

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**O complexo Granóide Cunhaporanga, PR: a base
georreferenciada para os estudos geofísicos,
mineralógicos e geoquímicos**

Luizemara Soares Alves



Monografia de Trabalho de Formatura

Banca Examinadora

Prof. Dr. Horst Peter Herberto Gustavo José Ulbrich

Prof. Dr. Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida

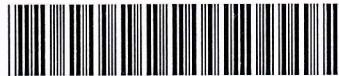
Prof. Dr. Marcelo Monteiro da Rocha

São Paulo

2006

Universidade de São Paulo
Instituto de Geociências

DEDALUS - Acervo - IGC



30900024386

O Complexo Granítóide Cunhaporanga, Paraná: a base georreferenciada para os estudos geofísicos, mineralógicos e geoquímicos.

Luizemara Soares Alves



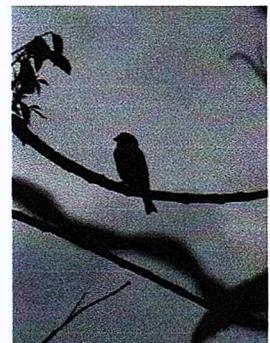
Orientador: Horst Peter H. G. J. Ulbrich (Dept. de Mineralogia e Geotectônica)

Co-orientador: Wladimir Shukowsky (Dept. de Geofísica - IAG-USP)

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

(TF2006/30)

São Paulo
2006



Existe uma lenda acerca de um pássaro que só canta uma vez na vida, com mais suavidade que qualquer outra criatura sobre a Terra. A partir do momento em que deixa o ninho, começa a procurar um espinheiro-alvar e só descansa quando encontra. Depois, cantando entre os galhos selvagens, empala-se no acúleo mais agudo e mais comprido. E, morrendo, sublima a própria agonia e despende um canto mais belo que o da cotovia e o do rouxinol. Um canto superlativo, cujo preço é a existência. Mas o mundo inteiro pára para ouvi-lo, e Deus sorri no céu. Pois o melhor só se adquire à custa de um grande sofrimento... Pelo menos é o que diz a lenda.

Collen McCullough, tradução de Octávio Mendes Cajado

Agradecimentos

À equipe do Laboratório de Informática Geológica (LIG-USP), em especial ao Prof. Dr. Marcelo Monteiro, ao Sr. Antônio Tadashi Kikuda e a Sidney Schaberle Goveia, pelo apoio e assessoria na parte relacionada com treinamento em softwares; ao Prof. Dr. Wladimir Shukowsky, pela cessão de dados e auxílio com o software GRAVMAG; aos Profs. Drs. Gilson B. Guimarães e Francisco J. F. Ferreira, pela cessão de dados, assessoria com interpretações geológicas e ajuda no treinamento do OASIS montaj™; ao Prof. Dr. Gergely A. J. Szabó, pelo auxílio com a finalização deste projeto; e ao Prof. Dr Thomas Rich Fairchild, pelo apoio recebido. Ao programa USP-PIBIC, pela concessão de bolsa de iniciação científica, e a Fapesp, pelo apoio na forma de auxílio de pesquisa (coordenador, H.H. Ulbrich).

Agradecimentos também à minha família, pela formação pessoal, aos amigos (de curso e de moradia) e a Leandro Lourenzoni, pelo apoio, fé e paciência.

Índice

1- RESUMO.....	4
2- ABSTRACT.....	4
3- INTRODUÇÃO	5
4- OBJETIVOS	5
5- FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA	7
5-1 Geologia Regional	7
5-2 Sistemas georreferenciados	9
5-3 Gamaespectrometria	10
5-4 Gravimetria	13
5-4.1 <i>Estudo de perfis gravimétricos.....</i>	15
6- MATERIAIS E MÉTODOS	15
6-1 Base georreferenciada - ArcGis™9.1	16
6-2 Tratamento estatístico e interpolação de dados - Sistema Geovisual	16
6-2.1 <i>Geovisual - Módulos utilizados.....</i>	17
6-3 Manipulação de dados e grids: o uso do software Oasis montaj™4.3.....	17
6-4 Modelamento 2.5D – GRAVMAG	18
6-5 Tratamento de dados e geração das imagens raster para a base SIG.....	19
7- DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	19
8- APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	20
8-1 Mapas primários - geologia regional, faciologia do Complexo Cunhaporanga, e SRTM	20
8-2 Estudos geofísicos.....	23
8-2.1 <i>Gamaespectrometria</i>	23
8-2.1.1 Complexos Cunhaporanga e Três Córregos: utilização de dados aerogamaespectrométricos corrigidos	23
8-2.1.1.1 <i>Mapas de distribuição de K, Th e U.....</i>	24
8-2.1.1.2 <i>Mapas das razões U/Th, U/K, Th/K, Fator F, Kd e Ud, e imagem ternária K-Th-U ..</i>	24
8-2.1.2 Granito Serra do Carambeí e Joaquim Murtinho: gamaespectrometria terrestre	28
8-2.1.2.1 <i>Análise geoestatística e interpolação</i>	29
8-2.1.2.2 <i>Mapas de distribuição de K, Th e U.....</i>	33
8-2.1.2.3 <i>Mapas das razões U/Th, U/K, Th/K, Fator F, Kd e Ud, e imagem ternária K-U-Th ..</i>	33
8-2.2 <i>Gravimetria</i>	41
8-2.2.1 Análise geoestatística	41
8-2.2.2 Mapas obtidos através dos dados gravimétricos	43
8-2.2.2.1 <i>Mapas de anomalia Bouguer com correção de relevo</i>	43
8-2.2.2.2 <i>Mapa de desvio de interpolação.....</i>	45
8-2.2.3 Modelos gravimétricos 2.5D	46
8-2.2.3.1 <i>Perfil A.....</i>	47
8-2.2.3.2 <i>Perfil B.....</i>	49
8-2.2.3.3 <i>Perfil C</i>	50
8-2.2.3.4 <i>Perfil D</i>	51
8-2.2.3.5 <i>Perfil E</i>	52
8-2.2.3.6 <i>Perfil F</i>	53
9- INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	54
9-1 Uso dos mapas primários - geologia regional, faciologia, SRTM	54
9-2 Estudos geofísicos.....	55
9-2.1 <i>Gamaespectrometria</i>	55
9-2.1.1 Comparações entre os complexos Cunhaporanga e Três Córregos	55
9-2.1.1.1 <i>Distribuição de K, Th e U</i>	55
9-2.1.1.2 <i>Distribuição de U/TH, U/K, Th/K, Fator F, Ud, Kd, e imagem ternária K-Th-U</i>	56
9-2.1.2 Granito Serra do Carambeí e Joaquim Murtinho: gamaespectrometria terrestre	57
9-2.1.2.1 <i>Distribuição de K, Th e U</i>	57
9-2.1.2.2 <i>Distribuição de U/Th, U/K, Th/K, Fator F, Kd, Ud e imagem ternária K-Th-U</i>	58
9-2.2 <i>Gravimetria</i>	60
9-2.2.1 Feições gravimétricas em planta, e a assinatura gravimétrica do CGC	60
9-2.2.2 Modelos gravimétricos 2.5D	60
10- CONCLUSÕES	63
11- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

Índice de figuras

Figura 1 – Mapa geológico regional da região do Arco de Ponta Grossa.	6
Figura 2 - Diferença entre as superfícies do geóide terrestre e da sua representação matemática elipsoidal, onde N é a chamada ondulação do geóide. Retirado de Miranda et al., 2004.	13
Figura 3 - Redução ao Cilindro de Bouguer, retirado de Miranda et al., 2004.	14
Figura 4 – Mapa faciológico do Complexo Granítico Cunhaporanga (Guimarães, 2000).	21
Figura 5 – Mapa de feições topográficas, utilizando imagem SRTM	22
Figura 6 - Mapas das respostas de aerogamaespectrometria para contagem total (Ct), potássio (K), equivalente em tório (eTh) e equivalente em urânio (eU), para os complexos Cunhaporanga e Três Córregos.	25
Figura 7 - Mapas de aerogamaespectrometria de razões U/Th, U/K e Th/K e para o fator F, para os complexos Cunhaporanga e Três Córregos.	26
Figura 8 – Mapas de aerogamaespectrometria de valores Kd e Ud, e mapa ternário de K U e Th, para os complexos Cunhaporanga e Três Córregos.	27
Figura 9 – Mapa de pontos com leituras de gamaespectrometria terrestre, nos domínios Joaquim Murtinho e Serra do Carambeí.	28
Figura 10 - Variogramas Experimentais – Granito Serra do Carambeí.	30
Figura 11 – Variogramas Experimentais – Granito Joaquim Murtinho.	31
Figura 12 - Mapas da resposta de gamaespectrometria terrestre para contagem total (Ct), potássio (K), equivalente em tório (eTh) e equivalente em urânio (eU), no Granito Serra do Carambeí. Unidades internas ao Complexo Cunhaporanga: NPcsc1e NPcsc2 – Granito Serra do Carambeí, NPcjp – Domínio Petrográfico, DP, Jotuba-Pitangui, Npcsa - DP Serra Abaixo-Alagados, NPcv - DP Varginha, Cza – Depósitos aluvionares.	35
Figura 13 - Mapas das respostas de gamaespectrometria terrestre para contagem total (Ct), potássio (K), equivalente em tório (eTh) e equivalente em urânio (eU), para o Granito Joaquim Murtinho. Unidades internas no CGC: NPcjpm – Granito Joaquim Murtinho, Npcap – Domínio Petrográfico, DP, Arroio da Pedrinhas, NPcrm – rochas metamórficas diversas, Npcea – DP Espigão Alto , Npcceb – DP Espalha Brasa, NPcp – DP Piraí do Sul, NPcqsp – Quartzito Serra das Pedras, Cza – Depósitos aluvionares.	36
Figura 14 - Gamaespectrometria terrestre no Granito Serra do Carambeí: razões e Fator F. Unidades internas ao Complexo Cunhaporanga: ver legenda da Fig. 12.	37
Figura 15 - Gamaespectrometria terrestre no Granito Joaquim Murtinho: razões e Fator F. Unidades internas ao Complexo Cunhaporanga: ver legenda da Fig. 13.	38
Figura 16 - Gamaespectrometria terrestre no Granito Serra do Carambeí: parâmetros Kd e Ud, e imagem ternária. Unidades internas ao Complexo Cunhaporanga: ver legenda da Fig.12.	39
Figura 17 - Gamaespectrometria terrestre no Granito Joaquim Murtinho: parâmetros Kd e Ud. Unidades internas ao Complexo Cunhaporanga: ver legenda da Fig. 13.	40
Figura 18 – Curvas do modelo teórico de variograma ajustadas ao variograma experimental.	42
Figura 19 – Reta de regressão para validação cruzada.	43
Figura 20 – Mapa gravimétrico de anomalia Bouguer.	44
Figura 21 - Mapa de desvio de interpolação dos valores de anomalia Bouguer.	45
Figura 22 – Mapa com o traçado dos perfis A, B, C, D, E e F, sobre curvas de isovalores de anomalia Bouguer e contorno das unidades geológicas.	47
Figura 23 – Perfil A – Gráfico: A curva de cor preta representa os dados observados e em vermelho, está a curva calculada a partir dos polígonos inseridos. Parte inferior: representação das unidades presentes no perfil, aflorantes e em subsuperfície. Em branco: crosta continental superior; amarelo: crosta continental inferior; azul: manto superior; verde escuro: basalto ou gabro; verde claro: Grupo Castro; verde azulado: Grupo Itaiacoca; róseo ou amarronzado: granitóides; lilás: Formação Água Clara; amarelo vivo: Quartzito Serra das Pedras; alaranjado: Bacia do Paraná.	48
Figura 24 – Perfil B – Gráfico: A curva de cor preta representa os dados observados e em vermelho, está a curva calculada a partir dos polígonos inseridos. Parte inferior: representação das unidades do perfil, aflorantes e em subsuperfície. Em branco: crosta continental superior; amarelo: crosta continental inferior; azul: manto superior; verde escuro: basalto ou gabro; verde claro: Grupo Castro; róseo: granitóides; amarelo vivo: Quartzito Serra das Pedras; alaranjado: formações da Bacia do Paraná.	50
Figura 25 – Perfil C – Gráfico: A curva de cor preta representa os dados observados e em vermelho, está a curva calculada a partir dos polígonos inseridos. Parte inferior: representação das unidades presentes no perfil, aflorantes e em subsuperfície. Em branco: crosta continental superior; amarelo: crosta	

<i>continental inferior; azul: manto superior; verde escuro: basalto ou gabro; verde azulado: Grupo Itaiacoca; róseo ou amarronzado: granítoides; alaranjado: formações da Bacia do Paraná.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 26 - Perfil D – Gráfico: A curva de cor preta representa os dados observados e em vermelho, está a curva calculada a partir dos polígonos inseridos. Parte inferior: representação das unidades presentes no perfil, aflorantes e em subsuperfície. Em branco: crosta continental superior; amarelo: crosta continental inferior; azul: manto superior; verde escuro: basalto ou gabro; verde claro: Grupo Castro; verde azulado: Grupo Itaiacoca; vermelho e róseos: granítoides; marrom: corpos estratiformes (ver texto); lilás: Formação Água Clara e correlatos; alaranjado: Bacia do Paraná.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 27 - Perfil E – Gráfico: A curva de cor preta representa os dados observados e em vermelho, está a curva calculada a partir dos polígonos inseridos. Parte inferior: representação das unidades presentes no perfil, aflorantes e em subsuperfície. Em branco: crosta continental superior; amarelo: crosta continental inferior; azul: manto superior; verde escuro: basalto ou gabro; verde claro: Grupo Castro; verde azulado: Grupo Itaiacoca; róseo ou amarronzado: granítoides; vermelho: riolitos; alaranjado: Bacia do Paraná.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 28 - Perfil F - Gráfico: A curva de cor preta representa os dados observados e em vermelho, está a curva calculada a partir dos polígonos inseridos. Parte inferior: representação das unidades presentes no perfil, aflorantes e em subsuperfície. Em branco: crosta continental superior; amarelo: crosta continental inferior; azul: manto superior; verde escuro: basalto ou gabro; verde claro: Grupo Castro; verde azulado: Grupo Itaiacoca; vermelho, róseo ou amarronzado: granítoides e riolitos; alaranjado: Bacia do Paraná..</i>	<i>54</i>

Índice de tabelas

<i>Tabela 1 – Parâmetros utilizados para a análise exploratória e, posteriormente, para a interpolação.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabela 2 – Valores de leituras gamaespectrométricas na Formação Furnas na região do Granito Joaquim Murtinho.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabela 3 – Parâmetros para análise exploratória e interpolação para anomalia Bouguer</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 4 – Parâmetros utilizados para o ajuste do modelo matemático teórico de variograma.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabela 5 - Parâmetros de vizinhança para validação cruzada e para krigagem</i>	<i>43</i>
<i>Tabela 6 – Densidades aproximadas adotadas para as unidades geológicas modeladas.</i>	<i>46</i>

1- RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo estabelecer uma base georreferenciada para arquivar e avaliar dados geográficos, geológicos, geoquímicos, mineralógicos e diversos outros obtidos por meio de estudos geofísicos (aerogamaespectrometria e aeromagnetometria, estes disponíveis em estudo financiado pela CPRM, o “Projeto Aerogeofísico Serra do Mar Sul”, na década de 1970, e ainda os de gamaespectrometria terrestre e gravimetria), relacionados com projetos de pesquisa com auxílio da Fapesp, centrados na definição das características dos complexos graníticos Cunhaporanga e Três Córregos (CGC, CGTC), do Neoproterozóico. Por extensão, identifica também as feições gerais do Arco de Ponta Grossa (APG), no qual estão colocadas estas extensas unidades graníticas. Os mapas geológico-faciológicos, disponíveis em teses e dissertações, deverão ser utilizados na sua versão georreferenciada como ilustrações em trabalhos a publicar, e são, ainda, a base necessária para interpretações geológicas, geofísicas e petrogenéticas.

Os resultados mais importantes deste trabalho surgiram dos estudos geofísicos, destacando-se, nos mapas gravimétricos, o APG como estrutura dominante, com arqueamento manifesto do manto superior nessa região, colocando a descontinuidade Mohovicic em profundidade de 35 km (modelagens 2.5D), os dois complexos graníticos mostrando raízes de profundidades variadas, em geral superiores aos 5 km. Os estudos gamaespectrométricos, em especial, destacam mais os granitóides diferenciados, enriquecidos em U e Th, definindo ainda, no caso do CGTC, com melhores afloramentos que o CGC, várias subunidades identificadas pelas respostas gama, coincidentes com as que são caracterizadas pelo mapeamento faciológico.

2- ABSTRACT

The present project centers its goals on the establishment of a georeferenced basis for the evaluation and examination of all data of a geographic, geologic, geochemical and mineralogical nature, together with those obtained from geophysical studies (aero-gammaspectrometry and aeromagnetometry, derived from the “Aerogeophysical Project Serra do Mar Sul”, financed by CPRM, in the 70's, as well as more recent terrestrial gamma-spectrometric and gravimetric data), an outcome of studies, financed by São Paulo State Science Foundation, centered on the definition of the two large Neoproterozoic Três Córregos and Cunhaporanga complexes (CGTC, CGC). The general features of the Ponta Grossa Arch (APG) were also identified, into which these granitic complexes are intrusive. The geologic-faciologic maps of granitic and other units

in that region, now available as georeferenced documents, will be used as illustrations for papers (in preparation) and are, also, the basis for geologic, geophysical and petrogenetic interpretations.

The most important results obtained in this study were derived from geophysical data, in particular from gravimetric profiles, showing that the APG, the dominant structure, was caused by a marked warping of the upper mantle and crust, elevating the Mohovicic discontinuity up to a depth of 35 km (2.5D gravimetric modelling), the two granitic units showing distinct roots, down to depths of at least 5 km. Gamma-spectrometric studies, in addition, clearly define the presence of differentiated granitoids, enriched in U and Th, and also identify, especially in the CGTC, with better outcrops, several subunits that coincide with the mapped faciological domains.

3- INTRODUÇÃO

O Complexo Granítóide Cunhaporanga está localizado no noroeste do estado do Paraná, e é objeto de um conjunto de estudos geofísicos, geoquímicos, petrográficos e mineralógicos, realizados com apoio da Fapesp, por parte de equipe integrada pela autora e o orientador, H.Ulbrich (IGc-USP), e os geólogos F.J.F. Ferreira (UFPR, Universidade Federal do Paraná) e Gilson B. Guimarães (UEPG, Universidade Estadual de Ponta Grossa), com a colaboração adicional, na parte da gravimetria, de W. Shukowsky e M. Mantovani (IAG-USP).

Este trabalho se constitui na geração de imagens e sistematização de dados já existentes do Complexo Granítico Cunhaporanga, referentes a estudos geológicos, geofísicos (gamaespectrometria, aerogamaespectrometria e gravimetria), geoquímicos, mineralógicos e petrográficos. A sistematização destes dados é importante para reunir informações sobre uma unidade geológica relativamente pouco estudada, até o momento, que apresenta dificuldade de acesso em algumas regiões, e onde o avançado estágio de alteração das rochas é responsável pela escassez de afloramentos. Este trabalho oferece a oportunidade de integrar diferentes áreas da geologia (como geoestatística, petrologia, geomorfologia, geoquímica e geofísica), obtendo interpretações multidisciplinares acerca de uma unidade geológica.

4- OBJETIVOS

O projeto trata do Complexo Granítóide Cunhaporanga (CGC), um batólito granítico localizado na região do Arco de Ponta Grossa (PR) (para localização, ver Figura 1), e pretende agrupar e sistematizar, em uma base georreferenciada, dados geológicos já disponíveis desta área, e dar continuidade a trabalhos geofísicos que estão sendo realizados na região, referentes a gamaespectrometria, aerogamaespectrometria, e gravimetria.

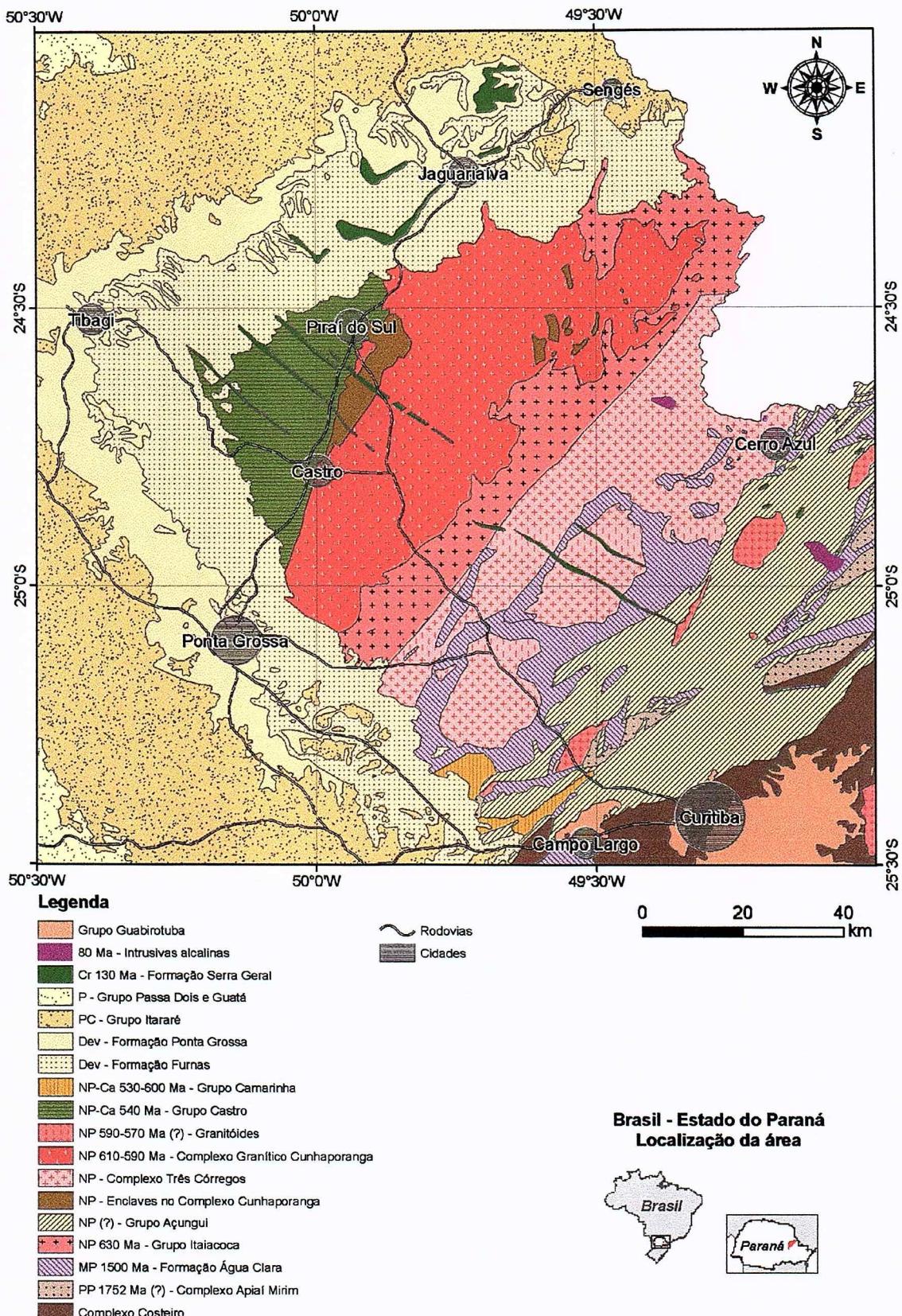


Figura 1 – Mapa geológico regional da região do Arco de Ponta Grossa.

5- FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

5-1 Geologia Regional

O Complexo Granítóide Cunhaporanga (CGC) é um dos mais importantes elementos constitutivos do embasamento do estado do Paraná (ver mapa geológico regional, Fig. 1). Aparece associado a outras grandes unidades geológicas do Proterozóico médio-inferior ao Mesozóico, tais como o Grupo Itaiacoca, o Complexo Granítico Três Córregos (CGTC), o Grupo Castro, e as unidades intrusivas e sedimentares pertencentes à Bacia do Paraná. Como unidades menores, aparecem enclaves e “*roof pendants*” mapeáveis de rochas metamórficas (e.g., o “Quartzito Serra das Pedras”; Guimarães, 1995, 2000), localizadas no interior dos dois grandes complexos granítóides.

O Complexo Costeiro, de gnaisses e migmatitos polideformados, aparece integrando a parte mais oriental do embasamento paranaense, estando em contato com o Domínio Luis Alves de gnaisses e granulitos, mais para NW, conforme interpretações mais modernas (e.g., Siga Jr. *et al.*, 2003).

O Grupo neoproterozóico Itaiacoca, também chamada Faixa ou “Formação” Itaiacoca (Reis Neto, 1994; Guimarães, 2000), tem complicada estratigrafia interna (Guimarães, 2000; Siga Jr. *et al.*, 2003). São metassedimentos carbonáticos, pelíticos e psamíticos, intercalados com rochas metavulcânicas (metatraquitos e metabasitos), e associados a algumas rochas meta-subvulcânicas (principalmente diabásios, traquitos, e outras). Devido ao baixo grau de metamorfismo, há estruturas reliquias primárias como estromatólitos e estratificações cruzadas.

A Formação Água Clara, do Mesoproterozóico (Guimarães, 2000; Weber *et al.*, 2004), é constituída por margas, quartzitos, xistos e anfibolitos de grau metamórfico médio.

O Grupo (ou Supergrupo) Açuenguí está presente a sudoeste da área estudada, em uma forma alongada com direção NE-SW, e data do Proterozóico Superior (Secretaria, 1995). É subdividido por alguns autores em duas unidades, as formações Votuverava e Capirú, e ainda a Seqüência Antinha, sendo que outros autores, em anos anteriores, também incorporavam a “Formação” Itaiacoca e outras unidades metassedimentares, tais como o Quartzito Serra das Pedras, como parte integrante do Grupo Açuenguí. As rochas presentes compõem alternância de rochas carbonáticas (xistos calcários e cálcio-silicáticos, mármore, dolomitos e meta-calcários) e clásticas (“meta-mudstones”, “meta-siltstones”, quartzitos, filitos, meta-arenitos, meta-conglomerados e xistos micáceos). Associadas à Formação (ou “Seqüência”) Votuverava aparecem também as formações Perau e Betara (com contatos tectônicos com as rochas

vizinhas), as três contemporâneas, a julgar pelas idades mais recentes obtidas, em torno de 1480 Ma, Mesoproterozóico (Siga Jr. *et al.*, 2003; Weber *et al.*, 2004).

Encontram-se ainda, como núcleos representando o embasamento das coberturas vulcano-sedimentares proterozóicas, unidades identificadas de várias maneiras na literatura (Complexo Pré-Setuba, ou Complexo Apiaí Mirim), constituídas por gnaisses polideformados e granitóides deformados, com idades variáveis (duas idades disponíveis, uma de 1750 Ma, outra de 2100 Ma; cf. Siga Jr. *et al.*, 2003).

