PROGRAMA GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS E INTEGRAÇÃO GEOLÓGICA REGIONAL

ATLAS AEROGEOFÍSICO

Estado de Goiás





MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado Adolfo Sachsida

Secretária de Geologia, Mineração e Transformação Mineral Lilia Mascarenhas Sant'agostino

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente Interino Cassiano de Souza Alves

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 Valter Rodrigues Santos Sobrinho

Chefe da Divisão de Geologia Básica Patrick Araújo dos Santos

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 Duringer Jacques

Chefe do Núcleo de Comunicação Heber Vieira de Oliveira

Chefe da Divisão de Editoração Geral Lucas Victor de Alcântara Estevão

Chefe da Divisão de Marketing e Divulgação José Wellington Alvares Ferraz

SUPERINTENDÊNCIA DE GOIÂNIA

Superintendente Sheila Soraya Knust

Gerente de Geologia e Recursos Minerais Marcelo Ferreira da Silva

Responsáveis Técnicos do Produto Felipe da Mota Alves Éderson Ribeiro da Silva Adolfo Barbosa da Silva

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIRETORIA DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS

I PROGRAMA GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL I

LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS E INTEGRAÇÃO GEOLÓGICA REGIONAL

ATLAS AEROGEOFÍSICO DO ESTADO DE GOIÁS

ORGANIZADORES

Felipe da Mota Alves Éderson Ribeiro da Silva Adolfo Barbosa da Silva



GOIÂNIA 2022 **REALIZAÇÃO** Superintendência de Goiânia

COORDENADOR DO PROJETO

ATLAS AEROGEOFÍSICO DOS ESTADOS

Luiz Gustavo Rodrigues Pinto

ELABORAÇÃO DOS TEXTOS, MAPAS E FIGURAS

Felipe da Mota Alves Éderson Ribeiro da Silva Marcelo Ferreira da Silva Adolfo Barbosa da Silva

COLABORADOR Antônio Augusto Soares Frasca

REVISÃO TÉCNICA

Alexandre Lisboa Lago Antônio Augusto Soares Frasca

APOIO TÉCNICO

PROJETO GRÁFICO/EDITORAÇÃO

Capa (DIEDIG) Agmar Alves Lopes

Miolo (DIEDIG)

Agmar Alves Lopes Diagramação (SUREG/GO) Kátia Siqueira Batista

REVISÃO TEXTUAL

Irinéa Barbosa da Silva Beatriz Sigueira (estagiária)

NORMALIZAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

Maria Gasparina de Lima

Serviço Geológico do Brasil – CPRM www.cprm.gov.br seus@cprm.gov.br

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

A474 Alves, Felipe da Mota Atlas aerogeofísico do estado de Goiás / Organizadores Felipe da Mota Alves, Éderson Ribeiro da Silva, Adolfo Barbosa da Silva. - Goiânia : CPRM, 2022. 63 p. : il. Levantamentos Geológicos e Integração Geológica Regional. ISBN 978-65-5664-311-3
1. Aerogeofísica - Atlas - Brasil - Goiás. I. Silva, Éderson Ribeiro da. II. Silva, Adolfo Barbosa da. III. Título. CDD 550.9817

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Maria Gasparina de Lima - CRB1 - 1243

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 uma fonte de dados imprescindível para o conhecimento e gestão do meio físico.

É com esta premissa que o Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM) tem a grata satisfação de disponibilizar à 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 notável importância dos levantamentos aerogeofísicos está 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 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 subsolo.

Ao longo das duas últimas décadas, importantes investimentos foram feitos pelo governo federal, através do Serviço Geológico do Brasil (SGB-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, a 92% do embasamento cristalino do Brasil. Esse enorme esforço foi realizado com a expectativa de contribuir para o aprimoramento do conhecimento geológico do país e da descoberta de jazidas minerais.

Para incrementar a divulgação do conhecimento e a disponibilização dos dados, foi proposto o **Projeto Atlas Aerogeofísicos dos Estados**, que integra dados aerogeofísicos de acordo com os limites das unidades federativas do Brasil. Essa compartimentação visa facilitar a gestão e o emprego dos dados de acordo com a preferência e as prioridade dos setores público e privado, as características geológicas e as potencialidades minerais locais.

A preparação do **Atlas Aerogeofísico de Goiás** necessitou de dez diferentes projetos aerogeofísicos ou parte deles, que foram unidos em uma única malha, conforme os limites do estado. A tarefa implicou na necessidade do reprocessamento e nivelamento dos dados brutos e aplicação de filtros para enfatizar assinaturas anômalas. Os dados magnetométricos e gamaespectrométricos revelam que as baixas concentrações de K, eTh e eU e as baixas intensidades magnéticas ocorrem, sobretudo, no domínio sedimentar; enquanto que, o domínio do embasamento apresenta concentrações de radioelementos e intensidade magnética mais elevadas. Extensos lineamentos geológicos e unidades de rochas ultramáficas são bem destacados nos mapas magnetométricos. As demais unidades geológicas presentes no mapa geológico do estado de Goiás são mais bem correlacionadas com diferentes assinaturas gamaespectrométricas.

Com mais este lançamento, o Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM) dá continuidade à política governamental de atualizar o conhecimento geológico do país, por meio 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 SGB-CPRM, o GeoSGB (http:// geosgb.cprm.gov.br) e no Repositório Institucional de Geociências (RIGeo) (http://rigeo.cprm.gov.br).

> Cassiano de Souza Alves Diretor-Presidente Interino

Márcio José Remédio Diretor de Geologia e Recursos Minerais

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	. 6
PRIMEIROS LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS	6
LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS DE ALTA DENSIDADE DE DADOS	6
INVESTIMENTOS EM LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS A PARTIR DE 2004	7
CESSÃO GRATUITA DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS AO PÚBLICO EM GERAL	7
CARACTERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA E GEOLÓGICA DO ESTADO DE GOIÁS	. 9
CONTEXTO GEOGRÁFICO	9
CONTEXTO GEOLÓGICO E DE RECURSOS MINERAIS	10
MATERIAIS E MÉTODOS	16
	16
FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO MÉTODO MAGNETOMÉTRICO	18
FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO MÉTODO RADIOMÉTRICO	19
PROCESSAMENTO DOS DADOS AFROGEOEÍSICOS	19
Plataforma de Processamento	19
Interpolação	19
Junção dos Diferentes Projetos	20
Aplicação de Transformações e Filtros nos Dados Aeromagnetométricos	20
MAPAS AEROMAGNETOMÉTRICOS	21
ANOMALIA MAGNETOMÉTRICAS	22
1ª DERIVADA VERTICAL DA ANOMALIA MAGNETOMÉTRICA	24
GRADIENTE TOTAL DA ANOMALIA MAGNETOMÉTRICA	26
PRINCIPAIS CORRELAÇÕES GEOLÓGICAS DOS DADOS	
AEROMAGNETOMÉTRICOS NO ESTADO DE GOIÁS	28
MAPAS AFROGAMAFSPECTROMÉTRICOS	30
POTÁSSIO	31
	33
	35
	37
ΡΟΤΆSSIO ΑΝÔΜΑΙ Ο	39
	41
PARÂMETRO F	43
PRINCIPAIS CORRELACÕES GEOLÓGICAS DOS DADOS	.0
AEROGAMAESPECTROMÉTRICOS NO ESTADO DE GOIÁS	45

ASSINATURAS AEROGEOFÍSICAS DOS PRINCIPAIS

DEPÓSITOS MINERAIS	47
AEROGEOFÍSICA DO DEPÓSITO DE FOSFATO DO NORTE DE CAMPOS BELOS,	
NORDESTE DE GOIÁS	47
Introdução	47
Investigação de Anomalias Aerogeofísicas de eU Associadas aos Fosforitos da Formação Sete Lagoas	49
CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA DE ESTRUTURAS ASSOCIADAS ÀS MINERALIZAÇÕES DE COBRE E OURO NAS REGIÕES DE BOM JARDIM DE GOIÁS E	
FAZENDA NOVA - GOIÁS - BRASIL	52
Mineralizações de Cobre e Ouro no Arco Magmático de Arenópolis	52
Área 1 - Cobre na Região de Bom Jardim de Goiás	53
Área 2 - Ouro na Região de Fazenda Nova	53
Discussões e Conclusões	55
REFERÊNCIAS	57

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) foi iniciada 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 DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL -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 dos 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 nas regiões de Nova Redenção/BA e Rio das Velhas/MG, além de um grande aerolevantamento gravimétrico 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 SGB--CPRM eram vendidos para empresas privadas ou cedidos às universidades e às 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 sua disponibilização, respectivamente. Os recursos arrecadados com a venda dos dados aerogeofísicos retornavam ao Tesouro Nacional, de modo que nenhum recurso voltava para o SGB-CPRM.

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	

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

Embora os valores cobrados pelo SGB-CPRM fossem muito abaixo dos custos de aquisição, eram considerados elevados por empresas juniors. 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 no 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 demonstrado 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 e dezembro de 2020

CARACTERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA E GEOLÓGICA DO ESTADO DE GOIÁS

CONTEXTO GEOGRÁFICO

O estado de Goiás está localizado na Região Centro-Oeste do Brasil (Figura 3) e possui uma área de 340.203,33 km², pertinente a 246 municípios e população total estimada em 7.113.540 pessoas (Fonte: https://cidades.ibge.gov.br/ brasil/go/panorama, acessado em janeiro de 2021).

O clima em Goiás é predominantemente tropical, que se caracteriza por verões chuvosos e invernos secos. Aproximadamente 95% da chuva que precipita todos os anos é registrada entre outubro e abril, enquanto o período de menor índice pluviométrico ocorre de maio a setembro. A precipitação pluviométrica média é de 1.500 a 1.800 mm, contudo, no período seco, as precipitações variam de 20 a 200 mm, enquanto no período chuvoso variam de 1.100 a 2.100 mm. As temperaturas médias anuais variam entre 23°C, na porção norte do estado e 20°C ao sul. Em meses de maior seca, como agosto e setembro, os termômetros costumam registrar temperaturas em torno dos 34°C. O período com temperaturas mais amenas é entre os meses de junho e julho, podendo atingir 12°C, especialmente nas regiões sudeste e sudoeste do estado (Fonte: https://www.goias.gov.br/conheca-goias/geografia. html acesso em janeiro de 2021).



Figura 3 - Localização geográfica do estado de Goiás. Dados topográficos do *GLOBE DEM* do projeto *Global Land Onekilometer Base Elevation (GLOBE)* (HASTINGS; DUNBAR, 1999).

A vegetação predominante no estado de Goiás é o Cerrado, caracterizado por árvores e arbustos de galhos tortuosos, cascas grossas e raízes profundas. Na região sul do estado são encontradas pequenas faixas de Mata Atlântica, principalmente nas margens dos rios e nas serras. Na divisa com o estado de Mato Grosso, a oeste, existe uma pequena área de floresta tropical.

O Cerrado cobre em torno de 70% do território goiano, e é considerado o segundo maior bioma brasileiro e da América do Sul, depois da Amazônia, concentrando cerca de 1/3 da biodiversidade nacional e 5% da flora e da fauna mundial. A flora do Cerrado é apontada como a mais rica savana do mundo e estima-se que entre 4.000 a 7.000 espécies compõem essa região (GOIÁS, 2018).

Do ponto de vista hidrográfico, Goiás caracteriza-se como um divisor de águas por corresponder a uma área de dispersão dos cursos de água que vão compor as grandes bacias hidrográficas brasileiras. Em seu território, nascem drenagens alimentadoras de três importantes regiões hidrográficas do país (Araguaia/Tocantins, São Francisco e Paraná), tendo como divisores os planaltos do Distrito Federal e Entorno, além dos altos topográficos que atravessam os municípios de Águas Lindas de Goiás, Pirenópolis, Itauçu, Americano do Brasil, Paraúna, Portelândia até as imediações do Parque Nacional das Emas.

A região de Caldas Novas/Rio Quente compreende os mananciais de água termal que formam o Rio Quente e a Lagoa de Pirapitinga. Trata-se do maior volume de água geotermal surgente no Brasil e, também, do maior e mais conhecido complexo de águas quentes do país. Contudo, existem outras importantes fontes termais nos municípios de: Lagoa Santa, Cachoeira Dourada, Minaçu, Formoso, Mara Rosa, Cavalcante, Colinas do Sul, Niquelândia, Jataí e Aragarças.

O relevo de Goiás apresenta, de modo geral, baixa declividade, o que favorece a ocupação e não influencia significativamente na distribuição das chuvas ou nas variações climáticas. Existem diversas unidades fisiográficas de relevo no estado goiano, onde ocorrem terrenos cristalinos sedimentares antigos, áreas de planaltos bastante trabalhadas pela erosão, bem como chapadas e relevos cuestiformes com características físicas marcantes. As maiores altitudes localizam-se a leste e a norte do estado de Goiás, na Chapada dos Veadeiros (1.784 metros), na Serra dos Cristais (1.250 metros) e na Serra dos Pireneus (1.395 metros). As altitudes mais baixas ocorrem especialmente no oeste do estado (NASCIMENTO, 1991).

Como resultante da evolução tectônica, de acordo com Nascimento (1991), são individualizados três grandes quadros morfoestruturais: maciços antigos, modelados por processos denudacionais pretéritos, aplainados e reafeiçoados no Cenozoico, e topograficamente configurados por planaltos, serras e depressões intermontanas; bacia de sedimentação caracterizada por planaltos escarpados, mesas e chapadões; depressões pediplanadas (do Araguaia e do Tocantins), caracterizadas por grandes extensões de relevos planos e áreas de dessecação incipiente.

Com base na similaridade de formas, posicionamento altimétrico, características genéticas e interação do relevo com a litologia e a estrutura, Nascimento (1991) identificou cinco grandes unidades geomorfológicas no estado de Goiás (Figura 4), assim designadas:

- Planalto Central Goiano, localizado na porção centro-leste do estado, trata-se de um bloco de maciço antigo associado às áreas de dobramentos e rejuvenescimentos Brasilianos;
- Planalto Setentrional da Bacia do Paraná, situado na parte sudoeste do estado, que comporta-se como uma unidade geotectônica autônoma de idade paleomesozoica;
- iii. Planalto do Divisor São Francisco/Tocantins, localizado no extremo nordeste do estado, caracterizado pela escarpa do Chapadão Central no estado da Bahia;
- iv. Depressão do Tocantins, situada no extremo norte do estado, representada pelos relevos drenados pelos altos cursos dos rios que compõem a bacia hidrográfica do Rio Tocantins; e
- Depressão do Araguaia, que se estende a oeste do estado e desenvolve-se sobre uma grande variedade de rochas pré-cambrianas que constituem o Complexo Basal Goiano.

CONTEXTO GEOLÓGICO E DE RECURSOS MINERAIS

O estado de Goiás está localizado no interior da Província Tocantins, que é definida por Almeida et al. (1977) como uma entidade geotectônica neoproterozoica, formada durante a convergência dos crátons São Francisco e Amazônico, com a participação dos blocos Parnaíba e Paranapanema. Essa província é constituída de um sistema de orógenos, edificados durante a Orogênese Brasiliana/Pan-Africana na montagem do Gondwana Ocidental (ALMEIDA et al., 1981; USSAMI; MOLINA, 1999; CASTRO et al., 2004). Na área do estado de Goiás, a Província Tocantins é composta pela Faixa Brasília, desenvolvida e acoplada ao longo da margem do cráton São Francisco, assim como as faixas Araguaia e Paraguai, formada ao longo da margem passiva do paleocontinente amazônico. Esses cinturões são representados por espessas seguências de rochas supracrustais dobradas e metamorfizadas, arcos acrescionários e colisionais, fragmentos alóctones arqueanos a mesoproterozoicos tipicamente granitognáissico (TTG) e estreitas sequências tipo greenstone belt, e por terrenos antigos, deformados principalmente no Ciclo Brasiliano.



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

Sobre este arcabouço, desenvolveram-se as bacias sedimentares neoproterozoicas de margem passiva (Grupo Bambuí) e fanerozoicas do Paraná, Sanfranciscana e Bananal, que cobrem o estado de Goiás na sua porção sul, nordeste e noroeste, respectivamente (LACERDA FILHO *et al.*, 2000). Durante o Cretáceo, na porção sul do estado, ocorreu um extenso magmatismo básico da Bacia do Paraná, representado pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral e máfico-ultramáfico, composto por gabros, peridotitos, basaltos alcalinos, carbonatitos, lamprófiros, kamafugitos e corpos kimberlíticos, pertencentes à Província Alcalina de Goiás (PAGO).

