





Dados Aeromagnetométricos da Porção Sudoeste do Complexo Atuba – Terreno Curitiba, Cinturão Ribeira Meridional

Aeromagnetic Data of the Southeast Portion of the Atuba Complex – Curitiba Terrane, Southernmost Ribeira Belt

Michelangelo Tissi Baldin¹ , Eduardo Salamuni¹ , Viviane Barbosa Gimenez² 
& Leonardo Evangelista Lagoeiro¹ 

¹ Universidade Federal do Paraná – UFPR, Departamento de Geologia, Curitiba, PR, BR

² Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Câmpus de Rio Claro, Rio Claro, SP, BR

E-mails: miche_georock@yahoo.com.br; salamuni@ufpr.br; vivianebgimenez@yahoo.com.br; leonardo.lagoeiro@gmail.com

Resumo

O Complexo Atuba, parte do Terreno Curitiba e da porção meridional do Cinturão Ribeira, ocorre na região leste do Estado do Paraná. Os dados aerogeofísicos utilizados neste trabalho foram disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), por meio do Projeto Paraná - Santa Catarina. O objetivo principal da pesquisa é contribuir com o estudo do arcabouço estrutural e magnético do Complexo Atuba, buscando identificar as estruturas e seus arranjos em subsuperfície. As fraturas observadas nas pedreiras estudadas e cortes estrada possuem direções principais NE-SW e NW-SE. No Complexo Atuba ocorrem falhas inversas, normais e transcorrentes sinistrais ou dextrais. Os dados aeromagnetométricos, estudos geológicos da área e análises qualitativa e semiquantitativa, possibilitaram a interpretação das estruturas e lineamentos correspondentes às zonas de cisalhamento Lancinha e Curitiba, além das falhas do Passaúna, Alto Iguaçu e Serra do Mar. As imagens aerogeofísicas revelaram que as feições de direção NE-SW, relacionadas às fraturas do Complexo Atuba, estão seccionadas pelos diques de diabásio do Arco de Ponta Grossa na maior parte da porção estudada, com raras exceções nas regiões sudeste e sudoeste dos mapas aerogeofísicos. O filtro ISA-GHT aplicado na área de trabalho delineou a Zona de Cisalhamento Curitiba, separando o Complexo Atuba (Paleoproterozoico) da Formação Capiru (Neoproterozoico), corroborando com o mapa geológico e de lineamentos da área. As soluções de Euler mostraram profundidades inferiores e superiores a 784 m para as estruturas NE-SW e NW-SE, não sendo possível observar a profundidade das principais zonas de cisalhamento e falhas, por serem obliteradas pelas feições NW-SE.

Palavras-chave: Dados aerogeofísicos; Arcabouço estrutural; Análises qualitativa e semiquantitativa

Abstract

The Atuba Complex, part of the Curitiba Terrane and the southern portion of the Ribeira Belt, occurs in the eastern region of the State of Paraná. The aerogeophysical data used in this work were made available by the Geological Survey of Brazil (CPRM), through the Paraná - Santa Catarina Project. The main objective of the research is to contribute to the study of the structural and magnetic framework of the Atuba Complex, seeking to identify the structures and their subsurface arrangements. The fractures observed in the studied quarries and road cuts have the main NE-SW and NW-SE directions. In the Atuba Complex there are reverse, normal and sinistral or dextral strike-slip faults. The aeromagnetic data, supported by the geology of the area and the qualitative and semi-quantitative analyzes, made it possible to interpret the structures and lineaments corresponding to the Lancinha and Curitiba shear zones, in addition to the Passaúna, Alto Iguaçu and Serra do Mar faults. The aerogeophysical images revealed that the NE-SW direction features, related to fractures of the Atuba Complex, are sectioned by the diabase dikes of the Ponta Grossa Arch in most of the studied portion, with rare exceptions in the southeast and southwest regions of the aerogeophysical maps. The ISA-GHT filter applied to the work area outlined the Curitiba Shear Zone, separating the Atuba Complex (Paleoproterozoic) from the Capiru Formation (Neoproterozoic), corroborating the geological map and lineament map of the area. Euler's solutions showed depths lower and higher than 784 m for the NE-SW and NW-SE structures, and it is not possible to observe the depth of the main shear zones and faults, as they are obliterated by the NW-SE features.

Keywords: Aerogeophysical data; Structural framework; Qualitative and semiquantitative analysis

1 Introdução

Os mapas de anomalias magnéticas são empregados para traçar o arcabouço estrutural e os contatos geológicos, abrangendo sinais de amplitudes e profundidades diversificadas, com geometrias e susceptibilidade diversas (Castro et al. 2010). Segundo Gunn (1997) o método aeromagnético pode ser utilizado na verificação de problemas de cunho estrutural.

A área de trabalho é formada por migmatitos do Complexo Atuba (Siga Junior 1995; Siga Junior et al. 1995) e compreende parte do Terreno Curitiba (Faleiros 2008) no Cinturão Ribeira Meridional (Heilbron et al. 2008), centro-sul da Província Mantiqueira. Do mesmo modo, e em menor proporção, ocorrem outros domínios, como o Complexo Metamórfico Indiferenciado, as formações Perau, Água Clara, Capiru, Votuverava, Camarinha, Guaratubinha e Guabirotuba, além de granitos neoproterozoicos e sedimentos recentes (Mineropar 2006). A área faz limites com os terrenos Apiaí, Luís Alves e Paranaguá, sendo cortada por diques de diabásio do Arco de Ponta Grossa. Na porção meridional do Cinturão Ribeira os estudos geofísicos são escassos (Castro & Ferreira 2015; Castro, Ferreira & Angulo 2008; Castro et al. 2014; CPRM 2011; Ferreira 1991; Hallinan et al. 1993; Raposo & Ernesto 1995; Weihermann et al. 2016), por isso a investigação atual possui como motivo de análise a aeromagnetometria juntamente com o estudo estrutural rúptil do Complexo Atuba. A problemática da pesquisa se dá principalmente devido ao grande número de lineamentos NE-SW no embasamento cristalino proterozoico e de diques básicos NW-SE do Mesozoico, cortando e se sobrepondo às falhas e fraturas mais antigas. Os alinhamentos podem ser observados em imagens de satélite, imagens de radar, fotografias aéreas e mapas geológicos.

A área estudada (Figura 1) está localizada nos municípios de Curitiba, Colombo, Campo Largo, Quitandinha, Balsa Nova e São José dos Pinhais, no leste do Estado do Paraná. Boa parte da área está coberta pela Bacia de Curitiba, que está quase na fronteira com a Bacia do Paraná e o Arco de Ponta Grossa. O acesso principal à área pode ser feito pelas BRs-116, 277, 376 e 476. Os afloramentos estão situados principalmente nas pedreiras São Jorge, Ine-col, Maringá, Marc Mineração, Paulo Leminski, Artecipe, Greca, Central, Atuba, Costa e Roça Grande, além de cortes de estrada. Todas as pedreiras estudadas estão situadas no Complexo Atuba e possuem excelentes exposições rochosas.

Os objetivos deste trabalho são definir e caracterizar a deformação rúptil da região e as grandes zonas de

cisalhamento neoproterozoicas ou falhas, mediante trabalhos de campo e o processamento dos dados aeromagnetométricos e, ainda, mostrar as diferenças entre os lineamentos que ocorrem no Complexo Atuba e na Formação Capiru e, o arranjo magnético e tectono-estrutural do Complexo Atuba. O estudo foi derivado da integração das análises qualitativa (realce de anomalias magnéticas) e semiquantitativa dos resultados magnéticos, com os mapas geológicos regionais e de detalhe, tentando-se compreender o arcabouço estrutural da porção sudoeste do Complexo Atuba. A interpretação qualitativa diferenciará os principais lineamentos da área e o método semiquantitativo gerará informações geofísicas de subsuperfície, devido às análises da deconvolução de Euler e da análise espectral. Este trabalho também tem como objetivo colaborar para o entendimento da evolução estrutural da área em apreço.

2 Geologia Regional

A Província Mantiqueira (Almeida et al. 1977) situa-se na parte sul e sudeste do Brasil e configura um sistema orogênico Neoproterozoico, englobando rochas cristalinas, sucessões intracratônicas, sequências de margem passiva metamorfizadas, arcos magmáticos, granitoides sin-colisionais e magmatismo bimodal. Compreende os orógenos Araçuaí, Ribeira, Brasília meridional, Dom Feliciano e São Gabriel (Heilbron et al. 2004).

A porção meridional do Cinturão Ribeira (Figura 2) é constituída pelos terrenos Apiaí, Luís Alves, Paranaguá e Curitiba (Faleiros 2008; Heilbron et al. 2008). O Terreno Apiaí está situado ao norte do Terreno Curitiba (Heilbron et al. 2008) e apresenta rochas de ambiente de plataforma carbonática, sequências metavulcanossedimentares (Campanha et al. 2015; Campos Neto 2000), núcleos do embasamento e batólitos e *stocks* graníticos (Cury et al. 2002).

O Terreno Luís Alves localiza-se ao sul do Terreno Curitiba (Faleiros et al. 2011) e é constituído por gnaisses granulíticos bandados a maciços, granulitos básicos, migmatitos, granitos, rochas ultramáficas, gnaisses calcissilicatados, kinzigitos, formações ferríferas, milonitos e quartzitos (Cury 2009; Siga Junior, Basei & Machiavelli 1993). O metamorfismo é de fácies granulito e a foliação principal tem orientação NW-SE (Basei et al. 2009; Basei et al. 1992), podendo estar ocasionalmente dobrada. O terreno exibe um embasamento arqueano-paleoproterozoico e está relacionado às bacias vulcanossedimentares neoproterozoicas e granitoides alcalinos a peralcalinos (Basei et al. 2009).

Mapa de localização e acessos à área de trabalho

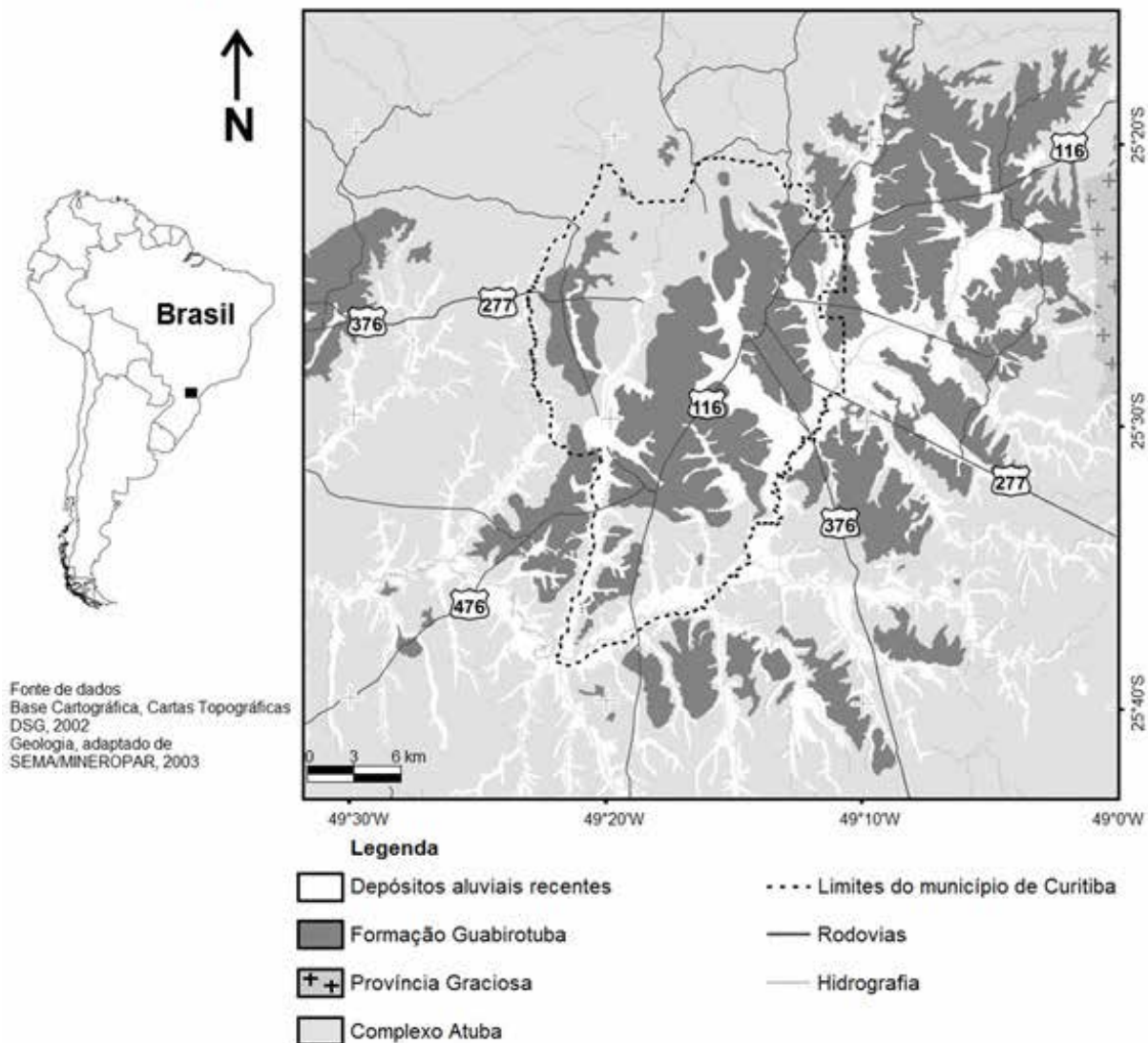


Figura 1 Localização e acessos à área de estudo (modificado de Cunha 2016).

O Terreno Paranaguá ocorre a leste do Terreno Curitiba e compreende as suítes Morro Inglês, Rio do Poço e Canavieiras-Estrela, encaixadas por gnaisses e migmatitos do Complexo São Francisco do Sul e por rochas metassedimentares da Sequência Rio das Cobras (Cury 2009). Nas bordas dos granitoides pode haver milonitos. As idades do magmatismo estão na faixa entre 600 a 580 Ma (Cury 2009; Siga Junior 1995). O terreno ocorre estruturalmente definido por uma orientação norte-nordeste e vergência para oeste (Cury 2009).