O Complexo Granítóide Três Córregos (CGTC) forma uma faixa batolítica NE-SW de idade neoproterozóica (Guimarães, 2000; idades U-Pb em zircão, 630 a 600 Ma, Siga Jr. *et al.*, 2003; Prazeres Filho, 2000, 2005) que para norte continua no estado de São Paulo. É constituído por variados tipos de rochas granitóides, predominantemente cálcio-alcalinas, geralmente porfiríticas, englobando também enclaves de rochas encaixantes metamórficas. É um batólito de afloramentos descontínuos, com contato intrusivo com a Formação Água Clara. Para oeste, aparece limitado pela zona de cisalhamento Itapiroapuã, que forma o contato tectônico com o Grupo Itaiacoca.

O Complexo Granítóide Cunhaporanga (CGC) é composto por várias intrusões em geral cálcio-alcalinas, com idades geocronológicas do Neoproterozóico (Guimarães, 2000; idades U-Pb em zircão, 600 a 590 Ma; Siga Jr. *et al.*, 2003; Prazeres Filho, 2000, 2005). Inclui também granitóides mais diferenciados, na sua parte setentrional o Granito Joaquim Murtinho e, na sua parte meridional, o Granito Serra de Carambeí, de forma alongada-elipsoidal. Das inclusões presentes, pode-se destacar o “Quartzito Serra das Pedras”, nome informal dado a grandes enclaves à NW do Complexo Cunhaporanga, e a unidade informalmente chamada de “gnaisses e migmatitos” por autores anteriores.

O Grupo Castro é formado por rochas vulcano-sedimentares, provavelmente neoproterozóicas a eopaleozóicas (Moro, 1993; GUIMARÃES, 2000; Prazeres Filho, 2000, 2005), registrando uma manifestação recolhida em um possível graben. O Grupo Castro está recoberto a oeste por sedimentos da Formação Furnas, devoniana, pertencentes à seqüência da Bacia do Paraná, e a leste está em contato tectônico com o Complexo Cunhaporanga, com falhamentos NE-SW. Possui rochas sedimentares continentais clásticas (argilitos, arcósios e conglomerados), e rochas vulcânicas ácidas (riolitos, riodacitos) a intermediárias (andesitos), em parte aparecendo como ignimbritos.

A Formação Camarinha é formada por sedimentos epiclásticos como conglomerados polimíticos, brechas, arenitos e ritmitos siltico-argilosos. As rochas são afetadas por deformações dadas pela proximidade com a zona de cisalhamento Lancinha. Apresenta-se sobre a Formação Água Clara, em contato discordante. Datações pelo método Rb-Sr em lamitos forneceram idades de 433 ± 6 Ma e 483 ± 3 Ma (Moro, 2000, *apud* Weber *et al.*, 2004).

A Bacia do Paraná está presente com os grupos Paraná, Itararé, Guatá e Passa Dois e pelas rochas intrusivas da Formação Serra Geral.

O Grupo Paraná é constituído pelas formações Furnas e Ponta Grossa, a última já no estado de São Paulo. A idade corresponde ao Paleozóico Médio (Devoniano) (Secretaria, 1995). A Formação Furnas é composta por arenitos a quartzo arenitos, aparecendo nessa região como a chamada “escarpa devoniana”, um ressalto topográfico que limita os afloramentos das rochas da Bacia do Paraná, no contato com o embasamento. Mais para NW, são encontrados os folhelhos da Formação Ponta Grossa, por sua vez cobertos pelos arenitos e conglomerados do Grupo Itararé. O soerguimento do embasamento presente nesta região, conformando o vasto Arco de Ponta Grossa, influencia a disposição dos afloramentos, em arco, do Grupo Paraná.

O Grupo Itararé tem idade paleozóica correspondente ao Permiano Inferior, também se apresentando em arco por influência do Arco de Ponta Grossa. Possui rochas clásticas como diamictitos, siltitos, argilitos e folhelhos, relacionados a um paleoambiente glacial. O grupo é subdividido em três formações: Campo do Tenente (inferior), Mafra e Rio do Sul.

O Permiano Médio é representado pelo Grupo Guatá, presente como uma fina faixa composta pelas formações Rio Bonito e Palermo, com arenitos, siltitos, folhelhos e, na Formação Rio Bonito, ainda camadas de carvão.

O Grupo Passa Dois, do Permiano Superior, é o mais externo ao Arco de Ponta Grossa. É composto pelas formações Iratí, Serra Alta, Terezina e Rio do Rastro. As rochas são sedimentos mais pelíticos na base (argilitos, folhelhos e folhelhos pirobetuminosos da Formação Iratí) que passam para rochas carbonáticas e siltitos no topo da sequência.

A Formação Serra Geral, definida no interior da Bacia do Paraná como espesso conjunto de derrames, se manifesta nesta região como diques transversais com direção geral NW-SE, com orientação paralela ao Arco de Ponta Grossa. As espessuras dos diques variam de métricas até dezenas de metros. São do Cretáceo (Neocomiano, idades da ordem de 130 Ma; Marques & Ernesto, 2004). Trata-se em geral de diabásios, acompanhados por algumas rochas intermediárias, presentes nos diques mais espessos.

Inserido no Complexo Granítico Três Córregos aparece o pequeno maciço alcalino de Banhadão, constituído predominantemente por nefelina sienitos e melteigitos, cortado por diques tardios de fonolitos. A idade geocronológica é em torno de 100-110 Ma (Ruberti, 1984).

5-2 Sistemas georreferenciados

Nos softwares que utilizam a tecnologia GIS (*Geographic Information Systems*), diversos tipos de dados são trabalhados de diferentes formas (dados geográficos, rodoviários,

demográficos, hidrológicos, geológicos, etc.). A aplicação de sistemas georreferenciados permite uma melhor organização e manipulação de dados, com fácil acesso às informações sobre a área estudada, e permitindo a realização de operações aritméticas ou lógicas entre dados, e uma personalização da apresentação final da informação (e.g., Minami, 2000). Através do estudo dos *shapes* (ou seja, “camadas” contendo dados específicos, referentes a um tema, que podem ser manipuladas, com superposição, etc.) pré-existentes de uma área, contendo as características de interesse, pode-se obter uma nova “camada” como resultado da convergência das informações disponíveis.

Os sistemas GIS trabalham com dados espaciais, relativos a propriedades de um espaço geográfico, ou com objetos em um espaço geográfico. O espaço geográfico pode ser definido como o espaço representado em uma escala de trabalho suficientemente grande para que se possa observar de uma só vez toda a área estudada (Medyckyj-Scott & Hearnshaw, 1993).

A base GIS possui duas classes principais de camadas: as do tipo *raster*, onde a informação é disposta em uma matriz com células que representam um valor para a variável de interesse, como acontece, por exemplo, em imagens obtidas por sensoriamento remoto; e as camadas contendo objetos de desenho (polígonos, retas ou pontos) denominados *vetores*, onde a informação sobre cada vetor é armazenada em um banco de dados, como por exemplo em um mapa geológico. A estrutura das imagens *raster* exibe uma divisão regular do espaço, onde células de mesma dimensão contêm um valor, enquanto que a estruturação das camadas vetORIZADAS divide o espaço de forma irregular, onde um objeto de desenho corresponde a uma área de valores uniformes (Medyckyj-Scott & Hearnshaw, 1993).

Deve ser observado que o espaço é transformado constantemente, razão pela qual os sistemas GIS devem ser permanentemente atualizados.

5-3 Gamaespectrometria

A gamaespectrometria mede a concentração de K, U e Th (e contagem total dos três elementos, Ct) em rochas e materiais intemperizados, através da detecção da radiação gama emitida pelo decaimento radioativo natural destes elementos (Wilford *et al.*, 1997).

Um dos objetivos dos estudos gamaespectrométricos é demonstrar como esta técnica pode auxiliar em trabalhos cartográficos geológicos em corpos granítóides localizados em regiões com alto grau de intemperismo, além de possibilitar interpretações sobre a migração de radionuclídeos no relevo (Fruchting *et al.*, 2003).

Os elementos potássio (K), urânio (U) e tório (Th) são os elementos de ocorrência natural com radioisótopos que fornecem radiação gama com energia e intensidade suficientes para serem medidos em levantamentos gamaespectrométricos. Para efeitos de comparação, a

média crustal destes elementos é de 2% para K, 2,7 ppm para U e 8,5 ppm para Th (Rudnick & Gao, 2004). A gamaespectrometria fornece a concentração destes três elementos na superfície terrestre, medindo a radiação gama emitida no decaimento radioativo natural destes elementos, onde os radionucléos mais importantes são ^{40}K , ^{238}U , ^{235}U e ^{232}Th (Minty, 1997).

Além da leitura que fornece as abundâncias desses elementos nos solos e rochas (na forma de %K e “equivalentes” de Th e U, em ppm, expressos como “eTh” e “eU”), podem ainda ser realizadas operações entre os valores medidos, para obtenção de novas informações sobre a área estudada. Assim, são calculados valores como as razões eU/eTh, eU/%K e eTh/%K, o fator F, e valores como Kd e Ud (Pires, 1995), definidos a seguir:

Razões U/Th e U/K. Em granitóides frescos diferenciados, Th e K são elementos abundantes, aparecendo U em menores proporções, com baixas razões U/Th e moderadas de U/K (K em %). Em granitóides submetidos a alteração hidrotermal, aumentam em especial os teores de U e K, ambos elementos móveis nestas condições, fazendo com que a razão U/Th aumente, com valores variáveis na razão U/K, em consequência do aumento em ambos os elementos. Em granitóides submetidos a forte intemperismo tropical a subtropical, no qual o K é elemento extremamente móvel, os valores máximos de K aparecerão em regiões com afloramentos (lajedos, blocos, etc.), refletindo o teor original da rocha, mas devem diminuir fortemente, ou até chegar a zero, naquelas regiões mais alteradas (presença de solos, aluviões, etc.); por este motivo, a interpretação dos mapas com K deve levar em consideração estes fatores. O elemento U, da mesma maneira, pode ser mobilizado em regiões com climas similares aos citados, esperando-se, por outro lado, menor mobilização do Th, ou até concentração do elemento em solos residuais (por acumulação de minerais acessórios portadores do elemento).

Razão Th/K. Esta relação usa a oposição entre as concentrações de Th e K, visível em particular em rochas submetidas a alteração hidrotermal já que o Th apresenta nessas condições menor mobilidade, em oposição ao K (Ostrovskiy, 1975). Em ambientes de forte intemperismo tropical a subtropical, o K é o elemento mais facilmente lixiviado. Assim, o intemperismo em muitos granitóides elevaria para valores altos essa razão.

Fator F. Este fator ($F = \%K * eU/eTh$) reflete a abundância de K e U em relação ao Th, onde o aumento dos valores de F é dado pelo aumento do teor de urânio ou potássio, sugerindo-se valores entre 1,2 e 1,3, encontrados em rochas pouco alteradas, e entre 2 e 5, excepcionalmente 10, para rochas hidrotermalmente alteradas (EFIMOV, 1978, *apud* Gnojek & Prichystal, 1985).

Kd e *Ud*. Nestes fatores é realizada a normalização do U e do K pelo Th, elemento este que tipicamente mostra menor mobilidade (em ambientes sujeitos a intemperismo e alteração hidrotermal), numa tentativa de identificar valores anômalos reais de U e K. Estes índices são calculados através das fórmulas:

$$Kd = (Ks - Ki) / Ki$$

$$Ud = (Us - Ui) / Ki$$

onde

$$Ki = (\text{média de } Ks / \text{média de } Ths) * Ths$$

$$Ui = (\text{média de } Us / \text{média de } Ths) * Ths$$

e onde os valores *Ks*, *Ths* e *Us* correspondem aos valores reais medidos dos elementos correspondentes, para cada ponto da malha (Pires, 1995).

Há alguns aspectos a serem considerados na utilização da gamaespectrometria, tanto a terrestre como a aérea, como as propriedades físicas e geométricas das fontes radioativas, tamanho e resolução dos detectores, efeitos do meio-ambiente (umidade do solo, vegetação e regime de chuvas), movimento das fontes aéreas de radiação na atmosfera baixa, e outros.

As interpretações gamaespectrométricas exigem um rigoroso controle dos procedimentos de coleta, calibração, processamento e apresentação dos dados. Também é necessária a compreensão dos princípios físicos básicos que controlam os processos geológicos, e o conhecimento do comportamento dos elementos das séries de decaimento do urânio, e do comportamento geoquímico do potássio, do urânio e do tório no ambiente de estudo (Ferreira & SOUZA, 2002).

5-4 Gravimetria

A superfície da Terra é considerada como tendo a forma de um *geóide* radialmente isótropo (Fig. 2), que corresponde a uma equipotencial do campo gravimétrico coincidente à superfície média livre dos oceanos. Nesta superfície, a força da gravidade é perpendicular em todos os pontos. O geóide sofre interferências das massas de diferentes espessuras da crosta e do manto. Assim, adota-se um modelo matemático para a forma da Terra, para aplicação, por exemplo, no Sistema de Posicionamento Global (GPS), onde a forma adotada é a de um *elipsóide de revolução*. A diferença entre as superfícies do geóide e do elipsóide não excede 100 km, e é chamada de ondulação do geóide (Miranda *et al.*, 2004). Os valores para a ondulação são obtidos através de satélites artificiais. Para a projeção dos pontos de GPS no elipsóide, faz-se a subtração do valor da altitude medida e da ondulação do geóide somadas.

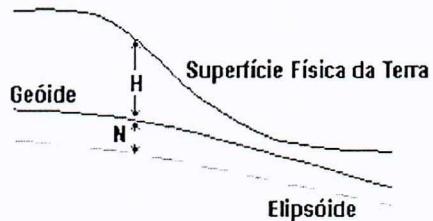


Figura 2 - Diferença entre as superfícies do geóide terrestre e da sua representação matemática elipsoidal, onde N é a chamada ondulação do geóide. Retirado de Miranda *et al.*, 2004.

As diferenças petrográficas na composição da crosta terrestre geram variações espaciais de densidade, criando assim alterações nos valores de gravidade. Estas variações podem ser medidas através de gravímetros. Assim, pode-se deduzir o uso das variações gravimétricas como ferramenta de estudo geológico em profundidade.

O estudo das anomalias gravimétricas necessita dos valores de densidade das rochas a serem identificadas. Estes valores geralmente são retirados da literatura, mas podem variar muito de um autor para outro, ou em uma mesma bibliografia que apresente amplos intervalos de valores. Assim, para uma melhor aproximação com a densidade real do corpo estudado, devem ser observadas as características locais e fazer as adaptações necessárias nos valores.

As medidas obtidas em campo para variações gravimétricas de natureza petrográfica são influenciadas também por variáveis como altitude e feições geomorfológicas na área estudada. Devido a essas influências não desejáveis para o estudo geológico, são aplicados métodos de correção, gerando novos conjuntos de dados que melhor exprimem as anomalias geológicas ambicionadas.

Anomalia Faye - É a anomalia obtida pela aplicação da chamada *correção do ar livre* (*CF*) ou *correção de Faye*, para a correção da altitude dos pontos de campo para um mesmo nível de referência, executando uma redução ao nível médio do mar. Assim, é como se não

houvesse massa topográfica entre os pontos medidos e o nível de referência adotado (superfície do geóide). A anomalia Faye pode ser expressa por:

$$\Delta G_F = g + C_F - \lambda \text{ (eq. 1)}$$

e a correção de Faye é dada por:

$$C_F = (\partial g / \partial H) H \text{ (eq. 2)}$$

onde H é a altitude (H) em metros, conhecida da estação, e $(\partial g / \partial H)$ é o chamado gradiente vertical da gravidade. Comumente usa-se o gradiente da gravidade normal, obtendo $C_F = 0,3086 H$ [mGal].

Anomalia Bouguer - A anomalia Bouguer representa os valores gravimétricos, retirada a influência das massas topográficas externas ao geóide terrestre. A correção da qual resultará esta anomalia é feita através da aplicação da *correção de Bouguer* (C_B). A anomalia pode ser expressa por:

$$\Delta G_B = g + C_F + C_B - \lambda \text{ (eq. 3)}$$

Simplificadamente pode-se dizer que a correção de Bouguer faz um nivelamento da superfície topográfica, na altura do ponto de medida, em uma superfície correspondente a um cilindro de raio infinito.



Figura 3 - Redução ao Cilindro de Bouguer, retirado de Miranda et al., 2004.

Segundo Arana (2000), o processo de retirada da influência topográfica é dada por:

a) *redução modificada de Bouguer*: onde são consideradas as massas próximas à estação, formando-se uma calota esférica, com o pólo localizado na estação medida e de raio 166,7 km;

b) *redução topo-isostática*: é necessário considerar as massas topográficas de regiões distantes, até o ponto antípoda da estação. A redução modificada de Bouguer C_B ou eliminação das massas topográficas num raio de 166,7 km será efetuada pela “fórmula de correção de terreno”:

$$C_B = -A -B +C \text{ (eq. 4)}$$

Onde:

$$A = 2 \pi k \delta H$$

$$k = 6672 \cdot 10^{-14} m^3 s^{-2} Kg^{-1}$$

$$\delta = 2670 \text{ Kg m}^{-3}$$

$$\Rightarrow A = 0,1119 H;$$

e os valores C e B são tabelados, o segundo em função de H .

O valor de A corresponde à correção de Bouguer propriamente dita. É a componente vertical da atração exercida por um *platô* horizontal de espessura H, de mesmo valor que a altitude da estação, sobre uma partícula de massa unitária situado na sua superfície. Este componente é aproximadamente igual ao que seria produzido por uma *calota* de raio de 166,7 Km. O termo B da equação 4 corresponde à diferença entre as componentes verticais da atração produzida pela *calota* e pelo *platô* de Bouguer, fazendo com que o platô se converta em calota.

A correção de terreno é dada pelo termo C na equação 4. É responsável pela “eliminação” das massas topográficas irregulares em relação à calota. Seu cálculo é executado a partir de cartas altimétricas da região vizinha à estação. A região é dividida em *zonas* (denominadas de *zonas literais de Hayford*) que são designadas por letras maiúsculas, sendo A a pequena calota que envolve a estação gravimétrica, seguida por B, por C . . , até a letra O, que representa a *zona mais afastada, com raio de 166,7 Km*, que delimita a calota de Bouguer.

5-4.1 Estudo de perfis gravimétricos

No estudo de perfis gravimétricos, as litologias na superfície são comprovadas, mas em subsuperfície são dadas por interpretações, observando características das curvas gravimétricas no perfil, como as amplitudes e freqüências presentes. A amplitude normalmente tem valor proporcional à densidade das rochas sob o sensor. Em geral, as elevações gravimétricas indicam a presença de rochas relativamente densas (por ex., rochas basálticas, ultramáficas, dolomíticas). A freqüência fornece a profundidade da fonte, sendo que as anomalias de alta freqüência (*high-frequency*) são provenientes de fontes relativamente rasas, e as anomalias de baixa freqüência (*low-frequency*) são causadas por contrastes em maior profundidade. A atribuição de uma elevação gravimétrica de grande comprimento de onda a elevações topográficas não é correta. Em um trabalho em escala regional, feições de relevo acidentado refletem na curva como ondas de alta freqüência e baixa amplitude, sobreposta à onda de maior amplitude e menor freqüência (Gibson, 2000; W. Shukowsky, comunicação pessoal).

6- MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado com a utilização de tecnologia SIG (Sistemas de Informação Geográfica), através de softwares especializados disponíveis no Laboratório de Informática Geológica (LIG) do Instituto de Geociências, onde os principais são o ArcGisTM9.1, o OASIS montajTM4.3, e o Sistema Geovisual.

6-1 Base georreferenciada - ArcGis™9.1

Os sistemas georreferenciados trabalham com camadas (*shapes* ou *layers*), que contém os diversos tipos de informação disponíveis, e que são sobrepostas e exibidas conforme a necessidade do usuário. O software utilizado para a criação e manipulação de *layers* é o aplicativo ArcMap™, integrante do pacote ArcGis™9.1, da ESRI© Corporation. O ArcGis™ é um pacote completo para montagem de bases cartográficas, onde os aplicativos mais usados são o ArcMap™, ArcCatalog™ e o ArcToolbox™.

- ArcMap™ - É utilizado para inserção de dados para mapeamento, edição, análise e produções cartográficas. É o programa principal para a montagem dos mapas georreferenciados.
- ArcCatalog™ - Este software gerencia os arquivos da base cartográfica. Integrado com o ArcMap™, é utilizado para criar o arquivo antes de ser editado, e editar as bases de dados diretamente sem necessidade de abrir o arquivo gráfico para acesso, entre outras funções.
- ArcToolbox™ - O ArcToolbox™ é utilizado para tarefas de conversão e processamento de dados geográficos. A sua principal função é a de definir ou padronizar os sistemas de coordenadas dos *shapes*.

6-2 Tratamento estatístico e interpolação de dados - Sistema Geovisual

O Sistema Geovisual é um conjunto de aplicativos, criado pelo Prof. Dr. Jorge Kazuo Yamamoto, do Instituto de Geociências – USP. É um sistema utilizado em estudos geoestatísticos de variáveis localizadas no espaço (variáveis regionalizadas), e possui aplicações tais como o cálculo de *composite* para bancadas de mineração, estudos estatísticos básicos e aplicação de métodos de interpolação de dados.

Através da interpolação dos dados, obtém-se uma matriz homogênea de valores, chamada de *grid*. O *grid* deverá refletir a distribuição espacial da variável estudada, sendo que os valores irão variar de acordo com o método de interpolação utilizado. A partir dos *grids*, podem ser geradas imagens para a visualização da distribuição espacial dos valores (como curvas de contorno em cores e perspectiva 3D), mas o Sistema Geovisual não possui recursos para edição gráfica.

6-2.1 Geovisual - Módulos utilizados

No módulo REGRESS, faz-se uma análise do padrão de correlação entre duas variáveis. É utilizado na criação de um mapa dos pontos amostrados, pela regressão entre as coordenadas X e Y, para obtenção do campo geométrico (distância máxima para correlação de valores). Valores calculados de estatística básica (média, mediana, moda, desvio padrão, histograma, etc.) podem ser consultados no módulo STATBASE.

A geração do variograma experimental é realizada no módulo VARCOM. Assim, o usuário pode observar as características da variância espacial dos dados, e onde se obtém a distância média entre os pontos. Com um conhecimento prévio dos modelos teóricos de variograma, o usuário tem condições de avaliar qual o modelo teórico que melhor se ajustará ao variograma experimental, ou de constatar que não é viável a utilização de métodos de interpolação que necessitem de um variograma estruturado.

O MODVARG é o módulo onde é feito o ajuste do modelo teórico de variograma para o variograma experimental obtido no VARCOM. Neste módulo também se pode constatar se há anisotropia espacial.

Após uma primeira análise do variograma, da disposição dos dados e dos objetivos da pesquisa, é escolhido o método de interpolação que será aplicado. Os métodos de interpolação de precisão global são utilizados para casos onde a variável não possui um variograma estruturado, e os de precisão local para casos onde a variável de interesse possua variograma estruturado. Se o método a ser utilizado for de precisão global, utiliza-se o módulo GLOBAL2D, onde estão disponíveis os métodos: triangulação de Delaunay, método de mínima curvatura, inverso da distância e equações multiquádricas. Na aplicação de métodos de precisão local, é utilizado o módulo ORDKRIG2D. Os métodos aplicados neste módulo são o inverso da distância, krigagem ordinária, equações multiquádricas e vizinho mais próximo.

6-3 Manipulação de dados e grids: o uso do software Oasis montaj™4.3

O Oasis montaj™ é um software de uso específico, amplamente utilizado em estudos geofísicos. Uma característica importante deste software é o formato diferenciado do banco de dados: tabelas interligadas (denominadas “linhas”), dispondo das mesmas colunas (“canais”), formando uma espécie de banco de dados com relacionamentos “3D”. Devido a este formato, o software privilegia o gerenciamento de dados de levantamentos aéreos, pois também suporta grandes volumes de dados.

Além de interpolar dados, este software possui ferramentas para edição gráfica destes mapas, criação de perfis, aplicação de filtros, e dispõe de módulos adicionais com ferramentas para diferentes trabalhos geofísicos.

Para a obtenção de imagens gamaespectrométricas, além da manipulação dos dados de leitura de Ct, K, Th e U, podem ainda ser realizadas operações entre os valores medidos, para obtenção de novas informações sobre a área estudada (Minty, 1997). Assim, são calculados valores como as razões eU/eTh, eU/%K e eTh/%K, o fator F, e parâmetros Kd e Ud, já citados (ver item 5-3; também Pires, 1995).

Em estudos gravimétricos, a observação em planta não é suficiente para analisar um mapa de anomalias. É necessário um acompanhamento por meio de perfis gravimétricos, obtidos através do mapa de anomalias obtido por interpolação, para caracterização das assinaturas gravimétricas das unidades. Os perfis são construídos inicialmente através do software OASIS montaj™, com o traçado feito de modo a cobrir áreas de menor erro de interpolação, mais ricas em dados. Posteriormente, os dados do perfil são exportados para um software de modelagem 2.5D – GRAVMAG, para que os picos negativos e positivos possam ser interpretados.

Para utilizar *grids* gerados no Sistema Geovisual, é realizada a importação do arquivo (*.GL2) para o OASIS montaj™. A aplicação de uma fronteira convexa no Sistema Geovisual, cria “*bad values*” no OASIS montaj™ (valores “- 99”), que são retirados através de expressões booleanas, para melhor preservar as características da interpolação original. O *grid* é então novamente interpolado no OASIS montaj™ com a utilização do método de mínima curvatura. Esta transferência dos dados para o software OASIS montaj™ é necessária, pois o Sistema Geovisual não possui recursos gráficos, de conversões de arquivos, e de gerenciamento dos dados.

6-4 Modelamento 2.5D – GRAVMAG

O software GRAVMAG é um sistema que permite o modelamento de corpos geológicos em 2.5D (dimensão popularmente assim denominada, que utiliza a superfície aflorante e a profundidade do corpo), através de perfis gravimétricos da anomalia de Bouguer (Pedley *et al.*, 1993).

Na área de trabalho do GRAVMAG, é possível obter uma curva calculada representando a resposta gravimétrica do modelo geológico desenhado, e fazer uma comparação com a curva obtida através dos dados reais. A curva calculada deve se aproximar o máximo possível da curva de valores observados.

Para o ajuste da curva calculada, é necessário incluir os corpos geológicos presentes na área sob o gráfico, desenhandos polígonos e lhes atribuindo as características necessárias. Para o estudo por gravimetria, a densidade das unidades geológicas e o *half strike* são dois atributos essenciais dos polígonos:

Densidade – A densidade estimada para as unidades geológicas é baseada em uma média aproximada das densidades dos litotipos presentes em cada unidade.

“Half strike” – Este valor corresponde aproximadamente à extensão em planta do corpo estudado, em uma direção perpendicular ao perfil. Como o software atribui o mesmo valor de extensão para as duas partes do corpo, deve-se adotar a menor medida.

