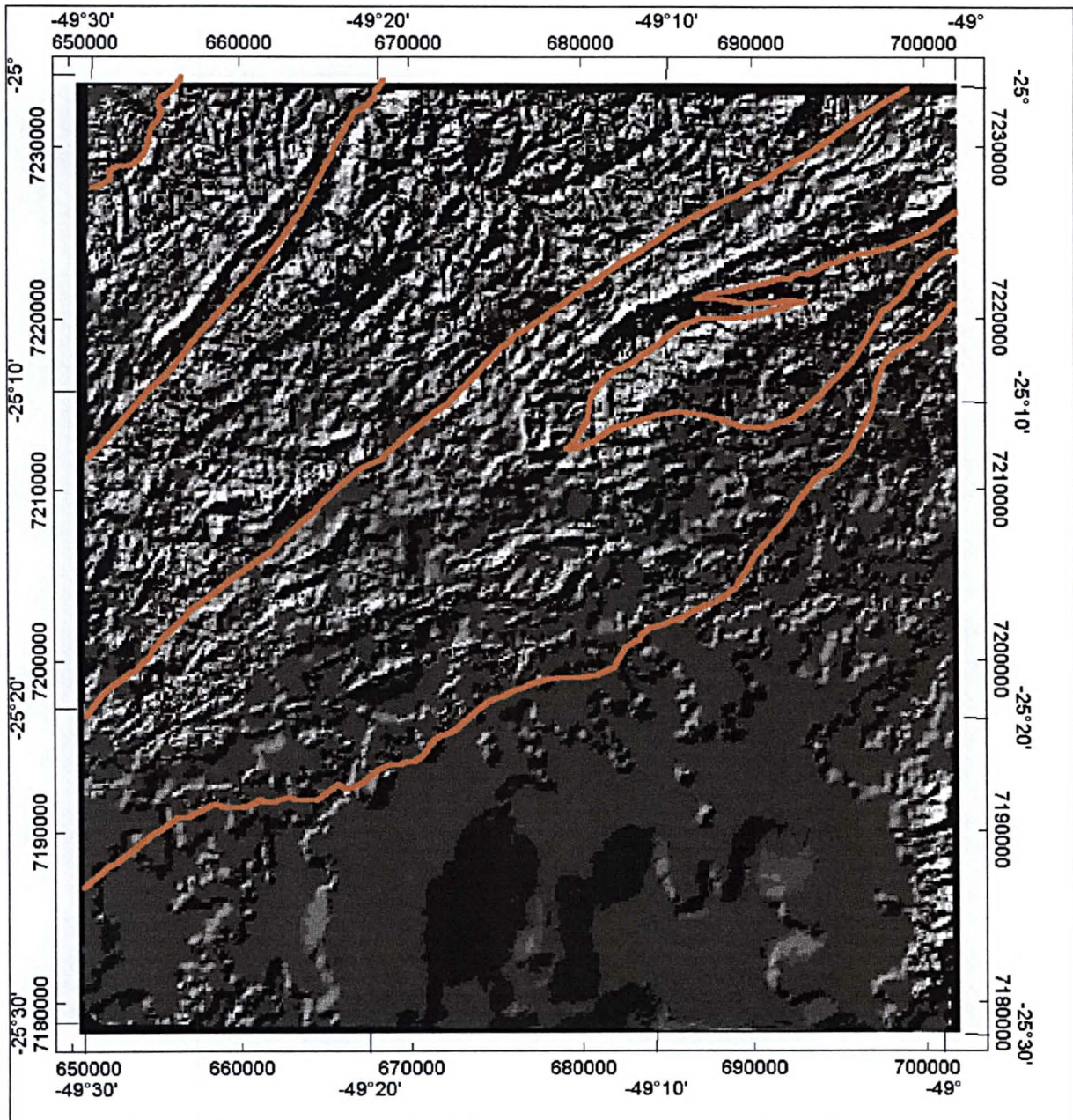
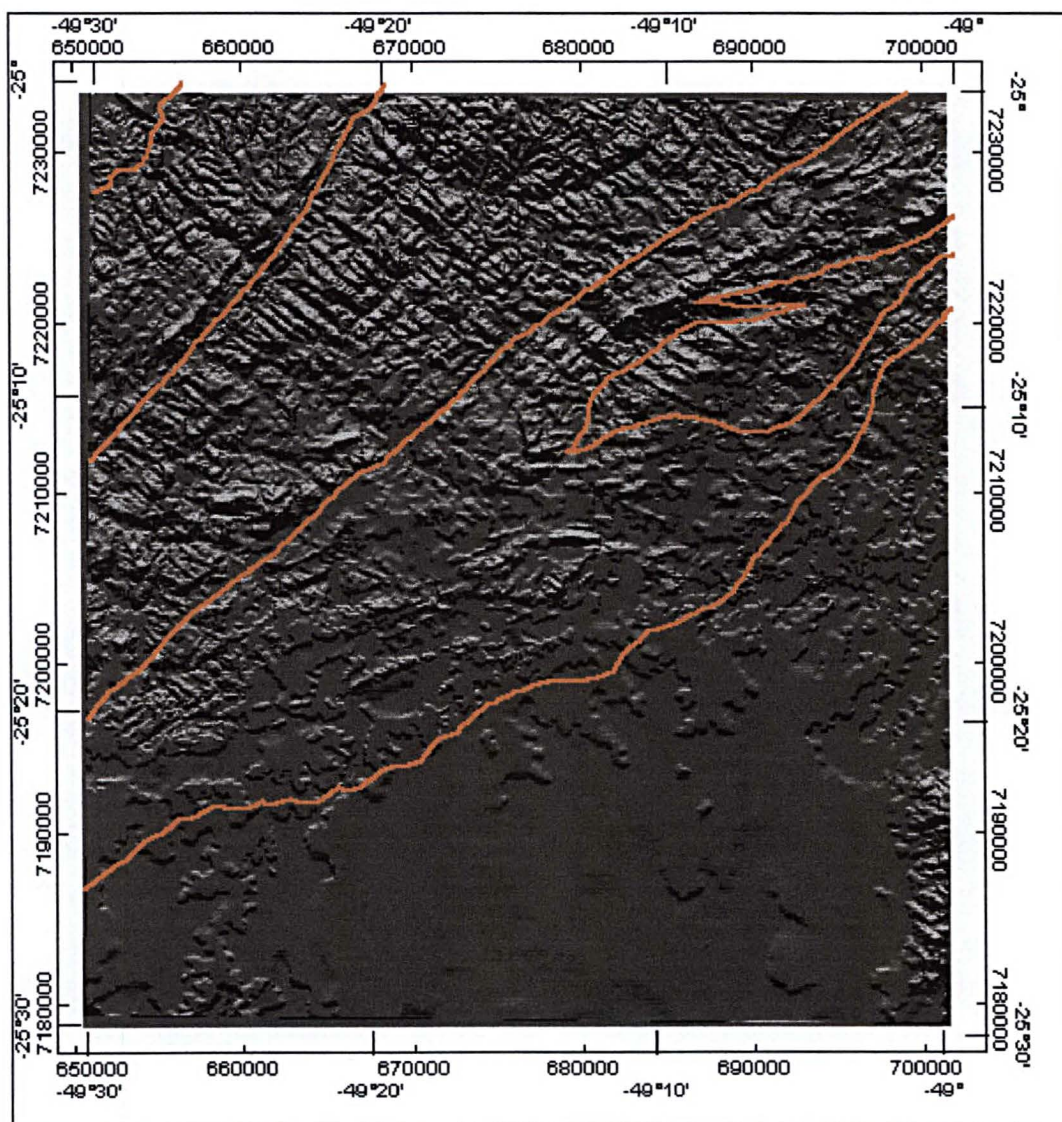