A estruturação da Província Tocantins é caracterizada, segundo Fuck *et al.* (1993), Fuck (1994) e Pimentel *et al.* (2004), pela seguinte compartimentação, de leste para oeste: Faixa Brasília (zonas Cratônica, Externa e Interna, Maciço de Goiás e Arco Magmático de Goiás), situada na margem oeste do Cráton São Francisco, e faixas Paraguai e Araguaia, margeando o Cráton Amazônico a leste.

1. Faixa Brasília

Constitui vários orógenos de longa duração e de complexa história geodinâmica, que inclui arcos insulares, margens continentais ativas e colisionais com melange ofiolítica, terrenos de alto grau e faixas metassedimentares

dobradas e metamorfizadas, empurradas em nappes com vergência para o Cráton São Francisco, desenvolvidas durante a Orogênese Brasiliana no processo de colagem do Gondwana Oeste (PIMENTEL et al., 2011; PIMENTEL et al., 2016). Na evolução tectônica da Faixa Brasília, são distinguidos cinco domínios, evidenciados pelo aumento progressivo do metamorfismo de leste para oeste: Zona Cratônica (ZC), Zona Externa (ZE), Zona Interna (ZI), Macico de Goiás (MG) e Arco Magmático de Goiás (AMG). A ZC consiste em restritas exposições do embasamento (São Domingos, a leste; Formiga, a sul) e extensas coberturas proterozoicas, representadas pelos grupos Paranoá e Bambuí, e a Formação Jequitaí. A ZE é composta por unidades metassedimentares (grupos Paranoá e Canastra, e as formações Vazante e Ibiá), e porções do seu embasamento estateriano encontradas na porção nordeste (Grupo Araí). A ZI compreende unidades alóctones metamorfizadas e deformadas compostas por quartzitos e micaxistos e rochas associadas, atribuídas aos grupos Araxá e Canastra, além dos terrenos de alto grau pertinentes aos complexos Anápolis-Itauçu (orto e paragranulitos) e Uruaçu, incluindo áreas de seu embasamento expostas entre as faixas de xistos. Ademais, rochas ofiolíticas (anfibolitos, serpentinitos e talcoxistos) representantes de crosta oceânica entremeadas no Grupo Araxá também estão nesse contexto (STRIEDER; NILSON, 1992). O MG pode ser subdividido em Bloco Argueano de Goiás (BAG), Embasamento Siálico Paleoprotrozoico e Bacia Continental-Transicional Oceânica Mesoproterozoica. O BAG trata-se de uma microplaca alóctone arqueana acrescionada à margem oeste da Faixa Brasília, localizada na porção central de Goiás, constituído pelos terrenos granito-gnáissicos (complexos Uvá, Caiçara, Anta, Caiamar, Moquém e Hidrolina) separados entre si por greenstone belts arqueanos (Crixás, Pilar de Goiás, Guarinos, Faina e Serra de Santa Rita). Adicionalmente na porção norte da faixa, bordejando o Bloco Arqueano, são reconhecidos pequenos inliers que configuram o Embasamento Siálico Paleoproterozoico (orosiriano), como a Sequência Campinorte (DELLA GIUSTINA, 2007; COR-DEIRO et al., 2014), a Sequência Metassedimentar Silvânia e o Granito Jurubatuba (FISCHEL et al., 2001), bem como as sequências metassedimentares representadas pelo Grupo Serra Dourada e a Sequência Mossâmedes. Os complexos máficos de idade provável mesoproterozoica (Juscelândia, Indaianópolis e Palmeirópolis) fazem parte desse arcabouço geotectônico, dentro de um contexto de bacia *rifte* continental – transicional oceânica (FRASCA; RIBEIRO, 2019), compostos por magmatismo bimodal. Dados recentes indicam que as rochas paleoproterozoicas representariam fragmentos do embasamento, embutidas tectonicamente nas sequências supracrustais da Faixa Brasília, enquanto o BAG consiste de um terreno alóctone que foi "ancorado" à margem do orógeno no final do Neoproterozoico, corroborado por intrusões graníticas em 625 Ma (PIMENTEL *et al.*, 2003).

Arco Magmático de Goiás

O Arco Magmático de Goiás está localizado dentro da Faixa Brasília, formado por um cinturão de direção noroeste/ nordeste com mais de 1.000 km de extensão, composto por ortognaisses juvenis e crustais neoproterozoicos associados às sequências vulcanossedimentares expostas a oeste, sul e norte de Goiás e sul do Tocantins. Duas áreas descontínuas de crosta juvenil neoproterozoica contemplam o Arco de Goiás: O Arco Magmático de Mara Rosa, ao norte, e o Arco Magmático de Arenópolis-Sanclerlândia, ao sul, ambos compostos por ortognaisses dioríticos a graníticos evidenciados entre estreitas faixas vulcanossedimentares anastomosadas (PIMENTEL *et al.*, 1991, 1997).

O conjunto mais antigo da porção norte compreende a Sequência Metavulcanossedimentar Mara Rosa (ca. 862 Ma), composta principalmente por metabasaltos calcioalcalinos e toleíticos de baixo potássio. As rochas metaplutônicas são de composição tonalíticas calcioalcalinas. Esse primeiro pulso de magmatismo é interpretado como gerado em ambiente de arco de ilha (VIANA *et al.*, 1995; PIMENTEL *et al.*, 1997; OLIVEIRA *et al.*, 2007).

O último evento deformacional, que afetou as rochas de Mara Rosa, é representado pelas intrusões graníticas pós-tectônicas 600 Ma (e.g. os granitos Faina, Angelim, Estrela e Amador), bem como corpos gabro-dioríticos (e.g. Diorito Chapada) com idade U-Pb em zircões de 635 Ma (OLIVEIRA *et al.*, 2016). Os corpos graníticos incluem biotita granitos e leucogranitos a duas micas.

O conjunto mais jovem consiste no Complexo Metavulcanossedimentar de Santa Terezinha de Goiás, interpretado como um arco continental de caráter bimodal, com idade 670-630 Ma (JUNGES *et al.*, 2002), e um compartimento acrescionário/colisional mais recente com idades U-Pb em zircão de 590 a 540 Ma, que intrudem e reciclam as unidades mais antigas, bem como rochas metaplutônicas associadas (FRASCA, 2016).

O segmento sul do AMG, conhecido como Arco de Arenópolis, está exposto entre as cidades de Bom Jardim de Goiás e Edéia. Compreende seis sequências metavulcanossedimentares distintas, destacadas entre si por rochas metaplutônicas, assim designadas de leste para oeste: Anicuns-Itaberaí (830 Ma), Adelândia (820 Ma), Bacilândia (590 Ma), Jaupaci (747 Ma), Iporá-Amorinópolis (630 Ma) e Arenópolis-Piranhas (749 Ma). Ao final do Orógeno Brasília, ocorrem diversas intrusões bimodais, com variações entre 630 a 540 Ma. No Arco de Arenópolis, as intrusões são principalmente metaluminosas, formadas por granitos calcioalcalinos de alto-K a alcalinos do tipo Serra Negra e Iporá, associados com pequenos corpos gabro-dioríticos.

Na porção oriental do AMG são reconhecidos três complexos neoproterozoicos posicionados de norte para sul no estado de Goiás, assim designados: Cana Brava, Niquelândia e Barro Alto. Estão associados à evolução do arco insular, onde apenas a porção ultramáfica neoproterozoica é interpretada como representante de bacias tipo back arc do AMG (FRASCA; RIBEIRO, 2019). Esse conjunto de unidades litológicas é formado por metagabros, metagabronoritos, metaperidotitos e metapiroxenitos, e são embutidos tectonicamente nos complexos Palmeirópolis, Indaianópolis e Juscelândia, respectivamente. Dados U-Pb em cristais de zircão extraídos de corpo anfibolítico localizado a oeste do Maciço Cana Brava forneceram idade de 859 Ma, o que indica a existência de corpos menores relacionados ao Magmatismo Cana Brava (FRASCA; RIBEIRO, 2019). De maneira geral, essa unidade exibe baixo conteúdo nos três radioelementos, o que evidencia sua assinatura na imagem de composição ternária RGB (K, eTh, eU).

2. Faixa Paraguai-Araguaia

As faixas Paraguai e Araguaia apresentam sequências plataformais semelhantes, conectadas entre si e margeando o cráton Amazônico, compostas por uma extensa sucessão de rochas metassedimentares e metavulcânicas, com predominância de rochas metapelíticas e metapsamíticas, com menores contribuições de rochas carbonáticas (ALVARENGA *et al.*, 2000). Possivelmente, formam um único cinturão dobrado brasiliano (ALMEIDA, 1974).

A Faixa Paraguai (FP) é uma importante unidade geotectônica Brasília-Pan-Africana, limitada pelo cráton Amazônico e o Bloco Rio Apa, a oeste, ao longo da zona de sutura Tocantins-Araguaia (ALMEIDA, 1974; GORAYEB, 1989), e pelo Arco Magmático de Goiás na Faixa Brasília, a leste. Estende-se por aproximadamente 1.200 km, desde o Paraguai, passando pela Bolívia e a Serra da Bodoquena, no Mato Grosso do Sul, até Corumbá e, posteriormente, até Cuiabá, onde inflete para leste até o Rio das Mortes em Mato Grosso, avançando até a fronteira oeste com Goiás.

A FP é representada por uma espessa sequência de rochas metassedimentares glaciomarinhas, turbiditos, carbonatos e rochas siliciclásticas depositadas em um ambiente de margem passiva, além de rochas vulcânicas bimodais piroclásticas e efusivas pertencentes à Sequência Metavulcanossedimentar Nova Xavantina expostas na porção sudeste de Mato Grosso e ocidental de Goiás (PINHO, 1990; MARTINELLI, 1998; SILVA, 2007). Deformada durante o Brasiliano, a FP é um cinturão dobrado que consiste em rochas metassedimentares dobradas e metamorfoseadas que progridem para coberturas sedimentares parcialmente contemporâneas não metamórficas, ligeiramente dobradas e fraturadas em direção ao cráton Amazônico (ALVARENGA; TROMPETTE, 1993).

O Cinturão Orogênico Araguaia abrange a região de São Miguel do Araguaia, no noroeste de Goiás, até o extremo norte do estado do Tocantins, na região de Xambioá. A principal unidade litoestratigráfica do Orógeno Araguaia é o Grupo Baixo Araguaia, composto, da base para o topo, das formações Morro do Campo, Xambioá, Canto da Vazante, Pequizeiro e Couto Magalhães (HASUI; ABREU; SILVA, 1977; ABREU, 1979; COSTA, 1980; GORAYEB, 1981; SOUZA; MORETON, 1995; RIBEIRO; ALVES, 2017). As rochas das formações Morro do Campo, Xambioá e Canto da Vazante restringem-se à zona interna do cinturão e exibem metamorfismo de grau xisto-verde a anfibolito, enquanto as rochas das formações Pequizeiro e Couto Magalhães limitam-se à zona externa e exibem metamorfismo de mais baixo grau, de anquimetamórfico a xisto-verde baixo. Este gradiente metamórfico acompanha a vergência tectônica do orógeno em direção ao Cráton Amazônico. À exceção dos quartzitos da Formação Morro do Campo, as demais formações são constituídas por rochas pelíticas metamorfizadas em diferentes graus metamórficos (GORAYEB, 1981). Abreu et al. (1994) admitem contribuição vulcânica na Formação Pequizeiro. Tal semelhança observa-se na assinatura geofísica dessas rochas nas imagens gamaespectrométricas, com alto valores de potássio (K) na imagem da composição ternária RGB (K, eTh, eU), com destaque aos tons avermelhados para as rochas das formações Xambioá e Canto da Vazante.

O estado de Goiás apresenta um expressivo potencial mineral ocupando o quarto lugar na produção brasileira. As áreas do estado foram organizadas de acordo com o seu contexto geotectônico e vocação (Figura 5).

Os terrenos de granito greenstone do Bloco Arqueano de Goiás possuem como principal potencial metalogenético o ouro. Essas mineralizações auríferas estão em parte relacionadas às zonas de cisalhamento, com os principais depósitos localizados nos greenstones de Crixás, além dos depósitos relacionados a Guarinos, Pilar, Serra de Santa Rita Faina. As sequências paleoproterozoicas de São Domingos também apresentam jazimentos auríferos tectonicamente controlados.

A região nordeste do estado de Goiás engloba fragmentos do embasamento paleoproteozoico 2.4 a 2.1 Ga, representados por terrenos granitos e gnaisses do Complexo Almas-Cavalcante e associações metassedimentares da Formação Ticunzal e da Suíte Aurumina, onde ocorrem vários depósitos de ouro. Há potencial mineral para grafita na região da Formação Ticunzal.

Nas unidades relacionadas ao *rift* intracontinental estateriano, encontram-se depósitos de manganês e ouro nas rochas vulcânicas e em veios de quartzo encaixados nas rochas metassedimentares do Grupo Araí. Esse ambiente também abriga depósitos de ouro, zinco e chumbo associados ao Grupo Serra da Mesa. Na porção norte do estado de Goiás, fronteira com o estado do Tocantins, ocorre a Província Estanífera de Goiás, subdividida em Subprovíncia Estanífera do Rio Paranã e Subprovíncia Estanífera do Rio Tocantins, composta por granitos anorogênicos paleo a mesoproterozoicos (MARINI; BOTELHO, 1986). A Faixa Brasília exibe uma grande variedade litológica, contribuindo com grande diversidade de bens minerais. A porção oriental do estado de Goiás abrange diversos terrenos geológicos de extrema complexidade para o entendimento do ambiente geotectônico, no contexto da zona interna da Faixa Brasília, com diversas mineralizações associadas de natureza metálica e não metálica, com destaque para mineralizações de ouro, níquel, cobre, cobalto e EGP, além de manganesíferas, carbonáticas, fosfáticas e uraníferas, associadas às sequências metavulcanossedimentares e metassedimentares existentes na região.

Na região nordeste da Faixa Brasília, associadas às rochas do Complexo Granito-Gnáissico, são encontradas mineralizações auríferas condicionadas aos veios de quartzo, relacionadas às zonas de cisalhamento, nas regiões de Cavalcante, Monte Alegre de Goiás, Aurilândia e Córrego do Ouro. A zona interna da Faixa Brasília abriga depósitos de ouro associados à Sequência Rio do Peixe. Observa-se quartzito ornamental nas imediações da cidade de Pirenópolis; cromo nos municípios de Hidrolândia e Cromínia; estanho e diamante na cidade de Ipameri e águas termais na região de Caldas Novas.

No ambiente de margem passiva, desenvolvido na borda oeste do cráton São Francisco, são encontradas (leste do estado de Goiás) sucessões metassedimentares dispostas norte-sul, formadas pelos grupos Paranoá e Canastra e parte do Grupo Araxá. Nesse domínio, são encontrados remanescentes de seguências metavulcanossedimentares neoproterozoicas, como as sequências Rio Veríssimo e Maratá, onde são catalogadas ocorrências auríferas. Relacionadas às rochas do Grupo Paranoá, também, são encontradas importantes mineralizações de ouro em veios de quartzo e concentrações de manganês disseminadas em eixos de dobras anticlinais e sinclinais, assim como em zonas de falha. Nas proximidades de São João da Aliança-Alto Paraíso, identifica-se dezenas de jazimentos minerais de manganês laterítico associado ao nível pelítico. O Grupo Paranoá abriga significativos depósitos de calcário, que podem ser melhor caracterizados e individualizados a partir dos produtos aerogeofísicos levantados.

As rochas dos grupos Araxá e Canastra possuem importantes concentrações de depósitos de ouro associados às sequências carbonosas sulfetadas, que exibem *trend* de direção NW-SE, relacionado à Formação Paracatu (Grupo Canastra), que se estende desde Minas Gerais, da cidade homônima passando por Luziânia chegando até Pirenópolis. Na região de Cristalina, identifica-se atividade garimpeira de quartzo para utilização no artesanato mineral. No extremo leste-nordeste do estado, ocorrem as rochas carbonáticas do Grupo Bambuí, onde são encontrados importantes depósitos de fosfato e calcários nas formações Lagoa do Jacaré e Sete Lagoas, além de ocorrências de jazimentos de zinco e chumbo. No Arco Magmático de Goiás, são encontradas importantes mineralizações, com destaque para os depósitos de cobre-ouro-molibdênio-zinco-chumbo-prata-bário-bismuto que ocorrem na Sequência Metavulcanossedimentar de Mara Rosa, em diversos depósitos neoproterozoicos relacionados aos arcos insulares.