Neste trabalho, a resposta gravimétrica do modelo geológico criado corresponderá a uma *anomalia calculada de Bouguer*, e a curva obtida a uma *anomalia observada de Bouguer*. A densidade das unidades foi estimada segundo valores expressos em Casten & Snopk (2006) e Berkman (1995), e as extensões em planta dos corpos estudados (*half strike*), foram obtidas através do mapa gravimétrico digital com o uso de ferramentas do ArcMap™.

6-5 Tratamento de dados e geração das imagens raster para a base SIG

As imagens tipo *raster* geradas são referentes aos estudos geofísicos. O manuseio dos dados e a criação das imagens seguem os seguintes procedimentos:

- Estudo geoestatístico inicial, com a utilização do *Sistema GeoVisual*. É feita busca por *trends* na distribuição dos valores, realizando uma análise exploratória multidirecional.
- Interpolação de dados e criação de *grids*, onde é utilizado o Sistema Geovisual e o software OASIS montaj™ 4.3. Também podem ser aplicados filtros dependendo do tipo de dado tratado e da informação desejada (como filtros para alta ou baixa freqüência). A partir dos *grids* obtidos pela interpolação são criados *layers*, utilizados nos mapas confeccionados.
- Criação de mapas temáticos segundo a técnica utilizada (p.ex., gamaespectrometria ou gravimetria), onde será utilizado o software ArcGis™ 9.1.

7- DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

No período de desenvolvimento do trabalho, foi realizada uma revisão em dados pré-trabalhados, com a adição de um estudo geoestatístico. A partir destes dados, foram confeccionados diversos mapas: geologia regional; faciologia do CGC; valores de K, Th e U, razões U/Th, U/K, Th/K, e parâmetros F, Ud e Kd por gamaespectrometria terrestre nos granitos

Serra do Carambeí e Joaquim Murtinho, e por aerogamaespectrometria no CGC e no CGTC; mapas gravimétricos regionais, com posterior estudo em perfis 2.5D.

As imagens de gravimetria trouxeram informações e novas interpretações acerca do CGC, e das unidades adjacentes. Com o uso da modelagem em 2.5D, pode-se sugerir: provável geometria dos corpos geológicos aflorantes e as suas relações de contato, existência de corpos presentes em subsuperfície, e comportamento da descontinuidade de Mohorovicic na região do Arco de Ponta Grossa. Foram construídas seis seções geológicas em escala regional para investigação do CGC e unidades vizinhas, a partir do mapa de anomalia Bouguer obtido.

Neste trabalho, optou-se por dar ênfase aos estudos geofísicos, para melhor interpretação geológica das imagens obtidas, e em função do prazo disponível para trabalho. A metodologia foi incrementada com a utilização de mais recursos geofísicos: o uso do software GRAVMAG para modelagem gravimétrica, e de imagens gamaespectrométricas obtidas através de razões e fatores matemáticos.

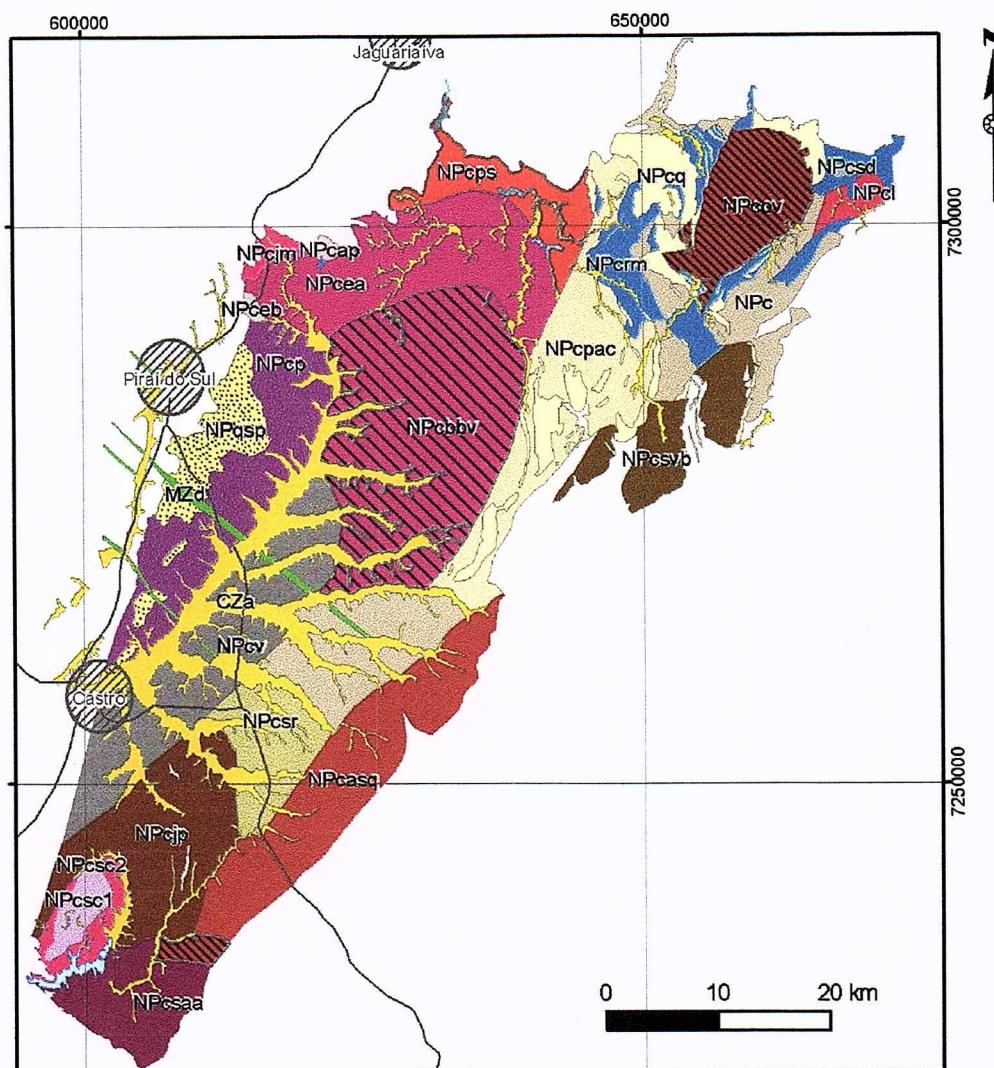
Os estudos geofísicos certamente são de difícil execução e interpretação, exigindo empenho, e apoio por parte dos orientadores. Houve um pouco de dificuldade no manuseio dos dados geofísicos através do software OASIS montaj™4.3, pelas complexidades próprias inseridas no programa.

8- APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

8-1 Mapas primários - geologia regional, faciologia do Complexo Cunhaporanga, e SRTM

Os mapas primários são figuras montadas para utilização *in house* e em futuras publicações, e foram obtidos através da digitalização de mapas em papel, reciclagem de *shapes* pré-existentes, e montagem com imagem SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission* – arquivos no site <http://www.landcover.org> - acesso em maio de 2006).

O mapa geológico regional (Fig. 1), exibe a localização do CGC e unidades adjacentes. Este mapa foi confeccionado com a colaboração de W. Shukowsky e G. B. Guimarães. As variações faciológicas internas ao CGC podem ser observadas na Figura 4, digitalizado de Guimarães (2000), que exibe as fácies delimitadas em escala 1:25.000. Adicionalmente, foi confeccionado um mapa de leitura SRTM (Fig. 5), para a observação de feições geomorfológicas possivelmente influentes nas interpretações geológicas e geofísicas, em especial gamaespectrométricas.



Legenda

Legenda

Domínios petrográficos no CGC

- Dominios petrográficos no SGO**

 - CZA-Sedimentos aluvionares e em parte coluvionares
 - MZd-Diabásios e, localmente, dionitos e gabros, correlatos à Formação Serra Geral
 - NPcsc1-Granito Serra do Carambel
 - NPcsc2-Granito Serra do Carambel
 - NPCjm-Granito Joaquim Murtinho
 - NPCsd-Granito São Domingos
 - NPC-Setores indiferenciados
 - NPCsvb-Domínio Petrográfico Francisco Simas-Vila Branca
 - NPCv-Domínio Petrográfico Varginha
 - NPCpac-Domínio Petrográfico Passo da Anta-Água Clara
 - NPCsr-Domínio Petrográfico Santa Rita
 - NPCasq-Domínio Petrográfico Abapã-Santa Quitéria
 - NPCsaa-Domínio Petrográfico Serra Abaixo-Alagados
 - NPCjp-Domínio Petrográfico Jotuba-Pitangui
 - NPCov-Domínio Petrográfico Ouro Verde-Patrimônio Santo Antônio
 - NPCl-Domínio Petrográfico Limeira
 - NPCap-Domínio Petrográfico Arrolo das Pedrinhas
 - NPCeb-Domínio Petrográfico Espalha Brasa
 - NPCps-Domínio Petrográfico Paredão da Santa
 - NPcea-Domínio Petrográfico Espigão Alto
 - NPCbbv-Domínio Petrográfico Biscias-Boa Vista
 - NPCp-Domínio Petrográfico Pirai do Sul
 - NPCqs-“Quartzito Serra das Pedras”
 - NPcq-Outros metarenitos e metarcósios
 - NPCrm-Rochas metamórficas diversas

Rodovias

Cidades

Lagoas

Brasil - Estado do Paraná Localização da área



Figura 4 – Mapa faciológico do Complexo Granítico Cunhaporanga (Guimarães, 2000).

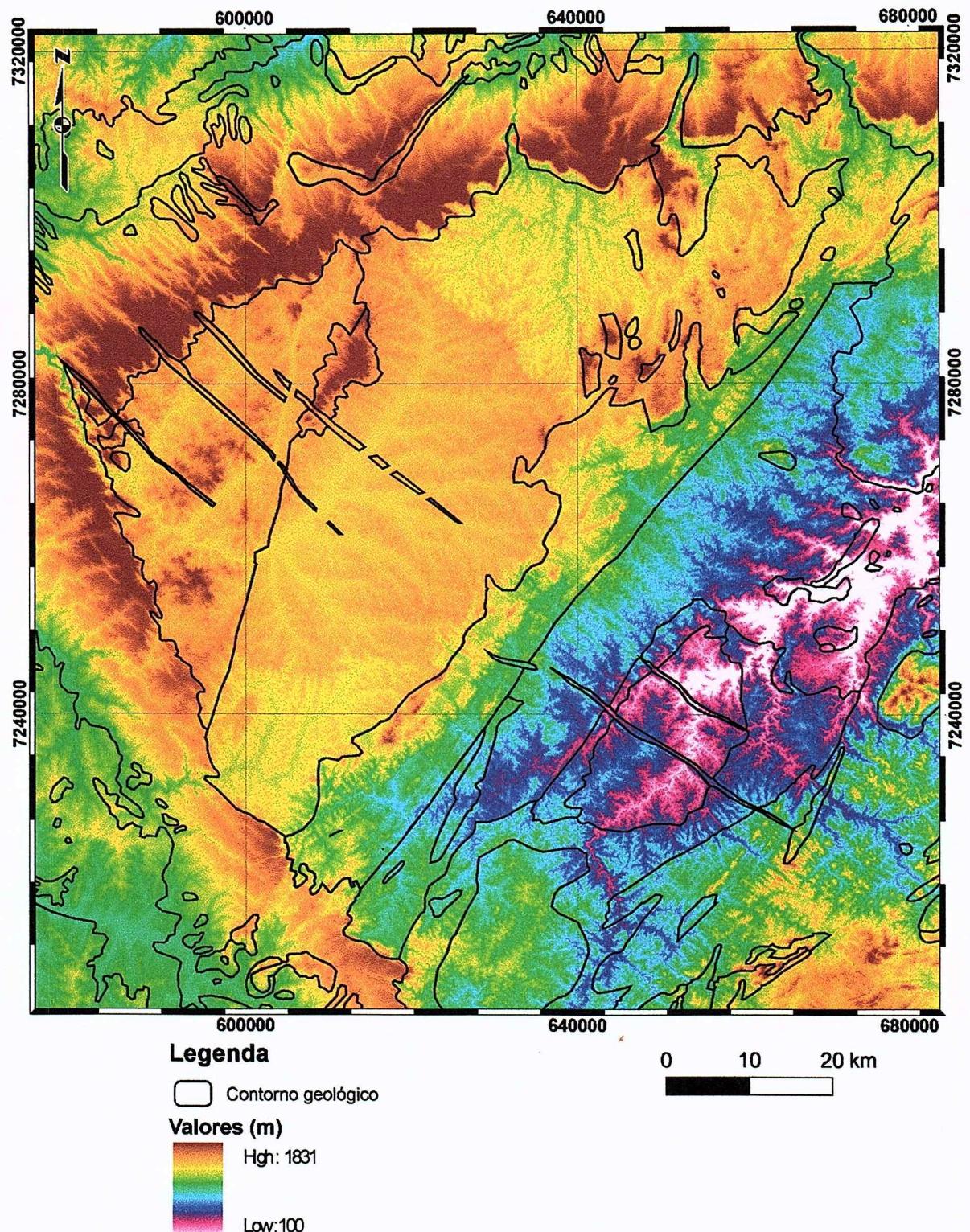


Figura 5 – Mapa exibindo feições topográficas na região do Arco de Ponta Grossa, utilizando imagem SRTM.

8-2 Estudos geofísicos

8-2.1 Gamaespectrometria

Os dados de aerogamaespectrometria utilizados foram obtidos inicialmente como resultado do Projeto Aerogeofísico Serra do Mar Sul, realizado na década do 70 para a CPRM, com os valores gamaespectrométricos registrados como cps (contagens por segundo), e posteriormente corrigidos pelo *Brazil Airborne Radiometric Mapping Project* (BARMP, 1997) por erros de vôo e de nivelamento, e também convertidos em valores quantitativos (cps para %K, eTh em ppm, eU em ppm). A altitude média de vôo sobre a área foi de 120 m, em linhas orientadas a N30W aproximadamente, com espaçamento de 1 km.

A aplicação destes dados aerogeofísicos, cedidos pela CPRM, é válida pela correspondência razoável com subunidades do Complexo Cunhaporanga (por exemplo, o Granito Serra do Carambeí (ver mapa faciológico, Fig. 4), que se apresenta em destaque no CGC, com leituras muito acima da média.

Trabalhos adicionais, realizados pela equipe de F. J. F. Ferreira e G. B. Guimarães, permitiram a obtenção de dados gamaespectrométricos terrestres. Nestes trabalhos, foi utilizado um gamaespectrômetro de 512 canais (GS-512, fabricado pela Scintrex/Geofyzika) pertencente ao Laboratório de Pesquisa em Geofísica Aplicada/UFPR, e foram realizadas leituras espaçadas de 250 a 500 m, ao longo de estradas, sobre as unidades graníticas, e com alguns pontos nas rochas encaixantes. O posicionamento dos pontos de leituras foi feito por meio de um receptor GPS, e as leituras foram tomadas em contagens por segundo (cps) e automaticamente transformadas em concentrações, com base em procedimento de calibração realizado no Instituto de Radioproteção e Dosimetria – IRD, da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN.

8-2.1.1 Complexos Cunhaporanga e Três Córregos: utilização de dados aerogamaespectrométricos corrigidos

Foram confeccionadas imagens a partir dos dados aéreos que cobrem a área correspondente aos dois batólitos graníticos da região, Cunhaporanga (CGC) e Três Córregos (CGTC). A interpolação foi realizada por método de mínima curvatura, devido a abundância de dados disponíveis, através do software OASIS montaj™, e o recorte de dados de interesse foi realizado no banco de dados original, anteriormente à interpolação.

Em geral, granitos mais evoluídos mostram teores diferentes nos três elementos K, Th e U, motivo pelo qual é de interesse contar com mapas faciológicos, os mais detalhados

possíveis, para tentar a interpretação dos resultados obtidos. Os mapas utilizados estão disponíveis, um deles representando a distribuição faciológica, com bastante detalhe, no interior do CGC (modificado de Guimarães, 2000; Fig. 4), o outro mostrando a primeira tentativa de mapeamento mais circunstanciado do CGTC, de autoria de H. Prazeres Filho (Prazeres Filho, 2005).

8-2.1.1.1 Mapas de distribuição de K, Th e U

As respostas dos elementos K, U e Th, e de Ct, aparecem destacadas na Figura 6. Pela observação destas imagens, fica evidenciada a abundância de K no CGTC, enquanto no CGC, este elemento é bem escasso. As respostas de Th e U destacam o Granito Serra do Carambeí, uma unidade diferenciada a SW no CGC e, no batólito Três Córregos, mostram o maior enriquecimento dos domínios extremos a NE e a S nestes elementos.

8-2.1.1.2 Mapas das razões U/Th, U/K, Th/K, Fator F, Kd, Ud, e imagem ternária K-Th-U

O mapa da razão U/Th (Fig. 7) destaca o CGTC, com aproximadamente 1/3 de sua área aflorante com valores próximos a 1, e maiores em alguns pontos isolados, enquanto no CGC predominam valores mais baixos para a razão.

A imagem obtida pela razão U/K (Fig. 7) exibe um predomínio dos valores altos da razão no CGC, enquanto que no CGTC predominam valores mais baixos em sua região central (Granito São Sebastião – Prazeres Filho, 2000); o cálculo somente fornece valores mais altos significativos na porção sul desta unidade. A razão Th/K apresenta resultados semelhantes ao de U/K, mas com as respostas das áreas anômalas algo mais definidas, devido a mobilidade do Th ser menor que do U.

O fator F ressalta a porção leste dos dois batólicos, mas o CGTC apresenta claramente valores mais extremos para este fator (Fig. 7). Já no mapa de valores de Kd e Ud (Fig. 8), observam-se os altos valores na porção NE do CGC, e mais intensamente no centro-leste do CGTC, com os valores mais altos de toda a área.

Através da construção de uma imagem ternária K-Th-U (Fig. 8), pode-se observar que no CGC há predominância de leituras de U e Th sobre as de K, enquanto no CGTC predominam o K e o U sobre o Th, em grande parte desta unidade (porções NE e central). O CGC apresenta um enriquecimento um pouco maior em K e U em seus limites a ESE. Na imagem ternária, em especial no CGC, destacam-se os depósitos aluvionares (e.g., sedimentos do Rio Iapó, na região central do batólito; ver mapa faciológico, Fig. 4), que ficam marcados como uma área negra, pela ausência de resposta dos três elementos analizados.

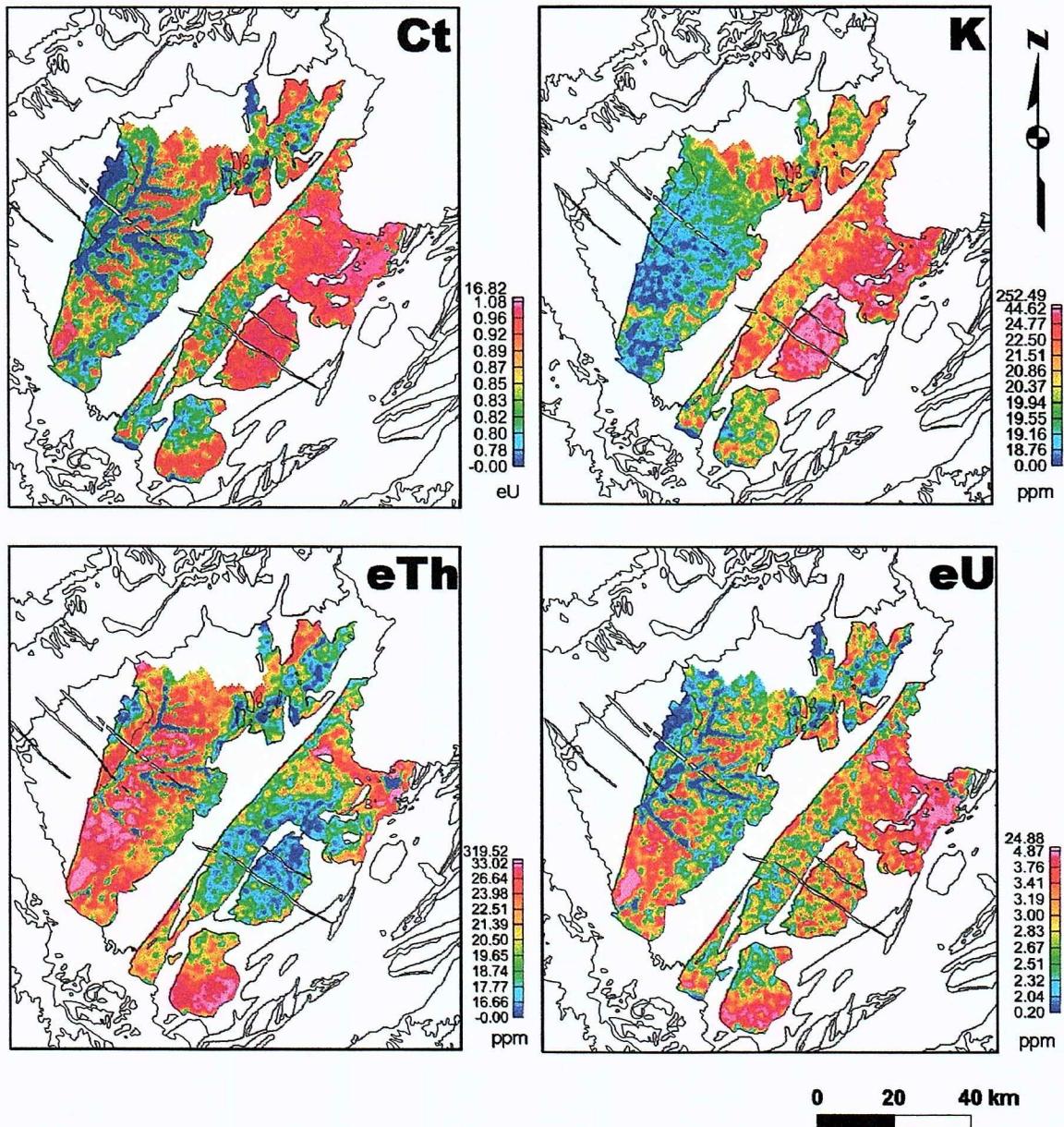


Figura 6 - Mapas das respostas de aerogamaespectrometria para contagem total (Ct), potássio (K), equivalente em tório (eTh) e equivalente em urânio (eU), para os complexos Cunhaporanga e Três Córregos.

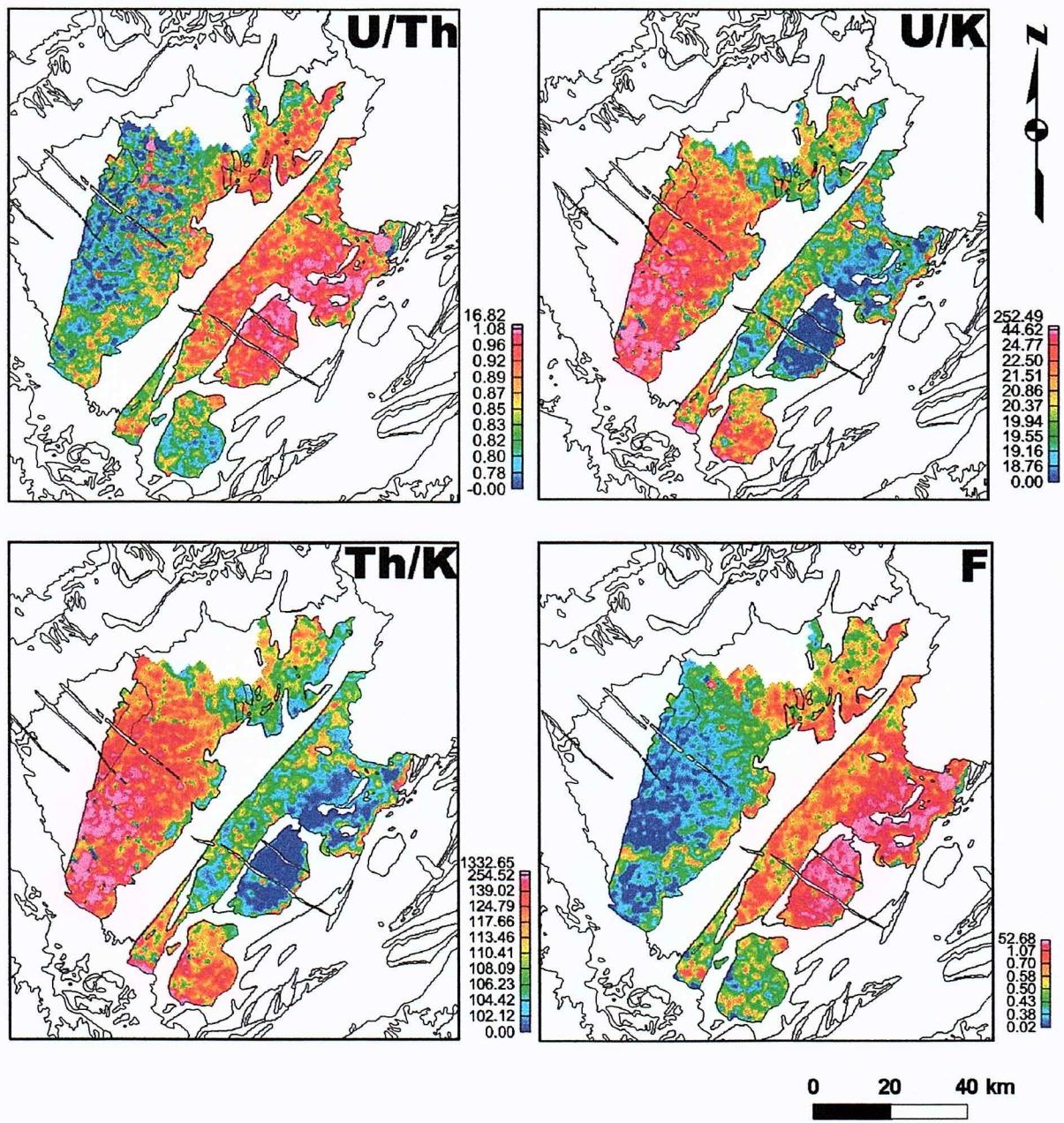


Figura 7 - Mapas de aerogamaespectrometria de razões U/Th, U/K e Th/K e para o fator F, para os complexos Cunhaporanga e Três Córregos.