FIGURA 96 – MAPA DE DOMÍNIOS E MDT PSEUDO-ILUMINADO (N-S)



## 7 – CONCLUSÕES

A metodologia empregada permitiu analisar de forma acurada o comportamento das variáveis gamaespectrométricas na área de estudo, cujos resultados mais significativos são os seguintes:

- A análise geral mostrou a clara diferenciação dos padrões de assinatura do potássio entre as rochas do Complexo Atuba e da Formação Capiru, assim como do granito Três Córregos em relação as rochas da Formação Água Clara. Os mapas do tório e do urânio apresentam similaridades em várias regiões, notadamente nas porções NE e SW da folha onde fortes anomalias foram constatadas.
- A abordagem por unidades litoestratigráficas permitiu visualizar qualitativamente a variabilidade espacial dos radionuclídeos (K, Th e U) no interior de cada unidade, associada a fatores litológicos, tectônicos e de relevo. Quantitativamente foi possível verificar a contribuição dos radioisótopos nos diversos compartimentos dos complexos e formações. As maiores concentrações de potássio, tório e urânio se encontram nas unidades graníticas e na Seqüência Perau, enquanto as menores encontram-se na Formação Betara e no Complexo Meia Lua.
- A reorganização do mapa geológico em agrupamentos caracterizados pela similaridade litológica, permitiu a análise do comportamento radiométrico nas principais litologias da área. Nesta abordagem ressalta-se que as maiores médias dos três radionuclídeos encontram-se nos granitos, além de se verificar uma elevação destes teores nos gnaisses em função da unidade de biotita gnaisses do Complexo Atuba. Outro aspecto importante foi o registro de elevados teores de potássio nos metassedimentos provenientes das unidades de filitos da Formação Capiru
- Os domínios estruturais foram bem caracterizados por diferentes padrões de assinaturas geofísicas, onde destaca-se a definição dos contatos da Formação Capiru através de descontinuidade de médio ângulo a sul e da ZCT da Lancinha a norte, os quais são nitidamente definidos pela presença significativa de potássio. Outro aspecto importante diz respeito a diferenciação gamaespectrométrica entre os domínios II e III, este último caracterizado por maiores contagens de urânio e tório,

em contraposição ao domínio II com maiores concentrações de potássio. Estes aspectos são muito bem visualizados através da fusão entre a imagem de satélite e a composição RGB de K, Th e U.

Enfim, os resultados obtidos a partir da metodologia empregada não só atenderam aos objetivos propostos, como também possibilitaram levantar alguns questionamentos a respeito de posicionamento/contato de vários corpos, com base na integração gamespectrométrica-geológica.