Com idade toniana, no norte do estado de Goiás e na fronteira com Tocantins, encontram-se as acumulações de amianto relacionadas às rochas ultramáficas do Complexo Cana Brava. Além de reconhecidos depósitos de cobre, níquel, cobalto e alumínio associados ao Complexo máfico--ultramáfico de Niguelândia e Barro Alto, na porção centro norte do estado. No sudeste da cidade de Niquelândia, são verificadas zonas com indícios geoquímicos de cobre, chumbo e zinco. Ademais, em Jaupaci e Bacilândia mais a sudeste do estado, são encontrados importantes depósitos de ouro relacionados a processos hidrotermais em zonas de cisalhamento e intrusões graníticas (intrusion related). Mineralizações de cobre, chumbo e zinco são encontradas na sequência metavulcanossedimentar de Bom Jardim. Cobre, níquel e cobalto ocorrem nos corpos máfico-ultramáficos de Americano do Brasil e Mangabal I e II. Mineralizações de esmeralda ocorrem nas proximidades de Campos Verdes, Santa Terezinha de Goiás e Anicuns, associados a corpos de talco, xistos e biotititos das seguências metavulcanossedimentares de Mara Rosa e Anicuns Itaberaí.

Na Bacia do Paraná, ocorrem mineralizações de urânio na porção basal da Formação Ponta Grossa, restritas à camada de arenito feldspático. Jazidas de calcário ocorrem nas lentes carbonáticas da Formação Irati. Presença de rochas ornamentais nas formações Aquidauana e Piranhas, a oeste do estado, e águas termais nas regiões de Itajá e Cachoeira Dourada. Destaca-se, ainda, o grande potencial para remineralizadores de solo relacionados ao derrame basáltico da Formação Serra Geral. Ao longo do limite norte da Bacia do Paraná, as proeminentes intrusões alcalinas cretáceas apresentam potencial metalogenético para níquel laterítico, fosfato, nióbio, titânio, vermiculita e elementos terras-raras (ETR) relacionados aos corpos da Suíte Iporá (Morro do Engenho, Santa Fé, Montes Claros, Água Branca, Rio dos Bois, Morro dos Macacos e Morro Preto), além dos corpos de Catalão e Ouvidor.

No domínio das formações superficiais, verifica-se a potencialidade para ouro localizado nas aluviões dos rios Vermelho e Faina proveniente dos processos erosivos das rochas do greenstone belt de Goiás. Nas aluviões do Rio Traíras, o ouro, possivelmente, tem origem a partir da alteração das rochas da Sequência Metavulcanossedimentar Indaianópolis. Além do ouro, nesses sedimentos verifica-se a presença de diamante associado, geralmente, a cascalhos aluvionares, localizados principalmente na região sudoeste do estado, que engloba as aluviões dos rios Araguaia, Claro e Caiapó, onde concentra-se a maior quantidade de garimpos e ocorrências de minerais secundários.



Figura 5 - Geologia simplificada do estado de Goiás, com localização das principais jazidas/depósitos minerais.

MATERIAIS E MÉTODOS

DADOS AEROGEOFÍSICOS

Os principais e mais recentes dados aerofísicos, que compõem uma cobertura relevante no estado de Goiás, foram levantados em dezessete projetos (Figura 6). Os projetos foram contratados pelo SGB-CPRM e por diversas empresas, em formato de parceria ou individualmente. Abaixo a relação dos aerolevantamentos que interceptam os limites do estado e fornecem a principal cobertura para a região:

1) Extremo Oeste da Bahia (COMPANHIA BAIANA DE PESQUISA MINERAL, 2014); 2) Projeto Aerogeofísico Rio Formoso (CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2014); 3) Projeto Aerogeofísico Sudeste do Mato Grosso (CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2012); 4) Área 19 - Minas Gerais – Formoso – Buritis - Lagoa Grande (COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECO-NÔMICO DE MINAS GERAIS, 2010); 5) Paleo-Neoproterozoico do Nordeste de Goiás (CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2006); 6) Oeste do Arco Magmático de Mara Rosa (CPRM - SERVIÇO GEOLÓ-GICO DO BRASIL, 2005); 7) Faixa Brasília Sul (CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2005); 8) Projeto Aerogeofísico Tocantins (CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2006); 9) Arco Magmático de Mara Rosa (CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2004); 10) Arco Magmático de Arenópolis – Sequência Juscelândia



Figura 6 - Localização dos levantamentos aerogeofísicos realizados no estado de Goiás entre 1971 e 2013. Destaque (bordas vermelhas) para os aerolevantamentos utilizados no Atlas, que possuem linhas de voo N-S espaçadas de 500 m e altura de voo igual a 100 m.

(CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2004); 11 e 12) Nordeste da Bacia do Paraná (Bloco Oeste) e Serra das Araras (LASA, 1992); 13) Cabeceira do Rio Aporé (Paulipetro - Consórcio CESP/IPT, 1981); 14) Projeto Aerogeofísico Brasil - Canadá (DNPM, 1977); 15) Projeto Aerogeofísico Iporá (COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM, 1974); 16) Projeto Aerogeofísico Serra da Mesa (JAYME FILHO *et al.*, 1975); 17) Alto Garças – (OHOFUGI, 1971).

Para composição dos mapas apresentados neste Atlas, foram utilizados apenas os dez aerolevantamentos de alta resolução mais recentes, adquiridos após os anos 2000. Esses projetos executaram 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 (Nal) (Fotografia 2) realizou a análise individual e precisa dos fotópicos de potássio, do equivalente tório (eTh) e do equivalente urânio (eU). As medidas foram efetuadas a cada 1 s, representando medições a intervalos médios de amostragem de aproximadamente 77 m. Levantamentos anteriores aos anos 2000 possuem características de aquisição e parâmetros distintos dos levantamentos mais recentes. Alguns deles possuem apenas dados de magnetometria com espacamentos entre linhas de voo de até 3.000 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 os portadores de ferro, são bem evidentes a importância e a relação direta com jazidas. 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.

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, apontando para o sul e formando 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 da linha 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 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, significando que a magnetização induzida (B) por um campo externo (H) apresenta direção oposta ao 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 = μ 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 os peridotitos são os que têm maiores susceptibilidades (TELFORD *et al.*, 1990).



Figura 7 - Representação esquemática do campo magnético da Terra, que pode ser comparado com um grande imã cuja direção forma um ângulo agudo com o eixo de rotação.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO MÉTODO RADIOMÉTRICO

O método radiométrico é baseado na detecção da emissão natural de raios gama produzidos pelo decaimento radioativo de isótopos. Alguns isótopos são instáveis e tornam-se estáveis pela emissão de radiação energética ionizada, 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, deve-se à grande demanda de minerais radioativos provocada 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 (²³⁸U), tório (²³²Th) e potássio (⁴⁰K). Eles são os únicos com radioisótopos que produzem raios gama com energia suficiente para serem medidos em levantamentos aéreos (MINTY, 1997). O fotópico mais energético da série de decaimento do Th é emitido pelo isótopo ²⁰⁸Tl, enquanto o U é detectado pelo fotópico emitido pelo isótopo ²¹⁴Bi (MINTY *et al.*, 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 formato adequado para os trabalhos de interpretação e integração geológica. De acordo com Isles e 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, pois precisam ser baixos e sua remoção não deve afetar os objetivos dos trabalhos de interpretação e correlação geológica. 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

Os projetos aerogeofísicos contratados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) 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).

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 exigência 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 intervalo a partir dos valores dessa função nas fronteiras desse intervalo. Esse procedimento é 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 de Goiás, o levantamento completo com dados aerogeofísicos necessitou a execução de dez diferentes projetos (Figura 6). Portanto, uma das tarefas mais importantes foi juntar os dados magnetométricos e gamaespectrométricos de cada projeto em malhas individuais para todo o estado, o que implicou, algumas vezes a necessidade do reprocessamento e do nivelamento dos dados brutos. Para isso, foi empregada a ferramenta *GridKnit*, utilizando

técnicas de fusão de malhas, reduzindo o efeito de artefato que ocorre, geralmente, nas interfaces entre dados de diferentes projetos. Essa empreitada é mais complicada quando aplicada nos dados gamaespectrométicos, por causa das diferenças nos sensores utilizados em cada levantamento. O principal problema de junção de dados ocorreu com o canal de equivalente urânio.

Aplicação de 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 de programas que aplicam filtragens bidimensionais em dados interpolados de campo potencial (magnéticos e gravimétricos) no domínio do número de onda. As técnicas utilizadas foram adaptadas dos trabalhos de Bhattacharyya (1966) e Spector e Grant (1970). Os filtros são aplicados aos dados após 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

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

Uma 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 magnéticos é fundamental.

Atualmente, em todo o mundo, sobretudo nos países com dimensão continental, os governos têm empreendido um grande esforço de levantamento de dados magnetométricos com vistas ao reconhecimento geológico de seus territórios. O Brasil foi um desses países que nas últimas décadas iniciou uma grande campanha de levantamentos aerogeofísicos, como apresentado na introdução deste Atlas, empregando-os no mapeamento geológico.

No início das pesquisas para localização de jazidas de petróleo, 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.

ANOMALIA MAGNETOMÉTRICAS

PARA A INTERPRETAÇÃO 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. Esse padrão é característico de levantamentos próximos do equador magnético. Neste caso, a relação frequência-amplitude das anomalias magnéticas permite interpretá-las qualitativamente em termos de dimensão e profundidade. Nos trabalhos de mapeamento e prospecção, devem ser destacadas as anomalias magnéticas cujas relações frequência-amplitude indiquem profundidades rasas. Nas latitudes magnéticas atuais do estado de Goiás, 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 e Rankin (2013), embora a anomalia magnetométrica sem aplicação de transformações ou filtros não seja a forma de dados mais usada na interpretação, deve sempre ser considerada como o passo inicial 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 lineamentos 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 vertical 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 ótima alternativa de redução ao polo para o problema de localização de fontes magnéticas em baixas latitudes. Por causa do emprego de derivadas, esse 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 do Gradiente Total 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, z é a direção vertical.



Gradiente Total da Anomalia Magnetométrica

PRINCIPAIS CORRELAÇÕES GEOLÓGICAS DOS DADOS AEROMAGNETOMÉTRICOS NO ESTADO DE GOIÁS

Os mapas aeromagnetométricos de Goiás evidenciam diversas estruturas magnéticas relevantes. Em uma análise preliminar, chamam atenção os grandes lineamentos que cortam o estado. Nesse contexto, a Província Estrutural Tocantins é uma entidade geotectônica extremamente importante no entendimento das respostas observadas, já que abriga feições magnéticas associadas à Faixa de Dobramentos Brasília (FDB) e à Faixa Araguaia (FA). Dividindo-as, existe uma megaestrutura de cisalhamento, de expressiva correspondência magnética, conhecida como Lineamento Transbrasiliano (LTB), (SCHOBBENHAUS, 1975). O LTB forma uma série de anomalias magnéticas de baixa amplitude e alta frequência, de formato curvilíneo e direção NE-SW, observadas principalmente no noroeste do estado. Com menor dimensão, mas de extrema relevância, encontra-se no centro-sul do estado o Lineamento Moiporá-Novo Brasil, com direção aproximada N-S, que coloca em contato terrenos neoproterozoicos do Arco Magmático de Arenópolis (AMA) com o terreno arqueano do Maciço de Goiás (MG).

Além dos grandes lineamentos, outras estruturas também destacam-se nos mapas magnéticos estaduais. De modo geral, as respostas magnéticas de baixa frequência são observadas principalmente na borda oeste do Cráton do São Francisco (CSF) e na Zona Externa (ZE) da FDB. Já os sinais de frequências e amplitudes mais altas caracterizam a região oeste, sendo correlacionados principalmente à Província Alcalina de Goiás (PAGO) e ao Arco Magmático de Goiás (AMG). Analisando o mapa do Gradiente Total (GT), a média das amplitudes mensuradas no estado é de 5,62 x 10³ nT/grau. O valor da amplitude mínima (1,41 nT/ grau) pode ser correlacionado aos sedimentos dos grupos Bambuí e Canastra na porção oriental do estado, enquanto a máxima (4,14 x 10⁶ nT/grau) está associada à Suíte Alcalina Iporá (Corpo Intrusivo Montes Claros), situada no centro-oeste do estado.

Os terrenos granito-greenstone e as unidades correlacionadas ao rifteamento intracontinental são as unidades mais antigas (idades arqueanas e paleoproterozoicas) do estado. Eles compreendem à porção do Maciço de Goiás e exibem um ambiente magneticamente diverso. O complexo granito-gnáissico geralmente apresenta magnetismo fraco, como pode ser evidenciado pelas unidades do Tonalito Tocambira e o Domo de Hidrolina. Por sua vez, o Bloco Anta exibe um padrão magnético moderado. Mostra-se cortado por diques máficos espessos, que possuem expressiva assinatura magnética, com orientação principal EW e são frequentemente observados entre as cidades de Crixás e Goiás. As unidades arqueanas e paleomesosproterozoicas também englobam as sequências tipo greenstone belts e os complexos acamadados máfico-ultramáficos (Barro Alto, Niquelândia e Cana Brava), respectivamente, que geralmente são caracterizados por rochas de elevada susceptibilidade magnética e, consequentemente, suas anomalias possuem alta frequência com boa delimitação nos mapas de GT.

O Arco Magmático de Goiás (AMG) é um terreno com feições magnéticas ambíguas que exibe um padrão de amplitudes baixas a moderadas, na porção norte, e moderadas a altas, no sul. A análise do mapa da derivada vertical (Dz) mostra que o Arco de Mara Rosa (AMMR; norte) é fortemente influenciado pelo LTB, sendo caracterizado por um volume significativo de lineamentos contínuos de direção NE-SW que formam extensos feixes sigmoidais. O limite magnético leste do AMMR possui correlação com o sistema de falhas Rio dos Bois (FUCK et al., 2014), principalmente nos mapas da Dz. Ainda no AMMR, a Suíte Intrusiva Santa Tereza destaca-se pela fraca resposta magnética de seus granitóides, em especial quando correlacionada ao corpo rochoso localizado a leste do município de Mutunópolis. No Arco Magmático de Arenópolis (AMA; sul), as intrusões máfico-ultramáficas do Complexo Americano do Brasil formam maciços alongados que exibem altas amplitudes no mapa de GT, alcançando picos de 46 x 10⁵ nT/grau.

O limite magnético entre as zonas Interna (ZI) e Externa (ZE) da Faixa Brasília não é preciso. Em geral, as rochas da ZI apresentam magnetismo moderado, enquanto as da ZE são pouco magnéticas. Essa região é cortada por diversos lineamentos, os principais possuem direção NE-SW com algumas exceções próximas a megainflexão dos Pirineus, onde são observados lineamentos infletidos para WNW-ESE formando sigmoides (REIS, 2016), responsáveis por abrigar diversas intrusões ígneas de idade ediacarana. A região leste do estado abrange as unidades da Zona Externa da FDB e as coberturas cratônicas localizadas a oeste do CSF. Nessa área, o relevo magnético mostra-se suave, exibindo anomalias de baixíssimas frequências e amplitudes. Essas respostas cobrem uma extensa área, desde a cidade de Campos Belos (norte do estado) até cerca de 300 km na direção sul, e são correlatas principalmente aos sedimentos do Grupo Bambuí. No centro-sul do estado, a Bacia do Paraná é carente em dados aerogeofísicos de alta resolução. Mesmo com a baixa cobertura, nessa região é possível identificar, entre as cidades de Paraúna e Itumbiara, uma faixa de anomalias de alta frequência e amplitude com 200 km de extensão. Tais anomalias podem ser correlacionadas às rochas basálticas da Formação Serra Geral, que em geral apresentam elevada susceptibilidade magnética (CLARK, 1997; DENTITH; MUDGE, 2018).

Com direção principal NW-SE, outro lineamento magnético expressivo que atravessa o estado de Goiás é conhecido pelo Azimute 125º (Az 125º). Relacionado a esse sistema, são encontrados um enxame de diques de gabro e diabásio aflorantes com alta susceptibilidade magnética (MORAES ROCHA et al., 2014). O Az 125° é o mais importante lineamento relacionado a distribuições de carbonatitos e kimberlitos no Brasil (GONZAGA; TOMPKINS, 1991). Com alinhamento correlacionável ao sistema Az 125°, a Província Alcalina de Goiás (PAGO) e a Província Alcalina do Alto Paranaíba (PAAP) resultaram de um extenso magmatismo máfico-alcalino ocorrido no Cretáceo (JUNQUEIRA-BROD et al., 2002; DUTRA; MARANGONI; JUNQUEIRA-BROD, 2012). Na região leste do estado (porção goiana da PAAP), os corpos alcalinos carbonatíticos do Complexo de Catalão I e II destacam-se pelas amplitudes de GT que ultrapassam 1,5 x 10⁶ nT/grau.

