

## Aeromagnetometria e aerogamaespectrometria do Complexo Atuba e arredores, leste do estado do Paraná

*Aeromagnetometry and aerogammaspectrometry of Atuba  
Complex and surroundings, eastern Paraná State, Brazil*

Michelangelo Tissi Baldin<sup>1</sup> , Eduardo Salamuni<sup>1</sup> , Luís Gustavo de Castro<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidade Federal do Paraná - UFPR, Departamento de Geologia, Avenida Coronel Francisco H. dos Santos, s/n, Jardim das Américas, CEP 81270-460, Curitiba, PR, BR (miche\_georock@yahoo.com.br; salamuni@ufpr.br; lgcastro7@gmail.com)

Recebido em 4 de setembro de 2019; aceito em 20 de fevereiro de 2020

### Resumo

As rochas do Complexo Atuba afloram na porção leste do Estado do Paraná e compreendem a região sul do Cinturão Ribeira. Situam-se a norte do Terreno Luís Alves e estão enquadradas no Terreno Curitiba. O objetivo desta pesquisa foi definir as unidades geológicas e o arcabouço estrutural da área de trabalho, junto ao mapeamento de falhas, fraturas e diques. A pesquisa foi desenvolvida por meio de aeromagnetometria e aerogamaespectrometria. A primeira permitiu interpretar os traçados de lineamentos e estabelecer o arcabouço estrutural da área de estudo, porém não conseguiu separar de forma definida o Complexo Atuba do Grupo Açungui. As grandes zonas de cisalhamento definidas pela Zona de Cisalhamento (ZC) Lancinha-Cubatão e ZC Curitiba estão encobertas e mascaradas pelos diques básicos mesozoicos. Os lineamentos com direção NE-SW são escassos e correspondem às falhas e às fraturas observadas principalmente no domínio do Complexo Atuba e da Bacia Sedimentar de Curitiba. As orientações NW-SE aparecem em grande proporção e estão relacionadas às falhas e aos diques. O método gamaespectrométrico possibilitou observar a dispersão dos elementos K, Th e U, caracterizando as unidades litológicas e detectando a presença de intrusões ígneas. De acordo com esse método, foi possível identificar quatro domínios diferentes, formados pelo Complexo Atuba, pela Formação Capiru, pela Formação Guabirota e por granitos neoproterozoicos.

**Palavras-chave:** Terreno Curitiba; Aeromagnetometria; Método gamaespectrométrico.

### Abstract

The rocks of the Atuba Complex outcrop in the eastern portion of the Paraná state, comprising the southern region of the Ribeira Belt. They are present to the north of the Luís Alves Terrain and within the Curitiba Terrain. The objective of the research is to define the geological units and the structural framework of the work area, together with the mapping of faults, fractures and dikes. This research was developed using airborne magnetic field and gamma-ray spectrometry data. The magnetic field data allowed interpreting regional lineaments and establishing its structural framework, but it was unable to separate the Atuba Complex from the Açungui Group. Large shear zones defined by the Lancinha-Cubatão Shear Zone and Curitiba Shear Zone are undercover and masked by the mesozoic basic dikes. NE-SW oriented lineaments are scarce and correspond to faults and fractures observed mainly in the Atuba Complex and Curitiba Sedimentary Basin domain. NW-SE orientation appear in large proportion and are related to faults and dikes. The gamma-ray spectrometry method allowed to observe the dispersion of the elements K, Th and U, characterizing the lithological units and detecting the presence of igneous intrusions. According to this method it was possible to identify four different domains, formed by the Atuba Complex, Capiru Formation, Guabirota Formation and neoproterozoic granites.

**Keywords:** Curitiba Terrain; Aeromagnetometry; Gamma-ray spectrometric method.

## INTRODUÇÃO

A presente pesquisa envolve um estudo baseado em métodos magnetométricos e gamaespectrométricos das rochas metamórficas de médio a alto grau do Complexo Atuba (Siga Junior et al., 1995), inseridas no âmbito do Terreno Curitiba (Siga Junior, 1995; Heilbron et al., 2008; Faleiros, 2008), na porção leste do Estado do Paraná. O Terreno Curitiba está limitado a noroeste pelas sequências metassedimentares dos Grupos Açungui e Setuva e, a sudeste, pelos gnaisses granulíticos do Terreno Luís Alves (Fuck et al., 1967; Basei et al., 1990; Siga Junior et al., 1995; Salamuni, 1998). No contexto da Província Mantiqueira, o Complexo Atuba está localizado no Cinturão Ribeira, sendo formado por rochas arqueanas, paleoproterozoicas e mesoproterozoicas (Tassinari et al., 2001).

A área de trabalho localiza-se principalmente na cidade de Curitiba e arredores, no leste do estado do Paraná, abrangendo uma área de aproximadamente 1.250 km<sup>2</sup> (Figura 1). Inclui os municípios de Colombo, Campo Largo, Quitandinha, Balsa Nova e São José dos Pinhais. Compreende aproximadamente as longitudes oeste 49°00 e 49°40 e as latitudes sul 25°00 e 25°50. A rede de drenagem da região é constituída, principalmente, dos rios Passaúna, Palmital, Iguaçu e Atuba.

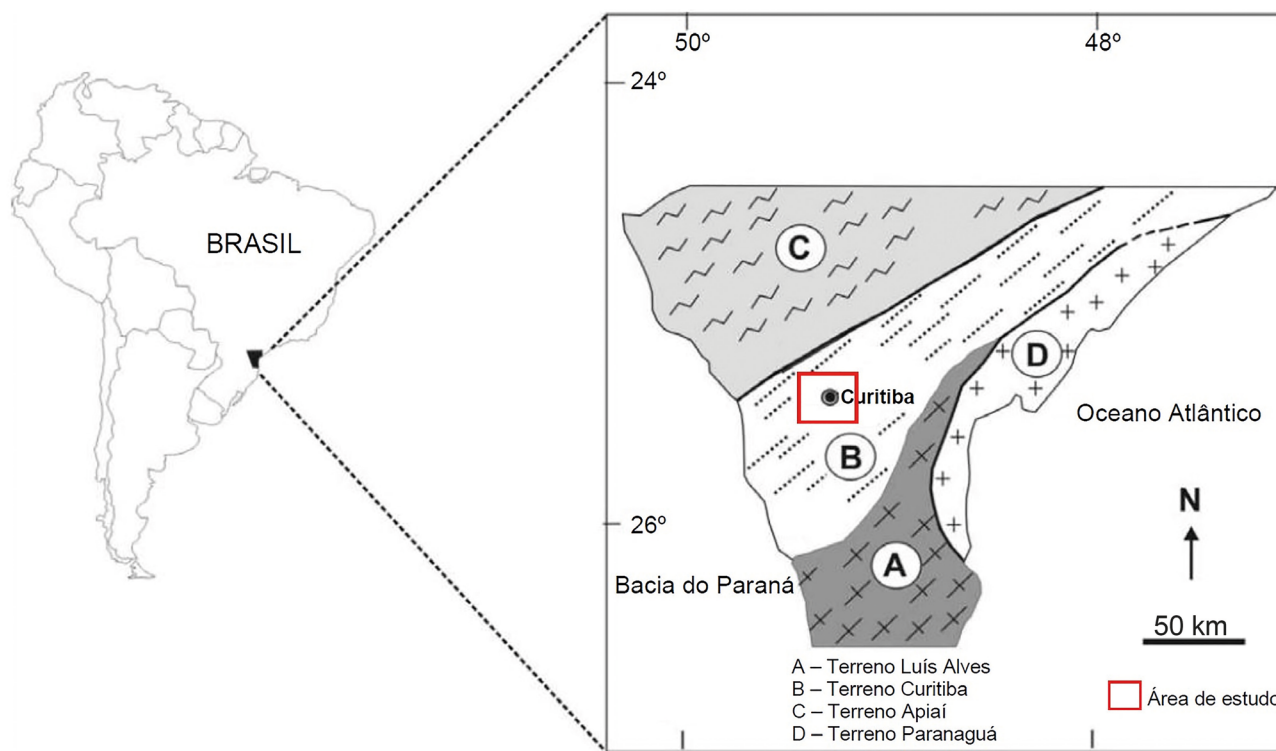
O objetivo principal deste trabalho foi definir as unidades geológicas e o arcabouço estrutural da área de trabalho,

estabelecendo relações com os grandes lineamentos de direção NE (Zona de Cisalhamento — ZC Lancinha-Cubatão e ZC Curitiba). Como objetivos secundários, destacam-se o mapeamento de falhas, fraturas e diques de direção NW intrudidos no embasamento, junto à verificação da distribuição espacial das estruturas em subsuperfície.

A pesquisa utilizou a resposta geofísica das unidades para aprofundar o conhecimento dos terrenos pré-cambrianos no Estado do Paraná, utilizando métodos de análise qualitativa. Dessa forma, espera-se que o desenvolvimento desta pesquisa possa contribuir com mais dados a respeito da geologia do leste paranaense.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido por meio do processamento, da interpretação e da integração de dados geofísicos referentes ao Projeto Aerogeofísico Paraná — Santa Catarina (Figura 2). De acordo com a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2011), o levantamento foi caracterizado por linhas de voo espaçadas de 500 m e linhas de controle com intervalos de 10 km, orientadas nas direções N-S e E-W, respectivamente. As leituras dos gamaespectrômetros foram realizadas a cada segundo, representando medições a intervalos de amostragem de 75, 78 ou 76 m no



Fonte: modificado de Sato et al. (2009).

**Figura 1.** Localização e acessos à área de estudo.

terreno. As leituras dos magnetômetros foram elaboradas a cada 0,1 s, o que equivale a 7,5, 7,6 ou 7,8 m no terreno. Os dados de magnetometria e gamaespectrometria foram processados no *software* Geosoft Oasis Montaj 2007, versão 6.4.2. Os mapas aerogeofísicos têm a mesma dimensão do mapa geológico de Salamuni (1998).

