



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**GAMASPECTROMETRIA APLICADA NA ESTRUTURA DE IMPACTO
DOMO DE ARAGUAINHA (MT).**

Trabalho Final de Graduação em Geofísica

Gabriel Barbosa Fernandes

(18/0120247)

Orientadora: Prof^a. Dra Natalia Hauser

Coorientador: Prof. Dr Elder Yokoyama

Brasília 2024

**GAMAESPECTROMETRIA APLICADA NA ESTRUTURA DE IMPACTO
DOMO DE ARAGUAINHA (MT).**

Trabalho Final de Conclusão de Curso
do Instituto de Geociência como
exigência final para obtenção do título
de bacharel em Geofísica.

Orientadora: Prof^a. Dra Natalia Hauser

Coorientador: Prof. Dr Elder Yokoyama

Brasília, junho de 2024

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dra Natalia Hauser
Universidade de Brasília
Orientadora

Prof^a. Dra Edi Mendes Guimarães
Universidade de Brasília
Examinadora

Mestre Adolfo Barbosa da Silva
CPRM – Goiânia
Examinador

Sumário

<i>LISTA DE FIGURAS</i>	4
<i>LISTA DE TABELAS</i>	6
Dedicatória.....	7
<i>Agradecimentos</i>	8
<i>Resumo</i>	9
<i>Abstract</i>	10
<i>Capítulo 1</i>	11
1.1 <i>Introdução</i>	11
1.2 <i>Objetivos</i>	12
<i>Objetivo Principal</i>	12
Objetivos Específicos.....	13
1.3 <i>Justificativa</i>	13
1.4 <i>Vias de acesso</i>	14
<i>Capítulo 2: Estado da arte</i>	15
2.2 <i>Estudos Geofísicos</i>	17
2.3 <i>Geofísica Aplicada na Caracterização de Estruturas de Impacto</i>	17
2.4 <i>Estudos Geofísicos Prévios no Domo Araguainha</i>	20
<i>Capítulo 3: Contexto Geológico</i>	22
3.1 <i>Contexto Geotectônico</i>	22
3.2 <i>Estratigrafia</i>	25
3.2.1 <i>Embasamento da Bacia do Paraná</i>	26
<i>Grupo Cuiabá</i>	26
<i>Granitos Pós-Colisionais</i>	26
3.2.2 <i>Bacia do Paraná</i>	27
<i>Grupo Rio Ivaí</i>	27
<i>Grupo Paraná</i>	29
<i>Grupo Itararé-Formação Aquidauana</i>	30
<i>Grupo Passa Dois</i>	31
3.3 <i>O Domo de Araguainha</i>	32
3.4 <i>Aspectos teóricos do método gamaespectrométrico</i>	34
3.4.1 <i>Caracterização dos Elementos</i>	36
<i>Potássio (K)</i>	36
<i>Urânio (U)</i>	37
<i>Tório (Th)</i>	37
3.5 <i>Espectrometria Gama Portátil</i>	38

<i>Capítulo 4: Material e Métodos</i>	39
4.1 Trabalho pre-campo.....	39
4.2 Trabalho de Campo	39
<i>Localização dos pontos amostrados</i>	40
4.3 Medidas gamaespectrômétricas.....	40
4.4 Trabalho pós Campo	41
Análises de gamaespectrometria terrestre em laboratório.....	41
<i>Capítulo 5: Resultados e Discussões</i>	43
5.1 Caracterização das unidades geológicas do Domo de Araguainha.....	43
5.2 Avaliação entre Dados Gamaespectrométricos em Leituras no Campo e em Análises Laboratoriais	53
5.3. Dados Gamaespectrométricos de Campo e Amostra de laboratório: comparação.....	56
5.4 Perfis Esquemático Empilhado das Amostras de Campo dos Rádios Elementos K, U e Th, Litotipos.....	56
5.5 Dados Gamaespectrométricos e Geoquímica de Rocha Total: comparação.....	58
5.6 Dados Gamaespectrométricos associada as tabelas de Dickson e Scott (1997).	65
5.7.1 Dados de campo e comparação com os dados de tabelas de Dickson e Scott (1997).	65
5.7.2 Dados de laboratório e comparação com os dados de tabelas de Dickson e Scott. (1997)	69
<i>Conclusões</i>	75
Recomendações	76
<i>Referências Bibliográficas</i>	77
<i>Anexo</i>	81
<i>Análises</i>	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de localização da área de estudo e vias de acesso partindo de Brasília-DF. Fonte de própria autoria	14
Figura 2 Processos envolvidos durante a formação de estruturas de impacto do tipo complexa a partir do estágio de escavação. O estágio de contato e compressão é o mesmo ilustrado na figura anterior. Modificado de French (1998).....	16
Figura 3 Canais individuais de raios gama de no Domo de Araguainha (MT) mostrando as assinaturas de todos os três elementos em um modelo digital de elevação. (a) canal K em %, (b) canal eTh em ppm, (c) canal eU em ppm. (PB) brechas polimíticas (Leite et al., (2021).	21
Figura 4 - Mapa do contexto tectonicotectônico do Domo de Araguainha (MT). D´el-Rey Silva et al., 2016 O embasamento está conformado pelos filitos do Grupo Cuiabá do Neoproterozoico (Almeida (1948) e o granito de Araguainha (Cambriano), enquanto sobreposto a essas rochas, localiza-se as unidades estratigráficas pertencentes a Bacia do Paraná. Estão dispostas desde a	

mais antiga para a mais nova (figura 5): Grupo Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Grupo Paraná (Devoniano), Formação Aquidauana (Carbonífero) e Grupo Passa Dois (Permiano).	23
Figura 5 A) Mapa geológico simplificado da estrutura de impacto de Araguainha com as feições geológicas e litologias predominantes Sousa et al., em preparação e pontos de caminhamento feito pelo próprio autor.	24
Figura 6 Proposta de coluna litoestratigrafica para o Projeto de mapeamento final do Domo de Araguainha. TF 2012 – Sub Area VII.	25
Figura 7 Mapa com amostras de campo, relevo do Domo de Araguainha (Imagem Alos/Palsar, 2011, 12,5 resolução espacial). Fonte próprio autor.	40
Figura 8 Gamaespectômetro portátil Radiation Solutions Inc RS-230 BGO Super-SPEC Handheld Gamma-Ray Spectrometer	41
Figura 9 A) Afloramento de granito e rocha fundida pelo impacto na Fazenda Santa Maria. ...	44
Figura 10 Afloramento das rochas fundidas pelo impacto tipo-I.....	45
Figura 11 Brecha polimíctica na seção tipo do Grupo Cuiabá com shatter cones (MT-100).....	46
Figura 12 Formação Corumbataí no Morro da Matinha	47
Figura 13 Formação Irati	48
Figura 14 Formação Aquidauana.	49
Figura 15 Transição entre a Formação Furnas e Ponta Grossa (Grupo Paraná)	50
Figura 16 Formação Furnas	51
Figura 17 Grupo Cuiabá.....	52
Figura 18 Perfis esquemático integrado dos elementos K, U e Th para as amostras de campo das diferentes unidades analisadas no Domo de Araguainha.	54
Figura 19 Perfis esquemático integrado dos elementos K, U e Th para as amostras de laboratório das diferentes unidades analisadas no Domo de Araguainha.	55
Figura 20 A : Gráficos de distribuição dos resultados das análises da gamaespectrometria realizadas em leituras no campo e em análises laboratoriais em amostras coletadas no campo do potássio (%), do Grupo Cuiabá.....	60
Figura 21 A: Gráficos de correlações entre a geoquímica e da gamaespectrometria do Potássio (%) do Formação Furnas.....	61
Figura 22 A: Gráficos de correlações entre a geoquímica e da gamaespectrometria do Potássio (%) da Formação Ponta Grossa	62
Figura 24 A: Gráficos de correlações entre a geoquímica e da gamaespectrometria do Potássio (%), Rocha Impacto.	64
Figura 25 Correlação de Uranio de valores máximos e mínimos de Dickson e Scott 1997 em dados coletados e Campo para IMR I, BPI, Passa Dois, Aquidauana e Ponta Grossa, Furnas, Granito, Cuiabá (arenito), Cuiabá (folhelho).....	66
Figura 26 Correlação de Thorio de valores máximos e mínimos de Dickson e Scott 1997 e dados coletados em Campo para IMR I, BPI, Passa Dois, Aquidauana e Ponta Grossa, Furnas, Granito, Cuiabá (arenito), Cuiabá (folhelho).....	67
Figura 27 Correlação de Potássio de valores máximos e mínimos de Dickson e Scott 1997 e dados coletados em Campo para IMR I, BPI, Passa Dois, Aquidauana e Ponta Grossa, Furnas, Granito, Cuiabá (arenito), Cuiabá (folhelho).....	68
Figura 28 A: Correlação de Uranio de valores máximos e mínimos de Dickson e Scott 1997 e dados coletados em Laboratório para IMR I, BPI, Passa Dois, Aquidauana, Ponta Grossa	70
Figura 29 Correlação de Thorio de valores máximos e mínimos de Dickson e Scott 1997 e dados coletados em Laboratório para IMR I, BPI, Passa Dois, Aquidauana e Ponta Grossa, Furnas, Granito, Cuiabá (arenito), Cuiabá (folhelho).....	71

Figura 30 Correlação de Potássio de valores máximos e mínimos de Dickson e Scott 1997 e dados coletados em Laboratório para IMR I, BPI, Passa Dois, Aquidauana e Ponta Grossa, Furnas, Granito, Cuiabá (arenito), Cuiabá (folhelho).....	72
Figura 31 GA1 Arenito da Formação Aquidauana.....	86
Figura 32 GA01 Arenito da Formação Furnas	87
Figura 33 GA6A Rochas do Grupo Cuiabá	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Modelo que conceitua de dados Gamaespectrometrico devido às diferenças litológicas e a história geoquímica do intemperismo (Wilford et al., 1997)	36
Tabela 2 Os resultados foram comparados com os radio elementos em rochas e solos na Austrália (Modif. Dickson e Scott, 1997) com os nossos dados de campo (Tabela 2). Esta comparação é mostrada na Figuras 17 a 19 AB, onde foram apresentadas as variações concentração de valores de mínimo e máximo para cada litotipo.....	65
Tabela 3 Os resultados foram comparados com os radio elementos em rochas e solos na Austrália (Modif. Dickson e Scott, 1997) com os nossos dados de Laboratório (Tabela 3). Esta comparação é mostrada na Figuras 20 a 23 AB, onde foram apresentadas as variações concentração de valores de mínimo e máximo para cada litotipo.....	69
Tabela 4 Tabela com dados de gamaespectrometria terrestre das leituras realizadas em campo em Unidades litológicas/geológicas representativas nos pontos alvos estudados	81
Tabela 5 Tabela com dados de gamaespectrometria das análises laboratoriais mas amostras coletadas em Unidades itológicas/geológicas representativas nos pontos alvos estudados....	82
Tabela 6 Tabela dos Dados Utilizados de Análises Geoquimicas das Unidades Litológicas/Geológicas da Área de Estudo trabalhos realizados por Carolinna Maia.....	84

Dedicatória

Dedico a minha avó Ercina meu amor eterno, não há exemplo maior de dedicação do que o da nossa família. À minha querida família, que tanto admiro, dedico o resultado do esforço realizado ao longo deste percurso

Agradecimentos

Gostaria de iniciar este agradecimento expressando minha profunda gratidão a uma mulher extraordinária, meu pilar minha avó Ercina de Oliveira Barbosa. Ela sempre foi uma fonte inesgotável de encorajamento e apoio ao longo desta jornada. Embora ela não possa estar presente fisicamente para testemunhar a conclusão deste trabalho, tenho certeza de que sua presença espiritual está envolta em felicidade e orgulho. Seu impacto em minha vida e na realização deste TCC é verdadeiramente imensurável.

Agradeço também à minha orientadora, Natália Hauser, e ao meu coordenador, Elder Yokoyama, por sua orientação valiosa, dedicação e comprometimento ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Sua expertise, paciência e apoio foram fundamentais para que eu pudesse alcançar os resultados alcançados. Sou imensamente grato pela oportunidade de aprender com vocês e por todas as contribuições que fizeram para o sucesso deste projeto.

Além disso, gostaria de expressar minha sincera gratidão à minha outra parte da família. Alexei (in memoriam), Atena, Adão, Cezar, Daniella, Emanuelle, Fernanda, Inara, Jayme Filho, Jayme Neto, Katia, Liliane, Matheus, Nádia, Natasha, Rafael, Sérgio, Tamara, Tânia, Vania e Vlamir. Vocês foram fundamentais para o meu crescimento pessoal e acadêmico, sempre me apoiando e incentivando a alcançar meus objetivos. A presença e o amor de vocês foram uma fonte constante de motivação e inspiração ao longo dessa jornada.

E não poderia deixar de agradecer a minha adorável sobrinha, Maya. Seu sorriso e inocência trouxeram alegria aos meus dias, e sou grato por tê-la em minha vida.

Aos meus queridos amigos, Audrey Neves, Barbara Solto, Beatriz Dantas, Cibele Motta, Cristiane Campos, Eduarda Araujo, Evandro Gil, Ianca Santos, Juan Costa, Lucas Lopes, Luiz Eduardo, Ísis Motta, Paula Abraão, Rafael Andrade, Renan Campos, Sergio Ventura, Tayna pas, Thais Dias e qualquer outro nome que eu não tenha mencionado ao longo deste texto, gostaria de expressar minha profunda gratidão. Vocês estiveram ao meu lado ao longo dessa jornada, compartilhando risos, apoio mútuo e momentos inesquecíveis. Sua amizade e encorajamento foram fundamentais para minha motivação e determinação durante todo o processo de elaboração deste TCC.

Sei que posso sempre contar com cada um de vocês, pois em cada conversa, conselho ou simplesmente na presença silenciosa, vocês demonstraram verdadeiro companheirismo. Sou grato por todas as memórias compartilhadas, pelas palavras de incentivo e por acreditarem em mim quando eu mesmo duvidava.

Cada um de vocês contribuiu de maneira única para o meu crescimento pessoal e acadêmico. Sua presença fez desta jornada uma experiência mais enriquecedora e significativa. Obrigado por estarem ao meu lado e por serem parte essencial da minha vida.

Resumo

Uma estrutura de impacto é formada quando a superfície de um planeta ou satélite é atingida por meteoritos. Em decorrência do impacto, múltiplas mudanças físicas e químicas ocorrem em fração de segundos, nas rochas alvo. Uma ferramenta muito usada no mapeamento geológico de estruturas de impacto, são métodos geofísicos, entre eles o método gamaespectrométrico que permite obter mapas de concentrações de K, Th e U para delinear unidades geológicas, sobre tudo em regiões tropicais nas quais os afloramentos são descontínuos ou raros. O objetivo principal deste trabalho de graduação em geofísica é aplicar métodos geofísicos de gamaespectrometria terrestre para melhorar a interpretação da geologia da estrutura de impacto Domo de Araguinha, localizada no Brasil central. A distribuição das unidades geológicas afetadas pelo impacto do Domo de Araguinha está relacionada às unidades paleozoicas da Bacia do Paraná e ao seu embasamento neoproterozoico-cambriano.

A coleta de informações geológicas e o levantamento de gamaespectrometria terrestre tiveram como principais pontos alvos todas as unidades envolvidas no impacto como assim também as rochas geradas ou modificadas durante o mesmo. Foram feitas no mínimo 2 leituras de gamaespectrometria junto com descrição litológica em 29 pontos, também foram coletadas amostras litológicas para análise em laboratório de gamaespectrometria. Os principais resultados obtidos revelaram correlações consistentes entre os radioelementos e a geoquímica, com dados de campo demonstrando maior confiabilidade. O elemento urânio mostrou a melhor correlação com outros elementos. Variações nas concentrações foram observadas nos anéis concêntricos e no núcleo central, indicando influência da composição das rochas. As variações nos grupos geológicos refletiram diferenças na mineralogia, especialmente em rochas mais arenosas e oxidadas. Esses resultados contribuem para o entendimento geológico da região e a identificação de depósitos minerais, destacando a utilidade da gamaespectrometria combinada com análises geoquímicas.

Abstract

Impact structures are formed when the surface of a planet or satellite is hit by meteorites. These structures are known to exhibit multiple physical and chemical changes in the morphology and geology of the area. In this sense, more detailed studies on the composition and distribution of geological features have been carried out using geophysical methods.

The main objective of this graduation work in geophysics is to apply geophysical methods of terrestrial gamma spectrometry to improve the interpretation of the geology of the impact structure Domo de Araguainha. The distribution of the geological units of the Domo de Araguainha is related to those of the Paraná Basin and its basement.

In the study area, previous studies were carried out in order to carry out sampling in the field work. The collection of geological information and the terrestrial gamma spectrometry survey had as main target points at least 2 readings of each formation present in the structure, with geological evaluation carried out through lithological identification. Lithological samples were collected in the field for analysis in the gamma-spectrometry laboratory.

Thus, the results obtained were validated using the geochemical analysis of the corresponding lithologies

An impact structure is formed when the surface of a planet or satellite is struck by meteorites. As a result of the impact, multiple physical and chemical changes occur within seconds in the target rocks. A commonly used tool in the geological mapping of impact structures is geophysical methods, including gamma spectrometry. This method allows for the creation of maps showing concentrations of potassium (K), thorium (Th), and uranium (U) to delineate geological units, especially in tropical regions where outcrops are discontinuous or rare. The main objective of this geophysics graduation project is to apply terrestrial gamma spectrometry methods to enhance the interpretation of the geology of the Araguainha Dome impact structure, located in central Brazil. The distribution of geological units affected by the impact of the Araguainha Dome is related to the Paleozoic units of the Paraná Basin and its Neoproterozoic-Cambrian basement.

Geological information collection and terrestrial gamma spectrometry surveys focused on all units involved in the impact, as well as rocks generated or modified during the event. At least two readings were taken at each of the 29 designated points, along with lithological descriptions. Lithological samples were also collected for laboratory gamma spectrometry analysis. The main results revealed consistent correlations between radioelements and geochemistry, with field data demonstrating higher reliability. Uranium showed the strongest correlation with other elements. Concentration variations were observed in concentric rings and the central core, indicating the influence of rock composition. Geological group variations reflected differences in mineralogy, especially in more sandy and oxidized rocks. These findings contribute to the geological understanding of the region and its identification.

Capítulo 1

1.1 Introdução

Atualmente, há 8 estruturas de impacto confirmadas no Brasil (Crosta et al., 2019; Reimold et al., 2022): Serra da Cangalha (TO); Riachão Ring (MA), Nova Colinas (MA), Santa Marta (PI); Domo de Araguainha; Domo de Vargeão (SC), Vista Alegre e Cerro do Jarau

Dentre elas, o Domo de Araguainha representa a maior, mais antiga e mais bem preservada destas estruturas de impacto Brasil. Ela localiza-se no limite entre os estados de Goiás e Mato Grosso e tem, aproximadamente, 40 km de diâmetro (von Engelhardt et al., 1992; Lana et al., 2008, Crósta et al., 2019). O Domo de Araguainha é constituído por um núcleo central soerguido, pico central e *inner colar*, a bacia anelar edois anéis concêntricos, com bordas deformadas (Yokoyama, 2008). Devido a existência de um núcleo central soerguido, o Domo de Araguainha é classificada como uma estrutura de impacto do tipo complexa (Crósta et al., 1981; Engelhardt et al., 1992; Machado et al., 2009; Yokoyama et al., 2012, Crósta et al., 2019).

Produtos extraídos da interpretação de dados geofísicos em mapeamento geológico têm sido muito utilizados, principalmente, na delimitação de estruturas geotectônicas e litológicas, sobretudo em áreas arrasadas, como aqueles presentes no Brasil central. Nesse sentido, empregando vários tipos de dados com auxílio das geotecnologias têm se mostrado muito eficazes na obtenção de informações geológicas mais detalhadas (An et al., 1991; Bonham-Carter, 1994; Raines e Bonham-Carter, 2006; Miethke et al., 2007; Nykänen et al., 2008; Eddy et al., 2010). Uma dessas ferramentas é a gamaespectrometria. Ela é extremamente útil para a caracterização de regiões com potencial exploratório ou onde as litologias são incertas (Ribeiro et al, 2013). Segundo os autores, uma das principais aplicações do método da gamaespectrometria é a caracterização de diferentes rochas a partir do contraste dos teores de radioelementos K, Th e U entre elas. Suas principais aplicações são em mapeamentos geológicos e pesquisas de recursos minerais. Assim cabe citar alguns estudos sobre a determinação dos limites geológicos de grandes estruturas (Ribeiro e Mantovani,

2012), ou para prospecção mineral (Fornazzari Neto e Ferreira, 2003; Carrino et al., 2007), entre outros.

No âmbito de estruturas de impacto, a gamaespectrometria aérea tem auxiliado no mapeamento geológico em zonas tropicais onde tem poucos afloramentos ou eles são descontínuos (Niang et al. (2022).). Em Araguainha, sendo o método gamaespectrométrico o mais utilizado (Vasconcelos et al., 2012; Leite et al., 2021;). Leite et al. (2021) realizaram um estudo onde combinaram aerogamaespectrometria e gamaespectrometria terrestre. Seu objetivo foi diferenciar as assinaturas radiogênicas das diversas unidades geológicas presentes dentro das estruturas de impacto, além de identificar possíveis processos hidrotermais associados com o evento de impacto. Essa abordagem integrada permitiu uma caracterização mais abrangente e detalhada das formações rochosas, proporcionando insights valiosos sobre os processos geológicos subjacentes às estruturas de impacto.

1.2 Objetivos

Objetivo Principal

O objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia da gamaespectrometria terrestre na caracterização das unidades litológicas/geológicas na estrutura de impacto de Araguainha, conhecida como Domo de Araguainha, localizada no estado de Mato Grosso. Essas unidades, representadas por rochas alvo e rochas relacionadas ao impacto, foram previamente delimitadas espacialmente e caracterizadas através de petrografia e geoquímica.

Através desta caracterização prévia, buscamos facilitar a interpretação dos resultados obtidos com a gamaespectrometria terrestre. Nosso principal objetivo foi verificar se a gamaespectrometria terrestre proporciona uma boa diferenciação nas unidades litológicas previamente definidas e bem estudadas.

Objetivos Específicos

1 - Comparação dos resultados de gamaespectrometria em campo e em laboratório:

Esta análise visa avaliar a consistência e a concordância dos dados obtidos por gamaespectrometria entre as leituras realizadas diretamente no campo e aquelas realizadas em laboratório, utilizando amostras coletadas nos mesmos locais. Foram consideradas as diferenças nas condições de medição e possíveis fontes de variação entre os dois métodos.

2 - Comparação dos resultados de gamaespectrometria (campo e laboratório) com os resultados geoquímicos:

O objetivo é avaliar a correlação e a consistência entre os diferentes conjuntos de dados, fornecendo insights sobre a representatividade da gamaespectrometria na caracterização das propriedades geoquímicas das rochas.

3 - Comparação com os estudos de Dickson e Scott:

Os resultados obtidos serão comparados com os estudos de Dickson e Scott (1997), reconhecidos como referências importantes no campo da espectrometria e geoquímica.

1.3 Justificativa

A integração dos dados geofísicos (Gamaespectrometria) e geológicos foram importantes para interpretação da área de estudo colaborando no conhecimento geológico da estrutura de impacto de Araguainha.

O trabalho ressalta o potencial do uso desses dados como ferramenta útil e importante para estudos direcionados ao conhecimento geofísico-geológico regional com base, por exemplo, em domínios delimitados e das assinaturas geofísicas analisadas em estruturas de impacto parcialmente erodidas. Como caso de estudo, foi escolhido o Domo de Araguainha por se tratar da maior e mais bem preservada estrutura de impacto da América do Sul.

Recentemente, devido a implementação do asfalto da rodovia MT-100 que liga as cidades Ponte Branca e Araguainha/MT, novos afloramentos foram expostos e proporcionaram um melhor entendimento da geologia do núcleo central soerguido.

1.4 Vias de acesso

O Domo de Araguinha situa-se entre as cidades de Ponte Branca e Araguinha no estado do Mato Grosso (MT), próximo à divisa com o estado de Goiás (GO). A estrutura está na parte nordeste da Bacia do Paraná, onde o seu centro encontra-se nas coordenadas $16^{\circ}48'45''\text{S}/52^{\circ}59'02''\text{W}$.

Um dos possíveis acessos para a área de estudo, partindo de Brasília, se dá pelas rodovias federais BR-60 até Jataí/GO e BR-364 até Alto Araguaia/MT, a qual deve-se seguir pela rodovia estadual MT-100 que abrange os municípios de Araguinha e Ponte Branca (Figura 1).



Figura 1 Mapa de localização da área de estudo e vias de acesso partindo de Brasília-DF. Fonte de própria autoria

Capítulo 2: Estado da arte

Alguns conceitos e critérios foram estabelecidos para classificar como estruturas de impacto e distingui-las de outros fenômenos tais como vulcânicos, tectônicos. A observação sistemática de objetos do Sistema Solar, sobretudo Lua e Marte, permitiram distinguir importantes feições morfológicas nas crateras de impacto, que atualmente são usadas como base para classificá-las (simples ou complexas) (Yokoyama. 2013).

De forma geral, Segundo Kenkmann, (2022) as Crateras Simples são as menores estruturas, com diâmetro entre 0-20 km, e são caracterizadas por uma geometria uniformemente côncava, em forma de 'tigela', similar à geometria de uma cratera transiente (apud Yokoyama. 2013) Embora a transição de crateras simples para complexas não seja exata, tem sido observado que crateras complexas começam a aparecer em diâmetros maiores que 2.8 km em terrenos sedimentares (Osinski et al., 2022).