O Terreno Curitiba é formado por rochas alongadas na direção geral NE-SW (Siga Junior et al. 1995) e aparece

limitado a noroeste por rochas metavulcanossedimentares do Terreno Apiaí (Basei, McCreath & Siga Junior 1998) e a sudeste por rochas gnáissico-granulíticas do Terreno Luís Alves (Siga Junior 1995; Siga Junior et al. 1995). É composto por gnaisses migmatíticos, anfíbolitos, xistos, granulitos, paragnaisses, quartzitos e gnaisses graníticos do Complexo Atuba (Siga Junior 1995; Siga Junior et al. 1995), assim como de metacalcários, metapelitos, metapsamitos, xistos, mármore e anfíbolitos das formações Capiru e Turvo-Cajati (Heilbron et al. 2008).

O Complexo Atuba, objeto de estudo do presente trabalho, é formado por migmatitos estromáticos com

bandamento composicional, onde se alternam neossomas residuais, melanossomas e leucossomas tonalíticos a granodioríticos (Siga Junior 1995). Podem ocorrer remobilizados graníticos róseos ou brancos, geralmente concordantes com o bandamento regional, relacionados a uma segunda fase de migmatização (Siga Junior et al. 1995). O complexo foi submetido à primeira fase de migmatização entre 1900-2200 Ma (Sato et al. 2003) e à segunda fase em 633 e 645 Ma, durante o evento Brasiliano-Panafricano (Passarelli 2001; Sato et al. 2003).

O contato entre o Complexo Atuba e a Formação Capiru corresponde a uma zona de deformação que pode ser verificada inclusive em imagens de sensoriamento remoto, denominada de Zona de Cisalhamento Curitiba (ZCC) (Salamuni, Gonçalves & Fiori 2010). Ocorre também na área o Sistema de Transcorrência Lancinha (STL) (Fiori et al. 1987), que inclui falhas transcorrentes retilíneas e

anastomosadas (Fiori 1990) e está relacionado às zonas de cisalhamento Lancinha, Morro Agudo e Itapirapuã no Estado do Paraná (Fiori 1985). Cabrita et al. (2017) e Gonçalves (2012) mostraram a relação da ZCC com o STL por possuírem aspectos semelhantes, como microestruturas, geometria e mecanismos de deformação de grau baixo. A Zona de Cisalhamento Lancinha (ZCL) ocorre na parte noroeste da área de trabalho e a ZCC tem direção NE-SW e corta a porção norte do mapa. Segundo Castro (2015) as análises qualitativa e semiquantitativa correspondentes às zonas de cisalhamento Itapirapuã, Morro Agudo e Lancinha mostraram que as zonas se propagam sob a Bacia do Paraná em padrão sigmoidal, com profundidades superiores a 2000 m. Os modelos gravimétricos do Cinturão Ribeira exibem um afinamento crustal de NW para SE, com as zonas de cisalhamento demarcando partes distintas de espessura crustal.

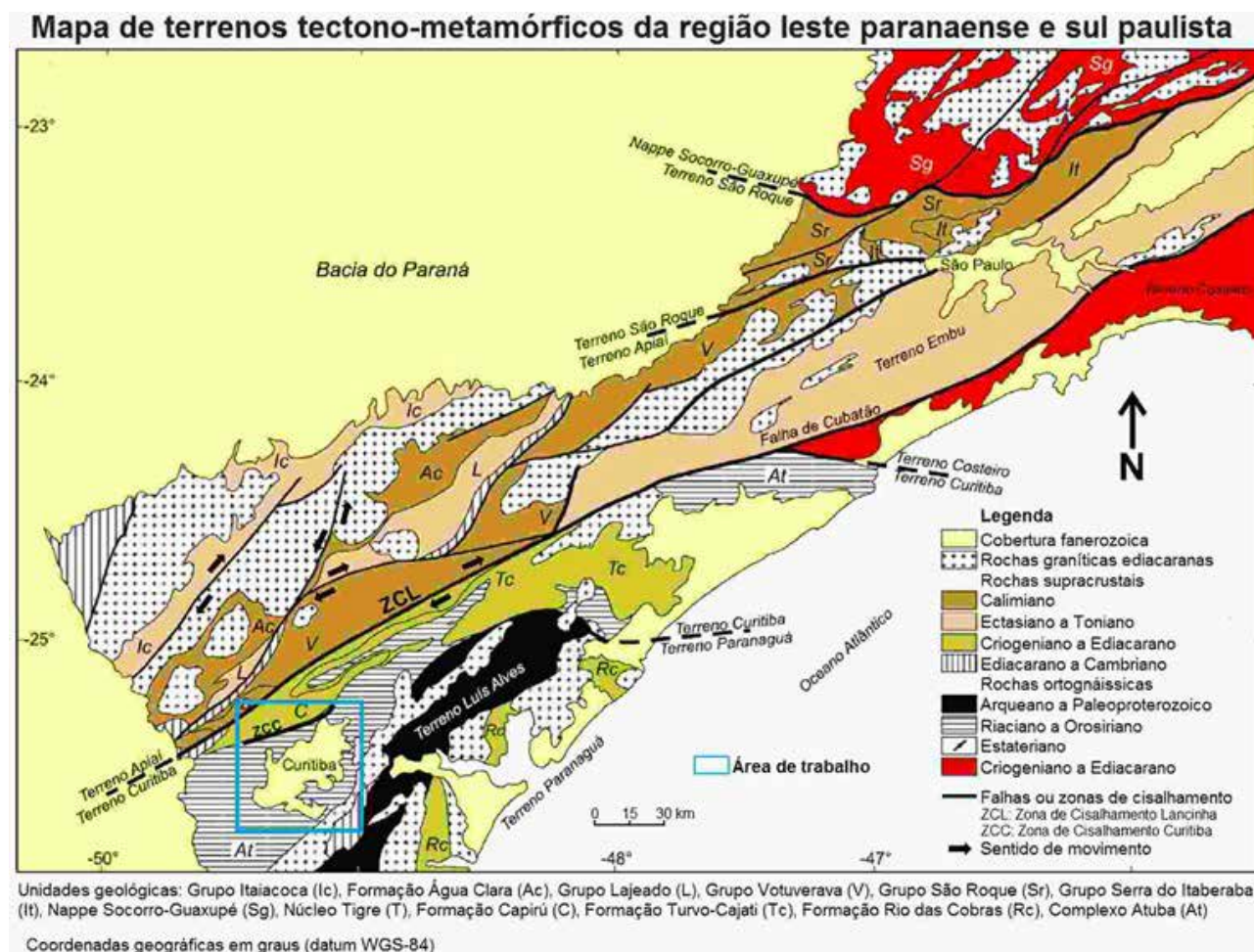


Figura 2 Esboço litoestratigráfico da porção sul do Cinturão Ribeira, com a localização da área de trabalho (modificado de Campanha et al. 2015).

Os diques básicos são correlatos às rochas extrusivas da Formação Serra Geral (Bacia do Paraná) e estão vinculados à Província Magmática Paraná-Etendeka (Milani 2007). Possuem idade de 134,7 Ma (Thiede & Vasconcelos 2010) e apresentam direção geral NW-SE, aparecendo associados à separação do supercontinente Gondwana e

à Reativação Wealdeniana (Almeida 1967). O Arco de Ponta Grossa está limitado pelos alinhamentos Guapiara, São Jerônimo-Curiúva, Rio Alonzo e Rio Piquiri (Figura 3A; Portela Filho & Ferreira 2003). O sistema estrutural consiste em paleotensores com SHmax entre N75E e N40W (Strugale et al. 2007).

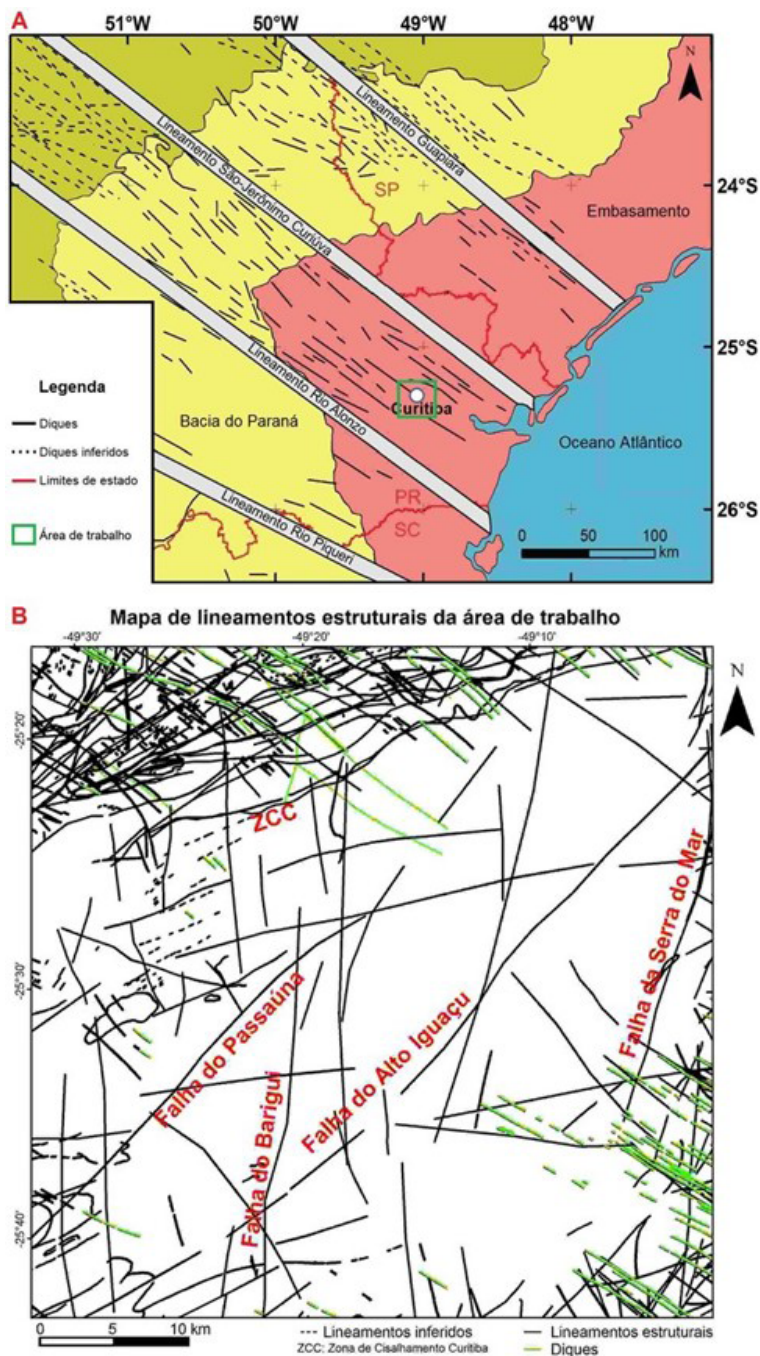


Figura 3 A. Mapa Geológico do Arco de Ponta Grossa, mostrando os principais lineamentos estruturais (modificado de Gomes et al. 2018; Silva 2020); B. Lineamentos estruturais da área de trabalho, com ênfase nas falhas do Passaúna, Barigui, Alto Iguaçu e Serra do Mar (modificado de Mineropar 2006).

Na geologia da área podem ser observadas as falhas do Barigui, do Belém, do Passaúna, do Alto Iguaçu e da Serra do Mar (Figura 3B). Estas são quilométricas e limitam a geometria da porção superior do Complexo Atuba (Chavez-Kus 2008). As falhas do Passaúna e Alto Iguaçu são transcorrentes sinistrais, a falha do Belém é transcorrente dextral e as falhas do Barigui e Serra do Mar são normais. As falhas do Passaúna, Alto Iguaçu, Barigui e Serra do Mar possuem direção geral NE-SW, e a falha do Belém mostra orientação NW-SE (Chavez-Kus & Salamuni 2008). A falha do Alto Iguaçu pode atingir até 100 km de extensão e define um sistema marcante, com diversas fraturas paralelas ou sub-paralelas de caráter secundário. As falhas do Barigui, Passaúna, Alto Iguaçu e Belém seccionam os limites da Bacia de Curitiba, sugerindo um forte controle estrutural (Chavez-Kus 2008).

3 Materiais e Métodos

O banco de dados foi confeccionado a partir do Mapa Geológico do Estado do Paraná, em escala 1:650.000 (Mineropar 2006). Foi elaborado um mapa geológico por meio do programa ArcGis versão 10.2.

Os trabalhos de campo abrangeram 30 dias, onde foram descritos 100 afloramentos (Tabela 1), localizados ao longo de rodovias ou em pedreiras, e tiveram como objetivo aquisição de dados estruturais rúpteis. Os dados foram organizados em uma planilha dentro do programa Excel, da plataforma Microsoft Office, onde foram introduzidas as coordenadas UTM, caracterização das estruturas e atitudes de feições planares. O tratamento estatístico foi executado no programa GeotecStereo v. 1.2.0.0 (Fronza et al. 2016), através da composição de diagramas de roseta.

Tabela 1 Número de pontos e afloramentos descritos ao longo do trabalho.

Pedreiras/cortes de estrada	Número de pontos
São Jorge	20
Inecol	10
Maringá	5
Marc Mineração	5
Paulo Leminski	5
Artecipe	10
Greca	5
Central	15
Atuba	10
Costa	5
Roça Grande	5
Cortes de estrada	5

Os dados aerogeofísicos foram estruturados com base no Projeto Aerogeofísico Paraná - Santa Catarina (CPRM 2011), que compreendeu a porção leste do Estado do Paraná (Figura 4). As linhas de vôo foram intervaladas em 500 m e as linhas de controle foram alternadas em 10 km (CPRM 2011). Os mapas aeromagnetométricos em escala 1:250.000 foram confeccionados no programa Geosoft Oasis Montaj 2007, versão 6.4.2 e ArcGis 10.2, utilizando os computadores do Laboratório de Informática de Graduação em Geologia (LIGG) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Os mapas aeromagnetométricos da área apresentam a mesma escala do mapa geológico modificado de Mineropar (2006).



