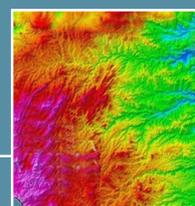
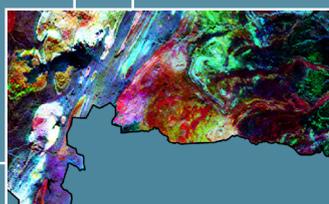
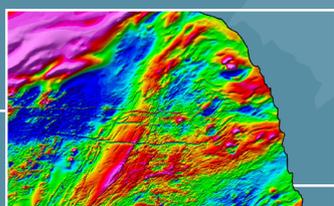


PROGRAMA GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS
E INTEGRAÇÃO GEOLÓGICA REGIONAL

ATLAS AEROGEOFÍSICO

Estado do Rio de Janeiro



SERVIÇO GEOLÓGICO
DO BRASIL - CPRM

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Bento Albuquerque

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Alexandre Vidigal de Oliveira

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor Presidente

Esteves Pedro Colnago

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Márcio José Remédio

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Paulo Afonso Romano

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Chefe do Departamento de Geologia

Lúcia Travassos da Rosa Costa

Chefe da Divisão de Geologia Básica

Vladimir Cruz de Medeiros

Chefe da Divisão de Sensoriamento Remoto e Geofísica

Luiz Gustavo Rodrigues Pinto

Chefe do Departamento de Recursos Minerais

Marcelo Esteves Almeida

Chefe do Departamento de Informações Institucionais

Edgar Shinzato

Chefe da Divisão de Geoprocessamento

Hiran Silva Dias

Chefe da Divisão de Cartografia

Fábio Silva da Costa

Chefe da Divisão de Documentação Técnica

Roberta Pereira da Silva de Paula

Chefe do Departamento de Relações Institucionais e Divulgação

Patrícia Düringer Jacques

Chefe da Divisão de Marketing e Divulgação

Washington José Ferreira Santos

Chefe do Departamento de Apoio Técnico

Maria José Cabral Cezar

Chefe da Divisão de Editoração Geral

Valter Alvarenga Barradas

SEDE - Brasília

Responsável Técnico do Produto

Diogo Alves de Sordi

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
DIRETORIA DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS
| PROGRAMA GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL |

**LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS
E INTEGRAÇÃO GEOLÓGICA REGIONAL**

**ATLAS AEROGEOFÍSICO
DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

ORGANIZADORES

Diogo Alves de Sordi



BRASILIA
2020

REALIZAÇÃO

SEDE - Brasília

COORDENADOR DO PROJETO

Luiz Gustavo Rodrigues Pinto

ELABORAÇÃO DOS TEXTOS E MAPAS

Diogo Alves De Sordi

COLABORADOR

Paulo Henrique Amorim Dias

APOIO TÉCNICO**PROJETO GRÁFICO/EDITORAÇÃO****Capa (DIEDIG)**

Agmar Alves Lopes

Miolo (DIEDIG)

Agmar Alves Lopes

Diagramação (ERJ)

Agmar Alves Lopes

NORMALIZAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

Priscila Ururahy

Serviço Geológico do Brasil – CPRM

www.cprm.gov.br

seus@cprm.gov.br

A881 Atlas aerogeofísico do estado do Rio de Janeiro / organizador
Diogo Alves de Sordi. – Brasília, DF : CPRM, 2020.
44 p. : 30 cm.

Levantamentos geológicos e integração geológica regional.

ISBN 978-85-7499-577-9

1. Geofísica – Atlas – Brasil – Rio de Janeiro. I. Título.
II. Sordi, Diogo Alves de, org.

CDD 550.981

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Priscila Ururahy CRB 5665

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil – CPRM
Permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte.

APRESENTAÇÃO

O conhecimento geológico do território brasileiro constitui um instrumento indispensável para o planejamento e a execução das políticas públicas voltadas para o desenvolvimento sustentável dos recursos minerais, e simultaneamente é fonte de dados imprescindível para o conhecimento e gestão do meio físico.

É com esta premissa que o **Serviço Geológico do Brasil – CPRM** tem a grata satisfação de disponibilizar a comunidade técnico-científica, aos empresários do setor mineral e à sociedade em geral os resultados alcançados pelo **Projeto Atlas Aerogeofísicos dos Estados**, vinculado ao **Programa Geologia, Mineração e Transformação Mineral**.

A grande importância dos levantamentos aerogeofísicos está na sua capacidade para desvendar a terceira dimensão dos dados geológicos. Dessa forma, feições geológicas como corpos, estruturas e depósitos minerais podem ser inferidas em profundidade por meio de interpretações e modelagens. Portanto, em um país continental como o Brasil, a execução de levantamentos aerogeofísicos com capacidade para abranger grandes áreas e regiões de difícil acesso é uma estratégia rápida e eficiente de investigar o seu subsolo.

Ao longo das duas últimas décadas importantes investimentos foram feitos pelo governo federal, através do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, na aquisição de dados aerogeofísicos (magnetometria e gamaespectrometria), tendo sido recoberta uma área de cerca de 3.726.364 km², que corresponde a 43,76% do território brasileiro e aproximadamente 92% do embasamento cristalino do Brasil. Este grande esforço foi realizado com a expectativa de contribuir para o aprimoramento do conhecimento geológico do país e a descoberta de jazidas minerais.

Para incrementar a divulgação do conhecimento e a disponibilização dos dados, o **Projeto Atlas Aerogeofísicos dos Estados** integra dados aerogeofísicos de acordo com os limites das unidades federativas do Brasil. Esta compartimentação objetiva facilitar a gestão e emprego dos dados de acordo com a preferência e prioridades de cada gestor estadual, e segundo as características geológicas e potencialidades minerais locais.

A preparação do **Atlas Aerogeofísico do Rio de Janeiro** necessitou de partes de quatro diferentes projetos, que foram unidos em uma única malha conforme os limites do estado. Esta tarefa implicou na necessidade do reprocessamento e nivelamento dos dados brutos, e aplicação de filtros para enfatizar assinaturas anômalas. As principais assinaturas magnéticas do Rio de Janeiro são coincidentes com os limites entre os domínios magnetométricos correlacionados com os terrenos Ocidental, Oriental, Central e Cabo Frio, alinhados NEE-SWW. Esses são limitados por lineamentos magnetométricos que correspondem a extensas zonas de cisalhamento com direção NEE-SWW. O principal lineamento magnetométrico corresponde à Zona de Cisalhamento Arcádia Areal (ZCAA).

Nos dados gamaespectrométricos, observa-se que a grande maioria das anomalias de potássio apresenta formas circulares ou elípticas alongadas. Isto decorre da forte correlação deste elemento com intrusões de granitoides sin- e pós-tectônicos. Destacam-se os granitos e gnaisses da cadeia de montanha da Serra do Mar.

Com mais este lançamento, o Serviço Geológico do Brasil – CPRM dá continuidade à política governamental de atualizar o conhecimento geológico do país, através dos levantamentos geológicos básicos, geoquímicos e geofísicos, e da avaliação integrada das informações, fundamental para o desenvolvimento regional e importante subsídio à formulação de políticas públicas e de apoio à tomada de decisão de investimentos. Este produto está disponível para download no banco de dados corporativo do Serviço geológico do Brasil – CPRM, e no Repositório Institucional de Geociências - RIGEO (<http://rigeo.cprm.gov.br>).

Esteves Pedro Colnago

Diretor-Presidente

Márcio José Remédio

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	5
PRIMEIROS LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS.....	5
LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS DE ALTA DENSIDADE DE DADOS	5
INVESTIMENTOS EM LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS A PARTIR DE 2004	6
CESSÃO GRATUITA DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS AO PÚBLICO EM GERAL	6
CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.....	8
CONTEXTO GEOGRÁFICO.....	8
CONTEXTO GEOLÓGICO E DE RECURSOS MINERAIS.....	8
PRINCIPAIS BENS MINERAIS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	9
MATERIAIS E MÉTODOS	11
DADOS AEROGEOFÍSICOS	11
FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO MÉTODO MAGNETOMÉTRICO.....	11
FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO MÉTODO RADIOMÉTRICO	12
PROCESSAMENTO DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS.....	13
Plataforma de Processamento	14
Interpolação	14
Junção dos Diferentes Projetos	14
Aplicação Transformações e Filtros nos Dados Aeromagnetométricos.....	15
MAPAS AEROMAGNETOMÉTRICOS	16
ANOMALIAS MAGNETOMÉTRICAS	17
1ª DERIVADA VERTICAL DA ANOMALIA MAGNETOMÉTRICA	19
GRADIENTE TOTAL DA ANOMALIA MAGNETOMÉTRICA	21
ANOMALIA MAGNETOMÉTRICA REDUZIDA AO POLO MAGNÉTICO	23
SEPARAÇÃO DAS ANOMALIAS MAGNETOMÉTRICAS EM RASAS E PROFUNDAS.....	25
PRINCIPAIS CORRELAÇÕES GEOLÓGICAS DOS DADOS AEROMAGNETOMÉTRICOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	28
MAPAS AEROGAMAESPECTROMÉTRICOS.....	30
POTÁSSIO	31
EQUIVALENTE TÓRIO.....	33
EQUIVALENTE URÂNIO	35
COMPOSIÇÃO TERNÁRIA RGB (K-eTH-eU).....	37
PRINCIPAIS CORRELAÇÕES GEOLÓGICAS DOS DADOS AEROGAMAESPECTROMÉTRICOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.....	39
ASSINATURAS AEROGEOFÍSICAS DOS PRINCIPAIS DEPÓSITOS MINERAIS... 	40
REFERÊNCIA	42

INTRODUÇÃO

Os primeiros levantamentos aerogeofísicos executados no Brasil, desde a década de 1950, foram patrocinados por instituições federais do governo brasileiro, tais como o Conselho Nacional do Petróleo (CNP), o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e a Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS). A atuação da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) se iniciou em 1971, quando assumiu o papel de órgão executor de projetos aerogeofísicos sistemáticos (magnetometria e gamaespectrometria), em princípio realizados por meio de convênios com o DNPM, que procurava atender a política do Ministério de Minas e Energia para realizar o recobrimento aerogeofísico dos terrenos pré-cambrianos do escudo brasileiro.

PRIMEIROS LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS

Entre 1971 e 2001 foram executados 48 projetos aerogeofísicos em diversas regiões do país, predominantemente magnetometria e gamaespectrometria. A maioria destes projetos aerogeofísicos tiveram características de levantamentos regionais, ou seja, com espaçamento das linhas de

voo variando entre 2.000 e 1.000 m e altura de voo de 150 m. Nesse período foi recoberta uma área de cerca de 2.413.323 km² (Figura 1).

LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS DE ALTA DENSIDADE DE DADOS

A partir de 2004, iniciou-se uma nova fase nos aerolevantamentos geofísicos, onde a maioria dos projetos de magnetometria e gamaespectrometria foram realizados com espaçamento de 500 m entre as linhas de voo, altura de voo de 100 m e direção das linhas de voo N-S.

Foram realizados também dois aerolevantamentos eletromagnéticos de detalhe na região de Nova Redenção/BA e Rio das Velhas/MG, além de um grande aerolevantamento gravimétrico regional na região de Carajás/PA.

Nesse período foi recoberta uma área de cerca de 3.726.364 km² (Figura 2), que corresponde a 43,76% do território brasileiro e aproximadamente 92% do embasamento cristalino do Brasil. De 2004 a 2014, os investimentos para aquisição de dados aerogeofísicos atingiram cerca de US\$ 188 milhões.

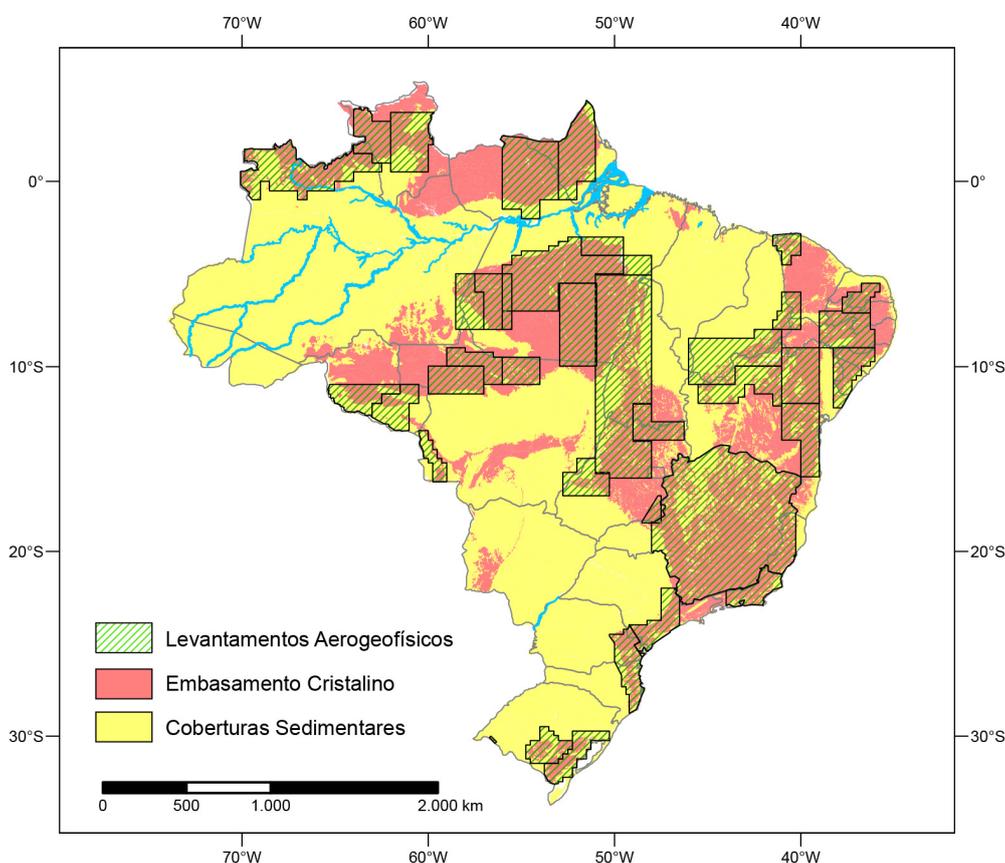


Figura 1 - Levantamentos aerogeofísicos (magnetometria e gamaespectrometria) adquiridos entre 1971 e 2001.

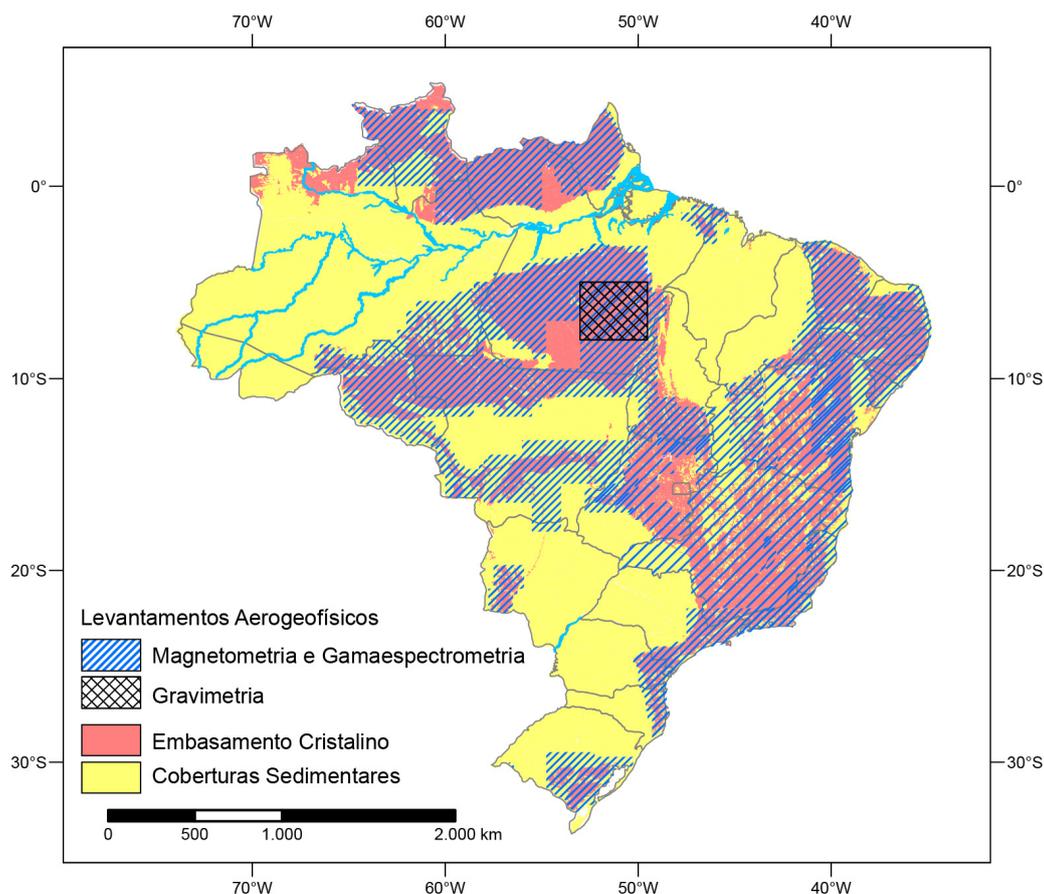


Figura 2 - Levantamentos aerogeofísicos adquiridos entre 2004 e 2014.

INVESTIMENTOS EM LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS A PARTIR DE 2004

Os investimentos em levantamentos aerogeofísicos foram crescentes a partir de 2004, e atingiram o seu ápice entre os anos de 2008 e 2013. A Tabela 1 e o Gráfico 1 apresentam a evolução dos investimentos em aerogeofísica entre 2004 e 2014.

CESSÃO GRATUITA DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS AO PÚBLICO EM GERAL

Até 2017 os dados aerogeofísicos adquiridos pela CPRM eram vendidos para empresas privadas, ou cedidos à universidades e instituições de pesquisa seis meses após a realização dos projetos aerogeofísicos e disponibilização dos dados. Quando vendidos para empresas privadas, os valores cobrados não eram compatíveis com os custos da aquisição e valor real dos dados, e eram decrescentes. Por exemplo, o custo do quilômetro voado oscilava entre R\$ 40,00 e R\$ 50,00, e os dados eram vendidos por R\$ 2,00, R\$ 1,00 e R\$ 0,50 por quilômetro, do primeiro ao terceiro ano após a disponibilização dos dados, respectivamente. Os recursos arrecadados com a venda dos dados aerogeofísicos

Tabela 1 - Valores investidos em aerolevantamento pela CPRM entre os anos de 2004 e 2014. Valores em reais e dólares (referente à cotação média do ano do aerolevantamento).

Ano	Investimento R\$ (em milhões)	Investimento U\$ (em milhões)
2004	10,226	3,494
2005	38,931	15,989
2006	22,260	10,219
2007	15,343	7,876
2008	51,405	28,015
2009	40,649	20,350
2010	57,359	32,584
2011	39,007	23,287
2012	21,418	10,958
2013	62,985	29,191
2014	15,052	5,971
Total	374,635	187,934

retornavam ao Tesouro Nacional, de modo que nenhum recurso retornava à CPRM.