Do ponto de vista econômico, Catalão I hospeda uma das maiores reservas de fosfato, nióbio, titânio e vermiculita do planeta. Na região oeste do estado, a PAGO mostra-se bastante expressiva pela quantidade de intrusões de rochas alcalinas, com elevada susceptibilidade magnética, que são responsáveis pelas altas amplitudes e frequências existentes na região. Esse agrupamento litológico provoca um intenso contraste magnético na área, visto que os magmas alcalinos da província cortam tanto as rochas pré-cambrianas quanto os sedimentos fanerozoicos da Bacia do Paraná (JUNQUEIRA-BROD et al., 2002). Nos mapas de gradiente total, em geral, os corpos intrusivos alcançam amplitudes acima de 106 nT/grau, as maiores observadas no estado. Alguns deles, no entanto, até o momento não foram cartografados, caso da anomalia A2 e Registro do Araguaia (DUTRA; MARANGONI; JUNQUEIRA-BROD, 2012). Vale destacar que alguns corpos magnéticos identificados (aflorantes) abrigam importantes depósitos minerais, como as jazidas de níquel de Morro do Engenho, Santa Fé, Montes Claros e Diorama (RADAELLI, 2000).

MAPAS AEROGAMAESPECTROMÉTRICOS

O método gamaespectrométrico mede a taxa e a energia da radiação gama, proveniente do potássio, tório e urânio, contida nas rochas (MINTY, 1997). Nos levantamentos são empregados cristais detectores (geralmente de iodeto de sódio), que absorvem a radiação gama; 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 o urânio (em ppm). Contudo, não é medida diretamente a intensidade da energia desses radioisótopos, mas dos radioisótopos-filhos: ⁴⁰K para o potássio, ²⁰⁸TI para o tório e ²¹⁴Bi 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. No 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 carreado 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 presenca 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 radioelementos é, às vezes, uma indicação do aumento da alcalinidade.

POTÁSSIO

NO ESTADO DE GOIÁS, o potássio apresenta média de 0,88%, abaixo dos valores médios informados em Dickson e 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 TI. É um dos maiores constituintes dos minerais formadores de rocha e o sexto mais comum na natureza, depois do Ca. Durante a diferenciação magmática, concentra-se progressivamente em K-feldspatos, como o ortoclásio e a microclina, e outros silicatos, entre eles alunita, leucita e muscovita, o que faz com que figue mais enriquecido nas rochas ácidas do que nas básicas (KOLJONEN; STENIUS; BUCHERT, 1997). Pode também estar presente em soluções hidrotermais associado a mineralizações de cobre pórfiro e em pegmatitos (MINEROPAR, 2005) e em minerais de minério: evaporitos, como a silvinita (mistura de silvita e halita), nitro ou caliche, carnalita, polialita, cainita, langbeinita, schoenita e singenita (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. E um macronutriente não tóxico, ativando reações enzimáticas. E 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 das 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 hemotóxicos (PEIXOTO, 2004). Mobilidade ambiental: em condições oxidantes (pH<4 e 5-8) e redutoras são ligeiramente móveis (LICHT et al., 2007). Tipos de depósitos: depósito sedimentar químico, derivado de exalações relacionadas a evaporitos (BIONDI, 2003). Principais jazidas: Canadá, Rússia, Bielorússia, 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 (minas Taquari/Vassouras e Santa Rosa do Lima) e Amazonas (Fazendinha e Arari) (DNPM, 2009).

Potássio



DE TÓRIO

NO ESTADO DE GOIÁS, o equivalente tório apresenta média de 11 ppm, ligeiramente abaixo dos valores médios informados em DICKSON e 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 actinídeos, sendo o isótopo 232Th 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 (on 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 resistatos 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; STENIUS; BUCHERT, 1997). Minerais de minério: monazita [(Ce, La, Nd, Th) PO,], 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 233U), 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 sangramento. 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 ²³⁰Rn e o ²⁰⁸Pb. Mobilidade ambiental: em condições oxidantes, seja com pH<4 ou entre 5-8, ou ainda em ambiente redutor, o mesmo é imóvel (LICHT et al., 2007). Tipos de depósitos: em veios de rochas alcalinas, tipo Barra do Itapirapuã. 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 de Tório



EQUIVALENTE DE URÂNIO

NO ESTADO DE GOIÁS, o equivalente urânio apresenta média de 1 ppm, abaixo dos valores médios informados em Dickson e Scott (1997) para a crosta da Terra (3 ppm). As principais características do elemento urânio, de acordo com o texto do Atlas Geoquímico de Roraima (FREITAS; MARMOS, 2017), são apresentadas a seguir.

O urânio é um metal do grupo dos actinídeos, 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: ²³⁴U, ²³⁵U e ²³⁸U. 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; STENIUS; BUCHERT, 1997). 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 (UO2), pechblenda (variedade impura e amorfa da uraninita), carnotita, euxenita, autunita, torbenita, samarskita, margaritasita, lantinita e albernatyite. 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, 2021). Mobilidade ambiental: em condições oxidantes, com pH<4 e pH≥5 à ≤8, a mobilidade é moderadamente alta e em condições redutoras mostra-se imóvel (MINEROPAR, 2005; KOLJONEN; STENIUS; BUCHERT, 1997). 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 et al., 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 em Minas Gerais (Poços de Caldas).

Equivalente de Urânio



COMPOSIÇÃO TERNÁRIA RGB (K-eTh-eU)

ESTE MAPA É RESULTANTE de uma composição em falsa cor dos canais de K, eTh e eU, em que para cada radioelemento é atribuída uma cor. Na composição ternária RGB, a cor é vermelha (R-*red*) para as rochas ricas em K; verde (G-*green*) para as rochas ricas em eTh; e azul (B-*blue*) para as rochas ricas em eU. Quando os três são altos, a soma das cores resulta na cor branca. Quando os três são baixos, a cor é preta. Porém, corpos de água, quando não possuem muito material em suspensão, também apresentam cor preta porque na água limpa a radioatividade é baixa para os três radioelementos.

O mapa tem o potencial de distinguir muito bem as unidades geológicas a partir da análise combinada dos três radioelementos. Contudo, alguns cuidados são necessários na sua interpretação, sobretudo pela ambiguidade associada ao processo de interpretação e correlação geológica de dados geofísicos. Como exemplo, a cor vermelha, que deve representar teores alto de K e baixos teores de eTh e eU, pode estar correlacionada com granitos ou sedimentos imaturos como grauvacas; a cor branca pode ser produzida por sienitos ou vulcânicas ácidas; a cor preta pode ser rochas ultramáficas ou arenitos puros quartzosos; a cor verde pode ser associada com metassedimentos ou lateritas. Portanto, a interpretação de dados gamaespectrométricos requer a adição de informações complementares para que seja consistente no seu emprego em mapeamentos geológicos e na pesquisa de recursos minerais.

A Figura 8 apresenta as diversas possibilidades de correlações geológicas que podem ser feitas a partir da composição ternária RGB. Além de demonstrar o seu potencial, também revela as muitas possibilidades de interpretações ambíguas.



Figura 8 - Possibilidades de correlação entre tipos litológicos e tonalidades de cores em uma composição ternária RGB.

Composisão Ternária RGB (K-eTh-eU)



POTÁSSIO ANÔMALO

DEPÓSITOS MINERAIS ASSOCIADOS com processos hidrotermais e com expressão em superfície podem ser identificados pela análise de dados gamaespectrométricos (AIRO, 2002). A análise da presença anômala de K é melhor observada quando a supressão das contribuições primárias da radiação gama (litologia, condições ambientais, solos e geometria da fonte) é efetuada (PIRES, 1995). A supressão é efetuada pela normalização dos dados de K em função dos valores de eTh. A diferença entre valores previstos de potássio e os realmente medidos indicam áreas de acumulação secundária do elemento (PIRES, 1995).

A Figura 9 apresenta o gráfico de correlação do K versus eTh. A dependência da concentração de K com relação ao eTh é representada por uma função linear. A inclinação da reta é determinada pela razão entre os valores das observações de potássio K e os de eTh. O método descrito em Pires (1995) considera o K ideal (Ki) em relação ao eTh calculado pela equação:

$$Ki = (média de Ks/média de eThs) x eThs$$

Em seguida, os desvios dos valores reais a partir dos valores ideais foram obtidos pela seguinte equação:



Figura 9 - Gráfico de correlação de K x eTh, com reta que melhor se ajusta aos dados.

Potássio Anômolo



URÂNIO ANÔMALO

DEPÓSITOS DE FOSFATO com expressão em superfície podem ser identificados através da análise de dados gamaespectrométricos por causa da forte correlação entre U e P (GILL; SHILONI, 1995). A análise da presença anômala de eU é melhor observada quando a supressão das contribuições primárias da radiação gama (litologia, condições ambientais, solos e geometria da fonte) é efetuada (PIRES, 1995). A supressão é efetuada através da normalização dos dados de eU em função dos valores de eTh. A diferença entre valores previstos de eU e valores realmente medidos indica áreas de acumulação secundária do elemento (PIRES, 1995).

A Figura 10 apresenta o gráfico de correlação do eU versus eTh. A dependência da concentração de eU com relação ao eTh é representada por uma função linear (reta vermelha). A inclinação da reta é determinada pela razão entre os valores das observações de eU e os de eTh. O método descrito em Pires (1995) considera o eU ideal (eUi) em relação ao eTh calculado pela equação:

eUi = (média de eUs/média de eThs) x eThs

Em seguida, os desvios dos valores reais a partir dos valores ideais foram obtidos pela seguinte equação:



eUd (anômalo) = (eU-eUi)/eUi

Figura 10 - Gráfico de correlação de eU x eTh, com reta que melhor se ajusta aos dados.

Urânio Anômolo





ESTE PARÂMETRO É OBTIDO por meio do cálculo de efeito de crescimento do K e do eU em relação ao eTh em situações geológicas específicas. Geralmente, o conteúdo relativo dos radioelementos é alterado no processo de hidrotermalismo. Segundo Airo (2002), a alteração potássica resulta frequentemente em K elevado, particularmente para rochas máficas. Então, relações anômalas entre o K e eTh ao longo de cisalhamentos ou fraturas podem ser indicativas de mineralização de ouro. O cálculo desse parâmetro é obtido por meio da fórmula proposta por Efimov (1978) *apud* Gnojek e Prichystal (1985):

F = K eU/eTh

Parâmetro F



PRINCIPAIS CORRELAÇÕES GEOLÓGICAS DOS DADOS AEROGAMAESPECTROMÉTRICOS NO ESTADO DE GOIÁS

A interpretação da emissão de radiação gama natural detectada na superfície está associada aos principais radioelementos do mapa gamaespectrométrico ternário Red-Green-Blue (RGB). Nessa representação, o vermelho corresponde ao canal do potássio (K), o verde ao equivalente tório (eTh) e o azul ao equivalente urânio (eU). A combinação das cores no espectro RGB gera diversas tonalidades secundárias, que, por sua vez, correspondem ao nível de concentração de cada radioelemento distribuído espacialmente. Os mapas gamaespectrométricos fornecem uma correlação com as unidades litológicas, indica a presença de intrusões ígneas aflorantes e de elementos hidrográficos, bem como a relação com alteração hidrotermal e os processos intempéricos. A investigação aerogamaespectromé trica é essencialmente superficial, alcançando aproximadamente 30 cm de profundidade (WILFORD; MINTY, 2006). Essa característica está diretamente relacionada ao intemperismo químico, que poderá ser observado nos mapas ternários devido à maior mobilidade do potássio em relação ao tório e urânio, durante os processos de alteração (DICKSON; SCOTT, 1997; WILFORD et al., 1997). A perda de K e o relativo incremento de eTh gera tonalidades específicas, como a azul-ciano e a esverdeada, que são frequentemente associadas às coberturas detrito-lateríticas ferruginosas ou a rochas descritas como fortemente intemperizadas.

O potássio possui abundância média de 1,50% ao longo da crosta continental, concentrando-se em maior quantidade na parte superior (2,32% K, 2,80% K₂0) em relação à inferior (0,51% K, 0,61% K₂O; RUDNICK; GAO, 2004; ULBRICH et al., 2009). Na crosta continental, o urânio compõe valor médio de 1,3 ppm, com teores na porção superior da crosta de 2,7 ppm e na inferior 0,2 ppm. O tório, por sua vez, apresenta valor médio de 5,6 ppm ao longo da crosta continental, podendo atingir teor de até 10,5 ppm na parte superior, enquanto na parte inferior, bem mais exaurida, a concentração de tório é de aproximadamente 1,2 ppm (RUDNICK; GAO, 2004). De modo geral, os aerolevantamentos utilizados para confecção dos mapas geofísicos estaduais de Goiás possuem concentrações médias de potássio, equivalente tório e urânio de 0.88%, 11 ppm e 1 ppm, respectivamente. As maiores concentrações mensuradas de potássio no estado estão localizadas na região noroeste, correspondente aos corpos graníticos da Suíte Intrusiva Santa Tereza, com picos de até 7% do radioelemento. Outro destague são os corpos alcalinos do Complexo Alcalino de Catalão, localizados na região sudeste de Goiás, com picos medidos de equivalente tório e urânio superiores a 250 e 40 ppm, respectivamente. O estado de Goiás é caracterizado por um espectro amplo de respostas gamaespectrométricas (gama). Cada resposta é intrinsicamente correlata à fonte litológica superficial, que, por sua vez, herda feições radiométricas do ambiente geotectônico de gênese da rocha. Esses ambientes formam grandes domínios gama, cujo padrão de respostas radiométricas coincide com uma unidade litológica.

A estruturação da Província Tocantins é caracterizada, segundo Fuck et al. (1993), Fuck (1994) e Pimentel et al. (2004), pela seguinte compartimentação, de leste para oeste: Faixa Brasília (zonas Cratônica, Externa e Interna, Maciço de Goiás e Arco Magmático de Goiás) situada à margem oeste do Cráton São Francisco e as faixas Paraguai e Araguaia margeando o Cráton Amazônico a leste. Os terrenos granito-greenstone compreendem uma entidade geotectônica caracterizada por complexos ortognáissicos, tonalítico-granodioríticos e graníticos, contendo faixas de rochas supracrustais tipo greenstone belts e sequências vulcanossedimentares associadas. Essa unidade geotectônica engloba parte do que foi denominado de Maciço Mediano de Goiás e abrange um domínio gamaespectrométrico bem diverso, variando de algumas zonas com baixas respostas nos três radioelementos e outras com altas concentrações de potássio e equivalente tório, majoritariamente com baixos teores em equivalente urânio. Por ser um fragmento crustal muito antigo, é provável que a concentração relativa mais baixa de eU deve-se ao decaimento radioativo mais rápido dos átomos de 238U, em comparação com o 232Th e 40K, que possuem meia-vida maior (MINTY, 1997). Nesse contexto, o Complexo Anta é caracterizado por rochas granito-gnáissicas, com elevada concentração de potássio e por vezes tório, e menor teor em urânio. Essa associação de radioelementos confere ao complexo, nos mapas RGB, padrões avermelhados (alto K) com intercalações amareladas (baixo eU), muito comum em terrenos argueano-paleoproterozoicos. Semelhante ao Complexo Anta, o Complexo Hidrolina exibe contornos mais precisos, com menor concentração de potássio (tons rosados) e intercalações de zonas com baixos teores em equivalente urânio (tons amarelados). As rochas pertinentes ao greenstone belt da porção centro-noroeste de Goiás, como Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás, manifestam uma depleção significativa dos três radioelementos K, eTh e eU, exibindo cor preta nos mapas RGB.

O *rift* intracontinental que ocorre no estado compreende um ambiente geotectônico caracterizado pelos complexos máficos meso proterozoicos. Na aerogeofísica, as unidades pertencentes a esse ambiente possuem composição básica formada pelas rochas dos Complexos Juscelândia, Indaianópolis e Palmeirópolis, que são evidenciadas por baixas concentrações nos três radioelementos, definidos pela tonalidade RGB preta. São reconhecidos três complexos intrusivos neoproterozoicos, posicionados de norte para sul no estado de Goiás, assim designados: Cana Brava, Niquelândia e Barro Alto. Essas unidades exibem baixo conteúdo nos três radioelementos (K, *e*Th, *e*U).