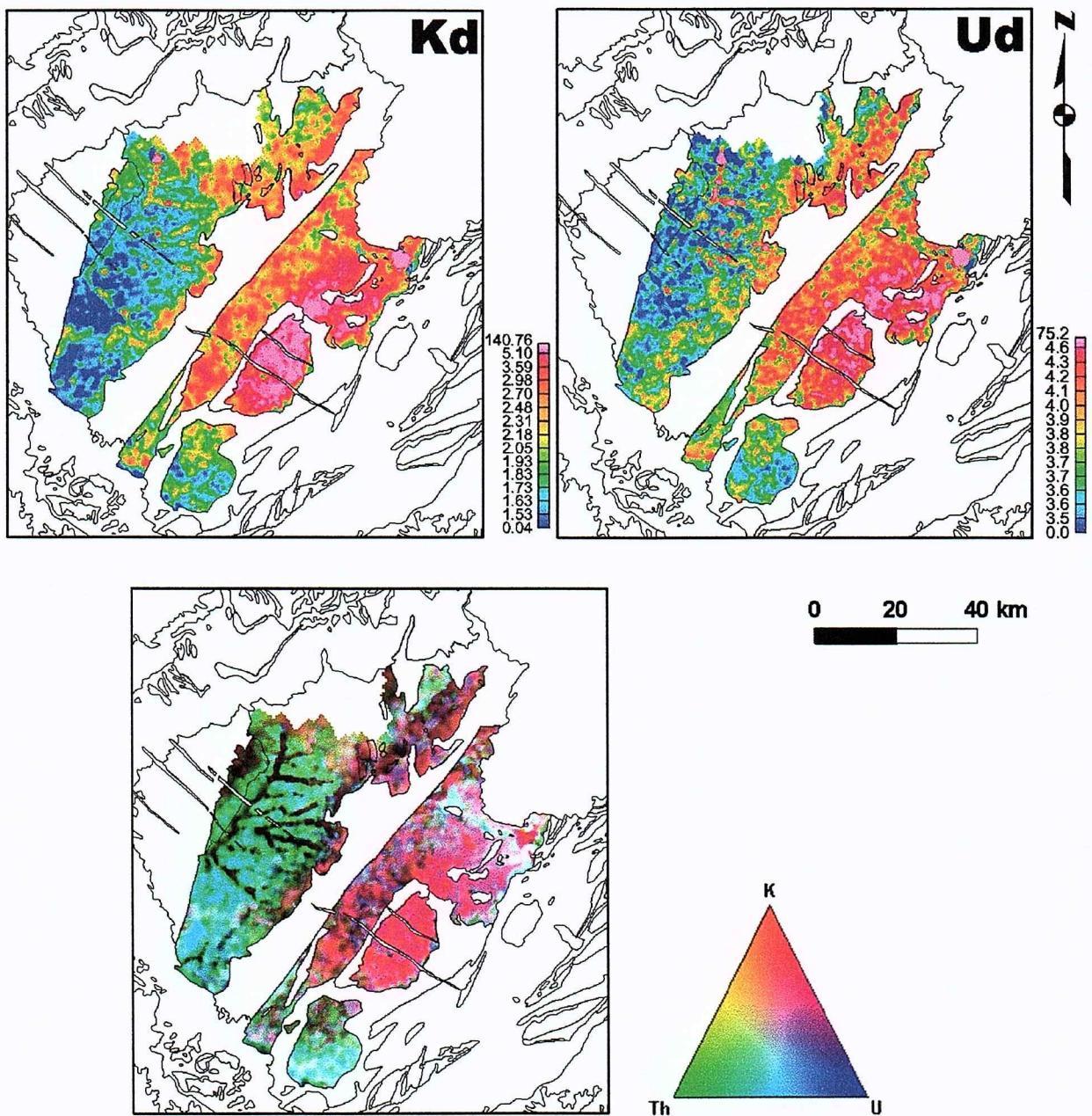


Figura 8 – Mapas de aerogamaespectrometria de valores Kd e Ud, e mapa ternário de K U e Th, para os complexos Cunhaporanga e Três Córregos.

8-2.1.2 Granito Serra do Carambeí e Joaquim Murtinho: gamaespectrometria terrestre

A coleta de dados de gamaespectrometria terrestre tem por objetivo analisar a distribuição dos elementos K, Th e U nos domínios Serra do Carambeí e Joaquim Murtinho, integrantes do CGC (ver mapa de pontos, Fig. 9, e mapa faciológico do CGC, Fig. 4).

O Granito Serra do Carambeí, GSC, no extremo SW do complexo, possui uma área de cerca de 30 km², de forma alongada elipsoidal. É subdividido em dois domínios: o externo, em forma de anel, constituído de sienogranitos ricos em K-feldspato, e o interno, formado por granitos alasquíticos.

O Granito Joaquim Murtinho, GJM, é composto por granitóides alasquíticos, e cobre uma área de uns 10 km², localizada a NW do CGC. Encontra-se coberto pela Formação Furnas a NE, e mostra contato tectônico a sul com outras subunidades do CGC e a oeste com o Grupo Castro.

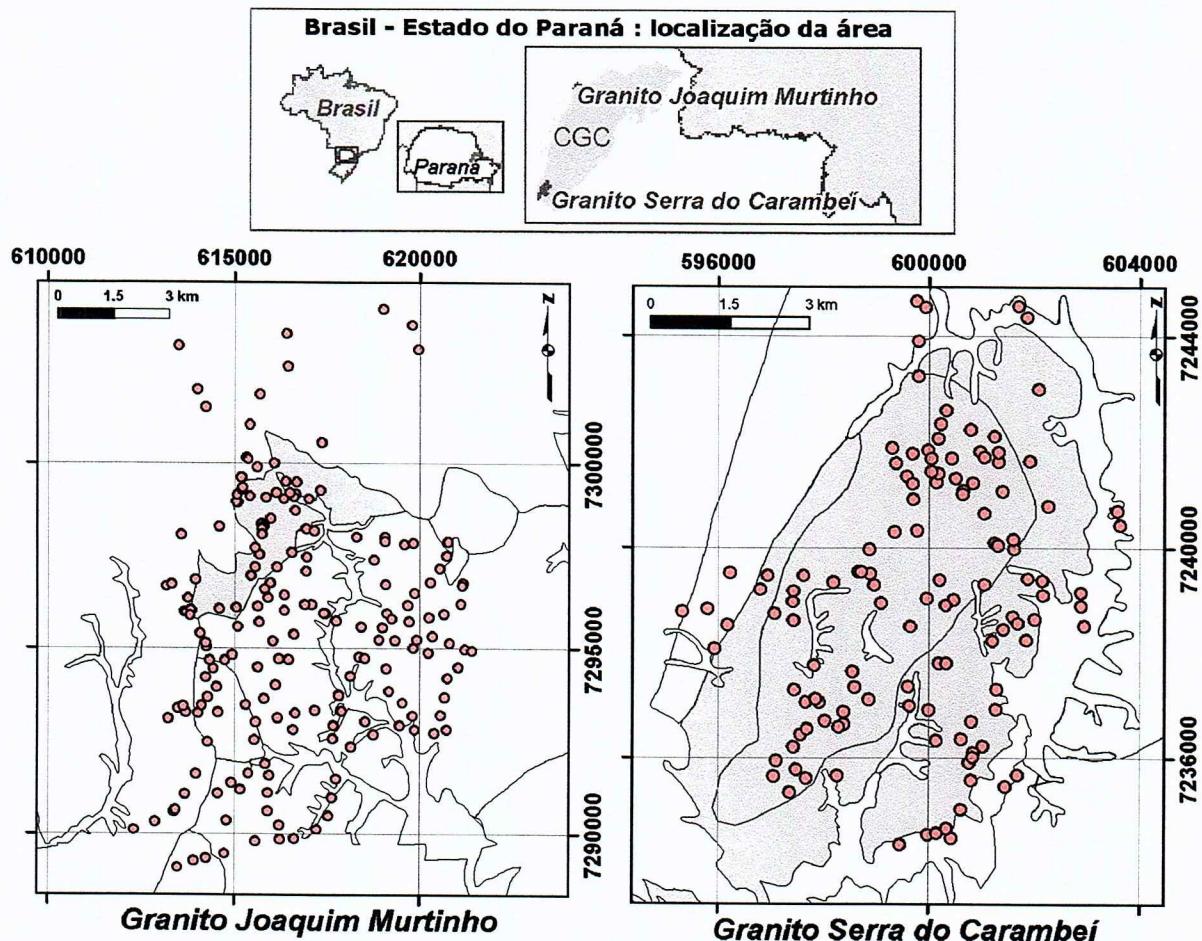


Figura 9 – Mapa de pontos com leituras de gamaespectrometria terrestre, nos domínios Joaquim Murtinho e Serra do Carambeí.

A caracterização gamaespectrométrica destes dois domínios do CGC é importante por se tratarem de unidades com rochas muito diferenciadas, de intrusão tardia na história do CGC, portanto ricas em U e Th, elementos de interesse econômico.

8-2.1.2.1 Análise geoestatística e interpolação

Para identificar a presença de um variograma estruturado para as variáveis em estudo (contagem total ou Ct, potássio, tório e urânio), foi feita uma análise exploratória para as quatro variáveis, nos granitos Serra do Carambeí e Joaquim Murtinho, realizada para 4 direções principais (0° , 45° , 90° e 135°). Os parâmetros utilizados estão expressos na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros utilizados para a análise exploratória e, posteriormente, para a interpolação.

Parâmetros	Granito Serra do Carambeí	Granito Joaquim Murtinho
<i>Campo geométrico(m)</i>	4149	3821.5
<i>Distância média entre pontos (m)</i>	793.37	975.47
<i>Número de passos</i>	5	4
<i>Abertura DX, DY(m)</i>	300	300
<i>Método de interpolação</i>	Mínima curvatura	Triangulação de Delaunay

O valor de distância média obtido por análise estatística não é indicado para ser usado como tamanho da célula, pois a malha de pontos de campo é muito irregular, apresentando nestas áreas concentrações de pontos em linhas ou áreas com escassos pontos. Assim, através da observação da distribuição dos pontos nas áreas, optou-se por utilizar células de 300x300m.

Nos variogramas experimentais obtidos (Fig. 10 e 11), observa-se que em geral as variáveis não apresentam estruturas significativas, e por este motivo, não foram aplicados métodos que dependam do variograma, como por exemplo, krigagem ordinária, e sim métodos de precisão global.

Para o GSC foi utilizado o método de mínima curvatura na interpolação dos dados. Alguns fatores influenciam para que seja conveniente a aplicação deste método, que causa certa suavização dos picos de leitura gamaespectrométrica. Seriam estes, por um lado, a forte ação do intemperismo químico nos elementos na região, gerando valores nulos de leitura em áreas onde haveria leituras altas de um elemento (por ex., teores quase nulos de potássio em algumas áreas graníticas), ou criando concentrações secundárias de elementos (por ex., de U e/ou Th), e, por outro, a presença de malha de pontos irregular, aparecendo áreas com escassez de dados.

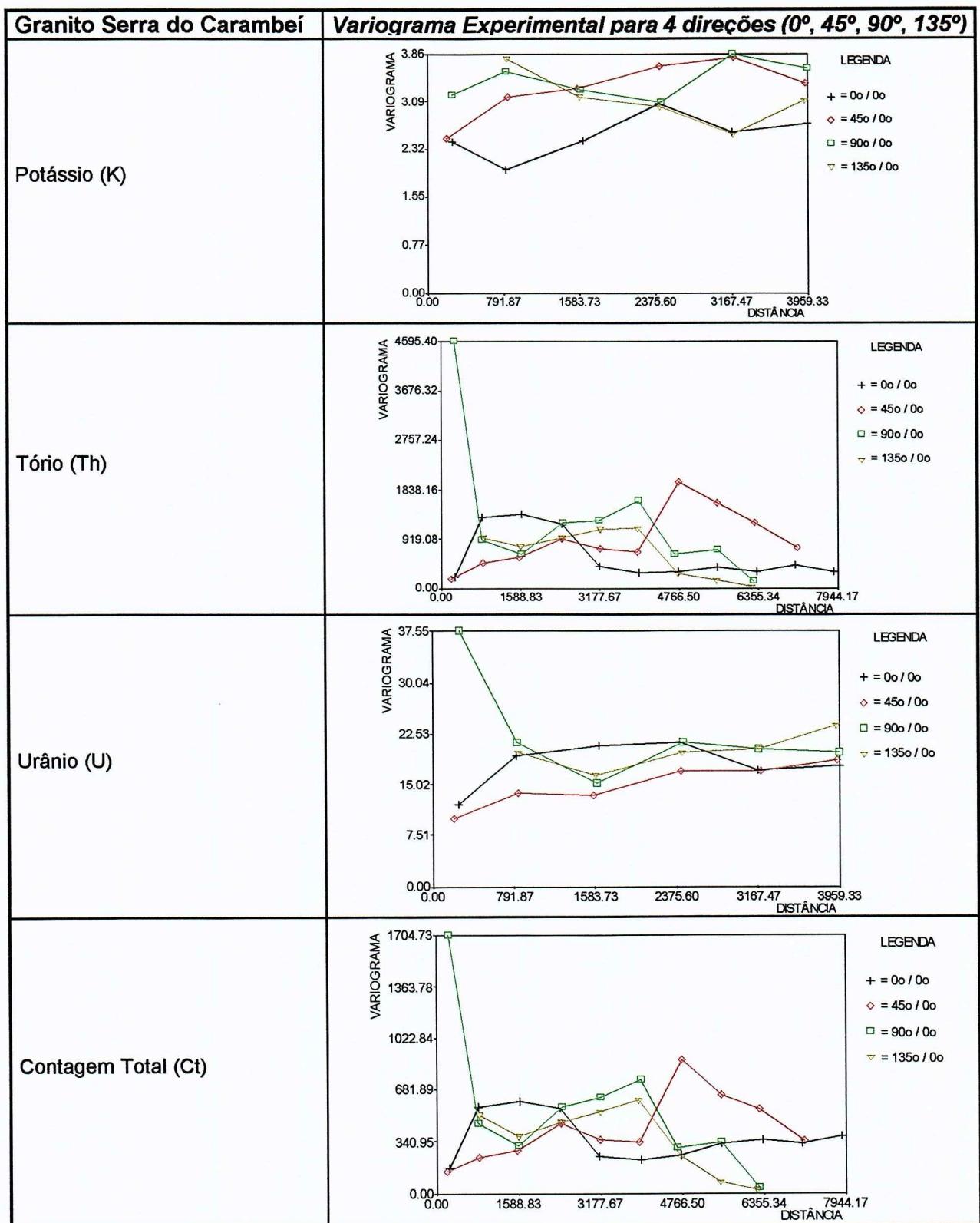


Figura 10 - Variogramas Experimentais – Granito Serra do Carambei

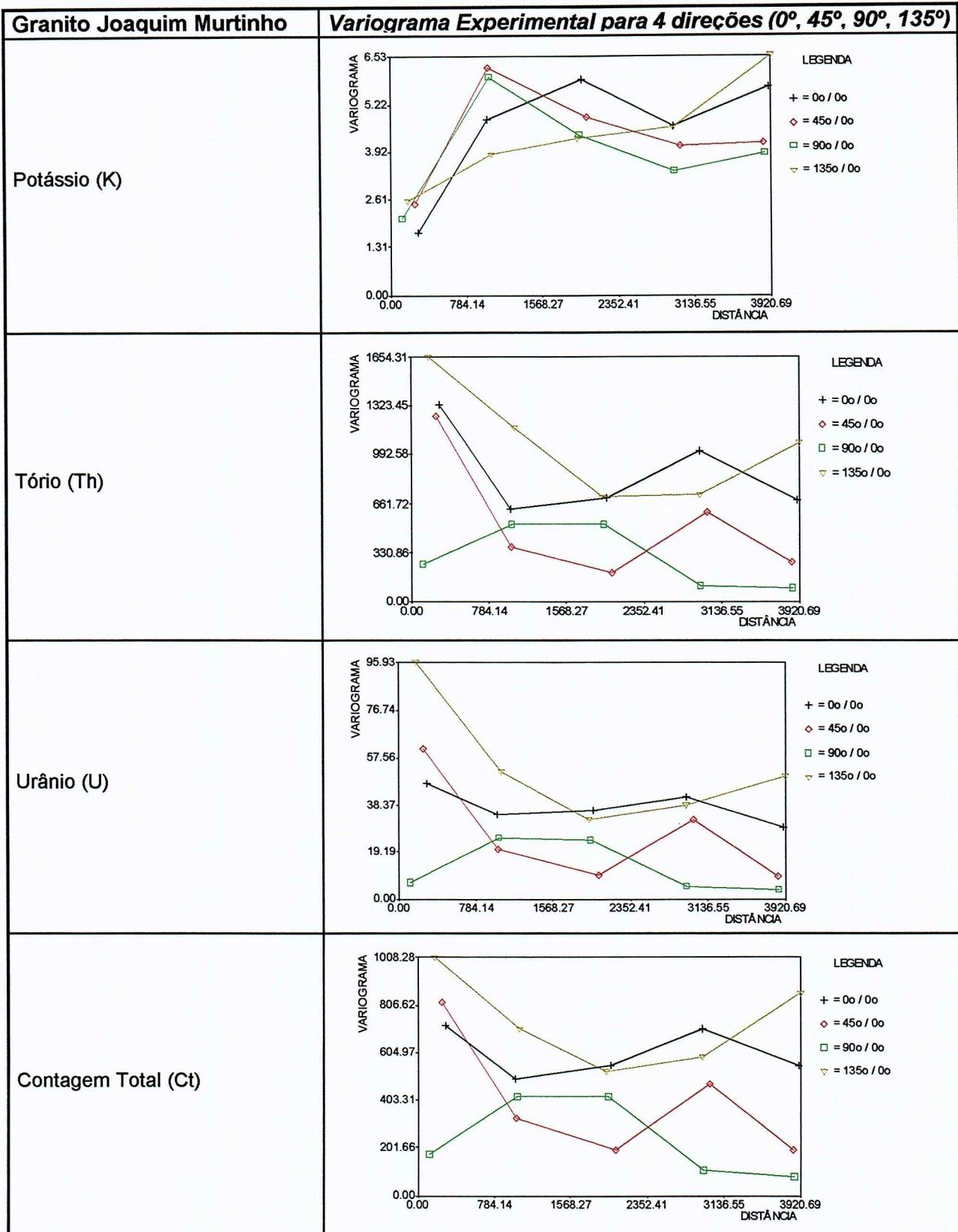


Figura 11 – Variogramas Experimentais – Granito Joaquim Murtinho

No caso do GJM, optou-se pelo método de *triangulação de Delaunay*, com a interpolação feita através do Sistema Geovisual. Este granito apresenta contatos tectônicos angulosos, e a aplicação do método de mínima curvatura geraria um efeito de extração das concentrações e, portanto, uma indefinição dos limites das anomalias. O método de triangulação apresentou imagens com efeitos de borda mais atenuados, em comparação com a mínima curvatura, assim permitindo observar se valores anômalos fora dos domínios do GJM são leituras reais ou anomalias fabricadas pelo método.

Para utilizar *grids* gerados no Sistema Geovisual, foi feita a importação do arquivo (*.GL2) para o OASIS montaj™. As células do *grid* que foram excluídas pela fronteira convexa no Sistema Geovisual, se transformam em “*bad values*” neste novo arquivo, exibindo valores “-99”, que foram retirados através de expressões booleanas, para melhor preservar as características da interpolação original. O *grid* é então novamente interpolado no OASIS montaj™ com a utilização do método de mínima curvatura, um método global disponível nesta versão do software. Esta transferência dos dados para o software OASIS montaj™ é necessária, pois o Sistema Geovisual não possui recursos gráficos, de conversões de arquivos, e de gerenciamento dos dados.

Foram adicionados, à malha de pontos do GJM, alguns pontos de controle para auxiliar na interpolação. Estes pontos correspondem a áreas visitadas em trabalhos anteriores (Guimarães, 2000), aos quais foram atribuídos valores de medidas gamaespectrométricas, obtidos através da média aritmética das leituras existentes para essa litologia na área (Tabela 2). Esta complementação foi realizada para diminuir a extração sobre as unidades sedimentares e metassedimentares vizinhas à unidade.

Tabela 2 – Valores de leituras gamaespectrométricas na Formação Furnas na região do Granito Joaquim Murtinho

GJM - Leituras realizadas no arenito Furnas							
X	Y	Ponto	Ct(eU)	K(%)	eU(ppm)	eTh(ppm)	Rocha/solo
615618	7299893	57	6.9	0.2	1.4	8.9	Arenito Furnas
615702	7301836	60	7.6	0.3	0.9	10.4	Arenito Furnas
616450	7302578	61	9.8	0.1	1.5	13.7	Arenito Furnas
616407	7303454	62	8.4	0.5	2.8	8.6	Arenito Furnas
619792	7303692	64	6	0	1.8	7.6	Arenito Furnas
619015	7304130	65	12.9	0.5	3	16.1	Arenito Furnas
614241	7301489	66	11.9	1.1	1.1	15.4	Arenito Furnas
614012	7301957	67	8.7	0.5	1.6	10.3	Arenito Furnas
613508	7303131	69	15.6	0.1	4.5	19.9	Arenito Furnas
615196	7299615	133	13.4	0.9	3.3	12.5	Arenito Furnas
			11.2	0.5	2.4	13.7	Média aritmética

A partir da base de dados original, foram elaborados os mapas para os valores Ct, K, eU e eTh. Adicionalmente, foram obtidos os *grids* Kd, F, Ud, eU/eTh, eU/K e eTh/K, com a interpolação efetuada utilizando os resultados das respectivas operações matemáticas, realizadas sobre os dados originais. As respostas obtidas nos dois domínios mostram que o GJM e o GSC possuem concentrações anômalas destes elementos, diferenciando-os de suas encaixantes.

Os *grids* que apresentaram valores negativos devido ao processo de interpolação sofreram normalização para ~0.001. No caso especial do potássio (K), há leituras de valor zero, inviabilizando a obtenção das razões U/K e Th/K para determinados pontos. Assim, foi feita uma normalização de 0.1 nos valores de potássio para realizar estas operações. A escolha de um número de valor relativamente alto para normalização tem o objetivo de obter resultados com menor intervalo numérico, para melhor observar as características da distribuição espacial das diferenças de comportamento dos elementos.

8-2.1.2.2 Mapas de distribuição de K, Th e U

As respostas de K, Th e U nos dois domínios mostram que o GJM e o GSC possuem concentrações anômalas destes elementos, diferenciando-os de suas encaixantes.

O GSC apresenta valores baixos de K, com concentração maior apenas na porção centro-ocidental no corpo interno (Fig. 12), e a norte do anel externo, e o GJM apresenta altas leituras deste elemento, em especial na sua porção central e setentrional (Fig. 13). No GSC, a resposta do Th e do U mostra enriquecimento maior de Th na parte central, e de U nos extremos norte e sul (Fig. 12). No GJM, Th e em especial U estão presentes em toda a área de afloramento (Fig. 13); entretanto, teores maiores desses elementos são também encontrados em outras unidades, mais a sul.

8-2.1.2.3 Mapas das razões U/Th, U/K, Th/K, Fator F, Kd e Ud, e imagem ternária K-U-Th

O cálculo da razão U/Th para o GSC (Fig. 14) e para o GJM (Fig. 15) fornece predominantemente valores abaixo de 1, indicando que, em geral, há o predomínio de Th sobre o U nas duas áreas.

Há uma concentração de valores elevados da razão U/K no GSC em sua porção central (Fig. 14), com uma alta concentração a sul, no anel externo. Na área do GJM, os valores mais altos desta razão estão a sul desta unidade (Fig. 15), enquanto que no domínio do GJM as leituras mais altas estão a SW, e nos depósitos aluvionares.

No domínio interno do GSC (Fig. 14), há áreas com alta razão Th/K, predominantemente na unides interna, mas também em parte no anel externo. Para o GJM, há valores baixos de Th/K (Fig. 15). Os números fornecidos pela razão mostram valores altos em uma área próxima ao GJM, a sul, junto a depósitos aluvionares.

As imagens dadas pelo cálculo do fator F, para o GSC (Fig. 14) e para o GJM (Fig. 15), apresentam áreas com valores máximos de 3.4. Destacam-se como áreas de altos valores, no GSC, o norte da unidade externa e a porção centro-meridional do corpo interno e, no GJM, a sua porção central.

Há alguns locais que possuem anomalias significativas de U e K, identificadas através do cálculo de parâmetros Ud e Kd: no GSC (Fig. 16), enriquecimento em U a sul e a norte e em K a norte, no anel externo; no GJM (Fig. 17), as maiores concentrações de U e K tomam toda a parte central do corpo.

A imagem ternária do GSC (Fig. 16) mostra o predomínio de Th e U sobre o K, em todo o domínio. Há ainda alguns pontos de alta concentração de U, destacando-se valores anômalos a sul. Pontualmente, há alta concentração de Th e K em relação ao U, na parte central do corpo interno do GSC. No domínio GJM, a imagem mostra o equilíbrio relativo dos valores de K, Th e U, e, na porção SW, uma maior de concentração de Th e U em relação aos valores de K (Fig. 17).

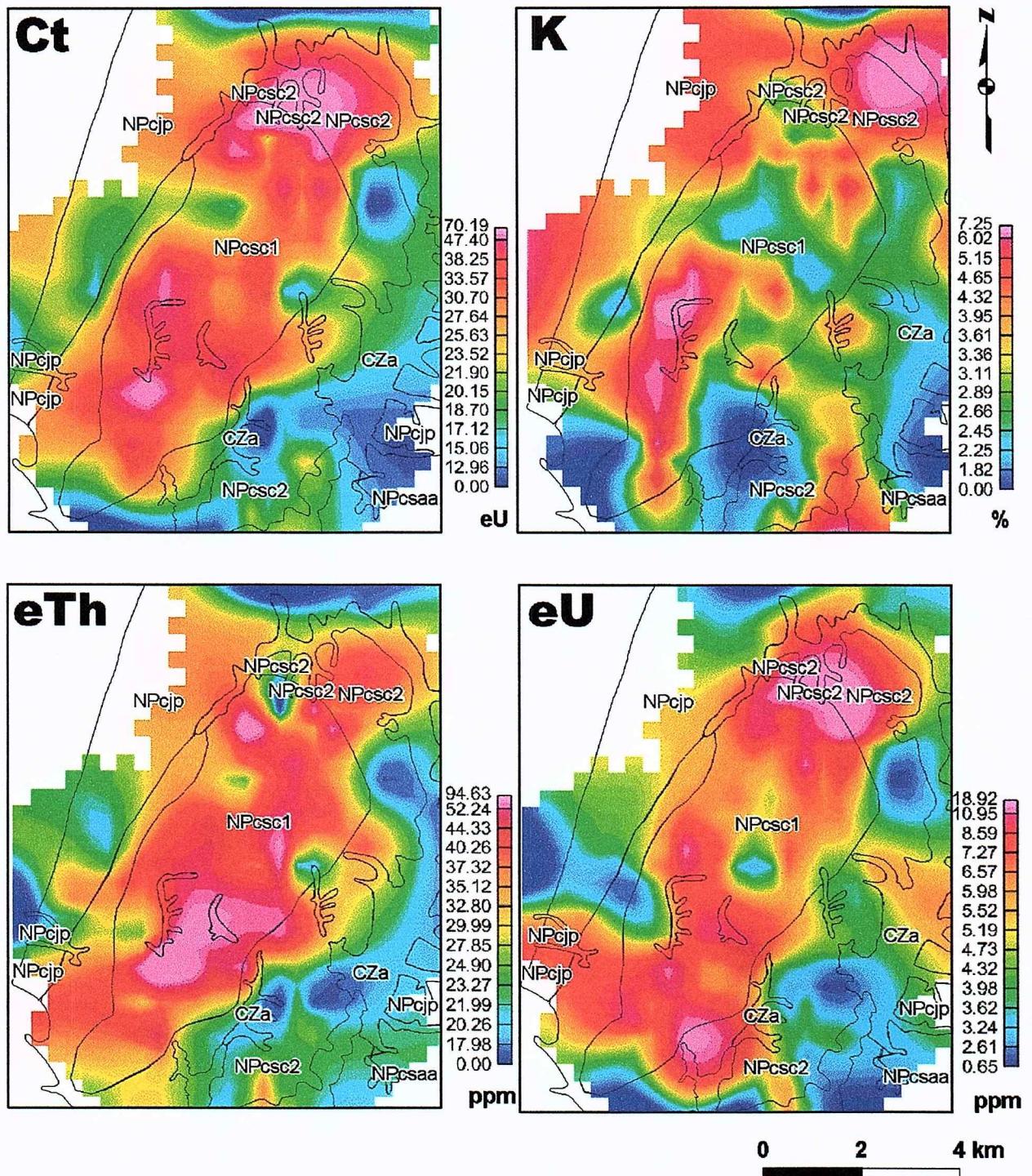


Figura 12 - Mapas da resposta de gamaespectrometria terrestre para contagem total (Ct), potássio (K), equivalente em tório (eTh) e equivalente em urânio (eU), no Granito Serra do Carambei. Unidades internas ao Complexo Cunhaporanga: NPcsc1 e NPcsc2 – Granito Serra do Carambei, NPcjp – Domínio Petrográfico, DP, Jotuba-Pitangui, Npcsa - DP Serra Abaixo-Alagados, NPcv - DP Varginha, Cza – Depósitos aluvionares.

