

Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Maria Isabel Arcanjo Dias

Mapeamento Geológico da Formação Uberaba do Núcleo Urbano do Município de  
Uberaba - MG.

Uberaba  
2021

Maria Isabel Arcanjo Dias

Mapeamento Geológico da Formação Uberaba do Núcleo Urbano do Município de  
Uberaba - MG

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Thiago da Silva Marinho.

Uberaba

2021

**Catálogo na fonte: Biblioteca da Universidade Federal do  
Triângulo Mineiro**

D533m Dias, Maria Isabel Arcanjo  
Mapeamento geológico da formação uberaba do núcleo urbano do município de Uberaba - MG / Maria Isabel Arcanjo Dias. -- 2021.  
82 p. : il., graf., tab.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2021  
Orientador: Prof. Dr. Thiago da Silva Marinho

1. Mapeamento geológico – Uberaba (MG). 2. Formação uberaba.  
I. Marinho, Thiago da Silva. II. Universidade Federal do Triângulo Mineiro.  
III. Título.

CDU 550.8(815.1)

MARIA ISABEL ARCANJO DIAS

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO DA FORMAÇÃO UBERABA DO NÚCLEO URBANO DO  
MUNICÍPIO DE UBERABA - MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Triângulo Mineiro, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, para obtenção do título de mestre.

Uberaba, 27 de agosto de 2021.

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Thiago da Silva Marinho  
Orientador - UFTM

Prof. Dr. Renato Farias do Valle Junior  
Membro Titular - IFTM

Prof. Dr. Breno Souza Martins

Membro Titular - UFTM

---



Documento assinado eletronicamente por **THIAGO DA SILVA MARINHO**, **Professor do Magistério Superior**, em 27/08/2021, às 12:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 87, de 17 de agosto de 2021](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Renato Farias do Valle Junior**, **Usuário Externo**, em 27/08/2021, às 15:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 87, de 17 de agosto de 2021](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Breno de Souza Martins**, **Usuário Externo**, em 27/08/2021, às 22:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#) e no art. 34 da [Portaria Reitoria/UFTM nº 87, de 17 de agosto de 2021](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.uftm.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.uftm.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0586118** e o código CRC **CE46DFD8**.

---

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, primeiramente pelo dom da vida, agradeço também meu pai, Francisco Magela Dias pelo grande apoio para a realização desse sonho.

Ao meu companheiro Ubiratan Barros Hilário que constantemente me apoiou e amparou durante todo o tempo de realização deste estudo.

Ao meu orientador Thiago da Silva Marinho pelos ensinamentos acadêmicos e também de vida, em especial agradeço também aos professores Luiz Carlos Borges Ribeiro e Cesar Augusto Moreira, pelo grande empenho e dedicação no desenvolvimento desse estudo.

Aos amigos e colegas Laura Soares, Carolina Cristiano, Felipe Alexandre, Sylvia Lima e Alessandra Vieira pela amizade, empatia e paciência, companheirismo e solicitude mesmo em meio a pandemia.

A toda equipe administrativa do PPGCTA pelo acolhimento e atenção.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pelo apoio para a realização deste.

“É melhor tentar e falhar, que preocupar-se em ver a vida passar. É melhor tentar, ainda que em vão, que sentar-se fazendo nada até o final. Eu prefiro na chuva caminhar, que em dias tristes em casa me esconder. Prefiro ser feliz embora louco, que em conformidade viver.”

Martin Luther King Jr.