. As feições geomorfológicas, das crateras complexas (figura 2), são formadas pelo colapso gravitacional da cratera transiente dentre elas estão: bordas colapsadas, bacias anelares e núcleo central soerguido (Melosh, 1989),

Segundo Yokoyama (2013) o tamanho da cratera é o fator determinante de sua morfologia, o qual depende, fundamentalmente, da dimensão, velocidade, ângulo de incidência e porosidade do projétil, bem como da composição da rocha-alvo e da gravidade do planeta/satélite.

French (1998) dividiu o processo envolvido para formação de estruturas de em impacto (Figura 2)

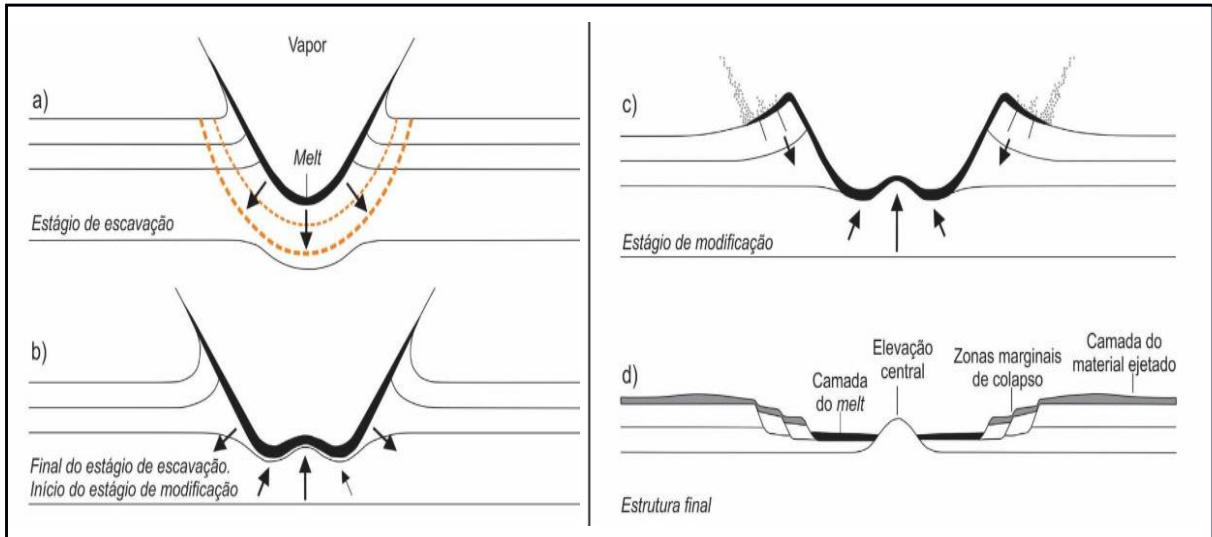


Figura 2 Processos envolvidos durante a formação de estruturas de impacto do tipo complexa a partir do estágio de escavação. Modificado de French (1998).

- Impacto inicial: a formação da cratera começa com o impacto do objeto no solo, que causa uma grande explosão e a criação de uma cratera simples.
- Colapso da cratera: Colapso da cratera: a cratera simples então começa a se deformar e afundar, geralmente devido à fraqueza do solo abaixo da superfície.
- Ascensão do pico central: durante o colapso da cratera, um pico central começa a se elevar no centro da cratera. Isso pode ser devido à pressão do material abaixo da superfície ou à força da onda de choque.
- Formação de anéis concêntricos: enquanto o pico central continua a se elevar, anéis concêntricos de rochas se formam ao redor dele. Esses anéis podem se elevar ou afundar à medida que o processo continua.
- Erosão: a erosão pode desgastar as bordas da cratera complexa ao longo do tempo, tornando-as mais suaves e arredondadas.
- Alteração hidrotermal: algumas crateras complexas podem experimentar alteração hidrotermal, que é a alteração das rochas devido à ação de água quente ou fluidos hidrotermais. Isso pode levar à formação de minerais raros ou depósitos minerais economicamente viáveis.

2.2 Estudos Geofísicos

A utilização da geofísica representa uma contribuição significativa para o avanço na identificação de unidades geológicas, na distribuição dos solos e na exploração mineral, em todos os tipos de terreno com afloramentos escassos e intemperismo acentuado (Barbosa et al., 2013).

Os dados gamaespectrométricos e magnetométricos têm sido altamente difundidos nas duas últimas décadas. Embora o uso desses dados geofísicos tenha sido proposto para prospecção mineral, já foram utilizados com sucesso em trabalhos referentes a estudos ambientais e pedológicos (Dickson e Scott, 1997; Becegato & Ferreira, 2005; Silva et al., 2010).

Muitas estruturas de impacto contêm evidências de processos de alteração hidrotermal, como Chicxulub (Zürcher e Kring, 2004; Kring et al., 2020), Sudbury (Mungall et al., 2004) (Morrow, 2007). Uma vez que as análises de dados gamaespectrométricos apresenta com grande potencial para mapear zonas de alteração hidrotermal (e.g. Shives et al., 2003, Airo, 2015), há um grande potencial para mapear tais zonas em estruturas de impacto por meio de dados de gamaespectrometria

Estudos de anisotropia magnética têm sido amplamente utilizados para entender a alteração que os terrenos complexos teriam sofrido durante um impacto meteorítico (por exemplo, Borradaile e Henry, 1997; Sen e Mamtani, 2006; Tarling e Hrouda, 1993 e suas referências). De forma complementar, esta técnica foi aplicada na análise estrutural da estrutura de impacto de Sudbury (Canadá). Em Sudbury, os diques fundidos pelo impacto foram interpretados em termos de mecanismos de colapso da cratera (Scott e Benn, 2002; Scott e Spray, 1999), enquanto as rochas hospedeiras foram considerados fortemente modificados pelos eventos tectônicos que ocorreram. muito tempo após o impacto (Hirt et al., 1993).

2.3 Geofísica Aplicada na Caracterização de Estruturas de Impacto

A maioria dos métodos geofísicos utilizados na caracterização das estruturas de impacto, com foco na exploração de anomalias causadas por mudanças nas propriedades físicas ou por estruturas decorrentes da formação

de crateras, são baseados em dados sísmicos e em campos potenciais e elétricos (Vasconcelos et al., 2012).

Alguns desses métodos geofísicos podem ser usados de forma independente ou associados para investigar a ocorrência de assinaturas geofísicas típicas relacionadas às estruturas de impacto (Yokoyama, 2008). Nesse sentido, a gamaespectrometria vem sendo bastante empregada (Niang et al., 2021; Niang et al., 2022; Leite et al., 2021; Crósta et al., 2019; Baratoux et al., 2019; Vasconcelos et al., 2012). A aerogamaespectrometria particularmente se apresenta como um método útil no entendimento de estruturas de impacto a nível regional e se complementa muito bem com o mapeamento gravimétrico e magnético (Niang et al., 2021).

Niang et al. (2021) utilizaram a gamaespectrometria para obter assinaturas radiométricas dos radioelementos de potássio (K), tório (Th) e urânio (U) em estruturas de impacto australianas. Os autores puderam avaliar as hipóteses sobre a origem dos padrões circulares observados nas estruturas. Os dados revelaram que as estruturas de impacto estudadas, com mais de 3 km de diâmetro, estão associadas às assinaturas radiométricas circulares ou arqueadas perceptíveis, caracterizados pelo enriquecimento ou depleção dos elementos de K, Th e/ou U (menos frequente) na superfície e subsuperfície imediata.

A estrutura de impacto de Bosumtwi (Gana), com cerca de 10,5 km de diâmetro, é uma das estruturas de impacto de idade mais jovem (1,07 Ma) da Terra e vem sendo alvo de diferentes aplicabilidades de métodos geofísicos (Niang et al., 2022; Baratoux et al., 2019). A morfologia desta estrutura de impacto é caracterizada por um platô circular que se estende além da borda chegando até 9-10 km do centro da cratera (cerca de 2 raios de cratera). Esta característica compreende uma depressão anelar rasa, também descrita como um fosso anular, e uma crista circular suave em sua borda externa. A origem dessa característica mais externa até agora não pode ser elucidada com base apenas em dados de sensoriamento remoto.

Nesse sentido, Baratoux et al. (2019), utilizou nesse trabalho a combinação de análise topográfica detalhada, incluindo mapeamento de rugosidade, com levantamentos aerogamaespectrométrico (K, Th, e U próximo da superfície). O estudo concluiu que o fosso do anel e a crista externa estavam

presentes imediatamente após o evento de impacto e são feições formadas durante a colocação do material ejetado.

Já Niang et al. (2022) utilizaram a gamaespectrometria terrestre para identificar as origens das zonas anelares ricas em potássio (K). Os autores interpretaram que a característica anular com concentrações elevadas de K não são relacionadas à mobilização de K como consequência direta do impacto, mas sim pela erosão dentro da estrutura de impacto com o subsequente desenvolvimento de uma nova superfície laterítica depois do impacto.

Dados geofísicos possuem grande potencial para serem utilizados na validação de dados geoquímicos de superfície, como solo, material regolítico e rochas expostas. Wilford et al. (2011) realizaram um estudo comparando os métodos analíticos de gamaespectrometria e geoquímica elementar. O objetivo deste estudo era explorar o potencial para desenvolver estimativas aprimoradas de concentrações de K, Th e U com base na calibração com a geoquímica de superfície e o grau em que a amostra geoquímica é representativa. Segundo os autores, as concentrações de K e Th em gamaespectrometria aérea mostram um alto grau de correlação com as medições terrestres de geoquímica. No entanto, as concentrações de U são significativamente subestimadas em comparação com a geoquímica do solo. Nesse sentido, devido os resultados dessa investigação serem preliminares, é necessário maior investigação para entender as relações dos efeitos do desequilíbrio de U na estimativa de U.

No Brasil dados geofísicos estão sendo aplicados para mapeamento e identificação de características em estrutura de impacto. Vasconcelos et al. (2012) utilizaram a gamaespectrometria para identificar assinatura de raios gama na estrutura de impacto da Serra da Cangalha com a utilização de cálculos matemáticos para precisar a anomalia K, visto que podem ser indicativos de processos hidrotermais dentro da estrutura. A conclusão dos autores foi que esta abordagem provou ser eficaz e caracterizou com altas concentrações de K e que podem estar relacionadas a concentrações maiores que as usuais de argilominerais e moscovita dentro da estrutura de impacto da Serra da Cangalha.

Outros métodos geofísicos, como os magnéticos e sísmicos de reflexão, foram empregados na estrutura de impacto Domo de Vargeão, Brasil (Vieira et al., 2009) com o objetivo de integrar dados geológicos e geofísicos. A análise dos dados magnéticos e sísmicos permitiu classificar o Domo de Vargeão como

uma estrutura de expressão crustal rasa com indicativos da existência de uma zona de intensa deformação situada abaixo da mesma. A variação do gradiente magnético regional, correlacionado com os limites espaciais das principais unidades geológicas presentes na região do Domo de Vargeão, permitiu associar a cada unidade uma assinatura ou um gradiente magnético característico.

2.4 Estudos Geofísicos Prévios no Domo Araguainha

Trabalhos visando a utilização de métodos geofísicos no Domo de Araguainha têm sido pouco aplicados, sendo o método gamaespectrométrico o mais utilizado (Vasconcelos et al., 2012; Leite et al., 2021;).

Leite et al. (2021) utilizaram aerogamaespectrometria em conjunto com gamaespectrometria terrestre com o objetivo de distinguir as assinaturas radiogênicas das diferentes unidades geológicas dentro das estruturas de impacto e identificar os possíveis processos hidrotermais associados com o evento de impacto. O resultado permitiu inferir maior concentração de certos elementos, como K em algumas áreas dentro da estrutura podem estar relacionados aos processos hidrotermais durante a formação da mesma. Do mesmo modo foi possível criar um mapa de anomalias de K, Th e U (Figura 3) o qual indicou: 1) padrões anelares e concêntricos da contagem total (CT), compreendendo para K, Th e U; 2) uma segunda zona circular de alto teor de K, Th e U correspondente à área de ocorrência da Formação Ponta Grossa; 3) para a borda da estrutura, uma terceira zona anômala circular de alto K que corresponderia com os estratos deformados do Grupo Passa Dois que é uma área ampla de sinal gama muito baixo de K. Aproximadamente 20 km do centro, e circundando quase toda a estrutura.

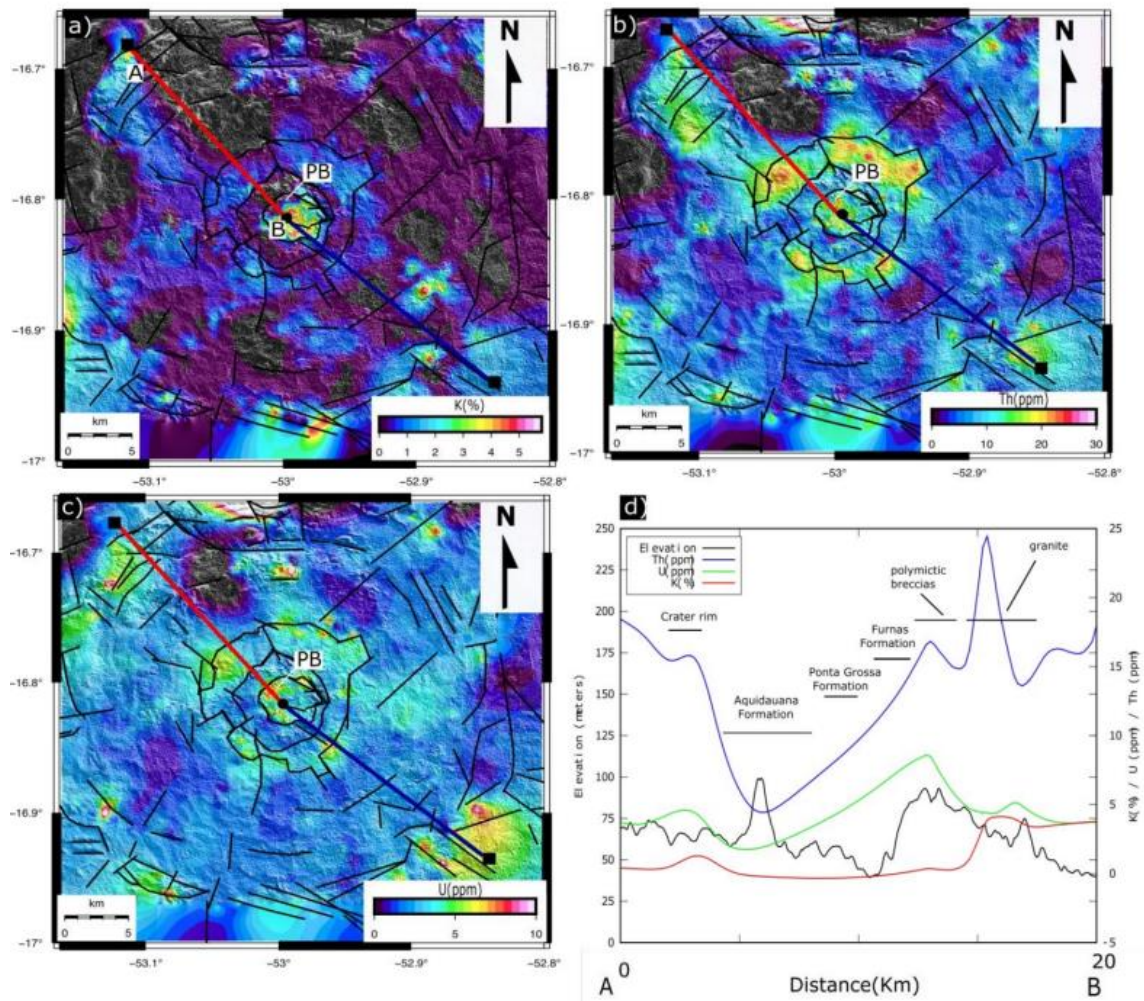


Figura 3 Canais individuais de raios gama de no Domo de Araguinha (MT) mostrando as assinaturas de todos os três elementos em um modelo digital de elevação. (a) canal K em %, (b) canal eTh em ppm, (c) canal eU em ppm. (PB) brechas polimíticas (Leite et al., (2021).

Todos os canais mostraram uma assinatura distinta da região central de elevação. Nos perfis da figura (3) mostra a relação entre topografia e elementos de rádio em cores distintas (linha vermelha: K; linha verde: Th; linha azul: U; linha preta: topografia). Linhas pretas finas nas Figuras 3a-3c marcam os limites entre o tipo de rocha na porção central da estrutura: granito, formações Furnas e Ponta Grossa e lineamentos geológicos. Observe uma assinatura distinta da área compreendendo brechas polimíticas (PB), segundo Lana et al. (2007). As linhas azuis e vermelha nas figuras 3a, 3b e 3d correspondem às linhas de onde os dados radiométricos foram extraídos. As mesmas linhas são mostradas na Figura 4b Leite et al. (2021)

Capítulo 3: Contexto Geológico

A Província Tocantins (Almeida et al., 1977, 1981; Almeida e Hasui, 1984) constitui uma entidade orogênica colisional de idade neoproterozóica gerada entre os crátons Amazônico (margem passiva), São Francisco/Congo e Parapanema (margem ativa). Segundo Pimentel et al. (1991) e Fuck et al. (2006), o Domo de Araguainha está inserido nas faixas Paraguai e Brasília dessa província e sobre o bloco paranapanema (figura 4). O Domo de Araguainha está inserido nas faixas Paraguai e Brasília desta província e sobre o bloco Paranapanema (figura 4).

Nesse capítulo será apresentado o contexto geológico regional do Domo de Araguainha, a distribuição das unidades geológicas relacionadas com a Bacia do Paraná e seu o embasamento. Características relacionados a sua extensão, espessura, idade, contexto tectônico e as formações presente na área de estudo serão abordadas.

3.1 Contexto Geotectônico

O Domo de Araguainha, ou estrutura de impacto de Araguainha, é o remanescente erodido da maior cratera de impacto da América do Sul (Crósta et al., 1981; Theilen-Willige, 1981; Engelhardt et al., 1992; Lana et al., 2006a, 2007, Crósta et al., 2019). Ele está localizado na parte nordeste da Bacia do Paraná, abrangendo a fronteira entre os estados de Mato Grosso e Goiás, no Brasil central.

O impacto afetou um pacote de rochas com espessura estimada de cerca de 2 km que inclui, na base, o embasamento da bacia e as rochas sedimentares relacionadas com a evolução da bacia do Paraná Milani (2007). O núcleo da estrutura de impacto, com aproximadamente 8 km de diâmetro, mostra o embasamento soerguido e as rochas relacionadas com o impacto. As demais unidades geológicas, que fazem parte da Bacia do Paraná, se distribuem de forma aproximadamente anelar e concêntrica em torno desse núcleo (Figura 5) segundo Theilen Willige, 1981).

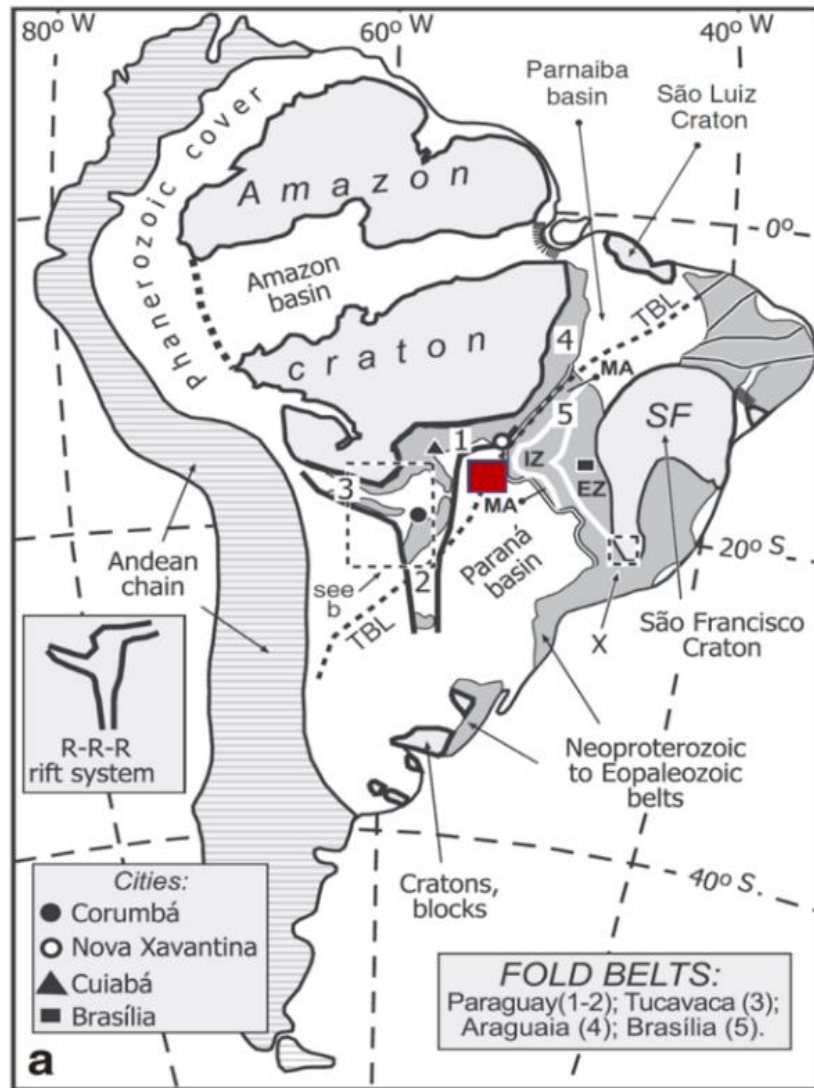


Figura 4 - Mapa do contexto do Domo de Araguainha (MT). D'el-Rey Silva et al., 2016 O embasamento está conformado pelos filitos do Grupo Cuiabá do Neoproterozoico (Almeida (1948) e o granito de Araguainha (Cambriano), enquanto sobreposto a essas rochas, localiza-se as unidades estratigráficas pertencentes a Bacia do Paraná. Estão dispostas desde a mais antiga para a mais nova (figura 5): Grupo Rio Ivai (Ordoviciano-Siluriano), Grupo Paraná (Devoniano), Formação Aquidauana (Carbonífero) e Grupo Passa Dois (Permiano).

As rochas estão intensamente falhadas e deformadas, ocorrendo uma série de semigrabens de formato semicircular, bem evidenciados no contato entre o Grupo Passa Dois e a Formação Aquidauana (Silveira Filho e Ribeiro, 1973; Pena, 1974; Crósta et al., 1981; Theilen-Willige, 1981; von Engelhardt et al., 1992; Bischoff e Prinz, 1994; Hammerschmidt e von Engelhardt, 1995).

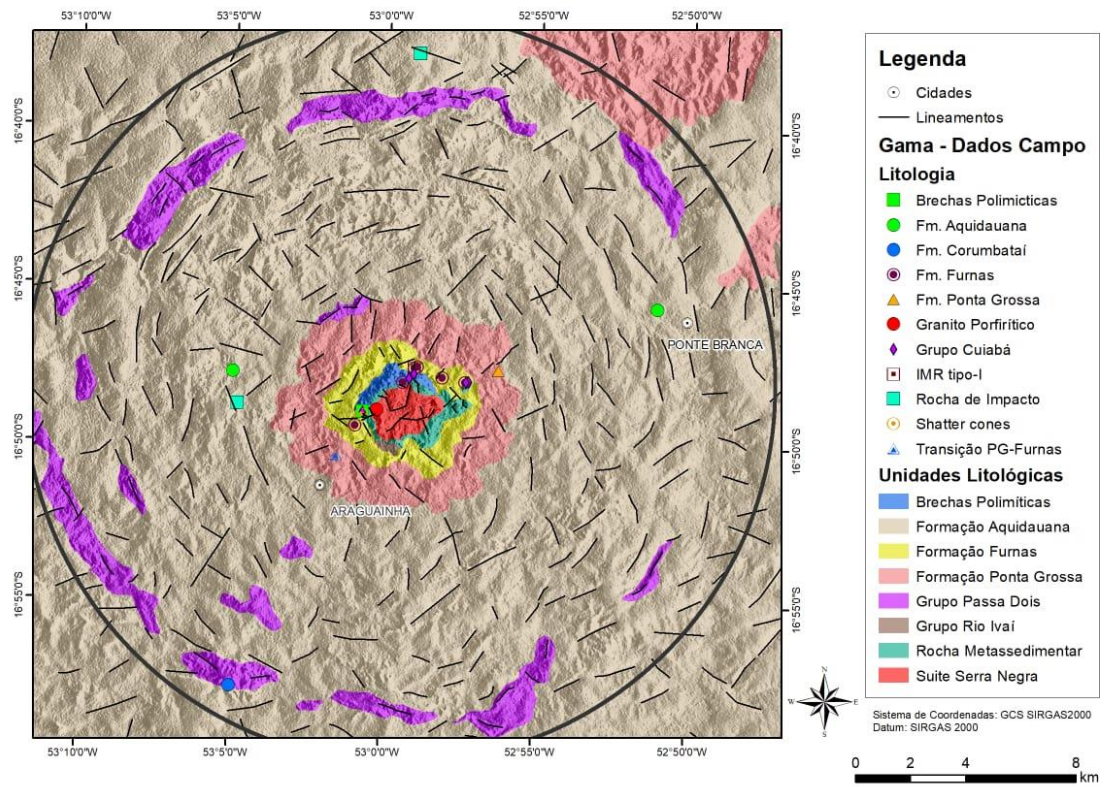


Figura 5 A) Mapa geológico simplificado da estrutura de impacto de Araguainha com as feições geológicas de campo predominantes Sousa et al., pontos de amostragens feitos pelo próprio autor.