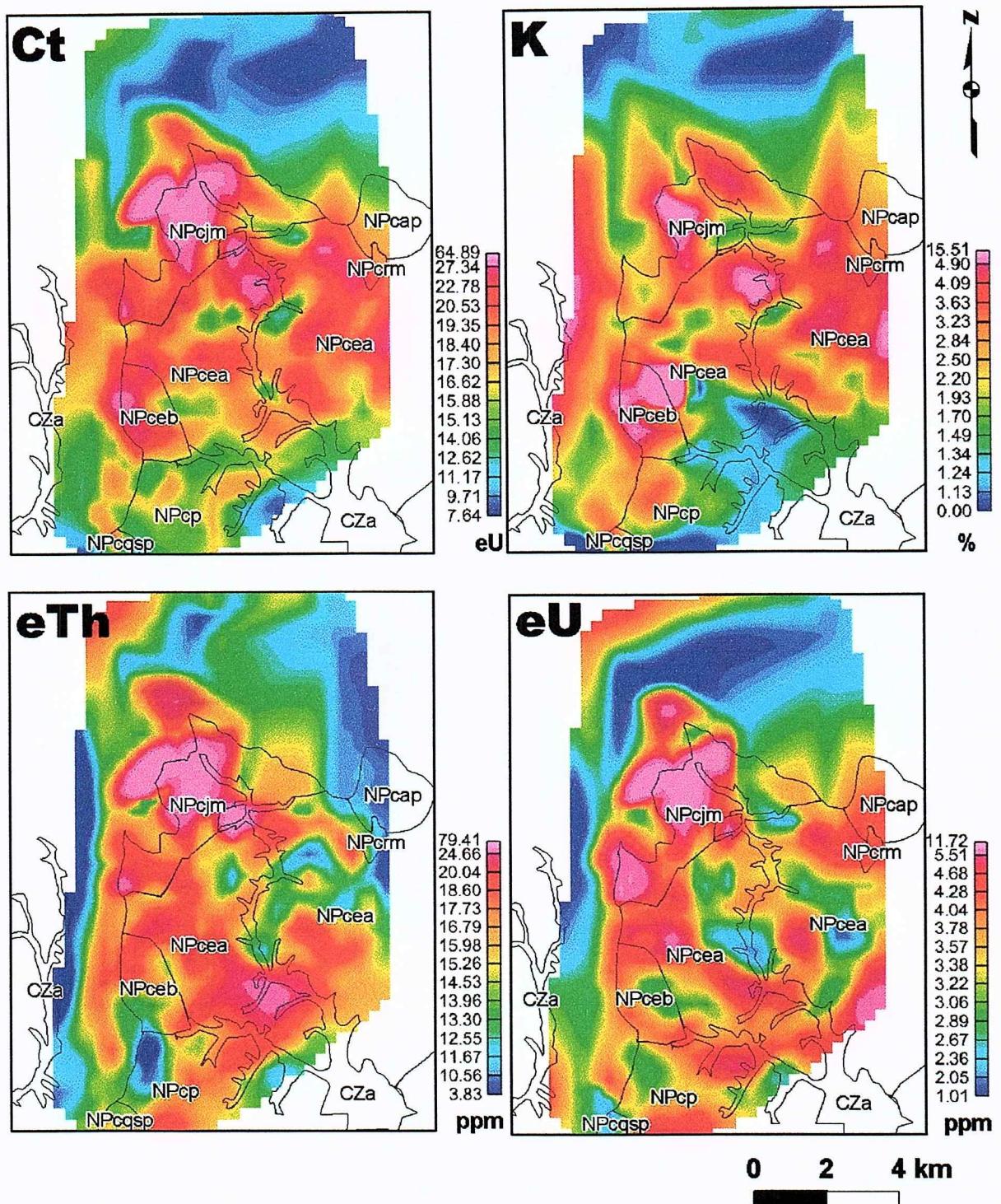


Figura 13 - Mapas das respostas de gamaespectrometria terrestre para contagem total (Ct), potássio (K), equivalente em tório (eTh) e equivalente em urânio (eU), para o Granito Joaquim Murtinho. Unidades internas no CGC: NPcjm – Granito Joaquim Murtinho, Npcap – Domínio Petrográfico, DP, Arroio da Pedrinhas, NPcrm – rochas metamórficas diversas, Npcea – DP Espigão Alto , Npceb – DP Espalha Brasa, NPcp – DP Pirai do Sul, NPcqsp – Quartzito Serra das Pedras, Cza – Depósitos aluvionares.

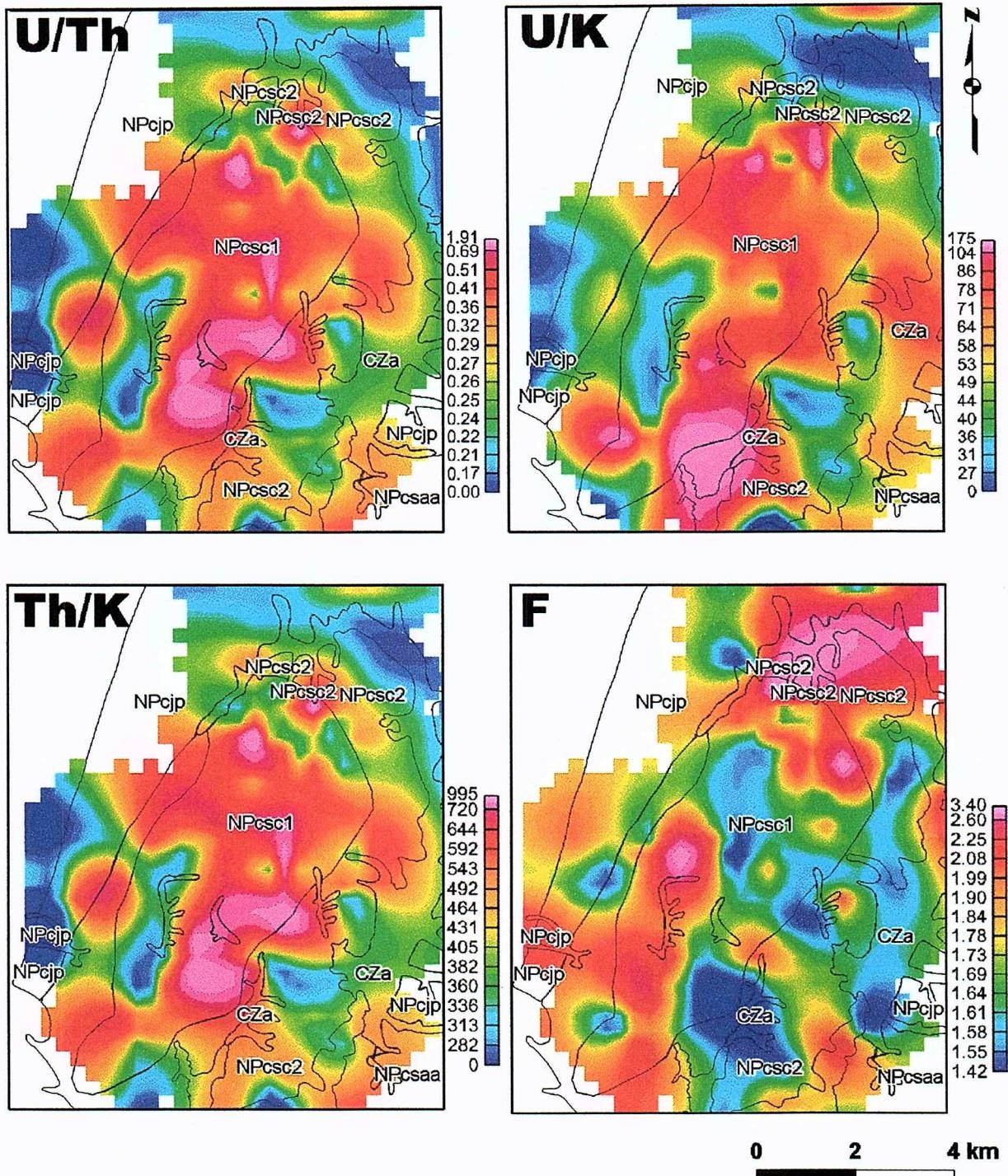


Figura 14 - Gamaespectrometria terrestre no Granito Serra do Carambei: razões e Fator F. Unidades internas ao Complexo Cunhaporanga: ver legenda da Fig. 12.

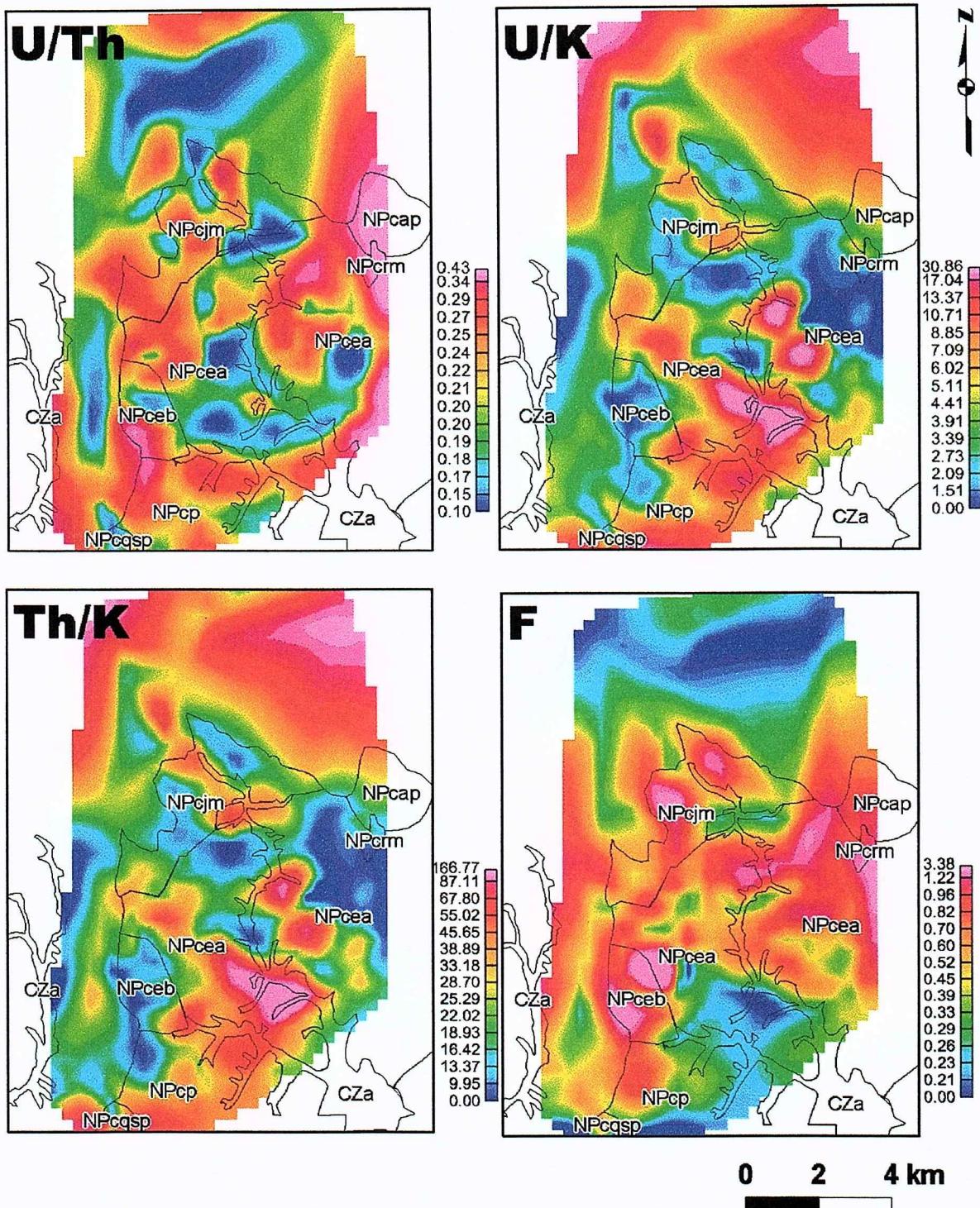


Figura 15 - Gamaespectrometria terrestre no Granito Joaquim Murtinho: razões e Fator F. Unidades internas ao Complexo Cunhaporanga: ver legenda da Fig. 13.

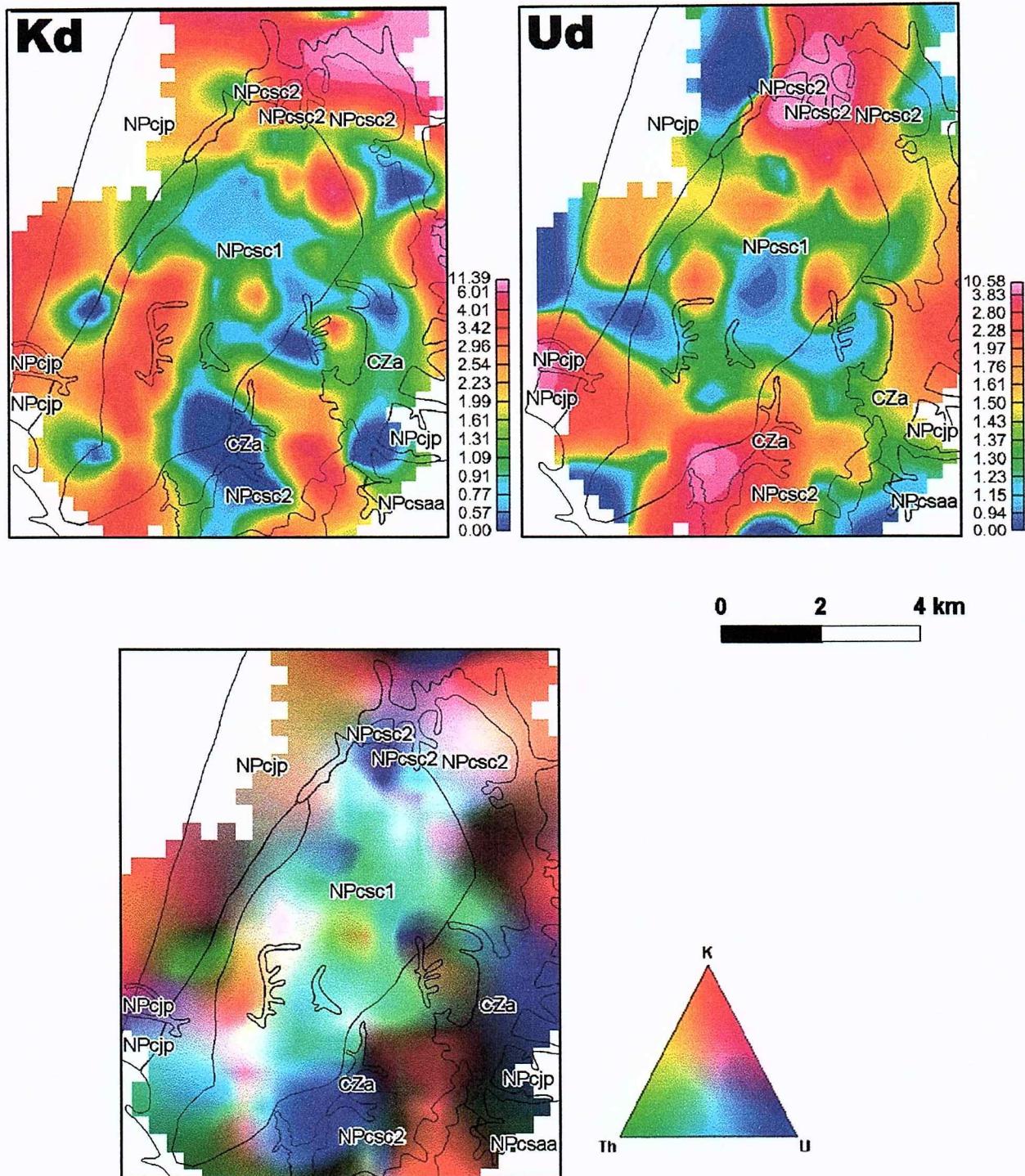


Figura 16 - Gamaespectrometria terrestre no Granito Serra do Carambei: parâmetros Kd e Ud , e imagem ternária. Unidades internas ao Complexo Cunhaporanga: ver legenda da Fig.12.

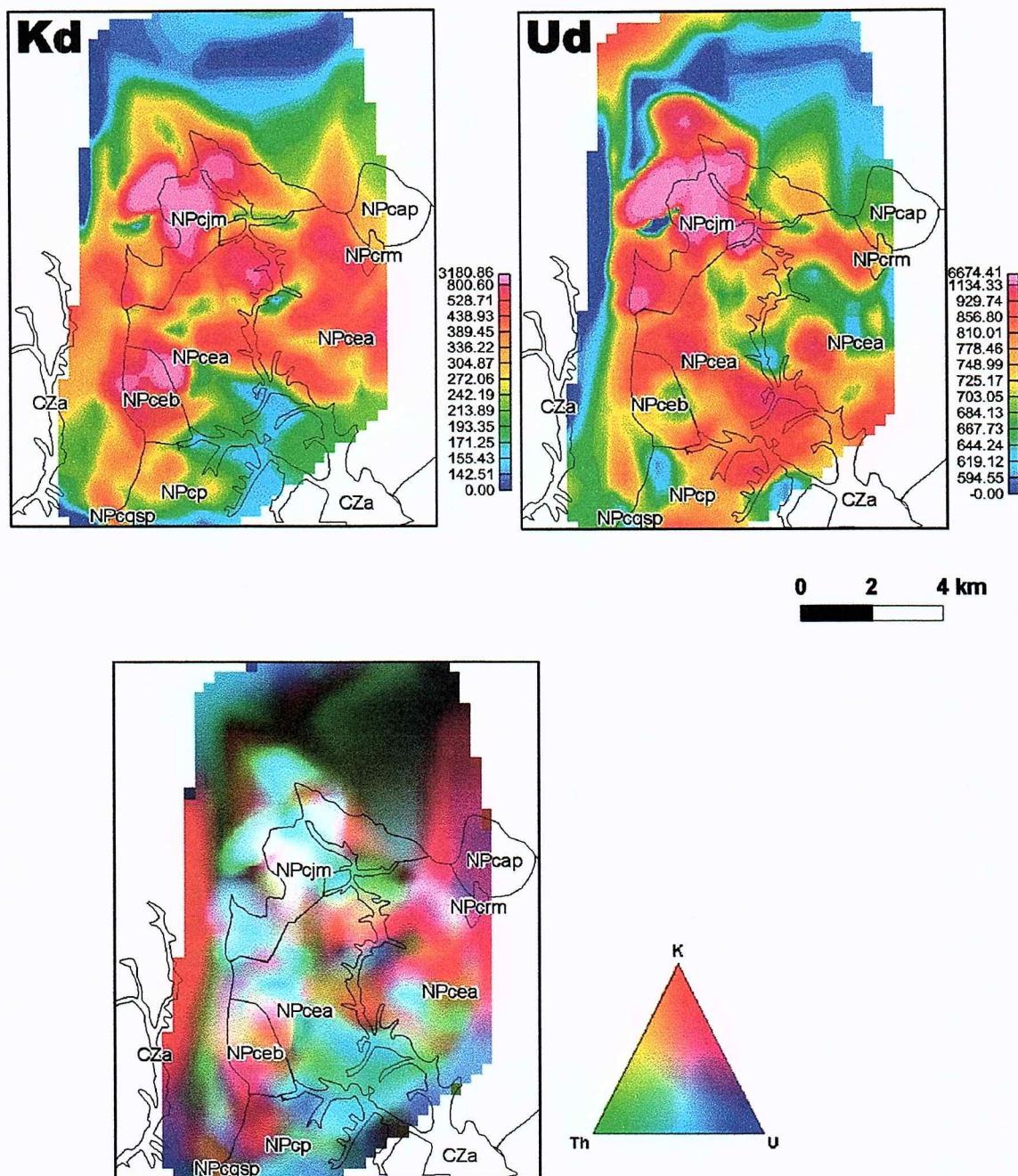


Figura 17 - Gamaespectrometria terrestre no Granito Joaquim Murtinho: parâmetros Kd e Ud, e imagem ternária. Unidades internas ao Complexo Cunhaporanga: ver legenda da Fig. 13.

8-2.2 Gravimetria

Em trabalhos anteriores, foi obtido por pesquisadores do IAG-USP um conjunto significativo de dados gravimétricos na região do Arco de Ponta Grossa e vizinhanças, para a realização de trabalhos de interpretação tanto local como regional. Em adição, como complemento do presente projeto, com financiamento da Fapesp e com foco no estudo do CGC, foram obtidos dados adicionais por uma equipe conjunta IAG-IGc, com espaçamento mais denso, da ordem de 1 a 2 km, entre estações de medição. Todos os dados foram coletados com o uso de um gravímetro Lacoste & Romberg, modelo G, com o sistema de leitura digital ALIOD-100 e veículo equipado com GPS CA, com correção diurna de variações atmosféricas e o posicionamento vertical por barometria.

A área de cobertura dos dados abrange uma parte significativa do Arco de Ponta Grossa, APG, com mais detalhe dedicado para o Complexo Cunhaporanga e as unidades vizinhas, com dados coletados na forma de perfis, que foram alongados para mais 10 a 20-25 km além dos contatos do CGC, permitindo assim a obtenção da base de dados para modelagens em profundidade (idealmente, até 60-70 km de profundidade).

Entretanto, a malha de dados gravimétricos continua ainda algo irregular, permitindo assim apenas uma análise em 2.5D, através da confecção de perfis em regiões de maior densidade de pontos.

8-2.2.1 Análise geoestatística

Foi realizada uma análise exploratória para a caracterização da distribuição no espaço da anomalia gravimétrica de Bouguer, realizada para 4 direções principais (0° , 45° , 90° e 135°). Os parâmetros utilizados estão expressos na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros para análise exploratória e interpolação para anomalia Bouguer

Parâmetros	Anomalia Bouguer com correção de relevo
Campo geométrico	75 km
Distância média entre pontos	8.2 km
Tamanho do passo	2 km
Número de passos	40
Abertura $DX,DY(m)$	4 km
Método de interpolação	Krigagem ordinária

Através da análise exploratória, foram identificadas, no variograma experimental, as direções 45° e 135° como sendo os eixos da elipse anisotrópica regional, dada pelo APG, onde a maior continuidade é na direção N135, correspondendo então à direção aproximada do eixo

do APG. Foi ajustado o modelo teórico de variograma, a partir dos variogramas experimentais (Fig. 18), e os parâmetros utilizados estão listados na Tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros utilizados para o ajuste do modelo matemático teórico de variograma

Parâmetros	Estrutura 1	Estrutura 2
Anisotropia	zonal a mista	zonal a mista
Efeito pepita	0	0
Modelo	Esférico	Gaussiano
Variância espacial	81	99
Amplitude máxima	77	-
Amplitude mínima	70	70

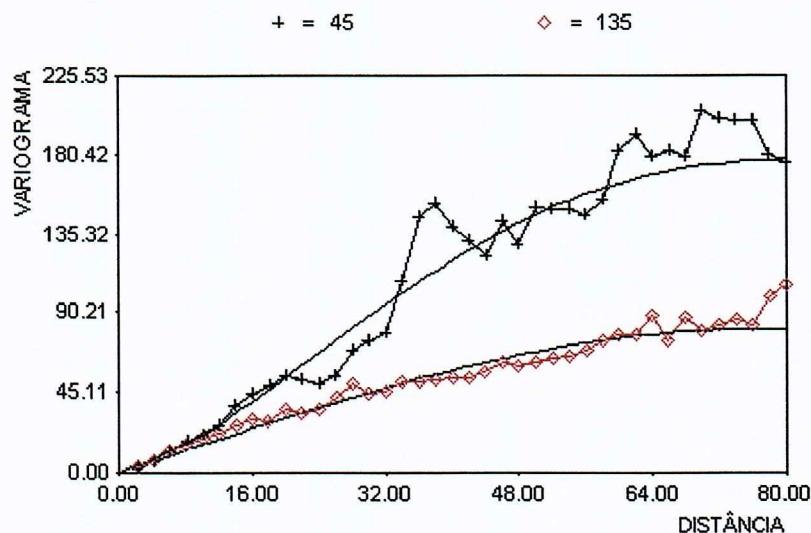


Figura 18 – Curvas do modelo teórico de variograma ajustadas ao variograma experimental

O modelo teórico obtido foi também alvo de teste por validação cruzada, para a verificação da qualidade da interpolação, e os parâmetros utilizados para a validação estão apresentados na Tabela 5. O gráfico e o coeficiente de correlação obtidos (Fig. 19) mostram que a estimativa de valores pelo modelo são em geral muito confiáveis. Para a interpolação, o método utilizado foi o da krigagem ordinária, aplicação possível pela existência de variogramas estruturados e pelo bom resultado da validação cruzada.