Os metassedimentos do Grupo Serra da Mesa apresentam padrões ternários difusos de difícil delimitação. Ao norte, as rochas do grupo exibem uma tonalidade avermelhada, indicando incremento no conteúdo do potássio. Ao sul, há um aumento no teor de equivalente tório, indicado pelos padrões esverdeados no mapa RGB. Em destague, na porção norte do estado, ocorrem as intrusões graníticas anorogênicas das subprovíncias Paranã e Tocantins, caracterizadas pela alta concentração dos três radioelementos, destacados pelo padrão branco nos mapas RGB. Esses corpos possuem formatos geralmente alongados ou circulares de fácil delimitação pela aerogamaespectrometria. O Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu mostra concentração acentuada de eTh, e valores medianos de K e eU. Essa associação de radioelementos atribui ao complexo tonalidades esverdeadas intensas (alto eTh), intercaladas com faixas amareladas. Tais faixas refletem deficiências pontuais de eU, possivelmente relacionadas às condições de metamorfismo de ultra-alta temperatura às quais essas rochas foram submetidas.

Na evolução tectônica da Faixa Brasília, são distinguidos cinco domínios, evidenciados pelo aumento progressivo do metamorfismo de leste para oeste: a Zona Cratônica (ZC), a Zona Externa (ZE), Zona Interna (ZI), o Maciço de Goiás (MG) pelos terrenos granito-greenstone e o Arco Magmático de Goiás (AMG). A ZC consiste em restritas exposições do embasamento (São Domingos, a leste; Formiga, a sul) e extensas coberturas proterozoicas, representadas pelos grupos Paranoá e Bambuí, e a Formação Jequitaí. Os sedimentos do Grupo Bambuí possuem assinatura de alto potássio, e valores medianos de equivalente tório e urânio, conferindo às mesmas uma tonalidade rosada nos mapas RGB. Porém, devido às variações composicionais internas e à incidência de processos intempéricos, as unidades litológicas podem exibir feições de cores diferentes, como o preto e o azul-ciano. Na ZI, as rochas do Grupo Araxá possuem um comportamento bem heterogêneo nos mapas gamaespectrométricos. Consequentemente, as unidades mostram colorações avermelhadas e escuras, provavelmente provocadas pela diversidade litológica existente, além de tons ciano-esverdeados correspondentes aos processos intempéricos. Na ZE, o Grupo Paranoá exibe principalmente feições de alto potássio, caracterizadas por tonalidades avermelhadas. Como não há aerolevantamento que cubra toda zona externa, a região carece de dados para uma interpretação mais acurada.

O Arco Magmático de Goiás (AMG) é um compartimento geotectônico, exposto na região oeste de Goiás, constituído por rochas ortognáissicas juvenis neoproterozoicas associadas às sequências de arcos vulcanossedimentares expostos no oeste de Goiás (PIMENTEL et al., 1991, 1997). O AMG forma um domínio gamaespectrométrico marcante de fácil delimitação. Em geral, esse ambiente é caracterizado por colorações escuras e arroxeadas (elevado K e eU), com manchas pontuais brancas e avermelhadas nos mapas RGB. No Arco Magmático de Mara Rosa (norte) destacam-se a Suíte Intrusiva Santa Tereza e a Suíte Intrusiva Itapuranga, representada por um conjunto de granitoides sieníticos com altas concentrações de radioelementos (padrão branco nos mapas RGB). Em alguns corpos individualizados da Suíte Santa Tereza, assim como nos representantes da Suíte Intrusiva Faina, são observadas concentrações mais elevadas de potássio, indicado por tonalidades ternárias avermelhadas. Ainda no contexto do Arco Magmático de Goiás, a Sequência Metavulcanossedimentar de Mara Rosa, responsável por hospedar relevantes depósitos de ouro da região, possui assinaturas gama que mostram baixos teores em todos os radioelementos, expondo padrões negros nos mapas RGB. Já no Arco de Arenópolis (sul), os granitos pós-tectônicos da Suíte Serra Negra chamam atenção pela abundância de K, eTh e eU medidos, dispostos em formatos arredondados com padrão branco nos mapas RGB.

A Faixa Araguaia bordeja a parte leste do cráton Amazônico e abrange unidades alóctones de metassedimentos do Grupo Baixo Araguaia e associações vulcanossedimentares tipo Xambioá e Serra do Tapa (SOUZA; MORETON, 1995), que alojam corpos máfico-ultramáficos com características de sequências ofiolíticas (PAIXÃO; NILSON; DANTAS, 1996) e áreas do embasamento gnáissico expostas entre as faixas de xisto (LACERDA FILHO *et al.*, 1999). Como seu principal representante no estado, a Formação Xamboiá é evidenciada pela deficiência relativa de potássio em suas rochas, exibindo tonalidade azul-ciano no mapa ternário.

A Bacia do Bananal é uma importante cobertura sedimentar intracratônica cenozóica, que estende-se pelo oeste do estado, ocupando uma área significativa. Suas rochas, representadas pelos sedimentos da Formação Araguaia, exibem, predominantemente, padrão de coloração negra nos mapas RGB, indicando deficiência de todos os elementos.

Bordejando a Bacia do Paraná, no oeste do estado, as rochas cretáceas da Província Alcalina de Goiás (PAGO) apresentam formatos e padrões radiométricos marcantes. As intrusões alcalinas estão dispostas entre as rochas da Bacia do Bananal e do Arco Magmático de Goiás. A Suíte Alcalina Iporá engloba grande parte das intrusões observadas, devido a diferença composicional dos litotipos apresentam fortes variações radiométricas internas. As porções ultramáficas apresentam deficiência em K, eTh e eU, com padrão negro, enquanto as porções intermediárias e félsicas (sienitos) apresentam quantidades relevantes dos três radioelementos mensurados (RGB branco), por vezes alcançando valores altíssimos em níveis estaduais.

ASSINATURAS AEROGEOFÍSICAS DOS PRINCIPAIS DEPÓSITOS MINERAIS

Os dados aerogeofísicos apresentados neste Atlas permitem a avaliação dos aspectos geológicos e do contexto regional de depósitos minerais já conhecidos, além de fornecer evidências para a localização de novos depósitos. O estado de Goiás possui destaque no cenário da exploração mineral nacional, porém os modelos geotectônicos são favoráveis à descoberta de novos depósitos em todo o estado. Neste sentido, a análise de dados aerogeofísicos integrada com dados geológicos e geoquímicos pode contribuir para a identificação dessas novas áreas potenciais.

Para ilustrar a utilidade dos dados aerogeofísicos, serão apresentados nas próximas seções as assinaturas associadas com dois depósitos minerais que ocorrem no estado de Goiás: Depósito de Fosfato do Norte de Campos Belos, nordeste de Goiás, e a Caracterização Geofísica de Estruturas Associadas às Mineralizações de Cobre e Ouro, nas regiões de Bom Jardim de Goiás e Fazenda Nova.

AEROGEOFÍSICA DO DEPÓSITO DE FOSFATO DO NORTE DE CAMPOS BELOS, NORDESTE DE GOIÁS

Introdução

O fósforo (P) é um dos elementos químicos essenciais para o processo de crescimento das plantas, mas sua concentração geralmente é baixa em solos naturais (SHEN *et al.*, 2011). Para compensar essa deficiência, muitos agricultores utilizam P derivado de outras fontes para aumentar a produtividade de suas culturas. Até meados de 1960, a principal fonte de P utilizada pelos agricultores eram os fosfatos (PO₄³⁻) de resíduos animais, mas com o advento da "revolução verde", a aplicação de fertilizantes manufaturados com P, oriundo majoritariamente de fosforitos (rochas sedimentares fosfatadas com P₂O₅ > 18 – 20%), tornou-se dominante (CHEN; GRAEDEL, 2016). Desde então, a produção de fosfato vem aumentando em uma taxa aproximada de 3% ao ano (COOPER *et al.*, 2011).

Apesar de ser o quinto país com a maior reserva estimada de fosfato do mundo, o Brasil importou mais da metade de fertilizantes de P, em 2019, para atender a demanda interna (ABRAM, 2016; USGS, 2020). De acordo com Orris e Chernoff (2004), mais de 75% das reservas mundiais de fosfato econômico vem de rochas sedimentares. De fato, os maiores depósitos de fosfato do Brasil são de origem sedimentar (teor de $P_2O_5 >$ 20%), sendo os depósitos dos terrenos sedimentares neoproterozoicos os de maior valor econômico (ABRAM, 2016). Um desses terrenos corresponde às sequências sedimentares do Grupo Bambuí.

O Grupo Bambuí corresponde a uma associação de litofácies siliciclástica, química e bioquímica, com até 3.000 m de espessura, formadas pelo acúmulo de sedimentos depositados sobre um amplo mar epicontinental circundado e influenciado por faixas de dobramentos brasilianas (Brasília e Araçuaí) que, por sua vez, foram edificadas durante a assembleia de terrenos que formaram o supercontinente Gondwana Ocidental (ALKMIN *et al.*, 2001; DRUMMOND *et al.*, 2015; MARTINS – NETO; PEDROSA – SOARES; LIMA, 2001; PAULA – SANTOS *et al.*, 2015). Essa associação corresponde a três megaciclos transgressivos-regressivos, onde cada um inicia com uma transgressão regional do nível do mar associado com a subsidência da bacia (PIMENTEL *et al.*, 2011).

O primeiro megaciclo corresponde ao período de deposição das sequências que compõem a Formação Sete Lagoas. Tais sequências sobrepõem-se aos sedimentos glaciogênicos (Jequitaí Fm.) relacionados à Glaciação Marinoana (CAXITO *et al.*, 2012). Da base para o topo, a Formação Sete Lagoas é composta por: capa carbonática pós-glacial; siltitos fosfatados e sucessões areníticas; estromatólitos, dolomitos e dolomitos maciços recristalizados (ALVARENGA *et al.*, 2006; CAXITO *et al.*, 2012; DRUMMOND *et al.*, 2015). O megaciclo seguinte inicia com a deposição de sedimentos pelíticos da Formação Serra de Santa Helena, seguidos por calcários plataformais cinza-escuro da Formação Lagoa do Jacaré. O terceiro megaciclo é composto por pelitos da Formação Serra da Saudade, na base, e por arcóseos da Formação Três Marias no topo (DRUMMOND *et al.*, 2015).

As ocorrências de rochas fosfatadas, na região nordeste de Goiás, ocorrem na Formação Sete Lagoas, ao norte da cidade de Campos Belos (ABDALLAH; MENEGHINI, 2017; ABRAM *et al.*, 2011; ALVARENGA *et al.*, 2006; DRUMMOND et al, 2015; MONTEIRO, 2009; RIBEIRO, 2014) (Figura 11). De acordo com Monteiro (2009), os principais minérios da sequência podem ser divididos em: siltitos fosfáticos (18% de P_2O_5); fosforito primário laminado (24,2% de P_2O_5) e acamadados (32% de P_2O_5); fosforito brechado (34% de P_2O_5); e fosforito pedogênico (27,6% de P_2O_5). Na maioria desses minérios, a francolita é o mineral predominante, mas versões alteradas (hidroxiapatita e wavellita) também ocorrem (DRUMMOND *et al.*, 2015).

A francolita é o principal mineral em rochas fosfatadas de origem sedimentar. Sua relação com o U está no fato de que o Ca^{2+} pode ser substituído pelo U⁴⁺ (NATHAN, 1984).



Figura 11 - Mapa geológico simplificado da área de estudo. O formato da área foi definido de acordo com a cobertura dos dados aerogeofísicos disponíveis.

De acordo com Drummond et al. (2015), no depósito de fosforita de Campos Belos, a precipitação da francolita foi estimulada pela entrega de P adsorvido nos óxidos-hidróxidos de ferro (Fe) e argilas de sedimentos eólicos aliado à ação microbiana. A associação entre matéria orgânica e fosfato em condição redox são fatores favoráveis para a acumulação de U a partir da redução do U⁶⁺ para a U⁴⁺ (ASTSCHULER, 1980; KOCHENOV; BATURIN, 2002). No entanto, a média de U em fosforitos precambrianos varia entre 10 – 30 ppm, sendo os valores entre 5 – 10 ppm mais comuns (BATURIN; KOCHENOV, 2001). O último intervalo de valores é comum também nas amostras de solos dos fosforitos do depósito de Arraias/Campos Belos (ABRAM et al., 2011; MONTEIRO, 2009). Em dados de gamaespectrometria aérea, rochas fosfatadas exibem correlação com valores de eU > 2.5 ppm (ABRAM et al., 2011).

Investigação de Anomalias Aerogeofísicas de eU Associadas aos Fosforitos da Formação Sete Lagoas

Em um estudo conduzido por Fianco et al. (2012), os autores estimaram a concentração de equivalente de U (eU) nas imediações dos depósitos de fosfato de Campos Belos pelo modelo de regressão múltipla que mesclava variáveis geofísicas e geoquímicas. A hipótese principal do trabalho citado era de que regiões ricas em eU poderiam estar associadas às rochas fosfáticas, de modo que, após subtrair um background modelado por uma regressão múltipla, efeitos que potencialmente podem mascarar as concentrações dos radioelementos, tais como mistura de solo, pedogênese, geometria do detector de raios gama ou background de outras unidades geológicas, seriam suprimidos, permitindo o realce de "anomalias" de eU potencialmente relacionadas aos fosforitos. Embora os autores tenham identificado pequenas anomalias de P e U no Grupo Bambuí, as concentrações anômalas de eU foram melhor correlacionadas com as crostas lateríticas e com as rochas ígneas do embasamento. Esse resultado ocorreu porque os autores aplicarm o modelo de regressão em uma ampla área que continha a contribuição dos raios gama de rochas do embasamento naturalmente ricas em U, tais como os granitóides mesoproterozoicos da Suite Pedra Branca, cuja concentração de U varia entre 4–10 ppm (ALVARENGA et al., 2006). Ademais, é possível que zonas mineralizadas dentro do embasamento com até 0,5% de U₃O₈ também possam ter contribuído para que as "anomalias" mais expressivas de U tenham sido concentradas no domínio do embasamento (FIGUEIREDO; OESTERLEN, 1981; SERAFIM; CARMELO; BOTELHO, 2019). Diante desses resultados, Fianco et al. (2012) argumentam que a supressão das assinaturas radiométricas do embasamento e das crostas lateríticas é essencial para que as rochas fosfatadas ricas em U possam ser destacadas.

Em uma abordagem similar à descrita anteriormente, um dos autores deste compêndio utilizou um modelo de regressão para destacar zonas ricas em eU possivelmente associadas aos fosforitos da Formação Sete Lagoas. Entretanto, ao invés de aplicar o modelo de regressão na área inteira, foi aplicado somente em um domínio radiométrico contendo, majoritariamente, a contribuição de raios gama das rochas do Grupo Bambuí. Esse domínio foi obtido por meio da aplicação da classificação não supervisionada k means. Ademais, o modelo de regressão aplicado foi mais simples do que aquele utilizado por Fianco et al. (2012). Aqui, utilizou-se apenas a concentração de eU como variável dependente e eTh como variável explicativa. O modelo de regressão obtido foi interpretado como sendo a concentração de eU, que seria esperado para o domínio radiométrico de acordo com as premissas de Saunders, Branch e Thompson (1994). Após subtrair as concentrações de eU previstas pelo modelo dos dados originais e normalizar os resultados em relação às concentrações de eU previstas por Saunders, Branch e Thompson (1994), obteve-se um mapa (Figura 12) contendo os desvios de eU. Esses desvios expressam a fração da concentração de eU que desvia do valor dado pela equação derivada do modelo de regressão linear. Sobre o mapa, foram plotadas as localizações dos sedimentos de corrente com P>600 ppm e as localizações dos depósitos/ minas de fosfatos conhecidos na região.

Dentre os resultados advindos da aplicação da abordagem descrita neste texto, o principal deles consiste na boa correlação espacial entre os desvios de eU>1.0% com as localizações das amostras de sedimentos de corrente com P>800 ppm e as jazidas/ocorrências de rochas fosfatadas conhecidas na região (Figura 13). Essa correlação é bem evidente nos depósitos de fosfatos mostrados nas áreas I e II das Figuras 13C e 13D. Outro aspecto interessante mostrado na Figura 13B é que a concentração dos maiores desvios de eU, nas zonas de contato entre as rochas do embasamento e as sequências sedimentares, principalmente onde áreas relativamente ricas em eU associadas aos litotipos da Formação. Sete Lagoas tem sido mapeada (ABRAM *et al.*, 2011; MONTEIRO, 2009; RIBEIRO, 2014).

A boa correlação espacial das amostras de sedimento de corrente com concentrações de P>800 ppm e os locais de depósitos de fosforito com valores de desvio eU maiores que 1% sugerem que o mapa de desvio eU apresentado neste trabalho pode ser usado como uma ferramenta adicional na busca de novas áreas de prospecção de fosforitos na região, principalmente nas zonas de contato embasamento/Grupo Bambuí, situadas no estado de Goiás. Outros resultados, bem como detalhes técnicos mais específicos da metodologia adotada, foram organizados em um artigo de pesquisa submetido ao periódico especializado em geofísica aplicada. Assim que o artigo for publicado, os leitores deste texto poderão conferir, em detalhes, os procedimentos adotados neste estudo.



Figura 12 - Mapa de desvio de eU calculado para o domínio radiométrico contendo, majoritariamente, os raios gama provenientes das rochas do Grupo Bambuí. Os demais símbolos são os mesmos da Figura 11. Os retângulos em preto, vermelho e azul são as áreas selecionadas discutidas no texto.

Atlas Aerogeofísico • Estado de Goiás



Figura 13 - Composição RGB (A) e desvio de eU (B) nas imediações da cidade de Campos Belos. As áreas de depósito de fosfato I e II são apresentadas em detalhes nas figuras (C) e (D). A simbologia é a mesma usada nas Figuras 11 e 12.

CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA DE ESTRUTURAS ASSOCIADAS ÀS MINERALIZAÇÕES DE COBRE E OURO NAS REGIÕES DE BOM JARDIM DE GOIÁS E FAZENDA NOVA - GOIÁS - BRASIL

Com a finalidade de identificar as características geofísicas de estruturas importantes nas mineralizações de cobre e ouro na região oeste de Goiás, realizou-se processamento e interpretação de dados de gravimetria e magnetometria. Foi analisada a assinatura gravimétrica das seguências metavulcanossedimentares Bom Jardim e Jaupaci, que se localizam no Arco Magmático de Arenópolis, entre os lineamentos Transbrasiliano e Moiporá-Novo Brasil. A análise do mapa de anomalia Bouguer residual permitiu correlacionar altos gravimétricos com as sequências metavulcanossedimentares mapeadas. A correlação de anomalias gravimétricas, lineamentos magnéticos, litotipos e ocorrências minerais mostra que alguns depósitos de cobre da região de Bom Jardim alinham-se com um conjunto de estruturas magnéticas que foram nomeadas de Lineamento Bom Jardim. De modo análogo, na região de Fazenda Nova as ocorrências minerais alinham-se aos lineamentos de segunda ordem da Zona de Cisalhamento Moiporá-Novo Brasil. Tais ocorrências minerais ficaram circunscritas às anomalias gravimétricas situadas nas adjacências das zonas de cisalhamento Transbrasiliano e Moiporá-Novo Brasil.

Mineralizações de Cobre e Ouro no Arco Magmático de Arenópolis

O Arco Magmático de Goiás (Figura 14A) engloba o chamado cinturão de ouro-cobre de Arenópolis-Mara Rosa que hospeda inúmeros depósitos de ouro e cobre-ouro (OLIVEIRA; QUEIROZ; PIMENTEL, 2000). Especificamente no Arco Magmático de Arenópolis, são conhecidos os depósitos de Bom Jardim de Goiás (Cu-Au) e Fazenda Nova (Au), além de diversas ocorrências de ouro e cobre mapeadas (Figura 14B).

O depósito de cobre de Bom Jardim está inserido na borda oeste do Arco Magmático de Arenópolis, localizado em rochas metavulcanossedimentares que ocorrem agrupadas no Grupo Bom Jardim de Goiás (SEER, 1985). Regionalmente, as sequências metavulcanossedimentares são constituídas por rochas metavulcânicas com subvulcânicas associadas, de composição que varia de basaltos toleíticos a riolitos metamorfizados em fácies xisto-verde e anfibolito (PIMENTEL; FUCK, 1986). Nesse depósito, as rochas hospedeiras da mineralização são rochas piroclásticas compostas dominantemente por tufos de composição intermediária e caráter calcioalcalino, que podem ter sido formadas em ambiente subaquoso a subaéreo de arcos vulcânicos (GUIMARÃES; MOURA; DANTAS, 2012).

A mineralização do depósito de Fazenda Nova está hospedada em diques das rochas intrusivas de Bacilândia, com três estágios de alteração hidrotermal:

- estágio mineralizante, que consiste de alteração pervasiva biotítica associada com disseminação de sulfeto e sericitização dos feldspatos acompanhada por stock-work de quartzo e brechas silicificadas;
- ii. estágio intermediário, composto por stock-work de calcita e quartzo com uma assembleia hidrotermal de clorita, epidoto, turmalina e titanita associado a sulfetos como pirrotita-pirita-arsenopirita. A arsenopirita desse estágio não apresenta inclusões de sulfetos e nem de ouro;





iii. último estágio, composto por veios e brechas composto apenas por calcita-ankerita, sem alteração hidrotermal ou mineralização aurífera. O depósito de Fazenda Nova foi classificado como *Reduced Intrusion Related* (MARQUES, 2017).

Área 1 - Cobre na Região de Bom Jardim de Goiás

A partir dos dados magnetométricos foram identificadas ramificações ou estruturas de segunda ordem nas proximidades do Lineamento Transbrasiliano. As Figuras 15A e B mostram a região de Bom Jardim de Goiás (área 1 na Figura 14B), onde depósitos e ocorrências de cobre são encontrados.

Verificamos que quatro depósitos de cobre (Figura 15A) estão localmente relacionados a um conjunto de lineamentos magnéticos de segunda ordem semelhante a um splay de falha na forma de , estrutura "rabo de cavalo", que nomeamos de Lineamento Bom Jardim (Figura 15B). Essa estrutura possui direção NW-SE, que diverge da direção do Lineamento Transbrasiliano. As Figuras 16A e B incluem o mapa gravimétrico residual, estruturas mapeadas e o contorno das principais litologias associadas aos depósitos de cobre.

Sob o ponto de vista regional, os depósitos e a ocorrência de cobre estão localizados sobre a anomalia gravimétrica positiva da região de Bom Jardim, adjacente à Zona de Cisalhamento Transbrasiliana. Os depósitos de cobre associados localmente ao lineamento Bom Jardim estão localizados sobre três litologias diferentes (Granito Serra Negra, Sequência Bom Jardim e Sequência Nova Xavantina; Figura 16B), o que corrobora a ideia do controle estrutural da mineralização. O Lineamento Bom Jardim, como um todo, não consta como uma estrutura mapeada (Figura 16A). Como esse lineamento aparece com clareza nos dados magnéticos, ele pode estar em subsuperfície e, por isso, não ter sido completamente cartografado.

O depósito de cobre de Bom Jardim, localizado na porção sul da Sequência Metavulcanossedimentar Bom Jardim (Figura 16B), aparentemente, está associado a outro conjunto de lineamentos magnéticos interpretados que possuem direção N-S e E-W.

Área 2 - Ouro na Região de Fazenda Nova

De modo análogo à análise realizada na área 1, examinamos os dados magnetométricos da região de Fazenda Nova (área 2 na Figura 14B) e foram identificadas estruturas de segunda ordem que se conectam ao Lineamento Moiporá-Novo Brasil (Figura 17B). Além dos lineamentos, anomalias magnéticas e ocorrências minerais (Figura 17A), podemos correlacionar a imagem do mapa gravimétrico residual com as litologias principais e estruturas mapeadas em campo da região de Fazenda Nova, conforme Figura 18B.



Figura 15 - A) Imagem da Amplitude do sinal analítico com depósitos de cobre sobrepostos; B) Ocorrências de cobre e interpretação de lineamentos magnéticos.



Figura 16 - Imagem da anomalia Bouguer residual juntamente com as ocorrências de cobre da região de Bom Jardim: A) Sobreposição de estruturas mapeadas em campo; B) Sobreposição de lineamentos magnéticos interpretados e contornos das litologias mapeadas (LACERDA FILHO *et al.*, 2021).



Figura 17 - A) Imagem da derivada vertical com as ocorrências de ouro sobrepostas; B) Ocorrências de ouro e interpretação de lineamentos e anomalias magnéticas.

Sob o ponto de vista regional, verificou-se que as ocorrências minerais, garimpos e minas abandonadas estão localizadas sobre a anomalia gravimétrica da região de Jaupaci, adjacente à Zona de Cisalhamento Moiporá-Novo Brasil. Localmente, observamos que as ocorrências de ouro estão associadas a estruturas, sejam elas limites dos corpos mapeados ou lineamentos magnéticos.

As duas minas abandonadas, que ocorrem ao norte do Gabro Boqueirão, são chamadas de Bacilândia (à esquerda) e Fazenda Nova (à direita). De acordo com Marques (2017), esses depósitos estão associados à Falha Bacilândia (Figura 18A), porém apenas a sua porção norte pode ser visualizada nos dados magnéticos. Verificamos que ambas as minas estão localizadas no limite mapeado da Sequência Jaupaci, coincidindo com o limite da anomalia gravimétrica, muito embora a baixa resolução dos dados gravimétricos é reconhecida.

Ao leste do Granito Israelândia, percebe-se uma anomalia gravimétrica interna de maior intensidade em relação ao seu entorno. Suas bordas são marcadas por lineamentos magnéticos de direção N-S e cinco ocorrências de ouro.

De maneira geral, na região de Fazenda Nova pudemos associar sete ocorrências e dois garimpos abandonados aos lineamentos magnéticos interpretados, além de mais dois garimpos abandonados nos limites da anomalia gravimétrica (Figura 18B).

Discussões e Conclusões

Analisando sob um ponto de vista regional, as concentrações de ocorrências de cobre e ouro localizam-se nas proximidades das zonas de cisalhamento Transbrasiliano e Moiporá-Novo Brasil, respectivamente. Outro aspecto regional refere-se às anomalias gravimétricas positivas, associadas às sequências metavulcanossedimentares, que aparentemente delimitam as ocorrências de cobre e ouro em seu interior. Mais localmente, observam-se estruturas magnéticas próximas às grandes zonas de cisalhamento, mas que possuem direção divergente. Na região de Fazenda Nova, destacam-se os lineamentos de segunda ordem de direção NW-SE que estão relacionados às duas minas de ouro e diversas ocorrências minerais. Essas estruturas coincidem com bordas de anomalias gravimétricas, limites litológicos ou lineamentos magnéticos identificados pela magnetometria.

O Lineamento Bom Jardim, ainda não mapeado em superfície, possui direção aproximada NW-SE e está localmente relacionado com quatro depósitos de cobre. Tais depósitos estão distribuídos em três litologias diferentes, o que reforça a ideia de alguma forma de controle estrutural. Essa análise destaca a importância do potencial metalogenético desse lineamento que poderá ser estudado na escala de detalhe por prospectores com interesse em cobre.



Figura 18 - Imagem da anomalia Bouguer residual juntamente com minas, garimpos e ocorrências de ouro da região de Fazenda Nova: A) Sobreposição de estruturas mapeadas; B) Sobreposição de lineamentos magnéticos interpretados e contornos das litologias mapeadas (LACERDA FILHO *et al.*, 2021).

A análise dos dados geofísicos permitiu estabelecer relações entre anomalias gravimétricas, lineamentos locais e regionais juntamente com as ocorrências minerais e principais depósitos de cobre e ouro no Arco Magmático de Arenópolis. Os dados geofísicos permitiram visualizar importantes estruturas ainda não mapeadas em superfície e sugerir correlações com mineralizações conhecidas. Essa abordagem deve acrescentar informações e ideias que antecedem trabalhos de campo, colaborando na abertura de novas frentes de pesquisa mineral da região e incentivando novas descobertas minerais.

REFERÊNCIAS

ABDALLAH, S.; MENEGHINI, P. F. V. **Geologia e Recursos Minerais da Folha Arraias – SD.23-V-A:** Estado do Tocantins. Goiânia: CPRM, 2017. 212 p. Escala 1:250.000. ISBN 978-85-74992-97-6. Projeto Sudeste do Tocantins. Programa Geologia do Brasil. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/ doc/17783?show=full. Acesso em: 14 maio 2021.

ABRAM, M. B.; BAHIENSE, I. C.; PORTO, C. G.; BRITO, R. S. C. (org.). **Projeto Fosfato Brasil:** Parte I. Salvador: CPRM, 2011. p. 174-205. Informe de Recursos Minerais. Série Insumos Minerais para a Agricultura. Programa Geologia do Brasil. ISBN 978-85-7499-125-2. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/14807. Acesso em: 14 maio 2021.

ABRAM, M. B. Fosfato no Brasil. *In*: MELFI, A. J.; MISI, A.; CAMPOS, D. A.; CORDANI, U. G. (Eds.) **Recursos Minerais do Brasil:** problemas e desafios. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de ciências, 2016. p. 96-15. ISBN 978-85-85761-40-0. Disponível em: https://www.abc. org.br/IMG/pdf/doc-7006.pdf. Acesso em: 14 maio 2021.

ABREU, F. A. M. de. Estratigrafia e evolução estrutural do segmento setentrional da faixa de desdobramentos **Paraguai - Araguaia**. 1979. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1979. Disponível em: http://repositorio.ufpa.br/ jspui/handle/2011/8386. Acesso em: 19 nov. 2021.

ABREU, F. A. M.; GORAYEB, P. S. S.; HASUI, Y. Tectônica de inversão metamórfica no Cinturão Araguaia. *In*: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4., 1994, Belém. **Acta** [...]. Belém: SBG, 1994. p. 1-4.

AIRO, M. L. Aeromagnetic and aeroradiometric response to hydrothermal alteration. **Surveys in Geophysics**, Dordrecht, v. 23, n. 4, p. 273-302, 2002. DOI: http:// dx.doi.org/10.1023/A:1015556614694.

ALKMIN, F. F.; MARSHAK, S.; FONSECA, M. A. Assembling West Gondwana in the Neoproterozoic: clues from São Francisco craton region. Brazil. **Geology**, v. 29, n. 4, p. 319-322, 2001. https://doi.org/10.1130/0091– 7613(2001)029<0319:AWGITN>2.0.CO;2.

ALMEIDA, F. F. M. Sistema Tectônico Marginal do Cráton do Guaporé. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., Porto Alegre, 1974. **Anais** [...]. Porto Alegre: SBG, 1974.

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; NEVES, B. B. B.; FUCK, R. A. Províncias estruturais brasileiras. *In*: SIMPÓSIO DE

GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., Campina Grande, 1977. **Atas** [...]. Campina Grande: SBG, 1977. p. 363-391.

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth-Science Reviews**, v. 17, n. 1-2, p. 1-29, 1981. DOI: https://doi.org/10.1016/0012-8252(81)90003-9.

ALTSCHULER, Z. S. The Geochemistry of Trace Elements in Marine Phosphorites Part I. Characteristic Abundances and Enrichment. *In*: BENTOR, Y. K (eds.). **Marine Phosphorites:** Geochemistry, Occurrence, Genesis. Hardcover: Society od Economic Palentologists and Mineralogists, 1980. p. 19-30. (Special Publication, 29). https://doi.org/10.2110/pec.80.29.0019.

ALVARENGA, C. J. S.; BOTELHO, N. F.; DARDENNE, M. A.; LIMA, O. N. B.; MACHADO, M. A. Nota Explicativa das Folhas monte Alegre de Goiás (SD.23-V-C-III), Cavalcante (SD.23-V-C-V) e Nova Roma (SD.23-V-C-VI). [Brasília]: CPRM, 2007. 67 p. Escala 1:100.000. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/handle/ doc/18324. Acesso em: 19 nov. 2021.

ALVARENGA, C. J. S.; MOURA, C. A.; GORAYEB, P. S. S.; ABREU, F. A. M. Paraguay and Araguaia belts. *In*: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. **Tectonic evolution of South America**. Rio de Janeiro: 31st International Geological Congress, 2000. p. 183-193. ISBN 978- 85-90148-2-11. Disponível em: https://rigeo.cprm. gov.br/handle/doc/19419. Acesso em: 22 ago. 2022.

ALVARENGA, C. J. S.; TROMPETTE, R. Evolução tectônica Brasiliana da Faixa Paraguai: a estruturação da região de Cuiabá. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 23, n. 1, p. 18-30, 1993. Disponível em: http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/11580/11039. Acesso em: 22 ago. 2022.

ATSDR Agency For Toxic Substances and Diseases Registry. Última atualização: 26 de Outubro de 2021. Disponível em: http:// www.atsdr.cdc.gov. Acesso em: 10 nov. 2021.