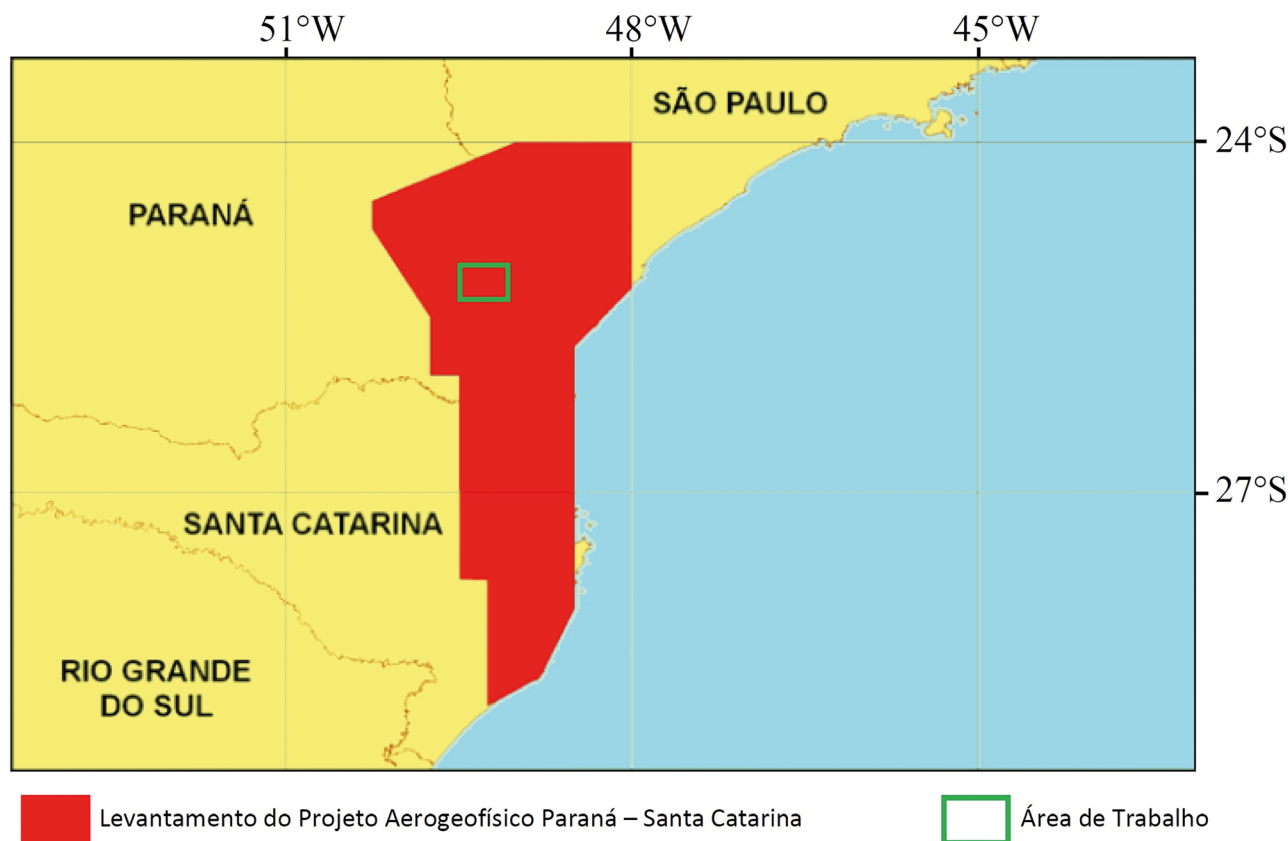
A interpretação qualitativa para os dados aeromagnetométricos é caracterizada por meio de técnicas de realce de anomalias e lineamentos (Figura 3). As técnicas de realce e seus atributos utilizados durante o processamento dos dados aerogeofísicos estão sintetizados na Tabela 1. Os domínios magnéticos observados na área e as principais estruturas foram verificados e interpretados, segundo dados de campo e da literatura.

Segundo Ribeiro et al. (2014), a gamaespectrometria é uma ferramenta muito útil para caracterização de diferentes unidades litológicas indivisas, localização de alvos exploratórios minerais, ocorrência de hidrotermalismo e delimitação de estruturas geotectônicas com mais precisão, contribuindo para o entendimento de uma área em apreço.

A interpretação qualitativa dos dados gamaespectrométricos auxiliou os trabalhos da cartografia geológica da área.

Os principais litotipos podem ser observados na Figura 4. A partir dos dados gamaespectrométricos concedidos e corrigidos, foi possível confeccionar mapas de contorno dos radioelementos ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  e  $^{238}\text{U}$ ) e da contagem total. Também foi empregada a análise da distribuição dos radioelementos e suas respostas de acordo com a geologia do leste paranaense. Os mapas gamaespectrométricos foram comparados com o mapa de Salamuni (1998) (Figura 4) para a delimitação dos corpos rochosos e das unidades encontradas na região.

O potássio (K) aparece em maior quantidade na parte superior da crosta continental (Ulbrich et al., 2009). A principal ocorrência acontece nos feldspatos potássicos. Os polimorfos mais abundantes são o ortoclásio e o microclínio (Cox et al., 1979). O elemento ocorre também na flogopita, na biotita, na muscovita e nos argilominerais. Os granitoides, os sienitoides, os filitos, os xistos, os gnaisses, os folhelhos e os argilitos são as rochas que apresentam maior teor de K (Ribeiro et al., 2014). Este apresenta alta mobilidade durante o intemperismo e a alteração hidrotermal (Wilford et al., 1997), podendo ser lixiviado e absorvido por argilominerais.



Fonte: modificado de CPRM (2011).

**Figura 2.** Localização da área de trabalho dentro do Projeto Aerogeofísico executado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.

O tório (Th) e o urânio (U) estão presentes em rochas ígneas e metamórficas como minerais acessórios (Boyle, 1982). São menos móveis do que o K e são absorvidos por argilominerais (Wilford et al., 1997). O U ocorre em pegmatitos, sienitos, carbonatitos, granitos, gnaisses e folhelhos. O Th pode estar na alanita, na monazita, na xenotima e no zircão (Dickson e Scott, 1997).

**GEOLOGIA REGIONAL**

A área de estudo está inserida na parte meridional da Província Mantiqueira, no setor leste do Estado do Paraná (Figura 5). Está situada no Terreno Curitiba e compõe o Cinturão Ribeira Meridional, junto aos terrenos Paranaguá, Apiaí e Luís Alves.

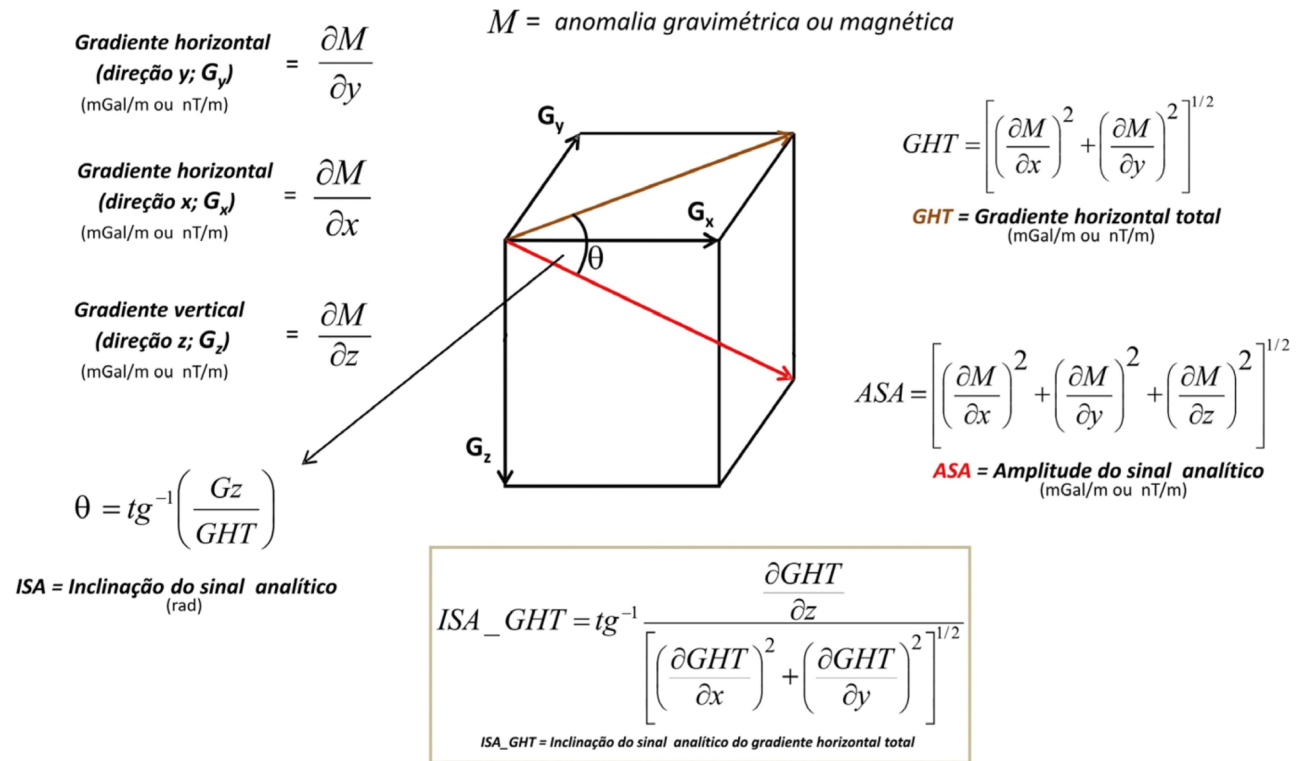
O Terreno Paranaguá ocorre na região costeira, em porções de Santa Catarina, Paraná e São Paulo (Cury, 2009). É constituído das suítes Morro Inglês, Rio do Poço e Canavieiras-Estrela. As idades do magmatismo das suítes estão no intervalo entre 600 e 580 Ma (Siga Junior, 1995; Cury, 2009).