Embora os valores cobrados pela CPRM fossem muito abaixo dos custos de aquisição, estes eram considerados elevados por empresas juniores.

Desta forma, a partir de maio de 2017 optou-se pela cessão ampla e gratuita dos dados a todos os usuários,

como forma de estimular investimentos do setor mineral. Os dados aerogeofísicos em formato XYZ e imagens aerogeofísicas georreferenciadas são acessados através do banco de dados corporativo da empresa, o GeoSGB (geosgb.cprm.gov.br/geofisica).

O volume de dados baixados por tipo de acesso está apresentado no Gráfico 2.

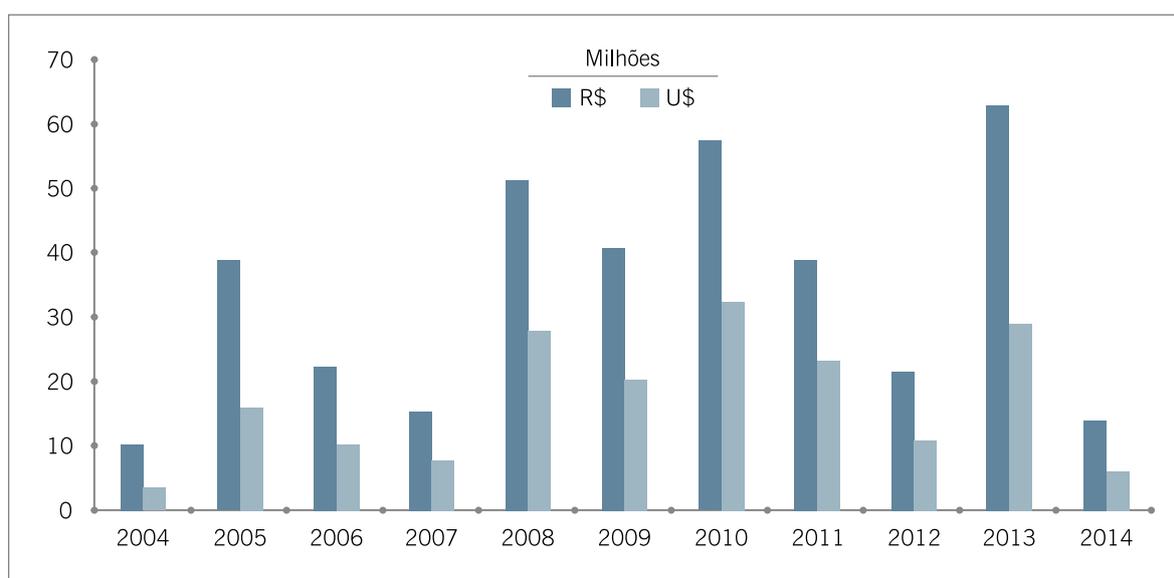


Gráfico 1 - Valores investidos na aquisição de dados aerogeofísicos entre 2004 e 2014.

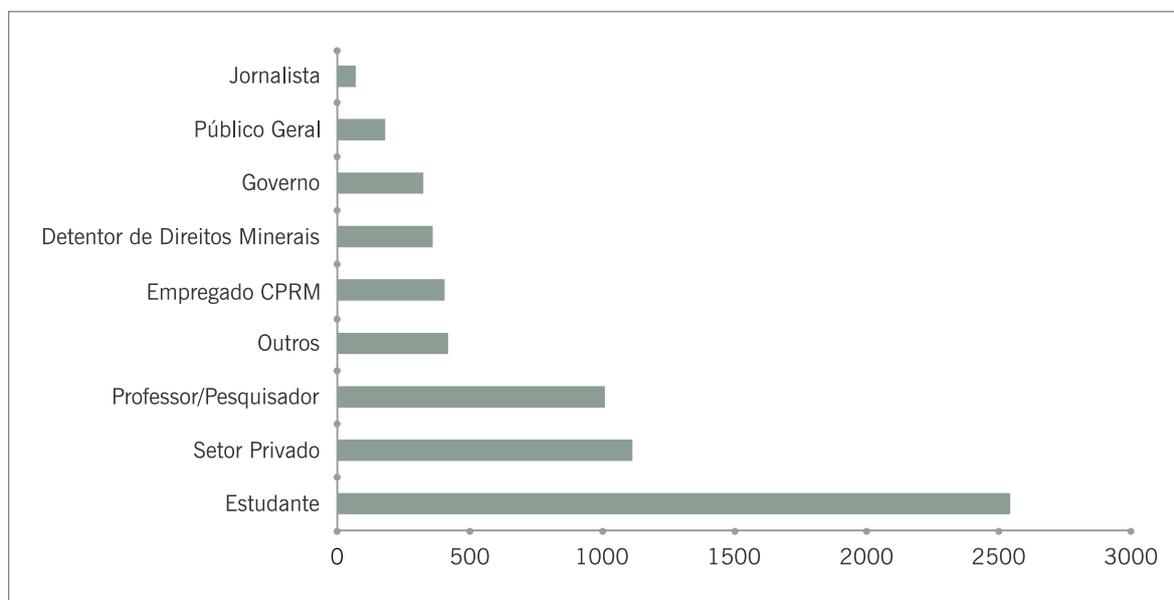


Gráfico 2 - Volume de dados (em Gb) de projetos aerogeofísicos acessados de forma gratuita entre maio de 2017 a setembro de 2019.

CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

CONTEXTO GEOGRÁFICO

O estado do Rio de Janeiro está localizado na Região Sudeste do Brasil (Figura 3), tem uma área de 43 mil de km², possui 92 municípios e uma população total estimada em 15.989.929 pessoas (Fonte: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/panorama>, acesso em janeiro 2019).

No clima, o estado do Rio de Janeiro está inserido na zona tropical atlântico, desta forma, a proximidade do mar e o relevo são responsáveis pelas variações de temperatura e a distribuição das chuvas pelos meses do ano variam. Assim, no estado do Rio de Janeiro, a predominância de três tipos de clima: o clima tropical semiúmido, o clima tropical de altitude e o clima tropical.

O relevo do Rio de Janeiro é constituído por três unidades básicas, as terras altas, também chamadas de Planalto ou

Serra Fluminense (acima de 200 metros de altitude), as terras baixas, também chamadas de Baixada Fluminense (abaixo de 200 metros de altitude) e os maciços litorâneos (formações rochosas, ao longo da costa, como, por exemplo, o Corcovado). O ponto mais alto do estado é o Pico das Agulhas Negras, com 2.791 metros de altitude.

CONTEXTO GEOLÓGICO E DE RECURSOS MINERAIS

O estado do Rio de Janeiro está geotectonicamente contido na Faixa Ribeira, a qual juntamente com outras faixas (eg. Faixa Araçuai) integra a província estrutural denominada de Província Mantiqueira (ALMEIDA *et al.*, 1981). A Faixa Ribeira representa um sistema orogênico Brasileiro, desenvolvido durante o Neoproterozoico-Cambriano, e resultante

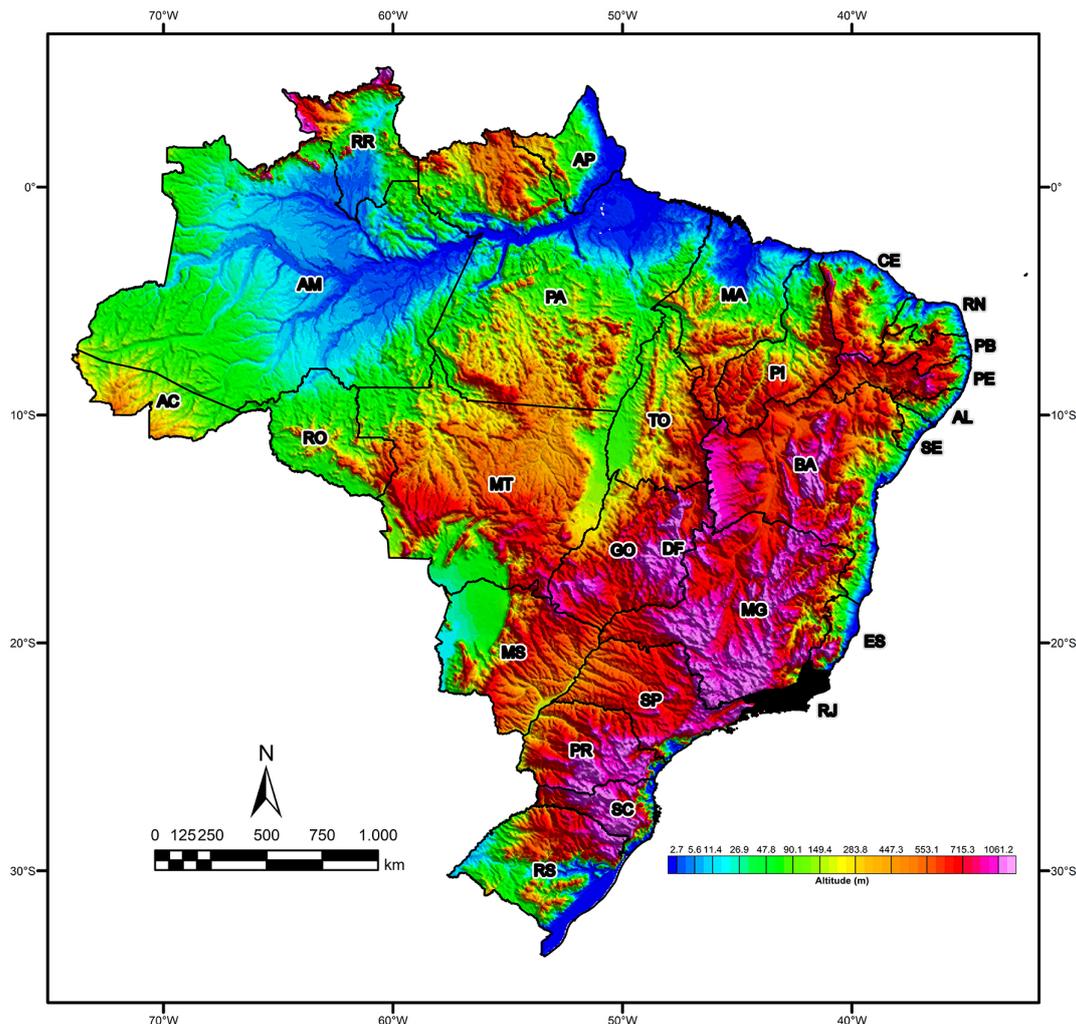


Figura 3 - Localização geográfica do estado do Rio de Janeiro. Dados topográficos do GLOBE DEM do projeto Global Land One-kilometer Base Elevation (GLOBE) (HASTINGS ET AL., 1999).

da colisão entre o paleocontinente São Francisco-Congo com a parte ocidental do Cráton da Angola, envolvendo também outras micropalacas (HEILBRON *et. al.*, 2016). Esta faixa se estende por cerca de 1.400 km com direção NE ao longo da costa sudoeste-sul do Brasil (HEILBRON *et. al.*, 2016).

A Faixa Ribeira no estado do Rio de Janeiro foi dividida em quatro terrenos tectonoestratigráficos separados por falhas de empurrão ou por zonas de cisalhamento oblíquas transpressivas. Estes terrenos são denominados de Ocidental, Central (também denominado de terreno Paraíba do Sul), Oriental e Cabo Frio (HEILBRON *et. al.*, 2016 e 2020) (Figura 5). As sínteses desses terrenos descritas adiante são baseadas em Heilbron *et. al.* (2020):

- O Terreno Ocidental registra as unidades relacionadas à margem passiva retrabalhada do Cráton do São Francisco (SFC);
- O Terreno (ou superterreno) Central, anteriormente chamado de Terreno Paraíba do Sul, compreende os domínios Paraíba do Sul-Embu e Cambuci, representando o sistema de Arco Magmático Continental interno (ca. 620 – 595 Ma);
- O Terreno Oriental é interpretado com o sistema magmático externo imbricado com um sistema intra oceânico juvenil de ca. 595 – 565 Ma;
- O Terreno Cabo Frio representa um pedaço do cráton da Angola acrescido em ca. 535 – 510 Ma.

A granitogênese sin a pós colisional (brasílica) está distribuída em boa parte do estado, mas é relacionada principalmente ao Terreno Oriental e subordinadamente ao Terreno Ocidental (Figura 5).

As estruturas com maior destaque no estado do Rio de Janeiro são: a zona de cisalhamento Arcádia Areal (ZCAA) de direção ENE, que limita o Terreno Oriental dos terrenos Ocidental/Central; e a zona de cisalhamento Paraíba do Sul (ZCPS), também de direção ENE, a qual secciona os terrenos Central/Ocidental (Figura 5).

PRINCIPAIS BENS MINERAIS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

O estado do Rio de Janeiro se destaca principalmente pelas grandes reservas de óleo e gás natural (*off-shore*) da Bacia de Campos, responsável pela maior produção de petróleo do país.

Em relação aos bens minerais (*on-shore*), o estado do Rio de Janeiro tem disponibilidade e vocação para a produção de recursos minerais não-metálicos, especialmente os insumos para construção civil e indústria de transformação, além da água mineral. Os principais bens minerais são as areia, brita e calcário/cimento, argila e rochas de revestimentos/ornamentais (granitos e mármore).

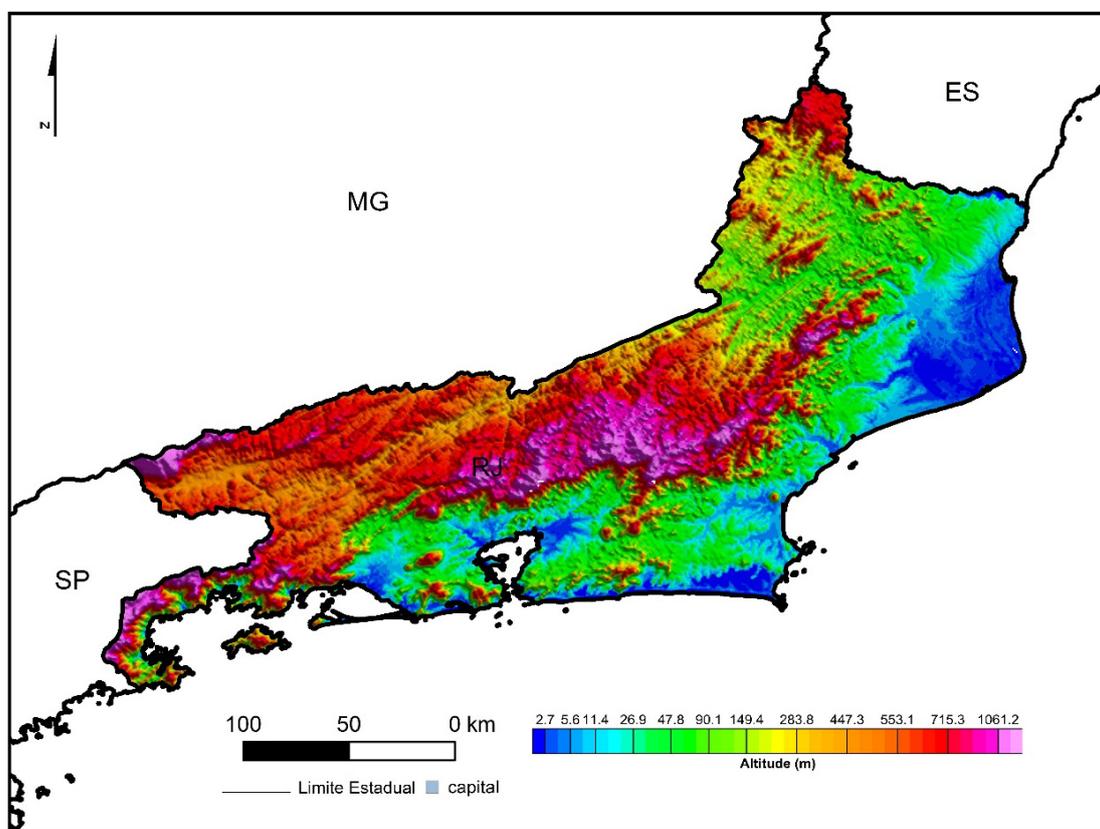


Figura 4 - Topografia do estado do Rio de Janeiro (SRTM- Shuttle Radar Topography Mission - NASA) com indicação dos principais domínios geomorfológicos.

No que diz respeito aos recursos minerais metálicos, destacam-se as areias portadoras de rutilo, ilmenita e zircônia, e alguns depósitos/ocorrências de grafita, manganês, bauxita e ouro. Os recursos minerais relacionados aos bens de grafita, manganês e ouro são em sua maioria ocorrências

pontuais, ou então relacionadas às pequenas minas (ou garimpos) antigas, da época da II Grande Guerra Mundial (HEILBRON *et. al.*, 2016). Dessa forma, no estado do Rio de Janeiro não são conhecidas minas ou mineralizações metálicas de grande importância.

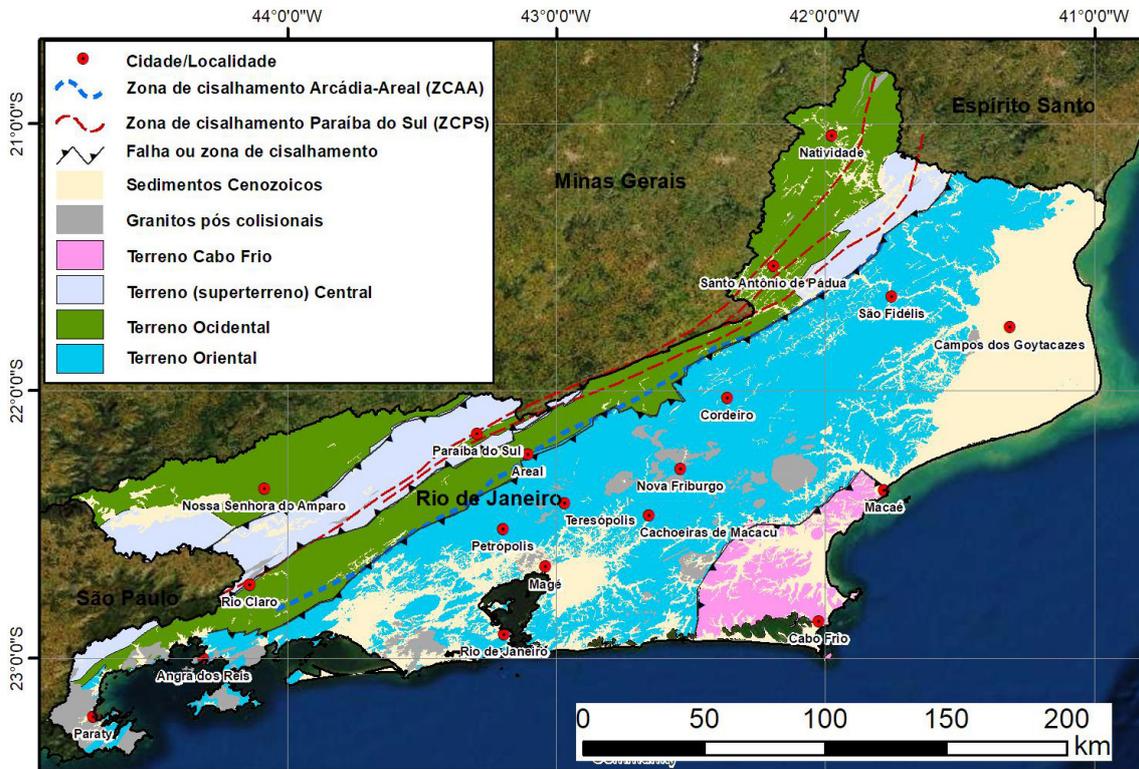


Figura 5 - Mapa Tectônico do estado do Rio de Janeiro (compilado de HEILBRON *et al.*, 2020).