3.2 Estratigrafia

Unidades Litológicas	Reg. Fóssil	Litoestratigrafia	Espessura unidades	Breve descrição litológica das fácies
Formação Corumbata			(40-60m)	Esta formação apresenta arenitos verdes, cinza esverdeados e cinza com presença de ossículos e escamas de peixes. Há intercalações de siltitos com laminação horizontal, há intercalações de calcários e camadas de arenitos com "bonebeds". Na base desta formação foram encontrados rosas do deserto e gretas de contração.
Fm. Aquid. Topo			(50-80m)	A quarta e última subdivisão desta formação é composta na base por uma camada de conglomerado matriz suportado com seixos polimíticos compostos por quartzo e granitos compondo fácies Gm. Há arenitos com laminação planoparalelas, cruzadas acanaladas e cruzadas planoparalelas.
Fm. Aquid. Inter. II			(80-100m)	A terceira subdivisão da Formação Aquidauana se diferencia da segunda por apresentar maior quantidade e tamanho de lentes arenosas em meio ao pacote de ritmo. Estes pacotes arenosos apresentam-se na maioria das vezes como arenitos maciços, ou com estruturas sedimentares do tipo estratificações cruzadas cavalgantes.
Formação Aquidauana Intermediário I			(150-200m)	A segunda subdivisão da Formação Aquidauana contém um pacote composto por intercalação de siltitos e arenitos, formando um "ritmo". Estruturas sedimentares predominantes são as estratificações cruzadas acanaladas e truncadas e também marcas onduladas cavalgantes em escala centimétrica. Na base os arenitos ocorrem de forma maciça.
Formação Aquidauana Base			(250-300m)	A base da Formação Aquidauana é representada por um pacote espesso e relativamente homogêneo pacote de arenitos e conglomerados vermelhos, caolínicos, e imaturos. Estruturas sedimentares predominantes são as estratificações cruzadas acanaladas e truncadas e também marcas onduladas cavalgantes em escala centimétrica. São observadas algumas lentes de arenito e seixos dispersos encontrados na frente dos "sets" das estratificações/laminações cruzadas. Estes seixos são em geral arredondados e compostos por quartzo fácies Am-c (arenitos maciços com clastos) Aa-c (arenito com estratificações cruzadas acanaladas com clastos). O topo deste pacote é marcado por uma camada de conglomerados maciços polimíticos com seixos arredondados.
Formação Ponta Grossa			(350-400m)	A Formação Ponta Grossa é representada por um espesso pacote predominantemente psamo-pelítico e intensamente deformado. Na base, esta formação apresenta bastante semelhança com o topo da Fm. Furnas e se distingue desta formação pelo grande conteúdo de mica, aspecto ferrugineo e intensa bioturbação que é pervasiva por toda a formação. Ao longo de todo perfil apresenta predominância em siltitos cinza que eventualmente se intercalam com folhelhos bioturbados que geralmente não passam de 1m de espessura. Há ocorrência de lentes arenosas intercaladas nestes siltitos. Como conteúdo fóssilífero foram encontrados fitofósseis carbonificados e bioturbação intensa dos estrados. As camadas de silito que se intercalam com os arenitos eventualmente mostram laminações cruzadas truncadas de escala centimétrica.
Formação Furnas			(150-250m)	A Formação Furnas é representada por um espesso pacote predominantemente arenoso e intensamente deformado. Esta formação ocorre exclusivamente no núcleo soerguido da área I. Na base esta formação apresenta uma camada de conglomerados e arenitos conglomeráticos caolínicos que gradam para arenito médio até arenito fino no topo com estratificações cruzadas acanaladas encontradas principalmente na base da formação. No topo há predominância de estruturas do tipo estratificações cruzadas tabulares. O topo desta formação se torna cada vez mais semelhante com a Formação Ponta Grossa, e o contato registrado em afloramento indica claramente o padrão gradacional deste contato.
Grupo Rio Ivai			(30-50m)	Repousando discordantemente sobre o embasamento, encontra-se as rochas do G. Rio Ivai, especialmente os arenitos conglomeráticos imaturos, eventualmente apresentando imbricação de seixos (Ac-I) e conglomerados da Formação Alto Garças. Há ocorrência de diamictitos da Formação Iapó. As rochas atribuídas à Fm. Alto Garças apresentam intercalação de arenitos e conglomerados polimíticos cujas espessuras das camadas individuais chegam a 10m. Ocorrem frequentemente seixos cisalhados no (Ac e Ac-I) devido ao impacto. Os diamictitos encontrados apresentam matriz argilosa e clastos angulosos e polimíticos de tamanhos variados.
Grupo Cuiabá / S. Negra			(?)	O embasamento da área I é representado por rochas graníticas porfiríticas correlacionadas à S. Negra, soerguida durante o evento de inact. Este granito encontra-se, na região do Domo, intrudindo o xisto do Grupo Cuiabá.

Figura 6 Proposta de coluna litoestratigrafica para o Projeto de mapeamento final do Domo de Araguinha. TF 2012 – Sub Area VII.

3.2.1 Embasamento da Bacia do Paraná no Domo de Araguainha

Grupo Cuiabá

Almeida (1948), descreveu no Grupo Cuiabá cinco fácies predominantes, sendo elas: 1) quartzitos, 2) metagrauvacas, 3) metaconglomerados, 4) filitos, e 5) sericita-clorita-xistos, sendo estas últimas as mais características e com as maiores espessuras (apud Beal 2013). Esta unidade compõe a Faixa de Dobramentos Paraguai-Araguaia e emolduram o limite oriental do Crato Amazônico, com extensão superior a 2.500 km, estendendo-se geograficamente desde o Paraguai até o baixo curso do rio Tocantins. Segundo o modelo modificado por Costa (1988), Souza e Moreton (1994, 1995) as rochas do Grupo Cuiabá teriam evoluído a partir da deposição em ambiente plataformal profundo, desenvolvido a partir de bacias do tipo hemigabren que, posteriormente, foram empilhadas e deformadas pelas ações de colisão de blocos cratônicos com vergência de massa de SE para NW.

Na região de Goiás, esta unidade ocupa uma área irregular a sul-sudoeste da cidade de Bom Jardim de Goiás. Os contatos com as unidades limítrofes são delimitados por falhas transcorrentes (Serra Negra) a leste; por cisalhamento com o Complexo Granitóide-Gnáissico; e por discordância angular com os sedimentos paleozóicos da Bacia do Paraná que é composto, predominantemente, por filitos de cor cinza que se tornam avermelhados quando alterados, finamente bandados, contendo intensa venulação quartzosa em sequências amplamente deformadas. Ocorrem subordinadamente quartzitos, quartzitos feldspáticos, biotita-quartzo xistos, muscovita-biotita xistos e diamictitos (Sá e Marques, 1986). O grau metamórfico é de fácies xisto-verde. As foliações são bem desenvolvidas, mergulham para NE, com inflexões para sul e mostram nítida vergência para o Crato Amazônico.

Granitos Pós-Colisionais

Os afloramentos do embasamento granítico na porção interna do núcleo soerguido são constituídos por granito alcalino, correlacionado por Lacerda et al. (2004) à Suíte Serra Negra é caracterizado com álcali-feldspato granitos a biotita, e por filitos esverdeados correlacionado ao Grupo Cuiabá. O granito de Araguainha é rosáceo, de granulação média a grossa, caracterizado por ser equigranular a inequigranular com fenocristais de K-feldspato com até 5 cm de

comprimento. Os principais minerais constituintes são quartzo, K-feldspato, albita, biotita e muscovita, ocorrendo como acessórios zircão, turmalina e calcita. As rochas do embasamento granítico, assim como as brechas, exibem a maioria das feições de deformação induzidas por impacto. O tipo mais comum é o desenvolvimento de estruturas microscópicas planares de deformação (PDFs - lamelas de choque) em quartzo. Até quatro sets de PDFs foram observados por von Engelhardt et al. (1992) em um único grão de quartzo do embasamento granítico. Crósta (1982) descreveu a ocorrência dessas feições de choque também em grãos de feldspato. A presença da feição com orientação cristalográfica correspondente ao plano {1012} indica que o granito que hoje aflora no núcleo soerguido de Araguinha foi submetido a pressões que alcançaram entre 20 e 25 GPa (Giga Pascal) (Crósta (1982)).

3.2.2 Bacia do Paraná

Grupo Rio Ivaí

O Grupo Rio Ivaí (Assine et al., 1994) representa a unidade mais antiga da bacia aflorando no Domo de Araguinha. Está constituído por três unidades: as formações Alto Garças, Iapó e Vila Maria. O Grupo Rio Ivaí seu topo é demarcado por uma superfície de discordância erosiva de abrangência regional que justapõe os estratos eossilurianos da porção superior desta unidade. Quando este exibe seu registro completo àqueles do Eodevoniano, da base da Formação Furnas. A porção catarinense da bacia até os estados de Mato Grosso e Goiás. Apresenta uma tendência regional de espessamento para oeste, rumo ao Paraguai oriental, onde encontra correspondência litoestratigráfica nos grupos Caacupé e Itacurubi, que lá alcançam uma espessura total em torno dos 1.000 m. Milani et al. (2007)

- **Formação Alto Garças:** De acordo com Milani et al (2007) possui espessura máxima da ordem de 300 m, é essencialmente arenosa, podendo incluir um conglomerado basal quartzoso, que passa para arenitos conglomeráticos com estratificação cruzada. Predominam nessa formação arenitos quartzosos finos a grossos, alguns feldspáticos, que na sua porção superior podem apresentar-se síltico-argilosos e de cor avermelhada.
- **Formação Iapó:** Milani et al (2007) descreve a constituição da formação por diamictitos de cores diversas, com matriz síltico-arenosa e clastos de natureza variada, cujo persistente posicionamento estratigráfico tanto em superfície

quanto em seções de poços empresta-lhe a condição de um notável horizonte de correlação, desde o flanco setentrional da bacia até a porção centro-sul da mesma, já no Estado do Paraná. Seu contato abrupto sobre os arenitos da Formação Alto Garças denota uma importante descontinuidade na história de sedimentação. Os diamictitos da Formação lapó são sucedidos pelos depósitos da Formação Vila Maria, cujos pelitosossilíferos representam o marco estratigráfico mais importante de toda a Superseqüência Rio Ivaí.

- **Formação Vila Maria** foi descrita por Faria (1982) a partir de estudos no sudoeste de Goiás. Para este autor, a denominação refere-se a todo pacote de sedimentitos estratigraficamente sotoposto à Formação Furnas, que na região estudada inclui diamictitos na base, folhelhosossilíferos e arenitos intercalados a siltitos na porção superior. Posteriormente, Assine et al. (1994) redefiniram a unidade pela subtração dos diamictitos, por eles considerados como correspondentes à Formação lapó. Desse modo, restringiram a Formação Vila Maria ao pacote pelítico sobreposto, que grada para termos arenosos no sentido do topo, no conjunto com poucas dezenas de metros de espessura. Os folhelhos são, em geral, de cor vermelha, micáceos e com aspecto ferruginoso, porém localmente cinza-escuros e bastanteossilíferos. Por sua vez, os arenitos e siltitos da porção superior exibem estratificação cruzada também ocorrem no intervalo superior (Faria, 1982), o que sugere uma eventual exposição subaérea da superfície deposicional. O conteúdoossilífero característico faz da Formação Vila Maria e, sobretudo, de sua correspondente paraguaia, a Formação Vargas Peña, um intervalo-chave para a cronoestratigrafia do Siluriano da Bacia do Paraná. Tomadas em conjunto, são registrados nessas unidades megafósseis marinhos como graptólitos, trilobitas, braquiópodos, gastrópodos, bivalvíos e ostracodes (Popp et al., 1981; Wiens, 1990; Boucot et al., 1991; Melo, 1993; Uriz et al., 2008), além de palinomorfos como quitinozoários (Wood e Miller, 1991; Grahn et al., 2000; Grahn, 2006), miósporos e acritarcos (Gray et al. 1985, 1994). apud Milani (2007)

Grupo Paraná

O Grupo Paraná, conformado pelas formações Furnas e Ponta Grossa Milani (2007), representa o pacote devoniano da bacia do Paraná. Com uma espessura máxima aproximada em torno de 800 m, na maior parte da bacia, esta supersequência assenta-se sobre os estratos ordovício-silurianos do Grupo Rio Ivaí, mas também pode ser encontrado diretamente sobre o embasamento. A base do pacote devoniano coincide com uma superfície de discordância erosiva notavelmente regular e aplainada, de tal sorte que sua geometria regional, em particular a da Formação Furnas, possui cerca de 250 m de espessura em toda sua ampla área de ocorrência. O topo do pacote é assinalado por outra discordância regional, desenvolvida no final do Devoniano e sobretudo no Carbonífero. O estabelecimento desta superfície erosiva subtraiu importantes registros sedimentares da Bacia do Paraná, correspondentes ao Devoniano terminal e provavelmente do Eocarbonífero.

A **Formação Furnas** (Assine, 1996) é representada por uma sucessão de arenitos quartzosos brancos, médios a grossos, caulínicos e exibindo estratificações cruzadas de várias naturezas. Próximo à base, são frequentes leitos conglomeráticos com até 1 m de espessura. Na sua porção intermediária, dominam arenitos de granulometria média, que se intercalam a delgados níveis de siltito e folhelho muscovítico, salientando o aspecto estratificado desse intervalo. Estruturas entrecruzadas do tipo espinha de peixe ocorrem neste nível intermediário da formação (Assine, 1996). Para o topo, arenitos médios a grossos passam a dominar, mas também aparecem camadas de arenitos muito finos com estratificação do tipo hummocky. As “camadas de transição” de Petri (1948), um conjunto de fácies com arranjo granodecrescente que inicia na base com o típico “arenito Furnas” e que culmina a algumas dezenas de metros acima nos folhelhos da Formação Ponta Grossa, parece materializar em afloramentos o referido intervalo de gradação indicado nos perfis de poços.

A **Formação Ponta Grossa** foi descrita, inicialmente, no Estado do Paraná, onde é representada por três membros: Jaguariaíva, Tibagi e São Domingos (Lange e Petri, 1967). O membro inferior, que materializa o afoamento dos sistemas transicionais da porção superior da Formação Furnas, é representado por folhelhos com cerca de 100 m de espessura, contendo lentes de arenito fino com estratificações retrabalhadas por ondas. Nos 20 m superiores desse pacote ocorre um folhelho preto laminado, carbonoso, que configura um importante marco de

correlação estratigráfica em subsuperfície, além de constituir potencial gerador de hidrocarbonetos gasosos em toda sua área de ocorrência, no domínio central da Bacia do Paraná. O Membro Tibagi, areno-siltico, corresponde à porção média da Formação Ponta Grossa, refletindo um contexto regressivo de progradação de sistemas deltaicos provenientes da borda nordeste, onde é bastante expressivo o aporte dos termos arenosos (Andrade e Camarço, 1982). O Membro São Domingos, predominantemente pelítico, documenta nova inundação em ampla escala, que fecha o registro devoniano. A Formação Ponta Grossa ultrapassa os 600 m de espessura em subsuperfície, com 300 m remanescentes em afloramentos. Sedimentitos devonianos ocorrem também no Uruguai, onde são reunidos sob a denominação de Grupo Durazno Milani et al (2007)

Grupo Itararé-Formação Aquidauana

A denominação Formação Aquidauana foi usada por Almeida et al. (1971, apud: Pena et al., 1975). Na base é constituída por arenitos de coloração vermelho-cerâmica a arroxeados que passa para tons avermelhados no topo. Possuem aspecto maciço e são silicificados e friáveis, quando alterados. Mostram granulação média a grossa e contêm grãos mal a regularmente selecionados, arredondados, feldspáticos e imersos em cimento ferruginoso. Os diamictitos ocorrem em lentes e bolsões intercalados com arenitos grossos, brancos a róseos, em todos os níveis da coluna, mas com maior frequência na porção média a superior. São constituídos por grãos, seixos, blocos e matações de quartzo leitoso, chert, micaxisto e siltito, com formas angulosas e subarredondadas, em matriz areno-argilosa.

Sá e Marques (1986) citam diversos níveis de tilitos com seixos de quartzitos facetados, polidos e estriados, com aspecto de “ferro-de-engomar”. Os sedimentos exibem principalmente estratificação cruzada planar, de pequeno a grande porte, estruturas acanaladas de sobrecarga e dobras convolutas. Os arenitos mais homogêneos podem apresentar ainda estruturas do tipo “casco-de-tartaruga”.

A sedimentação da Formação Aquidauana ocorreu no Carbonífero. Sá e Marques (1986), tendo por base a cor vermelha dos sedimentos, diamictitos e tilitos e a grande variação vertical e horizontal de fácies.

Grupo Passa Dois

Passa Dois é formado por depósitos sedimentares marinhos e transicionais que registram a instalação de clima desértico no final do ciclo. Este grupo é composto pelas formações Irati (carbonato oolítico e contendo sulfeto, folhelho preto, folhelho betuminoso, siltito e chert), Serra Alta (folhelhos), Teresina (folhelho cinza e siltito), Corumbataí (parte inferior: argilito cinza escuro a preto, folhelhos e siltitos; argilito vermelho e folhelhos com lentes de calcário silicificado; parte superior: argilito verde, roxo e vermelho) e Rio do Rastro (arenito vermelho, siltito e folhelho) (Solza 2021)

Milani (1997) dividiu a supersequência Passa Dois em 6 unidades estratigráficas. A área estudada compreende a faixa de afloramento da formação Irati e Corumbatai do Grupo Passa Dois na porção sudoeste do Estado do Mato Grosso.

A **Formação Irati** A formação Irati (Permiano) foi primeiramente descrita por White (1908) no município de Irati, no Estado do Paraná e é constituída, da base para o topo, pelos membros Taquaral e assistência. Na porção norte da bacia, a base da Formação Irati é caracterizada por níveis de conglomerado, sobrepostos por camadas de arenito e pelito de cor cinza esverdeada atribuídos ao Membro Taquaral. O Membro Assistência é constituído pela intercalação de camadas de folhelho cinza escuro a preto com dolomitos creme a cinza escuros, ocasionalmente silicificados e por vezes oolíticos frequentemente intercalado com níveis peloidais (Dos Anjos & Guimarães, 2008).

A parte inferior da **Formação Corumbataí** é constituída por um pacote de argilitos, folhelhos e siltitos cinza escuros a arroxeados, com fraturas conchoidais e concreções calcíferas. A parte superior é constituída por argilitos e arenitos moderadamente a bem selecionados, finos, argilosos, com tons esverdeado, arroxeados e avermelhados (Mezzalana et al. 1981).

3.3 O Domo de Araguainha

O Domo de Araguainha foi formado em sedimentos horizontalizados da porção norte da Bacia do Paraná (~251 Ma, Hauser et al., 2019), localizada na porção central do Brasil (von Engelhardt et al., 1992; Hippertt & Lana, 1998). Morfológicamente, é constituído desde dentro para fora por um núcleo central soerguido, a bacia anelar e pelo menos dois anéis concêntricos, e a área de borda. Northfleet et al. (1969) foram os primeiros pesquisadores que referiram à existência de uma estrutura dômica em Araguainha e que seria uma estrutura como resultante de uma intrusão sienítica de idade Cretácea, que teria soerguido e deformado os sedimentos fanerozóicos na forma de um domo.

Dietz & French (1973) propuseram uma nova hipótese para a formação do Domo de Araguainha, relacionando-o ao evento de impacto de um corpo celeste contra a superfície da Terra. Esta hipótese se baseou no reconhecimento de feições de metamorfismo de choque em amostras coletadas no centro do Domo, tais como shatter cones (cones de estilhaçamento em português) e feições planares (lamelas de choque) em grãos de quartzo, com orientações controladas cristalográficamente. Os SHATTER CONES são agregados de estruturas cônicas caracterizadas por estrias que iniciam no ápice e terminam na base de cada cone, atingindo tamanhos centimétricos a métricos (Crósta et al., 1981). O interessante destas feições, é que representam as evidências diagnósticas macroscópicas de um evento de impacto meteorítico, já que nenhum outro processo geológico pode produzir elas.

Crósta et al. (1981) e Crósta (1982) apresentaram os resultados de mapeamento geológico, as características geomorfológicas e estruturais, bem como a análise petrográfica de amostras do embasamento granítico e das brechas de impacto, todas elas exibindo evidências de metamorfismo de choque. Esses resultados reforçaram a origem da estrutura por impacto de um corpo celeste. Dentre as evidências desse fenômeno por eles reconhecidas estão a ocorrência de shatter cones em arenitos da Formação Cuiabá em duas localidades diferentes, lamelas de choque em quartzo, feldspato e mica, mudanças do estado cristalino para o estado amorfo em minerais com ausência de fusão, com a fase vítrea retendo as características morfológicas e texturais da fase cristalina, e *kink bands* principalmente em biotita. von Engelhardt et al.

(1992) apresentaram o primeiro estudo petrográfico e geoquímico detalhado da parte interna do núcleo central com 6,5 a 8 km de diâmetro, enfocando o embasamento granítico e as brechas. Eles apresentaram um mapa geológico da porção interna do núcleo central, mostrando a distribuição de três tipos de brechas: brecha de impacto com a matriz fundida, brechas polimíticas de impacto e brechas monomíticas de impacto de arenitos.

Lana et al. (2007, 2008) forneceram a divisão estrutural ao Domo de Araguainha classificando-o como uma estrutura de natureza complexa composta por um núcleo central soerguido, uma bacia anelar, pelo menos dois anéis internos concêntricos, núcleo central e área de borda.

Núcleo central – constituída por rochas graníticas do embasamento e produtos de fusão, que segundo Engelhardt et al. (1992), possui quatro principais litofácies: Granitos; Brechas de impacto com matriz fundida; Brechas polimíticas e Brechas monomíticas.

Bacia Anelar – constituída pela Formação Ponta Grossa, composta por siltitos ferruginosos intercalados por lentes de arenito e conglomerado. O setor norte da bacia anelar é caracterizado por red beds e conglomerados da Formação Aquidauana

Anéis concêntricos - são caracterizados por sinclinais sinformes que afetam os red beds da Fm. Aquidauana, siltitos e carbonatos brechados do Subgrupo Irati e da Fm. Corumbataí, respectivamente.

Área da borda – constituída de rochas fraturadas, dobradas e brechadas da Fm. Aquidauana e do Grupo Passa Dois.

As rochas supracrustais que fazem contato tectônico com o embasamento cristalino parte da Fm. Furnas e são constituídas por conglomerados e arenitos grossos arcossiano.

3.4 Aspectos teóricos do método gamaespectrométrico

A gamaespectrometria permite mapear as variações nas concentrações dos isótopos radioativos, potássio (^{40}K), urânio (^{235}U e ^{238}U) e tório (^{232}Th). Por serem isótopos radioativos, estes elementos decaem espontaneamente e emitem a radiação gama durante esse processo. Fontes naturais de radiação são derivadas dos isótopos sintetizados durante a criação do sistema solar (Minty, 1997). Devido às suas meias vidas longas, eles ainda existem nos dias de hoje. Destes, o ^{40}K , ^{235}U , ^{238}U (e os seus isótopos) e ^{232}Th (e os seus isótopos) são os únicos radioisótopos que produzem raios gama de alta energia com intensidade suficiente para serem detectados e usados em levantamentos geofísicos.

Os radionuclídeos estão sujeitos à lei do decaimento radiativo, ou seja, o seu núcleo pode emitir uma partícula alfa e uma partícula beta e, ao retornar ao seu estado normal, pode emitir raio gama. Por causa disso, o decaimento é considerado fenômeno estatístico sujeito à probabilidade de um átomo desintegrar-se na unidade de tempo (Mernagh e Mieztis, 2008).

A radiação dos raios gama emitida vai, assim, refletir a composição química da rocha e do solo sobrejacente para esses três elementos (Wilford et al., 2001). Portanto, nas áreas que ocorrem processos erosivos, a abundância de radioelementos reflete a geoquímica e a mineralogia das rochas, enquanto que nas áreas aplainadas a resposta é modificada em função dos processos de pedogênese.

A radiação gama é parte do espectro eletromagnético. Raios gama viajam na velocidade da luz (c) e têm energia discreta (E), frequência (f) e comprimento de onda (λ). Esses parâmetros são relacionados da seguinte forma:

$$E = h f = h c / \lambda$$

Onde: h = constante de Planck = $6,6261 \times 10^{-34}$ Js

Raios gama compreendem a parte do espectro eletromagnético

Onde: $E > 40$ keV.

As concentrações médias na crosta para K, U e Th equivalem a 2,0 - 2,3 dag kg^{-1} , 2,7 - 3,0 mg kg^{-1} e 8,5 - 12,0 mg kg^{-1} , respectivamente (Dickson e Scott, 1997; Minty, 1997).