O Terreno Apiaí localiza-se a norte do Terreno Curitiba e a sul-sudeste da ZC Lancinha (Prazeres Filho et al., 2003; Heilbron et al., 2008). É formado por plataformas

carbonáticas, seqüências metavulcanossedimentares (Campos Neto, 2000; Campanha et al., 2016) em meio a núcleos do embasamento e batólitos ou *stocks* graníticos (Campanha e Sadowski, 1999; Cury et al., 2002). As idades variam de Calimiana (U-Pb em zircão, 1450–1500 Ma; Campanha et al.,

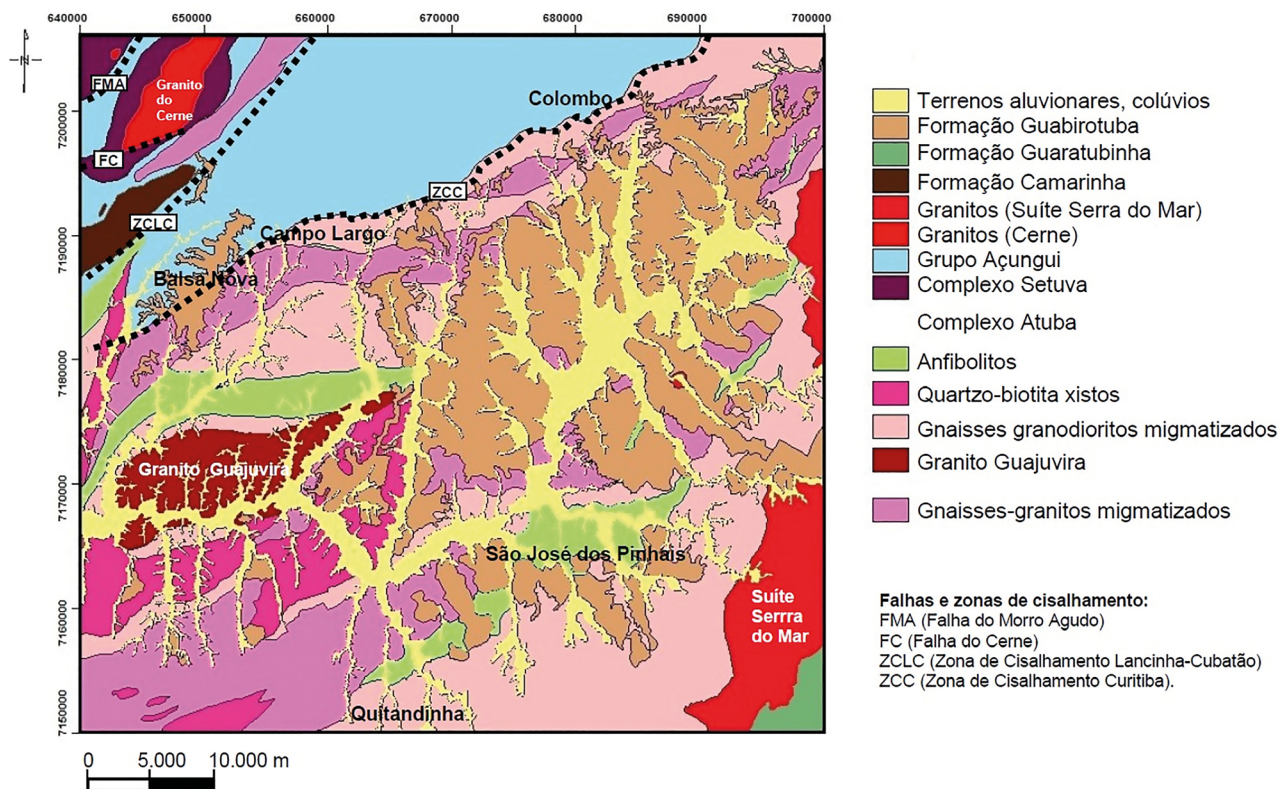
**Tabela 1.** Principais métodos de realce e suas atribuições.

Métodos de realce de anomalia magnético	Principais atributos
Gradiente horizontal total (GHT)	Máximos nas bordas e mínimos (relativos) nos centros dos corpos.
Amplitude do sinal analítico (ASA)	Máximos nas bordas e mínimos (relativos) nos centros dos corpos.
Inclinação do sinal analítico (ISA)	Máximos nos centros dos corpos (equalização das amplitudes).
Inclinação do sinal analítico do gradiente horizontal total (ISA-GHT)	Máximos nas bordas (equalização das amplitudes) e mínimos nos centros dos corpos. Realça indistintamente os sinais dos limites de corpos rasos e profundos.



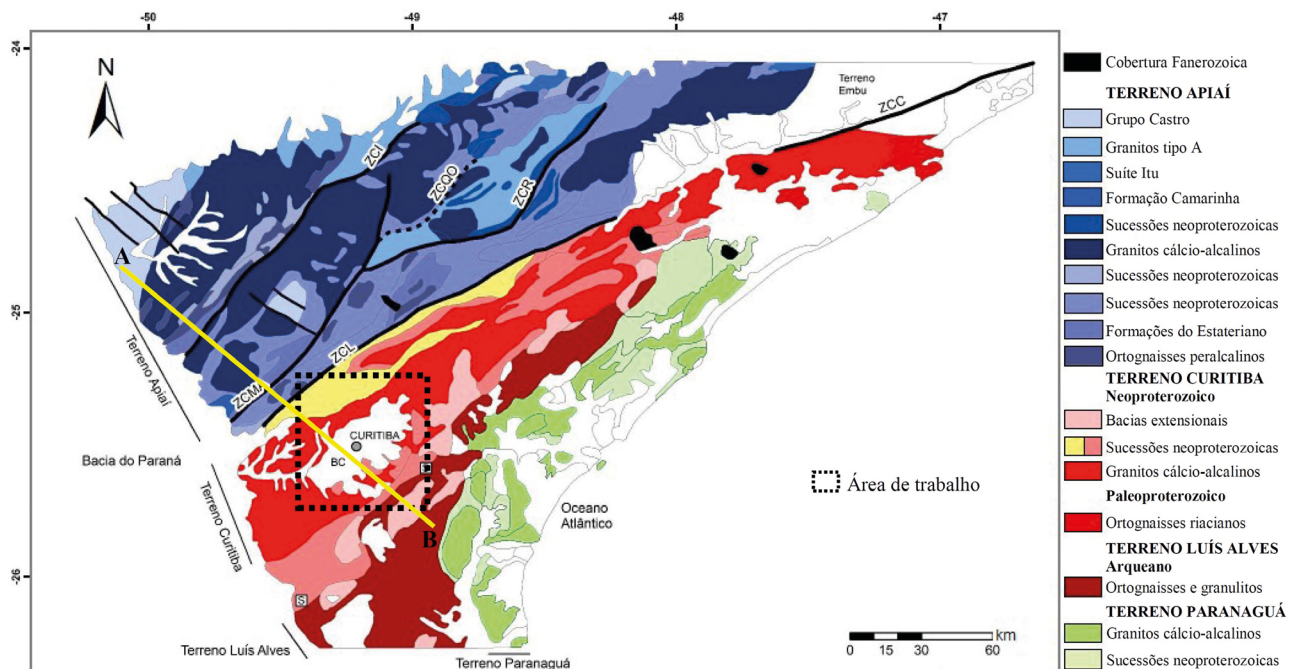
**Figura 3.** Principais métodos de realce de anomalias magnéticas e gravimétricas.





Fonte: modificado de Salamuni (1998).

Figura 4. Mapa geológico simplificado da porção leste do Estado do Paraná. A área de estudo é todo o mapa.



ZCI: Zona de Cisalhamento Itaipirapuá; ZCMA: Zona de Cisalhamento Morro Agudo; ZCQO: Zona de Cisalhamento Quarenta Oitava; ZCR: Zona de Cisalhamento Ribeira; ZCL: Zona de Cisalhamento Lancinha; ZCC: Zona de Cisalhamento Cubatão; S: Sutura Piên.

Fonte: modificado de Heilbron et al. (2008) e Leandro (2016).

Figura 5. Mapa geológico simplificado da região sul do Cinturão Ribeira. Principais zonas de cisalhamento: Itaipirapuá, Morro Agudo, Quarenta Oitava, Ribeira, Lancinha, Cubatão, Sutura Piên.

2008), Toniana (U-Pb em zircão, 910–1030 Ma; Siga Junior et al., 2009) e Ediacarana (U-Pb em zircão, 630–580 Ma; Campanha et al., 2008).

O Terreno Luís Alves está localizado a sul do Terreno Curitiba e a oeste do Terreno Paranaguá (Faleiros et al., 2011). Apresenta gnaisses granulíticos de médio a alto grau, de composição tonalítico-granodiorítica (Hartmann et al., 2000; Sato et al., 2003), com idades arqueanas (2720–2580 Ma,  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ ) e paleoproterozoicas (2250–1850 Ma) (Faleiros et al., 2011). A foliação ocorre na direção NW-SE e o metamorfismo é caracterizado por fácies granulito (Basei et al., 2009).

### Terreno Curitiba e o Complexo Atuba

O Terreno Curitiba é constituído dos gnaisses-migmatíticos e dos gnaisses graníticos bandados do Complexo Atuba, que foram sobrepostos pelos metassedimentos das seqüências Capiru, Setuva e Turvo-Cajati (Faleiros, 2008). Para Basei et al. (1998), o Terreno Curitiba está situado entre o Terreno Apiaí e o Terreno Luís Alves (Figura 6).

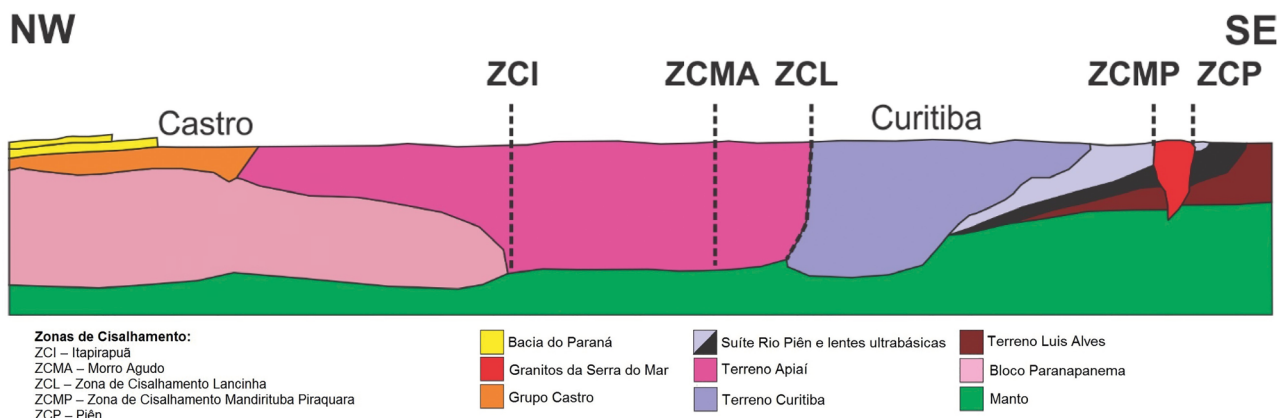
O Complexo Atuba é constituído, essencialmente, de ortognaisses bandados e migmatitos com estruturas estromáticas e bandamento composicional, onde se alternam mesossomas e leucossomas (Siga Junior, 1995; Siga Junior et al., 1995). Caracteriza-se por frequentes intercalações de corpos com dimensões e formas variadas, constituídas de xistos magnesianos e anfibolitos. Comumente ocorrem remobilizados róseos graníticos (K-feldspato) concordantes com o bandamento principal, relacionados a uma segunda fase de migmatização (Siga Junior et al., 1995). Estruturalmente ocorre foliação milonítica, penetrativa, de aspecto anastomosado, com mergulhos altos para NW, orientada segundo a direção geral NE-SW. Possui caráter dúctil, heterogêneo e não coaxial (Siga Junior, 1995;

Siga Junior et al., 1995). Também pode ser verificada uma superfície anterior, de direção NW-SE, pouco preservada e com mergulho de baixo ângulo (Salamuni, 1998). Salamuni et al. (2003) sugeriram que o Complexo Atuba foi condicionado por mais de um evento dúctil e por forte deformação rúptil, decorrente de falhas mesozoicas até recentes.