MATERIAIS E MÉTODOS

DADOS AEROGEOFÍSICOS

Os dados aerogeofísicos do estado do Rio de Janeiro foram levantados em quatro projetos (Figura 6):

- i) Área 15 Minas Gerais (LASA & PROSPECTORS, 2010)
- ii) Espírito Santo 1093 (PROSPECTORS, 2010).
- iii) Rio de Janeiro 1117 (PROSPECTORS, 2011).
- iv) São José dos Campos-Resende 1105 (MICROSURVEY, 2011)

Estes projetos levantaram perfis magnetométricos do campo magnético total e gamaespectrométricos de alta densidade, com linhas de voo e controle espaçadas de 500 m e 5.000 m, orientadas nas direções N-S e E-W, respectivamente. A altura de voo foi fixada em 100 m acima do terreno. Foram empregadas aeronaves equipadas com magnetômetro e gamaespectrômetro, posicionadas pelo sistema de observação de satélite GPS com precisão de 1 m. O magnetômetro com sensor de vapor de césio foi montado na cauda da aeronave (tipo stinger) (Fotografia 1). As medidas foram realizadas a cada 0,1 s, o que equivale, dependendo da velocidade média da aeronave

a uma medida a cada 7,7 m. O gamaespectrômetro com detectores de cristais de iodeto de sódio (NaI) (Fotografia 2) realizou a análise individual e precisa dos fotopicos de potássio, equivalente tório (eTh) e equivalente urânio (eU). As medidas foram efetuadas a cada 1,0 s, representado medições a intervalos médios de amostragem de aproximadamente 77,0 m.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO MÉTODO MAGNETOMÉTRICO

O método magnetométrico é um dos mais antigos métodos geofísicos. Desde o seu início foi muito utilizado nos estudos exploratórios de recursos minerais metálicos. A indústria de exploração de petróleo também fez e ainda faz intenso emprego dessa metodologia. Na pesquisa de minerais metálicos, sobretudo àqueles portadores de ferro, a importância e a relação direta com jazidas são bastante evidentes. Em outros casos, como o do petróleo, a magnetometria permite a identificação de estruturas, tais como domos e falhas, que podem condicionar a formação de jazidas.

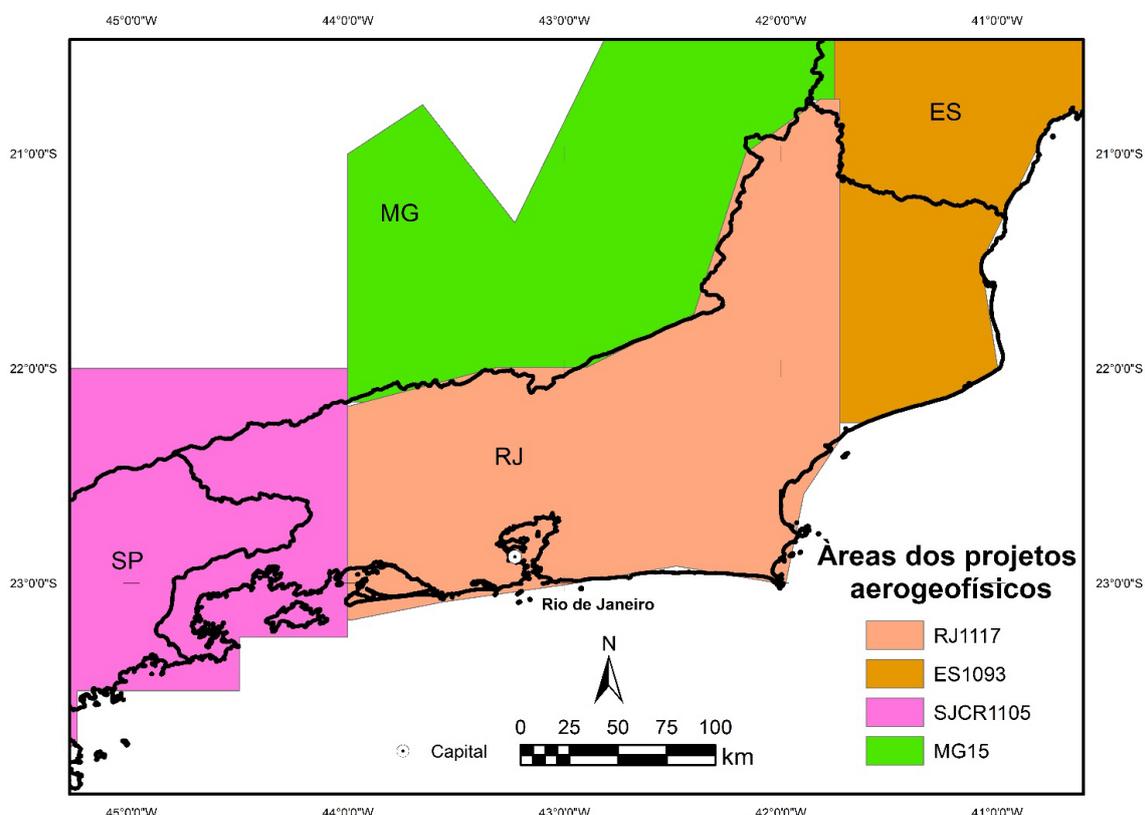


Figura 6 - Localização dos levantamentos aerogeofísicos (magnetometria e gamaespectrometria) realizados na Região do estado do Rio de Janeiro entre 2006 e 2011 com linhas de voo N-S espaçadas de 500 m e altura de voo igual 100 m.



Fotografia 1 - Avião equipado com magnetômetro do tipo vapor de céσιο montado na cauda da aeronave (tipo stinger). Este magnetômetro mede o campo magnético total a cada 0,1 s.

Fotografia 2 - Avião equipado com gamaespectrômetro com detector de cristal de iodeto de sódio. Este gamaespectrômetro mede dados de radioatividade natural a cada 1,0 s.

O método magnetométrico mede o campo magnético da Terra. O campo magnético terrestre pode ser considerado como produzido por um momento de dipolo localizado no centro da Terra e apontando para o sul e formando com um ângulo em relação ao eixo de rotação. Os pontos em que o eixo do dipolo intercepta a superfície da Terra são denominados polos geomagnéticos (Figura 7). As linhas de forças que atravessam a esfera terrestre ficam paralelas com a superfície nas proximidades do equador. Ele é composto por três partes: o campo principal que tem origem no núcleo externo da Terra; o campo externo, produzido por correntes elétricas que circulam na ionosfera e varia rapidamente e, variações do campo principal que são constantes no tempo e são causadas por anomalias magnéticas locais geradas por rochas e minerais magnéticos próximos da superfície da Terra (TELFORD ET AL., 1990).

De acordo com TELFORD ET AL. (1990), todos os materiais podem ser classificados em três grupos de acordo com as suas propriedades magnéticas: diamagnético, paramagnético e ferromagnético. As substâncias diamagnéticas apresentam susceptibilidade magnética (μ) negativa. Isso significa que a magnetização induzida (B) por um campo externo (H) apresenta direção oposta à do campo H. As substâncias que não são diamagnéticas são denominadas

paramagnéticas, ou seja, apresentam susceptibilidade magnética positiva. Os ferromagnéticos são materiais paramagnéticos no qual a interação entre os átomos é tão forte que ocorre um alinhamento de momentos magnéticos em grandes domínios das substâncias. A temperatura Curie é a temperatura a partir da qual um material perde as suas características ferromagnéticas e passa a se comportar como paramagnético (Fe 750°C, Ni 310°C, magnetita 515°C).

A susceptibilidade magnética é um parâmetro adimensional que define a intensidade da magnetização induzida em uma rocha ($H = \mu B$). Ela tem relação direta com a quantidade e dimensão dos minerais magnéticos contidos nas rochas. Os principais minerais magnéticos são magnetita, ilmenita e pirrotita. Entre eles, a magnetita é o que apresenta os maiores valores de susceptibilidade. Entre as rochas, os basaltos e peridotitos são as que têm maiores susceptibilidades (TELFORD ET AL., 1990).

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO MÉTODO RADIOMÉTRICO

O método radiométrico é baseado na detecção da emissão natural de raios gama produzida pelo decaimento radioativo de isótopos. Alguns isótopos são instáveis e se tornam estáveis

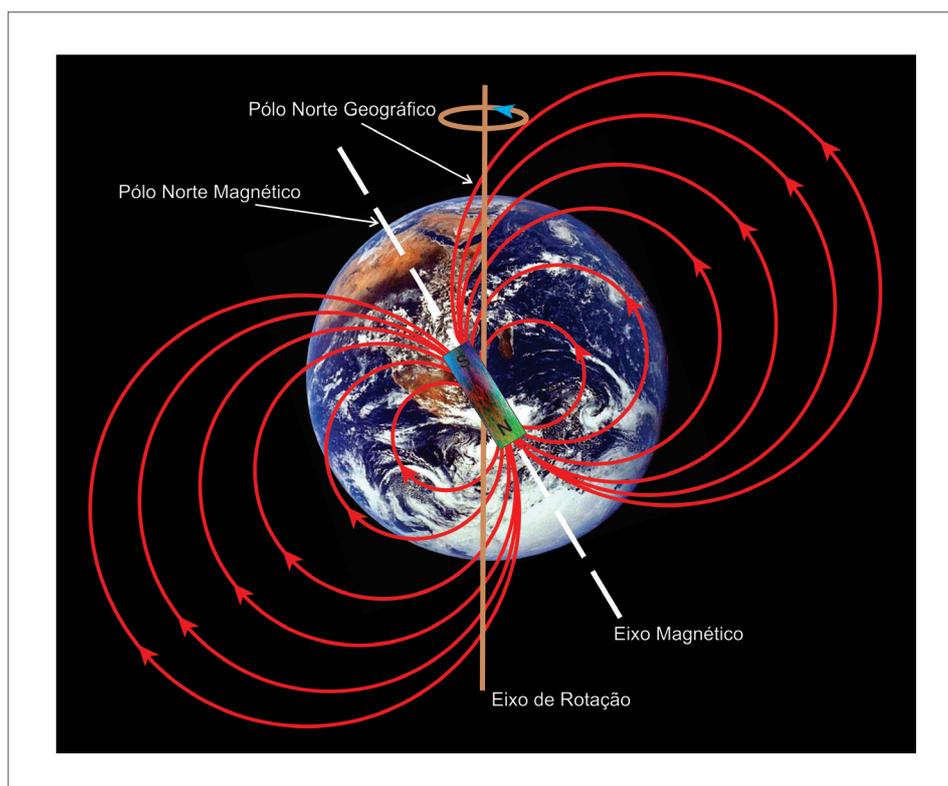


Figura 7 - Representação esquemática do Campo Magnético da Terra. Ele pode ser comparado com um grande ímã cuja direção forma um ângulo agudo com o eixo de rotação.

pela emissão de radiação energética ionizada. Estes isótopos são denominados radioisótopos (KEAREY ET AL., 2002).

O decaimento radioativo que leva a formação de elementos estáveis é exponencial e sua taxa de decaimento segue a fórmula: $N = N_0 e^{-\lambda t}$, onde N é o número de átomos restantes após um tempo t , a partir de um número inicial N_0 a um tempo $t = 0$. λ é a constante de decaimento característica de cada elemento (KEAREY ET AL., 2002).

A importância do método radiométrico nas últimas décadas se deve a grande demanda de minerais radioativos provocado pela necessidade de combustíveis nucleares (KEAREY ET AL., 2002). Entretanto, levantamentos radiométricos também são muito úteis no mapeamento geológico para o reconhecimento e diferenciação de diversos tipos de rochas (PIRES & HARTHILL 1989).

Na natureza ocorrem em torno de 50 isótopos radioativos, mas a maioria é rara ou fracamente radioativa. Os elementos com interesse principal em radiometria são urânio (^{238}U), tório (^{232}Th) e potássio (^{40}K). Eles são os únicos elementos com radioisótopos que produzem raios gama com energia suficiente para serem medidos em levantamentos aéreos (MINTY, 1997). O fotopico mais energético da série de decaimento do Th é emitido pelo isótopo ^{208}Tl , enquanto o U é detectado pelo fotopico emitido pelo isótopo ^{214}Bi (MINTY, 1997). Em média a crosta da Terra contém 2,5 % de K, 12 ppm de Th e 3,5 ppm de U (DICKSON & SCOTT, 1997).

Existe um grande número de minerais radioativos, porém os mais comuns são aqueles apresentados na Tabela 2.

PROCESSAMENTO DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS

Neste item estão descritas as metodologias utilizadas para o tratamento dos dados magnetométricos objetivando sua apresentação em formatos adequados para os trabalhos de interpretação e integração geológica. De acordo com ISLES & RANKIN (2013), a tarefa de controle de qualidade de um levantamento aeromagnetométrico requer experiência geofísica especializada e nem sempre é realizada pela pessoa responsável pela interpretação dos dados. Os principais problemas para o intérprete são os níveis de ruído nos dados. Eles precisam ser baixos e sua remoção não deve afetar os objetivos dos trabalhos de interpretação e correlação geológica.

Os projetos aerogeofísicos contratados pelo SGB/CPRM - Serviço Geológico do Brasil incluem contratualmente que as companhias de aerolevantamentos entreguem os resultados com os dados nivelados em malhas interpoladas e, no caso dos dados magnetométricos, com o efeito do campo magnético da Terra removido por meio de um modelo do campo denominado *International Geomagnetic Reference Field (IGRF)*.

Tabela 2 - Minerais Radioativos de acordo com TELFORD ET AL. (1990).

Mineral	Ocorrência
Potássio	
Feldspatos (ortoclásio, microclinas)	Rochas ígneas ácidas e pegmatitos
Alunita	Rochas ígneas ácidas e pegmatitos Alterações em ácidas vulcânicas
Silvita, carnalita	Depósitos salinos em sedimentos
Tório	
Monazita	Granitos, pegmatitos, gnaisses
Torianita	Granitos, pegmatitos, aluviões
Torita, uranotorita	Granitos, pegmatitos, aluviões
Urânio	
Uraninita	Granitos, pegmatitos
Carnotita	Arenitos
Gumita	Associadas com uraninita

Plataforma de Processamento

Nos trabalhos de processamento foram empregadas ferramentas disponíveis no programa *Oasis Montaj* da Geosoft, versão 9.0 ou maior. Entre as várias ferramentas disponíveis, as mais usadas foram: *Geophysic Leveling* para nivelamento, *Grid and Image* para interpolação e apresentação dos resultados, *GridKnit* para junção de diferentes projetos em uma mesma malha e *MAGMAP filtering* para aplicação de transformações e filtros nos dados.

Interpolação

Os dados são entregues pelas companhias de aerolevantamentos já interpolados. Entretanto, pode ser necessária, de acordo com a necessidade do geofísico a repetição do processo em diferentes etapas do seu projeto de trabalho. A interpolação é o processo em que se determina o valor de uma função em um ponto interno de um intervalo a partir dos valores dessa função nas fronteiras desse intervalo. Esse procedimento foi executado com o objetivo de transformar dados discretos em um mapa de registro contínuo, mais adequado à interpretação. A partir do banco de dados produzido pelos levantamentos aerogeofísicos, os dados corrigidos e nivelados foram interpolados em uma malha de 125 x 125 m pelo método de Bi-directional. Este método produziu malhas interpoladas em duas etapas de processamento: a) cada linha é interpolada ao longo da

linha original de levantamento produzindo valores na intersecção de cada linha da malha com o valor observado; b) os pontos de intersecção para cada linha são interpolados na direção ortogonal para produzir valores em cada ponto requerido da malha.

Junção dos Diferentes Projetos

No estado do Rio de Janeiro, o levantamento completo com dados aerogeofísicos necessitou a execução de quatro diferentes projetos (Figura 6). Portanto, uma das tarefas mais importantes deste projeto foi juntar os dados magnetométricos e gamaespectrométricos de cada projeto em malhas individuais para todo o estado. Esta tarefa implicou algumas vezes na necessidade do reprocessamento e nivelamento dos dados brutos. Para junção dos projetos foi empregada a ferramenta *GridKnit*, que utiliza técnicas de fusão de malhas que reduzem o efeito de artefato que ocorre geralmente nas interfaces entre dados de diferentes projetos. Esta tarefa foi muito mais complicada quando aplicada nos dados gamaespectrométricos. Isto decorre por causa das diferenças nos sensores utilizados e o período em que foi realizado cada levantamento. No estado do Rio de Janeiro, o principal problema de junção de dados ocorreu com o canal de contagem total e equivalente urânio. Por causa da baixa qualidade do resultado da junção do canal de contagem total ele não será apresentado neste atlas.

Aplicação Transformações e Filtros nos Dados Aeromagnetométricos

Os procedimentos de filtragens dos dados aeromagnetométricos foram efetuados por meio do *MAGMAP filtering*. Esse sistema é constituído por um grupo programas que aplicam filtragens bidimensionais em dados interpolados de campo potencial (magnéticos e gravimétricos) no domínio do número de onda. As técnicas utilizadas são adaptadas dos trabalhos de BHATTACHARYYA (1966) e SPECTOR &

GRANT (1970). Os filtros são aplicados aos dados após um pré-processamento para remover tendências, preenchimento de espaços vazios e sua transformação para o domínio do número de onda por meio da técnica de *Fast Fourier Transform (FFT)*. Após a filtragem a malha de dados é transformada de volta para o domínio do espaço. Nos itens a seguir, onde estão apresentados os mapas aerogeofísicos, para cada produto resultante de uma transformação ou filtragem existe uma breve descrição dos fundamentos teóricos e utilidades práticas dos resultados.

▶ MAPAS AEROMAGNETOMÉTRICOS

Um das principais finalidades do uso de dados magnetométricos é encontrar corpos de minério. Só com uma extensa cobertura de dados magnetométricos é possível descobrir novas jazidas de minerais metálicos. De acordo com ISLES; RANKIN (2013), sem os extensos levantamentos magnetométricos realizados na Austrália e Canadá grandes minas de classe mundial não teriam sido encontradas.

Um das mais importantes contribuições dos dados magnetométricos é sua potencialidade para desvendar a terceira dimensão dos dados geológicos. Feições geológicas como corpos e estruturas podem ser inferidas em profundidade por meio de interpretações e modelagens. As zonas de cisalhamentos são um dos objetos geológicos mais evidentes em mapas magnetométricos; contudo, sua contribuição para a delimitação tridimensional de formações vulcânicas, intrusões de rochas básicas e de granitoides magnético é fundamental.