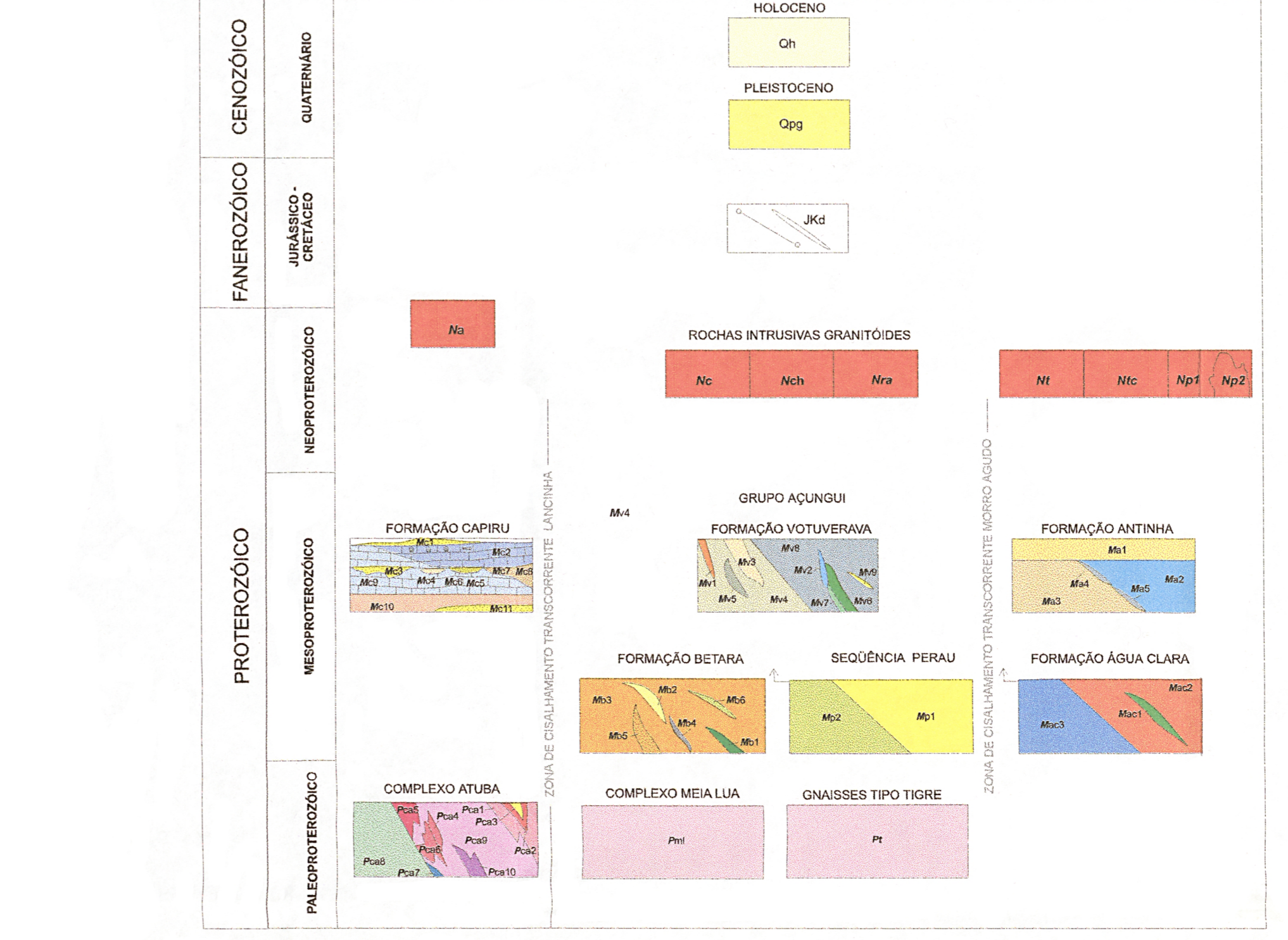
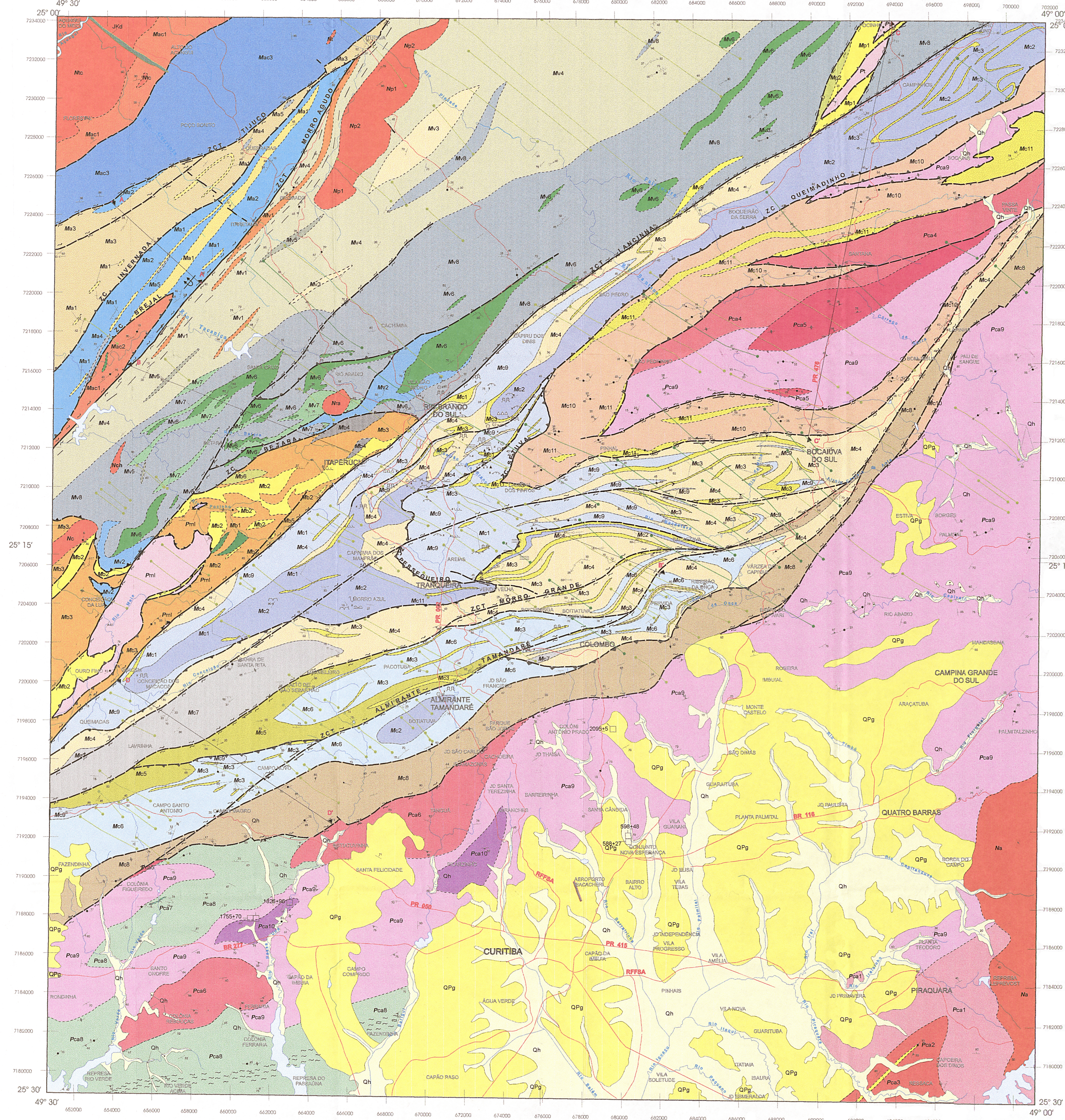
## 8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDERSON, H.; NASH, C. Integrated lithostructural mapping of the Rössing Area, Namibia using high resolution aeromagnetic, radiometric, landsat data and aerial photographs. **Exploration Geophysics**, Australia, v.28, p. 185-191. 1997.
2. BICHO, C. P. **Processamento digital de imagens aerogeofísicas, Landsat/TM e radar na folha Presidente Médici/RO com ênfase na caracterização metalogenética da suíte granítica Rio Pardo**. Campinas, 1994, Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. 210p.
3. BRIGGS, I. C. Machine Contouring using minimum curvature. **Geophysics**. Denver, v. 39, n. 1 p.39-48. 1974.
4. BURROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. 3. Ed. Oxford: Clarendon Press, 190p., 1987.
5. CARVALHO, M. T. N. DE. **Integração de dados Geológicos, geofísicos e geoquímicos aplicados à prospecção de ouro nos *greenschist belts* de Pilar de Goiás e Guarinos, Go**. Brasília, 1999, Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 187 p.
6. COMEC Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba, **Mapa planimétrico da Folha Curitiba SG.22-X-D-I**, Curitiba: COMEC, 1989. Escala 1:100.000.
7. CORDEIRO DA SILVA, D. **Espectrometria de raios gama aplicada na classificação de granitóides**. São Paulo, 1994. Dissertação de Mestrado - Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, 83p.
8. CORDEIRO DA SILVA, D.; MANTOVANI, M.S.M. Projeto Aerogeofísico Serra do Mar Sul: uma abordagem semi-quantitativa. **Revista Brasileira de Geociências**. São Paulo: SBG: v.24, n.2, p.120-127, 1994.
9. CPRM Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, **Mapa geológico da Folha Curitiba SG.22-X-D-I**, São Paulo: CPRM, 1998. Escala 1:100.000.
10. CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. ed. rev. Campinas, SP: IG/UNICAMP, 170 p., 1993.
11. DICKSON, B. L.; SCOTT, K.M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys – adding the geochemical factors. **AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics**, Australia, v.17, n.2, p. 187-200. 1997.