Siga Junior et al. (2007) estabeleceram registros do Arqueano (3200 a 3000 Ma), do Arqueano tardio (2650 Ma) e do Paleoproterozoico (2100 e 2400 Ma) para o Complexo Atuba. O último evento de granitogênese e migmatização foi gerado durante o Neoproterozoico em 620 e 600 Ma. Passarelli (2001) datou o complexo em 634 Ma por meio do método U-Pb e inferiu como a idade de anatexia das rochas. Sato et al. (2003) obtiveram idades de 633 e 645 Ma por meio do método U-Pb *High Resolution Ion Microprobe* (SHRIMP) e *Isotopic Dilution Thermal Ionization Mass Spectrometry* (EV-TIMS) em cristais de zircão. Siga Junior (1995) interpretou as rochas do complexo como um domínio originado em nível estrutural inferior, acrescido às extremidades do Terreno Luís Alves no Neoproterozoico.

### Arco de Ponta Grossa

O Arco de Ponta Grossa está localizado na porção sul-sudeste do Brasil. É formado por um enxame de diques de direção NW-SE e caracteriza-se por cinco alinhamentos estruturais-magnéticos principais (Figura 7) denominados Alinhamento de Guapiara, Alinhamento São Jerônimo-Curiúva, Alinhamento do Rio Alonzo e Alinhamento do Rio Piquiri (Portela Filho e Ferreira, 2003). A ação do Arco de Ponta Grossa é relacionada desde o Devoniano, tendo seu clímax durante o Juro-Cretáceo (Ferreira, 1982).



Fonte: modificado de Basei et al. (1998) e Castro (2015).

**Figura 6.** Perfil esquemático apresentando a localização e a relação entre os terrenos Apiaí, Curitiba (Complexo Atuba) e Luís Alves. O perfil está situado na figura anterior (Figuras 5A e 5B).



## RESULTADOS

### Lineamentos estruturais

O mapa estrutural rúptil da Bacia de Curitiba e arredores (Figura 8) de Salamuni (1998) permite identificar os lineamentos estruturais da área pesquisada e, também, do seu entorno. A direção dessas estruturas, em geral, é determinada pelas falhas proterozoicas do embasamento, que eventualmente foram reativadas no Fanerozoico. Os alinhamentos correspondem a juntas, falhas transcorrentes, normais ou indefinidas. Possuem formas retilíneas ou levemente arqueadas, caráter simples e contínuo, cujo comprimento pode alcançar alguns quilômetros. O conjunto de falhas na direção NE pode ser paralelo ou subparalelo à foliação milonítica do Complexo Atuba.

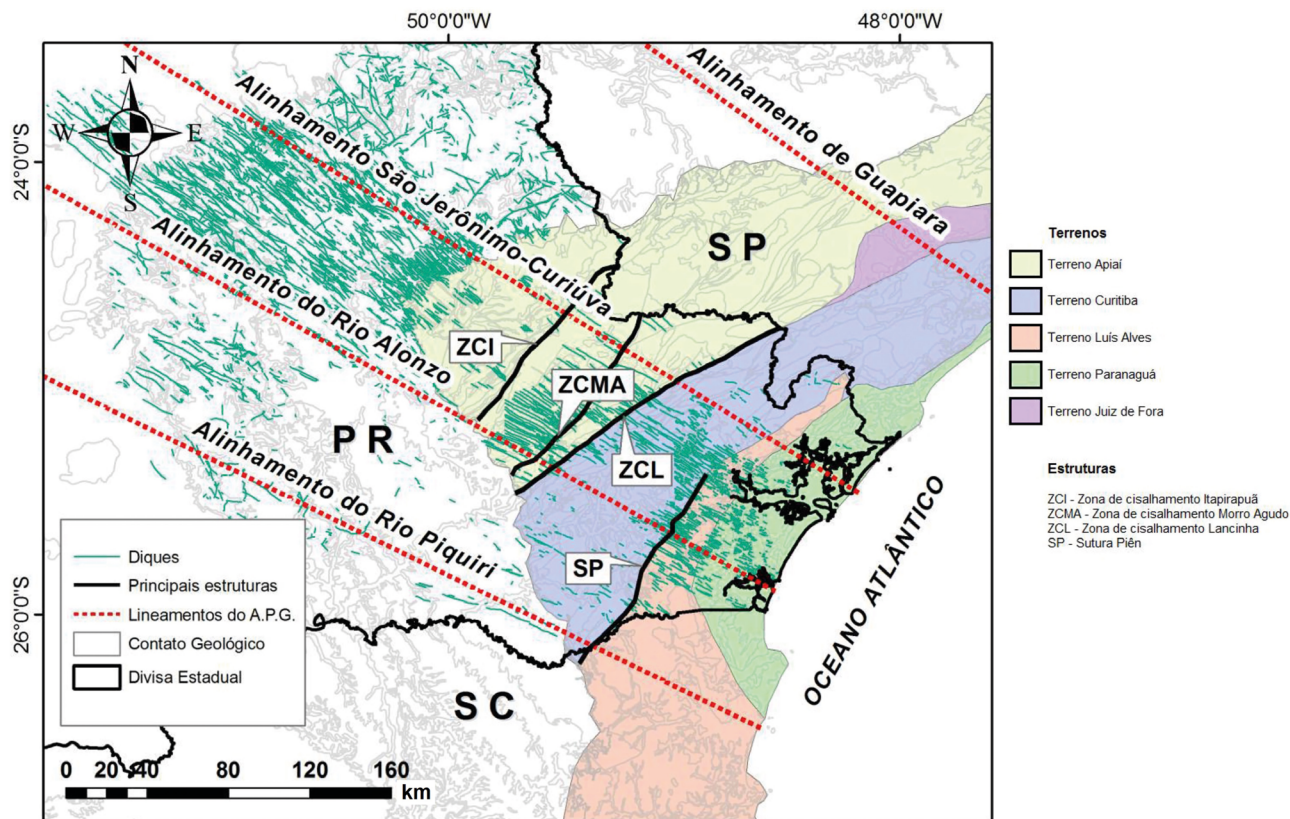
O comprimento de lineamentos observado nos diagramas de rosetas ocorre principalmente nas direções NE-SW e NW-SE (Figura 9), com grande dispersão na maioria dos diagramas. No Complexo Atuba, os alinhamentos mostram direções predominantes entre N45°–80°E, tendo menor intensidade para leste-oeste e noroeste.

No que se refere à frequência (Figura 10), os lineamentos do embasamento têm direções semelhantes às tendências observadas nas rosetas do comprimento acumulado. Ocorrem principalmente entre N20°–75°E e N10°–45°W.

### Aeromagnetometria

O mapa do campo magnético anômalo foi gerado pelo método da Gridagem Bidirecional dos dados (Figura 11A). A partir desse mapa (CMA) foram gerados os mapas de realce das anomalias, resultantes da análise qualitativa, que auxiliaram no delineamento do arcabouço magnético-estrutural da área de trabalho.

Por meio do mapa do gradiente horizontal total (GHT) (Cordell e Grauch, 1982) foi percebida a presença de estruturas NW sobrepondo e interrompendo as estruturas de direção NE (Figura 11B). O mapa possibilitou a distinção de dois domínios distintos. O domínio a norte possui alta densidade de anomalias magnéticas positivas. Está sobreposto à linha preta, tracejada, e é composto principalmente de diques e falhas de orientação geral NW-SE. Essas estruturas



APG: Arco de Ponta Grossa.  
Fonte: modificado de Castro (2015).

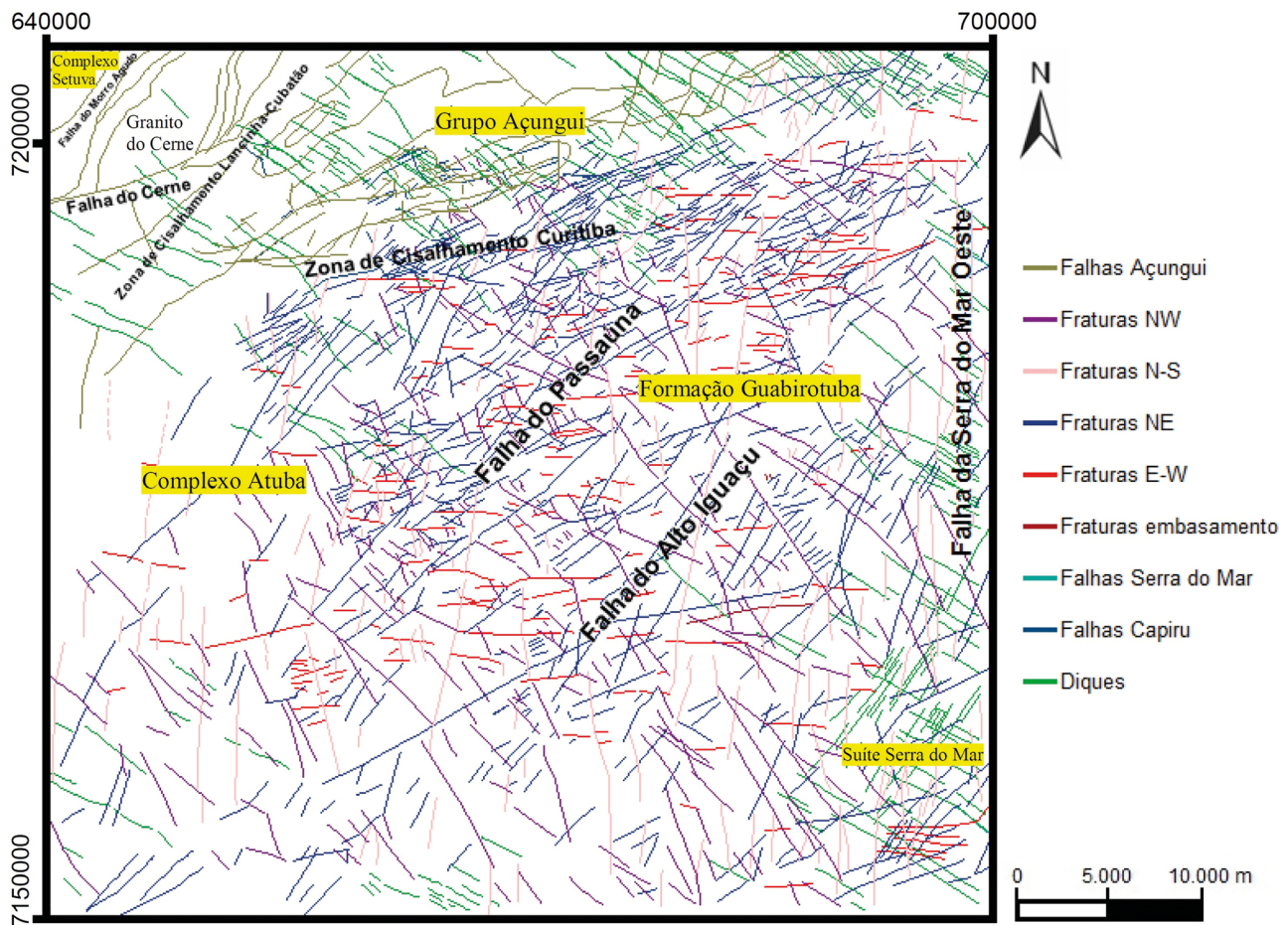
**Figura 7.** Localização dos alinhamentos do Arco de Ponta Grossa. A área de trabalho está limitada a sul da Zona de Cisalhamento Lancinha.

estão relacionadas ao Arco de Ponta Grossa, principalmente com os lineamentos que delimitam o Alinhamento do Rio Alonzo. É possível observar falhas NE-SW sendo recobertas pelas intensas anomalias de direção NW-SE. O domínio localizado na porção inferior da figura é formado por falhas de direção NE-SW, com menor concentração de diques e falhas NW-SE.