A desintegração é decorrente da instabilidade do núcleo do átomo radioativo que libera energia pela emissão de partículas alfa (α), beta (β) e radiação gama (γ). Os raios gama (γ) apresentam maior energia penetrativa, sendo capazes de penetrar em até 30 cm em rochas e dezenas de metros no ar. Como não apresentam carga, não são desviados por campos elétricos ou magnéticos e exibem as características de uma onda eletromagnética. Na Terra, os elementos K, eU e eTh são os únicos de ocorrência natural que são capazes de emitir raios gama com energia suficiente que permite a detecção em levantamentos aerogamaespectrométricos. O teor médio desses elementos na crosta terrestre é em média: 2,0 dag kg⁻¹ para K; 2,7 mg kg⁻¹ para eU e 8,5 mg kg⁻¹ para eTh (Minty, 1997). Os raios γ emitidos a partir da superfície do solo refletem, primeiramente, a composição mineralógica e geoquímica da rocha e, posteriormente, os minerais secundários, produtos do intemperismo. Uma vez que a resposta dos radionuclídeos na rocha e nos materiais intemperizados é compreendida, os dados gamaespectrométricos podem fornecer informações sobre processos geomórficos e pedológicos, incluindo sua mineralogia, textura e química. Entretanto, tais inferências devem ser feitas com cautela, pois os solos mais intemperizados podem apresentar respostas distintas relativas aos teores de radionuclídeos, mesmo quando se trata do mesmo material de origem.

Por outro lado, solos que ocorrem em paisagens mais movimentadas, com erosão ativa, apresentam respostas de radionuclídeos correlacionadas com a geoquímica e a mineralogia do material de origem preservadas (Wilford et al., 1997). Portanto, quando os solos são formados a partir do mesmo material de origem, o conhecimento referente à resposta espectral deste material permite, ao intérprete, inferir sobre o equilíbrio de desnudação da paisagem a partir do balanço relativo às taxas de erosão e de pedogênese. Entretanto, para cada área de estudo, um modelo conceitual deve ser criado devido às diferenças litológicas e a história geoquímica do intemperismo (tabela 1, Modif. Dickson e Scott, 1997).

Tabela 1 Os resultados foram comparados com os radio elementos em rochas e solos na Austrália (Modif. Dickson e Scott, 1997)

Tipo de Rocha	Rocha			Solo		
	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)
INTRUSIVAS						
granitóides	0,3-4,5	0,4-7,8	2,3-45	0,4-3,9	0,5-7,8	2,0/37
rochas gnaissicas	2,4-3,8	2,1-3,6	18-55	0,7-1,9	1,6-3,8	6,0-19,0
pegmatito	2,6-5,5	0,3-1	0,3-9,6	-	-	-
aplitos	0,6-4	1,0-8,0	3,0-20	-	-	-
quartzo-feldspatos porfíricos	1,0-5,0	1,3-2,9	6,0-14,0	-	-	-
intrusvas intermediárias	0,7-5,6	0,1-1,2	0,8-6,1	0,7-3,4	1,5-2,6	2,9-8,4
intrusivas máficas	0,1-0,8	0,0-1,1	0,0-3,1	-	-	-
EXTRUSIVAS						
vulcânicas félsicas	2,0-4,4	1,4-13	13-28	1,8-3,2	1,3-2,4	10-18,0
vulcânicas intermediarias	1,8-4,1	0,9-5,6	1,5-15	1,0-2,7	1,2-3,6	4,0-17
andesitos com baixo-K	0,7-0,9	1,0-2,5	3,0-8,0	0,8-1,5	1,2-1,5	4,0-6,0
vulcânicas máficas	0,3-1,3	0,3-1,3	2,0-5,0	0,2-1,4	0,6-2,5	3,3-13
vulcânicas ultramáficas	0,2-0,9	0,3-0,9	0,0-4,0	-	-	-
SEDIMENTARES						
folhelhos arqueanos	0,4-1,6	0,3-1,3	1,0-5,0	-	-	-
outros tipos de folhelhos	0,1-4,0	1,6-3,8	10-55,0	0,7-3,0	1,2-5,0	6,0-19,0
arenitos	0,0-5,5	0,7-5,1	4,0-22,0	0,1-2,4	1,2-4,4	7,0-18,0
carbonatos	0,0-0,5	0,4-2,9	0,0-2,9	-	-	-

3.4.1 Caracterização dos Elementos

Potássio (K)

O teor de K é em média $2,31 \text{ dag kg}^{-1}$ na crosta continental. De modo geral, o elemento é despreendido dos minerais primários facilmente em função do seu raio iônico grande e alta mobilidade. Posteriormente, ele é adsorvido em argilominerais como illita e, dependendo do ambiente de formação, na montmorilonita. O potássio é móvel e solúvel em condições de intemperismo e em ambientes de alteração hidrotermal, principalmente ambientes de clima tropical a subtropical (Wilford et al., 1997).

Rochas félsicas são formadas a partir de magmas ácidos e apresentam maior proporção de K, por outro lado, as rochas básicas, formadas de magmas básicos, são naturalmente pobres em K (Sial e McReath, 1984). As rochas que apresentam maior teor de potássio são as rochas ígneas félsicas, como granitóides e sienitóides, assim como seus equivalentes vulcânicos, e rochas metamórficas micáceas, feldspáticas e quartzo-feldspáticas, como filitos, xistos e gnaisses (Dickson e Scott, 1997).

Além disso, óxidos de ferro, hidróxidos de alumínio e argilominerais podem reter o elemento em suas superfícies dependendo das condições do meio, principalmente em relação ao pH (Lindsay, 1979).

Urânio (U)

Na crosta continental, o urânio apresenta um valor médio de 3 mg kg⁻¹, sendo sua concentração maior na parte superior da crosta (2,7 ppm) do que na parte inferior (0,2 ppm). A presença do U é constatada em rochas cuja constituição mineralógica dá-se basicamente por óxidos, silicatos, uranita (UO₂), monazita [(Ce, La, Nd, Th) PO₄] e o zircão (ZrSiO₄). A mobilidade do U⁶⁺ é reduzida pela adsorção a óxidos, minerais de argila e coloides, como também pela redução do U⁴⁺ quando se encontra em ambientes redutores. Contrariamente, na forma oxidada, o U⁶⁺ complexa-se formando espécies solúveis com ânions como os carbonatos, sulfatos e fosfatos (Dickson e Scott, 1997).

Tório (Th)

O tório, por sua vez, apresenta valor médio de 10,5 mg kg⁻¹ ao longo da crosta continental, podendo atingir teor de até 10,5 ppm na parte superior, enquanto que na parte inferior, bem mais exaurida, a concentração de tório é de aproximadamente 1,2 ppm (Rudnick e Gao, 2004).

O Th pode ocorrer na forma de óxidos, silicatos, carbonatos e fosfatos, ocorrendo também em alguns compostos orgânicos como húmus, petróleo e carvão (Mernagh e Miezeitis, 2008). Em termos de ocorrência, a monazita [(Ce, La, Nd, Th) PO₄], torianita (ThO₂), torita (ThSiO₄) e torogumita [Th(SiO₄)¹⁻X(OH)₄X] são os principais minerais que contêm Th. Além disso, o Th também pode ser encontrado, ainda que em menores quantidades, na alanita, bastnasita, pirocloro, xenotime, fluorapatita e zircão (Mernagh e Miezeitis, 2008). A ocorrência é mais comum em dois estados de oxidação Th³⁺ e Th⁴⁺, sendo este último o de maior probabilidade de ocorrer na natureza (Boyle, 1982). A solubilidade de complexos de Th é geralmente baixa, exceto em soluções ácidas. Entretanto, compostos orgânicos, como os ácidos húmicos, podem aumentar a solubilidade do Th em condições de pH neutro (Mernagh e Miezeitis, 2008). Esses minerais são estáveis durante o intemperismo e podem acumular-se em depósitos

minerais. O Th liberado durante o intemperismo pode ser retido em óxidos e hidróxidos de Fe ou Ti e em argilominerais. Como o U, o Th pode também ser transportado; a mobilidade do Th ocorre devido à fixação em coloides, à medida que são incorporados à solução do solo ou ainda quando formam complexos solúveis com sulfatos, nitratos, carbonatos, fosfatos, silicatos, dentre outros (Dickson e Scott, 1997).

3.5 Espectrometria Gama Portátil

Espectrometria gama, feita a pé com espectrômetro portátil, tem sido usada tanto para levantamentos de detalhe como de escala regional na estimativa de obter concentrações superficiais dos três radioelementos (K, U, Th).

A resposta de um gama espectrômetro portátil depende de algumas propriedades como o tamanho, localização e geometria das fontes radioativas. A geometria do terreno ao redor do local de amostragem pode afetar significativamente as estimativas de concentração de radioelementos.

Medidas adequadas ao longo de um perfil somente podem ser obtidas se a geometria fonte/detector for constante para todas as observações.

Os principais fatores que reduzem precisão da estimativa são a natureza estatística da radioatividade, radiação de *background* variável (devido ao radônio no ar) e variação no conteúdo de água nas rochas, umidade do solo ou nas rochas (a presença de água fresca não-radioativa pode diminuir a passagem de raios gama em noventa por cento fazendo assim com que as medições cheguem para quase zero (Gunn, 1998).

Capítulo 4: Material e Métodos

4.1 Trabalho pre-campo

Essa etapa foi desenvolvida entre 05 de julho e 31 de Agosto de 2021 e teve por objetivo fazer uma revisão bibliográfica tanto da estrutura de impacto de Araguainha como da metodologia aplicada neste tipo de contexto geológico.

Foi feita uma revisão e levantamento bibliográfico sobre o tema do estudo e em trabalhos geológicos/geofísicos prévios realizados nas estruturas de impacto confirmadas mundialmente, dando ênfases na área de estudo, o Domo de Araguainha (MT). Para o estudo em dados georreferenciados e mapeados utilizou os softwares ArcMap 10.8\

4.2 Trabalho de Campo

A saída de campo foi realizada no período de 2 a 6 de setembro de 2021. Essa data foi selecionada devido ao fato de estar fora do período de chuvas, o que é um elemento crucial para um levantamento de gama espectrometria.

Como pode ser visto no mapa da Figura 5, as unidades abordadas são IMR Tipo-I, Brecha polimictica, Grupo Cuiabá, Fm. Corumbataí, Fm. Aquidauana, Fm. Ponta Grossa, Transição Furnas – Ponta Grossa

A determinação dos pontos alvo 29 em campo (figura 7) e a quantidade de dados coletados 26 foi realizada levando em consideração as unidades geológicas e a morfologia da estrutura de impacto (~40 km de diâmetro) da área de estudo.

Em cada ponto, foram escolhidos os afloramentos mais frescos e foi feita descrição detalhada da geologia local, como identificação de rochas, estruturas geológicas deformacionais e toma de amostras.

Localização dos pontos amostrados

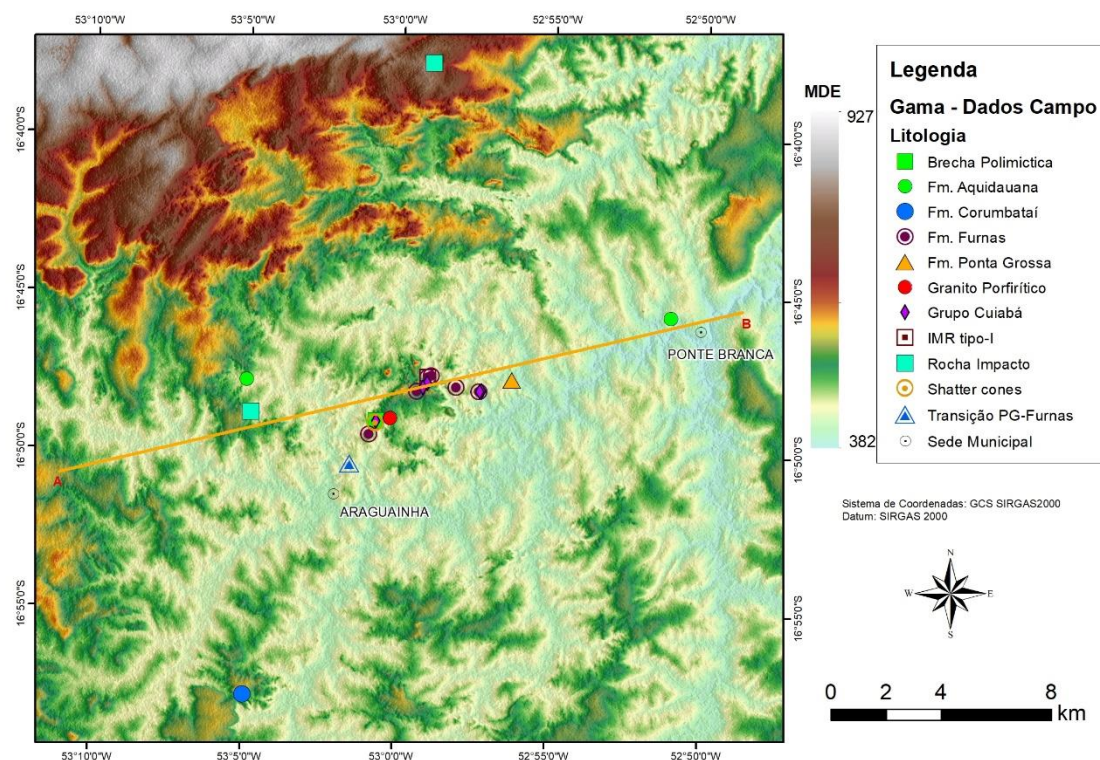


Figura 7 Mapa com amostras de campo, relevo do Domo de Araguinha (Imagem Alos/Palsar, 2011, 12,5 resolução espacial). Fonte próprio autor.

4.3 Medidas gamaespectrométricas

Em cada ponto de coleta, foram registradas informações sobre as propriedades radiométricas, que incluem as concentrações de K em %, bem como os valores de U e Th em ppm das unidades geológicas. Para realizar essa coleta de dados, utilizou-se o equipamento gamaespectrômetro portátil Radiation Solutions Inc RS-230 BGO Super-SPEC Handheld Gamma-Ray Spectrometer (conforme mostrado na Figura 8), configurado no modo Assay. O tempo de amostragem foi de 600 segundos, durante o qual uma média dos valores obtidos foi calculada para gerar uma tabela.

Os dados geofísicos utilizados neste trabalho foram constituídos por dados gamaespectrométricos terrestre e de laboratório.

Foram realizados perfis integrados dos radio elementos das unidades identificadas em campo tanto para as amostras de campo (Fig. 18) como para as amostras de mão (Fig. 19).



Figura 8 Gamaespectrômetro portátil Radiation Solutions Inc RS-230 BGO Super-SPEC Handheld Gamma-Ray Spectrometer

4.4 Trabalho pós Campo

Análises de gamaespectrometria terrestre em laboratório

Foi realizado um estudo de gamaespectrometria terrestre em amostras coletadas nos afloramentos rochosos mencionados anteriormente. No total, foram realizadas 29 leituras em laboratório. As leituras com o Radiation Solutions Inc RS-230 BGO Super-SPEC Handheld Gamma-Ray Spectrometer seguiu os mesmos parâmetros usados em campo, com medidas de 600 segundos para cada amostra e repetição de cinco vezes o qual uma média dos valores obtidos foi calculada para gerar uma tabela. Os resultados destas análises são mostrados nas tabelas 4 e 5 em Anexo.

A partir deste processo, propomos uma análise aprofundada da correlação entre geofísica e geoquímica. Utilizaremos gráficos e tabelas para investigar essa relação, buscando determinar sua substancialidade. Em caso de ausência de uma forte correlação, nosso objetivo será compreender os motivos subjacentes a esse resultado.

Além disso, como parte de nosso embasamento teórico e para orientar nossos estudos, faremos uso das tabelas de Dickson e Scott (1997). Essas

tabelas são reconhecidas como referências importantes no campo da geoquímica e nos fornecerão percepções valiosas para nossas análises e discussões.

Capítulo 5: Resultados e Discussões.

5.1 Caracterização das unidades geológicas do Domo de Araguinha

Neste capítulo, exploraremos as principais unidades geológicas. Além disso, abordaremos as litologias observadas em campo, com foco na análise de amostras provenientes de diversas formações ou grupos geológicos. Vamos mergulhar nas características e composições dessas unidades para uma compreensão mais profunda da geologia, (figuras de 9 a 18).

Neste capítulo, abordaremos as principais litologias observadas em campo, com foco na análise de amostras provenientes de diversas formações ou grupos geológicos previamente apresentados na figura 5

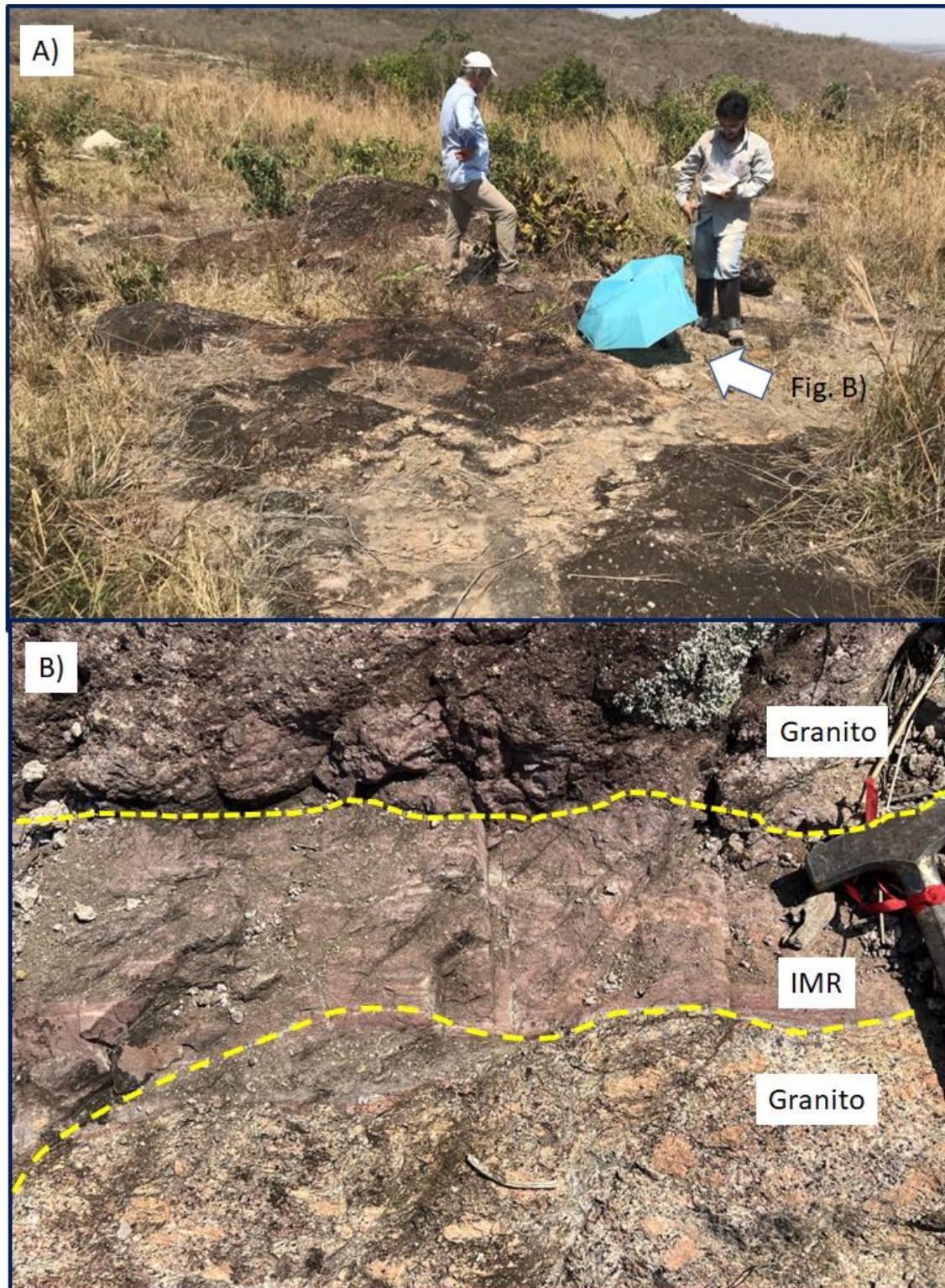


Figura 9 A) Afloramento de granito e rocha fundida pelo impacto na Fazenda Santa Maria.
B) Contacto entre eles.

Na Fazenda Santa Maria, é possível observar o afloramento de granito e a rocha fundida resultante do impacto e do contato entre esses materiais. (figura 9).



Figura 10 Afloramento das rochas fundidas pelo impacto tipo-I.

Na figura 10 pode ser observado: A) Aspecto do afloramento do das rochas fundidas pelo impacto (IMR) de composição granítica e classificada como tipo-I, sobre a MT-100. B) Amostra de mão, rocha afanítica mostrando restos de Feldspato potássico.



Figura 11 Brecha polimíctica na seção tipo do Grupo Cuiabá com shatter cones (MT-100)

Aspecto da brecha polimictica, rica em fragmentos do Grupo Cuiabá. Este afloramento corresponde ao setor tipo onde se observa a brecha polimictica sobre os filitos do Grupo Cuiabá. Este afloramento é importante, pois aqui se observam uma das principais evidencias diagnosticas do impacto, shatter cones (Figura11)

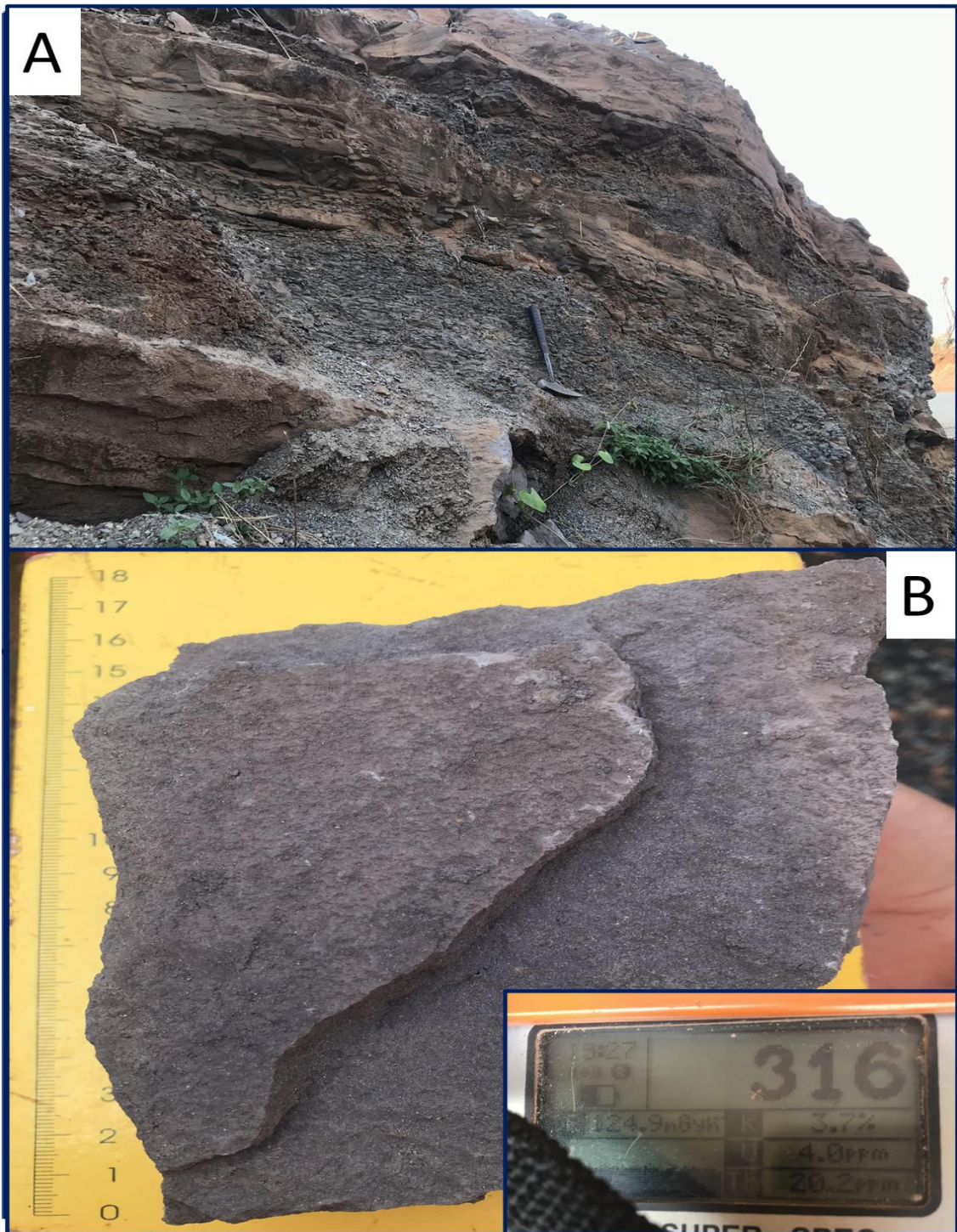


Figura 12 Formação Corumbataí no Morro da Matinha

A) Afloramento da Formação Corumbataí no Morro da Matinha. Observa-se a alternância métrica de níveis de folhelos e arenitos finos. B) Aspecto em amostra de mão dos arenitos muito finos. (figura 12).



Figura 13 Formação Irati

A) Afloramento da Formação Irati, e B) Aspecto dos folhelhos pretos. (figura 13).