BATURIN, G. N.; KOCHENOV, A. V. Uranium in phosphorites. Lithology and Mineral Resources, v. 36, p. 303-321, 2001. DOI: https://doi. org/10.1023/A:1010406103447.

BHATTACHARYYA, B. K. Continuous spectrum of the total magnetic field anomaly due to a rectangular prismatic body. **Geophysics**, v. 31, n. 1, p. 97-121, 1966. DOI: https://doi.org/10.1190/1.1439767.

BIONDI, J. C. **Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros**. 2 ed. Rev. Ampl. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. 528 p. ISBN 978-85-7975-168-4.

CASTRO, D. L.; FUCK, R. A.; PHILLIPS, J. D.; VIDOTTI, R. M.; BEZERRA, F. H. R.; DANTAS, E. L. Crustal structure beneath the Paleozoic Parnaiba Basin revealed by airborne gravity and magnetic data. **Tectonophysics**, v. 614, p. 128-145, 2004. DOI: https://doi.org/10.1016/j. tecto.2013.12.009.

CAXITO, F. A.; HALVERSON, G. P.; UHLEIN, A.; STERVENSON, R.; DIAS, T.G.; UHLEIN, G. J. Marinoan glaciation in east central Brazil. **Precambrian Research**, v. 200-203, p. 38-58, 2012. https://doi.org/10.1016/j. precamres.2012.01.005.

CHEN, M.; GRAEDEL, T. E. A half-century of global phosphorus flows, stocks, production, consumption, recycling, and environmental impacts. **Global Environmental Change**, v. 36, p. 139-152, 2016. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.12.00.

CLARK, D. A. Magnetic petrophysics and magnetic petrology: aids to geological interpretation of magnetic surveys. **AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics**, v. 17, n. 2, p. 83-103, 1997. Disponível em: https://d28rz98at9flks.cloudfront.net/81495/Jou1997_v17_n2_p083.pdf . Acesso em: 22 ago. 2022.

COMPANHIA BAIANA DE PESQUISA MINERAL. Levantamento Aerogeofísico CBPM: extremo oeste da Bahia. Salvador: CBPM, 2014. Disponível em: http:// lagfba.cbpm.ba.gov.br/Home/IndiceMapa/37. Acesso em: 20 abr. 2022.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS. **Área 19:** Formoso – Buritis – Lagoa Grande. Relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectométricos. [Belo Horizonte] : CODEMIG ; CPRM, 2011. v. 1.

CONSÓRCIO CESP/IPT. **Projeto Cabeceira do Rio Aporé Bloco 71**. Levantamento Aeromagnetométrico, Interpretação Qualitativa Preliminar. São Paulo: Paulipetro, 1981. 1 v. Texto + anexos. (Relatório GEF/ SMP/RT-08/81, arquivado no SEDOC / PETROBRAS / Rio de Janeiro sob o registro 500-00700).

COOPER, J.; LOMBARDI, R.; BOARDMAN, D.; CARLIELL – MARQUET, C. The future distribution and production of global phosphate rock reserves. **Resourse, Conservation and Recycling**, v. 57, p. 78-86, 2011. DOI: https://doi. org/10.1016/j.resconrec.2011.09.009.

COSTA, J. B. S. **Evolução geológica da região de Colmeia**. 1980. 78 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1980. Disponível em: http://repositorio.ufpa.br/jspui/ handle/2011/8389. Acesso em: 20 nov. 2021.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Levantamento aerogeofísico do estado de Goiás - 3ª etapa - Paleo-Neoproterozóico do Nordeste de Goiás: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. [Rio de Janeiro]: Lasa Engenharia e Prospecções, 2006. 22 v.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Levantamento aerogeofísico do estado de Goiás - 2ª etapa - oeste do arco magmático de Mara Rosa: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. [Rio de Janeiro]: Lasa Engenharia e Prospecções, 2005. 7 v. https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/10156. Acesso em: 20 abr. 2022.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Levantamento aerogeofísico do estado de Goiás - 2ª etapa:** faixa Brasília Sul: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. [Rio de Janeiro]: Lasa Engenharia e Prospecções, 2005. 12 v. https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/10130. Acesso em: 20 abr. 2022.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Levantamento aerogeofísico do estado de Goiás - 1ª etapa:** arco magmático de Mara Rosa: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. [Rio de Janeiro]: Lasa Engenharia e Prospecções, 2004. 12 v. https://rigeo.cprm.gov.br/ handle/doc/10096. Acesso em: 20 abr. 2022.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Levantamento aerogeofísico do estado de Goiás - 1ª etapa: arco magmático de Arenópolis: Complexo Anápolis-Itauçu, seqüência vulcano-sedimentar de Juscelândia: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. [Rio de Janeiro]: Lasa Engenharia e Prospecções, 2004. 22 v. https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/10113. Acesso em: 20 abr. 2022.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto Aerogeofísico Sudeste do Mato Grosso:** relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: Lasa Prospecções, 2012. Programa Geologia do Brasil (PGB). https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/11415. Acesso em: 20 abr. 2022.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto aerogeofísico Rio Formoso:** relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: Lasa Prospecções, 2014. 15 v. il. Programa Geologia do Brasil – PGB. https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/21697. Acesso em: 20 abr. 2022.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto Aerogeofísico Tocantins:** relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectométricos. [São Paulo]: AeroGeoPhysica LatinoAmericana - AGP-LA, 2006. https://rigeo.cprm.gov. br/handle/doc/10698.

DELLA GIUSTINA, M. E. S. **Geologia e geocronologia da Sequência Vulcano-sedimentar Campinorte e do Complexo Uruaçu, Província Tocantins**. 2007. 106 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geologia, Universidade de Brasília - UnB, 2007. Disponível em: https://repositorio. unb.br/handle/10482/6573. Acesso em: 22 ago. 2022.

DENTITH, M.; MUDGE, S. Geophysics for the mineral exploration geoscientist. AusIMM Bulletin. New York: Cambridge University Press, 2018. https://doi.org/10.1017/CB09781139024358.002.

DNPM. **Projeto Geofísico Brasil – Canadá**. Brasília: Geological Survey of Canada, 1977. Texto e mapas.

DNPM. **Sumário Mineral 2009**. Brasília: DNPM, 2009. v. 29. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/centraisde-conteudo/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2009/@@ download/file/sumario_mineral_2009.pdf. Acesso em: 15 out. 2019.

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, 1997.

DRUMMOND, J. B. R.; PUFAHL, P. K.; PORTO, C. G.; CARVALHO, M. Neoproterozoic peritidal phosphorite from the Sete Lagoas Formation (Brazil) and the Precambrian phosphorus cycle. **Sedimentology**, v. 62, p. 1978 – 2008, 2015. DOI: https://doi.org/10.1111/sed.12214.

DUTRA, A. C.; MARANGONI, Y. R.; JUNQUEIRA-BROD, T. C. Investigation of the Goiás Alkaline Province, Central Brazil: Application of gravity and magnetic methods. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 33, n. 1, p. 43-55, 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j. jsames.2011.06.004.

FIANCO, C. B.; VIDOTTI, R. M.; PIRES, A. C. B.; CARMELO, A. C. Prospecting phosphorite using airborne geophysics in northeastern Goiás State – Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 30, n. 4, p. 459-471, 2012. DOI: http://dx.doi.org/10.22564/rbgf.v30i4.233.

FIGUEIREDO, A. M.; OESTERLEN, P. M. Prospecção de urânio no Estado de Goiás. **Revista Brasileira de**

Geociências, v. 11, n. 3, p. 147-152, 1981. Disponível em: http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/ view/12262/11820. Acesso em: 14 maio 2021.

FISCHEL, D. P.; PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A.; ARMSTRONG, R. U-Pb SHRIMP and Sm-Nd geochronology of the Silvânia Volcanics and Jurubatuba Granite: juvenile Paleoproterozoic crust in the basement of the Neoproterozoic Brasília Belt, Goiás, central Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 73, n. 3, p. 445-460, 2001. DOI: https://doi.org/10.1590/S0001-37652001000300012.

FRASCA, A. A. S. **Amálgamas do W-Gondwana na Província Tocantins**. 2015. 172 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade de Brasília. Instituto de Geociências. Brasília, 2015. Disponível em: https:// rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/15296. Acesso em: 19 nov. 2021.

FRASCA, A. A. S.; RIBEIRO, P. S. E. **Evolução crustal e metalogenia da porção centro norte da faixa Brasília:** estados do Tocantins e Goiás. Goiânia: CPRM, 2019. 318 p. il., + mapas. ISBN 978-85-7499-548-9. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/21486. Acesso em: 20 nov. 2021.

FREITAS, Aurélio Figueiredo; MARMOS, José Luiz. **Atlas geoquímico do estado de Roraima**. Recife: CPRM, 2017. 225 p. Projeto levantamento geoquímico de baixa densidade do estado de Roraima. ISBN: 978-85-7499-357-7. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/19822. Acesso em: 22 ago. 2022.

FUCK, R. A. A Faixa Brasília e a Compartimentação Tectônica na Província Tocantins. *In*: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 4., 1994, Brasília, 1994. **Atas** [...]. Brasília: SBG, 1994. p. 184-187.

FUCK, R. A.; DANTAS, E. L.; PIMENTEL, M. M.; BOTELHO, N. F.; ARMSTRONG, R.; LAUX, J. H.; JUNGEUS, S. L.; SOARES, J. E.; PRAXEDES, I. F. Paleoproterozoic crust-formation and reworking events in the Tocantins Province, central Brazil: A contribution for Atlantica supercontinent reconstruction. **Precambrian Research**, v. 244, n. 1, p. 53-74, 2014. DOI: https://doi. org/10.1016/j.precamres.2013.12.003.

FUCK, R. A.; JARDIM DE SÁ, E. F.; PIMENTEL, M. M.; DARDENNE, M. A.; PEDROSA SOARES, A. C. As Faixas de Dobramentos Marginais do Cráton do São Francisco: Síntese dos conhecimentos. *In*: DOMINGUEZ, J. M. L. & MISI, A. (eds). **O Cráton do São Francisco**. Salvador: SBG/SGM/CNPq, 1993. p. 161-185.

GILL, D.; SHILONI, Y. Abundance and distribution of uranium in Senonian phosphorites, Arad basin, southern

Israel. Journal of African Earth Sciences, v. 20, n. 1, p. 17-28, Jan. 1995. DOI: https://doi.org/10.1016/0899-5362(95)00041-Q.

GNOJEK, I.; PRICHYSTAL, A. A new mineralization detected by airborne gamma-ray spectrometry in northern Moravia, Czechoslovakia. **Geoexploration**, v. 23, n. 4, p. 491-502, Dec. 1985. DOI: https://doi.org/10.1016/0016-7142(85)90076-6.

GOIÁS. Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento. Goiás em dados: 2017. Goiânia: IMB-Insituto Mauro Borges, 2018. 113 p. Disponível em: https://www. imb.go.gov.br/files/docs/publicacoes/goias-em-dados/ godados2017.pdf. Acesso em: 03 set. 2022.

GONZAGA, G. M.; TOMPKINS, L. A. Geologia do diamante. *In*: SCHOBBENHAUS, C.; QUEIROZ, E. T.; COELHO, C. E. S. (eds.). **Principais depósitos minerais do Brasil**. Brasília: DNPM, 1991. v. 4, p. 53-116.

GORAYEB, P. S. S. **Evolução geológica da região de Araguacema - Pequizeiro, Goiás**. 1981. 99 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1981. Disponível em: http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/8700. Acesso em: 22 ago. 2022.

GORAYEB, S. S. Corpos Serpentiníticos da Faixa Araguaia na Região de Araguacema-Pequizeiro – Conceição do Araguaia (Goiás-Pará). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 19, n. 1, p. 51-62, 1989. Disponível em: http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/ view/9931.

GUIMARÃES, S. B.; MOURA, M. A.; DANTAS, E. L. Petrology and geochronology of the Bom Jardim de Goiás copper deposit (GO). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, n. 4, p. 841-862, 2012. Disponível em: http://ppegeo. igc.usp.br/index.php/rbg/article/download/7974/7398. Acesso em 22 ago. 2022.

HASUI, Y.; ABREU, F. A. M.; SILVA, J. M. R. Estratigrafia da Faixa de dobramentos Paraguai-Araguaia no centronorte do Brasil. **Boletim IG**, Instituto de Geociências, USP, v. 8, p. 107 - 118, 1977. Disponível em: https:// ppegeo.igc.usp.br/index.php/bigusp/article/view/2121. Acesso em: 21 nov. 2021.

HASTING, D. A.; DUNBAR, P. K. **Global Land Onekilometer Base Elevation (GLOBE):** Digital Elevation Model, Documentation, version 1.0. Boulder (Colorado): National Oceanic and Atmospheric Administration, 1999. 147 p. (NGDC key to geophysical Records Documentation, n. 34). Disponível em: https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/ topo/report/globedocumentationmanual.pdf. Acesso em 22 ago. 2022. ISLES, D. J.; RANKIN, L. R. **Geological interpretation** of aeromagnetic data: aeromagnetic prospecting - data processing. Australia: Australian Society of Exploration Geophysicists, 2013. 365 p. ISBN 978.064.3098-09-1. Disponível em: https://www.aseg.org.au/sites/ default/files/ebook-ASEG-eBook-Geo-Interpretation-of-Aeromagnetic-Data-Opt-for-user-1621.pdf. Acesso em: 22 ago. 2022.

JAYME FILHO, Oscar; BARROS, Adalberto Maia; MONTES, Manuel Lamartin; CARDOSO, Oduvaldo Raimundo Fabiano Alho; VIVIAN, Osorio. **Projeto Serra da Mesa GO-403:** relatório final. Goiânia: CPRM, 1975. 2 v. https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/6909. Acesso em: 20 abr. 2022.

JUNQUEIRA-BROD, T. C.; ROIG, H. L.; GASPAR, J. C.; AFFONSO, B. J.; MENESES, P. R. A Província Alcalina de Goiás e a extensão do seu vulcanismo kamafugítico. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, n. 4, p. 559-566, 2002. Disponível em: https://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/ rbg/article/view/9853. Acesso em: 22 ago. 2022.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 2ed. Boca Raton: CRC Press, 1992. 365 p.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **An introduction to geophysical exploration**. 3 ed. Oxford: Blackwell Science, 2002. 272 p. ISBN: 0 632 04929 4.

KOCHENOV, A. V.; BATURIN, G. N. The paragenesis of organic matter, phosphorus, and uranium in marine sediments. Lithology and Mineral Resources, v. 37, p. 107-120, 2002. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1014816315203.

KOLJONEN, K.; STENIUS, P.; BUCHERT, J. The surface chemistry of PGW pulp fibre fractions. *In*: INTERNATIONAL MECHANICAL PULPING CONFERENCE, 1997, Stockholm, Sweden. **Proceedings** [...]. Stockholm: Swedish Association of Pulp and Paper Engineers, 1997. p. 407-411.

LACERDA FILHO, J. V.; SANTOS, D. R. V.; MARTINS, F. R.; SOUZA, J. O.; GOLLMANN, K.; CARNEIRO, J. S. M.; MENEGHINI; P. F. V. B.; HATTINGH, K.; SILVA, E. R.; EBERHARDT, D. B. **Projeto Oeste de Goiás**. Goiânia: CPRM, 2021. 537 p. (Programa Novas Fronteiras: Levantamento Geológico e potencial de Novas Fronteiras). ISBN: 978-65-5664-101-0. Disponível em: https://rigeo. cprm.gov.br/handle/doc/20469. Acesso em: 22 ago. 2022.

LACERDA FILHO, J. V.; SILVA, A.; RESENDE, A. **Geologia e recursos minerais do estado de Goiás e Distrito Federal:** texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais do estado de Goiás e Distrito Federal. Goiânia: CPRM; METAGO; UNB, 1999. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/2418. Acesso em: 22 ago. 2022.

LASA - Engenharia e Prospecções S. A. **Projeto Aeromagnetométrico Nordeste da Bacia do Paraná** - **Bloco Oeste e Serra das Araras**. Relatório Final de Aquisição e Processamento de Dados. Rio de Janeiro: Petrobrás, 1992. 2 v. (arquivado no SEDOC/PETROBRAS/ Rio de Janeiro sob o registro 103-08505).

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. 788 p. il. ISBN: 978-85-7499-057-6.

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. 3-4, p. 679-68, 1993. DOI: https://doi.org/10.1071/EG993679.