O mapa da amplitude do sinal analítico (ASA) (Nabighian, 1972; Roest et al., 1992) foi separado por uma linha tracejada em duas zonas específicas. A porção superior é composta de uma quantidade muito expressiva de diques e falhas de direção NW-SE. As regiões sudeste e sudoeste do mapa são definidas por anomalias de caráter negativo e orientações gerais NE-SW e NW-SE (Figura 11C). As assinaturas com direção NE mostram menores amplitudes e refletem a tendência do Neoproterozoico (Castro et al., 2014). O granito Guajuvira e o granito do Cerne parecem ser os únicos afetados pelos lineamentos NE-SW, tendendo a ter uma forma paralela a eles (Figura 4). De todos os lineamentos regionais observados no mapa estrutural rúptil da Bacia de Curitiba e arredores (Figura 8), os únicos que aparecem

no mapa da ASA são a Falha do Alto Iguaçu e a Falha do Passaúna, apesar de ocorrerem de forma pouco evidente no mapa. É possível observar que o Terreno Curitiba não apresenta corpos e estruturas magnéticas com grande profundidade, indicando uma evolução estrutural relacionada à crosta intermediária.

Por meio do mapa da inclinação do sinal analítico (ISA) (Nabighian, 1972; Roest et al., 1992; Miller e Singh, 1994), observa-se o arcabouço magnético-estrutural da área de estudo, com a presença de falhas e de anomalias positivas de direção NW. Essas estruturas parecem posteriores à deformação do embasamento cristalino de idade proterozoica (Figura 12A), pois cortam as estruturas de direção NE-SW. Podem ser observadas anomalias fracas a moderadas de direção NE-SW, como a Falha do Passaúna, a Falha do Alto Iguaçu e a ZC Lancinha-Cubatão. Essas estruturas aparecem como anomalias no arcabouço estrutural da área de estudo. A ZC Curitiba separa o Complexo Atuba do Grupo Açungui (Gonçalves, 2012), mas no mapa da ISA ocorre de forma fraca a incipiente, como pequenos traços NE-SW. A grande concentração de diques e falhas

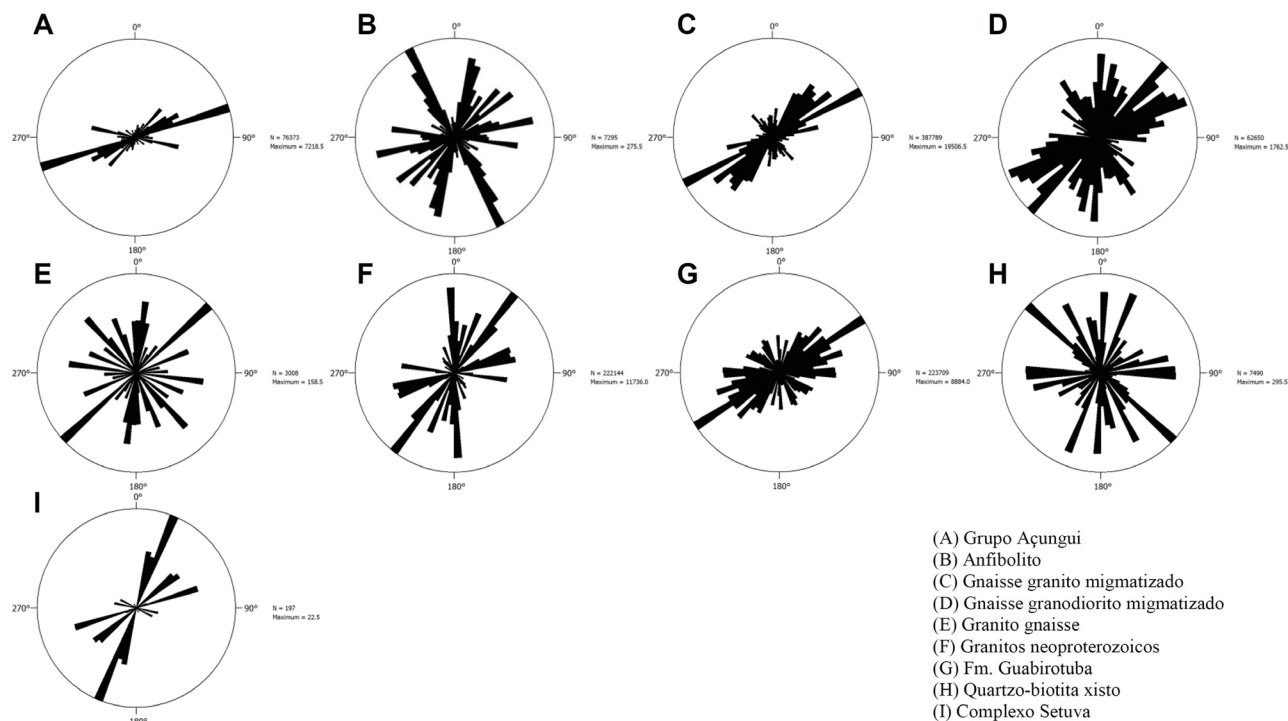


Fonte: modificado de Salamuni (1998).

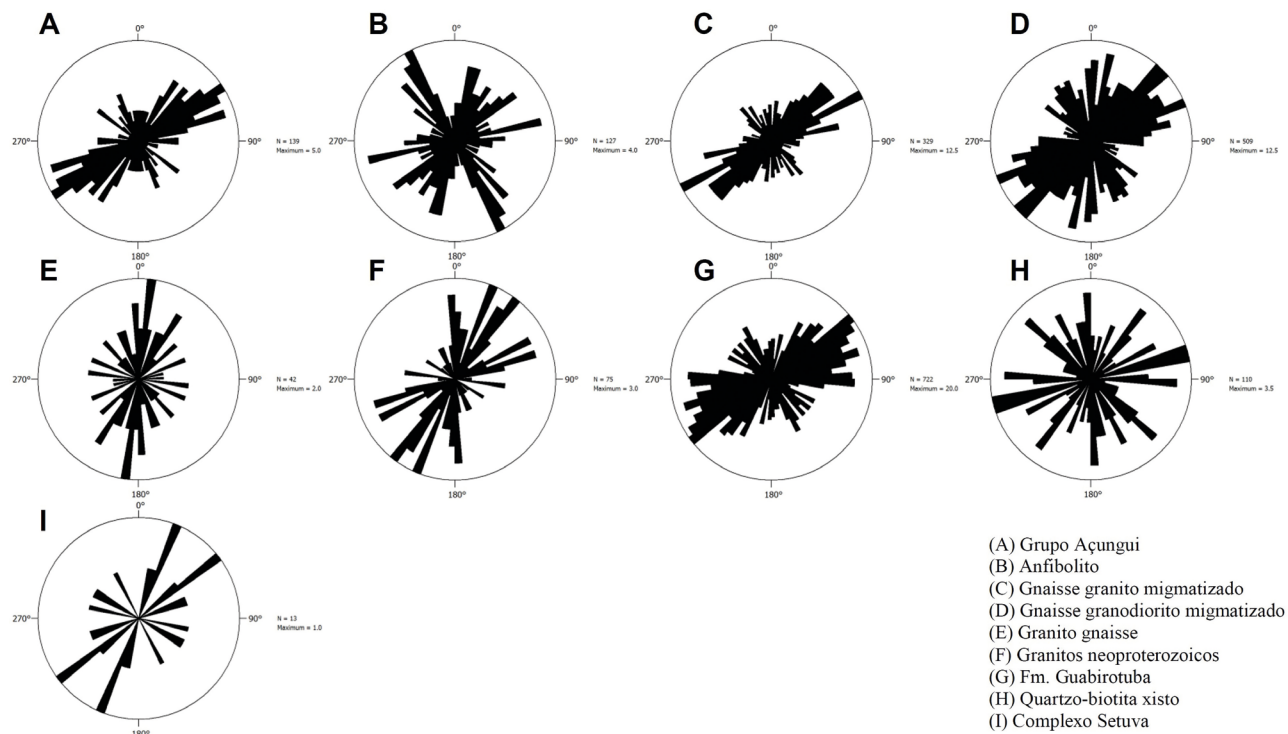
**Figura 8.** Mapa estrutural rúptil da área de trabalho.

de orientação NW-SE na parte superior do mapa acaba encobrendo grande parte das fraturas e das falhas de direção NE-SW.

O mapa da inclinação do sinal analítico do gradiente horizontal total (ISA-GHT) (Ferreira et al., 2010, 2013) indica estruturas nas direções NE-SW — principalmente



**Figura 9.** Diagramas de rosetas com as direções dos comprimentos acumulados dos lineamentos observados no mapa geológico da porção leste do estado do Paraná.