Figura 4 Localização do levantamento aerogeofísico efetuado pela CPRM. A área de estudo está representada como um retângulo azul no Projeto Paraná - Santa Catarina (modificado de Barão 2016; CPRM 2011).

O método de interpretação qualitativa é determinado através dos métodos de realce de anomalias magnetométricas para delineação do arcabouço estrutural. A caracterização dos dados aeromagnetométricos foi delineada por uma análise qualitativa (realce de anomalias) para determinar os domínios magnéticos, e semiquantitativa (estimativas de profundidades de fontes) segundo a deconvolução de Euler (Thompson 1982), o *signum transform* (Souza & Ferreira 2015) e a análise espectral. O fluxograma do trabalho é apresentado na Figura 5.



Figura 5 Fluxograma do processamento de dados aerogeofísicos utilizado na pesquisa.

Os dados aeromagnetométricos integrados deram origem ao mapa do campo magnético anômalo (CMA), utilizando-se o método de interpolação *Bi-directional Gridding*. Posteriormente os dados foram reduzidos ao polo (Baranov 1957; Grant & Dodds 1972; Macleod, Vierra & Chaves 1993) e confeccionados segundo a localização e datas de aquisição, gerando o mapa do campo magnético anômalo reduzido ao polo (CMA-RTP). A data média foi estabelecida em 20/10/2010, as coordenadas em 25°30' S e 49°20' W, a declinação magnética em -18,5485°, a inclinação magnética em -35,2695° e o campo total em 22,756.1 nT. Esses dados foram adquiridos a partir do site da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Fundamentado no mapa CMA-RTP, os dados foram micronivelados e continuados para cima (300 m). A partir desse novo mapa (CMA-RTP-UW300) foram produzidos os diversos métodos de realce das anomalias, que definiram estruturas e o arcabouço aeromagnético da área de estudo. O processo de continuação para cima (300 m) tem como objetivo a remoção ou diminuição dos sinais de fontes rasas e ruidos, assinalando os sinais das fontes mais profundas.

As técnicas de realce aplicadas neste contexto são os gradientes horizontais (Cordell & Grauch 1985) e vertical (Evjen 1936), o gradiente horizontal total (Cordell & Grauch 1985), a amplitude do sinal analítico (Nabighian 1972), a inclinação do sinal analítico (Roest, Verhoef & Pilkington 1992), o gradiente horizontal total da inclinação do sinal analítico (Verduzco, Fairhead & Green 2004), o *theta map* (Winjs, Perez & Kowalczyk 2005), a inclinação do gradiente horizontal total (Cordell & Grauch 1985), a inclinação do sinal analítico do gradiente horizontal total (Ferreira et al. 2013), o *signum transform* (Souza & Ferreira 2012), a deconvolução de Euler (Thompson 1982) e a análise espectral. Os métodos de realce de anomalias magnéticas utilizados neste trabalho são descritos logo abaixo.

As derivadas verticais GZ são aferições do campo magnético em duas regiões verticais, afastadas por uma

distância a ser determinada. O filtro da derivada GZ salienta as altas frequências, excluindo os impactos regionais, provenientes de fontes mais profundas (Evjen 1936). As derivadas horizontais GX e GY possuem atribuições parecidas ao GZ e transcorrem nas direções horizontais. São autônomas da magnetização, da orientação do campo magnético e do mergulho (Cooper & Cowan 2006; Cordell & Grauch 1985). O gradiente horizontal total (GHT) define os contatos dos corpos e estruturas que geram as anomalias e, portanto, quando se empregam derivadas de classes maiores, a análise minuciosa das estruturas é superior (Cordell & Grauch 1985).

A amplitude do sinal analítico (ASA) (Nabighian 1972; Roest, Verhoef & Pilkington 1992) é produto da associação dos gradientes horizontal e vertical (Blakely 1995), embora o método não seja totalmente dissociado da magnetização (Li 2006). A ASA possui picos com máximos nas bordas e mínimos nos centros de corpos (Gunn 1997), sendo que os máximos também podem ocorrer sobre o centro de estruturas pouco espessas.

A inclinação do sinal analítico (ISA) é explicada pelo ângulo entre o gradiente horizontal total e a derivada vertical, reconhecendo fontes de campos potenciais e suas extensões horizontais. Possui a particularidade de responder devidamente tanto para fontes rasas quanto profundas (Miller & Singh 1994; Nabighian 1972; Roest, Verhoef & Pilkington 1992). Efetua algumas estimativas sobre a susceptibilidade magnética das fontes e o mergulho (Thurston & Smith 1997).

O gradiente horizontal total da inclinação do sinal analítico (GHT-ISA) é fundamentado no gradiente horizontal total (GHT), independe da inclinação magnética e delimita os corpos anômalos nas suas extremidades. Revela as estruturas rasas e possibilita boas respostas na presença de magnetização induzida e/ou remanescente (Verduzco, Fairhead & Green 2004).

O *theta map* é derivado da normalização do gradiente horizontal total (GHT) e da amplitude do sinal analítico

(ASA), colocando as anomalias sobre suas fontes. Foi concebido para baixas latitudes magnéticas e utilizado para traçar contatos magnéticos, tanto para dados reduzidos ao polo ou ao equador (Winjs, Perez & Kowalczyk 2005).

A inclinação do gradiente horizontal total (IGHT) sugere igual atividade para fontes rasas e profundas. Este método é usado para demarcar as margens dos corpos (Cooper & Cowan 2006).

A inclinação do sinal analítico do gradiente horizontal total (ISA-GHT) produz uma interpretação qualitativa e é indicado para traçar alvos de exploração ou estruturas, equalizando sinais de fontes rasas e profundas e identificando os limites dos corpos (Ferreira et al. 2013; Ferreira et al. 2010).

O *signum transform* melhora a interpretação da anomalia magnética, estimando a profundidade e a espessura dos corpos através das derivadas verticais dos

campos anômalos (Souza & Ferreira 2012; Souza & Ferreira 2013; Souza & Ferreira 2015), podendo ser classificada como uma técnica qualitativa e semiquantitativa.

A deconvolução de Euler é uma análise semiquantitativa e determina a localização, a profundidade e a geometria das fontes de anomalias magnéticas (Reid et al. 1990; Thompson 1982). Foi aplicada no presente trabalho de acordo com os dados do campo magnético anômalo reduzido ao polo. A análise espectral também é um método semiquantitativo e aponta a profundidade das fontes (Gunn 1997).

4 Resultados

Neste item são apresentados os resultados aeromagnetométricos e estruturais rúpteis da área de trabalho, estabelecendo relações com a geologia do leste paranaense (Figura 6).

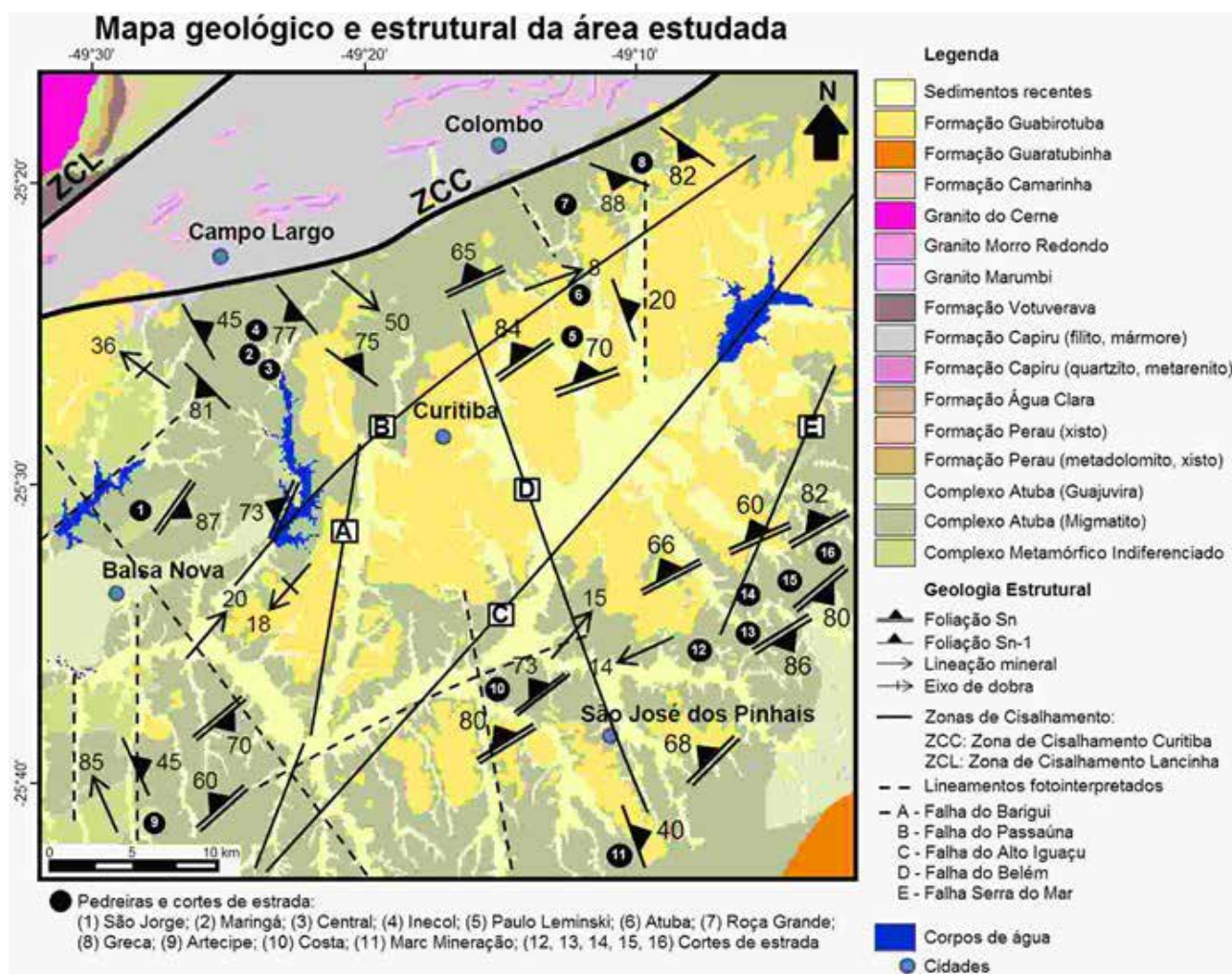


Figura 6 Mapa geológico da área de estudo, mostrando o Complexo Atuba e arredores (modificado de Mineropar 2006).

4.1 Aeromagnetometria

Os mapas do campo magnético anômalo, do campo magnético anômalo reduzido ao polo, do campo magnético anômalo reduzido ao polo micronivelado e do campo magnético anômalo reduzido ao polo continuado para 300 m são visualizados na Figura 7A-D. O mapa do campo magnético anômalo reduzido ao polo mostra domínios de baixa intensi-

dade, representados pelas cores azuis e verdes, e domínios de alta intensidade, caracterizados pelas cores vermelhas, rosas e roxas (Figura 7B). A partir do mapa do campo magnético anômalo reduzido ao polo continuado para 300 m foi obtido todos os filtros utilizados neste trabalho e formou o apoio da interpretação qualitativa. Nesse mapa é perceptível a forte expressão magnética de direção NW-SE principalmente nas regiões nordeste, sudeste e noroeste (Figura 7D).

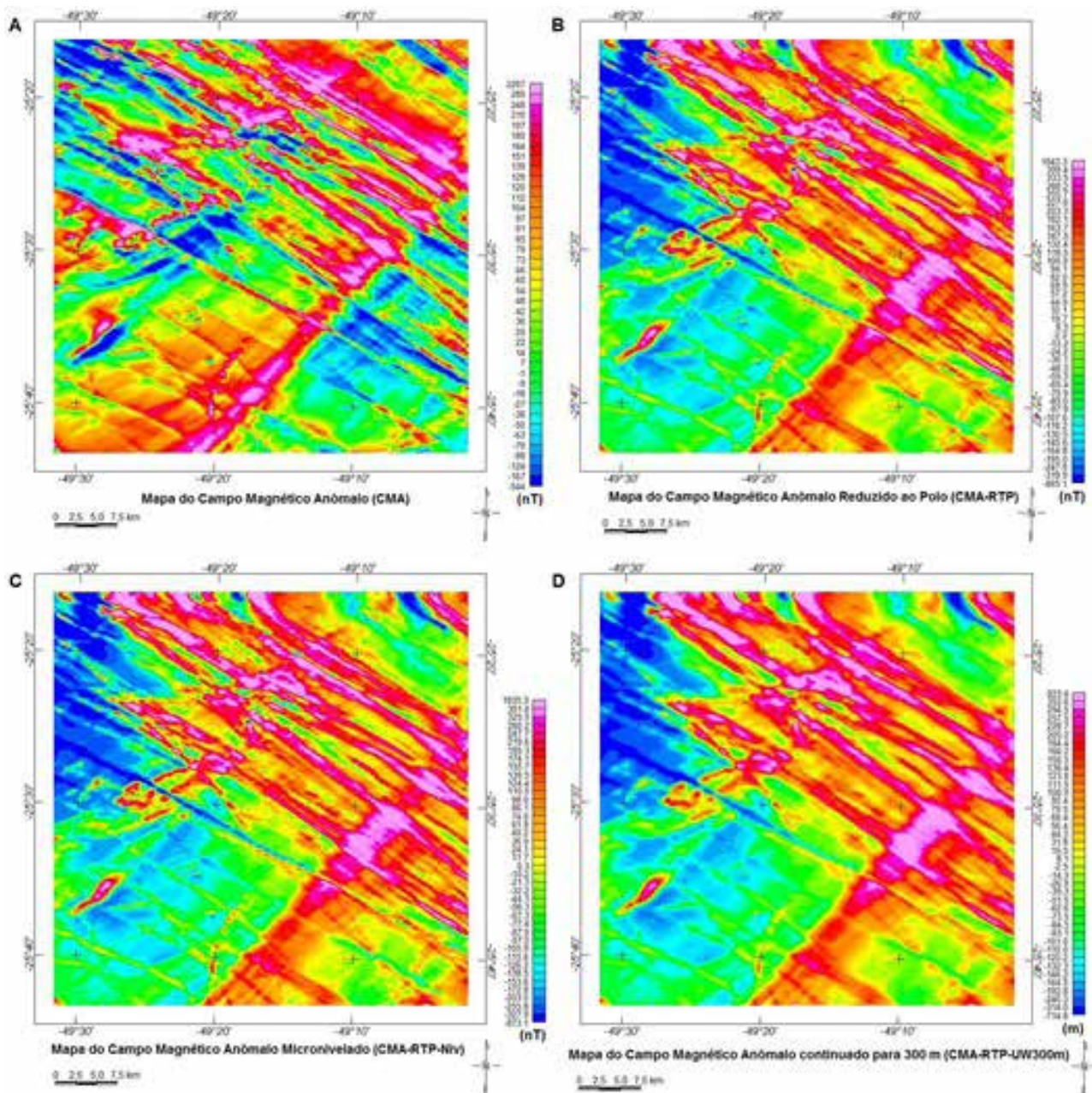


Figura 7 A. Mapa do Campo Magnético Anômalo; B. Mapa do Campo Magnético Anômalo Reduzido ao Polo; C. Mapa do Campo Magnético Anômalo Reduzido ao Polo Micronivelado; D. Mapa do Campo Magnético Anômalo Reduzido ao Polo continuado para 300 m.