Atualmente, em todo mundo, sobretudo nos países com dimensão continental, os governos tem empreendido um grande esforço de levantamento de dados magnetométricos

com vistas ao reconhecimento geológico de seus territórios. O Brasil foi um entre esses países que nas últimas décadas empreendeu uma grande campanha de levantamentos aerogeofísicos como apresentado na introdução deste atlas. No Brasil, entre os principais empregos dos dados magnetométricos está o mapeamento geológico.

No início das pesquisas para localização de jazidas de petróleo e antes do advento e avanços nas técnicas do método sísmico, a magnetometria foi uma ferramenta importante. Entretanto, a mesma técnica aplicada com dados magnetométricos na pesquisa de petróleo pode ser empregada para estudos de água subterrânea. Estruturas, tais como zonas de cisalhamentos, facilmente identificadas pelo método, podem estar condicionando depressões tectônicas com maior acúmulo de água ou barreiras hidráulicas, que dificultam o fluxo da água e compartimentam bacias sedimentares. Nas rochas cristalinas, alinhamentos magnéticos são correlacionados com falhas ou zonas de fraturas regionais, com importância na identificação de áreas de detalhes para prospecção de aquíferos fraturados.

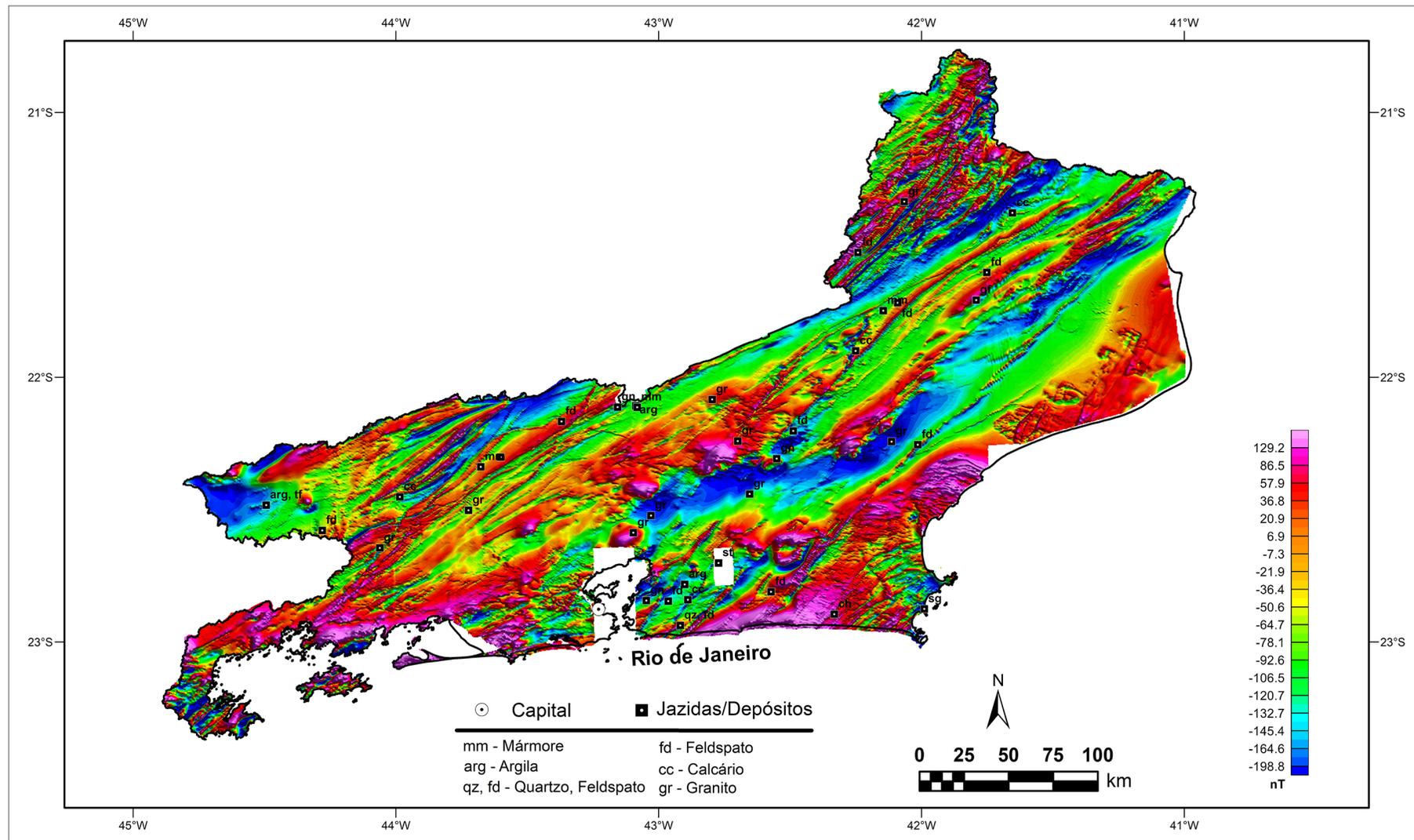
▶ ANOMALIAS MAGNETOMÉTRICAS

PARA A INTEPRETAÇÃO de dados magnetométricos regionais e sua aplicação em estudos geológicos é necessária a remoção de um modelo de campo magnético da Terra (*International Geomagnetic Referencel Field - IGRF*). O resíduo resultante é empregado na interpretação de anomalias, domínios, alinhamentos e modelagens dos dados para integração com informações geológicas e de recursos minerais.

Observa-se na Anomalia Magnetométrica que o padrão mais frequente é de emparelhamento de positivos e negativos, com o positivo a noroeste e o negativo a sudeste. Este padrão é característico de levantamentos próximos do equador magnético. Neste caso, a relação frequência-amplitude das anomalias permite interpretá-las qualitativamente em termos de dimensão e profundidade. Nos trabalhos de mapeamento e prospecção devem ser destacadas as anomalias cuja relação frequência-amplitude indique profundidades rasas. Nas latitudes magnéticas atuais do estado de Rio de Janeiro, as fontes das anomalias magnéticas devem ser procuradas próximas dos centros dos dipolos. Variações no formato desses dipolos são importantes, e podem indicar diferenças quanto à forma, sentido de mergulho e profundidade do corpo magnético.

Para ISLES; RANKIN (2013), embora a Anomalia Magnetométrica sem aplicação de transformações ou filtros possa não ser a forma de dados mais usada na interpretação, deve sempre ser considerada como o passo inicial na interpretação e um ponto de referência essencial em relação aos produtos transformados ou filtrados.

Anomalias Magnetométricas



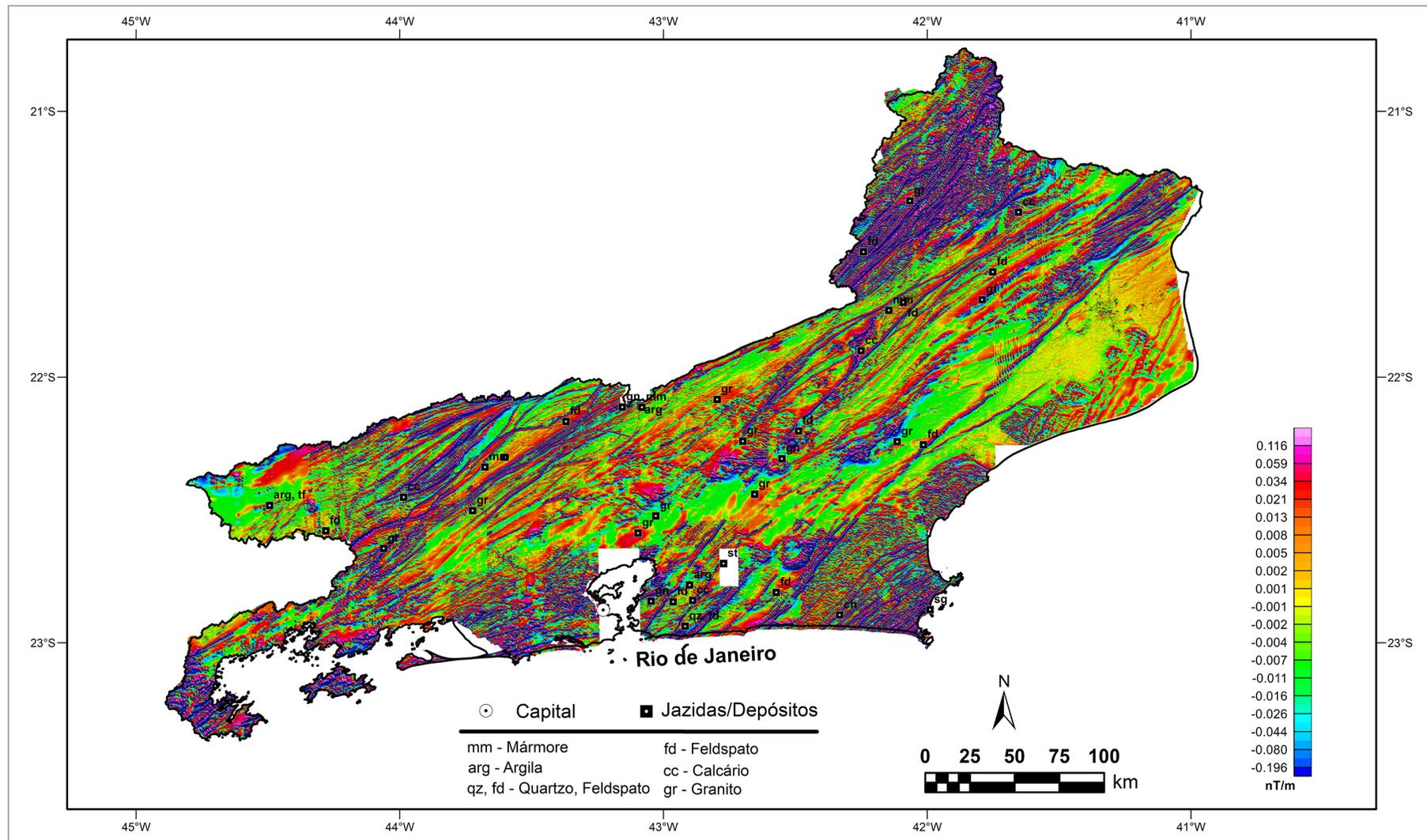
► 1ª DERIVADA VERTICAL DA ANOMALIA MAGNETOMÉTRICA

AS DERIVADAS SÃO FILTROS empregados para enfatizar fonte rasas e são muito utilizados para interpretar alinhamentos magnéticos. Pela sua capacidade de remover fontes profundas apresentam boa aplicabilidade no entendimento da tectônica rasa e em trabalhos de prospecção. O operador matemático da 1ª derivada é definido pela seguinte expressão:

$$L(r) = r^n,$$

onde $n=1$ é a ordem de diferenciação aplicada.

1ª Derivada Vertical da Anomalia Magnetométrica



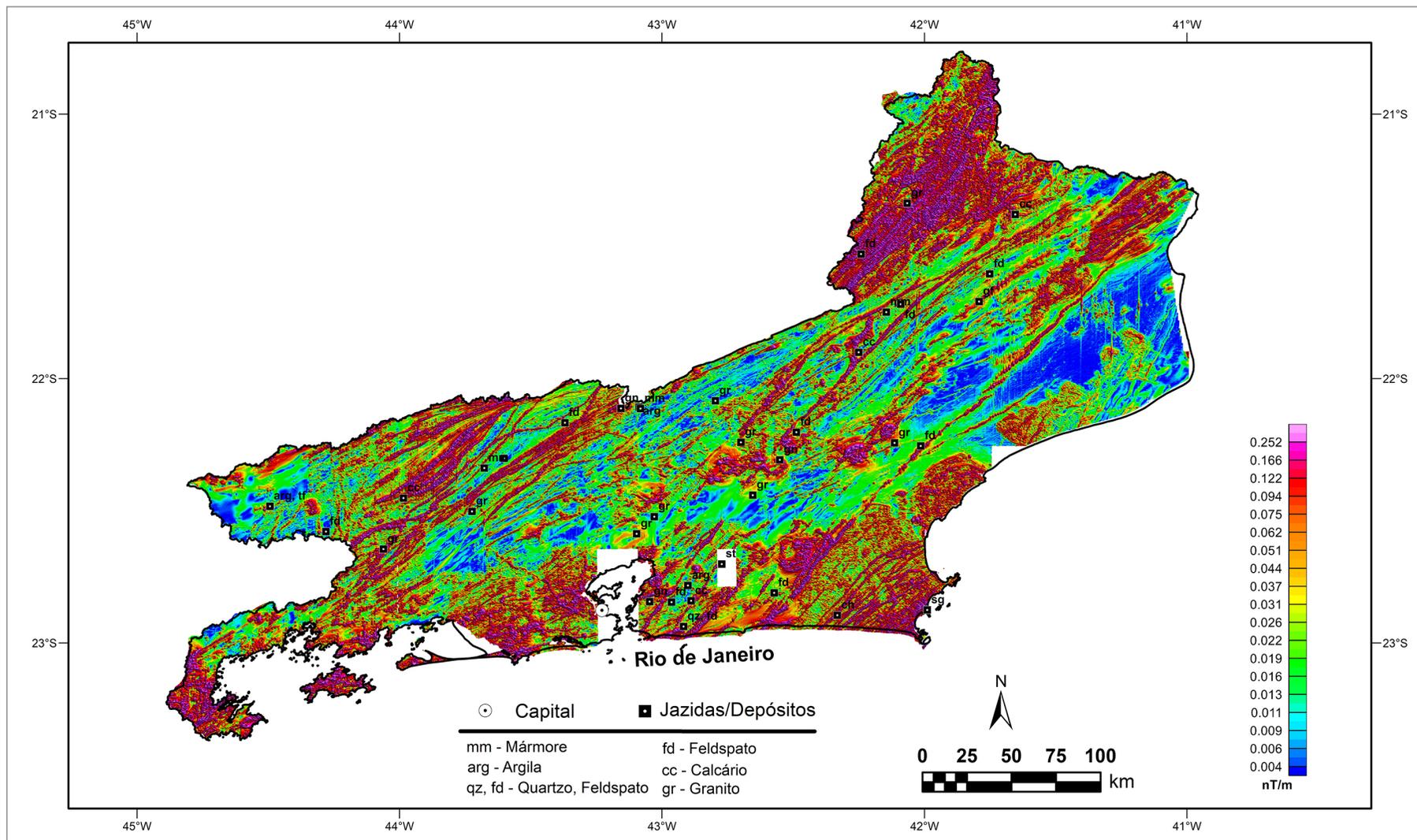
▶ GRADIENTE TOTAL DA ANOMALIA MAGNETOMÉTRICA

ANTERIORMENTE DENOMINADO Amplitude do Sinal Analítico (MACLEOD ET AL., 1993), o Gradiente Total é uma técnica de filtragem muito eficiente na localização de limites e na profundidade dos corpos. Sua função é expressa por um vetor de adição de duas componentes reais nas direções (X e Y) e por uma imaginária na direção Z. O Gradiente Total é uma opção alternativa muito boa à redução ao polo para o problema de localização de fontes magnéticas em baixas latitudes. Por causa do emprego de derivadas, este filtro remove fontes profundas. Porém, define muito bem a localização das fontes rasas, tendo um emprego bastante eficiente em estudos de prospecção e na definição de pontos para perfuração de corpos magnéticos. O operador matemático da 1ª derivada é definido pela seguinte expressão:

$$GT = \sqrt{\frac{\partial M^2}{\partial x} + \frac{\partial M^2}{\partial y} + \frac{\partial M^2}{\partial z}},$$

onde M é a Anomalia Magnetométrica e x e y são direções horizontais e z é a direção vertical.

Gradiente Total da Anomalia Magnetométrica



▶ ANOMALIA MAGNETOMÉTRICA REDUZIDA AO POLO MAGNÉTICO

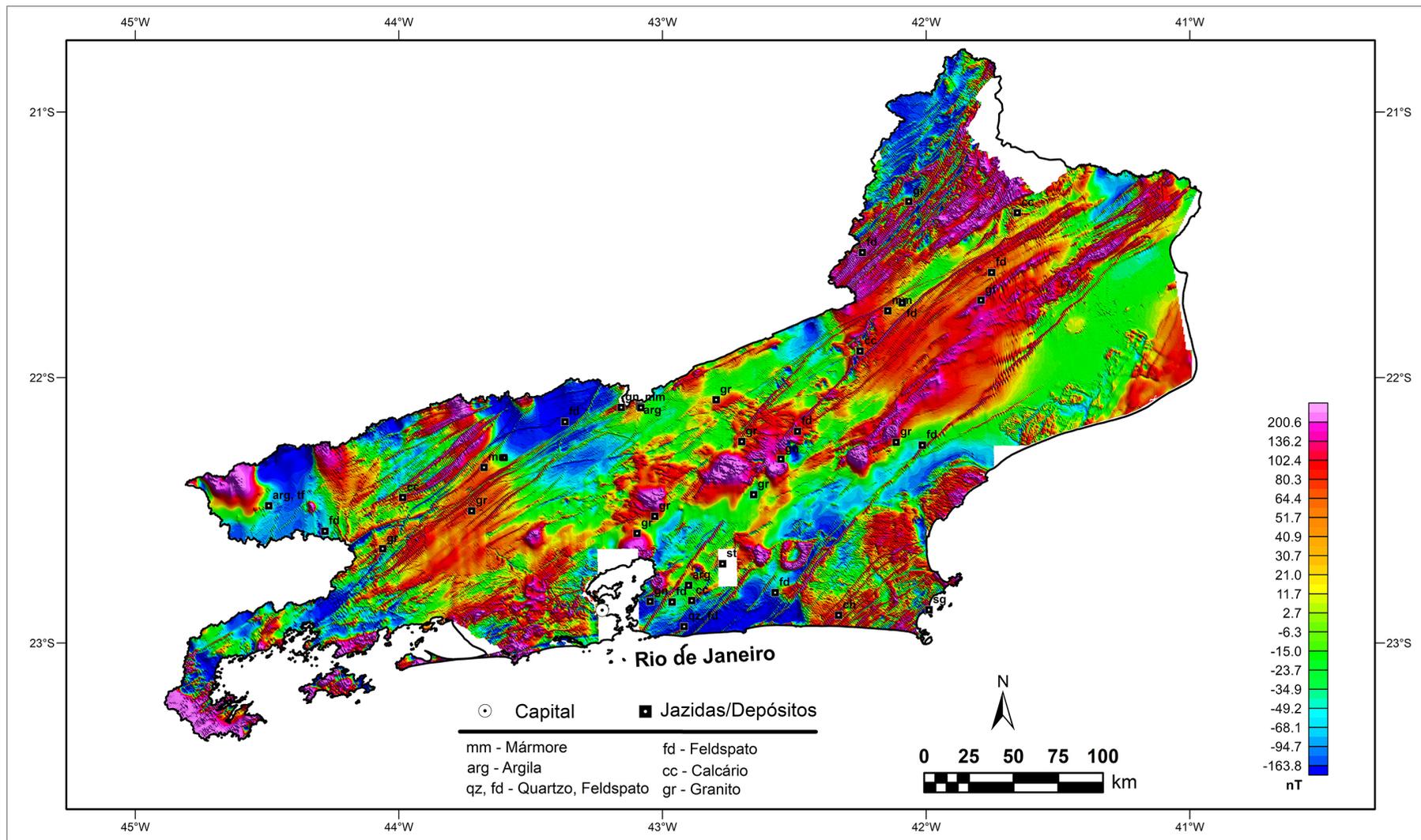
A REDUÇÃO AO POLO é uma transformação que produz uma nova versão dos dados de anomalias magnetométricas. Ela é utilizada para centralizar os picos das anomalias sobre suas fontes, sem perder significado geofísico, tornando os dados mais fáceis de serem interpretados. O seu operador matemático é expresso da seguinte maneira:

$$L(\theta) = \frac{1}{[\text{sen}(I_a) - i \cos I \cdot \cos(D + \theta)]^2},$$

onde, I_a = é a inclinação geomagnética, I = é a inclinação para a correção da amplitude e D = é a declinação.