**Figura 10.** Diagramas de rosetas com as direções dos lineamentos estruturais.

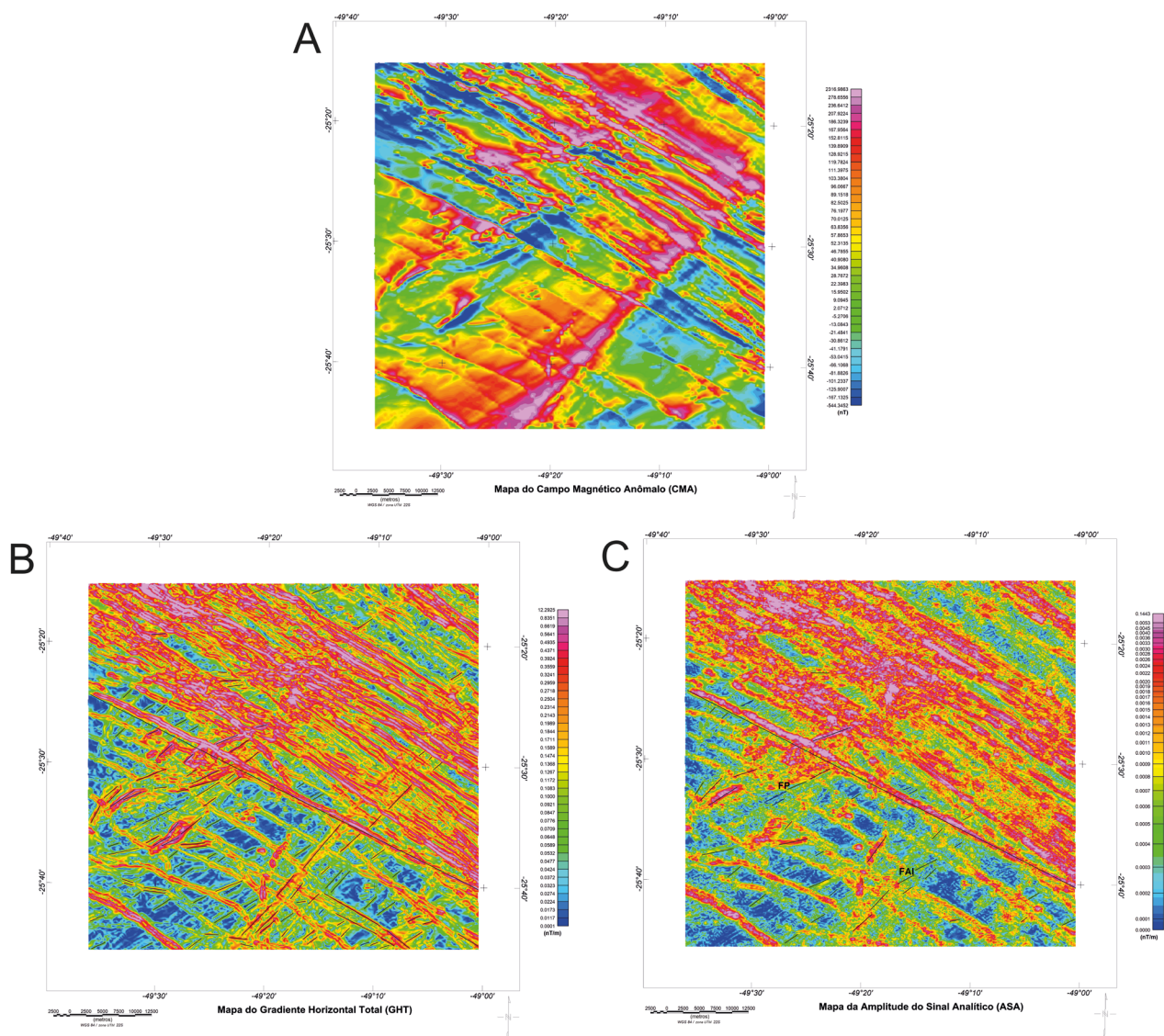


na parte inferior do mapa — e NW-SE na porção superior (Figura 12B). Nesse caso, as anomalias são predominantemente positivas. Os alinhamentos analisados correspondem a fraturas, falhas transcorrentes, normais ou indefinidas. Possuem formas retilíneas ou levemente arqueadas, caráter simples e contínuo, cujo comprimento pode alcançar alguns quilômetros. O conjunto de falhas na direção NE é paralelo ou subparalelo à foliação dos migmatitos do Complexo Atuba. Os alinhamentos NE-SW mostram direções predominantes entre  $N20^{\circ}$  e  $75^{\circ}E$ . A direção E-W apresenta menor intensidade nos mapas observados, ao contrário da direção noroeste ( $N10^{\circ}-45^{\circ}W$ ), que ocorre com maior expressividade.

## Aerogamaespectrometria

O K aponta maior concentração na parte central e noroeste do mapa (Figura 13A). A região central é composta da Formação Guabirotuba e de sedimentos recentes, enquanto a porção noroeste é constituída da Formação Capiru (Salamuni, 1998). Observa-se um moderado alinhamento no trecho NW, ocorrendo pequenas faixas de orientação geral NE-SW.

O Th apresenta altas concentrações principalmente nas regiões oeste e noroeste da Figura 13B. Segundo o mapa geológico simplificado da porção leste do Estado do Paraná (Salamuni, 1998), essas áreas são compostas do Complexo

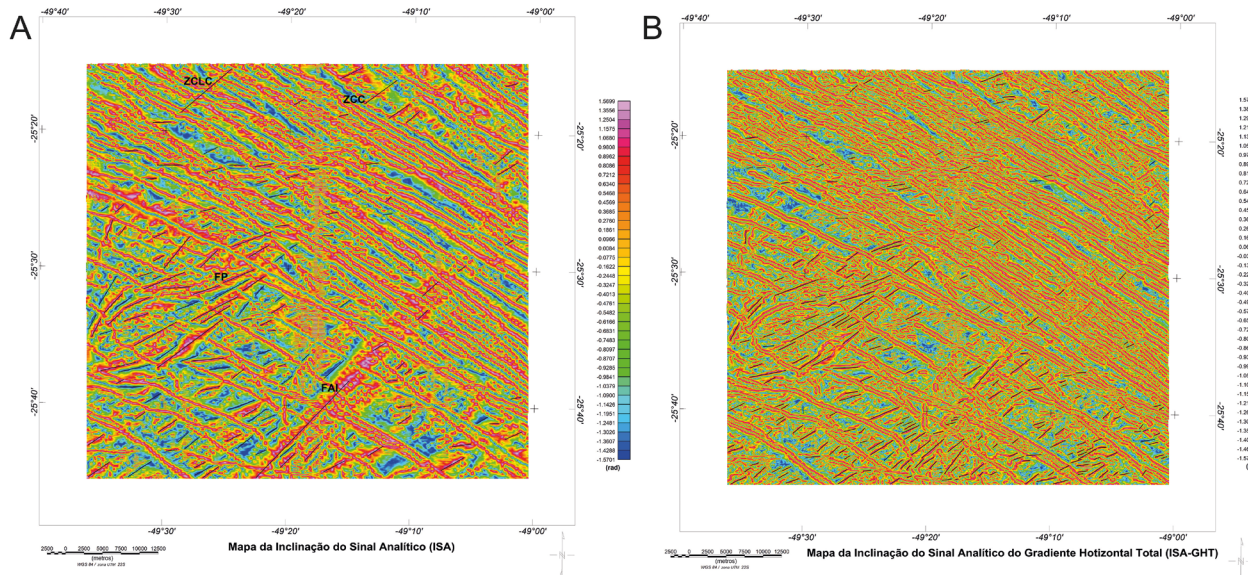


**Figura 11.** (A) Mapa do campo magnético anômalo; (B) mapa do gradiente horizontal total; (C) mapa da amplitude do sinal analítico. As figuras B e C possuem interpretação estrutural dos principais lineamentos.

Atuba (gnaisses-granodioritos migmatizados, anfibolitos e granitos gnaisses) e de rochas da Formação Capiru. Na parte sudeste e leste do mapa também é possível notar pequenas anomalias com valores mais altos de Th. As anomalias de baixas contagens estão relacionadas aos sedimentos da Formação Guabirota ou aqueles mais recentes.

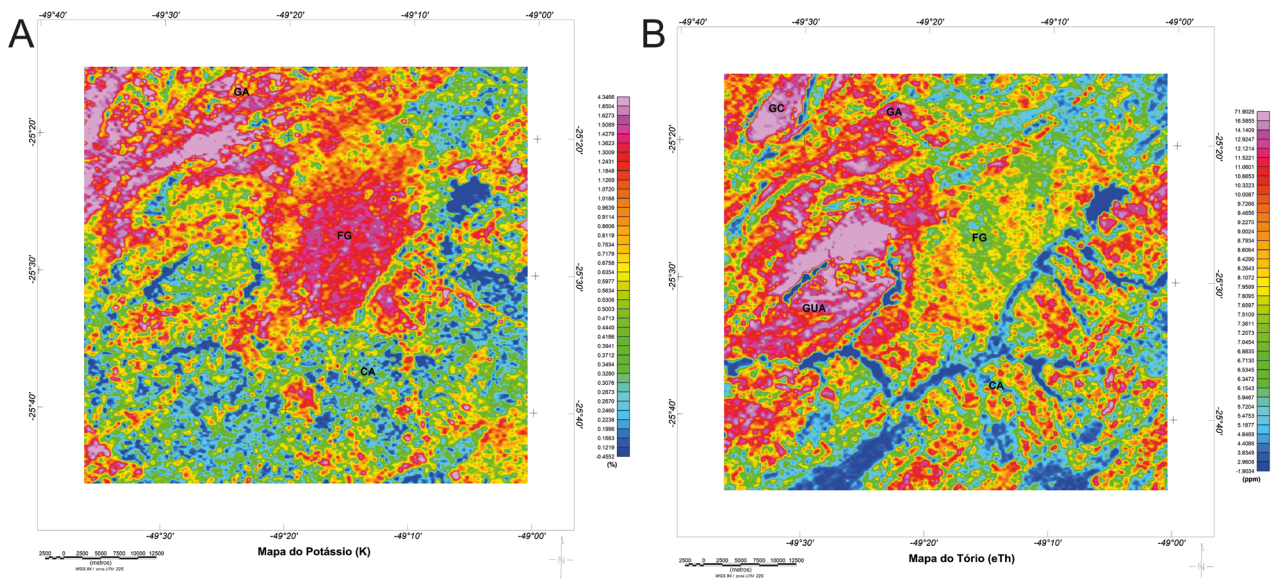
O U é encontrado em maior concentração em estruturas fracamente a moderadamente delineadas na direção NE-SW

e NW-SE, na parte oeste, sudoeste e noroeste do mapa, onde representam migmatitos do Complexo Atuba e rochas metasedimentares da Formação Capiru. No extremo noroeste, encontra-se o Granito do Cerne. O centro e o sudeste do mapa são formados por algumas anomalias provenientes da Formação Guabirota. Além disso, na porção sudeste, pode ser visualizada a Suíte Serra do Mar, e no sudoeste, o Granito Guajuvira (granito gnaisses). O U ainda ocorre



ZCLC: Zona de Cisalhamento Lancinha-Cubatão; ZCC: Zona de Cisalhamento Curitiba; FP: Falha da Passaúna; FAI: Falha do Alto Guaçuá.