MARINI, O. J.; BOTELHO, N. F. A Província de Granitos Estaníferos de Goiás. **Revista da Sociedade Brasileira de Geociencias**, v. 16, n. 4, p. 119-131, 1986. Disponível em: http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/ view/12029. Acesso em: 21 nov. 2021.

MARQUES, G. C. Evolução tectônica e metalogenética no contexto do depósito aurífero de Fazenda Nova, Arco Magmático de Arenópolis, Goiás. 2017. 169 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Programa de Pósgraduação em Geologia, Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2017. Dispoinível em: https://repositorio.unb.br/ handle/10482/31111. Acesso em 23 ago. 2022.

MARTINELLI, C. D. **Petrografia, estrutural e fluidos da mineralização aurífera dos Araés - Nova Xavantina-MT**. 1998. 183 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Rio Claro, 1998.

MARTINS – NETO, M. A.; PEDROSA – SOARES, A. C.; LIMA, S. A. A. Tectono – sedimentary evolution of sedimentary basins from Late Paleoproterozoic to Late Neoproterozoic in the São Francisco craton and Araçuai fold belt, eastern Brazil. **Sedimentary Geolology**, v. 141-142, p. 343-370, 2001. DOI: https://doi.org/10.1016/S0037-0738(01)00082-3.

MINEROPAR. Minerais do Paraná S. A. **Geoquímica de solo - Horizonte B:** relatório final de projeto. Curitiba: Mineropar, 2005. v. 2. Disponível em: http:// www.documentador.pr.gov.br/documentador/pub. do?action=d&uuid=@gtf-escriba-minerop@ff261ce6-49d1-4516-ba61-675eac37770b. Acesso em: 23 ago. 2022. 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, 1997. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/279937934_Fundamentals_of_airborne_gamma-ray spectrometry. Acesso em: 23 ago. 2022.

MINTY, B.; LUYENDYK, A.; BRODIE, R. Calibration and data processing for airborne gamma ray spectrometry. **AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics**, v. 17, n. 2, p. 51-62, 1997.

MONTEIRO, C. M. Fosforitos do Grupo bambuí na região de Campos Belos (GO)/Arraias (TO), na borda oeste do Cráton São Francisco. 2009. 150 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília - UnB, 2009. Disponível em: https://repositorio.unb.br/handle/10482/4898. Acesso em: 13 maio 2021.

MORAES ROCHA, L. G. DE; PIRES, A. C. B.; CARMELO, A. C.; ARAÚJO FILHO, J. O. DE. Geophysical characterization of the Azimuth 125° lineament with aeromagnetic data: Contributions to the geology of central Brazil. **Precambrian Research**, v. 249, p. 273–287, 2014. DOI: https://doi. org/10.1016/j.precamres.2014.05.005.

NASCIMENTO, M. A. L. Geomorfologia do estado de Goiás. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 12, n. 1, p. 01-22, 1991. Disponível em: https://files.cercomp.ufg. br/weby/up/215/o/NASCIMENTO_Maria_Amelia_Leite_Geomorfologia Go.pdf. Acesso em: 23 ago. 2022.

NATHAN, Y. The mineralogy and geochemistry of phosphorites. *In*: NRIAGU, J. O.; MOORE, P. B. (eds) **Phosphate Minerals**. Springer, Berlin: Heidelberg, 1984. P. 275-291. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-61736-2_8.

OHOFUGI, Walter. **Projeto Alto Garças:** Relatório Final de Operação. Aerocintilometria e Aeromagnetometria. Goiania: CPRM/SUREG-GO, 1971. https://rigeo.cprm. gov.br/handle/doc/14038. Acesso em: 20 abr. 2022.

OLIVEIRA, C. G.; BEDRAN DE OLIVEIRA, F.; DELLA GIUSTINA, M. E. S.; MARQUES, G. C.; DANTAS, E. L.; PIMENTEL, M. M.; BUNH, B. M. The Chapada Cu-Au Deposit, Mara Rosa Magmatic Arc, Central Brazil: Constraints on the Metalogenesis of a Neoproterozoic Large Porphyrytype Deposit. **Ore Geology Reviews**, v. 72, part. 1, p. 1-21, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j. oregeorev.2015.06.021.

OLIVEIRA, C. G.; QUEIROZ, C. L. de; PIMENTEL, M. M. The arenopólis-mara rosa Gold-Copper Belt, Neoproterozoic Goiás Magmatic Arc. **Revista Brasileira Geociências**, v. 30, n. 2, p. 219-221, 2000. Disponível em: https://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/ view/10651. Acesso em: 23 ago. 2022.

OLIVEIRA, C. G.; OLIVEIRA, F. B.; DANTAS, E. L.; FUCK, R. A. **Geologia da folha Campinorte SD.22-Z-B-I**. Goiânia: CPRM, 2007. Escala 1:100.000. Programa Geologia do Brasil - PGB; Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/ handle/doc/10425. Acesso em 08 set. 2022.

ORRIS, G. J.; CHERNOFF, C. B. Review of world sedimentary phosphate deposits and occurrences. *In*: Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry, v. 8, p. 559 – 573, 2004. DOI: https://doi.org/10.1016/S1874-2734(04)80022-6.

PAIXÃO, M. A.; NILSON, A. A.; DANTAS, E. L. The Neoproterozoic Quatipuru ophiolite and the Araguaia fold belt, central-northern Brazil, compared with correlatives in NW Africa. In: PANKHURST, R. J.; TROUW, R. A. J.; BRITO NEVES, B. B.; DE WIT, M. J. (eds). **West Gondwana:** Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region. London: Geological Society, 2008. p. 297-318. (Special Publications, 294). DOI: https://doi.org/10.1144/SP294.16.

PAULA–SANTOS, G. M.; BABINSKI, M.; KUCHENBECKER, M.; CAETANO – FILHO, S.; TRINDADE, R. I.; PEDROSA – SOARES, A. C.; New evidence of an Ediacaran age for the Bambuí Group in Southern são Francisco craton (eastern Brazil) from zircon U – Pb and isotope chemostratigraphy. **Gondwana Research**, v. 28, n. 2, p. 702-720, 2015. https://doi.org/10.1016/j.gr.2014.07.012.

PEIXOTO, E. M. A. Elemento Químico: Potássio. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 19, 2004. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc19/a14.pdf. Acesso em: 31 nov. 2020.

PIMENTEL, M. M. The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil: a geochronological and isotopic approach. **Brazilian Journal of Geology**, v. 46 (Supplement, 01), 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/2317-4889201620150004. Acesso em: 20 abr. 2022.

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A. Geologia da Sequência Vulcano-Sedimentar de Arenópolis (GO). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 16, n. 2, p. 217-223, 1986. Disponível em: http://bjg.siteoficial.ws/1986/n2/pimentel. pdf. Acesso em: 23 ago. 2022.

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A.; JOST, H.; FERREIRA FILHO, C. F.; ARAÚJO, S. D. The basement of the Brasília fold belt and the Goiás magmatic arc. *In*: MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. de A.; CORDANI, U. G. (ed.). **Tectonic Evolution of South America**. Rio de Janeiro: 31st International Geological Congress, 2000. 1v (4 partes). p. 195-229. ISBN 8590148211. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/19419. Acesso em: 23 ago. 2022.

PIMENTEL, M. M.; GIOIA, S. M. C. Nd isotopic charactheristics of the Firminópolis Gneiss: Implications for the southeastern limit of the Goiás Magmatic Arc. *In*: SIMPÓSIO SUL AMERICANO DE GEOLOGIA ISOTÓPICA, 9., 1997, Campos do Jordão. **[Atas]** [...]. Campos de Jordão: [IGc-USP], 1997. p. 234-235.

PIMENTEL, M. M.; HEAMAN, L.; FUCK, R. A. MARINI, O. J. U-Pb zircon geochronology of Precambrian tinbearing continental-type acid magmatism in central Brazil. **Precambrian Research**, v. 52, p. 321-335, 1991. DOI: https://doi.org/10.1016/0301-9268(91)90086-P.

PIMENTEL, M. M.; JOST, H.; FUCK, R. A. O Embasamento da Faixa Brasília e o Arco Magmático de Goiás. *In*: MANTESSO NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. (orgs.). **Geologia do Continente Sul-Americano:** Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca. 2004. p. 355-368. ISBN 978-8587-256-45-4. Disponível em: https://geologia.ufc.br/wp-content/ uploads/2016/02/geologia-do-continente.pdf. Acesso em: 19 nov. 2021.

PIMENTEL, M. M.; RODRIGUES, J. B.; DELLA GIUSTINA, M. E. S.; JUNGES, S. L.; MATTEINI, M. The Tectonic Evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, Central Brazil, based on SHRIMP and LA-ICPMS U-Pb sedimentary provenance data: a review. Journal of South America Earth Sciences, v. 31, v. 4, p. 345-357, 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jsames.2011.02.011.

PINHO, F. E. Geoquímica do depósito de ouro de Nova Xavantina - leste do Estado de Mato Grosso. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. **Anais** [...]. Natal: SBG, 1990. v. 3, p. 1316-1330.

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. 1995. Disponível em: https://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/11501. Acesso em: 23 ago. 2022.

PIRES, A. C. B.; HARTHILL, N. Statistical analysis of airborne gamma-ray data for geologic mapping purposes: Crixás – Itapaci area, Goias, Brazil. **Geophysics**, v. 54, n. 10, p. 1326-1332, 1989. DOI: https://doi. org/10.1190/1.1442592.

RADAELLI, V. A. **Níquel do Morro Do Engenho - Estado de Goiás**. Goiânia: CPRM, 2000. Disponível em: http:// rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/1553. Acesso em: 20 abr. 2022. RIBEIRO, P. S. E.; ALVES, C. L. Geologia e recursos minerais da região de Palmas – Folhas Miracema do Norte SC.22-X-D, Porto Nacional SC.22-Z-B e Santa Teresinha SC.22-Z-A. Escala 1:250. 000. Goiânia: CPRM, 2017. 483 p. il., color. ISBN: 978-8574-992-53-2. Disponível em: https://rigeo. cprm. gov. br/handle/ doc/18076. Acesso em: 21 nov. 2021.

REIS, L. K. O. dos. Arcabouço Tectônico da Porção Centro-Norte da Faixa Brasília com Base em Dados Magnéticos e Gravimétricos. 2016. 72 f. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) - Universidade de Brasília-UnB, Brasília, 2016. Disponível em: https:// repositorio.unb.br/handle/10482/22620. Acesso em: 23 ago. 2022.

RIBEIRO, P. S. E. **Projeto minerações associadas à plataforma Bambuí no sudeste do Estado do Tocantins (fosfato)** – Estado de Tocantins e Goiás. Goiânia: CPRM, 2014. 49 p. ISBN: 978-8574-992-59-4. Programa Recursos Minerais do Brasil Insumos Minerais para Agricultura. Informe de Recursos Minerais. Série Insumos Minerais para Agricultura, 15. Disponível em : https:// rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/17702. Acesso em: 13 maio 2021.

RUDNICK, R. L.; GAO, S. Composition of the continental crust. **Treatise on Geochemistry**, v. 3, p. 1-65, 2003. DOI: https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/03016-4.

SAUNDERS, D.; BRANCH, J. F.; THOMPSON, C. K. Test of Australian aerial radiometric data for petroleum reconnaissance. Geophysics, v. 59, n. 3, p. 411-419, 1994. DOI: https://doi.org/10.1190/1.1443603.

SCHOBBENHAUS, C. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo – Folha Goiás (SD 22): texto explicativo. Brasília: DNPM, 1975. 114 p.

SEER, H. J. **Geologia, deformação e mineralização de cobre no complexo vulcano-sedimentar de Bom Jardim de Goiás**. 1985. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade de Brasília-UnB, 1985.

SERAFIM, I. C. C. O.; CARMELO, A. C.; BOTELHO, N. F. Airborne radiometric identification of uranium anomalies in northeast Goiás. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METALOGENIA, 4., Gramado, 07-10 de April, 2019. **Anais** [...]. Gramado: SBG, 2019. p. 135. Disponível em: https://www.ufrgs.br/sbm/wp-content/uploads/2019/04/ ANAIS.pdf. Acesso em: 13 maio 2021.

SHEN, J.; YUAN, L.; ZHANG, J.; LI, H.; BAI, Z.; CHEN, X.; ZHANG, W.; ZHANG, F. Phosphorus dynamics: from soil to plant. **Plant Physiology**, v. 156, n. 3, p. 997-1005, 2011. DOI: https://doi.org/10.1104/pp.111.175232.

SILVA, M. F. Aerogeofísica, litogeoquímica e geologia na caracterização do rifte intracontinental da faixa Paraguai. 2007. 170 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília-UnB, Brasília, 2007. Disponível em: https://rigeo. cprm.gov.br/handle/doc/382. Acesso em: 23 ago. 2022.

SOUZA, J. O.; MORETON, L. C. **Xambioá:** Folha SB.22-Z-B. Estados do Pará e Tocantins. Brasília: CPRM, 1995. 57 p. Escala 1:250.000. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. Programa Grande Carajás. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/ cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=560&sid=26. Acesso em: 23 ago. 2022.

SPECTOR, A.; GRANT, F. S. Statistical models for interpreting aeromagnetic data. **Geophysics**, Tulsa, v. 35, n. 2, p. 293-302, Apr. 1970. DOI: https://doi.org/10.1190/1.1440092.

STRIEDER, A.; NILSON, A. A. Melange ofiolítica nos metassedimentos Araxá de Abadiânia (GO) e implicações tectônicas regionais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 22, n. 2, p. 204-215, 1992. Disponível em: https:// ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/11699. Acesso em: 01 set. 2022.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E.; KEYS, D. A. **Applied Geophysics**. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 770 p.

U. S. Geological Survey. **Mineral commodity summaries 2020**. Reston: U.S. Geological Survey, 2011. p. 200. Disponível em: https://pubs.er.usgs.gov/publication/ mcs2020. Acesso em: 13 maio 2021.

ULBRICH, I.; ZHANG, Q.; WORSNOP, D.; JIMENEZ, J. Interpretation of organic components from Positive Matrix Factorization of aerosol mass spectrometric data. Atmospheric Chemmistry and Physics, v. 9, p. 2891-2918, 2009. DOI: https://doi.org/10.5194/acp-9-2891-2009.

USSAMI, N.; MOLINA, E. C. Flexural modeling of the neoproterozoic Araguaia belt, central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, Oxford, v. 12, n. 1, 1999, p. 87-98. DOI: https://doi.org/10.1016/S0895-9811(99)00007-3.

WILFORD, J. R.; BIERWITH, P. N.; CRAIG, M. A. Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/ regolith mapping and applied geomorphology. **Journal** of Australian Geological & Geophysical, v. 17, n. 2, p. 201-216, 1997. ISSN 1320-1271.

WILFORD, J.; MINTY, B. The Use of Airborne Gamma-ray Imagery for Mapping Soils and Understanding Landscape Processes. **Developments in soil Science**, v. 31, p. 207-218, 2006. DOI: https://doi.org/10.1016/S0166-2481(06)31016-1.

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 BÁSICOS

SUSTENTABILIDADE

1.44.1

Mi

LEVANTAMENTOS GEOOUÍMICOS



DE RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS

0

13 всягодина и водина и водина

1

PRÓ-EOUIDADE

ÁREA DE ATUAÇÃO PROGRAMAS INTERNOS

5 800.007 (1)



GEODIVERSIDADE

COMITÊ DE ÉTICA

16 series recars

AGROGEOLOGIA

1.11.1

2 THE THE THE STREET ST

LEVANTAMENTOS BÁSICOS



SISTEMAS DE ALERTA HIDROLÓGICO





















DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS











-Me





8

RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADS PELA MINERAÇÃO

GEOLOGIA MÉDICA

PATRIMÔNIO GEOLÓGICO

ECOLÓGICO-ECONÔMICO

(C)

U

E GEOPAROUES

ZONEAMENTO

Mi

1.11.1



3 ≝##655 _∕∕√∕❤ 6 ADDA HETANG





1.11.1

Mi

MUSEU DE

CIÊNCIAS DA TERRA

REDE DE BIBLIOTECAS

REDE DE LITOTECAS

Mi







GOVERNANÇA





















12 respectives









PARCERIAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS



ÁREA DE ATUAÇÃO

GEOPROCESSAMENTO

E SENSORIAMENTO REMOTO

TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

2 INCENTIAL SIGNAL SIGNAL

LABORATÓRIO DE ANÁLISE MINERAIS

SERVIÇOS COMPARTILHADOS

17

15 iiinn •**

PALEONTOLOGIA

*





ATLAS AEROGEOFÍSICO

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).



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

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



SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