Nas derivadas verticais (GZ) (Figura 8A e 8B) e horizontais (GX e GY) (Figura 8C e 8D), foram observadas anomalias magnéticas de direção NW-SE, possivelmente associadas aos diques e falhas, e estruturas de orientação NE-SW, associadas às falhas e fraturas. Muitas vezes o predomínio das estruturas de direção NW-SE mascara ou interrompe as estruturas rúpteis de orientação NE-SW.

Através do gradiente horizontal total (GHT) foi percebido a presença de anomalias magnéticas NW-SE,

superimpondo e deslocando lateralmente as estruturas de orientação NE-SW (Figura 9A). Nota-se uma diminuição do sinal magnético especialmente na porção SW do mapa. Podem ser observadas de modo fraco as zonas de cisalhamento Lancinha (noroeste) e Curitiba (nordeste). As falhas do Passaúna, Alto do Iguazu e Serra do Mar ocorrem delineadas nos quadrantes sudeste e sudoeste da imagem do GHT. Apresentam direção geral NE-SW, como observado na Figura 6, e ocorrem de forma moderada.

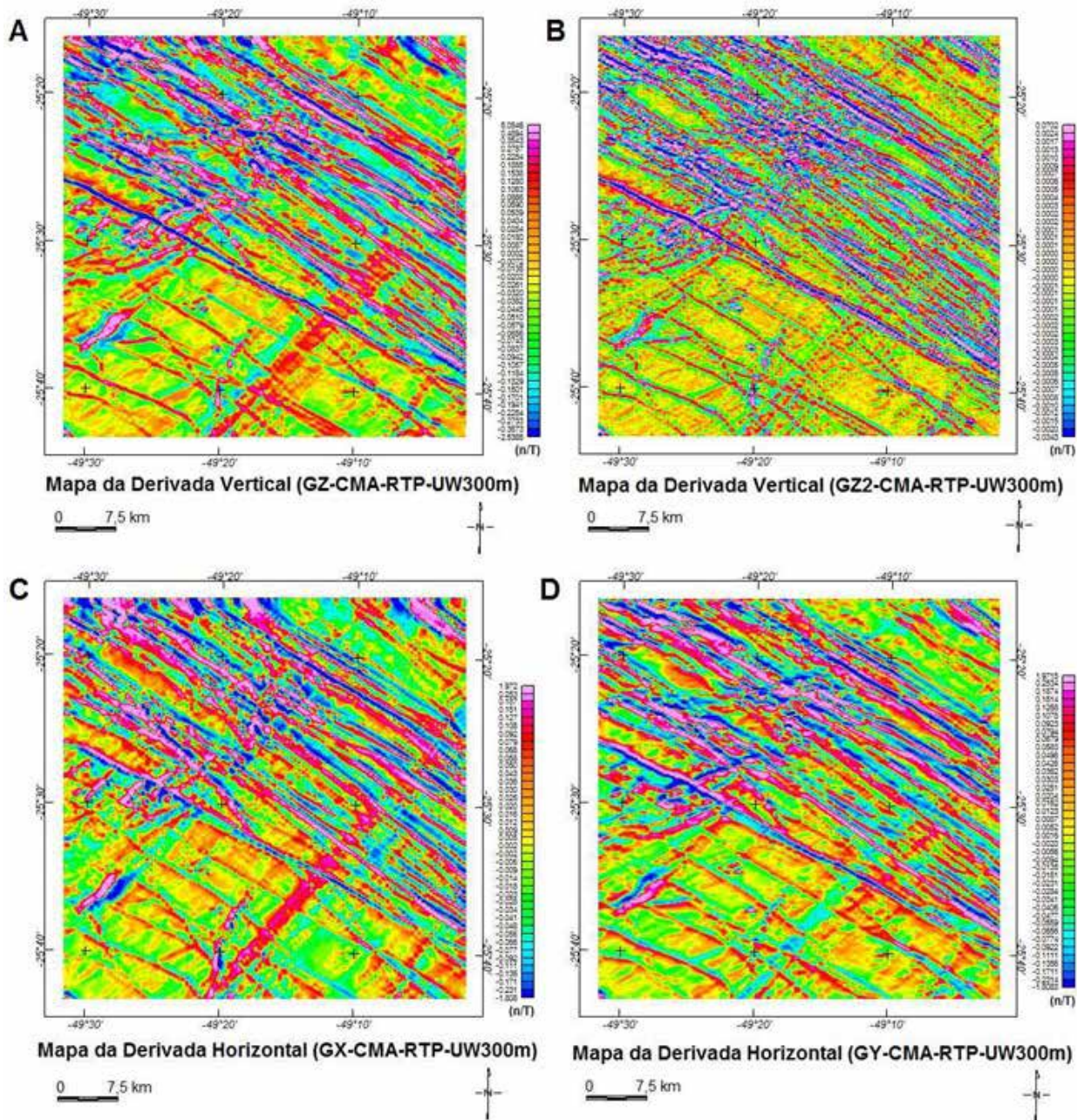


Figura 8 A. Mapa da Derivada Vertical (GZ₁); B. Mapa da Derivada Vertical (GZ₂); C. Mapa da Derivada Horizontal (GX); D. Mapa da Derivada Horizontal (GY).

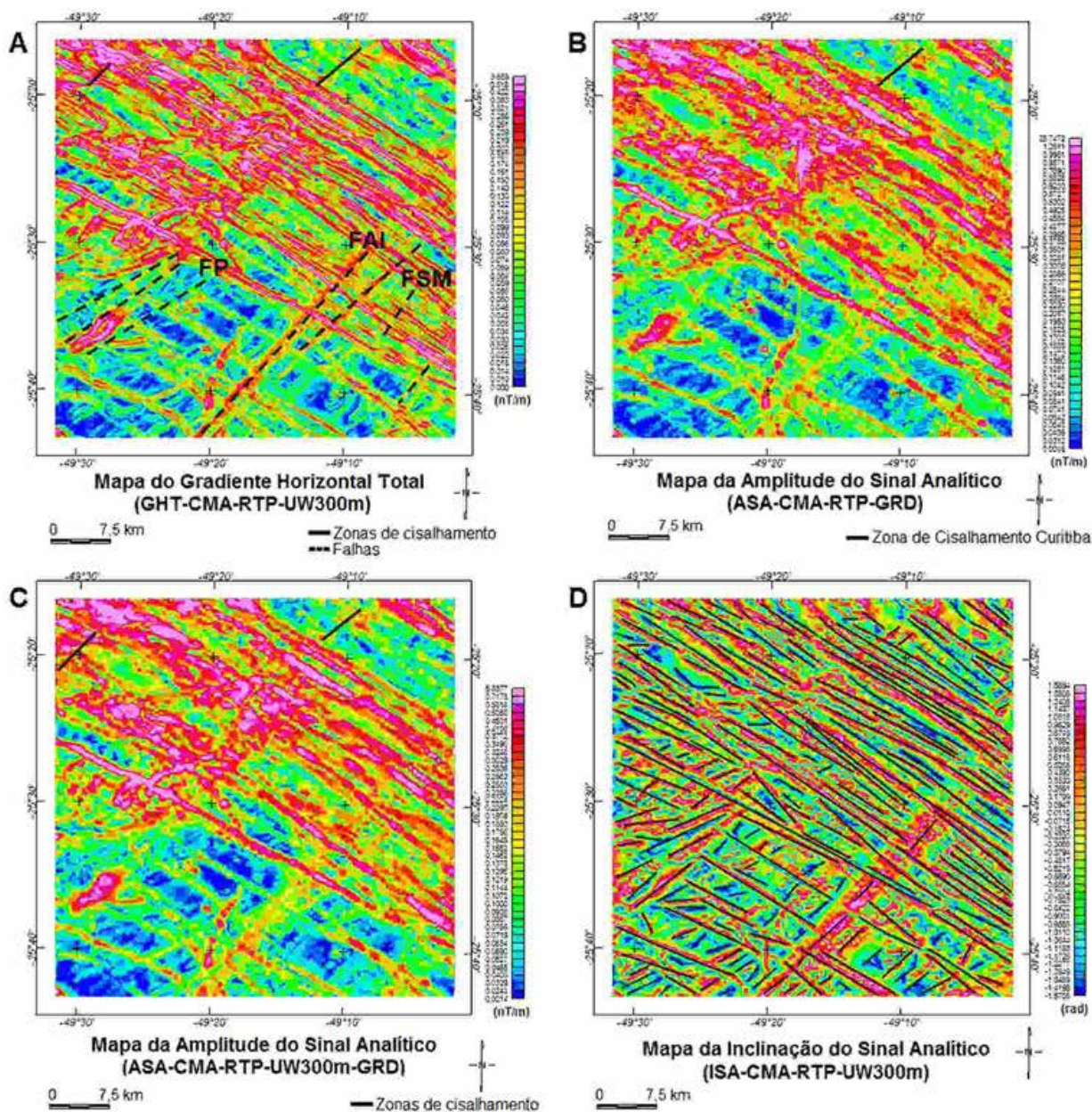


Figura 9 A. Mapa do Gradiente Horizontal Total (GHT); B. Mapa da Amplitude do Sinal Analítico (ASA); C. Mapa da Amplitude do Sinal Analítico continuado para 300 m (ASA); D. Mapa de Inclinação do Sinal Analítico (ISA) e sua interpretação estrutural. Legenda: FP (Falha do Passaúna); FAI (Falha do Alto Iguaçú); FSM (Falha Serra do Mar).

A amplitude do sinal analítico (ASA) mostra uma redução da amplitude com o acréscimo da profundidade (Castro et al. 2014). No mapa da ASA os picos na porção nordeste e noroeste podem estar vinculados a estruturas de profundidade moderada a rasa, assinalados por lineamentos de direção geral NW-SE. A Zona de Cisalhamento Lancinha ocorre no quadrante noroeste e a Zona de Cisalhamento Curitiba pode ser visualizada na parte mais nordeste do mapa em áreas negativas, apontando maiores profundidades.

Os picos na região sudeste e sudoeste do mapa são definidos por amplitudes de caráter negativo e orientações gerais NE-SW e NW-SE (Figura 9B e 9C), e também podem indicar um aumento da profundidade.

Por meio do método da inclinação do sinal analítico (ISA) observa-se com precisão o arcabouço magnético-estrutural da área de estudo, com a presença de fraturas, falhas e de anomalias de direção NW-SE. Essas estruturas parecem constituir os diques do Arco de Ponta Grossa

(Figura 9D). Na porção sudoeste e sudeste do mapa são identificadas fraturas de orientação NE-SW, corroborando com o diagrama de roseta da área, onde esses planos são bem definidos. Na região nordeste e noroeste as estruturas NE-SW estão obliteradas pelos sinais dos diques de diabásio, não sendo possível observar as fraturas coletadas em trabalhos de campo. O método ISA localiza os centros de corpos anômalos e ocorre parcialmente imperceptível à profundidade (Castro et al. 2014). No mapa da ISA as amplitudes aparentam não se alterar muito, apresentando sua independência em relação à profundidade das fontes.

O mapa do gradiente horizontal total da inclinação do sinal analítico (GHT-ISA) apresenta forte orientação NW-SE e moderada a fraca orientação NE-SW, como notado nos mapas anteriores (Figura 10A). O método exibe elevadas amplitudes (cor rosa) nas bordas dos corpos e baixas amplitudes (cor verde e azul) nos centros das estruturas NW-SE. Na porção sudoeste do mapa verifica-se uma diminuição dos sinais com a profundidade, principalmente nas anomalias de direção NE-SW, exibindo bordas de cores amarelas ou laranjas, o que pode atrapalhar o entendimento de fontes geradas em condições profundas. A Zona de Cisalhamento Curitiba é observada de forma descontínua na parte nordeste do mapa (Figura 10A).

O mapa do *theta map* mostra feições estruturais condizentes com o mapa de lineamentos da região (Figura 3B), onde são constatados lineamentos NW-SE e estruturas com direção NE-SW (Figura 10B). Esse filtro apresenta os mínimos nas bordas e os máximos nos centros dos corpos.

O mapa da inclinação do gradiente horizontal total (IGHT) é caracterizado por forte definição das bordas das anomalias NW-SE nas porções noroeste e nordeste do mapa, e NE-SW na região sudoeste e uma parcela do quadrante sudeste (Figura 11A).