**Figura 12.** (A) Mapa de inclinação do sinal analítico e sua interpretação estrutural; (B) mapa da inclinação do sinal analítico do gradiente horizontal total. As linhas pretas referem-se aos lineamentos analisados em mapa.



GA: Grupo Açungui; FG: Formação Guabirota; CA: Complexo Atuba; GC: Granito do Cerne; GUA: Granito Guajuvira (granitos gnaisses).

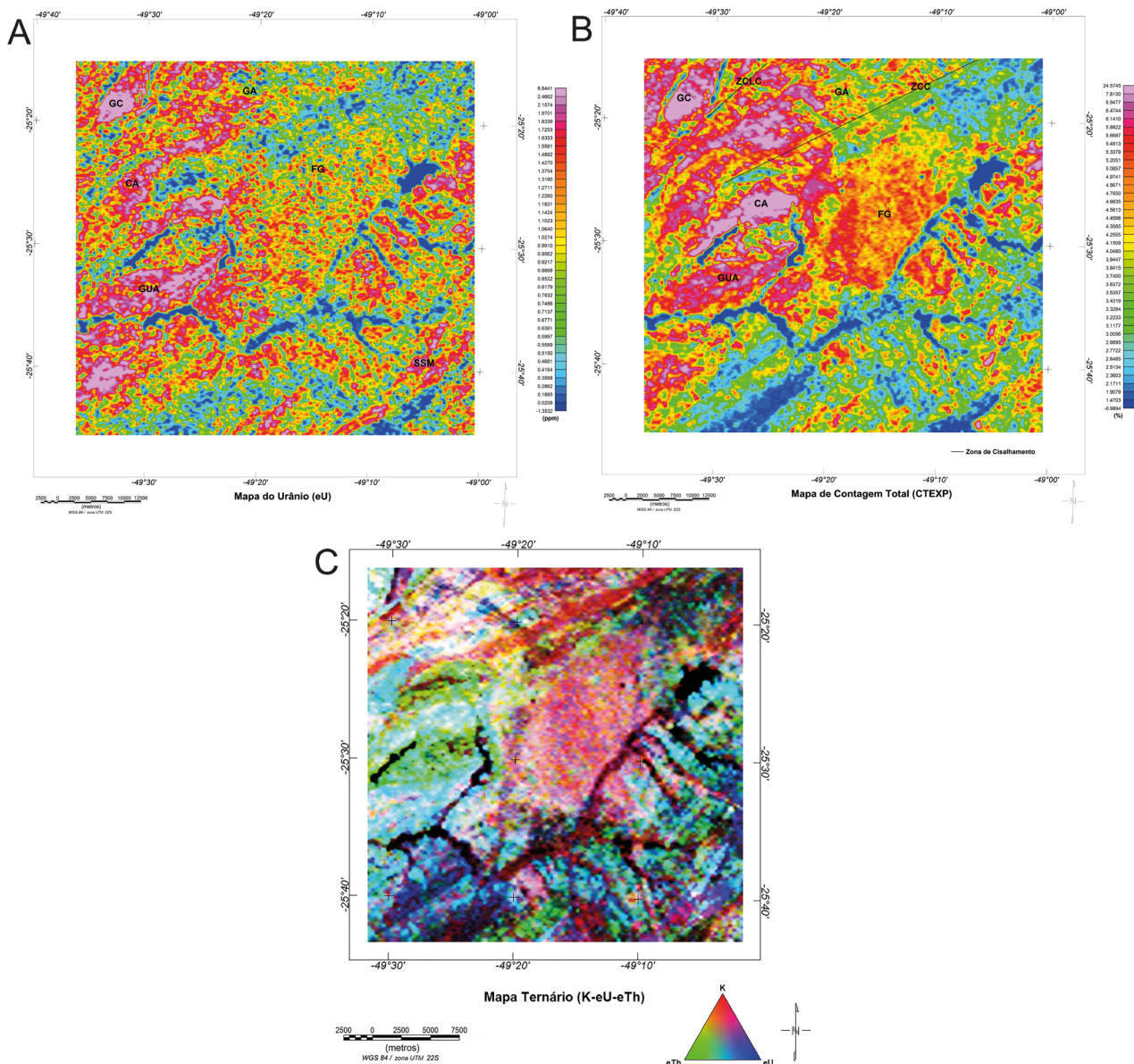
**Figura 13.** (A) Mapa do potássio; (B) mapa do tório.



disperso no restante da área, de forma mais ou menos anômala (Figura 14A). A semelhança entre a direção dos granitos Guajuvira e do Cerne com os lineamentos magnéticos NE-SW sugere que os contatos geológicos podem indicar um controle estrutural.

O mapa de contagem total (CTEXP) evidencia o aumento dos teores dos radioelementos na porção central com a Formação Guabirotuba, na parte oeste com o Complexo Atuba e na parte noroeste, formada pelo Grupo Açungui e Granito do Cerne, em detrimento das partes nordeste, sudeste e sudoeste (Figura 14B).

A imagem de composição ternária exhibe grande variação dos radioelementos (K, Th e U) na área de estudo. Na porção central e noroeste do mapa, predominam tons avermelhados, reflexo da maior concentração do K em relação aos outros elementos (Th e U). Nas partes leste e oeste, prevalecem cores verdes, indicando maior abundância de Th. Nas regiões sudoeste e sudeste, o U e o Th mostram comportamentos semelhantes e contrários ao do K. Nota-se, ainda, no mapa, na parte nordeste, uma mistura de todas as cores (Figura 14C).



GC: Granito do Cerne; GA: Grupo Açungui; CA: Complexo Atuba; FG: Formação Guabirotuba; GUA: Granito Guajuvira (granitos gnaisses); SSM: Suíte Serra do Mar; ZCLC: Zona de Cisalhamento Lancinha-Cubatão; ZCC: Zona de Cisalhamento Curitiba.

**Figura 14.** (A) Mapa do urânio; (B) mapa de contagem total; (C) mapa ternário (K-U-Th).

## DISCUSSÃO

As falhas e as juntas encontradas na área refletem episódios tectônicos superpostos. Há estruturas rúpteis-dúcteis impressas no Complexo Atuba, de direção NE-SW e lineamentos NW-SE associados ao Arco de Ponta Grossa, representados por diques básicos, fraturas e fálhas distensionais, transversais às estruturas do embasamento (Almeida, 1967; Salamuni, 1998). Segundo Ferreira (1982), o Arco de Ponta Grossa localiza-se de forma relevante entre os Alinhamentos São Jerônimo-Curiúva e Rio Alonzo, local em que foi feita esta pesquisa. Na região de Curitiba, essas estruturas cortam granitos da Serra do Mar, xistos, gnaisses e migmatitos do Complexo Atuba. As falhas mostram direções gerais entre N40° e 70°W (Putzer, 1953).

Como observado nos mapas aerogeofísicos, o Complexo Atuba possui dois domínios distintos, representados pelas partes sul e norte. As anomalias estão associadas a faixas de gradiente magnetométrico positivo junto a depressões lineares negativas, separando domínios homogêneos. As ZCs transcorrentes de direção NE-SW ocorrem com pouca intensidade na área. As principais ZCs são formadas pela ZC Curitiba e pela ZC Lancinha-Cubatão. Ambas ocorrem na porção norte da área, com aspecto incipiente a fraco (Figura 14B).

Os lineamentos estruturais NE-SW observados nos mapas aeromagnetométricos estão melhor representados nos filtros ISA e ISA-GHT, principalmente na porção sul do mapa. A fração norte está fortemente mascarada pela grande concentração de diques e falhas de direção NW-SE. Os traçados de lineamentos no mapa rúptil da área (Salamuni, 1998) não estão coincidentes com os mapas geofísicos em razão do mesmo motivo. Entre os diques há preservação dos lineamentos NE, mas em quantidade muito pequena. A foliação generalizada para NE-SW (Sn) do Complexo Atuba apresenta pouca correlação com os traçados geofísicos de mesma direção.

Os dados gamaespectrométricos permitiram caracterizar regiões com unidades litológicas distintas (Complexo Atuba, Grupo Açungui, Formação Guabirota) e detectar a presença de intrusões ígneas (Granito do Cerne, Granito Guajuvira e Suíte Serra do Mar).

Na área de trabalho, o K ocorre em grande concentração na Formação Capiru sob a forma de micas e argilomineiras provenientes dos filitos, e na Formação Guabirota, como argilas, provavelmente como produto lixiviado e absorvido por elas.

Na área de trabalho, a concentração do Th e do U é similar. Ocorre principalmente em lentes no Complexo Atuba e no Grupo Açungui. Também é observada nos granitos Guajuvira e Cerne. A Suíte Serra do Mar tem maior quantidade de U que de Th. Ambos os elementos constituem lineações de altos valores (faixas rosas no mapa) com

orientação NE-SW dispersas pela região, sugerindo alguma orientação dos cristais de zircão e alanita nos migmatitos (Complexo Atuba). Aparecem na Formação Guabirota em menor proporção, possivelmente nos sedimentos arenosos e argilosos, a partir da erosão de granitoides e migmatitos.

## CONCLUSÕES

A área de estudo constitui-se principalmente por migmatitos do Complexo Atuba (Siga Junior, 1995; Siga Junior et al., 1995), estabelecida no domínio do Terreno Curitiba (Heilbron et al., 2008), e localiza-se principalmente na cidade de Curitiba e nas regiões circunvizinhas. Também ocorrem outras unidades em menor proporção, como o Complexo Setuva, o Grupo Açungui, os Granitos Neoproterozoicos, a Formação Camarinha, a Formação Guaratubinha, os diques de diabásio e de lamprófito, a Formação Guabirota e os terrenos aluvionares.

Os dados de frequência acumulada e comprimento acumulado observados no mapa geológico da Bacia Sedimentar de Curitiba (Salamuni, 1998) possuem direção geral NE-SW e NW-SE.

Por meio dos mapas magnéticos gerados foi possível interpretar os traçados de lineamentos, correspondentes às falhas e aos diques básicos do Mesozoico de orientação NW-SE (valores positivos em vermelho ou rosa) e às falhas e às fraturas de direção NE-SW (valores negativos em azul). Há predominância de alinhamentos magnéticos associados aos diques de diabásio.