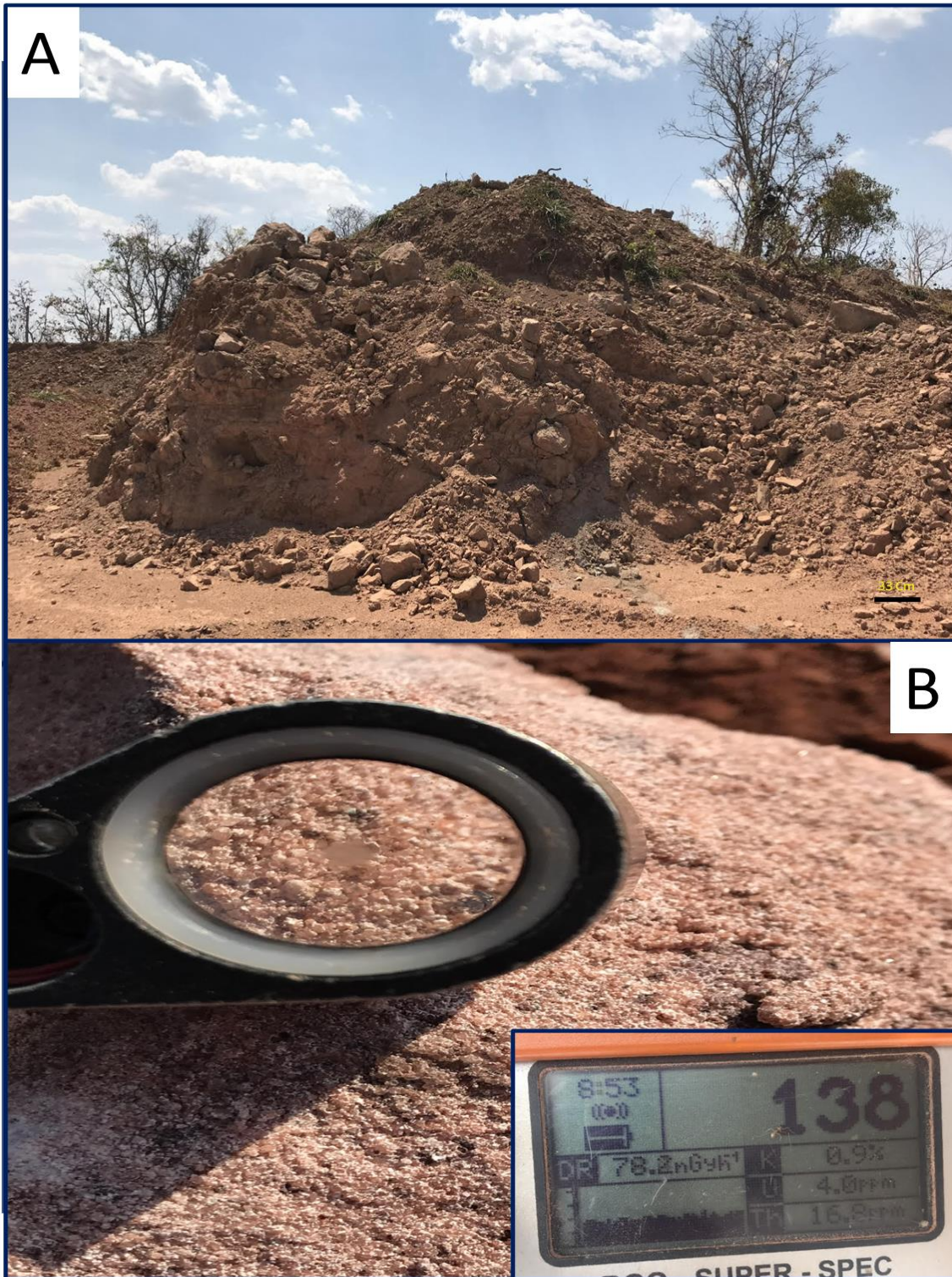


Figura 14 Formação Aquidauana.

A) Aspecto do afloramento da da Formação Aquidauana sobre a MT-100. B) Aspecto da amostra de mão. A amostra de mão tem mais de 90% de quartzo e cimento ferruginoso (figura 14).

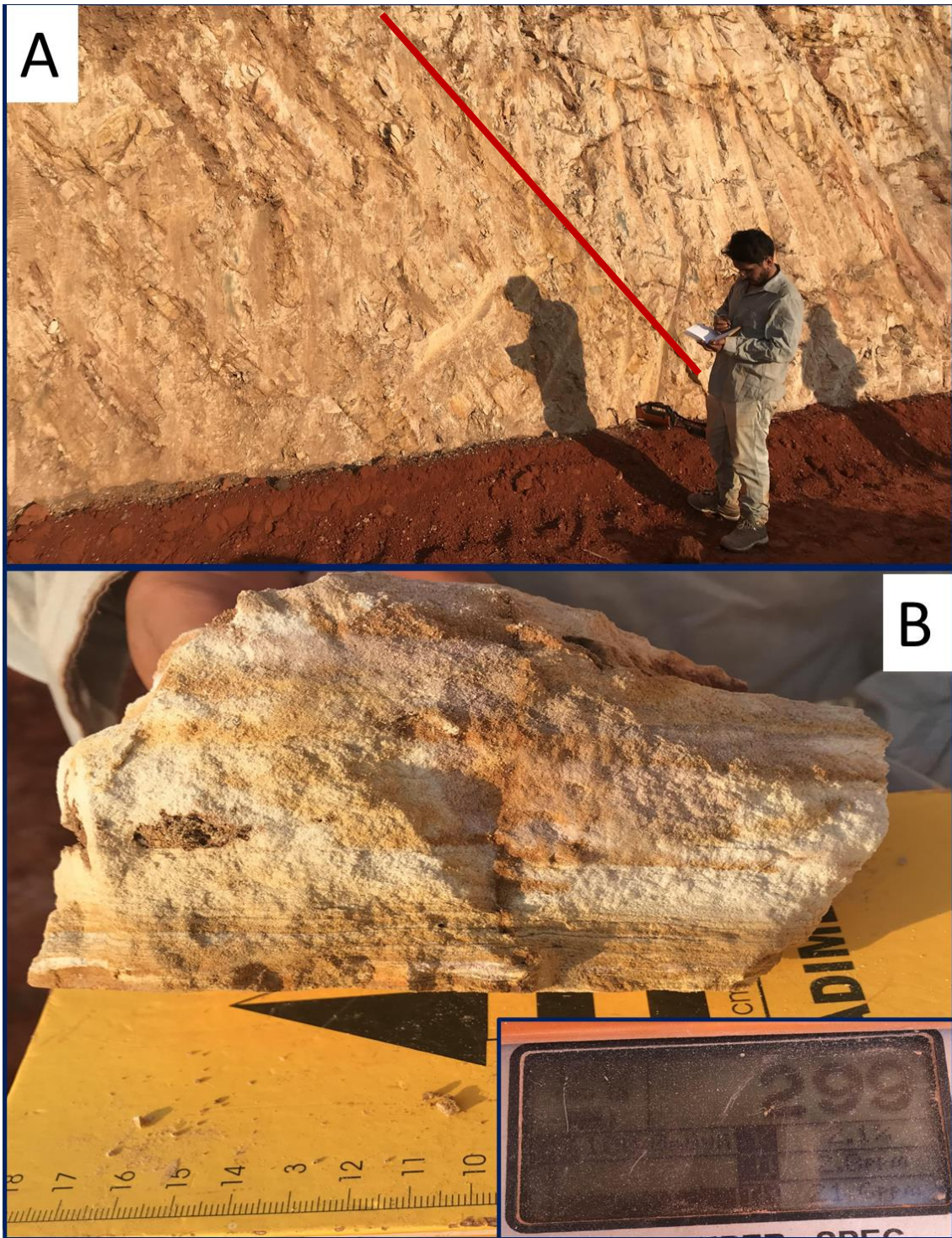


Figura 15 Transição entre a Formação Furnas e Ponta Grossa (Grupo Paraná)

A) A) Afloramento na estrada MT-100 que mostra a transição entre as formações Furnas (para esquerda) e Ponta Grossa (para direita). B) Amostra de mão do arenito bandado com níveis pelíticos. (figura 15).



Figura 16 Formação Furnas

A) Afloramento da Formação Furnas na região do Collar interno, do central uplift. B) Aspecto do arenito de granulometria meia e matriz kaolinitica.) (figura 16).

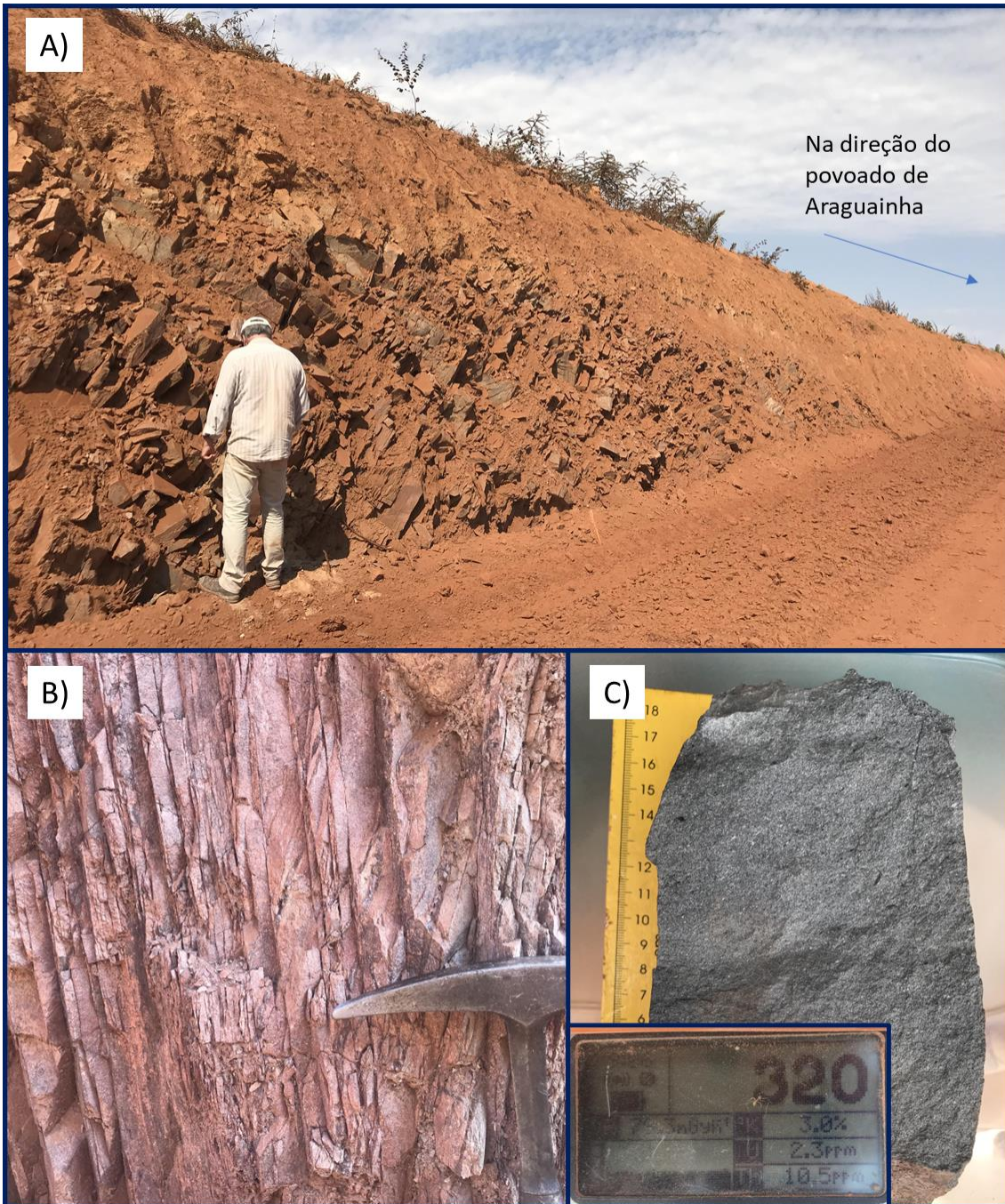


Figura 17 Grupo Cuiabá

A) Afloramento do Grupo Cuiabá, B) Amostra de mão em afloramento, mostrando a foliação em pelo menos duas direções e C) Amostra de mão de grauvaca, tomada no mesmo afloramento (figura 17).

5.2 Avaliação entre Dados Gamaespectrométricos em Leituras no Campo e em Análises Laboratoriais

Nas análises laboratoriais, os dados gamaespectrométricos foram obtidos de duas maneiras distintas: através de leituras em campo, diretamente nos afloramentos rochosos representativos das unidades litológicas/geológicas, e por meio de análises realizadas em laboratório nas amostras coletadas nos mesmos afloramentos rochosos. Esses dados foram utilizados na criação dos primeiros perfis esquemáticos integrados dos elementos K, U e Th (Figuras 18 e 19), com o intuito de avaliar a diferença entre os dados obtidos em campo e em laboratório, e determinar quais metodologias e análises foram mais representativas gamaespectrometricamente.

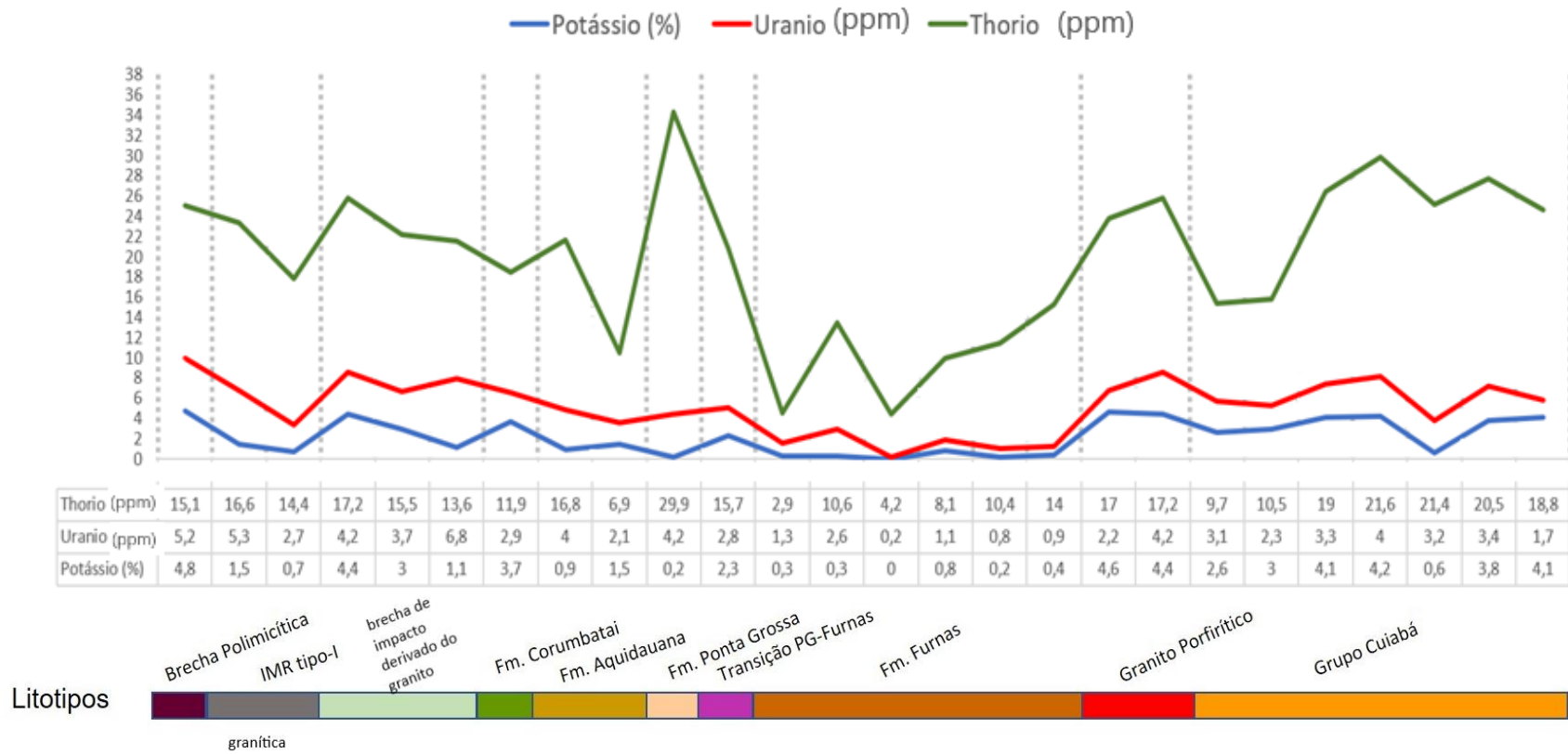


Figura 18 Perfis esquemático integrado dos elementos K, U e Th para as amostras de campo das diferentes unidades analisadas no Domo de Araguainha.

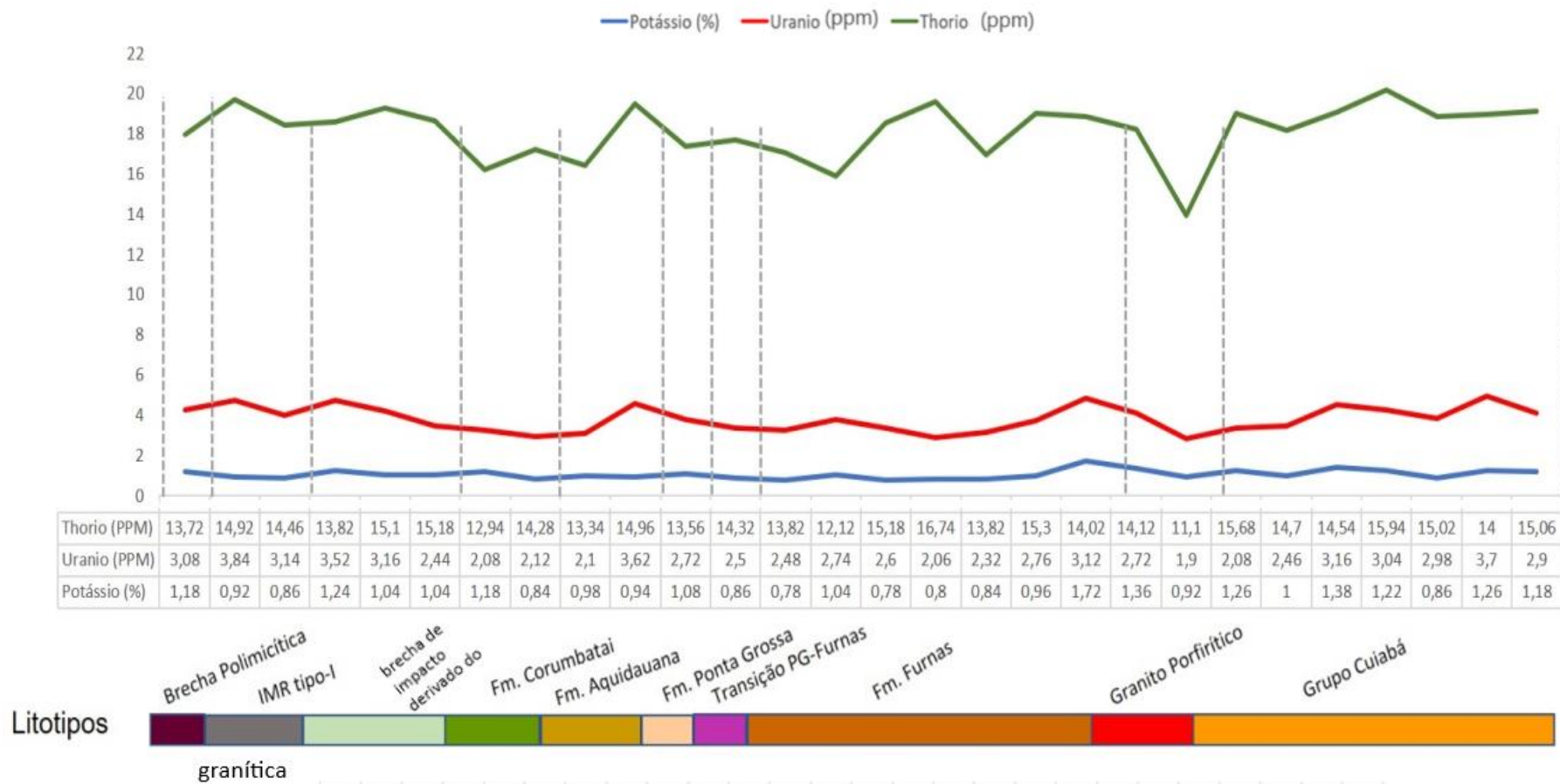


Figura 19 Perfis esquemático integrado dos elementos K, U e Th para as amostras de laboratório das diferentes unidades analisadas no Domo de Araguinha.

5.3. Dados Gamaespectrometricos de Campo e Amostra de laboratorio: comparação.

A utilização da análise de gamaespectrometria possibilitou uma compreensão mais completa da distribuição dos radioelementos na área de estudo. Essas informações são essenciais para a caracterização geológica e geofísica do local, auxiliando na interpretação dos processos geológicos que ocorreram na região.

Os resultados obtidos indicam que a técnica de gamaespectrometria em campo apresentou diferenças em relação às análises laboratoriais em amostras coletadas nos mesmos afloramentos rochosos. Essas diferenças podem ser atribuídas a fatores como as condições de coleta, armazenamento e transporte das amostras, bem como à interferência de radiações externas durante a coleta.

5.4 Perfis Esquemático Empilhado das Amostras de Campo dos Rádios Elementos K, U e Th, Litotipos

O empilhamento dos perfis dos dados geofísicos associados à geologia e a morfologia do Domo de Araguainha permitiu uma visualização integrada e foi útil na interpretação das relações destes. A avaliação conjunta dos perfis evidência a influência das litologias e da morfologia da área, sobre os dados aerogeofísicos:

- a. A borda da estrutura de impacto é constituída de rochas fraturadas, dobradas e brechadas constituída das Fm. Aquidauana (arenito e siltito) que apresentada valores de concentração intermediários de Th e valores concentração de intermediários à baixo para U (4 – 2,1 ppm) e baixos valores concentração para o K (1,5 – 0,9 %) e Fm. Corumbataí constituído de folhelhos e arenitos onde que apresenta valores de baixo para intermediário de K (3,7 %) e U (2,9 ppm) e intermediário de Th (11,9 ppm). Rochas ricas em quartzo podem ser identificadas a partir das baixas concentrações dos radioelementos, associação também utilizada para mapear solos arenosos (Wilford *et al.*, 1997), entretanto o relevo de uma área tem um papel importante na concentração destes.

- b. Os anéis concêntricos são caracterizados por sinclinais sinformes que afetam os *red beds* da Fm. Aquidauana e da Fm. Corumbataí, respectivamente apresentando valores de concentração intermediários de Th e valores concentração de intermediários U e valores na concentração baixo K.
- c. As Bacia Anelar é constituída pela Formação Ponta Grossa, composta por siltitos ferruginosos intercalados por lentes de arenito e conglomerado concentrações intermediárias a altas de Th (29,9 ppm) e intermediária de U (4,2 ppm) e baixas concentrações de K (0,2 %), conforme o observado por Lana et al. (2007), a ocorrência de lateritas e conglomerados ferruginosos caracterizam os solos diretamente derivados desta unidade, provavelmente correspondem às porções superiores da Formação Ponta Grossa. Portanto, O Th por ser menos móvel que o K, segundo Wilford et al. (1997) o urânio e o tório, quando liberados durante o intemperismo, são adsorvidos nos minerais de argila ou co-precipitados com óxidos e hidróxidos de ferro nos solos. O setor norte da bacia anelar é caracterizado por *red beds* e conglomerados da Formação Aquidauana constituído de siltito, arenito e xisto, apresentando valores de concentração intermediários de Th e valores concentração de intermediários à baixo para U e baixos valores concentração baixo K. Essencialmente, uma diminuição dos valores de Th e U e a ausência de K caracterizam as rochas de a Formação Aquidauana na bacia anular (Leite, 2021).
- d. Núcleo central soerguido e constituído por rochas metassedimentares e graníticas do embasamento e rochas fundidas pelo impacto. . Ele possui quatro principais litofácies: Granitos; Brechas de impacto com matriz fundida; Brechas polimíticas e filitos/metarenitos do Grupo Cuiabá e arenitos da Formação Furnas, apresentando valores de concentração altas à intermediários de Th e valores concentração de intermediários à baixo para U e baixos valores concentração alta à baixo de K. A presença de valores altos de K em algumas unidades apresentarem rochas ricas em K como os Granitos profiríticos e filitos do Grupo Cuiabá.

A maioria dos minerais com alto teor de Th apresenta estabilidade durante o intemperismo e pode se acumular em depósito de areia contendo materiais

pesados. Nos processos intempéricos o radioelemento K é geoquimicamente móvel, e está presente nos feldspatos potássicos, micas, e argilo-minerais tais como a illita e a montmorilonita e em menores proporções na caulinita (Wilford *et al.* 1997),

Ou, normalmente, apresenta baixos valores de concentração em sedimentos arenosos. Entretanto, pode acompanhar o K ao longo dos processos hidrotermal. Portanto, isso pode ser um indicativo quando olhamos os valores de concentração intermediários de U e alta de K nas brechas polimíticas e nas rochas de impactos. O U também tem a capacidade de acompanhar o Th que pode fixar-se em argilas coloidais e óxidos de ferro (Wilford *et al.* (1997). De forma complementar, o U apresenta em seus valores de concentração a melhor correlação entre o K e Th, conforme observado nos gráficos de dispersão que é usado para observar uma relação preditiva ou correlacional entre variáveis.

Em subsuperfície, a porção mais superior da Formação Furnas mostra um incremento paulatino nas leituras do perfil de raios gama, o que indica um aumento contínuo de argilosidade, evidenciando uma passagem gradacional para a Formação Ponta Grossa.