O mapa da inclinação do sinal analítico do gradiente horizontal total (ISA-GHT) ressalta os máximos nas bordas e os mínimos nos centros, indicando anomalias nas direções NE-SW e NW-SE (Figura 11B). Estas são anomalias relacionadas aos lineamentos Rio Alonzo e São Jerônimo-Curiúva, que definem a região central do Arco de Ponta Grossa (Figura 3A). Os resultados provenientes da técnica ISA-GHT indicam que os limites dos corpos são delineados por altas amplitudes, sem preservar nenhum tipo de associação com a profundidade das fontes, assim como descrito por Ferreira et al. (2013). A Zona de Cisalhamento Curitiba ocorre de forma marcante no mapa, com direção NE-SW no quadrante nordeste e E-W no quadrante noroeste, semelhante ao observado no mapa geológico da área de trabalho (Figura 6), separando o Complexo Atuba (sul) da Formação Capiru (norte). Os lineamentos que ocorrem no Complexo Atuba e na Formação Capiru apresentam poucas diferenças, uma vez que os diques obliteram o sinal NE-

SW. O contraste entre as duas unidades pode ser mais bem verificado na região sudoeste do mapa, no qual os diques NW-SE estão menos adensados e algumas fraturas e falhas NE-SW ocorrem de forma visível.

O mapa do *signum transform* mostra feições NW-SE bem marcadas principalmente na porção superior do mapa. As partes sudeste e sudoeste são definidas por algumas estruturas de orientação NE-SW (Figura 12A).

A deconvolução de Euler (Figura 12B), representada pelos círculos pretos e azuis, fornece uma profundidade inferior a 784 m, de modo geral, nas áreas provenientes aos diques de diabásio e, superior a 784 m nas regiões formadas por sinais negativos, correspondendo a estruturas de direção NE-SW, compatível ao arcabouço estrutural e magnético da porção de trabalho. Também foram notados alinhamentos concêntricos NW-SE de soluções Euler com profundidades maiores a 784 m e feições NE-SW com profundidades menores a 784 m. Pelo mapa não foi possível observar a profundidade das zonas de cisalhamento Curitiba e Lancinha, por serem obliteradas pelos diques de orientação NW-SE. As soluções de Euler estão aplicadas aos máximos (centros das fontes) e mínimos, neste caso, apontando que a diminuição do sinal se deve a fontes mais profundas, corroborando com a análise qualitativa. As falhas do Barigui, Serra do Mar e Belém não aparecem no mapa. As falhas do Passaúna e do Alto Iguauçu apresentam profundidades inferiores e superiores a 784 m ao longo de toda a sua extensão. Os dados de profundidades na falha do Passaúna têm caráter incipiente e na falha do Alto Iguauçu possuem forma moderada.

As porções sudoeste e sudeste do mapa, onde a concentração dos diques é menos intensa, sugerem que as fontes magnéticas possam representar o Complexo Atuba de forma mais definida. Os quadrantes nordeste e noroeste são marcados por uma quantidade menor de estruturas NE-SW do Complexo Atuba, devido à superimposição causada pelos diques do Arco de Ponta Grossa.

O espectro de potência radial (Figura 13) foi confeccionado a partir do mapa do campo magnético anômalo (CMA) e utilizado para discernir níveis de profundidade específicos. A partir dos traços da curva espectral, assinalados por alterações de inclinação, foi possível separar o espectro em fontes profundas, intermediárias, rasas e ruídos. As fontes profundas possuem o maior declive da função espectral e profundidades entre 1,8 e 6 km. As fontes intermediárias têm o segundo maior declive da função espectral e profundidades entre 0,2 e 2,2 km. As fontes rasas são formadas por profundidades entre 0,1 a 1,9 km e os ruídos são definidos por profundidades menores que 0,2 km. Os dados de profundidade visualizados no espectro são validados pelas soluções de Euler, onde as profundidades são inferiores ou superiores a 784 m.

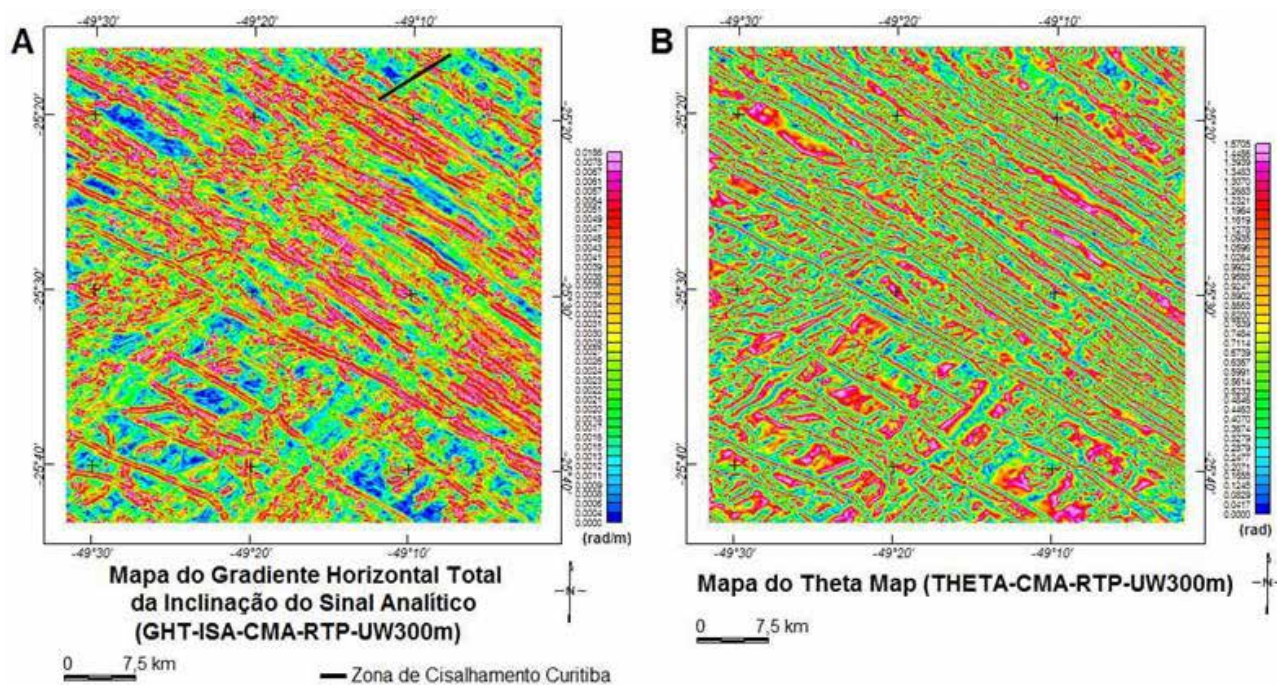


Figura 10 A. Mapa do Gradiente Horizontal Total da Inclinação do Sinal Analítico (GHT-ISA); B. Mapa do *Theta Map* (THETA-CMA).

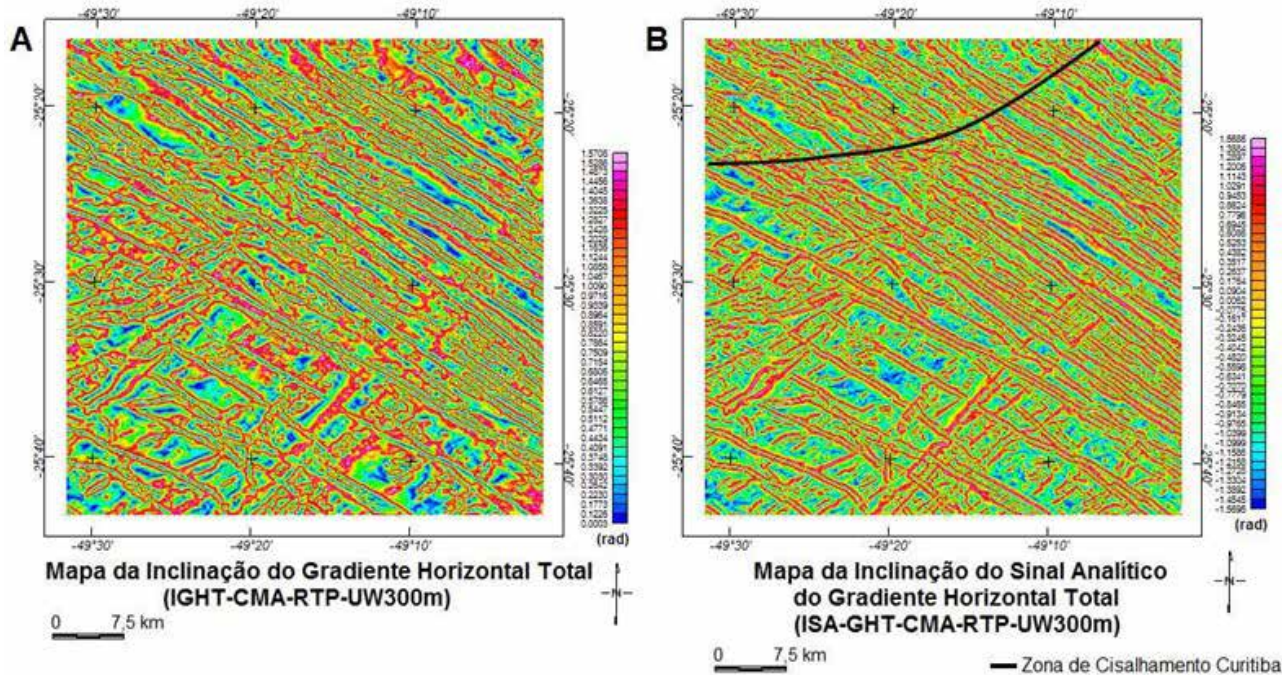


Figura 11 A. Mapa da Inclinação do Gradiente Horizontal Total (IGHT); B. Mapa da Inclinação do Sinal Analítico do Gradiente Horizontal Total (ISA-GHT).

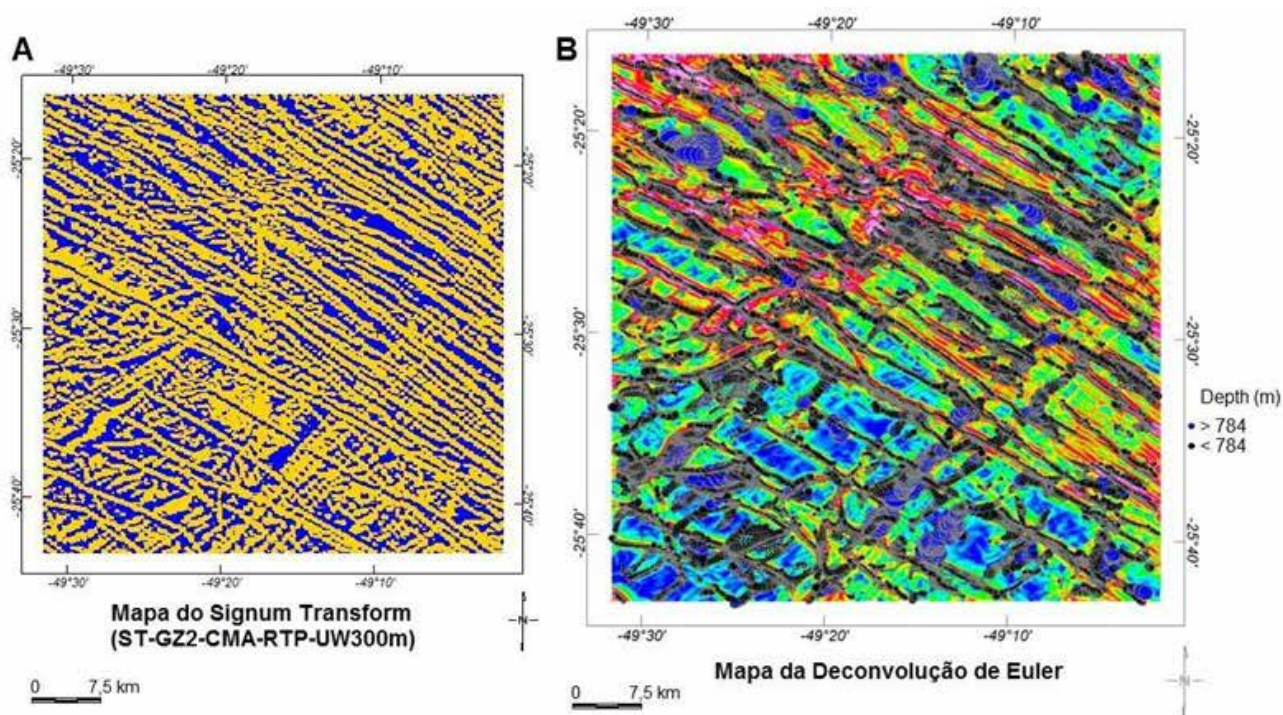


Figura 12 A. Mapa do *Signum Transform* (ST); B. Mapa da Deconvolução de Euler mostrando as profundidades das diversas estruturas magnéticas.

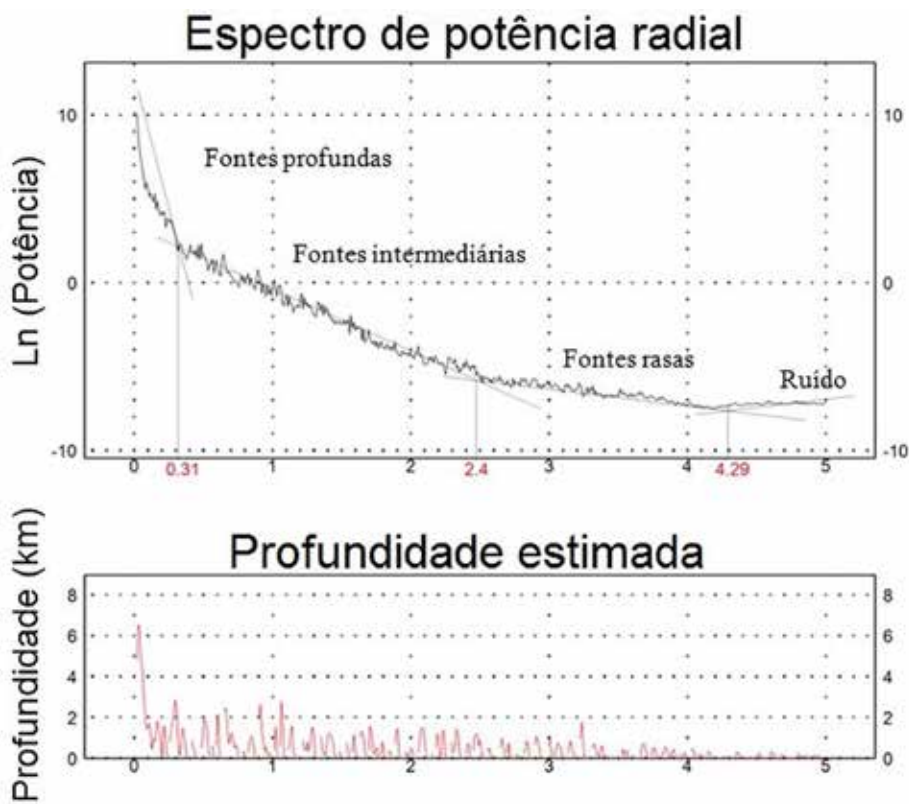


Figura 13 Espectro de Potência Radial da área de estudo.