A Redução ao Polo é efetuada na malha de dados das Anomalias Magnetométricas com o objetivo de restaurar diretamente sobre o corpo causador uma assinatura de amplitude positiva, ajudando na interpretação qualitativa dos dados. Esse procedimento é inspirado no conceito de anomalia pseudo-gravimétrica desenvolvido por BARANOV (1957), visando simplificar a forma complexa apresentada pelos dados magnéticos, de maneira que eles simulem um comportamento semelhante ao de corpos com contrastes de densidade. O emprego do parâmetro de inclinação para a correção da amplitude é empregado para minimizar os efeitos causados pelo crescimento da instabilidade no uso dos operadores matemáticos nas regiões próximas ao equador magnético.

Anomalia Magnetométrica Reduzida ao Polo Magnético



SEPARAÇÃO DAS ANOMALIAS MAGNETOMÉTRICAS EM RASAS E PROFUNDAS

DADOS MAGNETOMÉTRICOS fornecem uma visão em profundidade que corresponde à terceira dimensão simplificada dos dados geológicos, sendo imprescindível em áreas de escudos e faixas dobradas pré-cambrianas pouco conhecidas ou parcialmente encobertas por sedimentos fanerozóicos. Em razão disto, na interpretação geológica de dados magnetométricos é necessário discriminar as anomalias causadas por fontes rasas das anomalias causadas por fontes profundas. As fontes magnéticas profundas podem estar associadas com corpos e estruturas geológicas, tornando-se importantes para a compreensão do arcabouço geotectônico; as fontes rasas podem ser de interesse prospectivo nas pesquisas de minerais metálicos, restritas aos níveis crustais rasos. Para a interpretação das fontes rasas e profundas é necessário a aplicação de filtros no domínio do número de onda objetivando separá-las. Com essa intenção foi empregado o filtro gaussiano regional/residual.

O filtro gaussiano é um filtro de suavização que permite a separação regional/residual de dados de métodos potenciais (magnetométricos e gravimétricos). Ele funciona como um passa banda, porém os dados de saída apresentam uma distribuição gaussiana (normal) e o ponto de corte (*cutoff point*) escolhido é o desvio padrão da função gaussiana.

O operador matemático do filtro gaussiano é dado pela equação:

$$L(r) = 1 - e^{-\left(\frac{r}{r_0}\right)^2},$$

onde r_0 é o desvio padrão da função gaussiana em ciclos/metros.

A escolha do ponto de corte r^0 foi efetuada a partir da análise do espectro de potência (Figura 8). Observa-se que o número de onda correspondente ao limite entre fontes mais profundas (profundidades médias do topo em torno de 10 km) e as mais rasas (profundidades médias do topo em torno de menor que 1,0 km) é 0,066 ciclos/km.

O operador gaussiano residual foi utilizado nos dados reduzidos ao polo para passar frequências espaciais maiores que 0,066 ciclos/km, gerando o mapa representativo das fontes rasas e anomalias com comprimentos de onda menores que 15 km.

O operador gaussiano regional foi aplicado nos dados reduzidos ao polo para passar frequências espaciais menores que 0,066 ciclos/km, gerando, teoricamente, uma malha de dados com assinaturas causadas apenas por fontes profundas e anomalias com comprimentos de onda maiores que 15 km.

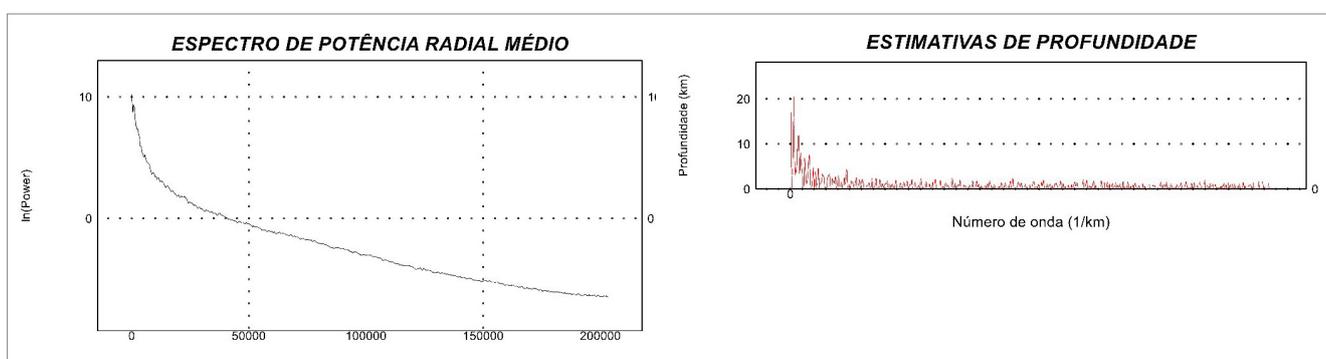
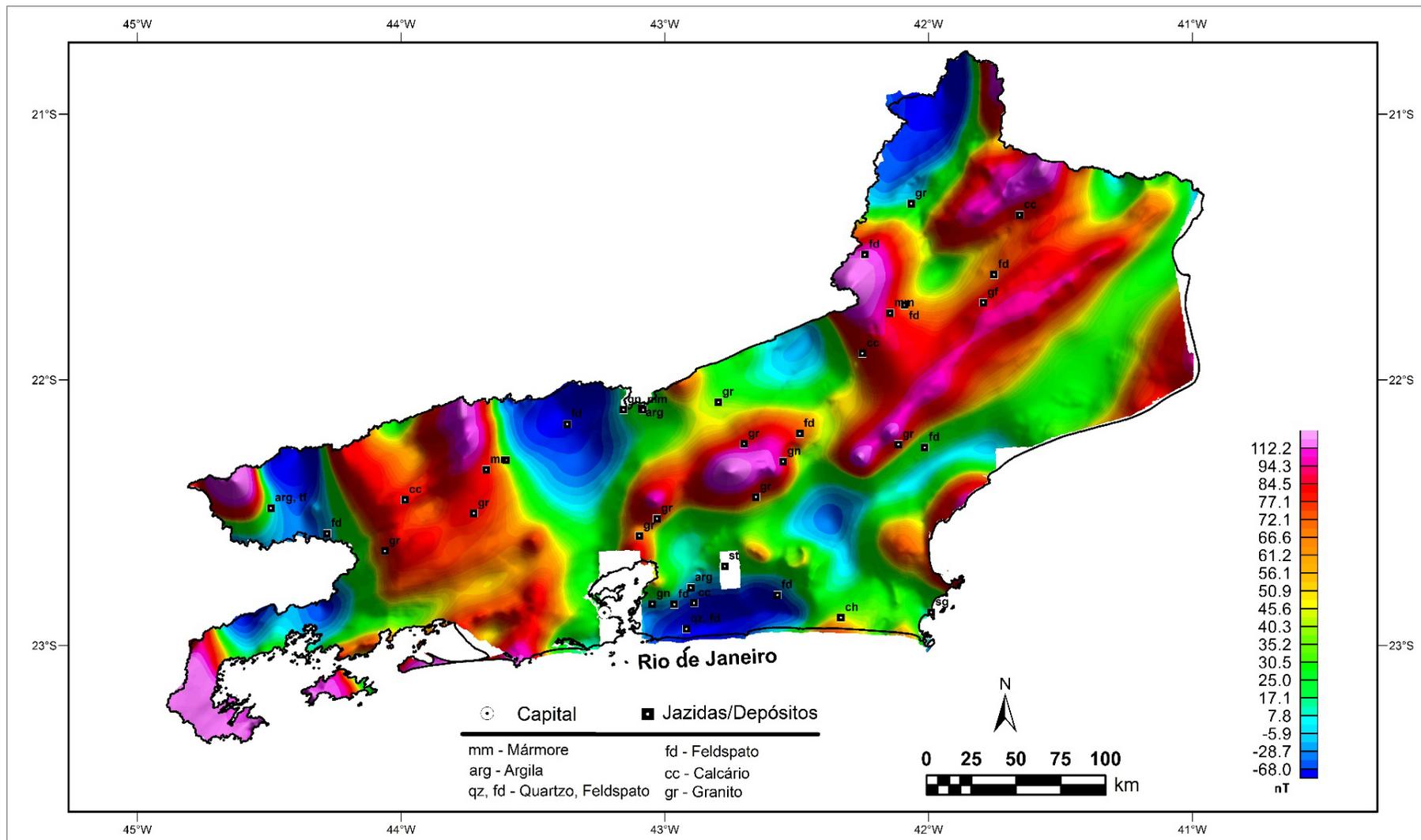
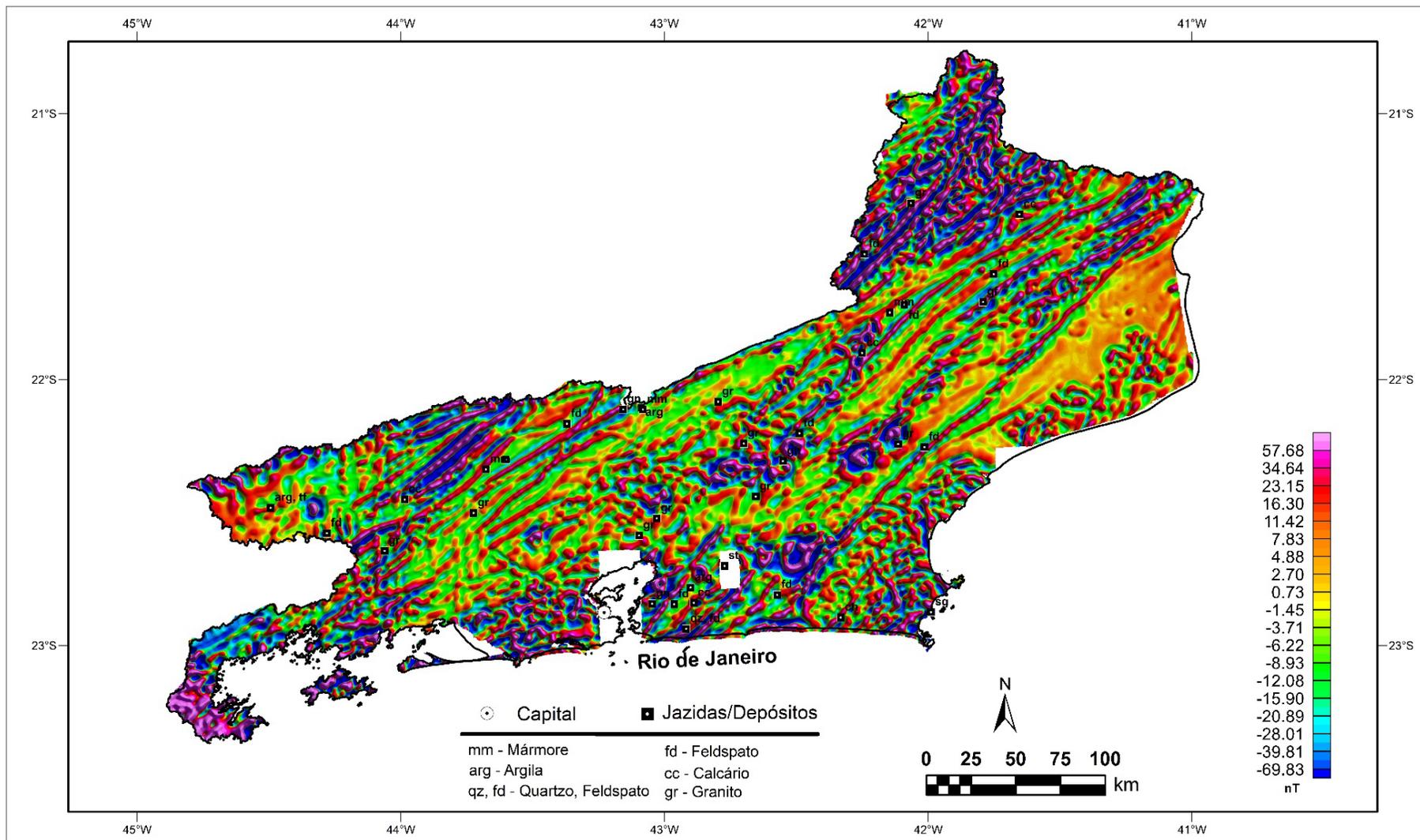


Figura 8 - Espectro de potência radial médio com estimativas de profundidades médias do topo das fontes magnéticas do estado do Rio de Janeiro. Este espectro foi empregado para separar fontes magnéticas rasas (componente residual) e fontes profundas (componente regional) por meio do filtro gaussiano de separação regional-residual.

Componente Residual da Anomalia Magnetométrica Reduzida ao Polo Magnético (Fontes Profundas)



Componente Residual da Anomalia Magnetométrica Reduzida ao Polo Magnético (Fontes Rasas)



▶ PRINCIPAIS CORRELAÇÕES GEOLÓGICAS DOS DADOS AEROMAGNETOMÉTRICOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

OS MAPAS AEROMAGNETOMÉTRICOS, mostram uma boa correlação dos domínios magnetométricos com os terrenos tectônicos (Figura 9). Um ótimo exemplo é o Terreno Cabo Frio que apresenta uma assinatura magnética marcante composta por um conjunto denso de anomalias de alta frequência, destoando muito da assinatura magnética do Terreno Oriental (Figura 9).

O Terreno Oriental, por sua vez, apresenta um domínio magnético marcado por lineamentos persistentes (contínuos) de direção ENE, geralmente sinuosos, e compatíveis com a estruturação das principais unidades nesse terreno. Próximo à região de Campo dos Goitacazes, é possível identificar anomalias magnetométricas circulares com grandes amplitudes e grandes comprimentos de onda, que seriam correlacionáveis à granitogênese pós colisional (ex. Granito Itaoca) (Figura 9). Nesse domínio também salta aos olhos (principalmente no mapa do gradiente total) dois lineamentos magnéticos paralelos com direção NE, que sofrem inflexão próxima às zonas de cisalhamentos Arcádia Areal (ZCAA) e Paraíba do Sul (ZCPS) (Figura 9).

Em relação aos terrenos Ocidental e Central, a principal correlação é a compatibilidade dos lineamentos magnéticos, direção e forma, com as principais estruturas geológicas desses terrenos, com destaque para os lineamentos magnéticos paralelos a Zona de Cisalhamento Arcádia Areal (ZCAA) e a Zona de Cisalhamento Transcorrente Paraíba do Sul (ZCPS). Nos mapas magnetométricos também é possível identificar a inflexão da estruturação da Faixa Ribeira de ENE para NE, na região nordeste do estado do Rio de Janeiro, próximo à divisa com os estados de Minas Gerais e Espírito Santo (Figura 9).

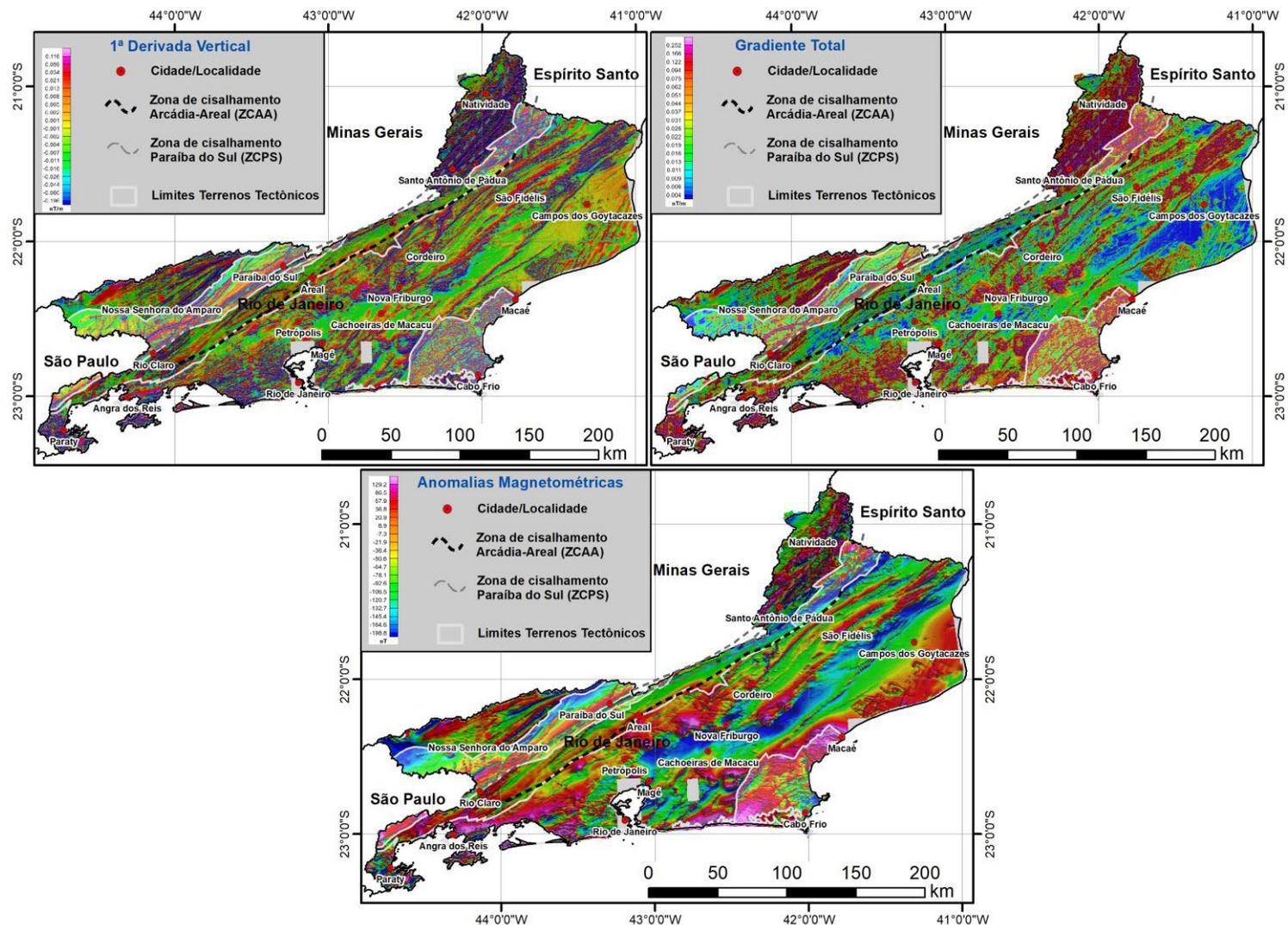


Figura 9 - Mapas magnetométricos sobrepostos pelos limites dos terrenos tectônicos e principais zonas de cisalhamento. Superior esquerda – 1ª Derivada Vertical da Anomalia Magnetométrica; Superior direita – Gradiente Total da Anomalia Magnetométrica; Inferior – Anomalias Magnetométricas

▶ MAPAS AEROGAMAESPECTROMÉTRICOS

O método gamaespectrométrico mede a taxa e a energia da radiação gama proveniente do potássio, tório e urânio contido nas rochas (MINTY, 1997). Nos levantamentos são empregados cristais detectores (geralmente de iodeto de sódio). Eles absorvem a radiação gama e a cintilação dessa radiação no cristal pode ser medida em contagem por segundo (cps.). Quando existem sistemas calibradores é possível quantificar o potássio (em porcentagem), o tório (em ppm) e urânio (em ppm). Contudo, não é medida diretamente a intensidade da energia desses radioisótopos, e sim, dos radioisótopos filhos ^{40}K para o potássio, ^{208}Tl para o tório e ^{214}Bi para o urânio. Por este motivo, foi convencionado o uso de e antes dos símbolos do urânio (**eU**) e do tório (**eTh**), para indicar que as concentrações são equivalentes. É importante enfatizar que o método gamaespectrométrico é empregado para investigação de variações que ocorrem apenas na superfície da rocha. Qualquer obstáculo não radioativo sobre a rocha causa supressão do sinal. Por exemplo, uma cobertura de 20 cm de areia quartzosa é capaz de suprimir metade da radiação da rocha. Por esse motivo, é necessário ao intérprete levar em consideração

o efeito causado por coberturas sedimentares alóctones, vegetação densa e corpos de água que ocorrem na área de levantamento. Neste último caso, rios que carregam muito material erodido em suspensão na água, podem apresentar sinal radioativo, como é o caso dos rios da Região Amazônica. Por outro lado, os rios secos da região semiárida do Nordeste do Brasil podem apresentar aluviões com sinal radioativo de material que foi carregado por longas distâncias.