5.5 Dados Gamaespectrométricos e Geoquímica de Rocha Total: comparação

. A estatística descritiva foi empregada para melhor entender a distribuição e comportamento dos dados, auxiliando na comparação e validação dos resultados obtidos pelos diferentes métodos analíticos. É importante ressaltar que as amostras analisadas para geoquímica não correspondem exatamente às amostras utilizadas na gamaespectrometria, mas são similares em termos de litologias. Os resultados comparativos foram representados em gráficos nas figuras 20 a 24, permitindo a visualização da distribuição das concentrações de K, Th e U nos diferentes litotipos e a verificação da semelhança ou não com os dados de K, Th e U obtidos por métodos mais precisos.

A combinação das técnicas de gamaespectrometria e análise geoquímica mostrou-se eficiente para a compreensão da distribuição dos radioelementos na

área de estudo, fornecendo informações relevantes para a compreensão dos processos geológicos envolvidos e para o planejamento de futuro estudos na região.

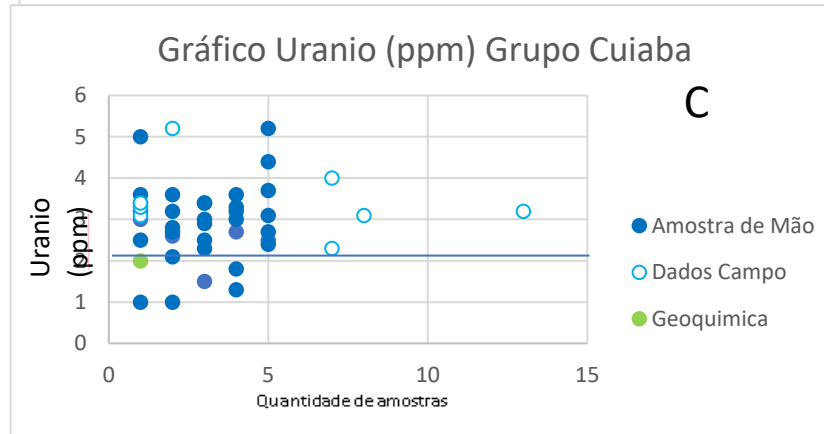
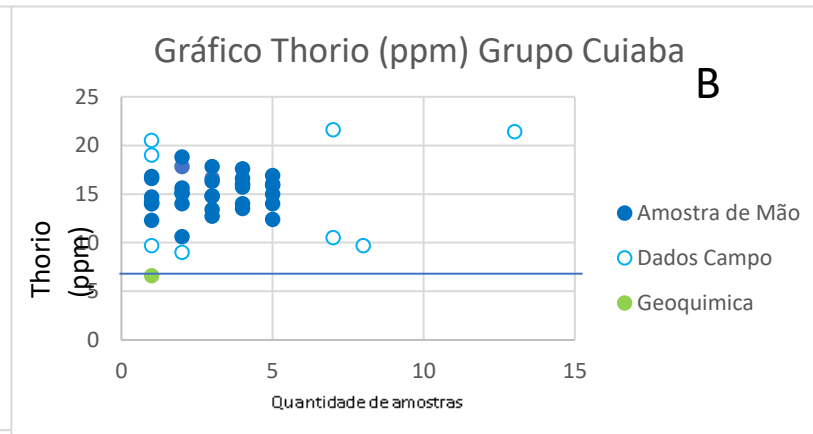
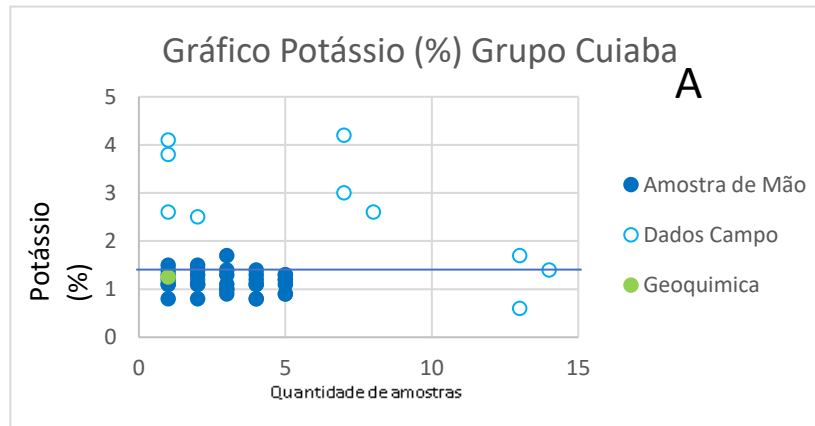


Figura 20 A : Gráficos de distribuição dos resultados das análises da gamaespectrometria realizadas em leituras no campo e em análises laboratoriais em amostras coletadas no campo do potássio (%), do Grupo Cuiabá.

B: Gráficos de distribuição dos resultados das análises da gamaespectrometria realizadas em leituras no campo e em análises laboratoriais em amostras coletadas no campo do Thório (ppm) do Grupo Cuiabá.

C : Gráficos de distribuição dos resultados das análises da gamaespectrometria realizadas em leituras no campo e em análises laboratoriais em amostras coletadas no campo do U (ppm) do Grupo Cuiabá.

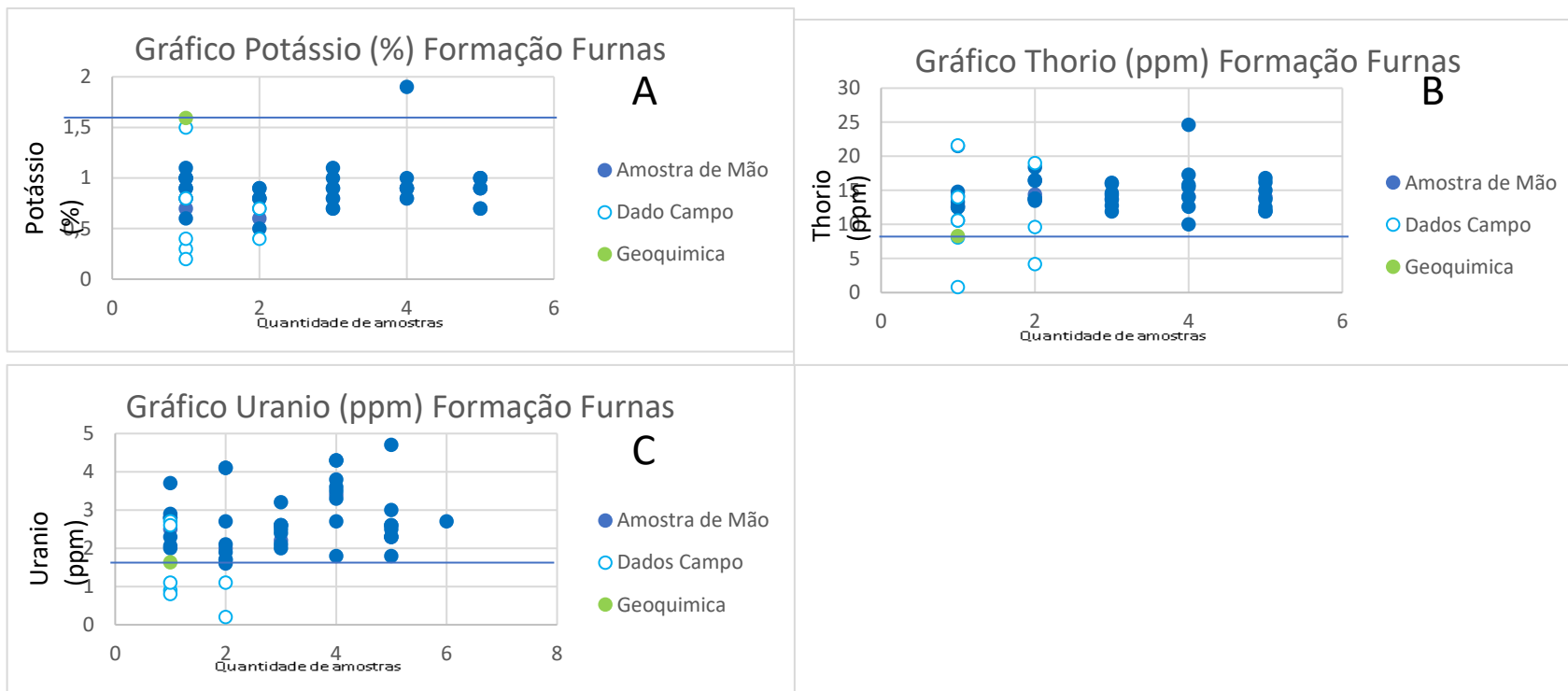


Figura 21 A: Gráficos de correlações entre a geoquímica e da gamaespectrometria do Potássio (%) do Formação Furnas.

B: Gráficos de correlações entre a geoquímica e da gamaespectrometria do Potássio (ppm), do Formação Furnas.

C: Gráficos de correlações entre a geoquímica e da gamaespectrometria do Thorio (ppm) do Formação Furnas

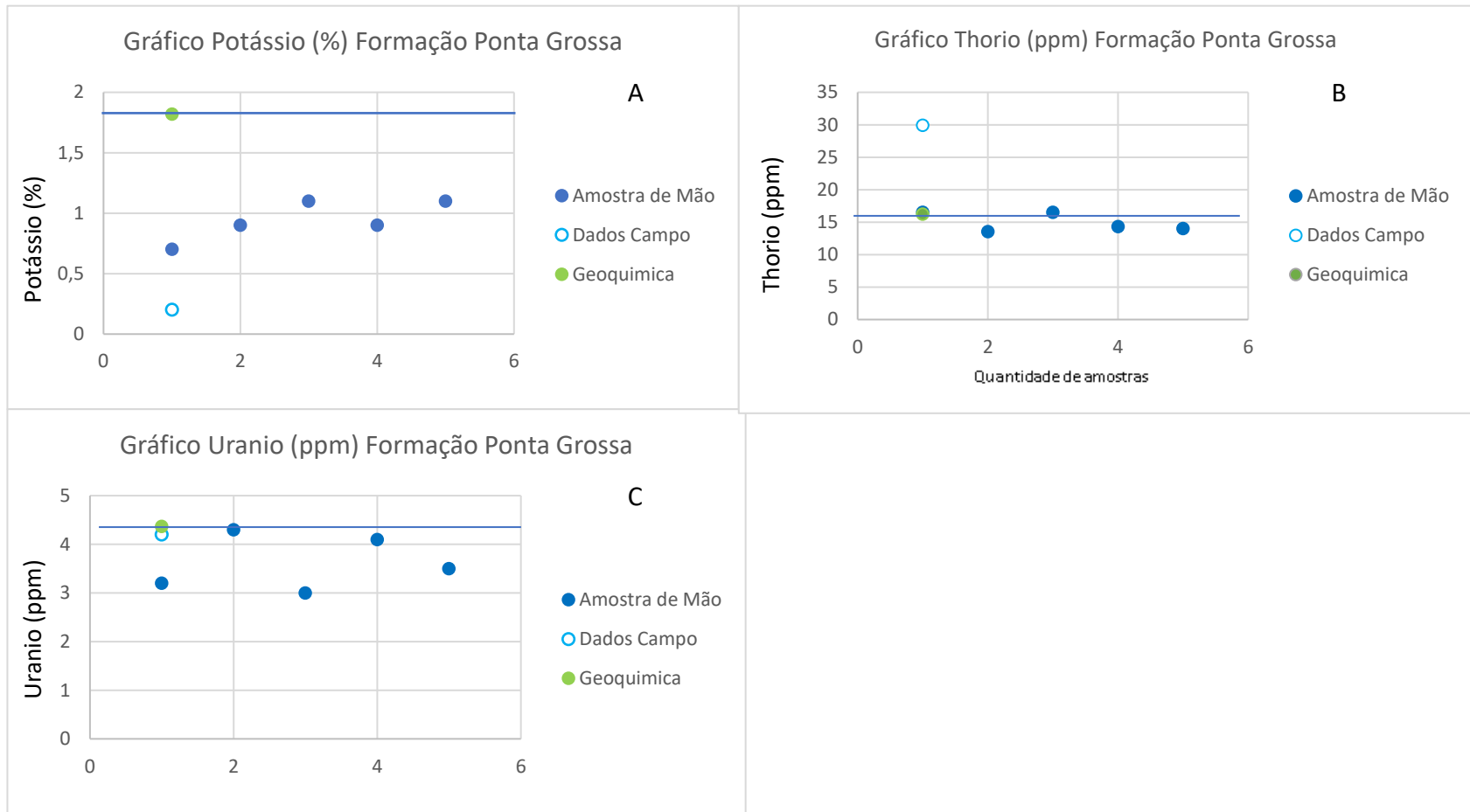


Figura 22 A: Gráficos de correlações entre a geoquímica e da gamaespectrometria do Potássio (%) da Formação Ponta Grossa

B: Gráficos de correlações entre a geoquímica e da gamaespectrometria do Potássio (ppm), da Formação Ponta Grossa

C: Gráficos de correlações entre a geoquímica e da gamaespectrometria do Thorio (ppm) da Formação Ponta Grossa

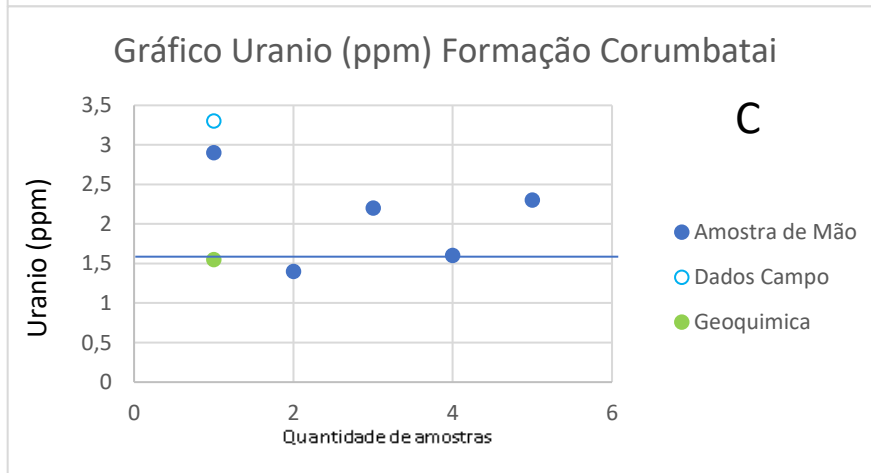
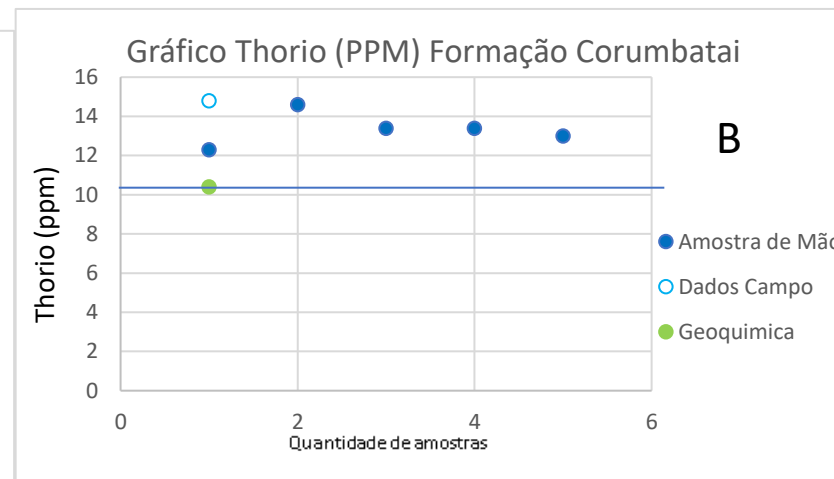
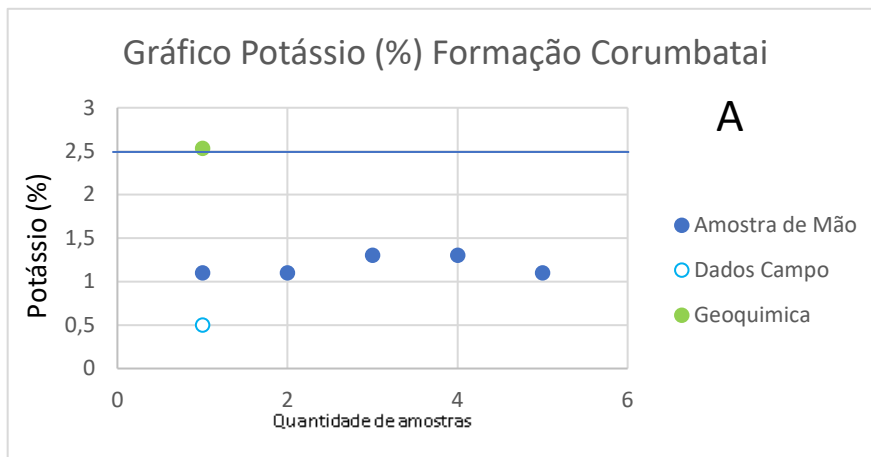


Figura 23 A: Gráficos de correlações entre a geoquímica e da gamaespectrometria do Potássio (%) do Corumbataí da Formação Corumbataí.

B: Gráficos de correlações entre a geoquímica e da gamaespectrometria do Potássio (ppm), da Formação Corumbataí

C: Gráficos de correlações entre a geoquímica e da gamaespectrometria do Thorio (ppm), da Formação Corumbataí do Corumbataí.

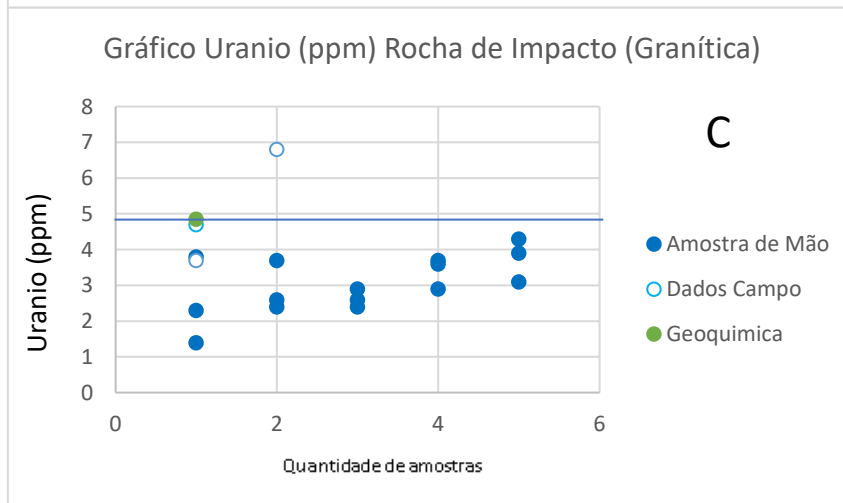
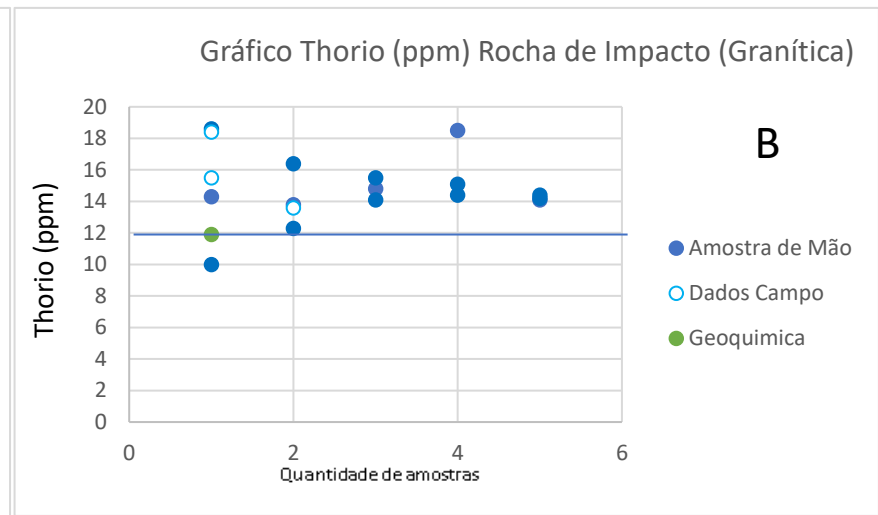
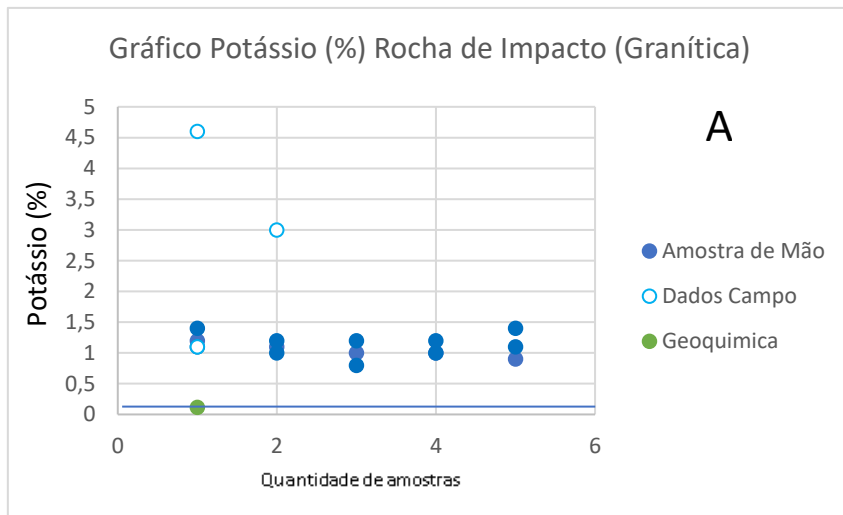


Figura 23 A: Gráficos de correlações entre a geoquímica e da gamaespectrometria do Potássio (%), Rocha Impacto.

B: Gráficos de correlações entre a geoquímica e da gamaespectrometria do Potássio (ppm), Rocha Impacto.

C: Gráficos de correlações entre a geoquímica e da gamaespectrometria do Thorio (ppm), Rocha Impacto.

5.6 Dados Gamaespectrometricos associada as tabelas de Dickson e Scott (1997).

A comparação entre os valores máximos, mínimos e média dos dados coletados no domo de Araguinha com os valores da tabela de Dickson e Scott (1997) tabela 2, 3 e figuras 25 a 30 fornecem informações adicionais sobre a confiabilidade dos dados obtidos pela gamaespectrometria terrestre. Se a média dos valores coletados estiver próxima aos valores da tabela de referência, isso pode indicar uma boa precisão dos resultados obtidos pela técnica. Por outro lado, se houver uma grande discrepância entre os valores coletados e os valores da tabela, isso pode indicar que a técnica não é tão precisa para a área em questão.

No entanto, é importante ressaltar que os valores da tabela de referência de Dickson e Scott (1997) foram estabelecidos para áreas específicas e podem não ser aplicáveis a todas as regiões. Portanto, a comparação entre os valores obtidos na área de estudo com a tabela de referência de Dickson e Scott (1997) pode fornecer informações adicionais sobre a confiabilidade dos dados obtidos pela gamaespectrometria terrestre, mas é importante considerar as particularidades da área em questão.

5.7.1 Dados de campo e comparação com os dados de tabelas de Dickson e Scott (1997).

Tabela 2 Os resultados foram comparados com os radio elementos em rochas e solos na Australia (Modif. Dickson e Scott, 1997) com os nossos dados de campo (Tabela 2). Esta comparação é mostrada na Figuras 17 a 19 AB, onde foram apresentadas as variações concentração de valores de mínimo e máximo para cada litotipo.