## RESUMO

No Triângulo Mineiro, o município de Uberaba se destaca por apresentar diversas ocorrências de fósseis atribuídas às suas unidades litoestratigráficas, especialmente as formações Uberaba e serra da Galga. A falta de mapas geológicos, em escala semi-detalhada, entre a zona de transição do perímetro urbano e rural favorece o risco de ocupação indevida da terra, favorecendo a possibilidade de perda de conteúdo fossilífero. Nesse contexto, é fundamental desenvolver ações voltadas para o uso e ocupação do espaço territorial, visto que a ampliação do conhecimento geológico sobre as formas e comportamentos da Formação Uberaba pode ajudar na conservação desse patrimônio. Logo este estudo teve como objetivo realizar o mapeamento geológico da zona de transição do perímetro urbano e rural de Uberaba, associando técnicas de levantamentos de campo e alcance espectrométrico, a ferramentas de geoprocessamento como QGIS e GEE, e também levantamento de informações litológicas de perfis construtivos de poços tubulares da área de estudo, onde estes foram posteriormente utilizados na elaboração de um modelo 3D em Leapfrog Geo para melhor compreender a dinâmica local geológica. O uso da faixa de umidade do *Tasseled Cap Transformation*, elaborada a partir do GEE, foi eficiente em diferenciar locais com maior umidade na área de estudo. As formações desta região se distinguem por apresentar diferentes padrões de respostas às radiações de U, Th e K, fato que ajudou na identificação deles no desenvolvimento do mapeamento. As informações do perfil geológico dos poços analisados na zona de transição do perímetro urbano e rural mostraram que 55 dos 118 poços exploram águas correspondentes principalmente a zonas de sedimentos não consolidadas e rochas da Formação Uberaba. Enquanto os outros poços captam a água das formações mais profundas principalmente da Formação Serra Geral. As informações geradas neste estudo poderão estar associadas a informações geotécnicas e hidrogeológicas auxiliando na gestão territorial do município.

**Palavras-chave:** Bacia Bauru; Formação Uberaba, Mapeamento Geológico, Levantamento Gamaespectométrico terrestre, Leapfrog Geo.



## ABSTRACT

In the Triângulo Mineiro, the municipality of Uberaba stands out for presenting several fossiliferous occurrences attributed to its lithostratigraphic units, especially the Uberaba and Serra da Galga formations. The lack of geological maps, on a semi-detailed scale, between the transition zone of the urban and rural perimeter favors the risk of undue land occupation, favoring the possibility of a loss of fossiliferous content. In this context, it is essential to develop actions aimed at the use and occupation of territorial space, seeing that the expansion of geological knowledge about the forms and behaviors of the Uberaba Formation can help the conservation of this heritage. Soon this study aimed to perform the geological mapping of the transition zone of the urban and rural perimeter of Uberaba, associating techniques of field surveys and spectrometric range, to geoprocessing tools such as QGIS and GEE, and also survey of lithological information of constructive profiles of tubular wells of the study area, where these were later used in the elaboration of a 3D model in Leapfrog Geo to better understand the local dynamics geological. The use of the moisture band of Tasseled Cap Transformation, elaborated from the GEE, was efficient in differentiating sites with higher humidity in the study area. The formations of this region are distinguished by presenting different patterns of responses to the radiations of U, Th and K, this fact helped in the identification of them in the development of the mapping. The geological profile information of the wells analyzed in the transition zone of the urban and rural perimeter showed that 55 out of 118 of the wells extract waters corresponding mainly to unconsolidated sediment zones and rocks of the Uberaba Formation. While the other wells captain water from the deepest formations mainly of the Serra Geral Formation. The information generated in this study will be associated with geotechnical and hydrogeological information assisting in the territorial management of the municipality.

**Keywords:** Bauru Basin; Uberaba Formation, Geological Mapping, Terrestrial Gamma-spectrometric survey, Leapfrog Geo.

## LISTA DE FIGURAS E QUADROS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Mapa geológico da Bacia Bauru.....  | 20 |
| Figura 2 - Mapa geológico da zona de transição do perímetro urbano para rural de Uberaba.  | 22 |
| Figura 3 - Seção- tipo da Formação Uberaba: Local ferrovia FEPASA ~Km 128 Rod. BR-050.<br>.....  | 23 |
| Figura 4 - a) Seção-tipo do Membro Ponte Alta. Local: Pedreira do Lajeado, Serra do Veadinho;<br>b) Seção Complementar: corte do Km 153, rod BR-050 (contato com o Membro Serra da Galga). .....   | 25 |
| Figura 5 - Seção-tipo principal do Membro Serra da Galga. Local: Serra do Veadinho, imediações de Peirópolis. ....   | 26 |
| Figura 6- Espectros de radiação gama mostrando as posições da janela de energia para cada elemento e da contagem total. ....   | 30 |
| Figura 7 – Gráfico com as médias de U e Th em rochas da bacia do Paraná.....   | 31 |
| Figura 8 - Variação nas concentrações de K, U e Th durante o intemperismo do Basalto. ....   | 33 |
| Figura 9- Mapa de Localização do Município.....  | 35 |
| Figura 10 - