

RELATÓRIO INTERNO DIGEOF-CPRM

***PROPOSIÇÃO DE MÉTODOS DE
REPRESENTAÇÃO E DE INTERPRETAÇÕES DE
AEROGAMAESPECTROMETRIA E
AEROMAGNETOMETRIA***

AUTORES:

Marcus Flavio Nogueira Chiarini

Antônio Charles Oliveira

Roberto Gusmão de Oliveira

Luiz Gustavo Rodrigues Pinto

Diogo Alves De Sordi

João Batista Freitas de Andrade

Raphael Teixeira Correa

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	3
2. ESTUDO DE CASOS DE INTERPRETAÇÕES ANTIGAS	5
3. PROPOSIÇÃO DE MÉTODOS DE REPRESENTAÇÃO E INTERPRETAÇÕES DE AEROGAMAESPECTROMETRIA E AEROMAGNETOMETRIA... ..	7
3.1 Etapa 1 – Interpretação de Lineamentos Magnetométricos	
3.1.1: Projeto de Identificação e Caracterização de Anomalias Magnetométricas de Corpos Causativos de Base Semicirculares (PICAM)	
3.2 Etapa 2 – Interpretação de Domínios Gamaespectrométricos	
3.3 Etapa 3 – Integração das Interpretações com base de afloramentos	
3.4 Etapa 4 – Integração das Interpretações com base SIG pretérita	
4. CONCLUSÕES.....	28
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

Recomenda-se citar este como:

CHIARINI, M.F.N., OLIVEIRA, C.A., OLIVEIRA, R. G., PINTO, L.G.R., DE SORDI, D.A., ANDRADE, J.B.F e CORREA, R.T. ,2013. PROPOSIÇÃO DE MÉTODOS DE REPRESENTAÇÃO E DE INTERPRETAÇÕES DE AEROGAMAESPECTROMETRIA E AEROMAGNETOMETRIA, CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. RELATÓRIO INTERNO. 29pp.

1 - INTRODUÇÃO

Este relatório propõe a padronização “mínima” para os produtos de interpretação de gamaespectrometria e magnetometria como ferramenta de subsídio principalmente ao mapeamento geológico.

Para o desenvolvimento deste método de padronização foram criados os projetos experimentais (Figura 1): Mapas de Interpretação e Integração Geofísica-Geológica (MIIGG) com o intuito de serem “Um Produto Inicial para Mapeamento Geológico e Prospectivo”.

O título desse produto prioriza a ordem dos termos “interpretação” e “geofísica” justamente para passar ao leitor o caráter de inferência que o produto possui. Desta forma, não deve ser entendido como mapa geológico.

Justificativas

Nos últimos anos a CPRM tem produzido um grande volume de dados aerogeofísicos. A quantidade de dados aerogeofísicos gerados e a dimensão das áreas levantadas ultrapassam em muito a capacidade de investigação dos trabalhos de mapeamentos geológicos tradicionais.

O anseio moderno por integração de dados justifica a importância da padronização das interpretações.

Objetivos

Dentre os principais objetivos, além da construção de padrão, estão:

- A aceleração do conhecimento geofísico-geológico de grandes áreas em território nacional em curto período de tempo.
- A interpretação de dados de aerogeofísica na escala 1:250.000 em projetos onde a escala de mapeamento encontra-se em detalhe inferior a 1:250.000, principalmente na Amazônia Legal. Eventualmente 1:100.000.
- A geração de banco de dados em SIG das interpretações com discriminação e hierarquização das informações, incluindo anomalias magnetométricas.
- O fornecimento de subsídios para estratégias de aumento de eficiência dos detalhamentos geológicos seguintes, e por conseguinte, a diminuição dos custos e prazos.

Objetivos Específicos

- I. Efetuar a **integração de dados aerogeofísicos e geológicos** em uma mesma base cartográfica.

- II. **Ampliar o potencial de recursos minerais** da área de trabalho mediante uma avaliação consistente e detalhada dos dados geofísicos e geológicos e de sua relação com ocorrências e depósitos minerais conhecidos.
- III. Melhorar a **compreensão do arcabouço tectônico-estrutural** da área de trabalho por meio de uma interpretação consistente dos lineamentos magnetométricos.
- IV. Gerar um produto que permita aos gestores **selecionar áreas para detalhamentos** geológicos e pesquisas de novos recursos minerais.
- V. **Acelerar o conhecimento** e a integração geológica de alvos e assinaturas geofísicas observadas nos novos levantamentos.
- VI. Produzir um **método padrão simples** de interpretação e integração que possa ser empregado nas diversas regiões geográficas-geológicas do Brasil.

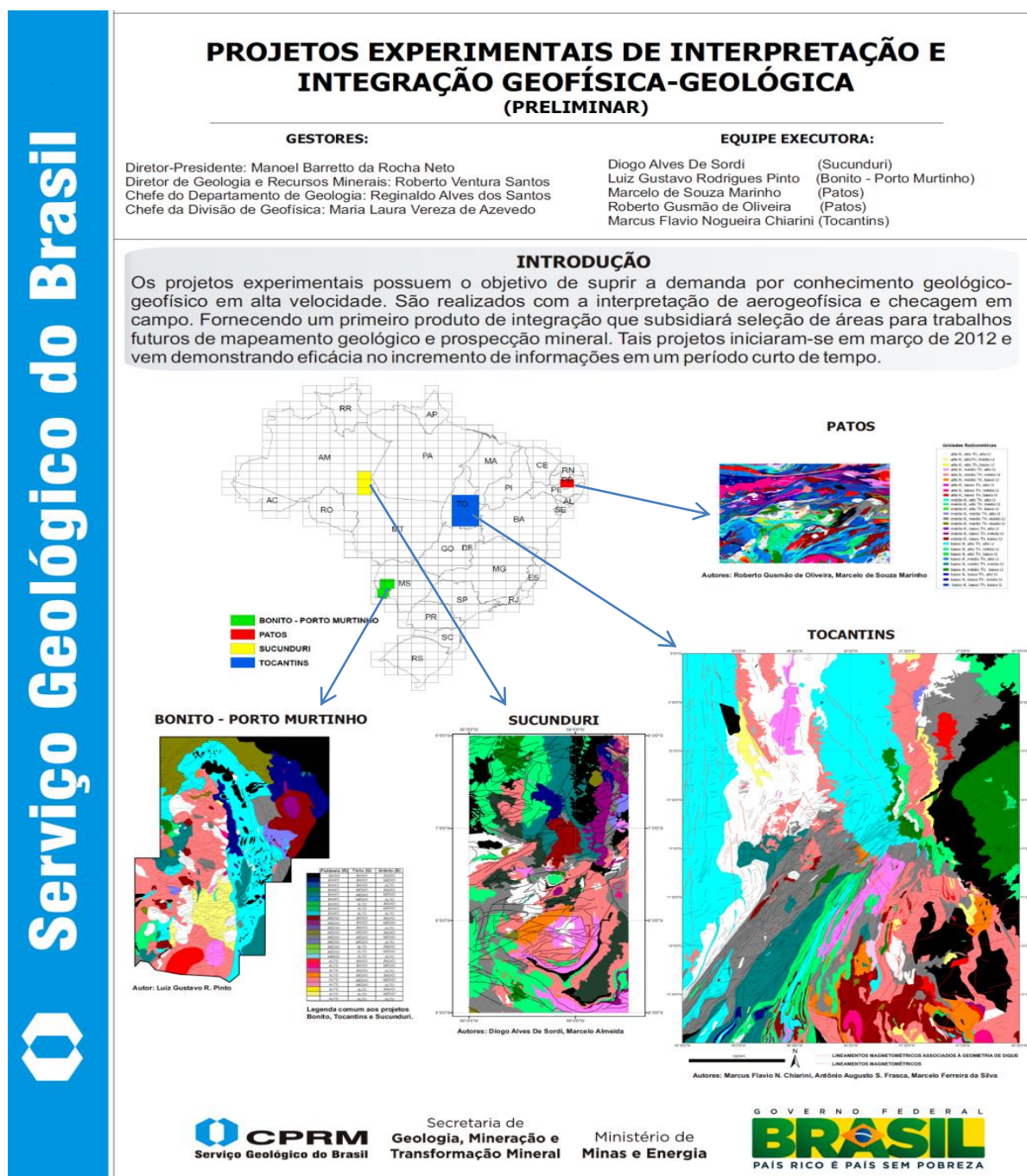


Figura 1. Figura esquemática ilustrando a distribuição dos quatro projetos experimentais de IIGG no Brasil, cada projeto propositadamente foi desenvolvido em áreas de dimensões e grau de conhecimento geológico distintos. Tocantins (8 folhas 1:250.000), Sucunduri (3 folhas 1:250.000), Bonito - Porto Murтинho (aproximadamente 3 folhas 1:250.000 em área) e Patos (1 folha 1:250.000).

É importante ressaltar que as peculiaridades de cada projeto devem ser atacadas de forma específica e que os dados aerogeofísicos podem ser tratados de várias formas e para diversas finalidades. Os intérpretes não devem concluir sua tarefa com o tipo de produto apresentado aqui, e sim iniciá-la e entender que esse é um produto mínimo que pode ser aplicado em qualquer região do planeta que possua dados de aerogamaespectrometria e aeromagnetometria.

Os processamentos e representações das interpretações propostas aqui possuem o intuito de serem o mais simples possível, de modo a ser realizado por profissionais com perfis distintos e mesmo assim guardarem semelhanças, tornando possível a integração de duas ou mais interpretações adjacentes espacialmente.

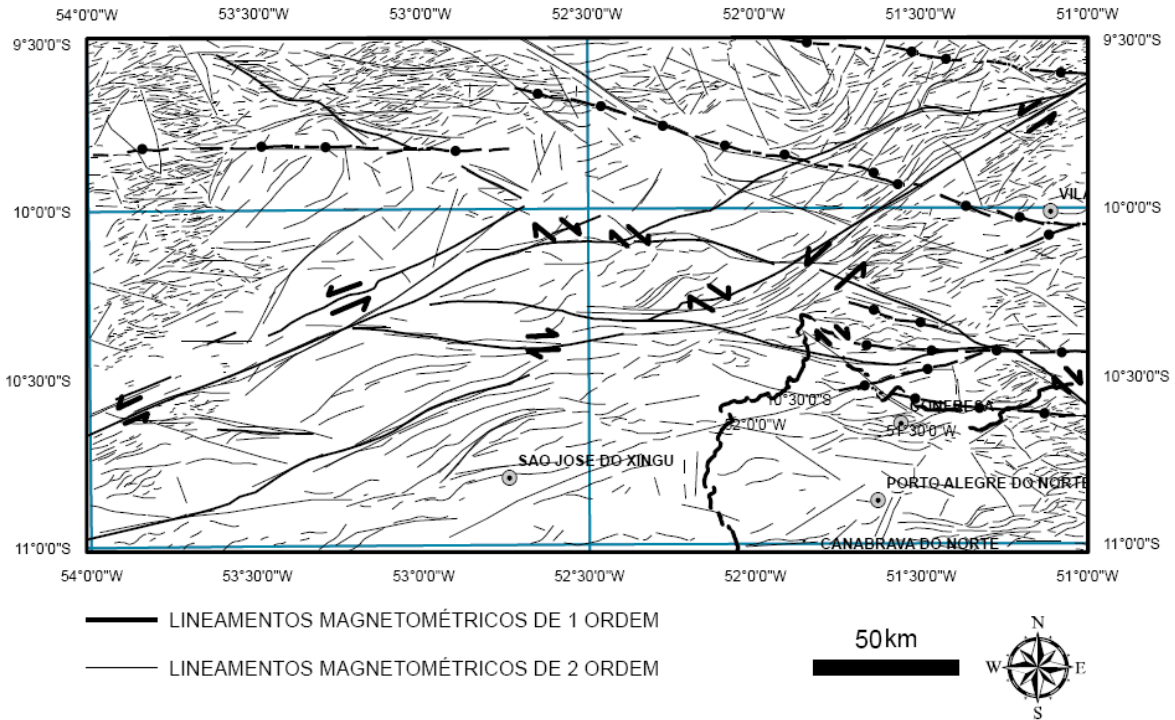
O intérprete tem que deixar claro a separação dos fatos das interpretações. A ambiguidade é intrínseca a qualquer método geofísico. Por exemplo: uma anomalia radiométrica negativa é um fato (pode ser interpretada como relacionada à água, areia, arenito, quartzito, ultramáficas, etc...), **associá-la à determinada rocha sem o mapeamento geológico sistemático é uma interpretação por vezes perigosa**. Outra observação que merece destaque é o fato de que um domínio de determinada rocha pode possuir mais de uma assinatura geofísica dependendo dos seguintes fatores: fácies, intemperismos, vegetação, umidade, altura e velocidade da aquisição, entre outros. Assim como um mesmo domínio de resposta geofísica pode representar mais de um tipo de rocha, como por exemplo: quartzito e arenito. Daí a importância do mapeamento geológico, que é **insubstituível**.

2. ESTUDO DE CASOS DE INTERPRETAÇÕES ANTIGAS

Vale ressaltar que esse “tipo” de produto de interpretação de aerogeofísica sempre foi realizado por geólogos e geofísicos como mapas de serviço assim como interpretações de foto aéreas e de sensores remotos. Porém, os critérios eram arbitrados por cada intérprete, o que dificulta a integração. Além da subjetividade comum a esse processo de interpretação qualitativa, as metodologias eram diferentes. A integração de interpretações distintas era onerosa.

Seguem alguns exemplos de interpretações antigas (Figuras 2 e 3, antes da padronização).

INTERPRETAÇÕES MAGNETOMÉTRICAS - ESTRUTURAS LINEARES



INTERPRETAÇÕES AEROGEOFÍSICAS - DOMÍNIOS E ESTRUTURAS LINEARES

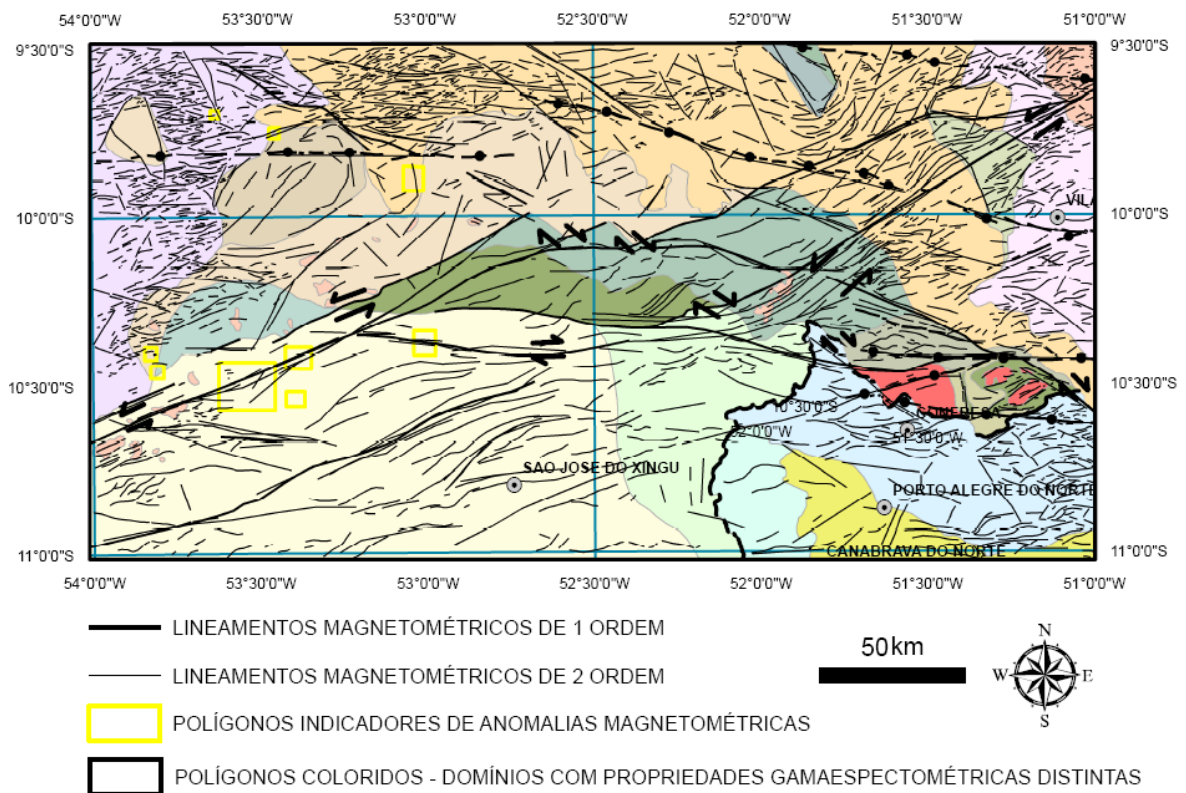


Figura 2. Interpretação Aerogeofísica da região nordeste de Mato Grosso. Exemplo de Interpretações antigas (antes da padronização). Autor: Marcus Flavio Chiarini,

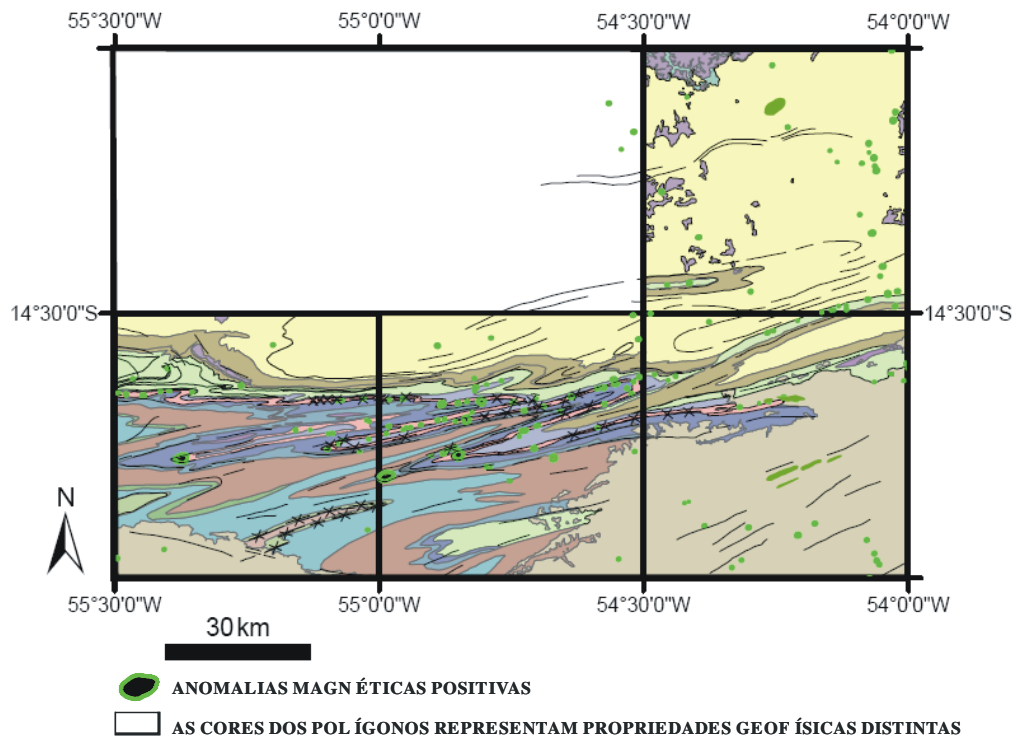


Figura 3. Interpretação Aerogeofísica da Região de Planalto da Serra. Exemplo de Interpretações antigas (antes da padronização). Autores: Marcus Flavio Chiarini, João Batista de Andrade, João Olímpio e Felicíssimo Borges, 2008.

3. PROPOSIÇÃO DE MÉTODOS DE REPRESENTAÇÃO E INTERPRETAÇÕES DE AEROGAMAESPECTROMETRIA E AEROMAGNETOMETRIA

- ETAPA 1 – INTERPRETAÇÃO DOS LINEAMENTOS MAGNETOMÉTRICOS: 1º e 2º ORDENS E ASSOCIADOS À GEOMETRIA DE DIQUE
- ETAPA 2 – DISCRIMINAÇÃO DOS DOMÍNIOS GAMAESPECTROMÉTRICOS
- ETAPA 3 – INTEGRAÇÃO E CORRELAÇÃO DAS INTERPRETAÇÕES COM BASE DE DADOS LITOLÓGICOS
- ETAPA 4 – INTEGRAÇÃO E CORRELAÇÃO DAS INTERPRETAÇÕES COM O SIG GEOLÓGICO

3.1: ETAPA 1: INTERPRETAÇÃO DOS LINEAMENTOS MAGNETOMÉTRICOS

Os conceitos aqui propostos são os seguintes:

- i) Lineamentos magnetométricos de 1ª ordem: mais expressivos, falhas, limites entre domínios;
- ii) Lineamentos magnetométricos de 2ª ordem: internos aos grandes domínios;
- iii) Lineamentos magnetométricos associados à geometria de dique: assinatura característica (quando houver);
- iv) Domínios magnetométricos: áreas de movimentação, comprimento de onda, *trend* e amplitude semelhantes;

Como o intuito é de simplificar, sugere-se indiscriminação quanto ao tipo de falha/estrutura associada aos lineamentos, isso não impede que o intérprete avance neste ponto, quando houver segurança da geometria, de indicar mais detalhes referentes à discriminação de estruturas na legenda (pode-se representar com cores diferentes determinadas estruturas interpretadas que mereçam destaque).

Lineamentos Magnetométricos de 1ª Ordem

Anomalias com baixa frequência (profundas) e com expressão regional. São lineamentos que apresentam predominantemente traços longos e curvilíneos, que delimitam domínios magnéticos (Figuras 4, 5 e 6).

As interpretações geológicas mais comuns para esses lineamentos são contatos entre domínios tectonoestratigráficos, zonas de cisalhamento dúcteis, zonas de cavalgamento (*nappes*) e contatos geológicos.

Lineamentos Magnetométricos de 2ª Ordem

Representam anomalias com alta frequência (rasas) e com expressão local. Normalmente, apresentam-se como lineamentos curtos e retilíneos, que definem a trama interna dos domínios magnéticos, também pode ser a representação local de lineamentos de 1ª Ordem. Geralmente, são interpretados como traços superficiais de foliações, zonas de cisalhamento rúptil, falhas ou fraturas (Figuras 4, 5 e 6).

Uma terceira classe de lineamentos foi criada para destacar os diques de rochas magnéticas, são corpos geológicos com resposta magnetométrica bem conhecida com padrões regulares e extensões regionais.

A tabela 1 resume os principais produtos magnetométricos utilizados para gerar os lineamentos de 1ª e 2ª ordens.

Tabela 1. Resumos dos principais produtos utilizados na interpretação magnetométrica, em que **M** é o campo magnético anômalo, **x** e **y** são direções horizontais e **z** é a direção vertical (Ferreira *et al.*, 2010).

Tema	Sigla	Fórmula	Objetivo/Interpretação	Unidade	Referência
Gradiente horizontal (direção x)	DX	$\frac{\partial M}{\partial x}$	Realce de estruturas na direção y	nT/m	-
Gradiente horizontal (direção y)	DY	$\frac{\partial M}{\partial y}$	Realce de estruturas na direção x	nT/m	-
Gradiente vertical (direção z)	DZ	$\frac{\partial M}{\partial z}$	Realce de fontes rasas	nT/m	-
Gradiente horizontal total*	GHT	$\sqrt{\frac{\partial M^2}{\partial x} + \frac{\partial M^2}{\partial y}}$	Os máximos marcam as bordas dos corpos.	nT/m	Cordell e Grauch (1985)
Gradiente total	GT	$\sqrt{\frac{\partial M^2}{\partial x} + \frac{\partial M^2}{\partial y} + \frac{\partial M^2}{\partial z}}$	Centraliza fontes. Todavia perde resolução com a profundidade dos corpos	nT/m	Roest <i>et al.</i> (1992); Li (2006)
Inclinação do sinal analítico	ISA	$\tan^{-1}\left(\frac{Dz}{GHT}\right)$	Equaliza fontes. Corpos rasos e profundos com amplitudes similares	rad	Miller e Singh (1994)
Theta map*	ThetaMap	$\cos^{-1}\left(\frac{GHT}{GT}\right)$	Equaliza fontes. Os máximos marcam os centros dos corpos	rad	Wijns <i>et al.</i> (2005)
Inclinação do gradiente horizontal total*	IGHT	$\tan^{-1}\left(\frac{GHT}{ Dz }\right)$	Equaliza fontes. Os máximos marcam as bordas dos corpos	rad	Cooper e Cowan (2006)
Inclinação do sinal analítico do gradiente horizontal total*	ISA_GHT	$\tan^{-1}\left(\frac{\frac{\partial GHT}{\partial z}}{\sqrt{\frac{\partial GHT^2}{\partial x} + \frac{\partial GHT^2}{\partial y}}}\right)$	Equaliza fontes. Os máximos marcam as bordas dos corpos.	rad	Ferreira <i>et al.</i> (2013)
Gradiente horizontal total da inclinação do sinal analítico	GHT_ISA	$\sqrt{\frac{\partial ISA^2}{\partial x} + \frac{\partial ISA^2}{\partial y}}$	Independente da inclinação do campo magnético. Os máximos marcam as bordas dos corpos.	rad/m	Verduzco <i>et al.</i> (2004)

* Comumente utilizados em dados reduzidos ao pólo.

INTERPRETAÇÕES MAGNETOMÉTRICAS - ESTRUTURAS LINEARES

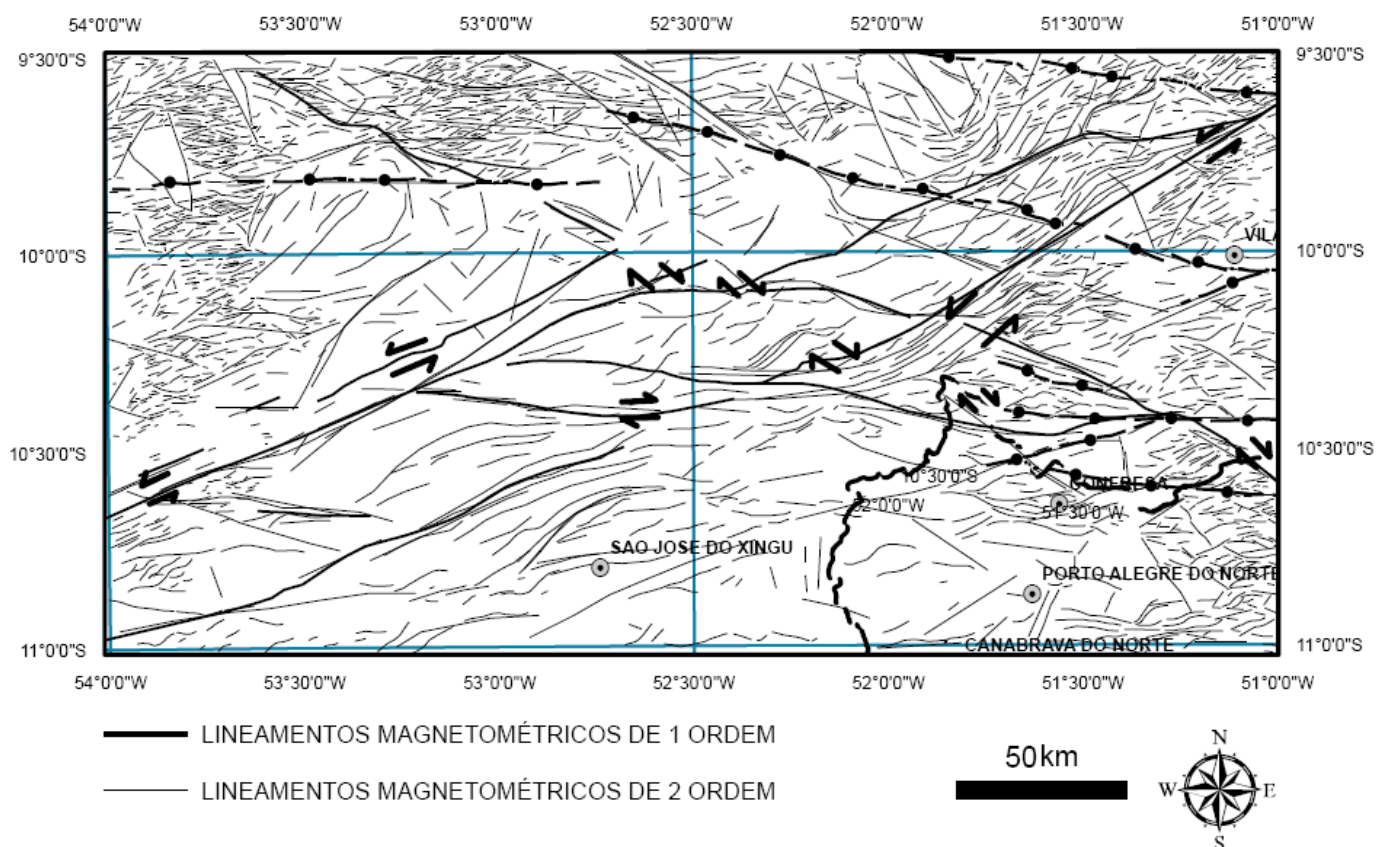


Figura 4. Interpretação de estruturas lineares em aeromagnetometria, Nordeste de Mato Grosso, Marcus Flavio N. Chiarini, 2009.

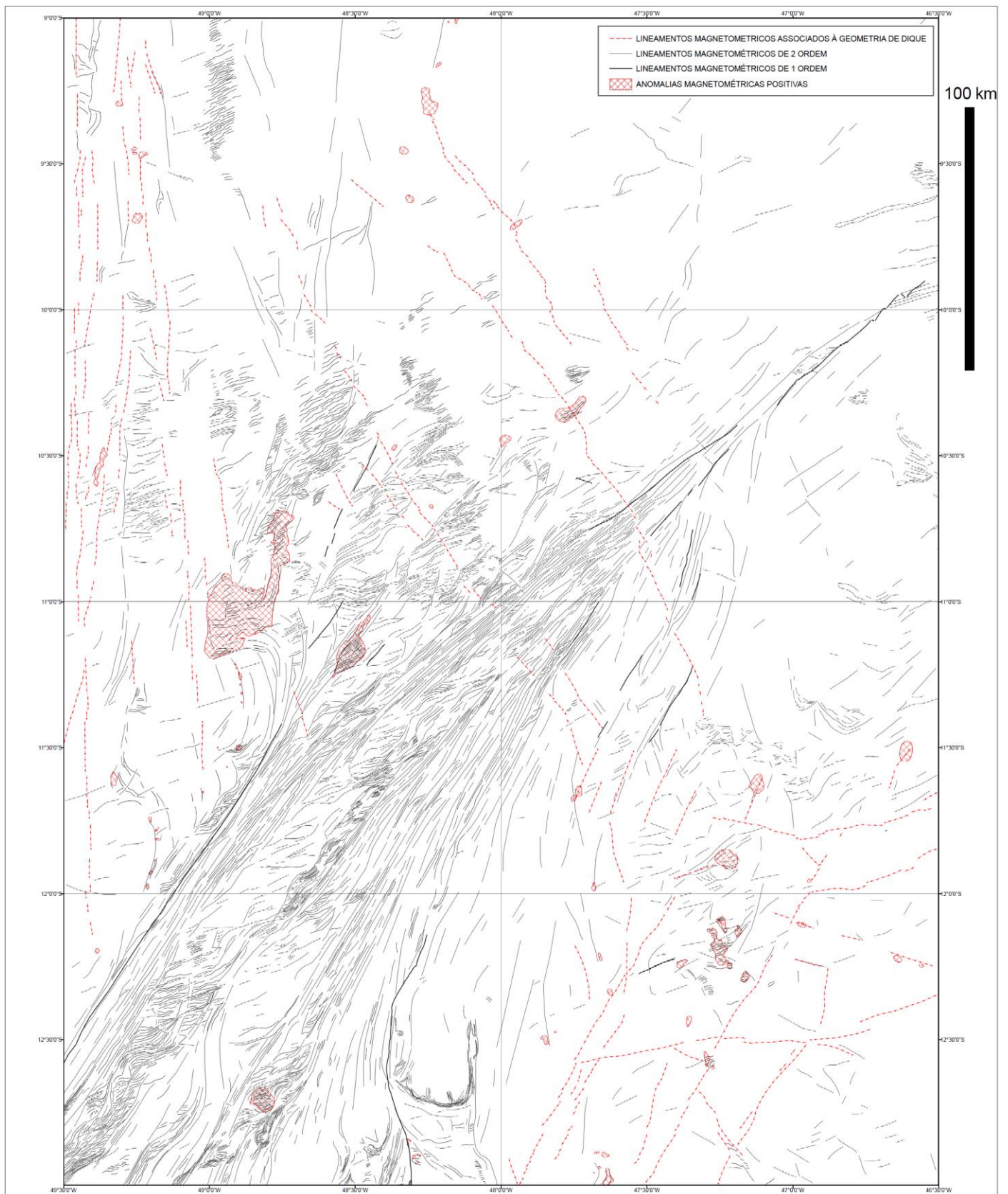


Figura 5: Exemplo 1º Etapa, Interpretação de Lineamentos Magnetométricos (Marcus Flavio N. Chiarini, 2012).



Figura 6. Exemplo 1º Etapa, Imagem ilustrativa no *Google Earth*: interpretação de lineamentos magnetométricos de 1ª e 2ª ordens em preto e lineamentos associados a geometria de dique em vermelho (Marcus Flavio N. Chiarini, 2012).

3.1.1: PROJETO DE IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ANOMALIAS MAGNETOMÉTRICAS DE CORPOS CAUSATIVOS SEMICIRCULARES (PICAM)

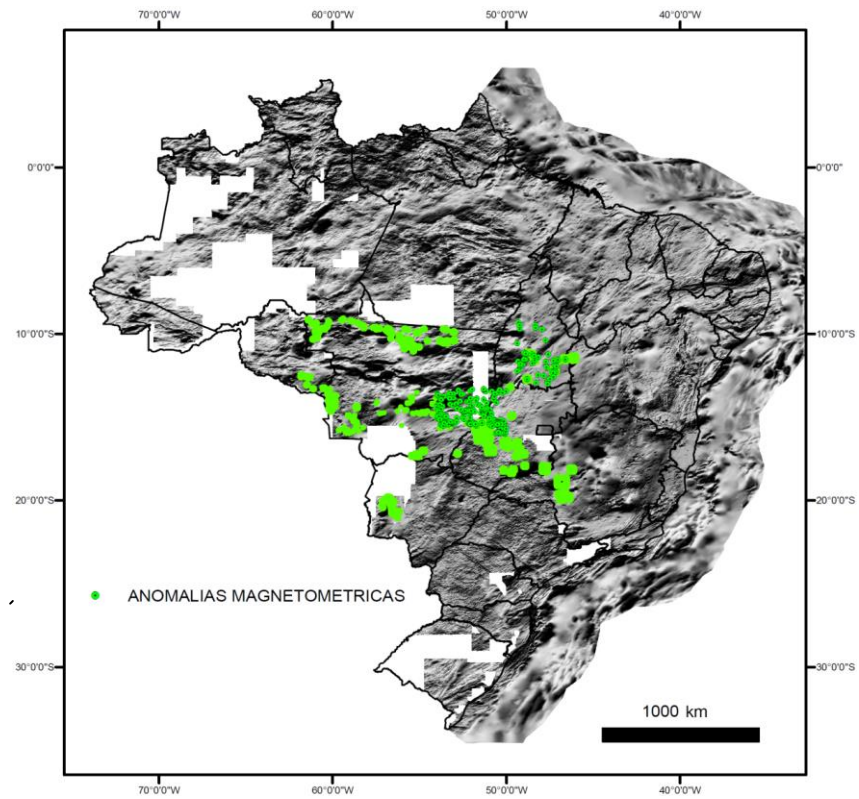
OBJETIVOS

Gerar catálogo hierarquizado e em SIG das principais anomalias magnetométricas do Brasil. Dentre várias informações objetivas sobre cada anomalia magnetométrica isolada de corpo causativo de base semi-circular estão (Figura 5):

- Nome da Anomalia (Sigla Estado – Número de série do Projeto Aerogeofísico – Número da Anomalia)
- Coordenada Geográfica (Longitude e Latitude)
- Correlação Geométrica com a Gamaespectrometria (baixa, média ou alta)
- Concentração de K (baixa, média ou alta)
- Concentração de e-Th (baixa, média ou alta)
- Concentração de e-U (baixa, média ou alta)
- Correlação com o Relevo (baixa, média ou alta)
- Tipo de Relevo (negativo, médio ou positivo)
- Correlação com estruturas lineares magnetométricas (baixa, média ou alta)
- Comprimento de onda (m)
- Amplitude do Gradiente (nT/m)
- Polaridade (normal ou invertida)
- Observações (ocorrências próximas, etc...)
- Nome do intérprete

Vale ressaltar que a amplitude de uma anomalia, assim como toda propriedade geofísica, possui forte dependência do contraste com a encaixante (*background*), pois dois corpos idênticos apresentam amplitudes distintas se medidos em relação a diferentes “*backgrounds*” da encaixante.

A magnetometria, além de fornecer subsídio à interpretação do arcabouço magneto estrutural, que condiciona o alojamento de vários corpos de interesse (potencial metalogenético), também elucida áreas de relativo alívio de pressão, interfaces entre domínios oxidantes e redutores, entre outras estruturas de relevância metalogenética. Para o estudo dessas estruturas serão realizados estudos particulares e ficha descritiva distinta das anomalias de base elipsoidal.

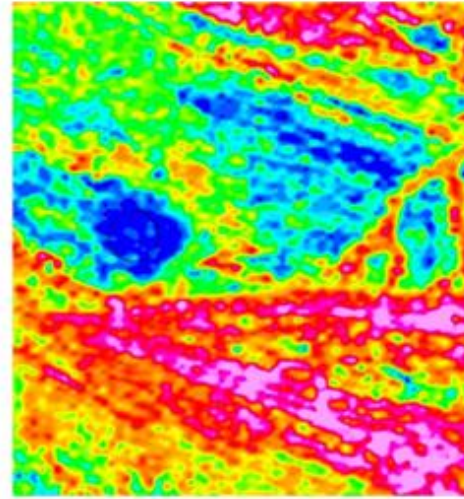
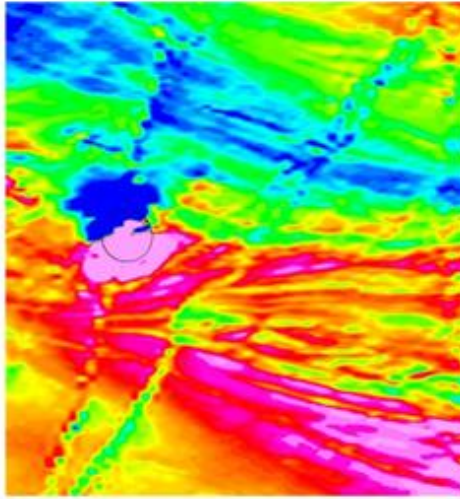


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	NOME	LONGITUDE	LATTITUDE	CORRELAÇÃO GEOMÉTRICA COM A GAMA	K	e _h	e _U	CORRELAÇÃO COM O RELEVO	RELEVO	CORRELAÇÃO COM ESTRUTURAS MAG	COMPRIMENTO DE ONDA (m)	AMPLITUDE DO GRADIENTE (nT/m)	POLARIDADE	OBS	PESQUISADOR
2	ESTADO-SÉRIE-NÚMERO	0	0	1 (BAIXA), 2 (MÉDIA), 3 (ALTA)	1 (BAIXA), 2 (MÉDIA), 3 (ALTA)	1 (BAIXA), 2 (MÉDIA), 3 (ALTA)	1 (BAIXA), 2 (MÉDIA), 3 (ALTA)	1 (BAIXA), 2 (MÉDIA), 3 (ALTA)	1 (NEGATIVO), 2 (MÉDIO), 3 (POSITIVO)	1 (BAIXA), 2 (MÉDIA), 3 (ALTA)	METROS	NANOTESLA/METRO	1 (NORMAL), 2 (INVERTIDA)	OCORRÊNCIAS, ETC...	
3															
4	GO-1113-1	0	0	2	1	2	2	1	2	3	1910	0.35	2		MARCUS FLAVIO N. CHIARINI
5	GO-1113-49	0	0	3	1	1	1	2	2	3	4330	0.20	1		MARCUS FLAVIO N. CHIARINI
6	GO-1113-50	0	0	1	2	1	1	2	2	1	1690	0.45	1		MARCUS FLAVIO N. CHIARINI

Figura 7. Derivada vertical com a seleção de anomalias em verde. Tabela de atributos.

MAG - CMA

GAMA - eTh



Ex.: de Correlação Geométrica com a Gamaespectrometria alta (#3)

Figura 8. Anomalia magnetométrica correlacionada com lineamentos NE associada à baixa concentração de potássio

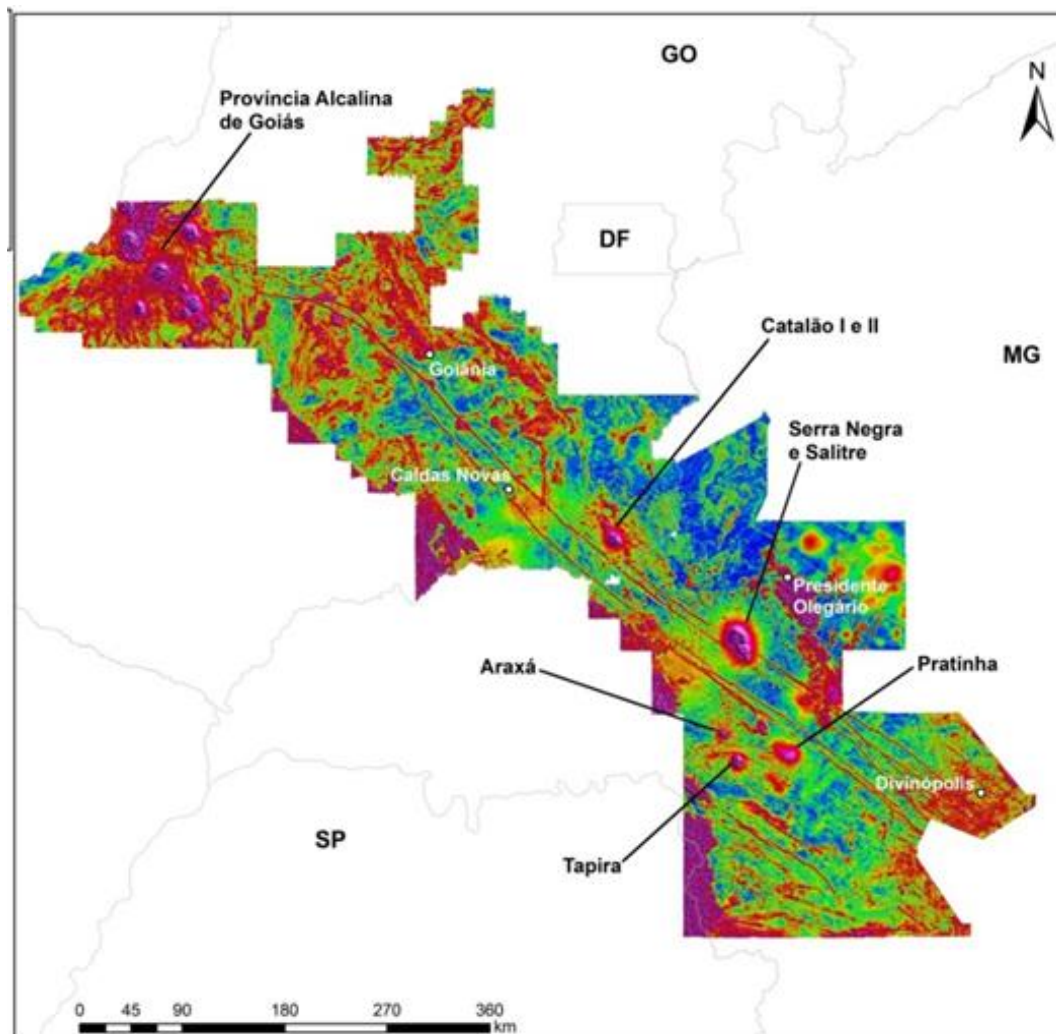


Figura 9: Exemplo de anomalias magnetométricas positivas com base semi-circular com alta correlação com estruturas magnetométricas, no caso, intrusões alcalinas e Lineamento Azimute 125°. (Figura cedida gentilmente pela Geóloga Dr. Loiane Moraes.)

3.2: ETAPA 2: INTERPRETAÇÃO DE DOMÍNIOS GAMAESPECTOMÉTRICOS

A discriminação de domínios com assinaturas gamaespectrométricas similares são práticas comuns e devem ser realizadas em todos os projetos, independentemente do objetivo específico de cada projeto, que deve ser atacado posteriormente. Devem-se observar os objetivos específicos de cada projeto e realizar tanto processamentos como interpretações específicas para cada problema. A liberdade é proposital.

Padronização dos domínios gamaespectrométricos:

A discussão sobre a linha de corte entre as classes baixa/média e média e alta são pertinentes. Um dos avanços no futuro breve será a arbitrariedade de valores objetivos dos tores limítrofes. Mesmo os atuais dados estando convertidos em concentração, ainda não podemos integrá-los, pois ainda restam algumas correções minuciosas. Em breve, com o resultados da integração estatística de todos os dados Gama (Mapa Gamaespectrométrico de Alta Resolução Brasil, desenvolvido pelo geofísico Raphael Teixeira) será possível minimizar a relatividade aos conjuntos de dados

Na prática, quando o conjunto de dados possui grandes dimensões, os parâmetros estatísticos tendem a se assemelhar. Como a distribuição dos tores dos elementos radioativos não seguem uma distribuição normal (Gaussiana) perfeita (caudas simétricas em relação à média), e sim tendem a log-normal, se atribuirmos uma constante a ser somada e subtraída da média como linha de corte entre as classes, as classes não ficariam com o mesmo número de amostras, por exemplo: média - $\frac{1}{2}$ do desvio padrão (baixa/média) e média + $\frac{1}{2}$ do desvio padrão (média/alta). Neste caso haveria mais amostras para os tores baixos. Como não queremos “privilegiar” nenhuma classe (por vezes as altas concentrações interessam, por vezes as baixas) sugerimos que as linhas de corte sejam 33,33...% e 66,66... % da frequência acumulada. Desta forma todas as classes terão o mesmo número de amostras.

Como a subjetividade da interpretação por vezes supera a diferença entre alguns métodos, estamos tratando de algo próximo ao preciosismo.

Como os domínios gamaespectrométricos constituem o principal produto das cartas interpretativas geofísico-geológicas produzidas pelo SBG/CPRM, tornou-se necessário uma padronização desses domínios conceitual e gráfica. O conceito de domínio gamaespectrométrico é uma área definida por intervalos de concentrações gamaespectrométricas dos canais de K, eTh e eU; os quais numa imagem ternária de composição RGB apresentam-se na forma de cor; dessa forma cada cor em uma imagem RGB corresponde a concentração específicas de K, eTh e eU, e por consequência os domínios gamaespectrométricos são cores, ou sendo mais preciso são intervalos de cores. O próximo passo é estabelecer os intervalos de concentrações com resposta geológica; nossa experiência tem mostrado que simples classificações qualitativas dos canais gamaespectrométricos são satisfatórias para o mapeamento geológico, ou seja, cada canal

gamaespectrometrico é dividido em três intervalos que são nomeados de concentrações baixas-1, médias-2 e altas-3, analogamente é feito o mesmo no espectro RGB, definindo como correspondentes os valores de banda 0, 128 e 255, respectivamente. Com isso a infinidade de cores do espectro RGB (cerca de 16 milhões de cores) é reduzida a apenas 27 cores (Tabela 2).

Poderíamos arbitrar um maior número de classes, como por exemplo: baixa, média baixa, média, média alta e alta para os três radio-elementos (permutação de 5 x 5 x 5) resultando em 125 classes. O número de 27 classes se aproxima da mesma ordem de grandeza da legenda de um mapa geológico, além da simplicidade que é desejada. Lembrando que e nem sempre todas as classes ocorrerão, por exemplo é raro baixo K, baixo eTh e alto eU.

Tabela 2. a) Composição de cores RGB com, das 16.777.216 cores (256 x 256 x 256) arbitramos 27 cores (3 x 3 x 3) “equiespaçadas em tonalidade” para conferir o maior contraste possível.

K.eTh.eU	ÍNDICE	R.G.B	COR
baixa.baixa.baixa	111	000.000.000	
baixa.baixa.media	112	000.000.128	
baixa.baixa.alta	113	000.000.255	
baixa.média.baixa	121	000.128.000	
baixa.média.média	122	000.128.128	
baixa.média.alta	123	000.128.255	
baixa.alta.baixa	131	000.255.000	
baixa.alta.media	132	000.255.128	
baixa.alta.alta	133	000.255.255	
K.eTh.eU	ÍNDICE	R.G.B	COR
media.baixa.baixa	211	128.000.000	
media.baixa.media	212	128.000.128	
media.baixa.alta	213	128.000.255	
média.média.baixa	221	128.128.000	
média.média.média	222	128.128.128	
media.média.alta	223	128.128.255	
media.alta.baixa	231	128.255.000	
media.alta.media	232	128.255.128	
media.alta.alta	233	128.255.255	
K.eTh.eU	ÍNDICE	R.G.B	COR
alta.baixa.baixa	311	255.000.000	
alta.baixa.media	312	255.000.128	
alta.baixa.alta	313	255.000.255	
alta.média.baixa	321	255.128.000	
alta.media.media	322	255.128.128	
alta.média.alta	323	255.128.255	
alta.alta.baixa	331	255.255.000	
alta.alta.media	332	255.255.128	
alta.alta.alta	333	255.255.255	

LEGENDA – PERMUTAÇÃO DE TEORES RELATIVOS PARA K, Th e U			
	K	eTh	eU
111	BAIXO	BAIXO	BAIXO
112	BAIXO	BAIXO	MÉDIO
113	BAIXO	BAIXO	ALTO
121	BAIXO	MÉDIO	BAIXO
122	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO
123	BAIXO	MÉDIO	ALTO
131	BAIXO	ALTO	BAIXO
132	BAIXO	ALTO	MÉDIO
133	BAIXO	ALTO	ALTO
211	MÉDIO	BAIXO	BAIXO
212	MÉDIO	BAIXO	MÉDIO
213	MÉDIO	BAIXO	ALTO
221	MÉDIO	MÉDIO	BAIXO
222	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO
223	MÉDIO	MÉDIO	ALTO
231	MÉDIO	ALTO	BAIXO
232	MÉDIO	ALTO	MÉDIO
233	MÉDIO	ALTO	ALTO
311	ALTO	BAIXO	BAIXO
312	ALTO	BAIXO	MÉDIO
313	ALTO	BAIXO	ALTO
321	ALTO	MÉDIO	BAIXO
322	ALTO	MÉDIO	MÉDIO
323	ALTO	MÉDIO	ALTO
331	ALTO	ALTO	BAIXO
332	ALTO	ALTO	MÉDIO
333	ALTO	ALTO	ALTO

Exemplo:

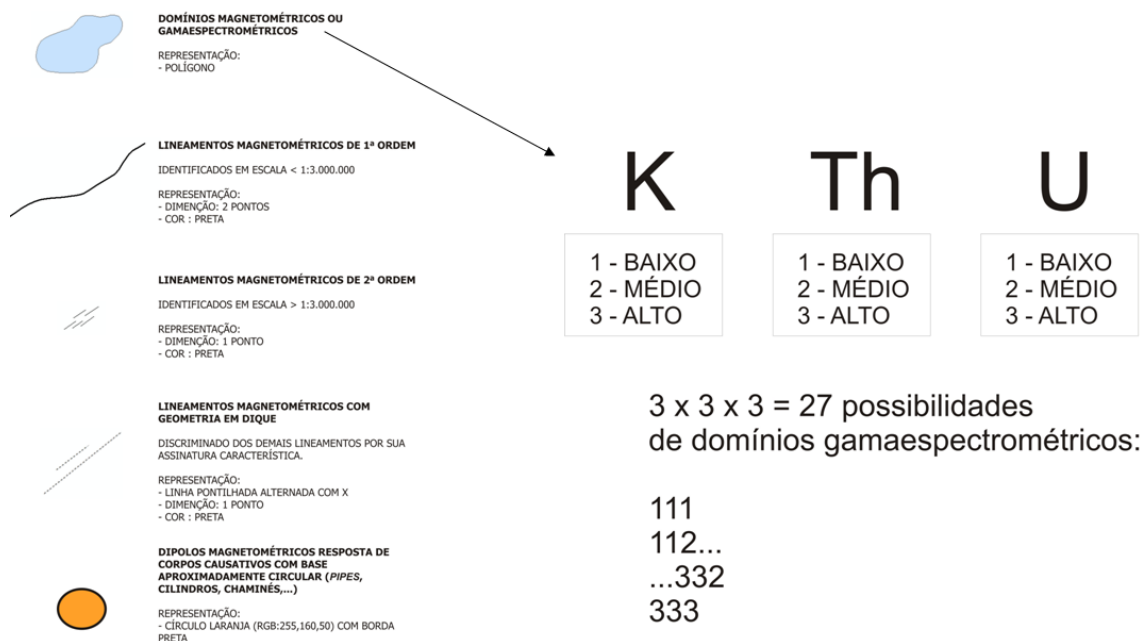


Figura 10. Ilustração da atribuição de cores (RGB) aos domínios discriminados

O modelo padrão de interpretação e representação dessas foi construído há pouco tempo com o intuito de ser o mais simples possível, este deve estar em constante evolução e contribuições sempre serão muito bem vindas.

O intérprete pode e deve usar da subjetividade para ressaltar geometrias e feições que forneçam informações estruturais e cinemáticas, do contrário, bastaria uma classificação automática dos dados. A Figura 7 exemplifica essa subjetividade.



Figura 11. Exemplo de extrapolação do intérprete (linha preta) para atribuir feições com indicadores cinemáticos, ou seja, uso da subjetividade, a linha vermelha representa o limite da classe levando-se em conta o valor dos *pixels*..

Os seguintes aspectos devem ser atendidos durante a interpretação:

- “plotar” ocorrências minerais com o intuito de estudar assinaturas e/ou feições diagnósticas.
- balizar os domínios gama em estruturas magnetométricas (quando possível).
- utilizar do Modelo Digital de Elevação provindo de sensores remotos de alta resolução, principalmente quebras negativas, como auxílio no traço dos limites dos domínios gamaespectrométricos.
- atentar à geometria dos polígonos e relações de corte, estas fornecem interpretações cinemáticas e cronológicas.
- Evitar lineamentos magnetométricos de 1º ordem com excesso de segmentos.

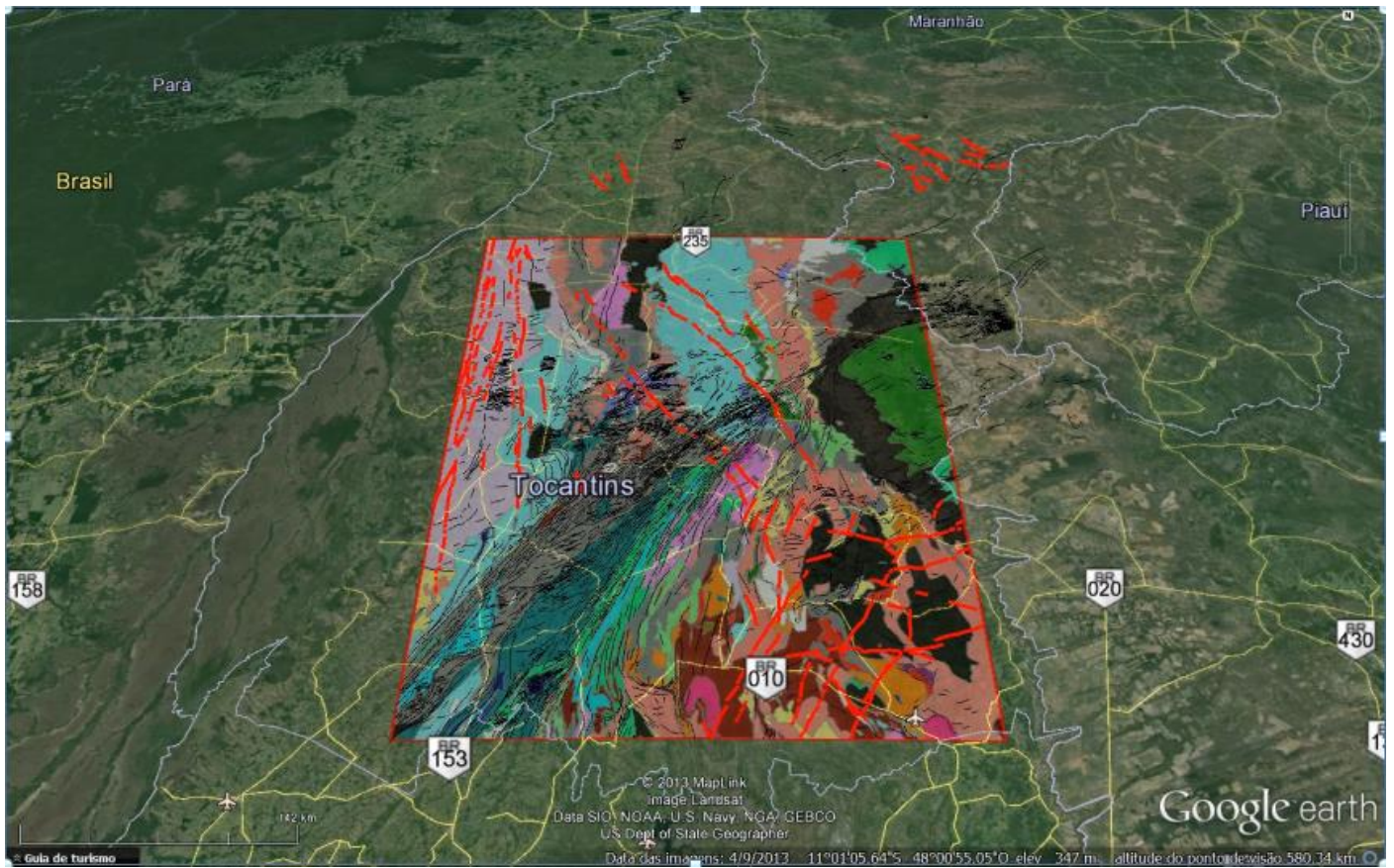


Figura 12.: Projeto de Interpretação e Integração Geofísica-Geológica – Tocantins (8 folhas 1:250.000) em perspectiva no *Google Earth* (Marcus Flavio N. Chiarini & Antônio Soares Frasca, 2012).

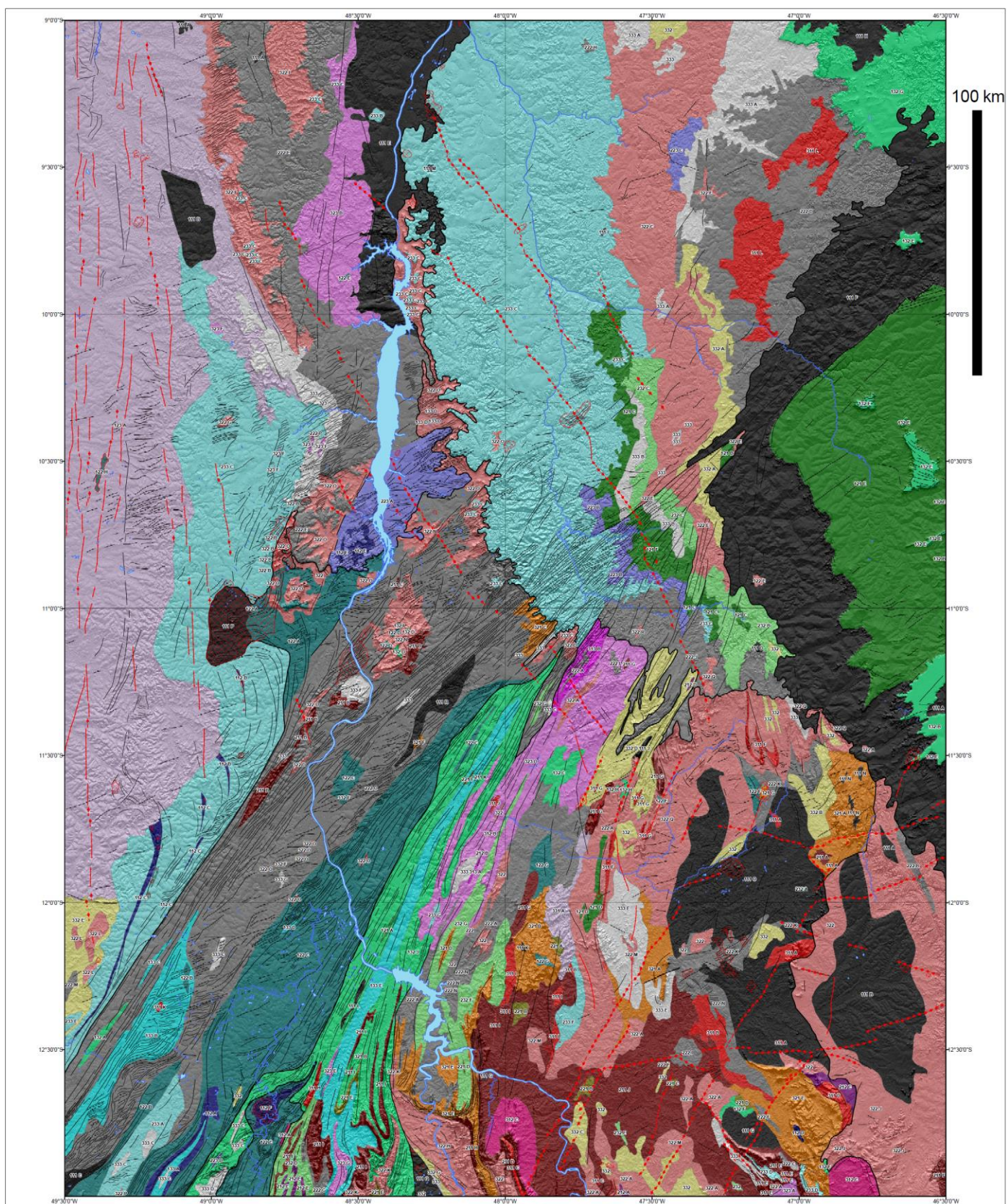


Figura 13. Projeto de Interpretação e Integração Geofísica-Geológica (PIIGG) – Tocantins (Marcus Flavio N. Chiarini & Antônio A. Soares Frasca, 2012).

Cada projeto tem suas particularidades que devem ser enfrentadas além do padrão mínimo comum a todos e simples proposto aqui.

Exemplos de objetivos específicos:

- Projeto com granitos estaníferos (reduzidos): atacar anomalias negativas magnetométricas.
- Projeto com potencial de ETR: realçar os altos gama (normalizados).
- Projeto com mineralizações controladas por estruturas: Deconvolução de Euler.

3.3: ETAPA 3 – INTEGRAÇÃO E CORRELAÇÃO DAS INTERPRETAÇÕES COM BASE DE DADOS LITOLÓGICOS

Domínios gamaespectrométricos com propriedades semelhantes podem representar a assinaturas de vários tipos de rocha, exemplo: o rótulo 111 (baixo K, baixo eTh e baixo eU) pode estar associado a ultramáficas, areia, arenito, quartzito, água etc... assim como o rótulo 333 (alto K, alto eTh e alto eU) pode representar granito, sienito alto K, etc... Na etapa 3 - correlação das interpretações com dados de litologia sugere-se a discriminação desses domínios de mesmo rótulo geofísico associando um tipo de rocha predominante. Exemplo 111 – A (Dunito) e 111 – B (Anfibolito). Se o intérprete não obtiver correlação de assinatura e espacial do domínio interpretado com rocha, este domínio deve receber apenas o rótulo geofísico (baixo, médio ou alto para os três radio-elementos e em polígono hachurado sem trama direcional se alta susceptibilidade magnética).

Para a integração dos domínios deve-se utilizar base de dados de afloramentos, SIG de litologias e levantamento bibliográfico sobre a área de estudo, o mais completa possível, incluindo relatórios internos da SGB/CPRM, dissertações, teses e periódicos.

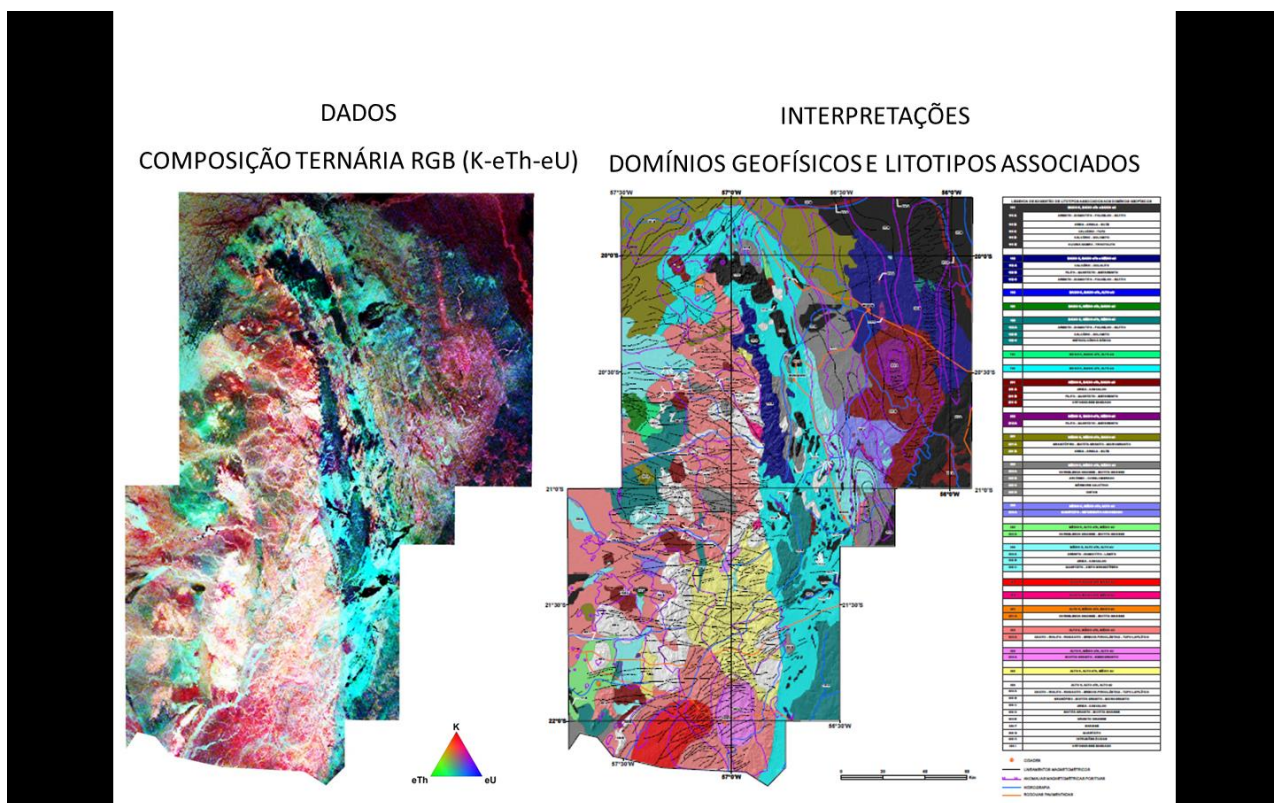


Figura 14 - Mapa geológico obtido com a integração entre mapa geológico no milionésimo, mdt, estações geológicas e dados estruturas de projetos históricos.

ETAPA 4 – INTEGRAÇÃO E CORRELAÇÃO DAS INTERPRETAÇÕES COM O SIG GEOLÓGICO

Respeitadas todas as etapas descritas nos tópicos acima, a integração entre os produtos geofísicos e geológicos visa gerar um produto com a contribuição da geofísica, principalmente para delimitações de domínios e da geologia na associação SUGESTIVA dessas inferências (classes de domínios interpretados) com tipos de rocha.

Para construção desse produto observa-se a correlação espacial dos domínios gama com os dados de afloramentos e SIG. Ressalta-se que toda a interpretação é realizada primeiramente somente com a geofísica propositadamente. Para os polígonos em que não forem atendidas as correlações espaciais e de tipo de assinaturas entre a interpretação e o SIG, prevalece a interpretação geofísica e o domínio recebe apenas o rótulo das propriedades físicas, ficando a correlação com do domínio com tipo de rocha em branco.

Um domínio de assinatura gama similar pode representar mais de um tipo de rocha (ex.: quartzito e arenito), assim como um mesmo tipo de rocha pode conter diversas assinaturas (ex.: facies de um granito), cabe ao intérprete esta discriminação utilizando outros produtos/métodos. Quando essa discriminação não for possível, recomenda-se essa observação na legenda, (exemplo: determinada assinatura representa os granitos X e Y) conforme o exemplo do Projeto de Interpretação e Integração Geofísica-Geológica (PIIGG) – Tocantins, (Chiarini & Frasca 2012).

APRESENTAÇÃO DOS PRODUTOS:

Os produtos de Integração e Interpretação Geológica-Geofísica devem conter os seguintes tópicos:

- O Título: Produto de Integração e Interpretação Geológica-Geofísica – Nome da Folha
- Encarte com tema magnetométrico mais relevante.
- Encarte com tema gamaespectrométrico composição ternária RGB para K, eTh e eU respectivamente.
- Encarte com a localização.
- As interpretações com 30% de transparência sobre o MDE de maior resolução disponível para a área.
- Ocorrências minerais, cidades e drenagens.
- Breve resumo, ressaltando-se que se trata de um produto de INTERPRETAÇÃO.

Este relatório de padronização deve ser citado em todos os produtos em que estes métodos de representação foram utilizados, mesmo que parcialmente.

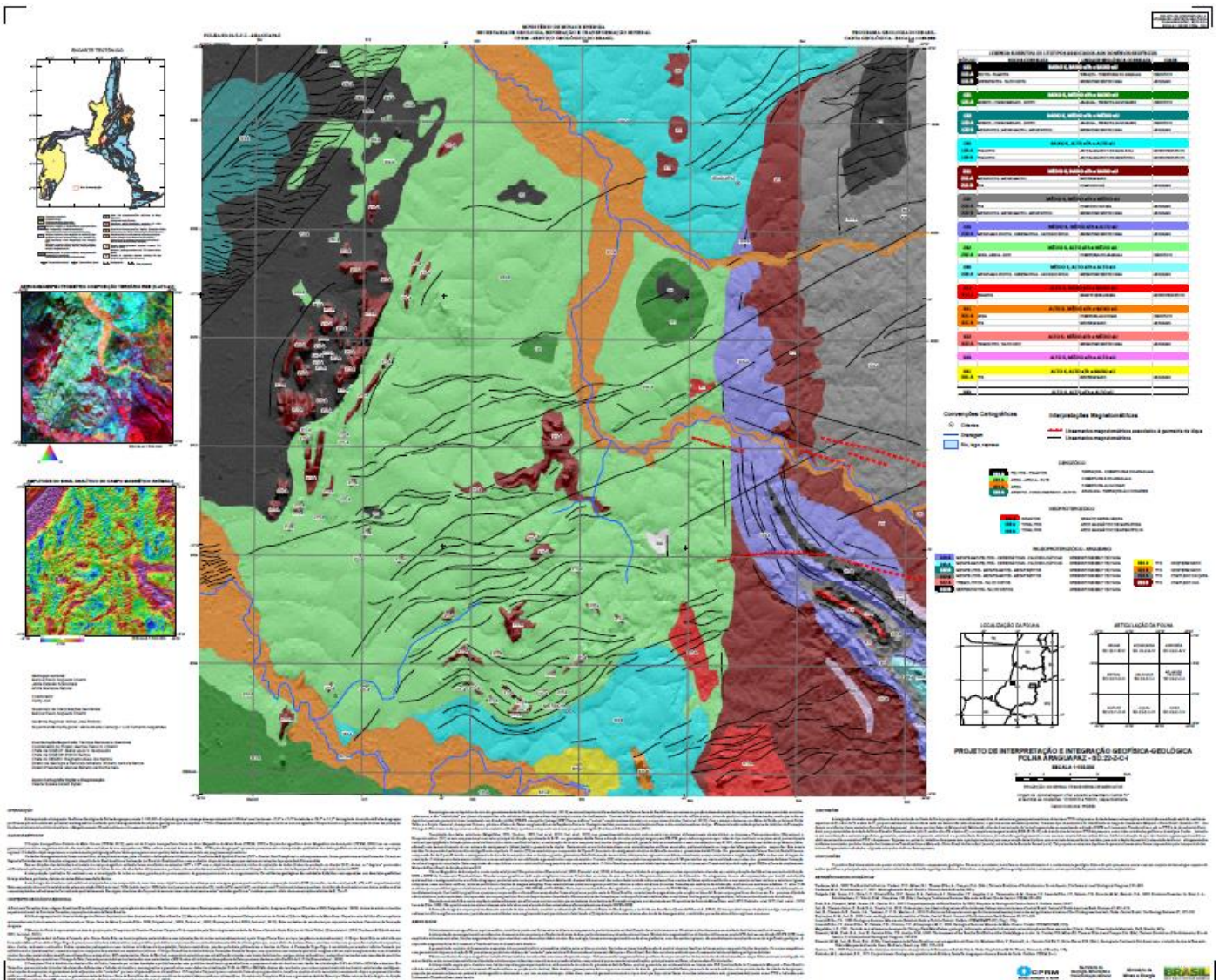


Figura 15: ETAPA 4 – Figura puramente ilustrativa, para acesso ao dados seguir: www.cprm.gov.br, GEOBANK, Mapa em .PDF, Mapas de Interpretações e Integrações Geofísica-Geológica (MIIGG). CHIARINI, MFN, SCANDOLARA, J.E. e SABOIA, A.M., 2014. Projeto de Interpretação e Integração Geofísica-Geológica – Araguapaz.

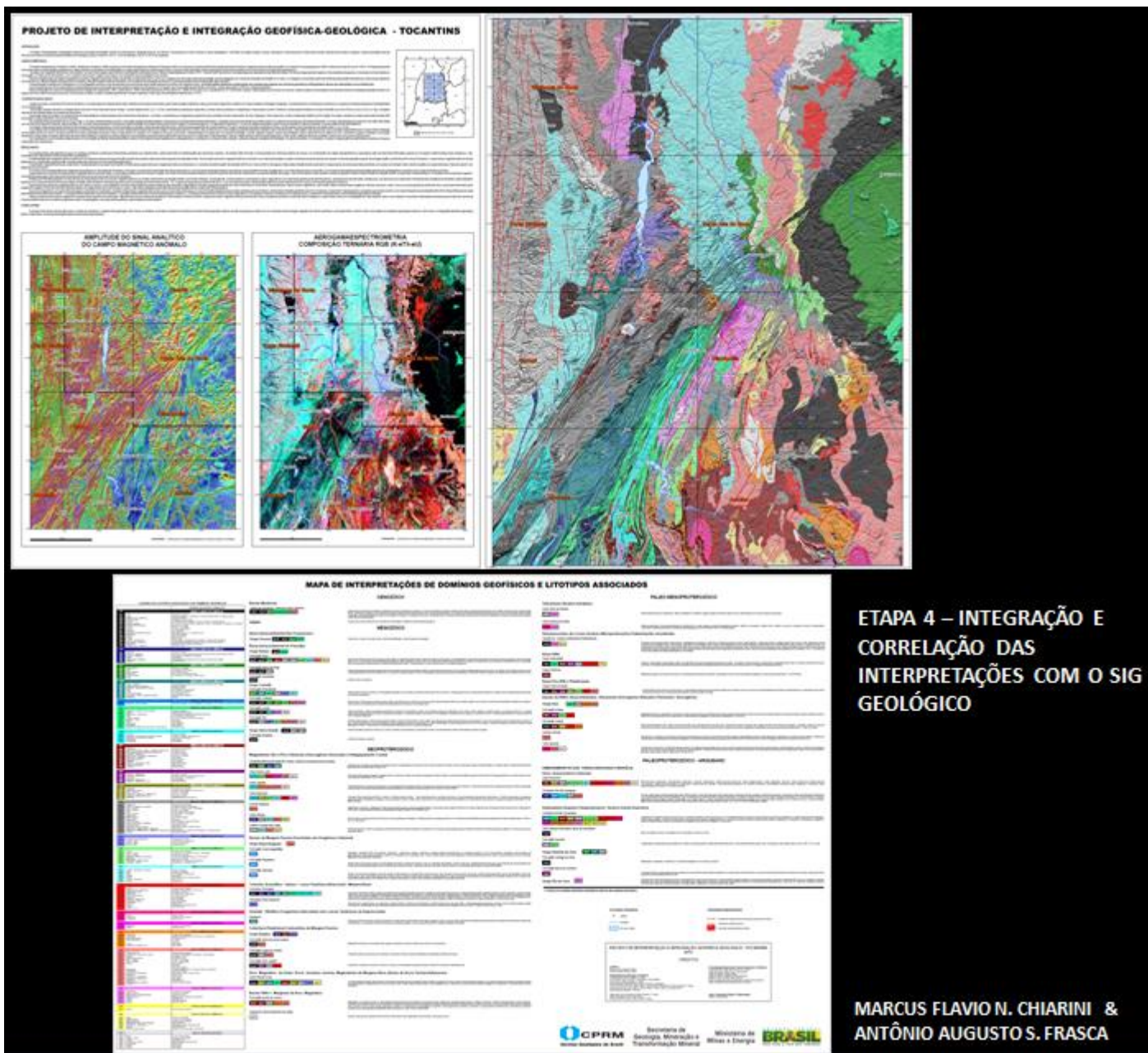


Figura 16 – Ilustração do Projeto de Interpretação e Integração Geofísica-Geológica – Tocantins – ETAPA 4.

4 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Cada projeto possui suas peculiaridades que devem ser estudadas com processamentos e interpretações dirigidas e dependentes da criatividade de cada um. O método proposto aqui é apenas o primeiro passo e aplicável a qualquer projeto com aerogamaespectrometria e aeromagnetometria com espaçamento entre linhas de 500 m ou próximo deste.

O modelo padrão de interpretação e representação dessas foi construído com o intuito de ser o mais simples possível, este deve estar em constante evolução e contribuições sempre serão muito bem vindas.

O Campo e o martelo são insubstituíveis.

“Cum mente et malleo.”

Agradecimentos:

CENTRO DE ESTUDOS GEOFÍSICOS (CEG-SEDE)

DIVISÃO DE GEOFÍSICA – CPRM (DIGEOF)

Geólogo Dr. Jaime Estevão Scandolara

Geóloga Dra. Loiane Gomes de Moraes Rocha

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- CHIARINI, M.F.N. & FRASCA, A.A.S. ,2012. Projeto de Interpretação e Integração Geofísica-Geológica – Tocantins.
- CHIARINI, MFN, SCANDOLARA, J.E. e SABOIA, A.M., 2014. Projeto de Interpretação e Integração Geofísica-Geológica - Araguapaz
- COOPER GRJ e COWAN DR. 2006. Enhancing potential field data using filters based on the local phase. *Computers & Geosciences*, 32(10):1585-1591.
- CORDELL L e GRAUNCH VJS. 1985. Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico. In: Hinze WJ (ed). *The Utility of Regional Gravity and Magnetic Anomalies Maps*. Society of Exploration Geophysicists, p.181-197.
- FERREIRA JFF, SOUZA F, BONGIOLO ABS, CASTRO LG, ROMEIRO, MAT. 2010. Realce do gradiente horizontal total de anomalias magnéticas usando a inclinação do sinal analítico. Parte I – Aplicação a dados sintéticos. IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, 1, 1-6. Brasília: SBGf.
- FERREIRA FJF, SOUZA J, BONGIOLO, ABS e CASTRO, LG. Enhancement of the total horizontal gradiente of magnetic anomalies using the tilt angle. *Geophysics*, 78(3):J33-J41.
- LI X. 2006. Understanding 3D analytic signal amplitude. *Geophysics*, 71(2):L13-L16.
- MILLER HG e SINGH V. 1994. Potential field tilt – a new concept for location of potential field sources. *Journal of Applied Geophysics*, 32(2-3): 213-217.
- ROEST WR, VERHOEF J e PILKINGTON M. 1992. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal, *Geophysics*, 57(1):116-125.
- VERDUZCO B, FAIRHEAD JD, GREEN CM & MACKENZIE C. 2004. New insights into magnetic derivatives for structural mapping. *The Leading Edge*, 23(2): 116-119.
- WIJNS C, PEREZ C e KOWALCZYK P. 2005. Theta map: Edge detection in magnetic data. *Geophysics*, 70(4): L39-L43.