4.2 Estruturação Rúptil

No Complexo Atuba foram observadas fraturas diagonais (Figura 14A), lisas ou ásperas, paralelas entre si, penetrativas, contínuas, planares (Figura 14B) a curvoplanares, de caráter regularmente denso (com espaçamento de 30 a 100 cm) a denso (com espaçamento de 5 a 30 cm), com persistência métrica a decamétrica e mergulho subhorizontal a subvertical (Figura 14C). As fraturas podem estar preenchidas por óxido de ferro e apresentar abertura centimétrica (até 25 cm). Às vezes podem ser visualizadas fraturas escalonadas e pares conjugados. Há planos de fraturas sem preenchimento ou fechados (Figura 14D).

Os diagramas de Schimidt–Lambert (Figura 15A e 15B) elaborados para as fraturas das rochas do Complexo

Atuba possibilitaram reconhecer uma direção de família NE-SW e outra NW-SE. A parte norte da área de trabalho tem orientação NE-SW mais definida e a região sul possui direção NE-SW bem marcante em relação ao rumo NW-SE.

Geralmente em zonas de cisalhamento rúpteis ocorrem cataclasitos a ultracataclasitos e pseudotaquilitos. As rochas cataclásticas possuem aspectos fraturados, quebradiços ou esmigalhados. Os grãos são muito finos a finos e apresentam caráter angular. A mineralogia é formada por plagioclásio, quartzo e feldspato potássico. Microscopicamente os cristais são anédricos granulares e não estão orientados. Há contatos irregulares, microfraturas, microfalhas e extinção ondulante. A estrutura é de fragmentação e a textura é cataclástica. Os pseudotaquilitos são afaníticos, cinza escuros e vítreos. Ocorrem como veios irregulares, com espessura milimétrica a centimétrica.

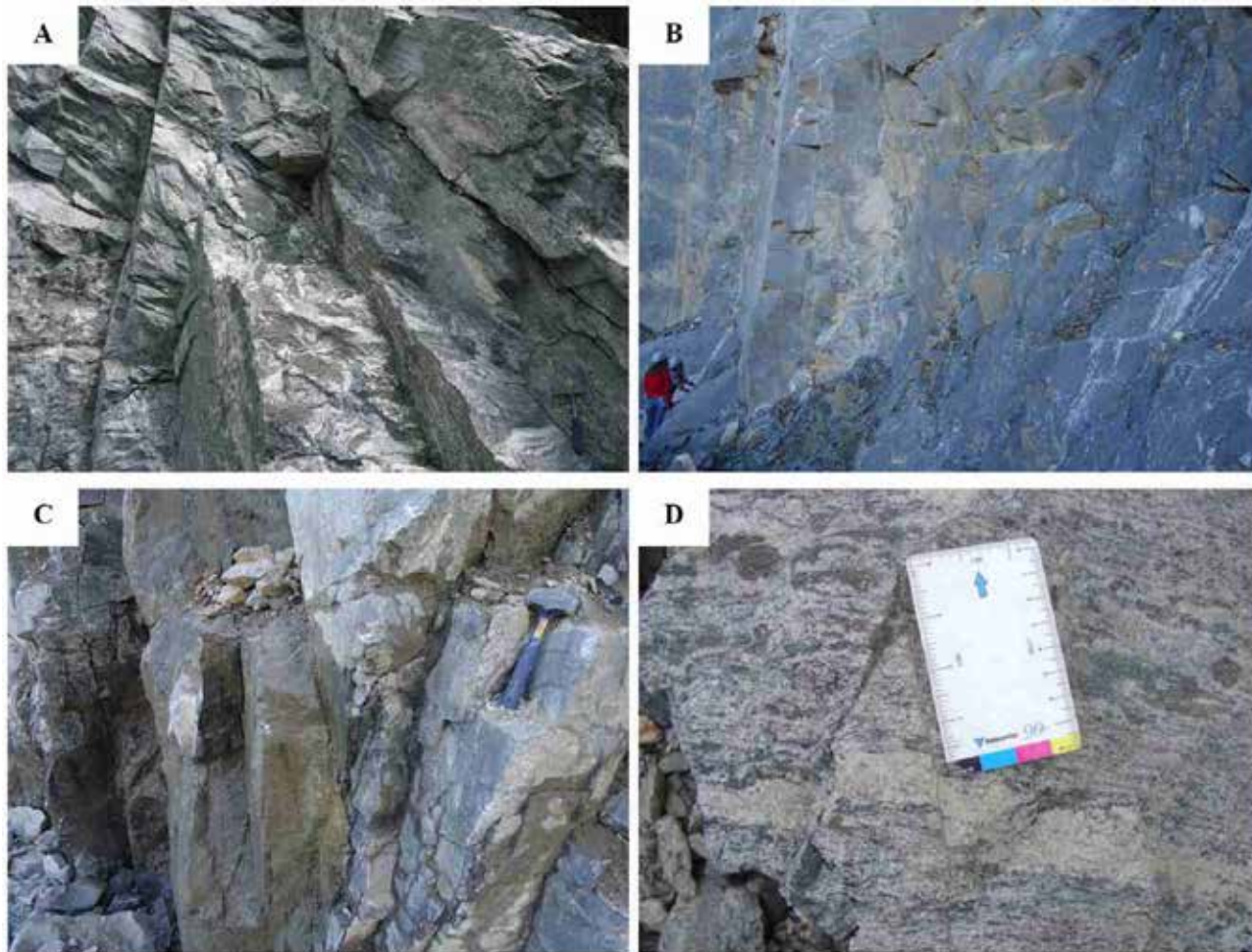


Figura 14 A. Fraturas oblíquas à foliação principal do metatextito estromático. Local: pedra Artecipe; B. Fraturas planares e decamétricas na pedra São Jorge; C. Planos de fratura subverticais com orientação NE-SW identificados na pedra Costa; D. Plano de fratura centimétrico e fechado cortando o leucossoma do metatextito estromático. Local: pedra Central.

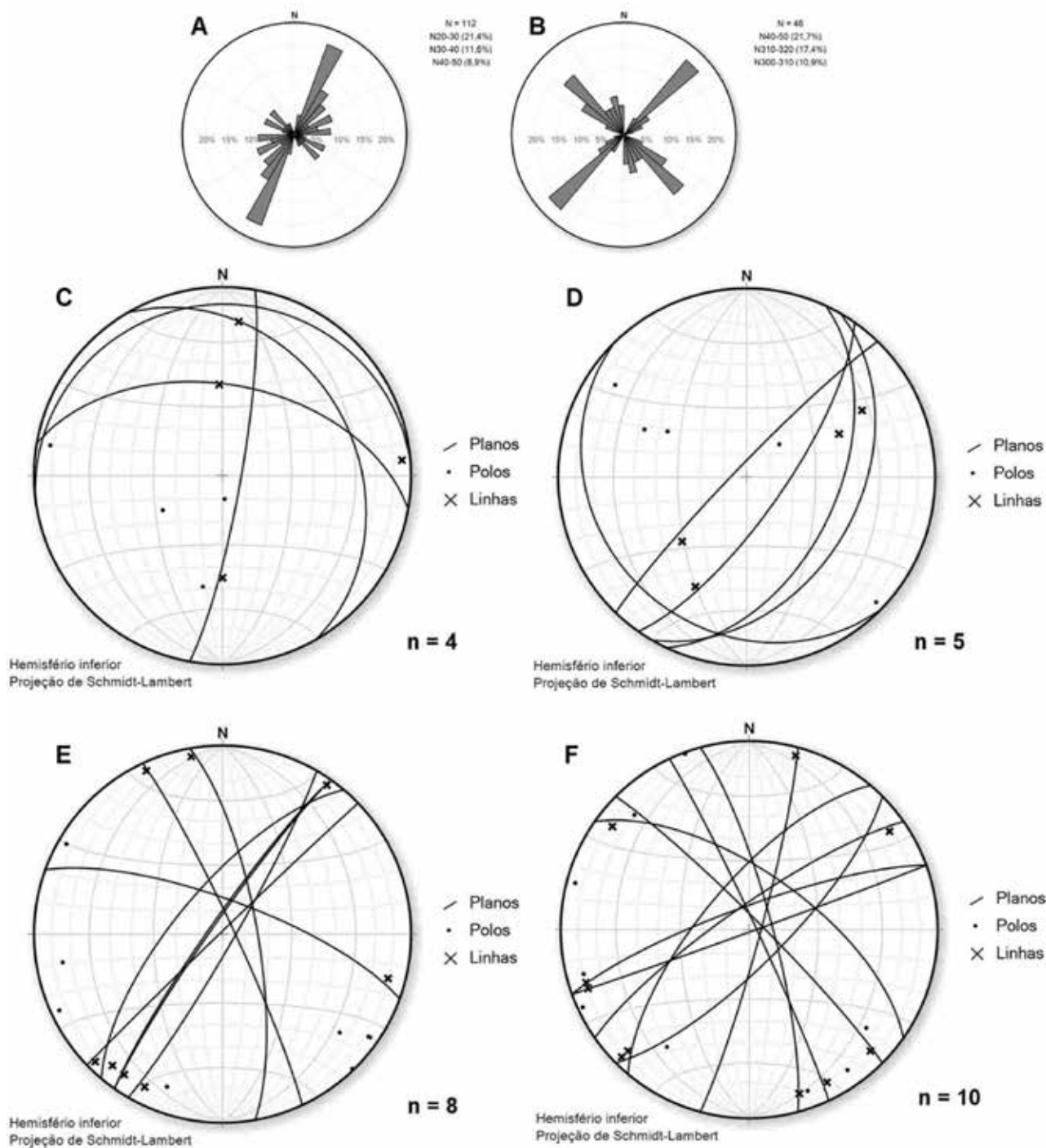


Figura 15 A. Diagrama de rosetas para as fraturas da porção norte da área; B. Diagrama de rosetas para as fraturas da porção sul da área; C. Estereograma das falhas inversas; D. Estereograma das falhas normais; E. Estereograma das falhas transcorrentes dextrais; F. Estereograma das falhas transcorrentes sinistras. Os diagramas foram confeccionados com medidas de campo e o 'n' representa o número de medidas.

Algumas zonas de cisalhamento podem chegar a 5 m de espessura, são bem marcadas e produzem cominuição da rocha. Localmente pode haver *gouge* de falha de granulação muito fina (partículas menores que 0.1 mm de diâmetro) e cor clara, com geração de rocha triturada e moída, exibindo aspecto pulverulento e friável. É formado principalmente por argilominerais e possui estrutura maciça. As zonas de *gouge* podem ser centimétricas a métricas.

No Complexo Atuba foram constatadas falhas inversas, normais e transcorrentes. As falhas inversas foram observadas nas pedreiras Inecol, Maringá, Marc Mineração e Central. As falhas normais ocorrem nas pedreiras Central, Maringá, São Jorge e Marc Mineração. As falhas transcorrentes foram encontradas nas pedreiras Paulo Leminski, Costa, Inecol, Atuba, Roça Grande, Maringá, Central, Greca, Arceipe, Marc Mineração e São Jorge, além de cortes de estrada. As pedreiras e afloramentos de cortes de estrada estão localizados na Figura 6.

As falhas inversas (Figura 15C) são localizadas, possuem baixo a alto ângulo de mergulho e produzem cominuição ou cataclasamento moderado. Apresentam degraus de falha marcantes e estrias verticais. Os planos são contínuos, paralelos, lisos, regularmente densos (distância entre 30 e 100 cm) e podem estar preenchidos por carbonato.

As falhas normais (Figura 15D) mostram planos ásperos, planares a curvilineares e brechados. Exibem médio a alto ângulo de mergulho, abertura centimétrica e persistência métrica, com estrias oblíquas e degraus de falha.

As falhas transcorrentes são métricas a decamétricas, largas, penetrativas, planares, abertas, regularmente densas a densas, lisas e preenchidas por epidoto ou calcita. Há estrias de atrito subhorizontais e degraus de falha preenchidos por material cinza escuro. As falhas podem ser dextrais (Figura 15E) ou sinistrais (Figura 15F). Foram observadas falhas correspondentes à Zona de Cisalhamento Lancinha nas pedreiras Costa, Inecol, Marc Mineração e São Jorge. São falhas transcorrentes dextrais, com direção média N35E/80SE e estrias de falha (Ls) com atitude N200/10. A Zona de Cisalhamento Curitiba foi constatada nas pedreiras Greca, Inecol e Roça Grande como falhas transcorrentes de direção geral N50E/85NW e estrias N230/5, ou planos de falha com orientação N55E/80SE e estrias N232/5. Eventualmente ocorrem brechas de falha, evidenciando rochas fraturadas e caracterizadas por fragmentos grossos e angulosos, envolvidos por material fino e cimentante. Estruturas em flor positivas ou negativas são raras. Algumas zonas de falhas mostram formas lenticulares ou amendoadas.

Em determinadas porções dos afloramentos podem aparecer veios quartzosos brancos, fraturados, falhados, escalonados e foliados, com espessura centimétrica. Os veios possuem contatos irregulares e podem ocorrer paralelos ou

discordantes à foliação principal das rochas. Localmente estão dobrados e *boudinados*. Microscopicamente os grãos de quartzo são anédricos granulares, finos, com contatos serrilhados. Mostram extinção ondulante e subgrãos. Também são observados veios de carbonato e epidoto. Os veios de carbonato são brancos e possuem espessura milimétrica. Por microscopia foram notados cristais finos com contatos irregulares e extinção ondulante. Os veios de epidoto são verdes, centimétricos e paralelos ou discordantes ao bandamento dos migmatitos.