Dados Coletados em Campo				Valores da tabela de Dickson & Scott 1997			
Grupos	K[%]	U[ppm]	Th[ppm]	Tipo de Rochas	K[%]	U[ppm]	Th[ppm]
IMR I	1,4	5,2	15,1	Granitoide	0,3-4,5	0,4-7,8	2,3-45
BPI	4,8	4,0	15,5	Arenitos	0,0 – 5,5	0,7 – 5,1	4,0 – 22, 0
Passa Dois	3,7	2,9	11,9	Folhelhos	0,1 – 4,0	1,6 – 3,8	10 - 55
Aquidauana	1,2	3,5	11,8	Arenitos	0,0 – 5,5	0,7 – 5,1	4,0 – 22, 0
Ponta grossa	0,2	4,2	29,9	Folhelhos	0,1 – 4,0	1,6 – 3,8	10 - 55
Furnas	0,3	1,15	8,3	Arenitos	0,0 – 5,5	0,7 – 5,1	4,0 – 22, 0
Granito	4,5	3,2	17,1	Granitoide	0,3-4,5	0,4-7,8	2,3-45
Cuiabá	3,2	3	17,2	Arenito	0,0 – 5,5	0,7 – 5,1	4,0 – 22, 0
Cuiabá	3,2	3	17,2	Folhelho	0,1 – 4,0	1,6 – 3,8	10 - 55

Valores da tabela de Dickson & Scott 1997 e Dados coletados em campo

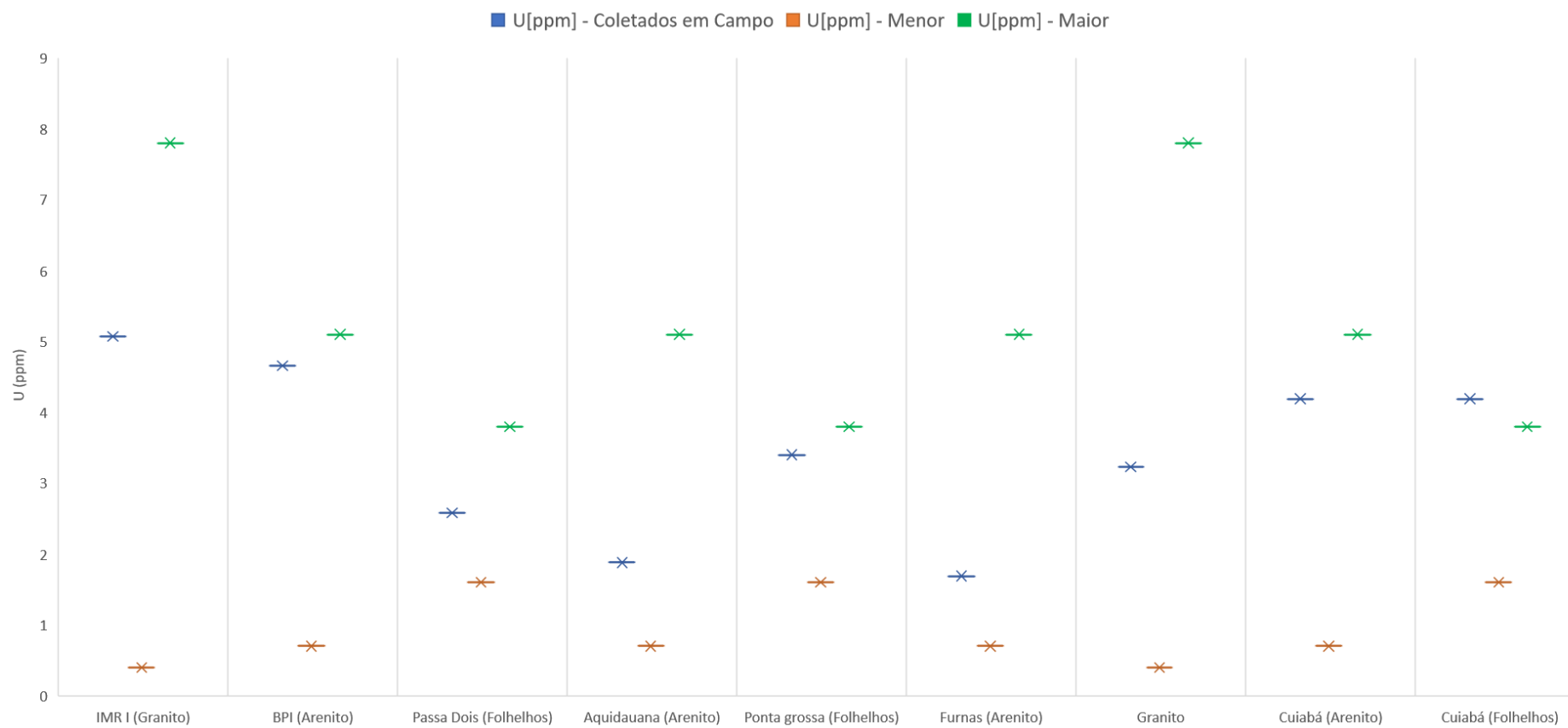


Figura 24 Correlação de Urânio de valores máximos e mínimos de Dickson e Scott 1997 em dados coletados e Campo para IMR I, BPI, Passa Dois, Aquidauana e Ponta Grossa, Furnas, Granito, Cuiabá (arenito), Cuiabá (folhelho).

Valores da tabela de Dickson & Scott 1997 e Dados coletados em campo

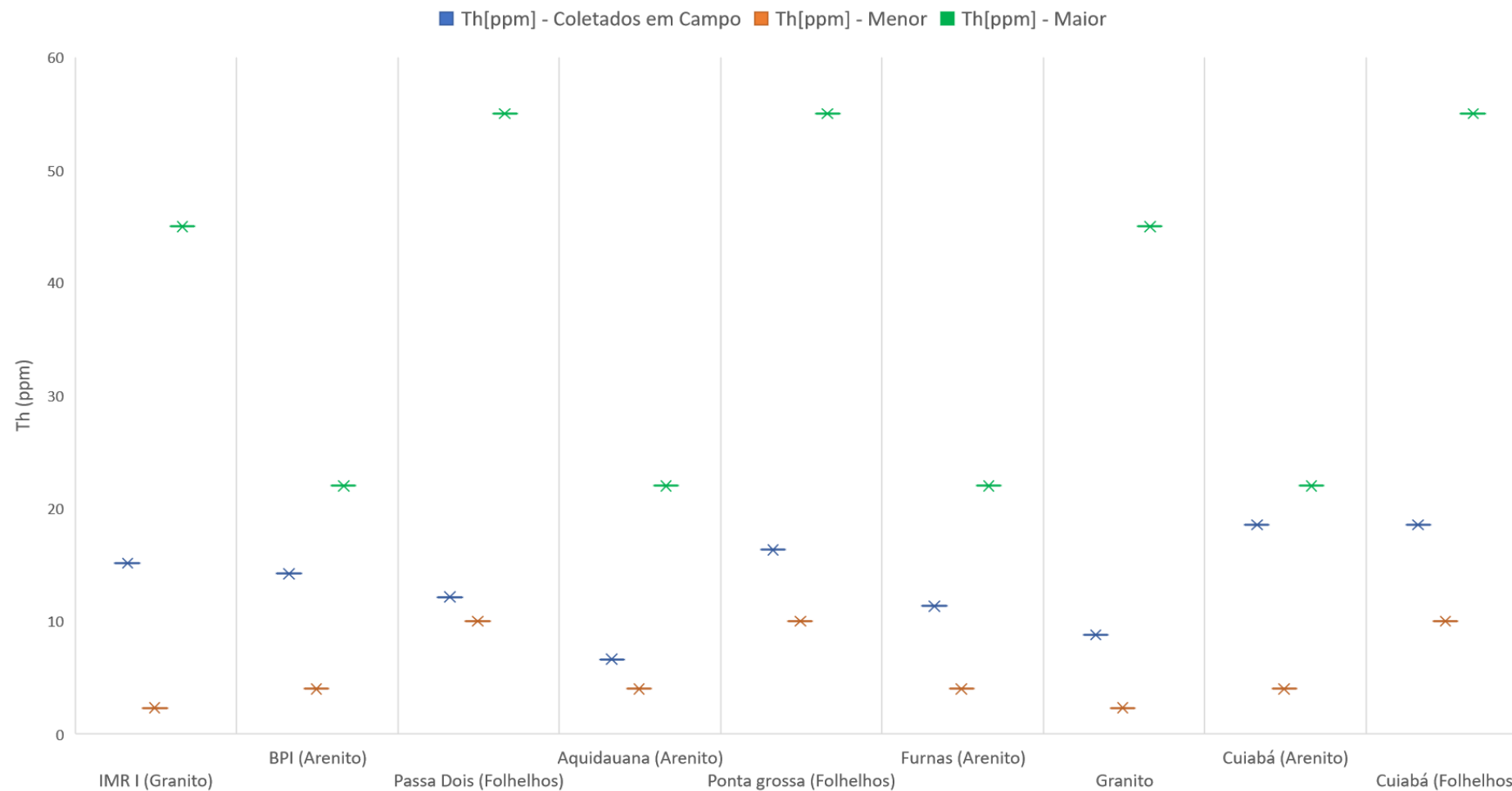


Figura 25 Correlação de Thorio de valores máximos e mínimos de Dickson e Scott 1997 e dados coletados em Campo para IMR I, BPI, Passa Dois, Aquidauana e Ponta Grossa, Furnas, Granito, Cuiabá (arenito), Cuiabá (folhelho).

Valores da tabela de Dickson & Scott 1997 e Dados coletados em campo

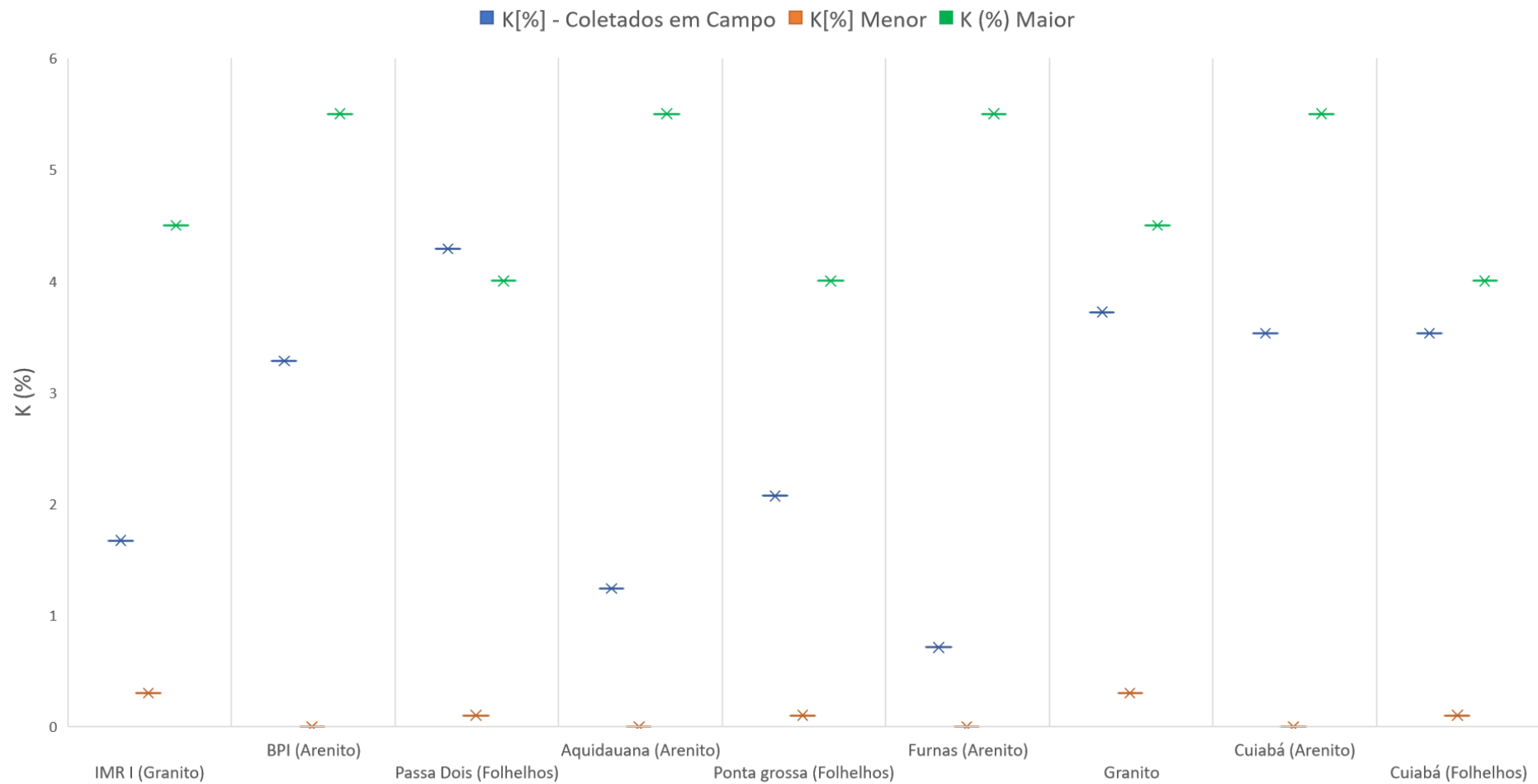


Figura 26 Correlação de Potássio de valores máximos e mínimos de Dickson e Scott 1997 e dados coletados em Campo para IMR I, BPI, Passa Dois, Aquidauana e Ponta Grossa, Furnas, Granito, Cuiabá (arenito), Cuiabá (folhelho).

5.7.2 Dados de laboratório e comparação com os dados de tabelas de Dickson e Scott. (1997)

Tabela 3 Os resultados foram comparados com os radio elementos em rochas e solos na Austrália (Modif. Dickson e Scott, 1997) com os nossos dados de Laboratório (Tabela 3). Esta comparação é mostrada na Figuras 20 a 23 AB, onde foram apresentadas as variações concentração de valores de mínimo e máximo para cada litotipo.

Dados Coletados em Laboratório				Valores da tabela de Dickson & Scott 1997			
Grupos	K[%]	U[ppm]	Th[ppm]	Tipo de Rochas	K[%]	U[ppm]	Th[ppm]
IMR I	0,8	3,8	14,6	Granitoide	0,3-4,5	0,4-7,8	2,3-45
BPI	1,1	3,0	13,7	Arenitos	0,0 – 5,5	0,7 – 5,1	4,0 – 22, 0
Passa Dois	1,1	2,0	12,9	Folhelhos	0,1 – 4,0	1,6 – 3,8	10 - 55
Aquidauana	0,9	2,1	13,8	Arenitos	0,0 – 5,5	0,7 – 5,1	4,0 – 22, 0
Ponta grossa	0,9	3,6	14,9	Folhelhos	0,1 – 4,0	1,6 – 3,8	10 - 55
Furnas	0,8	2,4	14,7	Arenitos	0,0 – 5,5	0,7 – 5,1	4,0 – 22, 0
Granito	1,5	2,9	14,0	Granitoide	0,3-4,5	0,4-7,8	2,3-45
Cuiabá	1,1	2,7	14,4	Arenito	0,0 – 5,5	0,7 – 5,1	4,0 – 22, 0
Cuiabá	1,1	2,6	14,4	Folhelho	0,1 – 4,0	1,6 – 3,8	10 - 55

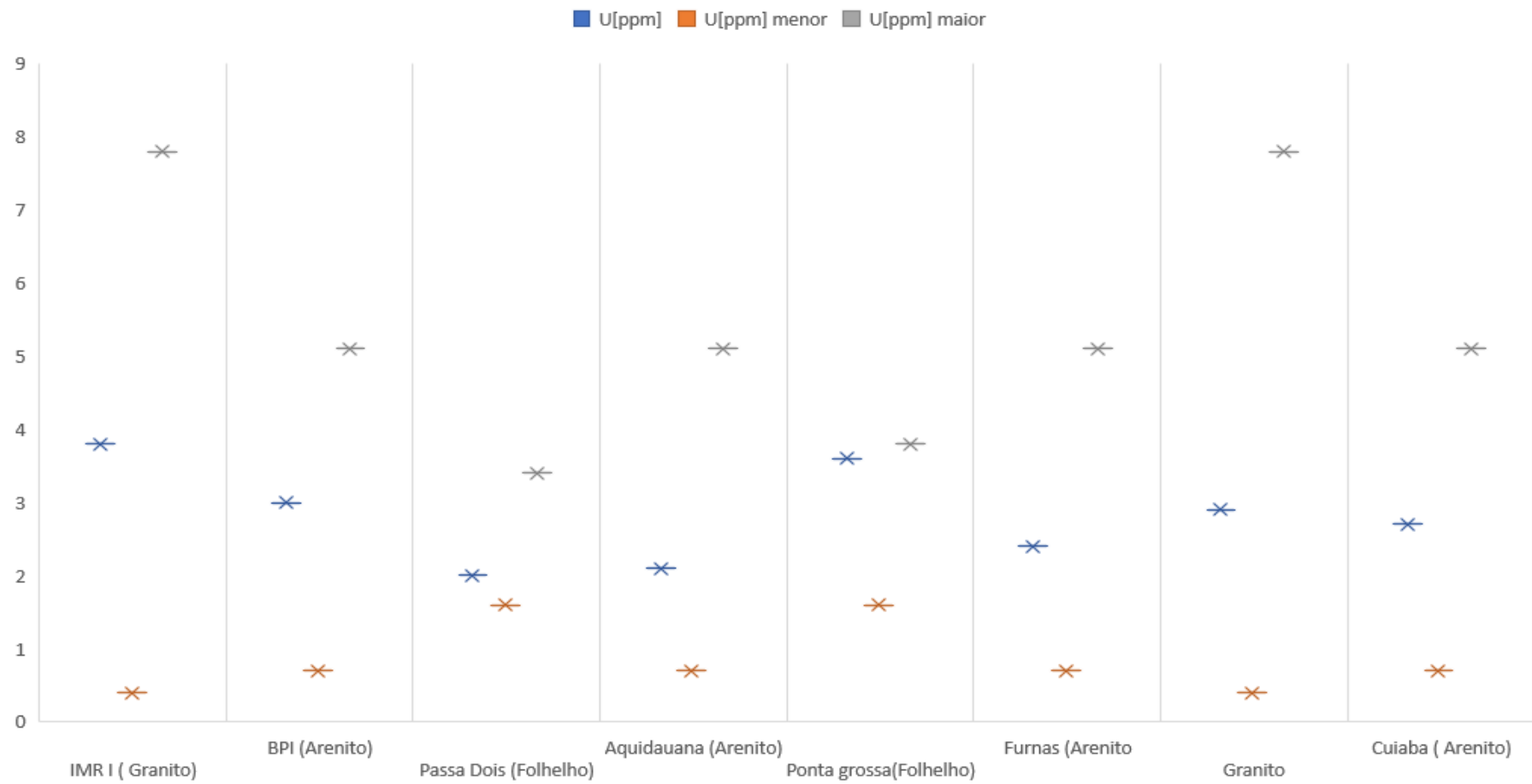


Figura 27 A: Correlação de Urânio de valores máximos e mínimos de Dickson e Scott 1997 e dados coletados em Laboratório para IMR I, BPI, Passa Dois, Aquidauana, Ponta Grossa, Furnas, Granito, Cuiabá (arenito) e Cuiabá (folhelho).

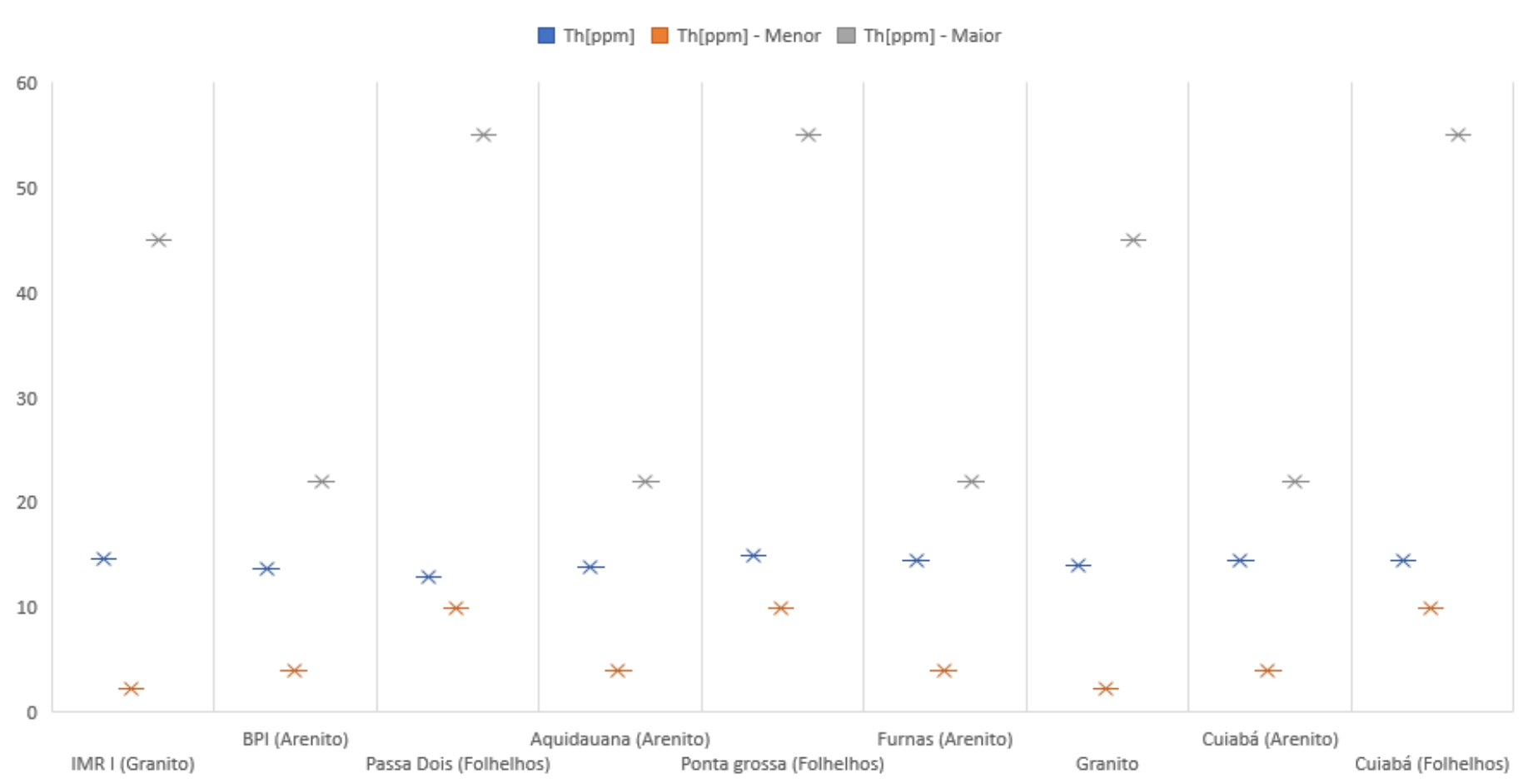


Figura 28 Correlação de Thorio de valores máximos e mínimos de Dickson e Scott 1997 e dados coletados em Laboratório para IMR I, BPI, Passa Dois, Aquidauana e Ponta Grossa, Furnas, Granito, Cuiabá (arenito), Cuiabá (folhelho).

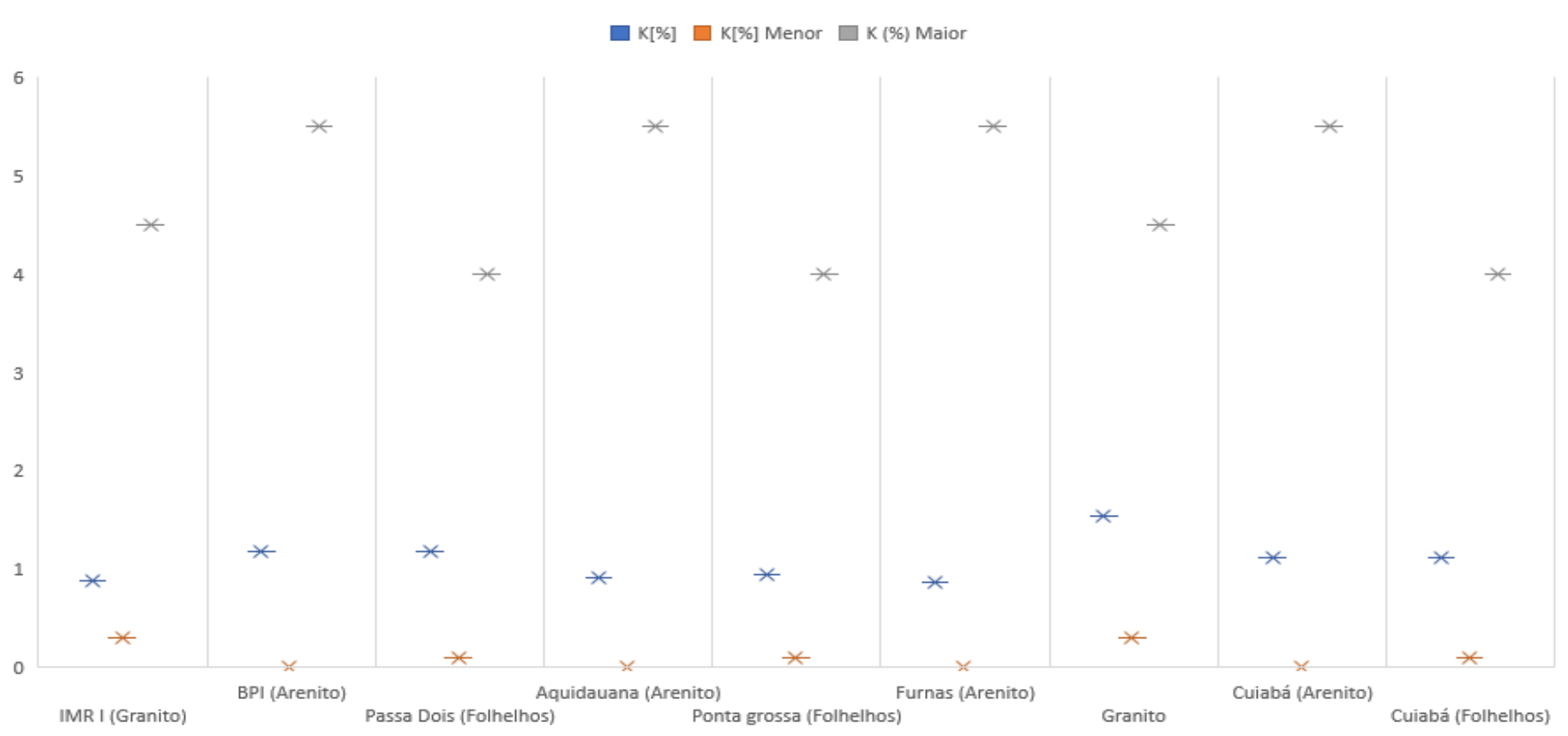


Figura 29 Correlação de Potássio de valores máximos e mínimos de Dickson e Scott 1997 e dados coletados em Laboratório para IMR I, BPI, Passa Dois, Aquidauana e Ponta Grossa, Furnas, Granito, Cuiabá (arenito), Cuiabá (folhelho).