12. DAUTH, C. Airbone magnetic, radiometric and satellite imagery for regolith mapping in the Yilgarn Craton of western Australia. **Exploration Geophysics**, Australia, v.28, p. 199-203. 1997.
13. DSG Ministério do Exército, **Mapa topográfico da Folha Curitiba SG.22-X-D-I**, Rio de Janeiro, 1977. Escala 1:100.000.
14. DUVAL, J.S. Composite color images of aerial gamma-ray spectrometric data. **Geophysics**, Denver. v. 48, n. 6, p. 722-735, 1983
15. FIORI, A. P. **Lineamentos tectônicos e possíveis mineralizações associadas no pré-cambriano paranaense**. Curitiba: Convênio UFPR/MINEROPAR, 261p., 1984.
16. FIORI, A. P. A falha da Lancinha no pré-cambriano paranaense: reflexo de uma falha profunda? **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, v. 36, p. 3-14, 1985.
17. GALBRAITH, J.H.; SAUNDERS F. D. Rock classification of aerial gamma-ray measurements. **Journal of Geochemical Exploration**, Amsterdam v. 18, p. 49-73, 1983.
18. GEOFOTO. **Projeto Serra do Mar Sul**. Rio de Janeiro, (s.n.) Relatório Final, 120 p. (inédito). 1978.
19. GEOSOFT. Program Copyright © Geosoft *Inc.* 1994.
20. GEOSOFT. Geosoft Magmap 2-D Frequency Domain Processing. Geosoft, *Inc.*, Toronto. 1994.
21. GEOSOFT. Geosoft Mapping and Processing System. Geosoft, *Inc.*, Toronto. 1995
22. GILLESPIE, A. R.; KAHLE, A. B.; WALKER, R. E. Color enhancement of highly correlated images: decorrelation and HSI contrast stretches. **Remote Sensing Environment**, v. 20, p. 209 - 235, 1986.
23. GUNN, P. An introduction to aeromagnetic interpretation. AGSO, **Journal of Australian Geology and Geophysics**, v.17, n.2, p.1-216, 1997
24. GUPTA, R. P. **Remote Sensing Geology**. 1. Ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 230p., 1991.
25. HARDING, A. E. & FORREST, M. D. Analysis of multiple geological datasets from English Lake District. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v 27, n. 6, p.732 - 738, Nov. 1989.