5 Integração dos Dados

A integração entre os produtos de aeromagnetometria e geologia estrutural rúptil fornece o diagnóstico de subsuperfície e superfície, corroborando com os dados geológicos regionais. No mapa do campo magnético anômalo reduzido ao polo continuado para 300 m (Figura 7D) é possível observar anomalias que sugerem a presença dos diques de diabásio do Arco de Ponta Grossa, entre os lineamentos Rio Alonzo e São Jerônimo-Curiúva (Figura 3A; Portela Filho & Ferreira 2003). Na porção sudoeste do mapa observa-se uma tendência de direção geral NE-SW, possivelmente refletindo a existência de falhas proterozoicas.

Os lineamentos magnéticos integrados com a geologia da área de estudo apresentam fortes anomalias nas porções nordeste e noroeste dos mapas (Figura 9A-D), com amplitudes altas e próximas da cor rosa. No mapa do GHT (Figura 9A) as intensidades chegam a 3.669 nT/m e no método da ASA (Figura 9C) os valores têm seu máximo em 5.8377 nT/m. As anomalias mostram direções gerais NW-SE, que podem ser interpretadas pelas respostas magnéticas dos diques de diabásio do Arco de Ponta Grossa.

As regiões sudeste e sudoeste são formadas por baixas magnitudes e são constituídas principalmente pelas cores verde e azul (Figura 9A-D). Há anomalias magnéticas de direção NE-SW, que podem ser consideradas como falhas e fraturas inseridas no domínio do Complexo Atuba. Os valores variam de 0 a 0.085 nT/m no mapa do GHT (Figura 9A) e 0.004 a 0.1552 no mapa da ASA (Figura 9C). Nessas partes do mapa geológico (Figura 6) as rochas são compostas pelo granito-gnaiss Guajuvira e migmatitos do Complexo Atuba, além do Complexo Metamórfico Indiferenciado (xistos, peridotitos, noritos e quartzitos), dos sedimentos recentes e da Formação Guabirotuba.

A Zona de Cisalhamento Curitiba aparece como um lineamento magnético de forma fraca nos mapas do GHT (Figura 9A), ASA (Figura 9C) e GHT-ISA (Figura 10A). No mapa da ISA-GHT (Figura 11B) possui aspecto evidente e separa a área estudada em duas porções principais, com

características e idades diversificadas, sendo que a região norte é formada predominantemente pela Formação Capiru (mármore, filito, quartzito e metarenito) e a região sul é constituída especialmente pelos migmatitos do Complexo Atuba. A amplitude do lineamento magnético varia entre 0.8624 até 1.0291 rad e exibe cores vermelhas ou róseas. A anomalia possui orientação geral NE-SW e corta as porções nordeste e noroeste da área de trabalho. A zona foi percebida nas pedreiras 8, 4 e 7, com planos de direção NE e alto ângulo de mergulho, confirmando os dados obtidos no mapa geológico (Figura 6), no mapa de lineamentos (Figura 3B) e nos filtros aeromagnéticos (Figuras 9A, 9C, 10A e 11B).

As anomalias magnéticas que correspondem à Zona de Cisalhamento Lancinha ocorrem nos mapas do GHT (Figura 9A) e ASA (Figura 9C) de caráter fraco ou incipiente. A estrutura é marcada pelo regime transcorrente, com direção predominante NE-SW, separando rochas da Formação Capiru das rochas da Formação Votuverava e Granito Cerne. As amplitudes da estrutura magnética no mapa do GHT ocorrem entre 0.239 a 0.363 nT/m (Figura 9A) e apresentam respostas muito altas. No mapa da ASA as amplitudes variam entre 0.2662 a 0.4108 nT/m (Figura 9C). A Zona de Cisalhamento Lancinha foi notada nas pedreiras 10, 4, 11 e 1, tem planos de direção NE e alto ângulo de mergulho, com estrias subhorizontais, apontando associação com o mapa geológico da área (Figura 6) e com os mapas do GHT e da ASA.

As falhas do Passaúna, do Alto Iguaçu e da Serra do Mar observadas no mapa do GHT (Figura 9A) corroboram com os dados do mapa geológico da área de estudo (Figura 6). As falhas apresentam orientação NE-SW, possuem planos abertos e ocorrem nos quadrantes sudeste e sudoeste do mapa. A pedreira Costa (número 10; Figura 6) exibe falhas transcorrentes de direção N45E/75SE (Ls N225/5), que podem estar relacionadas com a falha do Alto Iguaçu. A falha do Passaúna tem direção N40-50E e ocorre nas proximidades da pedreira Atuba (número 6; Figura 6). Esta possui falhas transcorrentes, com planos de falha sinistrais e atitudes gerais N70E/89NW. As falhas sugerem alguma correlação com a falha do Passaúna. Segundo Chavez-Kus (2008) a falha do Alto Iguaçu representa um dos lineamentos mais importantes da região e, a falha do Belém, observada apenas no mapa geológico (Figura 6), mostra movimento dextral de acordo com os deslocamentos dos cursos de drenagem.

As fraturas visualizadas em trabalhos de campo possuem direções principais NE-SW e NW-SE, corroborando com o mapa de lineamentos da área (Figura 3B) e com a imagem da ISA (Figura 9D).

As anomalias geofísicas de direção NE-SW, desenhadas pelas zonas de cisalhamento Curitiba e Lancinha e pelos lineamentos magnéticos das regiões sudeste e sudoeste da área estudada, possivelmente estão relacionadas ao evento transbrasiliano no Neoproterozoico. No mapa da ISA (Figura 9D) também é possível observar pequenos lineamentos NE-SW nas porções noroeste e nordeste. Os lineamentos encontram-se entre os grandes traços magnéticos de direção NW-SE.

A imagem da deconvolução de Euler (Figura 12B) destaca fracamente as feições brasileiras NE-SW nos quadrantes sudeste e sudoeste, apontando profundidades superiores a 784 m. Os lineamentos NW-SE associados ao Arco de Ponta Grossa foram caracterizados de modo marcante e são bem pronunciados pelas nuvens de soluções, sugerindo profundidades inferiores a 784 m. No mapa não foi possível visualizar os contatos geológicos e as principais zonas de cisalhamento ou falhas da área.

6 Discussões e Conclusões

As rochas aflorantes na área de estudo foram submetidas à deformação dútil e exibem fraturas milimétricas a métricas, que geram cominuição e redução dos grãos. Foram observadas duas famílias de fraturas principais, de direções NE-SW e NW-SE. Também se notam falhas inversas, normais e transcorrentes dextrais ou sinistrais nas pedreiras (pontos 1 ao 11) ou cortes de estrada estudados (pontos 12 ao 16).

A integração geofísico-geológica contribuiu para a compreensão de feições já mapeadas na literatura, abordando métodos de realce que auxiliaram no entendimento de estruturas geológicas em torno de métodos interpretativos qualitativos e semiquantitativos. Esses métodos foram úteis para detectar contrastes, susceptibilidade magnética, localização e forma das fontes. Através dos mapas magnéticos gerados foi possível interpretar os traçados de anomalias, correspondentes aos diques básicos do Mesozoico de orientação NW-SE e, às falhas e fraturas de direção NE-SW constatadas no Complexo Atuba. Os grandes lineamentos da área (Zona de Cisalhamento Lancinha e Zona de Cisalhamento Curitiba) aparecem de forma fraca nos filtros, com exceção da ZCC no mapa ISA-GHT, que caracteriza o contato tectônico entre as unidades neoproterozoicas da Formação Capiru e os migmatitos do embasamento cristalino paleoproterozoico (Complexo Atuba).

Os sinais magnéticos de direção NE-SW ocorrem de forma moderada na região sudeste e sudoeste dos mapas aerogeofísicos, em torno das pedreiras 9, 10 e 11, e dos cortes de estrada 12, 13, 14, 15 e 16, ao contrário dos

quadrantes noroeste e nordeste que estão obliterados e seccionados pela acumulação de diques de diabásio NW-SE, associados ao Arco de Ponta Grossa. Em algumas porções dos afloramentos podem ser constatadas pequenas estruturas NE-SW entre as feições NW-SE, especialmente na parte norte do filtro ISA. Os resultados de todos os métodos de realce utilizados nesta pesquisa são semelhantes.

As falhas do Passsaúna, Alto Iguazu e Serra do Mar foram observadas no mapa do GHT, assim como no mapa de lineamentos e no mapa geológico da área, corroborando os dados de campo com os dados da literatura.

No método da deconvolução de Euler foi encontrado traçados com profundidades inferiores e superiores a 784 m. Não foi possível perceber as principais estruturas geológicas da área, como a ZCC e a ZCL, pois não são marcadas por anomalias expressivas ou estão transpostas pelos diques, dificultando sua análise. Castro (2015) mostrou profundidades de até 1.000 m para a Zona de Cisalhamento Lancinha em sua parte aflorante no Complexo Atuba. As falhas do Passsaúna e do Alto Iguazu possuem faixas com profundidades superiores a 784 m (círculos azuis) e áreas com profundidades inferiores a 784 m (círculos pretos).

7 Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Universidade Federal do Paraná (UFPR), ao Departamento de Geologia da UFPR e ao Laboratório de Pesquisas em Geofísica Aplicada (LPGA), que por meio de seus recursos ajudaram a realização desta pesquisa.

8 Referências

- Almeida, F.F.M. 1967, 'Origem e evolução da plataforma brasileira', *Boletim*, no. 241, pp. 36.
- Almeida, F.F.M., Hasui Y., Brito Neves, B.B. & Fuck, R.A. 1977, 'Províncias estruturais brasileiras', *Simpósio de Geologia do Nordeste*, no. 6, pp. 363–91.
- Barão, L.M. 2016, 'Arcabouço estratigráfico - estrutural da Bacia do Guaratubinha e deformações associadas, sudeste do Estado do Paraná', Masters Dissertation, Universidade Federal do Paraná. <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/44275>
- Baranov, V. 1957, 'A new method for interpretation of aeromagnetic maps: Pseudo gravimetric anomalies', *Geophysics*, vol. 22, pp. 359–83. <https://doi.org/10.1190/1.1438369>
- Basei, M.A.S., McCreath, L. & Siga Junior, O. 1998, 'The Santa Catarina Granulite Complex of Southern Brazil: A Review', *Gondwana Research*, vol. 1, pp. 383–91. [https://doi.org/10.1016/S1342-937X\(05\)70854-6](https://doi.org/10.1016/S1342-937X(05)70854-6)
- Basei, M.A.S., Nutman, A., Siga Junior, O., Passarelli, C.R. & Drukas, C.O. 2009, 'The evolution and tectonic setting of the Luis Alves microplate of southeastern Brazil: an exotic terrane during the assembly of western Gondwana', *Developments in Precambrian Geology*, vol. 16, pp. 273–91. [https://doi.org/10.1016/S0166-2635\(09\)01620-X](https://doi.org/10.1016/S0166-2635(09)01620-X)
- Basei, M.A.S., Siga Junior, O., Machiavelli, A. & Mancini, F. 1992, 'Evolução tectônica dos terrenos entre os Cinturões Ribeira e Dom Feliciano (PR - SC)', *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 22, no. 2, 216–21. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.1992216221>
- Blakely, R.J. 1995, *Potential theory in gravity and magnetic applications*, Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Cabrita, D.I.G., Salamuni, E. & Lagoeiro, L. 2017, 'Fabric evolution of polydeformed orthogneisses and quartzites along the Curitiba shear zone, Curitiba domain, southern Brazil', *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 77, pp. 206–17. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.05.010>
- Campanha, G.A.C., Basei, M.A.S., Faleiros, F.M. & Nutman, A.P. 2015, 'The Mesoproterozoic to Early Neoproterozoic passive margin Lajeado Group and Apiáí Gabbro, Southeastern Brazil', *Geoscience Frontiers*, vol. 7, no. 4, 683–94. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.08.004>
- Campos Neto, M.C. 2000, 'Orogenic systems from southwestern Gondwana: an approach to Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage in Southeastern Brazil' in U.G. Cordani (ed), *Tectonic Evolution of South America*, International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 335–65.
- Castro, L.G. 2015, 'Arcabouço geofísico estrutural da porção meridional do Cinturão Ribeira e regiões adjacentes', PhD Thesis, Universidade Federal do Paraná. <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/37421>
- Castro, L.G. & Ferreira, F.J.F. 2015, 'Arcabouço geofísico-estrutural da porção meridional do Cinturão Ribeira', *Brazilian Journal of Geology*, vol. 45, no. 4, pp. 499–516. <https://doi.org/10.1590/2317-4889201520150007>
- Castro, L.G., Ferreira, F.J.F. & Angulo, R.J. 2008, 'Modelo Gravimétrico-Magnético do Gráben de Paranaíba', *Revista Brasileira de Geofísica*, vol. 26, no. 3, pp. 273–92. <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2008000300002>
- Castro, L.G., Ferreira, F.J.F., Bongioioli, A.B.S., Romeiro, M.A.T. & Souza, J. 2010, 'Realce do gradiente horizontal total de anomalias magnéticas usando a inclinação do sinal analítico. Parte II - Aplicação a dados reais', *Simpósio Brasileiro de Geofísica*, pp. 1–5.
- Castro, L.G., Ferreira, F.J.F., Cury, L.F., Fiori, A.P., Soares, P.C., Lopes, A.P. & Oliveira, M.J. 2014, 'Interpretação qualitativa e semiquantitativa dos dados aeromagnéticos sobre a Zona de Cisalhamento Lancinha, porção meridional do Cinturão Ribeira no Estado do Paraná, Sul do Brasil', *Geologia USP, Série Científica*, vol. 14, no. 4, pp. 3–18. <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X201400040001>
- Chavez-Kus, L. 2008, 'Modelo de funcionamento do aquífero Atuba com base em parâmetros estruturais e hidrogeológicos, município de Curitiba', PhD Thesis, Universidade Federal do Paraná. <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/19088>
- Chavez-Kus, L. & Salamuni, E. 2008, 'Evidência de tensão N-S intraplaca no neógeno, Complexo Atuba - região de Curitiba (PR)', *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 38, no. 3, pp. 439–54. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2008383439454>
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais 2011, 'Projeto Aerogeofísico Paraná - Santa Catarina', CPRM, 27 volumes