Tabela 5 - Parâmetros de vizinhança para validação cruzada e para krigagem

Parâmetros de vizinhança	
<i>Pontos por setor</i>	1
<i>Nº máximo de blocos considerados</i>	8
<i>Nº mínimo de blocos</i>	3
<i>Distância máxima do ponto vizinho</i>	77 km
<i>Método de interpolação</i>	Krigagem ordinária

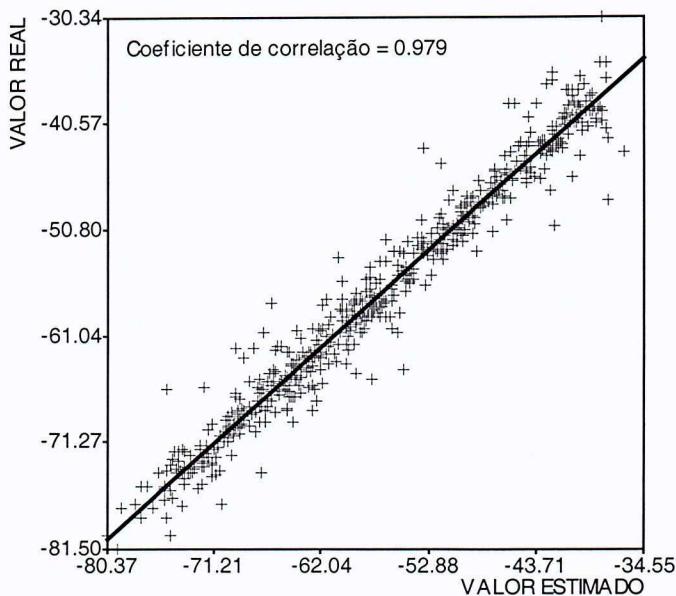


Figura 19 – Reta de regressão para validação cruzada

8-2.2.2 Mapas obtidos através dos dados gravimétricos

8-2.2.2.1 Mapas de anomalia Bouguer com correção de relevo

O mapa resultante de anomalia Bouguer com correção de relevo (Fig. 20) apresenta as regiões com anomalias gravimétricas negativas e positivas, e permite interpretações litológicas e estruturais. Pode-se observar que a sobreposição da megaestrutura do APG mascara em boa parte o comportamento das outras estruturas. Neste caso, filtros para alta freqüência podem não ser suficientes para retirar a influência de estruturas profundas (no caso, a do APG) nas assinaturas dos corpos mais rasos na crosta (W. Shukovsky – comunicação pessoal). Assim, optou-se por trabalhar com os dados originais a utilizar dados filtrados, sempre considerando a influência da estrutura em profundidade nas estruturas mais superficiais.

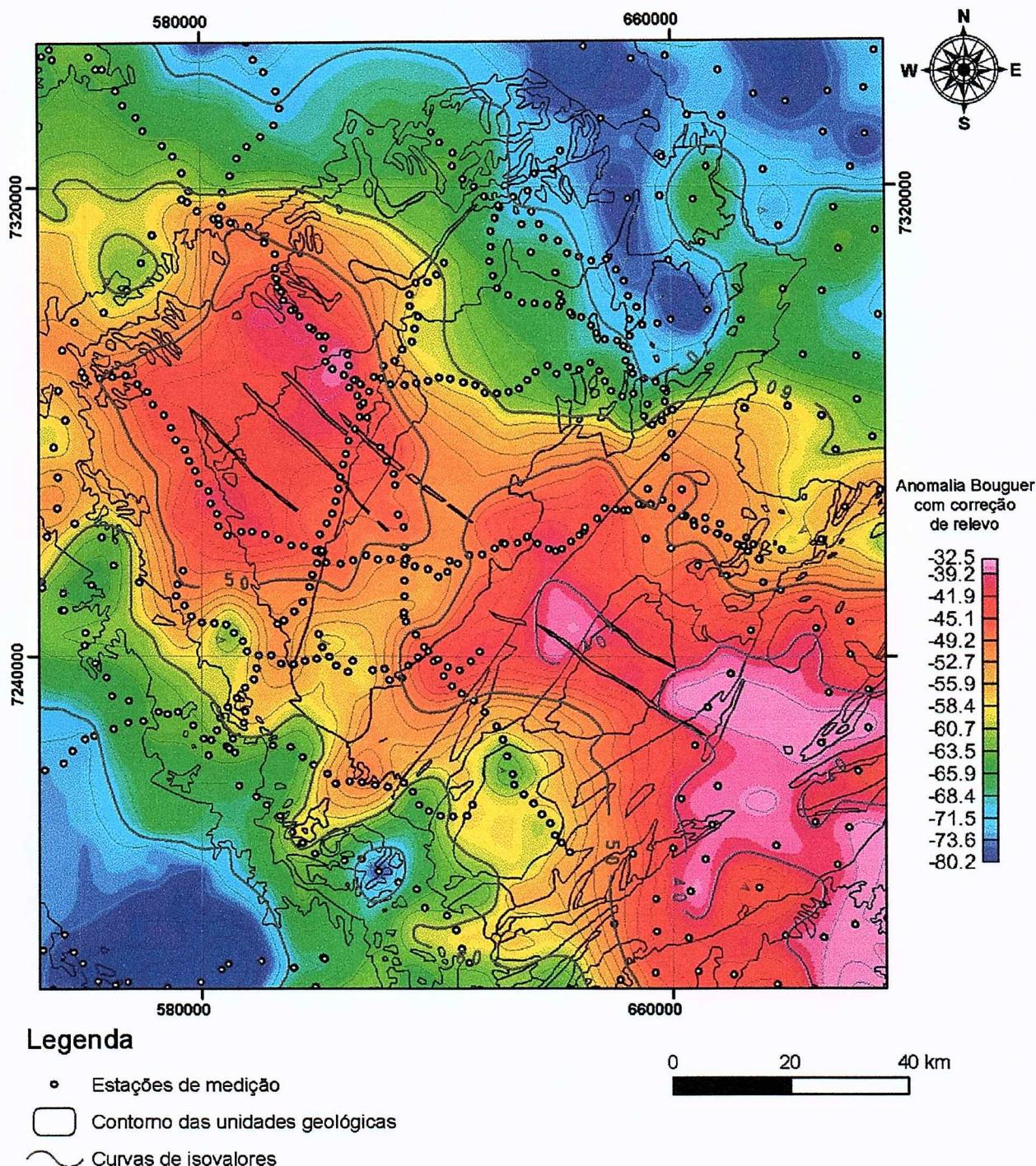


Figura 20 – Mapa gravimétrico de anomalia Bouguer

8-2.2.2.2 Mapa de desvio de interpolação

Como a malha de pontos é irregular, é importante ser confeccionado um mapa de desvio de interpolação. Os valores são obtidos no processo de interpolação por krigagem, sendo fornecidos pelo Sistema Geovisual (Fig. 21).

O mapa de desvio de interpolação deve ser utilizado com o intuito de auxiliar na análise de altos e baixos gravimétricos no mapa de anomalia Bouguer, e escolher o melhor traçado possível para perfis geofísicos. Este mapa ainda ressalta áreas estratégicas a serem visitadas para coleta de dados gravimétricos, em futuras campanhas de campo, pois exibe os locais mais críticos em relação a escassez de dados. Estas áreas são representadas pelos valores mais altos de desvio de interpolação.

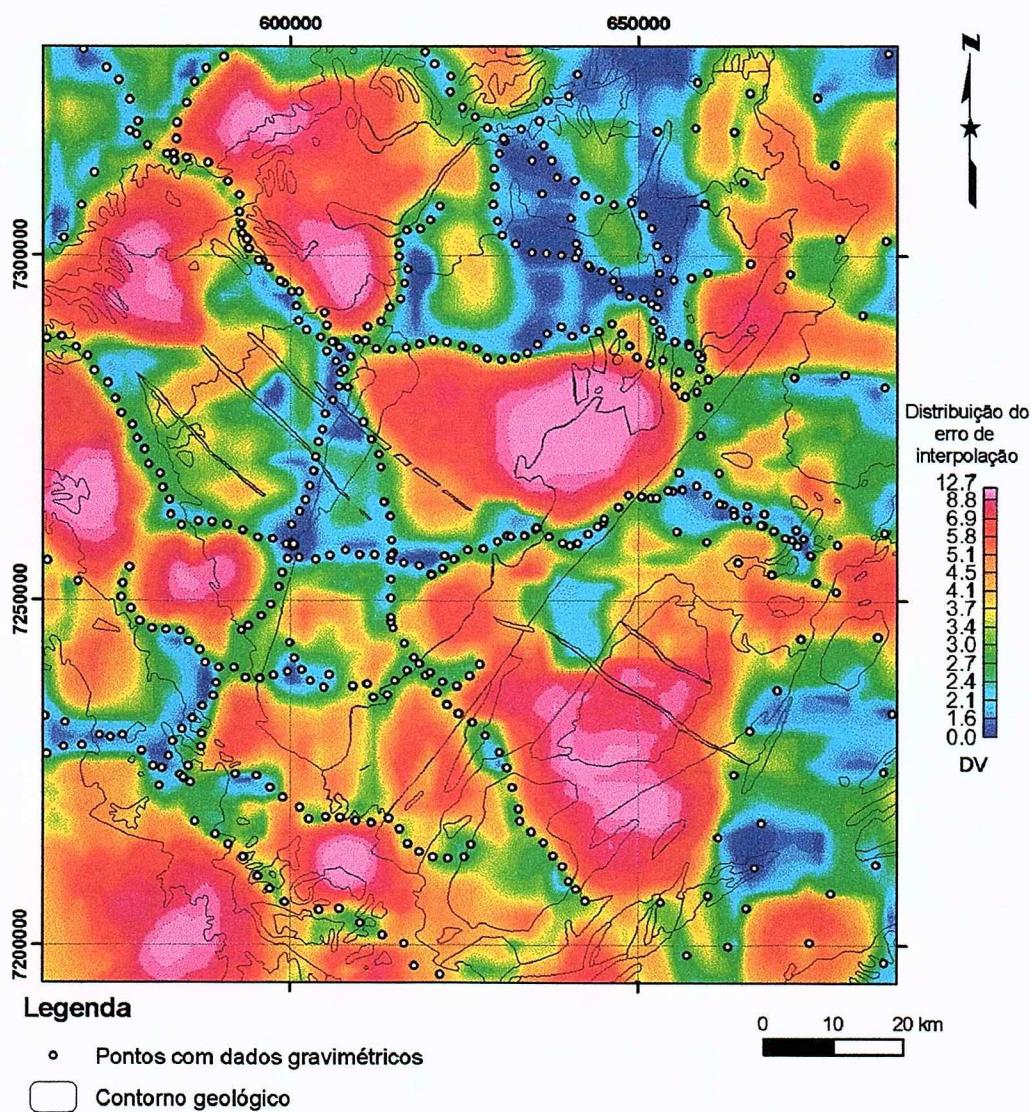


Figura 21 - Mapa de desvio de interpolação dos valores de anomalia Bouguer.

8-2.2.3 Modelos gravimétricos 2.5D

O estudo em 2.5D foi realizado por meio de seções geológicas em escala regional (Fig. 22), em profundidades de 45 a 50 km, a partir de perfis gravimétricos de valores de anomalia Bouguer com correção de relevo. O traçado dos perfis foi determinado com o auxílio do mapa de desvio de interpolação (Fig. 21), com o objetivo de utilizar valores interpolados com menor erro.

Com a utilização dos dados gravimétricos, utilizando o programa GRAVMAG, pode ser calculada uma resposta gravimétrica do modelo geológico (*anomalia calculada de Bouguer*) e fazer uma comparação com a curva obtida (*anomalia observada de Bouguer*). A modelagem das unidades vizinhas ao CGC é necessária para se obter um bom ajuste da curva calculada à curva de dados gravimétricos. As unidades geológicas em profundidade, representadas por polígonos, foram desenhadas de forma que a geometria dos corpos refletisse as informações de campo e os modelos gerais aceitos na literatura, tanto a local como a universal. Observa-se ainda, em todos os perfis apresentados, a necessidade de expandir lateralmente a influência de manto e crostas, com a finalidade de melhor modelar a curva observada da anomalia Bouguer.

Tabela 6 – Densidades aproximadas adotadas para as unidades geológicas modeladas.

Densidades estimadas para as unidades geológicas presentes		
Unidade	Litologia	Densidade (g/cm ³)
CGC	Granitóides	2.60
CGTC	Granitóides	2.60
Grupo Castro	Quartzitos, riolitos, ignibritos, andesitos	2.67
Quartzito Serra das Pedras	Quartzitos	2.65
Grupo Itaiacoca	Metacarbonáticas, quartzitos, vulcânicas	2.72
Formação Água Clara	Xistos, metacarbonáticas, metabásicas	2.70
Complexos estratiformes	Rochas ultramáficas (crosta superior)	3.00
Sedimentos da Bacia do Paraná	Arenitos, folhelhos, conglomerados	2.40
Formação Serra Geral	Basalto, diabásio, gabro	2.90
Crosta Superior		2.70
Crosta Inferior		2.80
Manto Superior		3.20

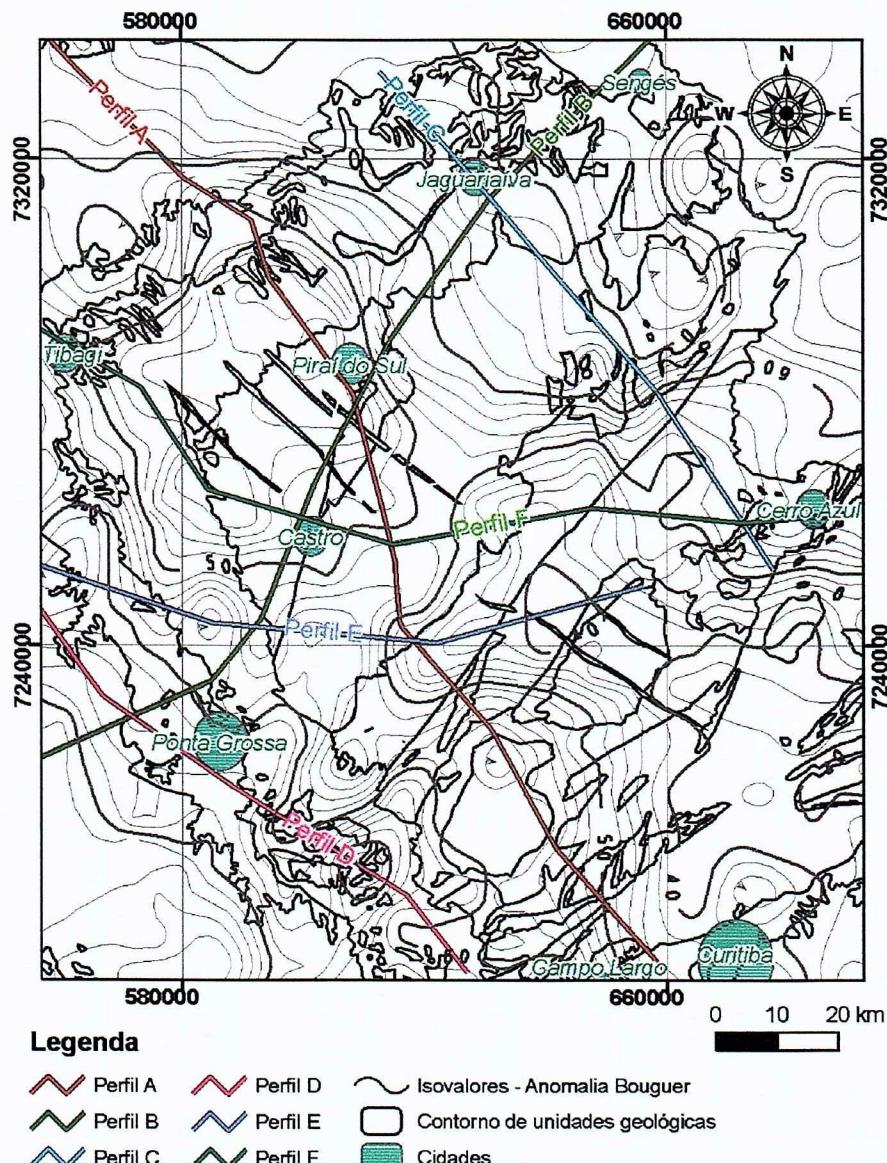


Figura 22 – Mapa com o traçado dos perfis A, B, C, D, E e F, sobre curvas de isovalores de anomalia Bouguer e contorno das unidades geológicas.

8-2.2.3.1 Perfil A

O Perfil A (Fig. 23) segue a estrada entre Piraí do Sul e Curitiba, conhecida também como Estrada do Cerne, e corta obliquamente o CGC.

Neste perfil, a feição mais destacada é a anomalia positiva de Bouguer, com cume próximo à parte central do perfil, cortada por ondas de menor amplitude e maior freqüência, correspondentes à influência gravimétrica de unidades mais superficiais que, neste caso, são anomalias localizadas negativas relacionadas aos afloramentos dos granitóides do CGC e CGTC, na parte central e E do perfil e, mais para W, a aparição da Bacia do Paraná e das formações sedimentares a ela associadas.

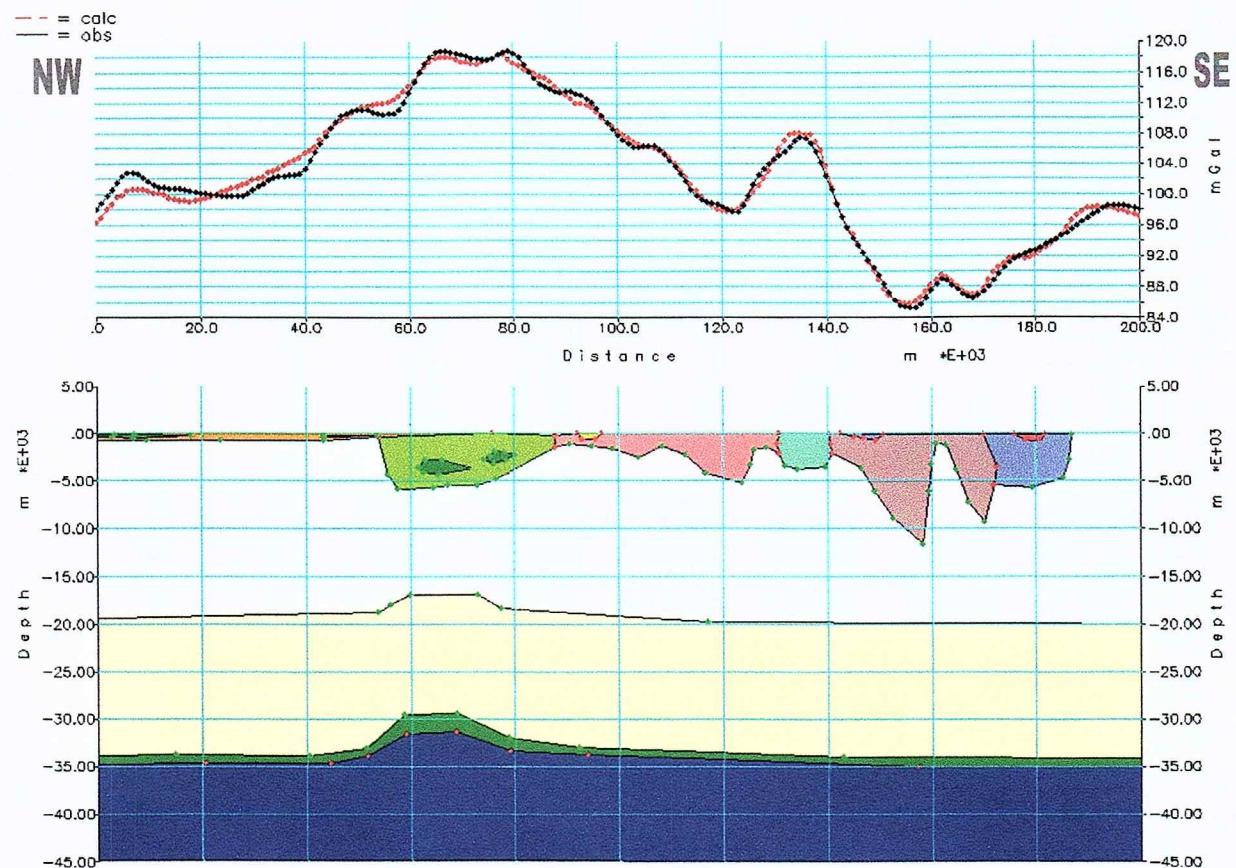


Figura 23 – Perfil A – Gráfico: A curva de cor preta representa os dados observados e em vermelho, está a curva calculada a partir dos polígonos inseridos. Parte inferior: representação das unidades presentes no perfil, aflorantes e em subsuperfície. Em branco: crosta continental superior; amarelo: crosta continental inferior; azul: manto superior; verde escuro: basalto ou gábro; verde claro: Grupo Castro; verde azulado: Grupo Itaiacoca; róseo ou amarronzado: granitóides; lilás: Formação Água Clara; amarelo vivo: Quartzito Serra das Pedras; alaranjado: Bacia do Paraná.

Ao Grupo Castro, uma estrutura em rifte (DNPM, 1984) de espessura estimada de 6 km (Moro, 1993), é atribuída uma densidade média algo superior à dos granitóides, para obter uma modelagem satisfatória do perfil observado, sugerindo também a existência de rochas algo mais densas em profundidade (e.g., vulcanitos mais básicos que os andesitos da superfície), com contribuição também parcial oferecida pela invasão de diques e sills do vulcanismo Serra Geral. É ainda sugerido um soerguimento do manto sob o Grupo Castro, devido a sua estrutura em rifte, com a contribuição de um *underplating* correlato a esse evento.

Em paralelo, é proposto que parte dos magmas basálticos, ligados ao evento magmático que gera os basaltos da Formação Serra Geral, ficou retida na interface crosta-manto ou até na crosta inferior, constituindo um *underplating* basáltico.

O Grupo Itaiacoca, separado do CGTC pela zona de cisalhamento Itapirapuã, aparece com destaque positivo, o que no perfil calculado foi modelado atribuindo a ele uma densidade conjunta superior à dos granitóides vizinhos, devido aos tipos litológicos presentes (ver Tabela 6).

8-2.2.3.2 Perfil B

Este perfil é aproximadamente perpendicular ao eixo do APG, seguindo a estrada entre Jaguariaíva e Ponta Grossa (Fig. 24). A forma geral da curva observada no Perfil B é atribuída à forte influência da estrutura do APG, responsável pelo arqueamento de todo o perfil. A Bacia do Paraná gera um abaulamento nos extremos do perfil, mais marcado na porção oeste, devido à contribuição da parte do CGC que está encoberta pelos sedimentos da bacia. O CGC, neste perfil, possui uma extensão bem superior à porção aflorante (aproximadamente 45-50 km, contra cerca de 25 km aflorantes), parte dela se estendendo sob a Bacia do Paraná, e chegando à profundidade máxima de 5 km aproximadamente.

Na curva observada, as ondas de maior freqüência são interpretadas como influência gravimétrica de diques, formados a partir do preenchimento por material básico de fraturas distensionais na região do APG. Estes diques são, em sua maioria, não aflorantes, e foram alocados com o auxílio de estudos de magnetometria (CPRM, 2004); seriam correlatos à Formação Serra Geral (Marques & Ernesto, 2004). É considerada neste modelo também a possibilidade de aparição de um *underplating* basáltico, como já sugerido na Figura 23.

Neste perfil, o Grupo Castro alcança uma profundidade máxima de 5 km, e se estende sob a Bacia do Paraná por cerca de 20 km. O contato com o CGC é brusco, condizendo com o mapa geológico (Fig. 1). No Grupo Castro, como também no CGC, há a contribuição parcial oferecida pela invasão de diques de basaltos correlatos ao vulcanismo Serra Geral.

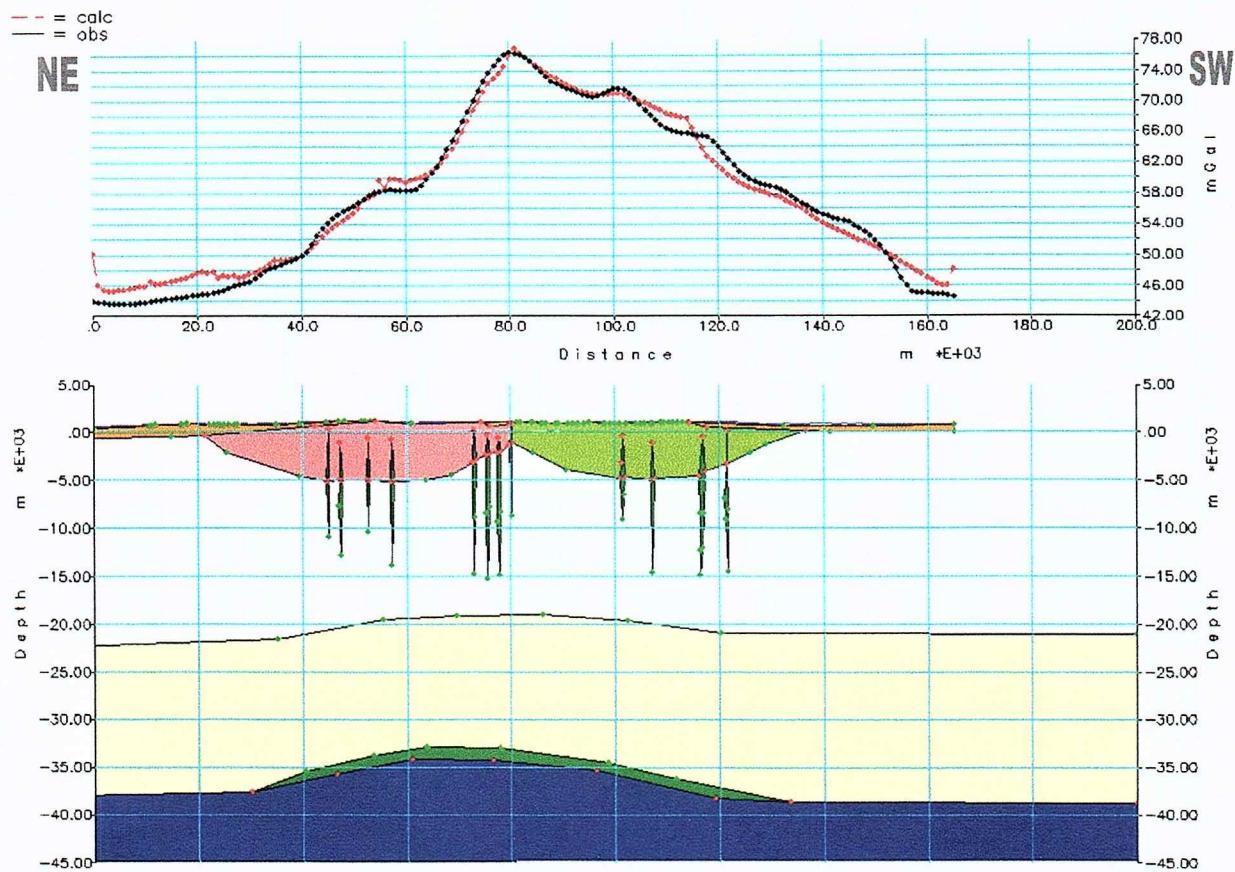


Figura 24 – Perfil B – Gráfico: A curva de cor preta representa os dados observados e em vermelho, está a curva calculada a partir dos polígonos inseridos. Parte inferior: representação das unidades do perfil, aflorantes e em subsuperfície. Em branco: crosta continental superior; amarelo: crosta continental inferior; azul: manto superior; verde escuro: basalto ou gábrico; verde claro: Grupo Castro; rosa: granitóides; amarelo vivo: Quartzito Serra das Pedras; alaranjado: formações da Bacia do Paraná.