26. HARRIS, J. R.; MURRAY, R.; HIROSE, T. IHS transform for their integration of radar imagery with other remotely sensed data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, ASPRS**, v. 56, n. 12, p. 1631 -1641, Dec. 1990.
27. KLIMOV, A. **Nuclear Physics and Nuclear Reactors**. 1. Ed. Moscow: Mir Publishers, 405p., 1975.
28. MILLIGAN, P.R. & GUNN, P.J. Enhancement and presentation of airborne geophysical data. AGSO, **Journal of Australian Geology & Geophysics**, v.17, n.2, p.63 -75, 1997
29. MINTY, B. R. S. Fundamental of airborne gamma-ray spectrometry. **AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics**, Australia, v. 17, n.2, p.39-50.1997.
30. PARRO, S. P. **Magnetometria e gamaespectrometria aerotransportadas na interpretação geológico-estrutural da região dos rios Juruena e Teles Pires - MT**. Brasília, 1998, Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. 300p.
31. PIRES, A. C. B. Identificação geofísica de áreas de alteração hidrotermal, Crixás – Guarinos, Goiás. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo: SBG. v. 25, n.1, p. 61-68
32. SHEFFIELD, D. C. Selecting band combinations from multispectral data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, **American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS)**, Falls Church, Virginia, v. 51, n. 6 p. 681-687, Jun. 1985.
33. SILVA, F.C.S.; Yamato, A. A.; Vasconcelos, C.S.; Lopes Jr., I. **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**. Curitiba, Folha SG.22-X-D-I, Estado do Paraná. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil, 1998. Relatório Final 96p.(inédito).
34. SOARES, P. C. Seqüências tecto-sedimentares e tectônica deformadora no centro-oeste do escudo paranense. *In*: Simpósio Sul Brasileiro de Geologia, 3, Curitiba, 1987, **Atas...** Curitiba: 1987 v.2, p. 743-771
35. SOUSA, J. L. de. **Anomalias aerogamaespectrométricas (K, Th e U) da quadrícula de Araras (SP) e suas relações com processos pedogenéticos e fertilizantes fosfatados**, Curitiba, 1998, Tese (Mestrado) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná. 250p.
36. TIDEY, A. J. **Seismic data acquisition**. Module 1 - G1 Courses Notes Horizon Exploration Ltd. England, 1982.

37. VASCONCELLOS, R. M.; METELO, M. S.; MOTA, A. C.; GOMES, R. D. **Geofísica em Levantamentos Geológicos**. Rio de Janeiro, CPRM, Divisão de Geofísica e Sensores Remotos, DIGEOF, 1990.
38. WILFORD, J.R.; BIERWIRTH, P.N.; CRAIG, M.A. Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology. **AGSO JOURNAL OF Australian Geology & Geophysics**, Australia, v. 17, n.2, p.201-216.1997.



UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

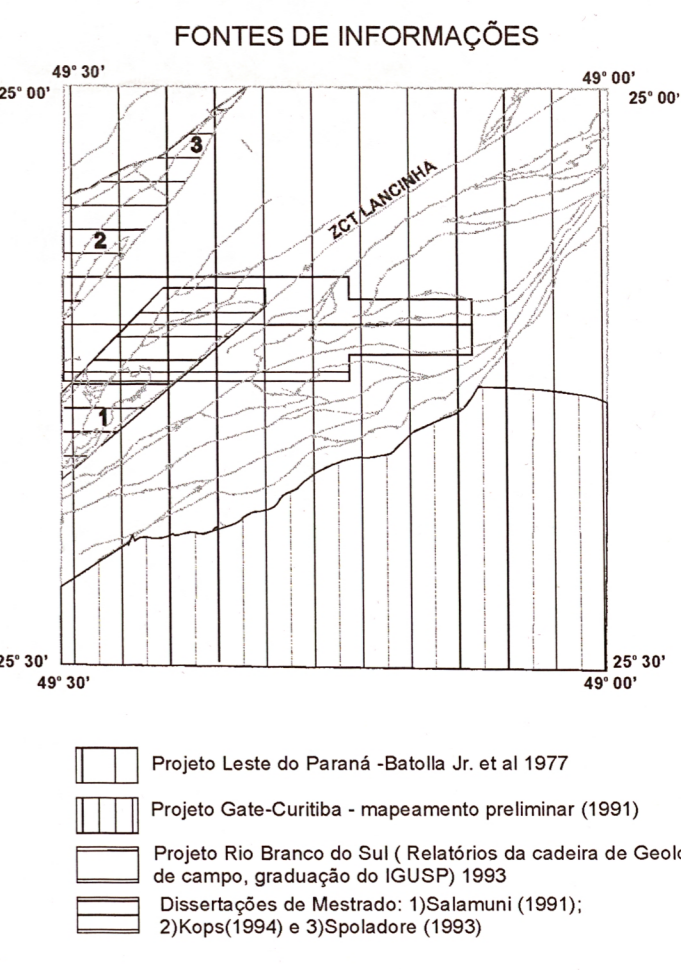
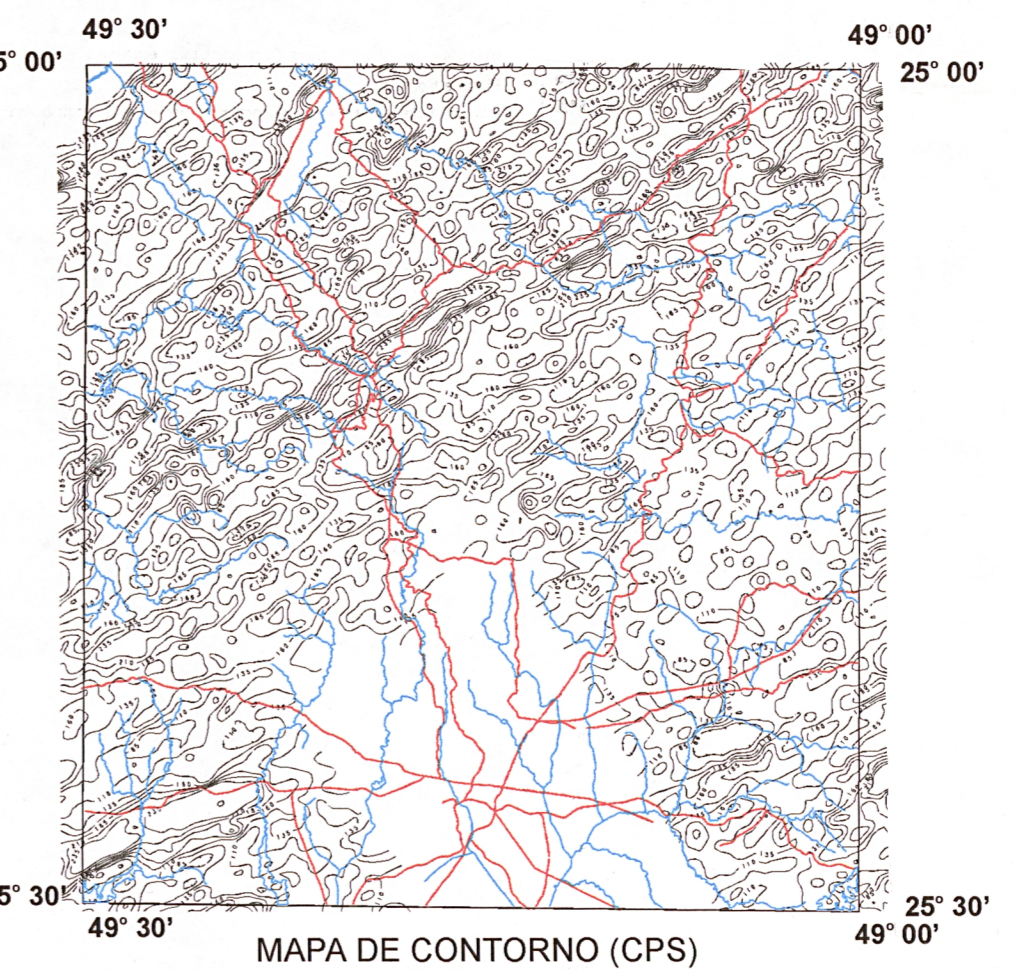
- QUATERNÁRIO
HOLOCENO
PLEISTOCENO
FORMAÇÃO QUARUPÉ
JURASSICO - CRETÁCEO
NEOPROTEROZOICO - CAMBIÁRIO
ROCHAS INTRUSIVAS GRANITÓIDES
MESOPROTEROZOICO
FORMAÇÃO ANTINHA
FORMAÇÃO VOTUVERAWA
FORMAÇÃO CAPIRU
FORMAÇÃO BETARA
SEQUÊNCIA PERAU
FORMAÇÃO ÁGUA CLARA
PALEOPROTEROZOICO
COMPLEXO MEIA LUA
GNÁSSIS TIPO TIGRE
COMPLEXO ATUBA