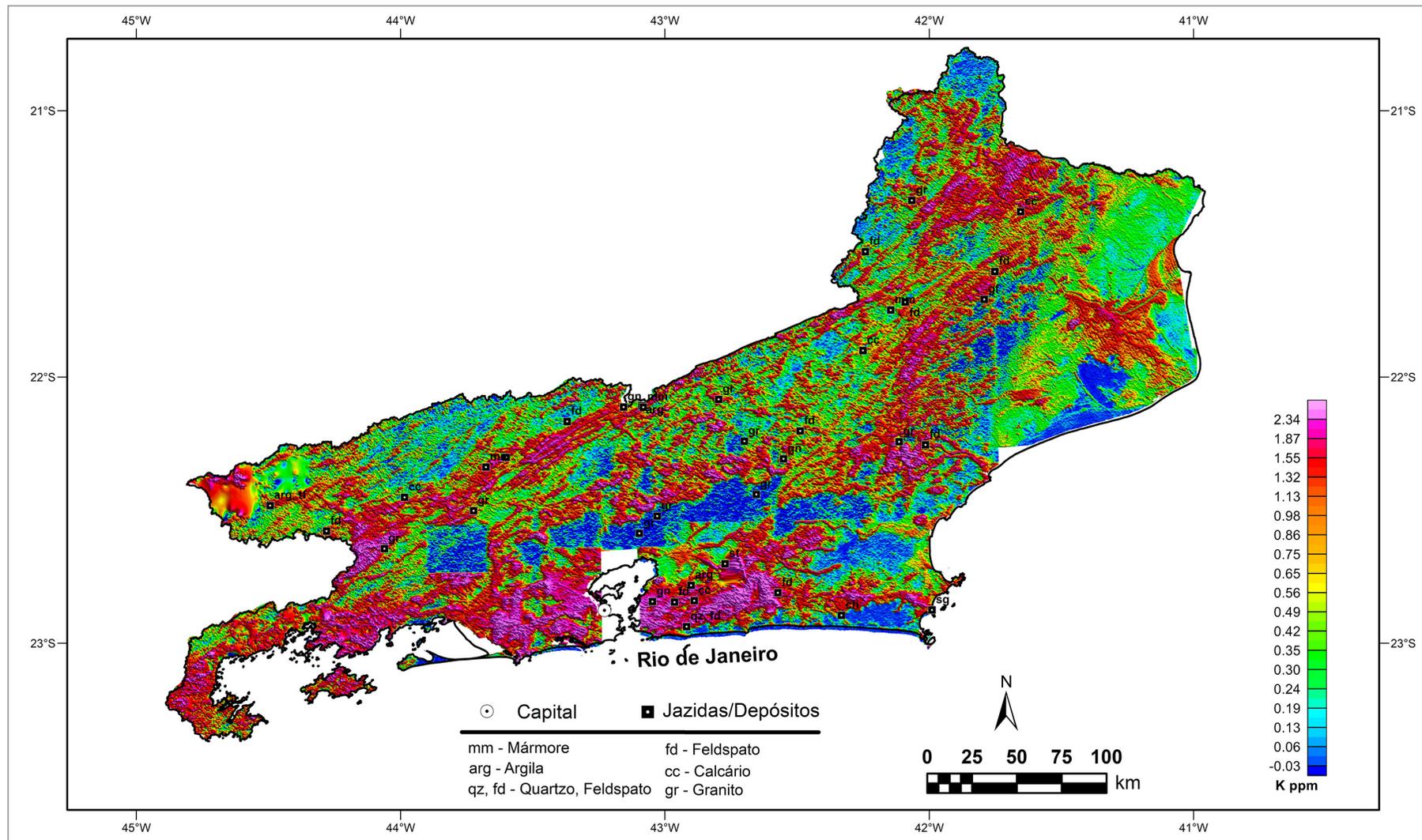
O potássio, o tório e o urânio aumentam nas rochas ácidas e diminuem nas rochas básicas. Entre eles, o tório tem o comportamento menos móvel, enquanto o urânio é o mais móvel. Comumente, o urânio quando liberado das rochas hospedeiras, tende a ser absorvido pelos minerais argilosos formados pelo intemperismo. De outra forma, nas rochas sedimentares arenosas, a existência de anomalias radiométricas indica a presença de minerais pesados, tais como, zircão e monazita, ricos em tório. Também, é possível inferir pela observação prática e como regra geral que nas rochas graníticas o aumento de concentração desses radio-elementos é às vezes também uma indicação do aumento da alcalinidade.

► POTÁSSIO

NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO o potássio apresenta uma média de 1,28 %. Esta média está um pouco acima dos valores médios informados em DICKSON & SCOTT (1997) para a crosta da Terra (2,35%). As principais características do elemento potássio de acordo com o texto do Atlas Geoquímico de Roraima (FREITAS; MARMOS, 2017) são apresentadas a seguir.

O potássio é um metal alcalino, de cor prateada, mole, bom condutor de calor e eletricidade, que se oxida facilmente e, depois do Li, é o metal mais leve. Em virtude de sua alta reatividade não é encontrado livre na natureza. Devido à similaridade entre os raios atômicos, pode ser substituído por Rb, Cs, Ba, Pb e Tl. É um dos constituintes maiores dos minerais formadores de rocha e o sexto mais comum na natureza, depois do Ca. Durante a diferenciação magmática o mesmo se concentra progressivamente em K-feldspatos, como o ortoclásio e microclina, e outros silicatos, entre eles alunita, leucita e muscovita, o que faz com que fique mais enriquecido nas rochas ácidas do que nas básicas (KOLJONEN, 1992). Pode também estar presente em soluções hidrotermais associado a mineralizações de cobre pórfiro e em pegmatitos (MINEROPAR, 2005). Minerais de minério: evaporitos, como a silvinita (mistura de silvita e halita), nitro ou caliche, carnalita, polialita, cainita, langbeinita, schoenita e singernita (DNPM, 2009). Principais utilidades: o principal uso do K é como fertilizante na agricultura, na forma de sulfatos e cloretos, em complementação ao uso de nitratos e fosfatos. A liga de K-Na é usada como meio de transferência de calor. Como agente redutor é utilizado em aplicações terapêuticas, na produção de sal sem Na. Impactos biológicos: seus sais são essenciais para os processos vitais: é um macronutriente não tóxico, ativando reações enzimáticas. É um elemento importante para o crescimento das plantas e da dieta humana. Os íons de K⁺ assim como os de Na⁺ agem nas membranas celulares na transmissão de impulsos eletroquímicos dos nervos e fibras musculares. Por outro lado, os sais de K são extremamente tóxicos quando injetados na corrente sanguínea. O composto KCN (cianeto de potássio) e o HCN (ácido cianídrico) são letais, considerados hematóxicos (PEIXOTO, 2004). Mobilidade ambiental: em condições oxidantes (pH<4 e 5-8) e redutoras são ligeiramente móveis (LICHT; MELLO; SILVA, 2007). Tipos de depósitos: depósito sedimentar químico, derivado de exalações relacionadas a evaporitos (Biondi, 2003). Principais jazidas: Canadá, Rússia, Bielorrússia, Alemanha e China. O Brasil até 2009 ocupava a décima colocação em termos de reservas e produção mundial de sais de potássio. As principais reservas subterrâneas de sais de potássio no Brasil localizam-se nos estados de Sergipe (mina Taquari/Vassouras e Santa Rosa do Lima) e Amazonas (Fazendinha e Arari) (DNPM, 2009).

Potássio

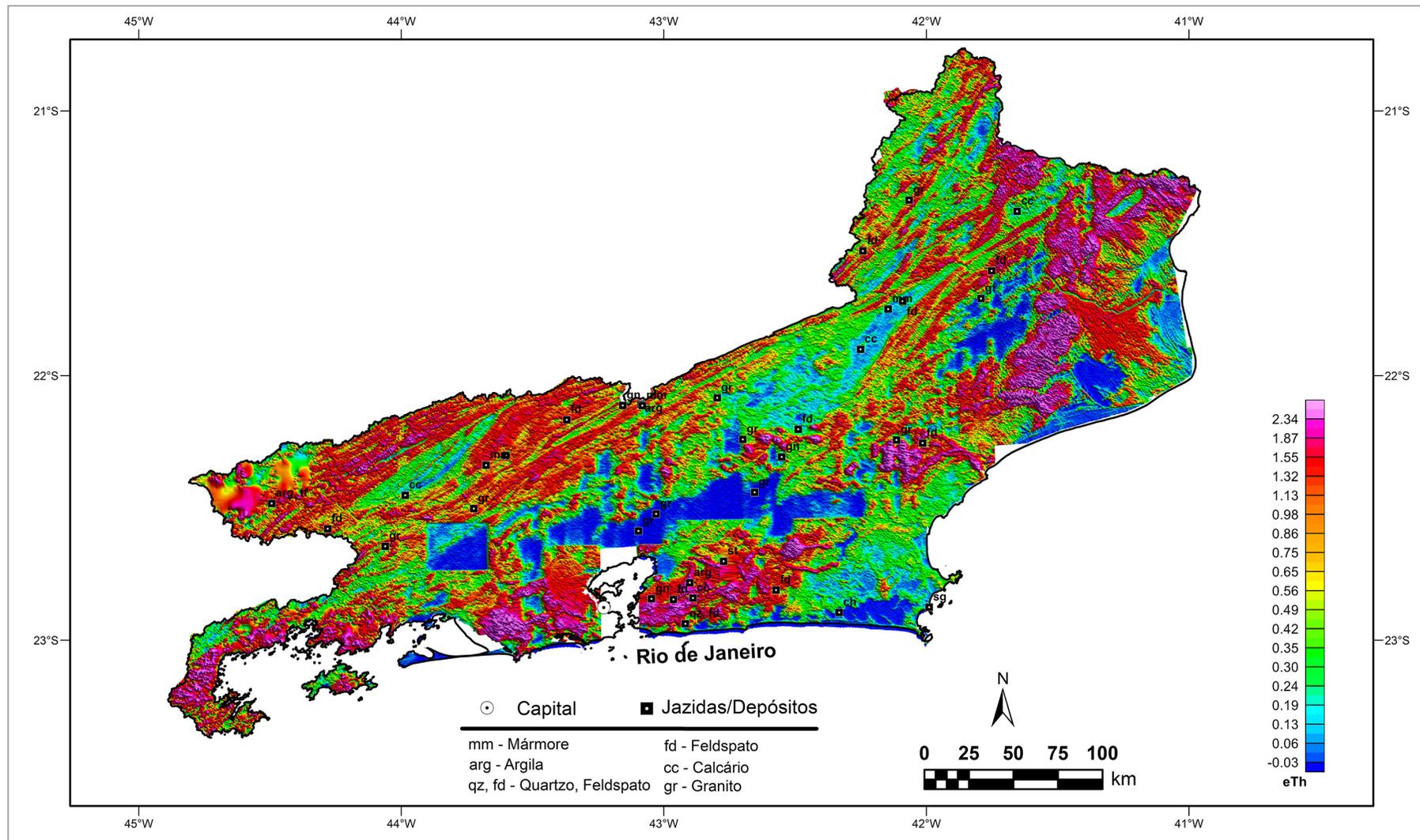


► EQUIVALENTE TÓRIO

NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO o equivalente tório apresenta uma média de 16,14 ppm. Esta média está um pouco acima dos valores médios informados em DICKSON & SCOTT (1997) para a crosta da Terra (12 ppm). As principais características do elemento tório de acordo com o texto do Atlas Geoquímico de Roraima (FREITAS; MARMOS, 2017) são apresentadas a seguir.

O tório é um metal da série dos actínídeos, sendo o isótopo ^{232}Th o único disponível na natureza. Em condição ambiente é sólido, de cor branca brilhante a prateada, e quando exposto ao ar é levemente radioativo. É um condutor intermediário de calor e corrente elétrica. Possui forte caráter litófilo concentrando-se nas partes superiores da litosfera, sendo sua distribuição fortemente controlada pelos estados de oxidação e pelo sistema Eh-pH (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). O íon Th^{+4} é facilmente solúvel e rapidamente adsorvido ou precipitado em sedimentos de materiais hidrolisados. Os minerais de tório e os enriquecidos em tório são geralmente resistentes e possuem mobilidade reduzida no intemperismo, concentrando-se assim nos sedimentos residuais em regiões de clima tropical, ou em areias e placers como minerais pesados (KOLJONEN, 1992). Minerais de minério: monazita [(Ce, La, Nd, Th) PO_4], thorita, euxenita, sendo também encontrado em outros minerais, associado a ETR e urânio, bem como a esfalerita, apatita e zircão. Principais utilidades: como fonte de energia nuclear (no processo de obtenção de ^{233}U), ligas metálicas com o Mg, catalisador de reações, fabricação de filamentos de W e células fotoelétricas. Impactos biológicos: o tório não tem função biológica conhecida e quando disperso no ar, geralmente pela mineração, pode ocasionar câncer de pulmão, pâncreas e sangue. Caso esteja acondicionado em algum recipiente e posteriormente seja exposto ao ar, pode explodir. Mesmo com baixa radioatividade, oferece risco à saúde humana, pois pode originar espécies radioativas como o gás radônio ^{220}Rn e o ^{208}Pb . Mobilidade ambiental: em condições oxidantes, seja com $\text{pH} < 4$ ou entre 5-8, ou ainda em ambiente redutor, o mesmo é imóvel (LICHT; MELLO; SILVA 2007). Tipos de depósitos: em veios de rochas alcalinas, tipo Barra do Itrapirapuã. Principais jazidas: Estados Unidos, Índia, Sri Lanka, Austrália e Madagascar. No Brasil, o tório é encontrado incluso no minério de ferro-nióbio nas minas de Catalão-Ouvidor em Goiás, e associado a uma série de intrusões alcalinas de idade neocretácea, situadas entre a borda NE da Bacia do Paraná e a borda SW do Cráton São Francisco.