8-2.2.3.3 Perfil C

O perfil C segue numa direção geral paralela a linha entre as localidades de Jaguariaíva e Cerro Azul, e foi definido para a investigação do comportamento do CGC em profundidade, em sua porção nordeste (Fig. 25). Este perfil mostra uma curva bastante diferente do relatado nos perfis A e B, em particular pela presença de um marcado patamar a SE, sobre a parte aflorante do CGTC, registrando desta maneira claramente a presença de um corpo subhorizontal, mais denso, existente em profundidade (Fig. 25) como, por exemplo, uma unidade gábrica. As oscilações encontradas na parte ocidental devem refletir o comportamento do CGC, provavelmente condicionado por mudanças na sua espessura. No modelo adotado, o CGC possui uma raiz mais profunda, atingindo 7 km de profundidade, e que invade o Grupo Itaiacoca em sua parte basal. A Faixa Itaiacoca se mostra, neste perfil, reduzida, com menor área aflorante e cerca de aproximadamente 4 km de profundidade.

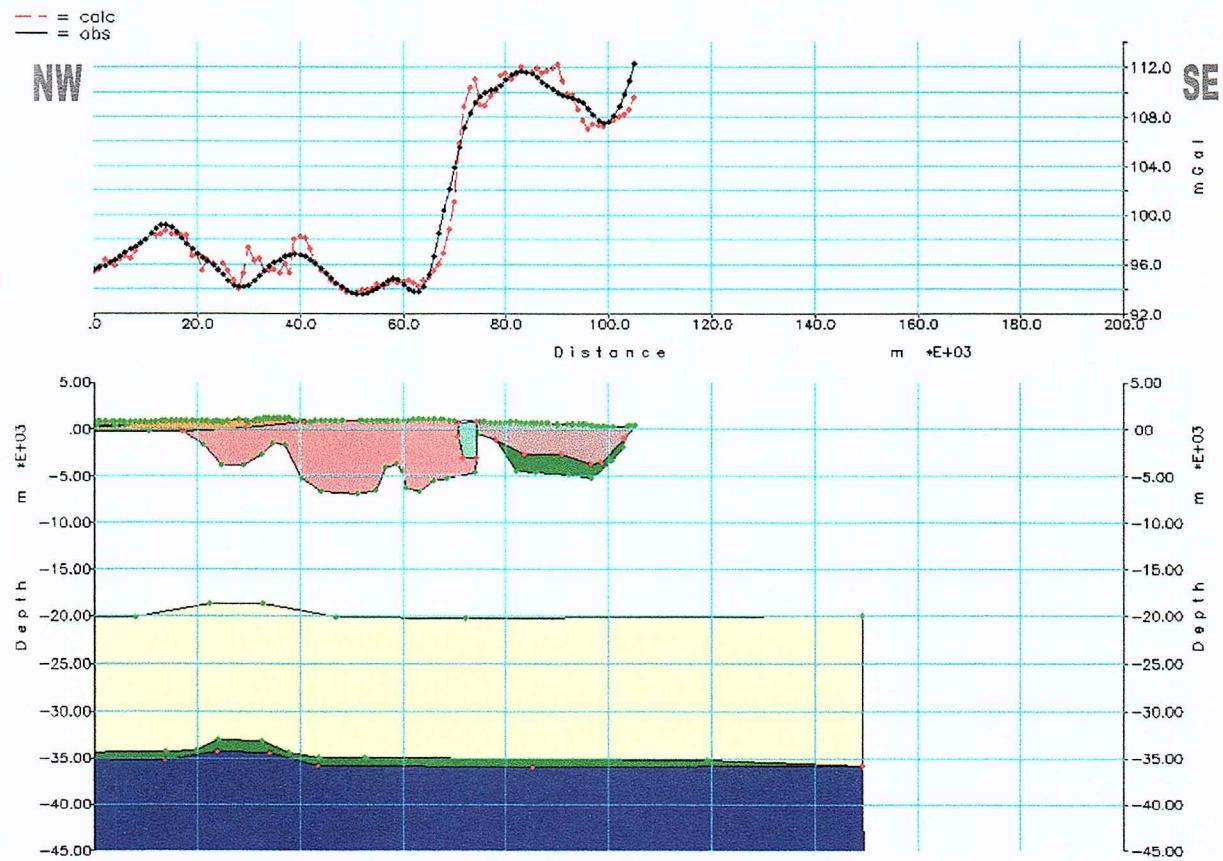


Figura 25 – Perfil C – Gráfico: A curva de cor preta representa os dados observados e em vermelho, está a curva calculada a partir dos polígonos inseridos. Parte inferior: representação das unidades presentes no perfil, aflorantes e em subsuperfície. Em branco: crosta continental superior; amarelo: crosta continental inferior; azul: manto superior; verde escuro: basalto ou gabbro; verde azulado: Grupo Itaiacoca; róseo ou amarronzado: granitóides; alaranjado: formações da Bacia do Paraná.

8-2.2.3.4 Perfil D

É um perfil que segue paralelo ao eixo do APG, de direção NW-SE e abrangendo o seu flanco SW (Fig. 26). O traçado do Perfil D foi determinado para constatar o comportamento das unidades do embasamento sob a Bacia do Paraná. Ao Grupo Castro, foram adicionados corpos riolíticos, e corpos basálticos correlatos à Formação Serra Geral, com diminuição geral em sua profundidade. Para a direção NW, para obter a resposta da curva observada, foi alocada uma espessa camada de sills basálticos, e ainda corpos de basaltos algo mais densos (3.0 g/cm^3), seja enriquecidos em óxidos ou, alternativamente, representando possíveis corpos estratiformes (com sua parte basal apresentando rochas ultramáficas).

Este perfil, mais a SW que as demais seções, mostra a diminuição da área ocupada pelo CGC, e o espessamento lateral das raízes do CGTC.

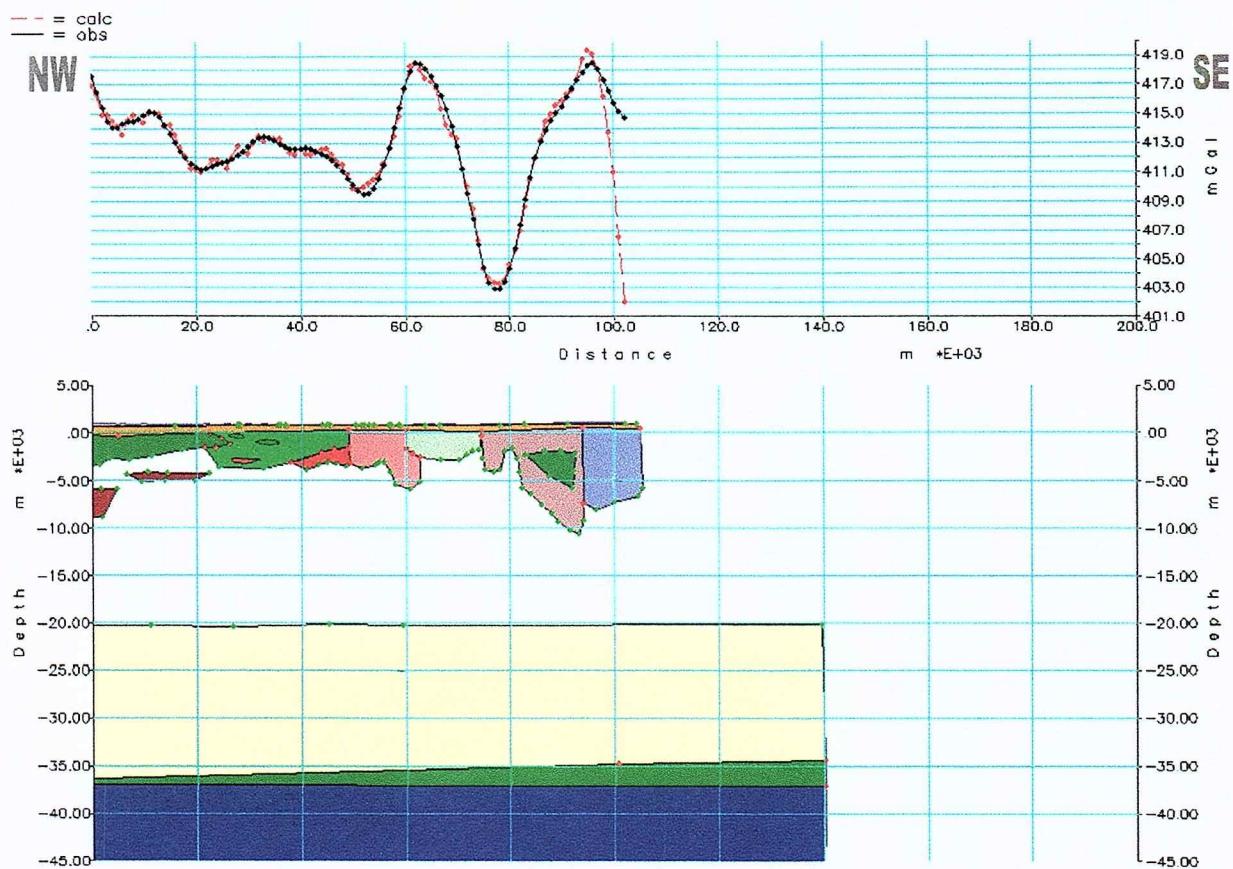


Figura 26 - Perfil D – Gráfico: A curva de cor preta representa os dados observados e em vermelho, está a curva calculada a partir dos polígonos inseridos. Parte inferior: representação das unidades presentes no perfil, aflorantes e em subsuperfície. Em branco: crosta continental superior; amarelo: crosta continental inferior; azul: manto superior; verde escuro: basalto ou gábro; verde claro: Grupo Castro; verde azulado: Grupo Itaiacoca; vermelho e róseos: granitóides; marrom: corpos estratiformes (ver texto); lilás: Formação Água Clara e correlatos; alaranjado: Bacia do Paraná.

8-2.2.3.5 Perfil E

O Perfil E segue a direção E-W, e abrange o extremo sul da porção aflorante do CGC (Fig. 27). Este perfil mostra um patamar a SE, similar, mas menos proeminente, ao presente no Perfil C. A Bacia do Paraná, a W, causa um leve abaulamento no perfil observado, com perturbações interpretadas como corpos mais densos em profundidade, como intrusões basálticas. A forma do Grupo Castro, mas uma vez, mostra a porção W mais profunda, e a presença de corpos riolíticos internos. O CGC neste perfil se mostra menos assimétrico, com a sua borda E encobrindo os metassedimentos do Grupo Itaiacoca; este, por sua vez, apresenta um adelgaçamento na porção W (estendendo-se perto de 4-5 km), e alcança a seguir uma espessura máxima de 4 km na região mais profunda. O CGTC se apresenta com profundidade relativamente moderada, com cerca de 2-3 Km, sem mostrar raízes distintas. A modelagem requer, outra vez, a presença de uma massa subhorizontal de gábro, associada ao CGTC.

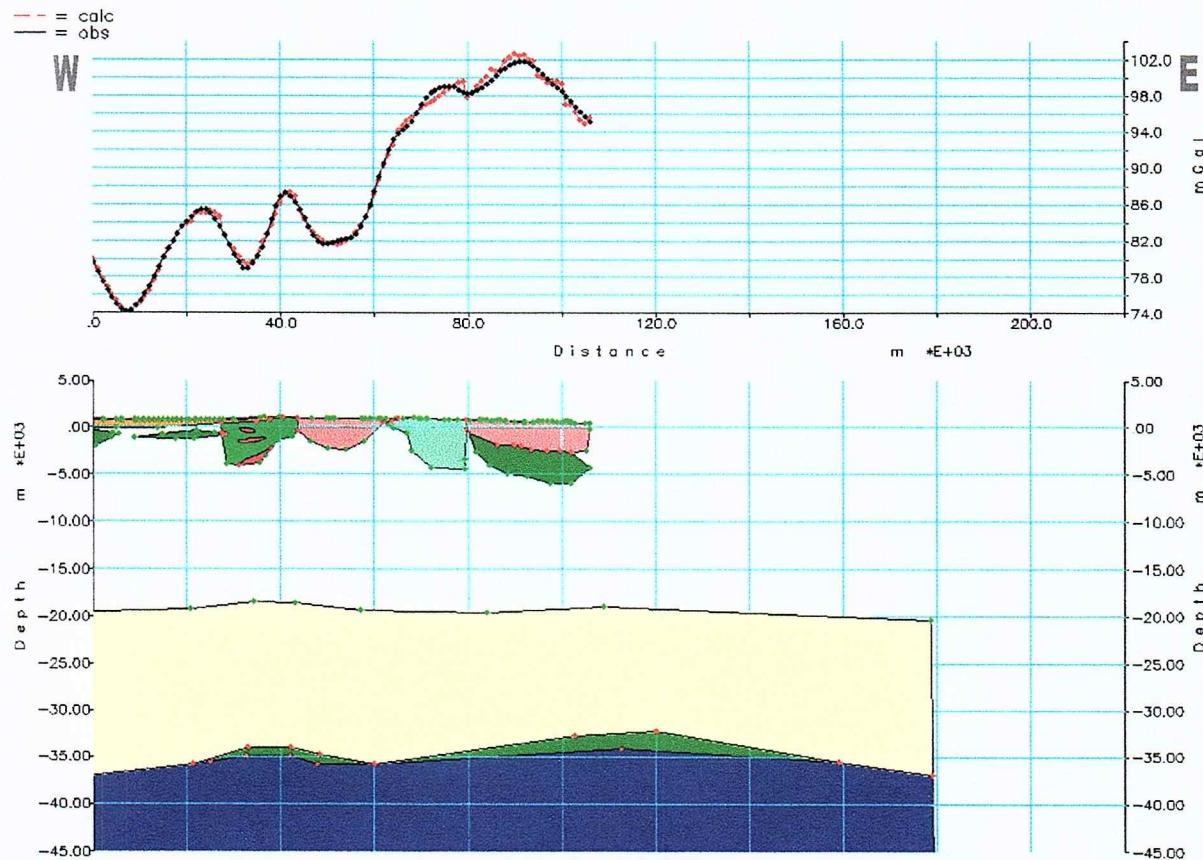


Figura 27 - Perfil E – Gráfico: A curva de cor preta representa os dados observados e em vermelho, está a curva calculada a partir dos polígonos inseridos. Parte inferior: representação das unidades presentes no perfil, aflorantes e em subsuperfície. Em branco: crosta continental superior; amarelo: crosta continental inferior; azul: manto superior; verde escuro: basalto ou gabro; verde claro: Grupo Castro; verde azulado: Grupo Itaiacoca; róseo ou amarronzado: granítoides; vermelho: riolitos; alaranjado: Bacia do Paraná.

8-2.2.3.6 Perfil F

O traçado do perfil F secciona a parte central do CGC, com direção ENE-WSW (Fig. 28), subparalelo ao Perfil E. Na curva gravimétrica deste perfil, há três grandes baixos gravimétricos, gerados por três unidades menos densas: a Bacia do Paraná e os batólitos CGC e CGTC. Há dois altos gravimétricos, um sobre o Grupo Castro, o outro na região do Grupo Itaiacoca. No Grupo Castro, o alto é gerado por estruturas em profundidade, na interface manto-crosta, e corpos mais superficiais de basaltos da Formação Serra Geral, sendo também necessária a adição de corpos menos densos (riolíticos?) na sua porção oriental mais profunda. Já no Grupo Itaiacoca, faz-se necessário a incorporação de uma unidade granítica na sua base, possivelmente representando um corpo menos denso que aparece alojado no embasamento do Grupo. O CGTC, neste perfil, não apresenta raízes distintas.

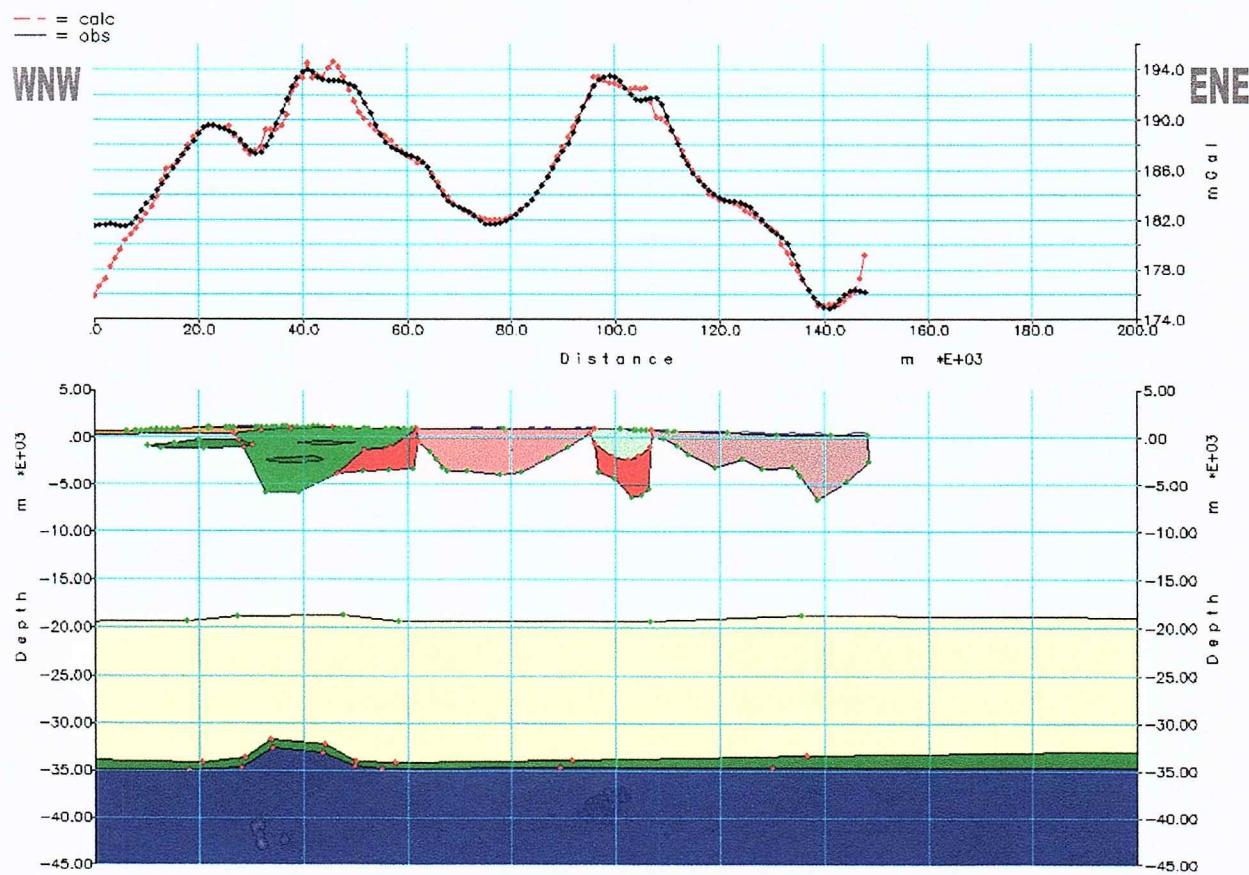


Figura 28 - Perfil F - Gráfico: A curva de cor preta representa os dados observados e em vermelho, está a curva calculada a partir dos polígonos inseridos. Parte inferior: representação das unidades presentes no perfil, aflorantes e em subsuperfície. Em branco: crosta continental superior; amarelo: crosta continental inferior; azul: manto superior; verde escuro: basalto ou gábro; verde claro: Grupo Castro; verde azulado: Grupo Itaiacoca; vermelho, róseo ou amarronzado: granitóides e riolitos; alaranjado: Bacia do Paraná.

9- INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

9-1 Uso dos mapas primários - geologia regional, faciologia, SRTM

A disponibilidade dos mapas geológicos na forma digital fornece um grande auxílio no estudo gravimétrico, em planta e em profundidade, permitindo o acesso rápido às informações necessárias para o modelamento gravimétrico (tipo de litologia, contatos entre unidades, dimensões das unidades geológicas -*half strike*- etc.).

O mapa faciológico do CGC (Fig. 4), além de fornecer informações sobre a distribuição das variedades petrográficas e de mostrar indícios da seqüência de intrusões pela disposição

geométrica dos vários corpos graníticos reconhecidos, é também de grande importância para identificar feições geomorfológicas na região, em correlações com imagens SRTM (Fig. 5), e para os estudos de gamaespectrometria, fornecendo os contornos das subunidades.

A partir da observação do mapa topográfico, por imagem SRTM (Fig. 5), é possível fazer uma relação das feições geomorfológicas com as litologias e estruturas presentes na área do Complexo Cunhaporanga. Nos estudos geofísicos, a observação da topografia pode ser importante para avaliar corretamente os dados de campo. No caso da gamaespectrometria é fundamental este acompanhamento, pois este método faz leituras superficiais no terreno, e a presença ou ausência de elementos (tais como o K, o Th e o U) pode estar relacionada com a intensidade de lixiviação e tendência de concentração (por ex., de minerais acessórios), fatores controlados pela topografia.

9-2 Estudos geofísicos

9-2.1 Gamaespectrometria

9-2.1.1 Comparações entre os complexos Cunhaporanga e Três Córregos

9-2.1.1.1 Distribuição de K, Th e U

A imagem do canal de K (Fig. 6) mostra que o CGC se apresenta com mais alto grau de alteração intempérica que o CGTC, com uma vasta área de leituras muito baixas ou até mesmo nulas, na região central e sudeste do batólito (e.g., área coberta por aluviões – faciologia do CGC, Fig. 4). Esta feição identifica claramente as áreas do CGC ocupadas principalmente por solos e em parte encobertas por material aluvionar, que corresponde à extensa planície do Rio Iapó (e.g., Guimarães, 2000). Através da observação desta imagem, fica evidenciada a dificuldade de se mapear esta região do CGC pela escassez de afloramentos. O CGTC, por outro lado, apresenta relevo mais acidentado, com presença de inúmeros blocos e lajedos (e.g., Prazeres Filho, 2005), mostrando toda a sua porção nordeste e centro-oriental com leituras de K relativamente altas, por tratar-se de áreas pouco alteradas, em comparação com os granítóides do CGC.

A resposta para o elemento Th (Fig. 6) indica regiões enriquecidas principalmente na região ocupada pelo Granito Serra de Carambeí (parte integrante do CGC; localizar através do mapa faciológico, Fig. 4), a SW, e no CGTC, em áreas a E e a S. Os valores regionais são da ordem de 20 a 30 ppm, mas chegam a valores máximos maiores, de até centenas de ppm (como por exemplo, no Granito Serra do Carambeí) e que, provavelmente, registram a presença

localizada de concentrações anômalas do elemento (e.g., veios e bolsões com torita, etc., mineral citado em relatórios inéditos da CPRM referentes a estudos sobre minerais radioativos nos Granitos Serra do Carambeí e Joaquim Murtinho). Valores praticamente nulos de Th são registrados em especial nos aluviões localizados no interior do CGC. Em média, o CGC mostra valores de Th superiores aos correspondentes ao CGTC, sugerindo que ele está mais enriquecido em minerais acessórios portadores desse elemento.

O elemento U aparece com resposta marcada no CGC, com valores máximos da ordem de 3 a 4 ppm, em áreas com baixa resposta do K, e no CGTC, com valores maiores registrados na parte setentrional e no extremo sul (Unidade Conceição, Prazeres Filho, 2000). Esta aparente contradição entre K e U, notável em especial no CGC, sugere fortemente que o U está concentrado em solos (mais não em aluviões), seja como elemento constituinte de minerais acessórios “resistentes” ao intemperismo, seja como integrante de novos minerais, gerados sob influências pedogênicas (e.g., U retido por adsorção em argilominerais, substâncias orgânicas, gels, etc., ou incorporado em minerais de Al, Mn, Fe e Ti formados em superfície; etc.; Ferreira *et al.*, trabalho em preparação). Valores máximos de U ultrapassam 20 ppm (e.g., na parte meridional do CGC) e devem corresponder a regiões muito localizadas com forte anomalia deste elemento.

Como consequência, os granitos mais “especializados”, enriquecidos em Th e U (e em parte também em K) aparecem com destaque no mapa de Ct (e.g., o Granito Serra do Carambeí, no CGC, e o extremo sul do CGTC - Unidade Conceição; Fig.7). Outra unidade que deveria estar destacada por ter alto grau de diferenciação é o Granito Joaquim Murtinho, a norte do Complexo Cunhaporanga, mas que não aparece por ausência de leitura na região.

9-2.1.1.2 Distribuição de U/TH, U/K, Th/K, Fator F, Ud, Kd, e imagem ternária K-Th-U

No cálculo da razão U/Th (Fig. 7), os valores próximos e superiores a 1, presentes no CGTC, indicam que este complexo apresenta concentrações de U que se aproximam ou superam os valores de Th nestas regiões. O mesmo não acontece no CGC, onde os baixos valores da razão mostram que este batólito possui concentrações maiores de Th relativamente ao U.

Nos mapas de U/K e Th/K (Fig. 7), na região do CGC, os altos valores desta razão são causados principalmente pela intensa lixiviação do K por ação do intemperismo, que se mostra mais forte na porção meridional. Os valores registrados para estas razões no CGTC refletem o seu grau menor de lixiviação, relativamente ao CGC. Nesta unidade, é bem marcada a região central, na sua porção SE, que aparentemente possui uma concentração ínfima de U e Th, mas não como consequência do intemperismo, e sim como característica das próprias rochas

graníticas (ver assinatura do K, Fig. 6). O valores mais altos de U/K, na porção sul, indicam um maior enriquecimento do elemento U nesta região.

As áreas a leste, em ambos batólitos, mostra valores altos de F. No CGTC (Fig. 7), os valores presentes, mais elevados, sugerem que as rochas graníticas nessa região apresentariam uma grande área hidrotermalizada (área centro-leste), um fenômeno não observado no restante dos terrenos sob análise.

Os valores de Kd (Fig. 8), que ressaltam concentrações de K, são maiores para as áreas menos intemperizadas e/ou enriquecidas em K, destacando-se a porção NE do CGC e, em especial, o centro-leste do CGTC. O mapa de Ud destacaria “reais” anomalias de U, apagando ou enfraquecendo respostas espúrias que podem, por exemplo, aparecer em mapas isolados do elemento U. Assim, eventuais “anomalias” de U, retratadas em mapas do próprio elemento, que estariam presentes em regiões de aluviões (e.g., os do Rio Iapó, parte central do CGC; mapa faciológico, Fig. 4), revelam-se inexistentes no mapa de Ud (Fig. 8). As possíveis anomalias de U, de origem primária, estariam visíveis nesses mapas de Ud, destacando-se novamente a porção NE do CGC, e em especial o centro-leste do CGTC.

A construção da imagem ternária K-Th-U (Fig. 8) evidencia a escassez do K no CGC, resultado esperado pelo alto grau de alteração intempérica desta unidade. O CGTC apresenta o K e o U em altas concentrações, na porção centro-leste, já reconhecida como área enriquecida nestes dois elementos pelas razões e fatores calculados.

9-2.1.2 Granito Serra do Carambeí e Joaquim Murtinho: gamaespectrometria terrestre

9-2.1.2.1 Distribuição de K, Th e U

Mapas gamaespectrométricos terrestres foram obtidos para alvos específicos, em especial os granitos Joaquim Murtinho (GJM) e Serra do Carambeí (GSC), representando os granitóides mais diferenciados presentes no CGC, o primeiro com formas quadrangulares, o segundo elipsoidal e mostrando um anel externo e uma parte interna.