CONVENÇÕES ESTRUTURAIS

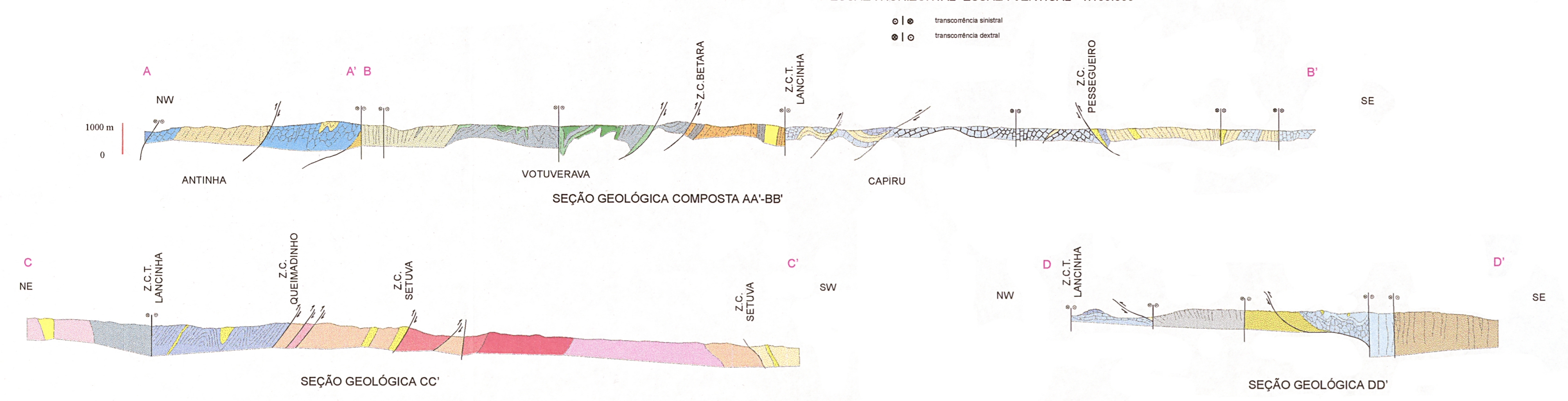
- Estruturas Tectônicas
Falhas
Linhações
Dobras maiores
Estruturas Sedimentares
Dobras sedimentares
Estruturas biogênicas
Dobras de cisalhamento
Dobras de dobramento
Dobras de dobramento
Dobras de dobramento

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Estrada pavimentada
Estrada de ferro
Drenagem
Reservatório



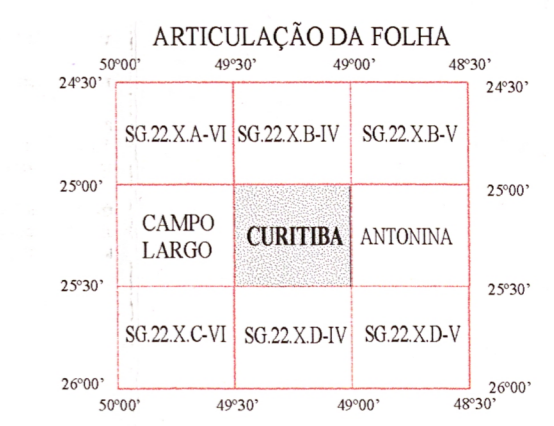
SEÇÕES GEOLÓGICAS: ESCALA HORIZONTAL=ESCALA VERTICAL= 1:100.000



Base cartográfica... Projeto de Escalas... Equipe Técnica...

Projeto de Escalas... Equipe Técnica... UFRJ...

LOCALIZAÇÃO DA FOLHA



CARTA GEOLÓGICA FOLHA CURITIBA

Escala 1:100.000

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

1998

CPRM Serviço Geológico do Brasil