Equivalente Tório

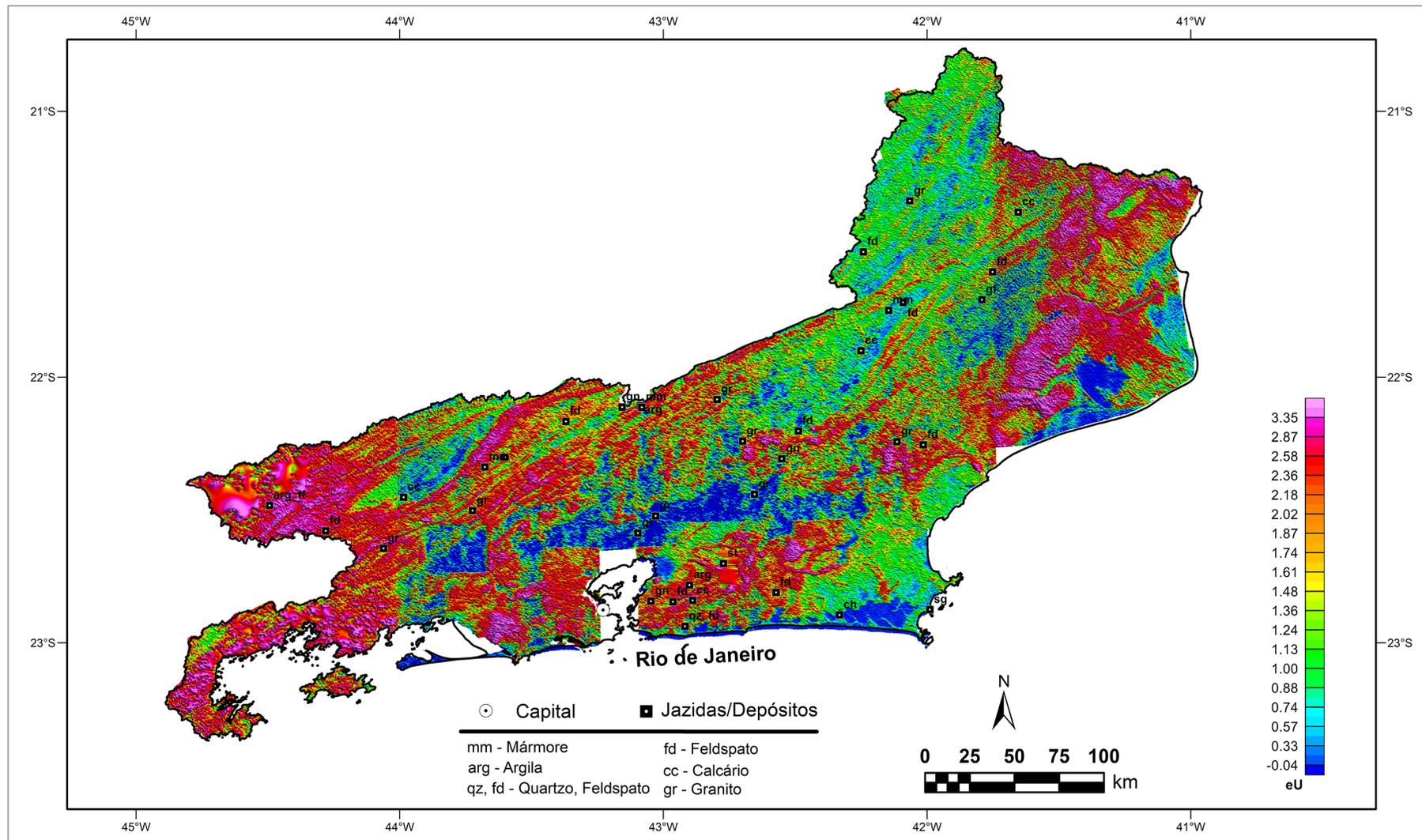


► EQUIVALENTE URÂNIO

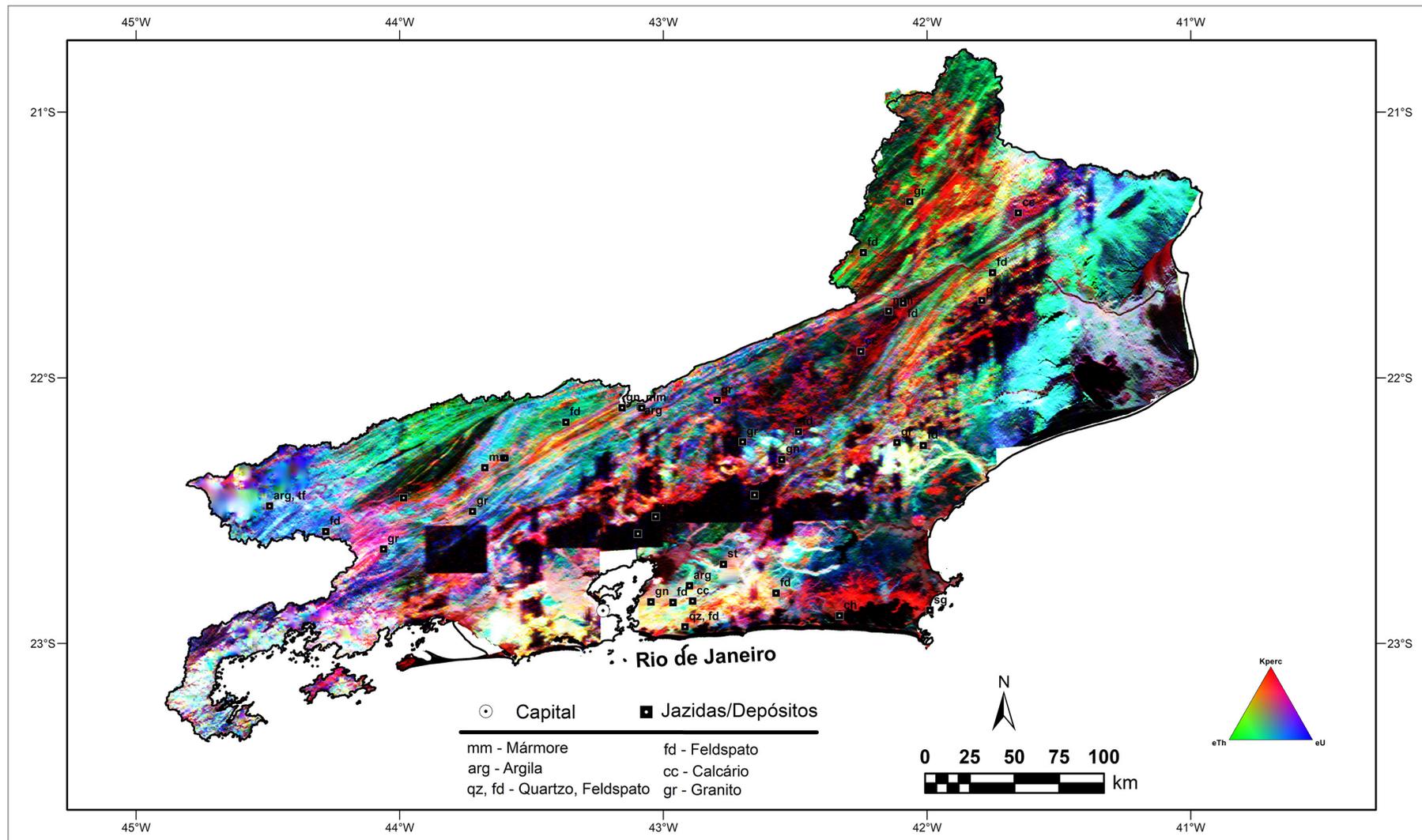
NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO o equivalente urânio apresenta uma média de 1,62 ppm. Esta média está abaixo dos valores médios informados em DICKSON; SCOTT (1997) para a crosta da Terra (3,0 ppm). As principais características do elemento urânio de acordo com o texto do Atlas Geoquímico do estado de Roraima (FREITAS; MARMOS, 2017) são apresentadas a seguir.

O urânio é um metal do grupo dos actínídeos, não possui cor característica, é denso, reativo, dúctil, maleável, oxida-se facilmente e possui como característica principal ser altamente radioativo. Existe na forma de três isótopos: ^{234}U , ^{235}U e ^{238}U . O íon U^{+4} concentra-se nos últimos estágios de diferenciação magmática, nas estruturas do zircão, allanita, esfalerita, apatita, monazita e minerais de tório, ítrio e lantanídeos. O urânio é comumente enriquecido nos granitos, pegmatitos e depósitos hidrotermais. Suas associações metalogenéticas são com V, As, P, Mo, Se, Pb, e Cu (KOLJONEN, 1992). Em condições de intemperismo, forma complexos orgânicos facilmente solúveis e móveis, relativamente estáveis em condições áridas. Na litosfera sua distribuição é controlada pelos estados de oxidação e pelo sistema Eh-pH. Por ser muito reativo, não é encontrado em seu estado elementar (KABATA-PENDIAS; PENDIAS 1992). Minerais de minério: uraninita (UO_2), pechblenda (variedade impura e amorfa da uraninita), carnotita, euxenita, autunita, torbenita, samarskita, margaritasita, lantinita e albertnyite. Principais utilidades: como combustível nuclear para geração de energia elétrica, explosivos nucleares e produção de raios X. Impactos biológicos: não é um elemento nutriente e ocorre em alguns locais devido a vazamentos e acidentes em usinas nucleares e no armazenamento do lixo atômico. Por ser radioativo e bioacumulativo, pode causar sérios problemas ao sangue, ossos, rins e fígado, sendo altamente carcinogênico (ATSDR, 1999). Mobilidade ambiental: em condições oxidantes, com $\text{pH} < 4$ e $\text{pH} \geq 5$ a ≤ 8 , a mobilidade é moderadamente alta, e em condições redutoras mostra-se imóvel (MINEROPAR, 2005; KOLJONEN, 1992). Tipos de depósitos: relacionados com vulcânicas félsicas e máficas subaéreas; associado aos depósitos de Au em rochas sedimentares clásticas, tipo folhelhos negros (Suécia) ou conglomerados e arenitos tipo Witwatersrand; em rochas metamórficas regionais do tipo discordância junto com o Au; em rochas alcalinas (carbonatitos) e depósitos do tipo IOCG; relacionados a inconformidades (LICHT; MELO; SILVA 2007). Principais jazidas: Austrália, Cazaquistão, Canadá, Namíbia, Rússia, Níger e Uzbequistão. No Brasil, encontra-se na Bahia (Lagoa Real, município de Caitité), no Ceará (Itataia, município de Santa Quitéria) e Minas Gerais (Poços de Caldas).

Equivalente Urânio



Composição Ternária RGB (K-eTh-eU)



▶ PRINCIPAIS CORRELAÇÕES GEOLÓGICAS DOS DADOS AEROGAMAESPECTROMÉTRICOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO observa-se que a grande maioria das anomalias de potássio apresentam formas circulares ou elípticas alongadas. Isto decorre da forte correlação deste elemento com intrusões de granitoides Sin e Pós-Tectônicos. Destacam-se os granitos e gnaisses da cadeia de montanha da Serra do Mar. As rochas que mais se destacam nas imagens radiométricas são as intrusões alcalinas com valores elevados dos três radio elementos .

Os sedimentos das bacias sedimentares são empobrecidos em potássio, com exceção de pequenas porções lixiviadas de outros domínios, como pode ser observado pela coloração azulada ou esverdeada apresentada no mapa de K nas áreas das coberturas fanerozóicas/cenozoicas que ocorrem principalmente no litoral, onde existem granitoides. O clima e vegetação podem influenciar nas respostas gamaespectrométricas, o que pode ser observado no baixo contraste entre a intensidade e a qualidade do sinal das áreas de floresta devido a densidade da mata atlântica. Nas áreas de montanhas com rochas aflorantes, por causa da boa exposição das rochas, as assinaturas são mais evidentes e a pluviosidade favorece o intemperismo das rochas, a formação de solos e mobilização do K.

Na região coincidente ao Terreno Paraíba do Sul nota-se forte contraste com os domínios que estão em contato devido aos valores de K nos marcantes lineamentos gamaespectrométricos. Esses elevados valores quando coincidentes a todos os canais gamaespectrométricos parecem correlacionados com granitos pós-tectônico de formato circular devido a presença de feldspato potássico.

Na porção noroeste, mapeada como Terreno Ocidental – Domínio Superior, observam-se fortes anomalias de tório e urânio alinhadas NEE, o que não ocorre no canal do potássio. No limite com o Terreno Paraíba do Sul observa-se uma região com baixa radiação nos três canais como um sigmoide.

O canal do tório, devido sua característica de baixa mobilidade, é um excelente marcador de contatos devido ao forte contraste nas leituras dos radioelementos na maioria das regiões. Também nos canais de eTh e eU existem áreas coincidentes com altos valores gamaespectrométricos nos dois canais e valores baixos no canal do potássio, referentes às rochas ultramáficas e diques básicos com direção NE-SW. Nas regiões de bacias, os valores radiométricos são ínfimos nos três canais, com exceção de partes onde ocorreu lixiviação dos corpos graníticos.

Como esperado, o mapa de eU possui muitas semelhanças com o mapa eTh . Apesar de ser o mais móvel dos três radioelementos, e dificultar o processamento das imagens, ele tem um padrão de distribuição nas rochas muito semelhante ao eTh . No contexto metalogenético é uma ferramenta fundamental na localização de jazidas.

Na parte central do estado observam-se valores muito baixos de todos os canais gamaespectrométricos. Algumas dessas são devidos problemas de junção de dados ou regiões montanhosas onde a qualidade dos dados foi prejudicada.

▶ ASSINATURAS AEROGEOFÍSICAS DOS PRINCIPAIS DEPÓSITOS MINERAIS

Os mapas gamaespectrométricos, principalmente o ternário (RGB), também mostram um significativo contraste das assinaturas gamaespectrométricas entre os terrenos tectônicos (Figura 11). Além disso, nos terrenos Central, Ocidental e Oriental o mapa da composição ternária RGB resalta a estruturação, em geral de direção ENE, e suas sinuosidades registradas na cartografia geológica.

No Terreno Ocidental se destaca a assinatura gamaespectrométrica das unidades ortogranulíticas e ortognáissicas relacionada ao Complexo (Unidade) Juiz de Fora, na região de Nossa Senhora do Amparo. Essas unidades apresentam baixos valores de tório e urânio equivalente, em relação às outras unidades, e também baixos valores absolutos de potássio. Essa característica lhes conferem cores mais escuras no mapa ternário (RGB) (Figura 11).

No Terreno Oriental os mapas gamaespectrométricos mostram uma grande variedade de assinaturas. Um

exemplo é a região entre Teresópolis e Cordeiro, que englobam principalmente as suítes Cordeiro e Serra dos Órgãos, além do Complexo Rio Negro, e exibem uma assinatura bem distinta das outras partes do Terreno Oriental.

Por outro lado, o Terreno Cabo Frio se destaca na assinatura gamaespectrométrica pelas cores azuladas (alto urânio equivalente) a avermelhada (alto potássio) no mapa da composição ternária RGB, o que se destoa bastante do Terreno Oriental (Figura 11).

As coberturas cenozoicas, que cobrem esses dois últimos terrenos principalmente no litoral, também são bem marcadas nos mapas gamaespectrométricos (Figura 11).

Por fim, resalta-se que na parte central do estado (entre Magé e Cassimiro de Abreu) observa-se uma faixa de valores muito baixos de todos os canais gamaespectrométricos (cor preta no mapa da composição ternária RGB). Essa faixa é devida a problema de junção de dados onde a qualidade dos dados foi prejudicada (Figura 11).

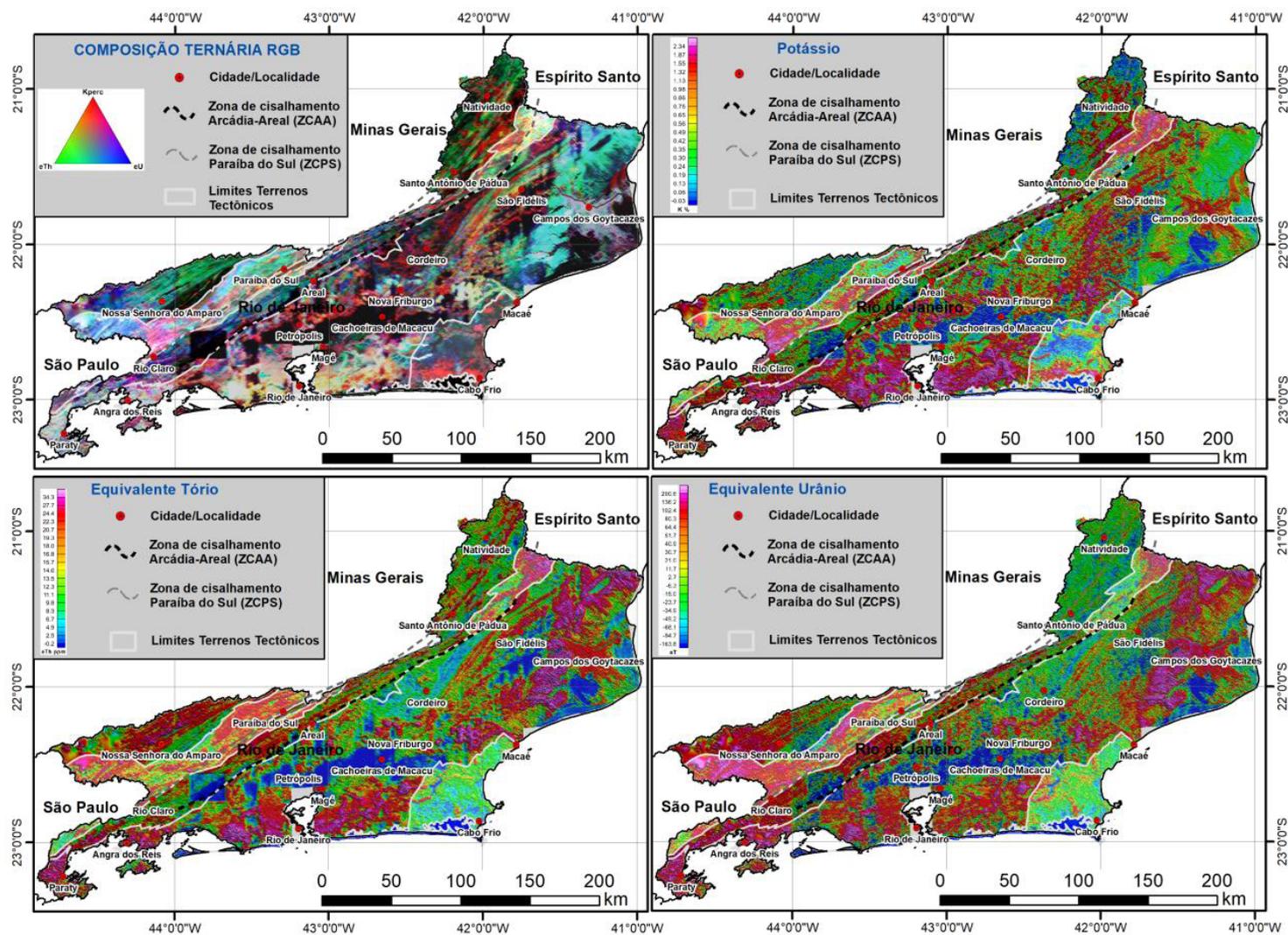


Figura 11 - Mapas gamaespectrométricos sobrepostos pelos limites dos terrenos tectônicos e principais zonas de cisalhamento. Superior esquerda - Composição Ternária RGB (K-eTh-eU); Superior direita - Potássio; Inferior esquerda - Equivalente Tório; Inferior direita - Equivalente Urânio.