- de compilação, São Paulo, escalas 1:100.000, 1:250.000 e 1:500.000.
- Cooper, G.R.J. & Cowan, D.R. 2006, 'Enhancing potential field data using filters based on the local phase', *Computers & Geosciences*, vol. 32, no. 10, pp. 1585–91. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2006.02.016>
- Cordell, L. & Grauch, J.S. 1985, 'Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico', *Society of Exploration Geophysicists*, pp. 246–47. <https://doi.org/10.1190/1.1826915>
- CPRM - vide Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.
- Cunha, R.F. 2016, 'Contexto paleoambiental e tafonomia da assembléia fóssil da Formação Guabirotuba, Bacia de Curitiba, Paraná', Masters Dissertation, Universidade Federal do Paraná. <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/43406>
- Cury, L.F. 2009, 'Geologia do Terreno Paranaçu', PhD Thesis, Universidade de São Paulo. <https://doi.org/10.11606/T.44.2009.tde-06072009-113335>
- Cury, F.C., Kaulfuss, G.A., Siga Junior, O., Basei, M.A.S., Harara, O.M. & Sato, K. 2002, 'Idades U-Pb (zircões) de 1.75 Ga em granitoides alcalinos deformados dos núcleos Betara e Tigre: Evidências de regimes extensionais do Estateriano na Faixa Apiaí', *Geologia USP, Série Científica*, vol. 2, 95–108. <https://doi.org/10.5327/S1519-874X2002000100009>
- Evjen, H.M. 1936, 'The place of vertical gradient in gravitational interpretations', *Geophysics*, vol. 1, no. 1, pp. 27–136. <https://doi.org/10.1190/1.1437067>
- Faleiros, F.M. 2008, 'Evolução de terrenos tectono-metamórficos da serra da Ribeira e Planalto Alto Turvo (SP, PR)', PhD Thesis, Universidade de São Paulo. <https://doi.org/10.11606/T.44.2008.tde-02092008-113513>
- Faleiros, F.M., Campanha, G.A.C., Martins, L., Vlach, S.R.F. & Vasconcelos, P.M. 2011, 'Ediacaran high-pressure collision metamorphism and tectonics of the southern Ribeira Belt (SE Brazil): Evidence for terrane accretion and dispersion during Gondwana assembly', *Precambrian Research*, vol. 189, pp. 263–91. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2011.07.013>
- Ferreira, F.J.F. 1991, 'Aerogamaespectrometria e aeromagnetometria de um trato ocidental do pré-cambriano paulista', PhD Thesis, Universidade de São Paulo. <https://doi.org/10.11606/T.44.1991.tde-22082013-110627>
- Ferreira, F.J.F., Souza, J., Bongioiolo, A.B.S. & Castro, L.G. 2013, 'Enhancement of the total horizontal gradient of magnetic anomalies using the tilt angle', *Geophysics*, vol. 78, pp. 33–41. <https://doi.org/10.1190/geo2011-0441.1>
- Ferreira, F.J.F., Souza, J., Bongioiolo, A.B.S., Castro, L.G. & Romeiro, M.A.T. 2010, 'Realce do gradiente horizontal total de anomalias magnéticas usando a inclinação do sinal analítico. Parte I: Aplicação a dados sintéticos', *Simpósio Brasileiro de Geofísica*, pp. 1–6.
- Fiori, A.P. 1985, 'A Falha da Lancinha no Pré-Cambriano paranaense: reflexo de uma falha profunda?', *Boletim Paranaense de Geociências*, vol. 36, pp. 6–14.
- Fiori, A.P. 1990, 'Tectônica e Estratigrafia do Grupo Açungui a Norte de Curitiba', PhD Thesis, Universidade de São Paulo.
- Fiori, A.P., Fassbinder, E., Góis, J.R. & Fumagalli, C.E. 1987, 'Compartimentação tectônica do Grupo Açungui a norte de Curitiba', *Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia*, pp. 183–196.
- Fronza, G., Gilveira, C.T., Fiori, A.P., Salamuni, E., Nascimento, E.R., D'aroz, P. & Mottin, T.E. 2016, 'Aplicativos para geração de estereogramas e classificação de rochas ígneas', *Congresso Brasileiro de Geologia*, p. 1.
- Gomes, C.B., Azzone, R.G., Ruberti, E., Vasconcelos, P.M., Sato, K. & Rojas, G.E.E. 2018, 'New age determinations for the Banhadão and Itapirapuã complexes in the Ribeira Valley, southern Brazil', *Brazilian Journal of Geology*, vol. 48, no. 2, pp. 1–12. <https://doi.org/10.1590/2317-4889201820170094>
- Gonçalves, F.M. 2012, 'Caracterização da Zona de Cisalhamento Curitiba - (PR)', Masters Dissertation, Universidade Federal do Paraná. <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/30089>
- Grant, F.S. & Dodds, J. 1972, *MAGMAP FFT processing system development notes*, Paterson, Grant and Watson Limited.
- Gunn, P.J. 1997, 'Quantitative methods for interpreting aeromagnetic data: a subjective review', *Journal of Australian Geology & Geophysics*, vol. 17, no. 2, pp. 105–13.
- Hallinan, S.E., Mantovani, M.S.M., Shukowsky, W. & Braggion Junior, I. 1993, 'Estrutura do escudo Sul-Brasileiro: Uma revisão através de dados gravimétricos e magnetométricos', *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 23, pp. 201–214. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.1993233201214>
- Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A.C., Campos Neto, M.C., Silva, L.C., Trouw, R.A.J. & Janasi, V.A. 2004, 'Provincia Mantiqueira' in V. et al. Mantessoneto (eds), *Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, Editora Deca, Brazil, pp. 203–34.
- Heilbron, M., Valeriano, C.M., Tassinari, C.C.G., Almeida, J.C.H., Tupinambá, M., Siga Junior, O. & Trouw, R.A.J. 2008, 'Correlation of Neoproterozoic terranes between the Ribeira Belt, SE Brazil and its African counterpart: comparative tectonic evolution and open questions', *Journal Geological Society London, Special Publication*, vol. 294, pp. 211–32. <https://doi.org/10.1144/SP294.12>
- Li, X. 2006, 'Understanding 3D analytic signal amplitude', *Geophysics*, vol. 71, no. 2, pp. 13–16. <https://doi.org/10.1190/1.2184367>
- Macleod, I.N., Vierra, S. & Chaves, A.C. 1993, 'Analytic signal and reduction-to-the-pole in the interpretation of total magnetic field data at low magnetic latitudes', *Proceedings of the third international congress of the Brazilian Society of Geophysicists*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609-pdb.324.830>
- Milani, E.J. 2007, 'The Paraná Basin: a multi-cycle sedimentary and magmatic intracratonic province of W Gondwana', *Problems in Western Gondwana Geology*, pp. 99–107.
- Miller, H.G. & Singh, V. 1994, 'Potential field tilt - a new concept for location of potential field sources', *Journal of Applied Geophysics*, vol. 32, pp. 213–17. [https://doi.org/10.1016/0926-9851\(94\)90022-1](https://doi.org/10.1016/0926-9851(94)90022-1)
- Mineropar 2006, *Mapa Geológico do Estado do Paraná, escala: 1:650.000*, viewed 11 April 2016, <<http://www.mineropar.pr.gov.br/>>.
- Nabighian, M.N. 1972, 'The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section; its properties and use for automated anomaly interpretation', *Geophysics*, vol. 37, pp. 507–17. <https://doi.org/10.1190/1.1440276>
- Passarelli, C.R. 2001, 'Caracterização estrutural e geocronológica dos domínios tectônicos da porção sul-oriental do Estado de

- São Paulo', PhD Thesis, Universidade de São Paulo. <https://doi.org/10.11606/T.44.2001.tde-03022014-155518>
- Portela Filho, C.V. & Ferreira, F.J.F. 2003, 'Estimativas das taxas de extensão crustal da região central do Arco de Ponta Grossa (Bacia do Paraná) com base em modelagens aeromagnéticas', *Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica*. <http://www.geologia.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2017/08/estimativa.pdf>
- Raposo, M.I.B. & Ernesto, M. 1995, 'Anisotropy of magnetic susceptibility in the Ponta Grossa dyke swarm (Brazil) and its relationship with magma flow direction', *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, vol. 87, pp. 183–96. [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(94\)02970-M](https://doi.org/10.1016/0031-9201(94)02970-M)
- Reid, A.B., Allsop, J.M., Granser, H., Millett, A.J. & Somerton, I.W. 1990, 'Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution', *Geophysics*, vol. 55, no. 1, pp. 80–91. <https://doi.org/10.1190/1.1442774>
- Roest, W.R.J., Verhoef, J. & Pilkington, M. 1992, 'Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal', *Geophysics*, vol. 57, pp. 116–25. <https://doi.org/10.1190/1.1443174>
- Salamuni, E., Gonçalves, F.M. & Fiori, A.P. 2010, 'Zona de cisalhamento Curitiba', *Congresso Brasileiro de Geologia*, p. 1.
- Sato, K., Siga Junior, O., Nutman, A.P., Basei, M.A.S., McCreath, I. & Kaulfuss, G. 2003, 'The Atuba Complex, Southern South American Platform: Archean Components and Paleoproterozoic to Neoproterozoic Tectonothermal Events', *Gondwana Research*, vol. 6, no. 2, pp. 251–63. [https://doi.org/10.1016/S1342-937X\(05\)70974-6](https://doi.org/10.1016/S1342-937X(05)70974-6)
- Siga Junior, O. 1995, 'Domínios tectônicos do sudeste do Paraná e nordeste de Santa Catarina: Geocronologia e evolução crustal', PhD Thesis, Universidade de São Paulo. <https://doi.org/10.11606/T.44.1995.tde-05112013-093542>
- Siga Junior, O., Basei, M.A.S. & Machiavelli, A. 1993, 'Evolução geotectônica da porção NE de Santa Catarina e SE do Paraná, com base em interpretações geocronológicas', *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 23, no. 3, pp. 215–23. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.1993233215223>
- Siga Junior, O., Basei, M.A.S., Reis Neto, J.M., Machiavelli, A. & Harara, O.M. 1995, 'O Complexo Atuba: um cinturão Paleoproterozoico intensamente retrabalhado no Neoproterozoico', *Geologia USP, Série Científica*, vol. 26, pp. 69–98. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-8986.v26i0p69-98>
- Silva, V.A.F. 2020, 'Magnetic and radiometric signatures of alkaline complexes and other intrusions from the Ponta Grossa Arch, southeastern Paraná Basin, Brazil', PhD Thesis, Universidade Federal do Paraná. <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/68718>
- Souza, J. & Ferreira, F.J.F. 2012, 'On the use of derivatives for interpreting magnetic anomalies due to dyke-like bodies: qualitative and quantitative analysis', *International Geophysical Conference and Oil & Gas Exhibition*, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1190/IST092012-001.157>
- Souza, J. & Ferreira, F.J.F. 2013, 'On the use of derivatives for interpreting magnetic anomalies due to dyke-like bodies II: application to synthetic and field data', *Society of Exploration Geophysicists*. <https://doi.org/10.1190/segam2013-0455.1>
- Souza, J. & Ferreira, F.J.F. 2015, 'The application of the Signum transform to the interpretation of magnetic anomalies due to prismatic bodies', *International Geophysical Conference and Exhibition*. <https://doi.org/10.1071/ASEG2015ab190>
- Strugale, M., Rostirolla, S.P., Mancini, F., Portela Filho, C.V., Ferreira, F.J.F. & Freitas, R.C. 2007, 'Structural framework and Mesozoic-Cenozoic evolution of Ponta Grossa Arch, Paraná basin, southern Brazil', *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 24, pp. 203–27. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2007.05.003>
- Thiede, D.S. & Vasconcelos, P.M. 2010, 'Paraná flood basalts: rapid extrusion hypothesis confirmed by new ⁴⁰Ar/³⁹Ar results', *Geology*, vol. 38, no. 8, pp. 747–50. <https://doi.org/10.1130/G30919.1>
- Thompson, D.T. 1982, 'A new technique for making computer assisted depth estimates from magnetic data', *Geophysics*, vol. 47, no. 1, pp. 31–7. <http://dx.doi.org/10.1190/1.1441278>
- Thurston, J.B. & Smith, R.S. 1997, 'Automatic conversion of magnetic data to depth, dip, and susceptibility contrast using SPI (TM) method', *Geophysics*, vol. 62, no. 3, pp. 807–13. <https://doi.org/10.1190/1.1444190>
- Verduzco, B., Fairhead, J.D. & Green, C.M. 2004, 'New insights into magnetic derivatives for structural mapping', *The Leading Edge*, vol. 23, no. 2, pp. 116–9. <https://doi.org/10.1190/1.1651454>
- Weiherrmann, J.D., Ferreira, F.J.F., Cury, L.F. & Silveira, C.T. 2016, 'Gamma-ray spectrometry of granitic suites of the Paranaguá Terrane, Southern Brazil', *Journal of Applied Geophysics*, vol. 132, pp. 38–52. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2016.06.017>
- Winjs, C., Perez, C. & Kowalczyk, P. 2005, 'Theta map: Edge detection in magnetic data', *Geophysics*, vol. 70, no. 4, pp. 39–43. <https://doi.org/10.1190/1.1988184>

Recebido em: 22/01/2021

Aprovado em: 15/06/2021

Como citar:

Bladin, M.T., Salamuni, E., Gimenez, V.B. & Lagoeiro, L.E. 2021, 'Dados Aeromagnetométricos da Porção Sudoeste do Complexo Atuba –Terreno Curitiba, Cinturão Ribeira Meridional', *Anuário do Instituto de Geociências*, vol. 44:41045. https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_41045