A mobilidade dos radionuclídeos permitiu observar a dispersão dos elementos K, Th e U na região. O método gamaespectrométrico auxiliou na interpretação dos tipos de rocha encontrada ao redor do município de Curitiba, no Estado do Paraná, mostrando quatro domínios diferentes, dominados por migmatitos do Proterozoico Inferior (Complexo Atuba), rochas metassedimentares do Proterozoico Superior (Formação Capiru), argilas, arcósios, areias e cascalhos do Pleistoceno (Formação Guabirota) e granitos neoproterozoicos. Todos os filtros gamaespectrométricos estão de acordo com o mapa geológico e definem melhor a divisão do Complexo Atuba e do Grupo Açungui do que os métodos magnetométricos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Universidade Federal do Paraná (UFPR) e ao Departamento de Geologia da UFPR, que por meio de seus recursos facilitaram o desenvolvimento deste trabalho. Agradecemos igualmente ao geólogo Cássio Pires a ajuda no processamento dos dados aerogeofísicos.

## REFERÊNCIAS

- Almeida, F. F. M. (1967). Origem e evolução da Plataforma Brasileira. *Boletim do DNPM-DGM*, 241, 1-36.
- Basei, M. A. S., McReath, L., Siga Junior, O. (1998). The Santa Catarina Granulite Complex of Southern Brazil: A Review. *Gondwana Research*, 1(3-4), 383-391. [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*, 16, 273-291. [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. (1990). Tectônica de nappes do Proterozoico Superior e Eopaleozoico da porção sul-brasileira. In: *III Reunião Internacional de Projeto 270*. Atas... São Paulo, IUGS.
- Boyle, R. W. (1982). Geochemical prospecting for thorium and uranium deposits. *Developments in Economic Geology*, 16, 498p.
- Campanha, G. A. C., Basei, M. A. S., Faleiros, F. M., Nutman, A. P. (2016). The Mesoproterozoic to Early Neoproterozoic passive margin Lajeado Group and Apiaí Gabbro, Southeastern Brazil. *Geoscience Frontiers*, 7(4), 683-694. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.08.004>
- Campanha, G. A. C., Basei, M. A. S., Tassinari, C. C. G., Nutman, A. P., Faleiros, F. M. (2008). Constraining the age of the Iporanga formation with SHRIMP U-Pb zircon: implications for possible Ediacaran glaciation in the Ribeira Belt, SE Brazil. *Gondwana Research*, 13(1), 117-125. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2007.05.010>
- Campanha, G. A. C., Sadowski, G. R. (1999). Tectonics of the Southern Portion of the Ribeira Belt (Apiaí Domain). *Precambrian Research*, 98(1-2), 31-51. [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(99\)00027-3](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(99)00027-3)
- Campos Neto, M. C. (2000). Orogenic systems from southwestern Gondwana: an approach to Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage in Southeastern Brazil. In: *International Geological Congress*. Anais... Rio de Janeiro, SBG, p. 335-365.
- Castro, L. G. (2015). *Arcabouço geofísico estrutural da porção meridional do Cinturão Ribeira e regiões adjacentes*. Tese (Doutorado). Curitiba: Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná.
- 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*, 14(4), 3-18. <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X201400040001>
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). (2011). *Projeto Aerogeofísico Paraná – Santa Catarina*. Escalas 1:100.000, 1:250.000 e 1:500.000. São Paulo: CPRM. 27 v.
- Cordell, L., Grauch, J. S. (1982). Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico. In: *52nd Annual International Meeting*. Expanded Abstracts... 246-247. <https://doi.org/10.1190/1.1826915>
- Cox, K. G., Bell, J. D., Pankhurst, R. J. (1979). *The interpretation of igneous rocks*. Londres: George Allen & Unwin.
- 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*, 2, 95-108. <https://doi.org/10.5327/S1519-874X2002000100009>
- Cury, L. F. (2009). *Geologia do Terreno Paranaguá*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. <https://doi.org/10.11606/T.44.2009.tde-06072009-113335>
- Dickson, B. L., Scott, K. M. (1997). Interpretation of aerial gamma-ray surveys – adding the geochemical factors. *AGSO J. Australia Geology & Geophysics*, 17(2), 187-200.
- Faleiros, F. M. (2008). *Evolução de terrenos tectono-metamórficos da serra da Ribeira e Planalto Alto Turvo (SP, PR)*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências, 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*, 189(3-4), 263-291. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2011.07.013>



- Ferreira, F. J. F. (1982). *Integração de Dados Aeromagnéticos e Geológicos: Configuração e Evolução Tectônica do Arco de Ponta Grossa*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. <https://doi.org/10.11606/D.44.1983.tde-14082013-161535>
- Ferreira, F. J. F., Souza, J., Bongiollo, A. B. S., Castro, L. G. (2013). Enhancement of the total horizontal gradient of magnetic anomalies using the tilt angle. *Geophysics*, 78(3), 33-41. <https://doi.org/10.1190/geo2011-0441.1>
- Ferreira, F. J. F., Souza, J., Bongiollo, 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. In: *IV Simpósio Brasileiro de Geofísica*. Anais... Brasília, SBG, p. 1-6.
- Fuck, R. A., Trein, E., Marini, O. J. (1967). Geologia e petrografia dos migmatitos do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, 23-25, 5-41.
- Gonçalves, F. M. (2012). *Caracterização da Zona de Cisalhamento Curitiba - (PR)*. Dissertação (Mestrado). Curitiba: Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná.
- Hartmann, L. A., Santos, J. O. S., McNaughton, N. J., Vasconcellos, M. A. Z., Silva, L. C. (2000). Ion microprobe (SHRIMP) dates complex granulite from Santa Catarina, southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 72(4), 560-572. <http://dx.doi.org/10.1590/S0001-3765200000400007>
- 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. In: R. J. Pankhurst, R. A. J. Trouw, B. B. Brito Neves, M. De Wit (eds.), *West Gondwana pre-Cenozoic Correlations across the South Atlantic Region*. *Journal Geological Society London*, Special Publication, 294, 211-232. <https://doi.org/10.1144/SP294.12>
- Leandro, R. (2016). *Caracterização tectonoestratigráfica da sequência terrígena da Formação Capiru na região de Morro Grande, Colombo – PR*. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná.
- Miller, H. G., Singh, V. (1994). Potential field tilt – a new concept for location of potential field sources. *Journal of Applied Geophysics*, 32(2-3), 213-217. [https://doi.org/10.1016/0926-9851\(94\)90022-1](https://doi.org/10.1016/0926-9851(94)90022-1)
- 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*, 37(3), 507-517. <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*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências, 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. In: *VIII Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica*. Resumos Expandidos... Rio de Janeiro: SBG. CD-ROM.
- Prazeres Filho, H. J., Basei, M. A. S., Passarelli, C. R., Harara, O. M. M., Siga Junior, O. (2003). U–Pb zircon ages of post- orogenetic granitic magmatism in Apiaí Folded Belt (Paraná State, southern Brazil): petrological and geotectonic significance. In: *IV South American Symposium on Isotope Geology*. Anais... Salvador, 2, 656-659.
- Putzer, H. (1953). Diastrofismo “Germanótipo” e suas relações com o vulcanismo basáltico na parte meridional de Santa Catarina. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 2(1), 37-71.
- Ribeiro, V. B., Mantovani, M. S. M., Louro, V. H. A. (2014). Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico. *Terrae Didactica*, 10(1), 29-51. <https://doi.org/10.20396/td.v10i1.8637386>
- Roest, W. R. J., Verhoef, J., Pilkington, M. (1992). Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics*, 57(1), 116-125. <https://doi.org/10.1190/1.1443174>
- Salamuni, E. (1998). *Tectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba (PR)*. Tese (Doutorado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.
- Salamuni, E., Ebert, H. D., Borges, M. S., Hasui, Y., Costa, J. B. S., Salamuni, R. (2003). Tectonics and sedimentation of the Curitiba Basin. *Journal of South American Earth Sciences*, 15(8), 901-910. [http://dx.doi.org/10.1016/S0895-9811\(03\)00013-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0895-9811(03)00013-0)

- Sato, K., Siga Junior, O., Nutman, A. P., Basei, M. A. S., McReath, I., Kaulfuss, G. (2003). The Atuba Complex, Southern South American Platform: Archean Components and Paleoproterozoic to Neoproterozoic Tectonothermal Events. *Gondwana Research*, 6(2), 251-263. [https://doi.org/10.1016/S1342-937X\(05\)70974-6](https://doi.org/10.1016/S1342-937X(05)70974-6)
- Sato, K., Siga Junior, O., Silva, J. A., McReath, I., Dunyi, L., Iizuka, T., Rino, S., Hirata, T., Sproesser, W. M., Basei, M. A. S. (2009). In situ isotopic analyses of U and Pb in zircon by remotely operated SHRIMP II, and Hf by LA-ICP-MS: an example of dating and genetic evolution of zircon by  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  from the Ita Quarry in the Atuba Complex, SE Brazil. *Geologia USP. Série Científica*, 9(3), 61-69. <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X2009000300004>
- Siga Junior, O. (1995). *Domínios tectônicos do sudeste do Paraná e nordeste de Santa Catarina: Geocronologia e evolução crustal*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. <https://doi.org/10.11606/T.44.1995.tde-05112013-093542>
- Siga Junior, O., Basei, M. A. S., Passarelli, C. R., Harara, O. M., Sato, K., Cury, L. F., Prazeres Filho, H. J. (2007). Geocronologia de rochas gnáissico-migmatíticas e sienograníticas do Núcleo Setuva (PR): Implicações Tectônicas. *Revista Brasileira de Geociências*, 37(1), 114-128. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2007371114128>
- Siga Junior, O., Basei, M. A. S., Passarelli, C. R., Sato, K., Cury, L. F., McReath, I. (2009). Lower and Upper Neoproterozoic magmatic records in Itaiacoca Belt (Paraná-Brazil): Zircon ages and lithostratigraphy studies. *Gondwana Research*, 15(2), 197-208. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2008.11.002>
- 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. *Boletim IG-USP. Série Científica*, 26, 69-98. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-8986.v26i0p69-98>
- Tassinari, C. G. C., Munhá, J. M. U., Ribeiro, A., Correia, C. T. (2001). Neoproterozoic oceans in the Ribeira Belt (southeastern Brazil): The Pirapora do Bom Jesus ophiolitic complex. *Episodes*, 24(4), 245-251. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2001/v24i4/004>
- Ulbrich, H. H. G. J., Ulbrich, M. N. C., Ferreira, F. J. F., Alves, L. S., Guimarães, G. B., Fruchting, A. (2009). Levantamentos Gamaespectrométricos em Granitos Diferenciados. I: Revisão da Metodologia e do Comportamento Geoquímico dos Elementos K, Th e U. *Geologia USP. Série Científica*, 9(1), 33-53. <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X2009000100003>
- Wilford, J. R., Bierwirth, P. N., Craig, M. A. (1997). Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology. *Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17(2), 201-216.