O empilhamento dos perfis dos dados geofísicos associados aos litotipos permitiu uma visualização integrada para a interpretação das relações destes (figura 25 e 30), bem como o mapa de distribuição dos dados coletados em campo (Figuras 8).

Os valores de K variam entre 0 e 4.8 para todas as amostras analisadas. As amostras correspondentes as unidades de Bacia do Paraná apresentam valores de K por embaixo de 4%. No entanto, as brechas polimíticas (4,8 %), as IMR-tipo-1 (4,3 %), o granito portirítico (4,4%), e o Grupo Cuiabá (4,1%) apresentam valores maiores.

Os valores de U, variam aproximadamente entre 0.2 e 6.8 ppm, sendo que as maiores concentração foram estimadas nas brechas polimíticas (5,1 ppm), IMR-Tipo I (5,3 – 2,7 ppm), rocha de impacto (Granito Fundido) (6,8 – 3.7 ppm), Fm. Aquidauna (4, - 2,1 ppm), Fm. Ponta Grossa (4,2 ppm), granito portirítico (4,2 -2,2 ppm) e Grupo Cuiabá (4,2 – 2,3 ppm).

Os valores de Th apresentaram uma maior variação nos valores de concentração, baixos (<10 ppm), intermediários (10 – 20 ppm) e altos (20 – 30 ppm) dependendo da unidade analisada. O Grupo Cuiabá e a Fm. Ponta Grossa foram as duas unidades que demonstraram uma maior flutuação nos valores do Th (> 20 ppm). As brechas polimíticas, IMR-Tipo I, rocha de impacto (Granito Fundido), Fm. Aquidauna, a unidade de transição PG- Fm. Furnas, Fm Furnas e granito portirítico apresentaram valores intermediários (10 – 20 ppm). De forma complementar, algumas amostras das Fm. Fm Aquidauna, Fm. Furnas e Grupo Cuiabá apresentaram valores de concentração baixas (10 – 0 ppm).

pode-se concluir que as amostras correspondentes às unidades de Bacia do Paraná apresentam valores baixos de K em comparação com as brechas polimíticas, IMR-tipo-1, o granito portirítico e o Grupo Cuiabá, que apresentam valores mais elevados. As maiores concentrações de U foram observadas nas brechas polimíticas, IMR-Tipo I, rocha de impacto (Granito Fundido), Fm. Aquidauna, Fm. Ponta Grossa, granito portirítico e Grupo Cuiabá. Os valores de Th apresentaram uma variação considerável nas diferentes unidades, sendo que o Grupo Cuiabá e a Fm. Ponta Grossa apresentaram os valores mais elevados. Em conclusão, a análise integrada dos dados geofísicos e das amostras coletadas permitiu uma melhor compreensão das relações entre os litotipos

estudados, destacando-se a importância desses resultados para a caracterização de diferentes unidades geológicas

Conclusões

A análise e interpretação dos dados gamaespectrométricos terrestres foram fundamentais para um melhor entendimento da litologia e da morfologia da estrutura de impacto Domo de Araguinha. A validação dos dados obtidos por gamaespectrometria em campo e em amostras de laboratório, por meio de análises geoquímicas dos litotipos representativos da área de estudo, permitiu concluir que os dados de campo dos radioelementos apresentaram uma correlação mais consistente com a geoquímica.

Os gráficos 18, 19, 25 a 30 também reforçam a maior confiabilidade dos dados de campo. As variações dos dados de gamas são mais diversificadas, de acordo com a esperada mudança de litologias, enquanto que nas amostras de laboratório são observados gráficos quase retilíneos, indicando a influência de fatores externos durante a análise.

Os resultados indicam que o elemento U apresentou uma melhor correlação entre os radioelementos U, K e Th, sendo que UxTh teve uma correlação de 40%, UxK obteve 9% e o ThxK apresentou 4%. Os grupos que tiveram maiores dados apresentaram valores de concentração dos radioelementos K, U e Th mais próximos em comparação com os dados da geoquímica, e os valores encontrados em amostras de campo estão dentro dos intervalos propostos por Dickson e Scott (1997).

Os anéis concêntricos apresentaram valores de concentração intermediários de Th e valores de concentração de intermediários a baixos de U e K. Já o núcleo central, constituído por rochas graníticas do embasamento e produtos de fusão, apresentou valores altos de K em algumas unidades e possui rochas ricas em K como os Granitos profiríticos e xistos e filitos do Grupo Cuiabá. Por outro lado, os arenitos da Formação Furnas apresentaram valores de concentração altos a intermediários de U e Th e baixos valores de concentração de K.

No Gráfico 18, é notável que a Formação Aquidauana, Formação Furnas e o Grupo Cuiabá apresentam variações significativas nos elementos radioativos, especialmente o tório. Quando comparamos as rochas dentro do mesmo grupo e formação, podemos inferir que aquelas com as maiores variações nesses elementos geralmente são mais arenosas, contêm uma

quantidade superior de quartzo e geralmente exibem uma coloração mais avermelhada, o que indica um nível mais elevado de oxidação. Essas distinções podem ser mais bem observadas nas Figuras 31, ao 33, anexadas para referência.

A utilização de técnicas de gamaespectrometria combinadas com análises geoquímicas mostrou-se uma ferramenta valiosa para a pesquisa científica em geral.

Recomendações

1 Para Gamaespectrometria criar um mapa da distribuição dos radioelementos do domo de Araguaína. Para isso é necessário criar uma malha regular na área de interesse, para coleta de dados de Geofísica terrestres dos de K, U, Th.

2 Obtenção de dados geofísicos terrestres das mesmas litologias fora do Domo de Araguainha, com o objetivo de verificar se existe alguma diferença que possa ser relacionada com o impacto. Para isso, é necessário obter uma quantidade significativa de dados para que as análises possam ser estatisticamente válidas.

3 Realizar análises químicas das mesmas amostras que foram analisadas por gamaespectrometria, com o objetivo de obter uma melhor compreensão da distribuição dos radioelementos na área de estudo.

Referências Bibliográficas

Adôrno,RR., Brandão, MV., Valadares, GCF. Projeto Domo de Araguainha/Ponte Branca 2012. Institute of Geosciences, University of Brasilia

Barbosa, IO. Distribuição dos solos nas chapadas elevadas do Distrito Federal, com emprego de geoprocessamento. 2007. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias)-Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

Baratoux, D., Niang, C.A.B., Reimold, W.U., Sapah, M.S., Jessell, M.W., Boamah, D., Faye, G., Bouley, S., Vanderhaeghe, O., 2019. Bosumtwi impact structure, Ghana: Evidence for fluidized emplacement of the ejecta. The Geological Society of America Special Paper 550, 385 -402.

Cordell, L., Grauch, V.J.S., 1985. Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico. In: Hinze, W.J. The utility of regional gravity and magnetic anomalies maps: SEG, 181-197.

Crósta A.P., Reimold W.U., Vasconcelos M.A.R., Hauser N., Oliveira G.J.G., Maziviero M.V., Góes A.M., 2019a. Impact cratering: The South American record – Part 1. *Chemie der Erde*, 79, 1–61.

Dickson, BL e Scott, KM (1997) Interpretação de levantamentos aéreos de raios gama - adicionando os fatores geoquímicos. *Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17, 187-200.

Engelhardt W., Matthai S., Walzebuck J., 1992. Araguainha impact crater, Brazil. I – The interior part of the uplift. *Meteoritics*, 27, 442–457.

Hauser N., Reimold W.U., Cavosie A.J., Crósta A.P., Schwarz W.H., Trieloff M., Souza C.S.M., Rodrigues E.N., Brown M., 2019. Linking shock textures revealed by BSE, CL, and EBSD with U-Pb data (LA-ICP-MS and SIMS) from zircon from Araguainha impact structure, Brazil. *Meteoritics & Planetary Science*, 54, 2286–2311.

Hsu, S. K., Sibuet, J. C., Shyu, C. T., 1996. High-resolution detection of geologic boundaries from potential-field anomalies: An enhanced analytic signal technique. *Geophysics*, 61, 373-386.

LAGES, L. C. A Formação Irati (Grupo Passa Dois, Permiano, Bacia do Paraná) no furo de sondagem FP-01-PR (Sapopema, PR). 105f, Dissertação (Mestrado em Geociências), UNESP, Rio Claro/SP, 2004.

Leite, E.P, Lambert, J., Rodrigues Vasconcelos, M.A., Crósta, A.P., Batezelli., A 2021. Gamma-ray spectrometry of the Araguinha impact structure. Anais da academia Brasileira de Ciências.

Li, X., 2006. Understanding 3D analytic signal amplitude. *Geophysics*, v. 71(2). 13-16.

MILANI, E. J.; FRANÇA, A. A.; MEDEIROS, R. Á. Roteiros geológicos: Rochas geradoras e rochas-reservatório da Bacia do Paraná, faixa oriental de afloramentos, Estado do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p. 135-162, 2007b.

MILANI, E.J.; ASSINE, M.L.; SOARES, P.C.; DAEMON, R.F. A sequência ordovício-siluriana da Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 9, n. 2/4, p. 301-320, 1995. 17. MILANI, E.J.; FRANÇA, A.B.; SCHNEIDER, R.L. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 8, n. 1, p. 69-82, 1994

Milligan, P.R., Gunn, P.J., 1997. Enhancement and presentation of airborne geophysical data. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, v. 17(2), 63-75.

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, 507-517.

Niang, C.A.B., Baratoux, D., Diallo, D.P., Rochette, P., Jessell, M.W., Reimold, W.U., Bouley, S., Vanderhaeghe, O., Faye, G., and Lambert, P., 2021, Systematic survey of K, Th, and U signatures in airborne radiometric data from Australian meteorite impact structures: Possible causes of circular features and implications, in Reimold, W.U., and Koeberl, C., eds., *Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution VI: Geological Society of America Special Paper 550*

Osinski G. R., Grieve R.A.F., Ferrière L., Losiak A., Pickersgill A.E., Cavosie A.L., Hibbard S.M., Hill P.J.A., Bermudez J.J., Marion C.L., Newman J.D., Simpson

S.L. 2022. Impact Earth: A review of the terrestrial impact record. *Earth-Science Review*, 232, 104112.

Pesonen, L.J., Koeberl, C., and Hautaniemi, H., 2003, Airborne geophysical survey of the Lake Bosumtwi meteorite impact structure (Southern Ghana): Geophysical maps with descriptions: *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt [Austrian Geological Survey, Vienna]*, v. 143, 581–604.

PROSPEC, 1972. Levantamento gama-espectrométrico e magnetométrico na área do Projeto Alto Garças, estados de Goiás e Mato Grosso. Unpubl. Report 76 p

Reimold, WU., Ferriere, L., Crósta A.P., Vasconcelos M.A.R., Gottwald, M., Silva Borges, M., Almeida, T.I.R., Perreira, F.L., Goes, A.M., Hauser N., Jessell, M., Baratoux, D. 2022. Nova Colinas, Maranhão State: A newly confirmed, complex impact structure in Brazil. *Meteoritics & Planetary Science* 57, Nr 8, 1519–1541

Ribeiro V.B., Mantovani M.S.M., Louro V.H.A. 2014. Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico. *Terræ Didática*, 10(1):29-51

Roest, W.R, Verhoef, J., Pilkington, M., 1992. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics*, 57, 116-125.

Santos,APMR, 2011. A formação corumbataí na porção norte da bacia do paraná: litofácies e composição mineral para correlação regional e base para interpretação do contexto deposicional. Institute of Geosciences, University of Brasilia,

Salem, A., Williams, S., Fairhead, J., Ravat, D., Smith, R., 2007. Tilt-depth method: A simple depth estimation method using first-order magnetic derivatives. *The Leading Edge*, 26, 1502 -1505.

Spector, A., Grant, F.S., 1970. Statistical models for interpreting aeromagnetic data. *Geophysics*, 35, 293-302.

Spector, A., 1972. Levantamento gama-espectrométrico e magnético na área do Projeto Alto Garças nos Estados de Goiás e Mato Grosso. Convenio CNEN/CPRM/DNPM, PROSPEC S. A., Rio de Janeiro, 1972.

Thiam, A.; Baratoux, D.; Fall, M.; Faye, G.; Ouattara, G. Multi-Parameter Statistical Analysis of K, Th, and U Concentrations in Eastern Senegal: Implications for the Interpretation of Airborne Radiometrics. *Geosciences* 2023, 13, 263

Tohver E., Lana C., Cawood P.A., Fletcher I.R., Jordan F., Jourdan F., Sherlock S., Rasmussen B., Trindade R.I.F., Yokoyama E., Souza Filho C.R., Marangoni Y., 2012. Geochronological constraints on the age of a Permo–Triassic impact event: U–Pb and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ results for the 40 km Araguinha structure of central Brazil. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 86, 214–227.

UnB-IG, 2012. Final Mapping Project by the Graduate Class of 2012. Institute of Geosciences, University of Brasilia, Brasilia, Brasil Unpubl. report.

Vasconcelos, M.A.R., 2007. Caracterização geofísica da estrutura de impacto de Araguinha. M. Sc. Thesis. University of São Paulo (157 p.).

Vieira, CK; Crósta, AP; Gambo, F. Tygel, M.. 2009 Caracterização geofísica da estrutura de impacto do domo de Vargeão, Brasil Sociedade Brasileira de Geofísica. P 376-388

WILFORD, J. R.; BIERWIRTH, P. N.; CRAIG, M. A. Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, v. 17, n.2, p. 201-216.1997

Yokoyama E., Trindade R.I.F., Lana C.R., Souza-Filho C.R., Baratoux D., Marangoni Y.R., Tohver E., 2012. Magnetic fabric of Araguinha complex impact structure (Central Brazil): Implications for deformation mechanisms and central uplift formation. *Earth Planetary and Science Letters*, 347–359.

Anexo

Tabela 4 Tabela com dados de gamaespectrometria terrestre das leituras realizadas em campo em Unidades litológicas/geológicas representativas nos pontos alvos estudados

Unidade Litológicas	Amostra	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)	CT	Latitude	Longitude	Elevação
Brecha Polimictica	Ga9A	4,8	5,2	15,1	381	16°48'59"S	53°00'43,00"O	546m
IMR tipo-I	Ga5A	1,5	5,3	16,6	308	16°47'35"S	52°59'2,00"O	536m
	Ga5B	0,7	2,7	14,4	265	16°47'35"S	52°59'2,00"O	536m
Rocha Impacto	Ga12C	4,4	4,2	17,2	397	16°48'46"S	53°04'49,00"O	559m
	Ga5D	3	3,7	15,5	307	16°37'38"S	52°59'2,00"O	515m
	Ga5E	1,1	6,8	13,6	268	16°37'38"S	52°59'2,00"O	515m
Fm. Corumbatai	Ga13C	3,7	2,9	11,9	345	16°57'43"S	53°04'56,00"O	577m
Fm. Aquidauana	Ga1	0,9	4	16,8	138	16°45'36"S	52°51'6,00"O	461m
	Ga13A	1,5	2,1	6,9	162	16°47'46"S	53°04'59,00"O	559m
Fm. Ponta Grossa	Ga2	0,2	4,2	29,9	300	16°47'38"S	52°56'17,00"O	463m
Transição PG-Fu	Ga11A	2,3	2,8	15,7	289	16°50'22"S	53°01'34,00"O	500m
Fm. Furnas	Ga5C	0,3	1,3	2,9	82	16°47'35"S	52°59'2,00"O	536m
	Ga3E	0,3	2,6	10,6	172	16°48'01"S	52°57'22,00"O	479m
	Ga4A	0	0,2	4,2	65	16°47'53"S	52°58'7,00"O	508m
	Ga4B	0,8	1,1	8,1	117	16°47'32"S	52°58'56,00"O	537m
	Ga8A	0,2	0,8	10,4	144	16°48'02"S	52°59'24,00"O	567m
	Ga8B					16°48'02"S	52°59'24,00"O	567m
	Ga10	0,4	0,9	14	188	16°49'25"S	53°00'57,00"O	525m
Granito Porfirítico	Ga12A	4,6	2,2	17	366	16°48'55"S	53°00'15,00"O	527m
	Ga12B	4,4	4,2	17,2	397	16°48'55"S	53°00'15,00"O	527m
Grupo Cuiabá	Ga7B					16°47'55"S	52°59'12,00"O	600m

Filitos com Shatter cones	Ga3A	2,6	3,1	9,7	266	16°48'00"S	52°57'16,00"O	490m
	Ga3B	3	2,3	10,5	320	16°48'01"S	52°57'20,00"O	485m
	Ga6A	4,1	3,3	19	338	16°47'46"S	52°59'3,00"O	579m
	Ga6B	4,2	4	21,6	383	16°47'46"S	52°59'3,00"O	579m
	Ga6C	0,6	3,2	21,4	381	16°47'55"S	52°59'12,00"O	600m
	Ga7A					16°47'55"S	52°59'12,00"O	600m
	Ga9B	3,8	3,4	20,5	345	16°49'00"S	53°00'43,00"O	543m
	Ga9C	4,1	1,7	18,8	365	16°49'04"S	53°00'45,00"O	533m

Tabela 5 Tabela com dados de gamaespectrometria das análises laboratoriais nas amostras coletadas em Unidades litológicas/geológicas representativas nos pontos alvos estudados.

Unidades Litológicas	Amostra	k (%)	U (ppm)	Th (ppm)	C,Total	Latitude	Longitude	Elevação
Brecha Polimictica	Ga9A	1,18	3,08	13,72	220,6	16°48'59"S	53°00'43,00"O	546m
IMR tipo-I	Ga5A	0,92	3,84	14,92	209,4	16°47'35"S	52°59'2,00"O	536m
	Ga5B	0,86	3,14	14,46	214,2	16°47'35"S	52°59'2,00"O	536m
Rocha Impacto	Ga12C	1,24	3,52	13,82	210	16°48'46"S	53°04'49,00"O	559m
	Ga5D	1,04	3,16	15,1	208,8	16°37'38"S	52°59'2,00"O	515m
	Ga5E	1,04	2,44	15,18	210,2	16°37'38"S	52°59'2,00"O	515m
Fm. Corumbataí	Ga13C	1,18	2,08	12,94	205	16°57'43"S	53°04'56,00"O	577m
Fm. Aquidauana	Ga1	0,84	2,12	14,28	205	16°45'36"S	52°51'6,00"O	461m
	Ga13A	0,98	2,1	13,34	208,8	16°47'46"S	53°04'59,00"O	559m
Fm. Ponta Grossa	Ga2	0,94	3,62	14,96	216,2	16°47'38"S	52°56'17,00"O	463m
Transição PG-Fu	Ga11A	1,08	2,72	13,56	214,2	16°50'22"S	53°01'34,00"O	500m
Fm. Furnas	Ga5C	0,86	2,5	14,32	203	16°47'35"S	52°59'2,00"O	536m
	Ga3E	0,78	2,48	13,82	200,6	16°48'01"S	52°57'22,00"O	479m
	Ga4A	1,04	2,74	12,12	207,4	16°47'53"S	52°58'7,00"O	508m
	Ga4B	0,78	2,6	15,18	214,2	16°47'32"S	52°58'56,00"O	537m

	Ga8A	0,8	2,06	16,74	203,8	16°48'02"S	52°59'24,00"O	567m
	Ga8B	0,84	2,32	13,82	204	16°48'02"S	52°59'24,00"O	567m
	Ga10	0,96	2,76	15,3	204,4	16°49'25"S	53°00'57,00"O	525m
Granito Porfiritico	Ga12A	1,72	3,12	14,02	218	16°48'55"S	53°00'15,00"O	527m
	Ga12B	1,36	2,72	14,12	224,2	16°48'55"S	53°00'15,00"O	527m
Grupo Cuiabá	Ga7B	0,92	1,9	11,1	201,6	16°47'55"S	52°59'12,00"O	600m
	Ga3A	1,26	2,08	15,68	207,2	16°48'00"S	52°57'16,00"O	490m
	Ga3B	1	2,46	14,7	212,6	16°48'01"S	52°57'20,00"O	485m
	Ga6A	1,38	3,16	14,54	210,2	16°47'46"S	52°59'3,00"O	579m
	Ga6B*	1,22	3,04	15,94	217,4	16°47'46"S	52°59'3,00"O	579m
	Ga6C	0,86	2,98	15,02	201,8	16°47'55"S	52°59'12,00"O	600m
	Ga7A	1,26	3,7	14	193,4	16°47'55"S	52°59'12,00"O	600m
	Ga9B	1,18	2,9	15,06	216,4	16°49'00"S	53°00'43,00"O	543m
Shatter cones	Ga9C	1,46	2,72	15,82	219,2	16°49'04"S	53°00'45,00"O	533m

Tabela 6 Tabela dos Dados Utilizados de Análises Geoquímicas das Unidades Litológicas/Geológicas da Área de Estudo trabalhos realizados por Carolinna Maia.

Amostra	Coordenadas		Classificação	Geoquímica			
				K2O (%)	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)
CA-25	289955	8139626	Gr. Cuiabá	1,5	1,254	2,0	6,6
SF-01	286581	8139628	Granito	4,81	3,993	4,01	21,4
CA-12	287477	8137543	Gr. Rio Ivaí	0,28	0,232	8,8	138,4
TF12-III-235			Fm. Furnas	1,9	1,594	1,6	8,3
PN-PG-2	16°36'51"S	52°50'01"W	Fm. Ponta Grossa	2,2	1,818	4,4	16,2
AA-03			Fm. Aquidauana	0,45	0,374	0,8	1,5
A-1			Fm. Iratí	0,02	0,017	2,2	2,3
PN-FC-1	16°57'46"S	53°04'59"W	Fm. Corumbataí	3,1	2,532	1,6	10,4
CA-17	288442	8141822	BPI – melt	1,31	1,087	1,5	6,8
CA-36	288838	8141912	IMR	0,1	0,116	4,9	11,9
CA-09#2	287445	8141433	embasamento "fundido"	0,14	0,116	2,8	8,1
CA-77	288536	8141972	embasamento "fundido"	2,5	2,067	3,9	13,7
CA-84A	286769	8141191	Embasamento	2,4	1,951	1,7	8,8
GAR-15 A6	16°47'36.2"	52°59'02"	embasamento (contato com BPI)	3,3	2,723	7,7	29,0
GAR-15 0			embasamento (siltito preto)	4,2	3,462	5,7	13,4
GAR-15 C3			embasamento (pelito)	4,5	3,727	4,7	21,3
GAR-15 E1			embasamento (pelito)	0,5	0,432	2,9	11,3
GAR-15 F7			embasamento (pelito)	2,5	2,075	4,4	15,3
GAR-15 F9			embasamento (pelito)	0,3	0,282	2,6	11,3
GAR-15 G10			embasamento (metarenito)	0,4	0,332	2,4	9,9
GAR-15 G8			embasamento (metarenito)	0,4	0,340	2,4	8,3
GAR-15 I13			embasamento "fundido"	0,3	0,249	5,7	12,8

Analises

Foram utilizadas análises geoquímicas pré-existentes (Fonte dos dados – trabalhos realizados por Carolinna Maia) representativas das diferentes unidades litológicas que afloram no Domo de Araguainha. Os resultados geoquímicos são mostrados na Tabela 6.

Vinte e duas amostras (22) foram selecionadas: seis amostras representativas das unidades sedimentares da Bacia do Paraná (A-1: Formação Iratí; PN-FC-1: Formação Corumbataí, AA-03: Formação Aquidauana, PN-PG-2: Formação Ponta Grossa, TF12-III-235: Formação Furnas, CA-12: Grupo Rio Ivaí), sete do embasamento metassedimentar (CA-25, CA-09#2, CA-77, CA-84A, GAR-15 A6, GAR-15 0, GAR-15 C3). Duas amostras de rocha fundida pelo impacto foram também separadas: amostra CA-17, que corresponde a um clasto fundido de composição sílica presente na brecha polimítica de impacto e a amostra CA-36 de composição granítica

Descrição da metodologia de geoquímica : a primeira etapa consistiu na secagem das amostras em uma estufa por 24h em torno a 60°C. Em seguida, o tamanho das amostras foi reduzido para grãos por meio de uma marreta. Após esta etapa, as amostras foram pulverizadas à granulometria de pó (~200 mesh) no moinho de panela de tungstênio e armazenadas em tubos plásticos. Todo esse processo foi realizado no Laboratório de Preparação de Amostras do Laboratório de Estudos Geodinâmicos e Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG-UnB).

As amostras de pó de rocha foram enviadas ao laboratório Geosol (Goiânia, Brasil). A composição química total dos elementos maiores e traços (incluindo as terras raras) foram obtidos, respectivamente, pelos métodos ICP-AES (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy); e ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry; depois da fusão da amostra com borato e lítio. A perda por ignição (LOI) foi dada pela diferença de peso após a fusão à 100°C. Amostras duplicadas e em branco foram usadas para garantir e controlar a qualidade dos dados.



*Figura 30 GA1 Arenito da Formação Aquidauana
GA13A Arenito da Formação Aquidauana*

GA 1– Arenito com granulometria media e possui um material esbranquiçado por alteração.

GA13A – Arenito de granulometria fina e coloração avermelhada.



Figura 31 GA01 Arenito da Formação Furnas

GA4A GA1 Arenito da Formação Furnas

GA10 – Arenito muito fino de coloração rosada.

GA4A – Arenito muito fino de coloração rosada com grande presença de quartzo.



*Figura 32 GA6A Rochas do Grupo Cuiabá
GA3A Rochas do Grupo Cuiabá*

GA6A- Metarenito muito fino com veios de quartzo e coloração avermelhada

GA3A – Metaarenito muito fino com foliação e coloração avermelhada