REFERÊNCIA

- ALMEIDA, F. F. M.; AMARAL, G.; CORDANI, H. G.; AND KAWASHITA, K. The Precambrian evolution of South American cratonic margin, South of Amazon River. *In*: NAIRN, A. E. M.; STEHLI, F. G. (ed.) **The Ocean Basins and Margins**. New York: Plenum Press, 1973. v. 1, p. 411-446.
- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO-NEVES, B. B. de; FUCK, R. A. Províncias estruturais brasileiras. *In*: SIMPOSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., 1977, Campina Grande. **Atas** [...]. Campina Grande: SBG, 1977. p. 363-391.
- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; NEVES, B. B. de B.; FUCK, R. A. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth Sciences Review**, Amsterdam, v. 17, n. 1-2, p. 1-29, Apr. 1981.
- ALMEIDA, J. C. H. **Zonas de cisalhamento dúctil de alto grau do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul**. 2000. 190 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.
- ALMEIDA, J. C. H.; HEILBRON, M.; EIRADO, L. G.; GUEDES, E.; RODRIGUES, S. W. O.; VALERIANO, C. de M.; TUPINAMBÁ, M.; MELLO, C. L.; RAMOS, R. R. C.; PETERNEL, R.; PEIXOTO, C. de A.; GERALDES, M.; RAGATKY, C. D.; BELLOI, T.; SOARES, S.; PÔSSA, J. T.; NASCIMENTO, C. A.; GUIDOLINI, L.; PÉRICO, R.; SOARES, T. Mapa geológico do estado do Rio de Janeiro, escala 1:400.000: geologia estrutural. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 47., 2014, Salvador. **Anais**. Salvador: SBG, 2014.
- AIRO, M. L. Aeromagnetic and aeroradiometric response to hydrothermal alteration. **Surveys in Geophysics**, Dordrecht, v. 23, n. 4, p. 273–302, Jul. 2002.
- BHATTACHARYYA, B. K. Continuous spectrum of the total magnetic field anomaly due to a rectangular prismatic body. **Geophysics**, Tulsa, v. 31, n. 1, p. 97-121, Feb. 1966.
- BIONDI, J. C. **Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. 528 p.
- BRITO-NEVES, B. B. de; SANTOS, E. J.; SCHMUS, W. R. V. Tectonic history of the Borborema Province, Northeastern Brazil. *In*: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ-FILHO, A.; CAMPOS, D. de A. (ed.). **Tectonic Evolution of South America**. Rio de Janeiro: 31st International Geological Congress, 2000. p. 151-182.
- CORDANI, U. G.; MELCHER, G. C.; ALMEIDA, F. F. M. Outline of the precambrian geochronology of South America. **Canadian Journal of Earth Science**, Ottawa, v. 5, n. 3, p. 629-632, June 1968.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto Aerogeofísico Rio de Janeiro**: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: Prospectors Aerolevantamentos e Sistemas, 2012. v. 1.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto Aerogeofísico Centro-Sudoeste do Ceará**: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: Prospectors Aerolevantamentos e Sistemas, 2010. 14 v.
- DELHAL, J.; LEDENT, K.; CORDANI, U. G. Ages Pb/U, Sr/Rb et Ar/K des formations métamorphiques et éranitiques du Sucl-Est du Brésil (Estado do Rio de Janeiro et de Minas Gerais). **Annales de la Société Géologique de Belgique**, Bruxelles, v. 92, p. 271-283, 1969.
- DICKSON, B. L.; SCOTT, K. M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys-adding the geochemical factors. **AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics**, Australia, v. 17, n. 2, p. 187–200, Jan. 1997.
- DNPM. **Sumário Mineral Brasileiro 2001**. Brasília: DNPM, 2001. (Sumário Mineral, v. 21). <http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2001/sumario-mineral-brasileiro-2001>. Acesso em: 15 out. 2019.
- DNPM. **Sumário Mineral Brasileiro 2007**. Brasília: DNPM, 2007. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2007/sumario-mineral-brasileiro-2007>. Acesso em: 15 out. 2019.
- DNPM. **Sumário Mineral Brasileiro 2008**. Brasília: DNPM, 2008. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2008/sumario-mineral-brasileiro-2008>. Acesso em: 15 out. 2019.
- DNPM. **Sumário Mineral Brasileiro 2009**. Brasília: DNPM, 2009. (Sumário Mineral, v. 29). Disponível em: <http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2009/view>. Acesso em: 15 out. 2019.
- FONSECA, M. J. C.; HEILBRON, M.; CHRISPIM, S. Geologia estrutural da área de Cabo Frio e Armação de Búzios. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: SBG, 1984. p. 5393-5407.
- GILL, D.; SHILONI, Y. Abundance and distribution of uranium in Senonian phosphorites, Arad basin, southern

- Israel. **Journal of African Earth Sciences**, Oxford, v. 20, n. 1, p. 17-28, Jan.1995.
- GNOJEK, I; PRICHYSTAL, A. A new zinc mineralization detected by airborne gamma-ray spectrometry in northern Moravia, Czechoslovakia. **Geoexploration**, Amsterdam, v. 23, n. 4, p. 491-502, Dec. 1985.
- HASTINGS, David A. et al. (ed.). **The global land one-kilometer base elevation (globe)**: digital elevation model, version 1.0. Colorado: National Oceanic and Atmospheric Administration, National Geophysical Data Center, 1999. Disponível em: <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/topo/globe.html>. Acesso em: 310Jan. 2020.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; COIMBRA, A. M. The Ribeira Fold Belt. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 5, n. 4, p. 257-266, 1975.
- HEILBRON, M. **Evolução tectono-metamórfica da seção Bom Jardim de Minas (MG) - Barra do Pirai (RJ)**: setor central da faixa Ribeira. 1993. 268 f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- HEILBRON, M.; EIRADO, L. G.; ALMEIDA, J. **Mapa geológico e de recursos minerais do estado do Rio de Janeiro**. Belo Horizonte: CPRM, 2016. Escala 1:400.000.
- HEILBRON, M.; MACHADO, N. Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic-Eopaleozoic Ribeira orogen (SE Brazil). **Precambrian Research**, Amsterdam, v. 125, n. 1-2, p. 87-112, July 2003
- HEILBRON, M.; MOHRIAK, W.;VALERIANO, C. de M.; MILANI, E.; ALMEIDA, J. C. H.; TUPINAMBÁ, M. From collisional to extension: the roots of the Southeastern Continental Margin of Brasil. *In*: MOHRIAK, M.; TALWANI, M. (ed.). **Geology & Geophysics of Continental Margin**. [S.l.: s.n.], 2000. p. 1-32. AGU Geophysical Monograph.
- HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; CAMPOS NETO, M. C.; SILVA, L. C.; TROUW, R. A. J.; JANASI, V. (2004) A Província Mantiqueira. *In*: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B.de (ed.) **Geologia do Continente Sul-Americano**: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, 2004. p. 203-234.
- HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; CAMPOS NETO, M.; SILVA, L. C.; TROUW, R. A. J.; JANASI, V. C. Brasileiro Orogens in Southeast and South Brazil. **Journal of Virtual Explorer**, v. 17, 2004b. Paper 4.
- HEILBRON, M.; VALERIANO, C. de M.; TASSINARI, C. C. G.; ALMEIDA, J. C. H.; TUPINAMBÁ, M.; SIGA JR. O.; TROUW, R. A. J. Correlation of Neoproterozoic terranes between the Ribeira Belt, SE Brazil and its African counterpart: comparative tectonic evolution and open questions. *In*: PANKHURST, R. J.; TROUW, R. A. J.; BRITO-NEVES, B. B. de; WIT, M. J. de (ed.). **West Gondwana**: Pre-Cenozoic correlations across the South Atlantic Region. London: Journal Geological Society London, 2008. p. 211-232. (Special Publication, v. 294).
- HEILBRON, M.; VALERIANO, C. DE M.; VALLADARES, C. S.; MACHADO, N. A Orogênese Brasileira no seguimento central da Faixa Ribeira, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 25, n. 4, p. 245-266, dez. 1995.
- HEILBRON, M. SILVA, L.G.E, ALMEIDA, J.C.H, TUPINAMBÁ, M.C.M., LOBATO, M., RODRIGUES, S.W.O., RAGATKY, C.D.F., MONTEIRO, T., FREITAS., N.C., MIGUES, D., GIRÃO, R. **Proterozoic Ordovician geology and tectonic of Rio de Janeiro State, SE- Brazil: insights on the central Ribeira Orogen from the new 1:400.000 scale geologic map**. Braz. J. Geol., São Paulo, v. 50, n.2, 2020.
- ISLES, D. J.; RANKIN, L. R. **Geological interpretation of aeromagnetic data**: aeromagnetic prospecting - data processing. Australia: Australian Society of Exploration Geophysicists, 2013. 365 p.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 2nd. ed. Boca Raton: CRC Press, 1992. 365 p.
- KEAREY, Philip; BROOKS, Michael; HILL, Ian. **An Introduction to Geophysical Exploration**. London: Blackwell Science, 2002. 281 p.
- KOLJONEN, Krista, STENIUS, Per; BUCHERT, Johanna. **The surface chemistry of PGW pulp fibre fractions**. *In*: INTERNATIONAL MECHANICAL PULPING CONFERENCE, Stockholm, Sweden, Jun. Proceedings. Stockholm: Swedish Association of Pulp and Paper Engineers, 1997. p. 407-411.
- LICHT, O. A. B.; MELLO, C. S. B. de; SILVA, C. R. da (ed.). **Prospecção geoquímica**: depósitos minerais metálicos, não-metálicos, óleo e gás. Rio de Janeiro: SBGq; CPRM, 2007. 780 p. il.
- MACHADO, N.; VALLADARES, C.; HEILBRON, M.; VALERIANO, C. de M. U-Pb geochronology of central Ribeira belt (Brazil) and implications for the evolution of the Brazilian Orogeny. **Precambrian Research**, Amsterdam, v. 79, n. 3-4, p. 347-361, Sept. 1996.
- MACLEOD, I. N.; JONES, K.; DAI, T. F. 3-D analytic signal in the interpretation of total magnetic field data at low magnetic latitudes. **Exploration Geophysics**, New York, v. 24, n. 4, p. 679-688, Jan. 1993.
- MINTY, B. R. S. Fundamentals of airborne gamma-ray spectrometry. **AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics**, Australia, v. 17, n. 2, p. 39-50, Jan. 1997.
- MUSHAYANDEBVU, M. F.; VAN DRIEL, P.; REID, A. B.; FAIRHEAD, J. D. Magnetic source parameters of two-dimensional structures using extended Euler deconvolution. **Geophysics**, Tulsa, v. 66, n. 3, p. 814-823, May/June 2001.

- PIRES, A. C. B. Identificação geofísica de áreas de alteração hidrotermal, Crixás-Guarinos, Goiás. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 61-68, mar. 1995.
- PIRES, A. C. B.; HARTHILL, N. Statistical analysis of airborne gamma-ray data for geologic mapping purposes: Crixas-Itapaci area, Goiás, Brazil. **Geophysics**, Tulsa, v. 54, n. 10, p. 1326-1332, Oct. 1989.
- PORADA, H. The Damara-Ribeira orogen of the Pan-African-Brazilian cycle in Namibia (Southwest Africa) and Brazil as interpreted in terms of continental collision. **Tectonophysics**, Amsterdam, v. 57, n. 2-4, p. 237-265, Aug. 1979.
- REID, A. B.; ALLSOP, J. M.; GRANSER, H.; MILLETT, A. J.; SOMERTON, I. W. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. **Geophysics**, Tulsa, v. 55, n. 1, p. 80-91, Jan. 1990.
- SCHMITT, R. S. **Orogenia Búzios: um evento tectono-metamórfico Cambro-Ordoviciano caracterizado no Domínio Tectônico de Cabo Frio, Faixa Ribeira, Sudeste do Brasil**. 2001. 273 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.
- SCHMITT, R. S.; TROUW, R. A. J.; VAN SCHMUS, W. R.; PIMENTEL, M. M. Late amalgamation in the central part of Western Gondwana: new geochronological data and the characterization of a Cambrian collision orogeny in the Ribeira Belt (SE Brazil). **Precambrian Research**, Amsterdam, v. 133, n. 1-2, p. 29-61, Aug. 2004.
- SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; DERZE, G. E.; ASMUS, H. E. **Mapa geológico do Brasil e da Área Oceânica adjacente incluindo depósitos minerais**. Brasília: DNPM/MME, 1984.
- Porada, H. (1989) Pan-African rifting and orogenesis in southern to equatorial Africa and Eastern Brazil. **Precambrian Research**, Amsterdam, v. 44, n. 2, p. 103-106, Aug. 1989.
- SILVA, L. C. da; CUNHA, H. C. da S. (org.). **Geologia do estado do Rio de Janeiro**. Brasília: CPRM, 2001. 94 p. 1 mapa, color. Escala 1:500.000.
- SPECTOR, A.; GRANT, F. S. Statistical models for interpreting aeromagnetic data. **Geophysics**, Tulsa, v. 35, n. 2, p. 293-302, Apr. 1970.
- TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E.; KEYS, D. A. **Applied Geophysics**. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 770 p
- TORQUATO, J. R.; CORDANI, U. G. Brazil-Africa geological links. **Earth-Science Reviews**, Amsterdam, v. 17, n. 1-2, p. 155-176, Apr. 1981.
- TROUW, R. A. J.; HEILBRON, M.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F.; VALERIANO, C. de M.; ALMEIDA, J. C. H.; REIS, R. R. The central segment of the Ribeira Belt. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. de A. (ed. **Tectonic Evolution of South America**. Rio de Janeiro: 31st International Geological Congress, 2000. p. 287-310.
- TUPINAMBÁ, M.; HEILBRON, M.; DUARTE, B. P.; NOGUEIRA, J. R.; VALLADARES, C.; ALMEIDA, J.; SILVA, L. G. do E.; MEDEIROS, S. R. de; ALMEIDA, C. G. de; MIRANDA, A.; RAGATKY, C. D.; MENDES, J.; LUDKA, I. Geologia da Faixa Ribeira Setentrional: estado da arte e conexões com a Faixa Araçuaí. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 15, n. 1, p. 67-79, jul. 2007.
- VALERIANO, C. de M.; PORTO JUNIOR, R.; ALMEIDA, J.; SILVA, L. G. E.; DUARTE, B.; SCHMITT, R.; VALLADARES, C. S.; NOGUEIRA, J. R.; RAGATKY, C. D.; GERALDES, M.; VALENTE, S. de C.; MANSUR, K. L.; GONTIJO, A.; CORVAL, A.; DUTRA, T.; VALENÇA, J.; ESTEVES, A.; PALERMO, N.; PEREIRA, R. M.; GUIMARÃES, P. V.; SILVA, F. de L. da; AMARAL, C. P. do; TUPINAMBÁ, M.; HEILBRON, M. **Geologia e recursos minerais da folha Baía de Guanabara SF.23-Z-B-IV**: estado do Rio de Janeiro. Belo Horizonte: CPRM, 2012. 156 p. 1 mapa, color. Escala 1:100.000.

O SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM E OS OBJETIVOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - ODS

Em setembro de 2015 líderes mundiais reuniram-se na sede da ONU, em Nova York, e formularam um conjunto de objetivos e metas universais com intuito de garantir o desenvolvimento sustentável nas dimensões econômica, social e ambiental. Esta ação resultou na *Agenda 2030*, a qual contém um conjunto de *17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS*.

A Agenda 2030 é um plano de ação para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade. Busca fortalecer a paz universal, e considera que a erradicação da pobreza em todas as suas formas e dimensões é o maior desafio global, e um requisito indispensável para o desenvolvimento sustentável.

Os 17 ODS incluem uma ambiciosa lista 169 metas para todos os países e todas as partes interessadas, atuando em parceria colaborativa, a serem cumpridas até 2030.



O **Serviço Geológico do Brasil – CPRM** atua em diversas áreas intrínsecas às Geociências, que podem ser agrupadas em quatro grandes linhas de atuação:

- Geologia
- Recursos Minerais;
- Hidrologia; e
- Gestão Territorial.

Todas as áreas de atuação do SGB-CPRM, sejam nas áreas das Geociências ou nos serviços compartilhados, ou ainda em seus programas internos, devem ter conexão com os ODS, evidenciando o comprometimento de nossa instituição com a sustentabilidade, com a humanidade e com o futuro do planeta.

A tabela a seguir relaciona as áreas de atuação do SGB-CPRM com os ODS.

Áreas de atuação do Serviço Geológico do Brasil – CPRM e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS

ÁREA DE ATUAÇÃO GEOCIÊNCIAS

LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS



LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS



AVALIAÇÃO DOS RECURSOS MINERAIS DO BRASIL



LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS MARINHOS



LEVANTAMENTOS GEOQUÍMICOS



LEVANTAMENTOS BÁSICOS DE RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS



SISTEMAS DE ALERTA HIDROLÓGICO



AGROGEOLOGIA



LEVANTAMENTOS BÁSICOS DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS



RISCO GEOLÓGICO



GEODIVERSIDADE



PATRIMÔNIO GEOLÓGICO E GEOPARQUES



ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO



GEOLOGIA MÉDICA



RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO



ÁREA DE ATUAÇÃO SERVIÇOS COMPARTILHADOS

GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO



TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO



LABORATÓRIO DE ANÁLISE MINERAIS



MUSEU DE CIÊNCIAS DA TERRA



PALEONTOLOGIA



PARCERIAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS



REDE DE BIBLIOTECAS



REDE DE LITOTECAS



GOVERNANÇA



ÁREA DE ATUAÇÃO PROGRAMAS INTERNOS

SUSTENTABILIDADE



PRÓ-EQUIDADE



COMITÊ DE ÉTICA



PROGRAMA GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

Projeto Atlas Aerogeofísicos Estaduais

Em um país com dimensões continentais como o Brasil, levantamentos aerogeofísicos têm sido fundamentais para o incremento do conhecimento geológico, e para fomentar investimentos do setor mineral.

A grande importância dos levantamentos geofísicos consiste na sua capacidade de desvendar a terceira dimensão dos dados geológicos. Dessa forma, feições geológicas como corpos, estruturas e depósitos minerais podem ser inferidas em profundidade, através de interpretações e modelagens dos dados geofísicos.

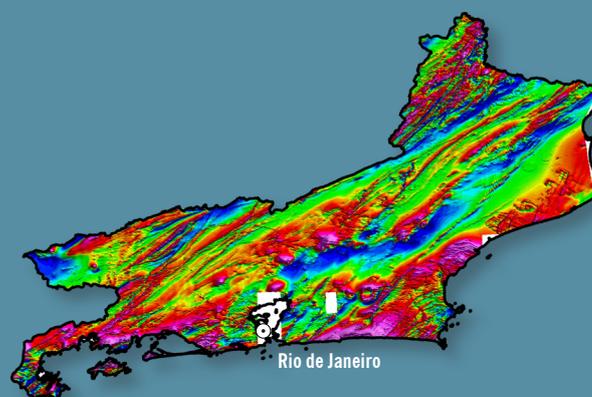
A aquisição de dados aerogeofísicos e sua ampla disponibilização representa uma das principais ações do Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Ao longo das duas últimas décadas, importantes investimentos foram feitos pelo governo federal, através do SGB-CPRM, na aquisição de dados aerogeofísicos, tendo sido recoberta uma área de cerca de 3,7 milhões de km², que corresponde a aproximadamente 43% do território nacional continental, e 92% das áreas de escudo cristalino. Em geral, nestes aerolevantamentos foram obtidos dados magnetométricos e gamaespectrométricos com espaçamento entre as linhas de voo de 500 m, e altura de voo de 100 m. Este grande esforço e investimento financeiro certamente tem contribuído para o aprimoramento do conhecimento geológico e a descoberta de depósitos minerais no Brasil.

Para incrementar a divulgação do conhecimento e a disponibilização dos dados, foi proposto o **Projeto Atlas Aerogeofísicos Estaduais**, onde dados aerogeofísicos são integrados de acordo com os limites das unidades federativas do Brasil. Esta compartimentação objetiva facilitar a gestão e emprego dos dados, de acordo com a preferência e prioridades dos setores público e privado, e segundo as características geológicas e potencialidades minerais locais.

Todos os produtos elaborados neste projeto estão disponíveis para download no banco de dados corporativo do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, o GeoSGB (<http://geosgb.cprm.gov.br>).

ATLAS AEROGEOFÍSICO

Estado do Rio de Janeiro



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

Sede Brasília

Setor Bancário Norte - SBN
Quadra 02, Asa Norte
BLoco H - Edifício Central Brasília
Brasília - DF - Brasil - CEP: 70040-904
Tel.: (61) 2108-8400

Escritório do Rio de Janeiro

Avenida Pasteur, 404 - Urca
Rio de Janeiro - RJ - Brasil - CEP: 22290-255
Tel.: (21) 2295-0032

Diretoria de Geologia e Recursos Minerais

Tels: (21) 2546-0212 • (61) 3223-1166

Departamento de Geologia

Tels: (91) 3182-1326 • (91) 99944-4906 • (21) 99584-3726

Departamento de Recursos Minerais

Tel.: (21) 2295-4992

Divisão de Sensoriamento Remoto e Geofísica

Tel.: (11) 3775-5123 • (11) 98106-8606

www.cprm.gov.br

Assessoria de Comunicação

Tels: (61) 2108-8400 • (21) 2295-4641
email: asscomdf@cprm.gov.br

Ouvidoria

Tel.: (21) 2295-4697
email: ouvidoria@cprm.gov.br

Serviço de Atendimento a Usuários – SEUS

Tel.: (21) 2295-5997
email: seus@cprm.gov.br