No caso do GSC, o mapa do K permite observar que este elemento, escasso na região, apresenta apenas uma concentração maior na porção centro-ocidental do seu corpo interno (Fig. 12). A anomalia localizada na porção norte do anel externo representa uma região com presença provável de alteração hidrotermal, mas a sua continuação para N é uma fabricação do método, pois não foram realizadas medidas nos aluviões.

No GJM, as altas leituras de K registradas em especial na sua porção central e setentrional (Fig. 13), mesmo com forte ação de intemperismo, mostram o caráter diferenciado

deste domínio granítico, o que é demonstrado também nos mapas dos elementos U e Th (Fig. 13).

As imagens mostram que há um significativo enriquecimento em U e Th (Figs. 12 e 13) nos dois granitos. Os teores mais elevados encontrados em unidades a sul do GJM provavelmente representam concentrações geradas por enriquecimento secundário (observar ausência de K; Fig. 13), não necessariamente relacionados à presença de granitóides mais evoluídos nessa região. A avaliação da origem das anomalias pontuais é melhor estimada com o auxílio dos mapas obtidos por operações aritméticas (ver mais adiante).

9-2.1.2.2 Distribuição de U/Th, U/K, Th/K, Fator F, Kd, Ud e imagem ternária K-Th-U

Os cálculos de U/Th para os dois domínios (GSC, Fig. 14; GJM, Fig. 15), fornecem valores abaixo de 1, indicando uma predominância de Th sobre o U nas duas áreas. No caso do domínio GJM, os valores desta razão mostram que a concentração de Th é no mínimo o dobro da concentração de U.

Os valores mais elevados fornecidos pela razão U/K no GSC (Fig. 14) estão em uma área altamente lixiviada, o que é demonstrado pela baixa resposta de K na área (Fig. 12), e por isso propõe-se que seja uma resposta à concentração, em solo residual, de minerais acessórios resistentes ricos em U. No GJM, este tipo de concentração também pode ser observado nos depósitos aluvionares sobre o domínio (Fig. 15), e em uma forte anomalia em uma região a sul desta unidade, onde estão os valores mais altos de U/K nesta área.

As áreas de alta razão Th/K, na parte central do domínio interno do GSC (Fig. 14), indicam alguns locais de possível concentração de Th por atividades hidrotermais, pois são áreas onde são registradas também altas respostas de Th e K. O restante da área mostra que no GSC há, em geral, alta concentração de Th, possivelmente no solo residual, já que coincidem com leituras muito baixas de K (Fig. 12).

Os valores baixos de Th/K para o GJM (Fig. 15) mostraram que possivelmente não houve enriquecimento hidrotermal de Th. Há valores altos desta razão apenas para uma área a sul do GJM, em depósitos aluvionares, sugerindo tratar-se de um depósito formado por concentração de minerais secundários, resistentes ao intemperismo, acumulados em solo residual. Esta hipótese pode ser reforçada através da observação das respostas do K e do Th: nesta mesma área, o K exibe valores nulos, sugerindo uma forte ação de intemperismo, com intensa lixiviação dos elementos, enquanto que a resposta de Th exibe uma forte anomalia (Fig. 13).

Os valores obtidos para o fator F, tanto no GSC (Fig. 14) quanto para o GJM (Fig. 15), chegam ao máximo de 3.4, o que sugere que são rochas hidrotermalmente alteradas

(Efimow, 1978, *apud* Gnojek & Prichystal, 1985). Segundo a imagem obtida, o GSC apresenta, como principais áreas hidrotermalizadas, o norte da unidade externa e a porção centro-meridional do corpo interno. O GJM, por sua vez, possui uma grande área hidrotermalizada, correspondendo a sua porção central. Nas vizinhanças, também há áreas com estas características. Em observações de campo e petrográficas (Guimarães, 1995, 2000), o predomínio de cores fortes (em geral, avermelhadas) nestes granitos diferenciados, tanto no GSC como no GJM, bem como a presença de brechamento mais ou menos localizado no GJM, são feições adicionais que indicam que estas rochas foram, pelo menos em parte, submetidas a recristalizações em ambiente de alteração hidrotermal.

O cálculo dos parâmetros Kd e Ud indica que, nas duas unidades, há áreas de anomalias significativas de U e K. Estas imagens complementam os mapas de U e K, identificando áreas mais fortemente anômalas (Fig. 16 e 17). No GSC, o mapa de Ud (Fig. 16) ressalta o maior enriquecimento do anel externo em U, a sul e a norte, e o mapa de Kd (Fig. 16) identifica anomalias de K a norte, ainda no anel externo. O GJM (Fig. 17) apresenta altas concentrações de U e K por todo o domínio, caracterizando um maior enriquecimento destes elementos, comparativamente com o GSC.

A feição de maior destaque na imagem ternária do GSC (Fig. 16) é a escassez de K na área, onde as cores mostram o predomínio de Th e U. Algumas áreas apresentam maior quantidade relativa de U, e evidenciam o maior enriquecimento do anel externo do GSC neste elemento. No corpo interno do GSC, embora a unidade esteja em um avançado grau de alteração, há áreas claras, que indicam o equilíbrio relativo entre as concentrações de K, Th e U, sendo esta abundância de K confirmada nos mapas da razão Th/K, que apontam estas regiões como prováveis áreas de alteração hidrotermal (razão Th/K, Fig. 14). No domínio GJM, o equilíbrio relativo entre as concentrações de K, Th e U, é marcante na porção central (Fig. 17), e também é explicado como uma contribuição de processos hidrotermais, pelas razões aritméticas e fatores já comentados, e como é indicado por evidências de campo (Guimarães, 2000).

9-2.2 *Gravimetria*

9-2.2.1 Feições gravimétricas em planta, e a assinatura gravimétrica do CGC

Uma análise do mapa gravimétrico, sobreposto ao mapa geológico regional (Fig. 20), permite identificar algumas assinaturas gravimétricas de corpos geológicos:

- O APG é representado por uma forte anomalia gravimétrica positiva, influente em toda a área, com direção geral SE-NW, podendo sugerir uma flexura na crosta, acompanhada do soerguimento do manto superior;
- Os batólitos graníticos Cunhaporanga e Três Córregos se destacam como fortes anomalias gravimétricas negativas, devido ao tipo litológico menos denso que a densidade média da crosta superior;
- O Grupo Itaiacoca aparece como significativa anomalia positiva, que pode ser interpretada, provavelmente, como um reflexo da densidade média desta unidade, que apresenta rochas carbonáticas e metabásicas associadas a quartzitos ou, alternativamente, mostra essa anomalia como reflexo de estruturas localizadas, mais profundas, de difícil interpretação.

Além de ser representado em geral por uma anomalia gravimétrica negativa, o CGC apresenta uma região com anomalia mais fortemente negativa a NE, identificada por um aumento brusco de gradiente na porção central do corpo (ver mapa com linhas de contorno das anomalias, Fig. 20). Este aumento no gradiente pode ser interpretado como resposta ao aumento de espessura do batólito a NE. Ainda observando a porção NE e seguindo o comportamento das curvas de contorno (Fig. 20), pode-se sugerir que o CGC possui uma porção não aflorante, localizada sob os sedimentos da Bacia do Paraná.

9-2.2.2 Modelos gravimétricos 2.5D

A gravimetria mostra que o Arco de Ponta Grossa é influente em toda a área, como uma estrutura de direção geral SE-NW, e sugere uma flexura na crosta, com o consequente soerguimento do manto superior (como já sugerido em trabalhos anteriores; e.g., Ferreira *et al.*, 1989; Mantovani *et al.*, 1991). O modelo flexural para a estrutura do arco foi adotado neste trabalho, como meio de facilitar a modelagem desta área. Os batólitos graníticos CGC e CGTC registram as maiores anomalias gravimétricas negativas regionais, resultado esperado pelo tipo litológico.

Em todos os perfis, apresenta o CGC um espessamento na sua dimensão transversal (portanto, de NW para SE) e, ao mesmo tempo, nota-se também um espessamento na sua porção nororiental, como indicado pelo comportamento das isolinhas de anomalias, já citado. Sua região central, onde está a estrada do Cerne (Perfil A, Fig. 23), se mostra a mais delgada de sua extensão. É marcado o aumento de espessura deste batólito a NE, e a continuidade desta porção em uma extensa área não aflorante, que está sob os sedimentos da Bacia do Paraná.

Inflexões na região dos afloramentos do CGTC mostram sinuosidades, indicando que, em algumas regiões, a unidade aparece com duas raízes separadas (Perfil A, Fig. 23), como também indicado pelo padrão de afloramentos (ver mapa geológico, Fig. 1). Estas raízes tornam-se mais rasas na direção NE, enquanto que para SW há um aumento do volume de rochas graníticas, resultando no espessamento das raízes, em profundidade.

O Grupo Itaiacoca é uma unidade de difícil interpretação, que pode, eventualmente, apresentar estruturas localizadas, mais profundas. Na literatura, esta unidade é interpretada como uma zona de colisão neoproterozóica por alguns autores (e.g., Reis Neto, 1994; Soares 1987), enquanto que outros a consideram depositada em regiões crustais sob extensão (e.g., R. Fragoso César e M.A.S. Basei, comunicação pessoal, 2006), mas não há um consenso sobre a sua estrutura e sua estratigrafia interna. É até possível sugerir que existem, nas profundidades do Grupo Itaiacoca, fragmentos de rochas mais densas (e.g., relacionadas com restos de litosfera oceânica?; e.g., Reis Neto, 1994). Na ausência de um modelo geológico mais aprimorado, preferiu-se neste trabalho atribuir uma densidade uniforme ao conjunto, o que facilita a realização da modelagem. O modelamento adotado (pelo menos para alguns dos perfis transversais ao Grupo Itaiacoca), visando ajustar o pico calculado na região dos seus afloramentos, exige a presença de uma raiz mais profunda de rochas mais leves, de natureza granítica, que podem pertencer ora ao CGC, representando neste caso uma expansão lateral do complexo intrusiva no Grupo Itaiacoca ou, alternativamente, podendo representar granitóides mais antigos relacionados com o embasamento desse Grupo, portanto favorecendo uma das hipóteses citadas anteriormente (e.g., Perfil C, Fig. 25). Não existem, obviamente, evidências geológicas em superfície para justificar uma ou outra. A modelagem apresentada no perfil F (Fig. 28) estabelece que deve existir um embasamento granítico em algumas regiões do Grupo Itaiacoca, sugerindo outra vez a presença de uma paleobacia de plataforma. Em geral, a modelagem do Grupo Itaiacoca sugere que a unidade mostra pouca espessura, sendo claramente invadida pelos magmas graníticos do CGC em níveis dos afloramentos atuais e, possivelmente, em alguns trechos, também na sua base.

A Formação Água Clara e o Grupo Açuengui são coberturas sedimentares que aparecem com pouca espessura em alguns pontos, e bem mais espessas em outros, chegando a cerca

de 6 km de profundidade (Perfil A, à direita; Fig. 23). Testes realizados na modelagem mostraram que, entre as duas raízes do CGTC, provavelmente não há corpos provindos da Formação Água Clara, supostamente invadida por estes granítóides.

O Grupo Castro possui uma espessura estimada de 4 a 6 km, em áreas mais profundas, e sua geometria corresponde a uma estrutura em rifte. A modelagem atribui a esta unidade, em um corte transversal, uma forma de trapézio não simétrico, com um adelgaçamento a SE (hemi-graben?). Deve também ser cogitada a possibilidade de um soerguimento local do manto, em resposta ao rifteamento, elevando assim o gradiente geotérmico, e com isto permitindo uma fusão parcial da crosta inferior, explicando-se desse modo as manifestações ígneas coetâneas, aflorantes nesta unidade (andesitos, dacitos, riolitos e diversas rochas piroclásticas). A densidade média adotada para o Grupo Castro considera a presença predominante de rochas sedimentares (pelitos e arenitos, principalmente), mas também incorpora outras algo mais elevadas, a dos andesitos e outros vulcanitos relacionados, e também a presença de intrusões basálticas posteriores que cortam o Grupo, correlatas aos basaltos da Formação Serra Geral. Mesmo assim, a modelagem gravimétrica do Grupo Castro exige, em alguns casos, mudanças nessa densidade média, o que foi realizado ora com a introdução de corpos riolíticos, ora com a de diabásios/basaltos (e.g., Perfil E, Fig. 27). Por este motivo, é sugerida a presença de um “alto” no manto nesta região, com a geração simultânea de debilidades crustais, cujo corolário poderia ser a aparição de riftes localizados.

A coluna de sedimentos da Bacia do Paraná, nesta área, varia de poucas dezenas de metros (borda da Bacia) a até perto de 1 km de profundidade (partes mais afastadas), e gera um abaulamento nas curvas gravimétricas (e.g., a esquerda nos perfis A e B, Figs. 23 e 24). Em alguns perfis (e.g., Perfil F, Fig. 28), a Bacia do Paraná fornece uma resposta positiva na curva gravimétrica, e, para ser possível reproduzir esta resposta, é necessário adicionar corpos mais densos, de corpos basálticos mais espessos ou, até, a de colocar outros corpos ainda mais densos, como por exemplo os que se formariam em câmaras fechadas e cristalizariam como maciços estratiformes, com predomínio de rochas ultramáficas na sua base, por cristalização fracionada de magmas como os da Formação Serra Geral, essencialmente toleíticos (ver, por ex., exemplos citados em Hall, 1996).

Os magmas basálticos formadores de diques e sills, presentes na crosta superior, são correlatos da Formação Serra Geral (idade cretácea). Na literatura internacional, é aceita a hipótese da aparição de horizontes basálticos retidos em profundidade, além daquelas partes que constituem as manifestações superficiais. A hipótese do *underplating* basáltico na região do Arco de Ponta Grossa é sugerida nas modelagens aqui apresentadas, formando um horizonte na interface manto-crosta (e.g., visualização transversal no Perfil B; Fig. 24).

Os diques basálticos paralelos ao eixo do APG (Perfil B), formam um enxame de densidade estimada em cerca de 15% da área da crosta correspondente à “zona de charneira” da flexura (e.g., Ferreira et al., 1989; Portela Filho et al., 2005).

Nas curvas gravimétricas, em algumas áreas, aparece um forte patamar positivo (Perfis C e E, Figs. 25 e 27), indicando a presença de um corpo horizontal com densidade maior, sob as rochas do CGTC. A melhor solução para modelar o patamar gravimétrico à oriente é a de colocar uma unidade gábrica sob os afloramentos do CGTC, que provavelmente seria correlata à geração desta unidade. Outra vez, não existe um forte argumento geológico para justificar esta escolha (e.g., a presença de gabros associados aos afloramentos do CGTC, ou até a presença de enclaves gabróides nos granitos, na forma de *comingling*, ou outras manifestações). Deve ser mencionado, entretanto, que em regiões vizinhas no estado de São Paulo são registrados afloramentos de gabros (e.g., o Gabro Apiaí, de idade aproximadamente neoproterózoica, 617 ± 4 Ma; Hackspacher et al., 2000), possivelmente correlatos ao magmatismo que gera o imenso CGTC, em boa parte ainda se estendendo para norte.

10- CONCLUSÕES

O trabalho realizado resultou em uma base georreferenciada, que reúne dados geológicos, geoquímicos, mineralógicos e geofísicos (aerogamaespectrometria, gamaespectrometria terrestre e gravimetria) referentes ao Complexo Granítico Cunhaporanga (CGC), e complementarmente ao Complexo Granítico Três Córregos (CGTC) e outras unidades adjacentes, todas colocadas no Arco de Ponta Grossa (APG). Os mapas obtidos serão utilizados para ilustrar futuras publicações, e para interpretações geológicas, geofísicas e petrogenéticas.

Os estudos geofísicos realizados enriquecem e complementam os trabalhos geológicos, estratigráficos e petrográficos já realizados em estudos anteriores. Trouxeram resultados importantes sobre o APG, e sobre a geometria e disposição das unidades inseridas neste contexto, onde os estudos gamaespectrométricos caracterizam as rochas aflorantes, buscando a assinatura das fácies presentes, enquanto que as leituras gravimétricas servem para identificar feições em escala regional, como a provável geometria dos corpos em profundidade, e a existência de corpos ou estruturas em subsuperfície.

A gamaespectrometria destaca áreas granítóides enriquecidas em U, Th e K, e as razões e fatores, calculados a partir das leituras destes elementos, ajudam a estimar a natureza destas anomalias, seja de fonte primária ou de acumulação secundária de mineais acessórios resistentes ao intemperismo. No CGC, em especial, são caracterizados pela gamaespectrometria terrestre os granítóides diferenciados Serra do Carambeí e Joaquim

Murtinho, enriquecidos em U e Th. No caso do CGTC, com melhores afloramentos que o CGC, é possível identificar vários “domínios” gamaespectrométricos, coincidentes com os que são caracterizados no mapeamento faciológico (Prazeres Filho, 2005); destaca-se a área centro-leste, como uma área enriquecida em U e K, provavelmente, por processos hidrotermais (como indicado pelas razões e fatores calculados).

Os mapas e perfis gravimétricos da região do APG destacam sempre a forte influência deste arco nas anomalias de Bouguer, controlada pelo arqueamento da descontinuidade Mohovicic, com o soerguimento do manto superior a até 35 km de profundidade, como mostrado em modelagens 2.5D. Os dois batólitos graníticos mostram raízes de profundidades variadas, quase sempre superiores a 5 km, onde o CGC apresenta, em geral, raízes menos profundas que o CGTC, com formas mais abauladas e geometrias côncavas em perfis, identificando-se também a sua continuidade para N-NW e SW por baixo das formações da Bacia do Paraná nessa região. O CGTC, ao contrário, aparece em perfis como um corpo de formas mais angulosas; o complexo também se estende para S-SW, onde está coberto por sedimentos da Bacia do Paraná, e mostra em pelo menos dois perfis gravimétricos a presença de camadas de maior densidade, interpretadas como a representação de gabros possivelmente correlatos. A modelagem gravimétrica também mostra a presença constante, como diques e soleiras, de manifestações basálticas, relacionados com o magmatismo basáltico cretáceo da Bacia do Paraná, e que cortam as outras unidades aflorantes (ambos complexos graníticos, e os Grupos Castro e Itaiacoca).

11- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berkman D.A (compilador) 1995. *Field Geologist Manual*. 3^a edição, Monografia no. 9, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Carlton, Australia, p.324-325.
- Arana, J. M. 2000. Geodésia física: notas de aula. (Texto didático). Departamento de Cartografia, Faculdade de Ciência e Tecnologia – UNESP/Presidente Prudente. 66 p. (site: www2.prudente.unesp.br/dcartog/arana – acessado em junho de 2006)
- BARMP, Brazil Airbone Radiometric Mapping Project. 1997. *Technical Report and Survey Atlas. A collaboration between PGW-CPRM, Paterson, Grant & Watson, Limited e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais e Serviço Geológico do Canada*, Rio de Janeiro (arquivo digital).
- Casten U. & Snopk K. 2006. Gravity modelling of the Hellenitic subduction zone – a regional study. *Tectonophysics*, 417, 183-200.

- CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2004. *Carta geológica do Brasil ao milionésimo [recurso eletrônico]: Sistema de Informações Geográficas – SIG*, Rio de Janeiro, SG.21/SG.22-Asunción/Curitiba.
- DNPM, Departamento Nacional da Produção Mineral. 1984. *Geologia do Brasil*. Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1:2500000, Brasília, 501p.
- Ferreira F.J.F. & Souza J. L. 2002. Gamaespectrometria. Fundamentos, Geoquímica e Distribuição dos Radioelementos em Rochas e Solos. Apostila didática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 72 p.
- Ferreira F.J.F., Monma R., Campanha G.A.C., Galli V.L. 1989. Estimativas dos graus de extensão e afinamento crustais associados ao Lineamento de Guapiara com base em modelagens aeromagnetométricas e gravimétricas. Boletim Especial, Workshop “Diques Máficos Precambrianos do Brasil”, IUGS-UNESCO, Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 67-75.
- Fruchting A., Guimarães G. B., Ferreira F. J. F., Ulbrich H., Riffel S. B. 2003. Gamaespectrometria do Granito Joaquim Murtinho, Complexo Granítico Cunhaporanga (PR). In: 8º International Geophysical Congress, Sociedade Brasileira de Geofísica, Rio de Janeiro, CD ROM.
- Gibson R.I. 2000. Site <http://www.gravmag.com/gmprimr.html> - acessado em agosto de 2006.
- Gnojek, I. & Prichystal, A. 1985. A new zinc mineralization detected by airborne gamma-ray spectrometry in northern Moravia (Czechoslovakia). *Geoexploration* 23, 491-502.
- Guimarães, G. B. 1995. *O Complexo Granítico Cunhaporanga na região de Joaquim Murtinho, Piraí do Sul (PR): Caracterização faciológica das rochas granítóides*. Dissertação de Mestrado (inédita), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo -USP, 118 p.
- Guimarães, G. B. 2000. *As rochas granítóides do Complexo Granítico Cunhaporanga, Paraná: aspectos geológicos, geofísicos, geoquímicos e mineralógicos*. Tese de Doutorado (inédita), Instituto de Geociências, USP, 230 p, 7 anexos.
- Guimarães G. B., Ferreira J. F., Ulbrich H. H. G. J., Forlin M. 2001. The Aerogeophysical Project Serra do Mar Sul in the region of the Cunhaporanga Granitic Complex, Paraná, southern Brazil: analysis of the gamma-ray spectrometric survey. *Revista Brasileira de Geofísica*, 19 (1), 3-17.
- Hackspacker P. C., Dantas E. L., Spoladore A., Fetter A. H., Oliveira M. A. F. 2000. Evidence of Neoproterozoic backarc basin development in the Central Ribeira Belt, southeastern Brazil: new geochronological and geochemical constraints from the São Roque – Açungui groups. *Rev. Brasileira de Geociências*, 30(1), 110-114.
- Hall A. 1996. *Igneous Petrology*. (2ª ed). Londres, Longman Scientific & Technical. 573p.

- Mantovani M. S. M., Vasconcellos A. C. B. C., Shukowsky W., Milani E. J., Basei M. A. S., Hurter S. J., Freitas S. R. C. 1991. *Brusque Transect from Atlantic coast to Bolivian border, southern Brazil*. Global Geoscience Transect. Publication 190, International Lithosphere Program, American Geophysical Union, 20p, 1 mapa.
- Marques, L.S. & Ernesto, M. 2004. O magmatismo toleítico da Bacia do Paraná. In: Mantesso Neto V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R., Brito Neves B.B. (editores): *Geologia do Continente Sul-Americano*. Beca, São Paulo, 265-279.
- Medyckyj-Scott, D. & Hearnshaw H. M. 1993. *Human Factors in Geographical Information Systems*, Londres, 266 p.
- Minami M. 2000. *Using ArcMap – User Guide*. ESRI® – Environmental Systems Research Institute, Redlands (CA), 528 p.
- Minty B.R.S. 1997. The fundamentals of airborne gamma-ray spectrometry. AGSO *Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17(2), 39-50.
- Miranda J. M., Luis J. F., Costa P. T., Santos F. M. 2004. Manual de Fundamentos de Geofísica. Texto didático. Centro de Geofísica, Universidade de Lisboa. Cap.4 (site www.cgul.ul.pt/cgul_download.htm - acessado em julho de 2005).
- Moro R. de P. X. M. 1993. *A bacia ordovínciana do Grupo Castro – PR*. Dissertação de Mestrado (inédita), Instituto de Geociências e Ciência Exatas, UNESP, 157p.
- Ostrovskiy E. Y. 1975. Antagonism of radioactive elements in wallrock alteration fields and its use in aerogamma spectrometric prospecting. *International Geological Review* 17, 461-468.
- Pedley R.C., Bubsby J.P., Dabek Z.K. 1993. Gravmag - Interactive 2.5D gravity and magnetic modelling. British Geological Survey.
- Pires A. C. B. 1995. Identificação geofísica de áreas de alteração hidrotermal, Crixás-Guarinos, Goiás. *Rev. Brasileira Geociências*, 25, 61-68.
- Portela Filho C. V., Ferreira F. J. F., Raposo M. I. B., Strugale M. 2005. Estimativa da extensão crustal do Arco de Ponta Grossa com base em modelagens aeromagnéticas na região de Apucarana-PR. In: Simp. Nacional de Estudos Tectônicos, X, SBG - Núcleo Paraná, Curitiba, 134-136.
- Prazeres Filho H.J. 2000. *Litogegeoquímica, geocronologia (U-Pb) e geologia isotópica dos Complexos Graníticos Cunhaporanga e Três Córregos, estado do Paraná*. Dissertação de Mestrado (inédita), Instituto de Geociências, USP, 180 p., 1 Apêndice.
- Prazeres Filho H.J. 2005. *Caracterização geológica e petrogenética do Batólito Granítico Três Córregos (PR-SP): Geoquímica isotópica (Nd, Sr, Pb), idades (ID-TIMS, Shrimp) e δ¹⁸O em zircão*. Tese de Doutorado (inédita), Instituto de Geociências, USP, 207 p.

- Reis Neto J. M. 2004. *Faixa Itaiacoca : registro de uma colisão entre dois blocos continentais no Neoproterozóico*. Tese de Doutorado (inédita), Instituto de Geociências, USP, 253p.
- Ruberti E. 1984. *Petrologia do maciço alcalino Banhadão*. Tese de Doutorado (inédita), Instituto de Geociências, USP, 248 p.
- Rudnick, R. & Gao, S. 2004. Composition of the continental crust. In: Holland H.D. & Turekian, K.K. (ed.): *Treatise on Geochemistry*, vol. 3, 1-64.
- Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral. 1995. Estado do Paraná, em conjunto com Agência Internacional de cooperação do Japão, JICA. Plano diretor para utilização dos recursos hídricos do Estado do Paraná na República Federativa do Brasil, Cap 3. (site www.hidricos.mg.gov.br/in-bacia.htm - acessado em julho de 2005).
- Siga Jr., Basei M.A.S., SATO K., Prazeres Filho H.J., Cury L.F., Weber W., Passarelli C.R., Harara O.M., Reis Neto J.M. 2003. U-Pb (zircon) ages of metavolcanic rocks from the Itaiacoca Group: tectonic implications. *Rev. Instituto de Geociências, USP*, 3, 39-49.
- Soares P. C. 1987. Tectônica colisional em torno do Bloco Paraná, Brasil. In: Congr. Latinoamericano de Geologia, 7, Anais 1, 63-79.
- Weber, W., Siga Jr. O., Sato K., Reis Neto J.M., Basei M.A.S., Nutman A.P. 2004. A Formação Água Clara na região de Araçáíba (SP): registro U-Pb de uma bacia mesoproterozóica. *Rev. Instituto de Geociências, USP*, 4, 101-110.
- Wilford J.R., Biervirth P.N., Craig M. A. 1997. Application of airborne gamma-ray spectroscopy in soil/regolith mapping and applied geomorphology. AGSO, *J. Australian Geology & Geophysics*, 17(2), 201-216.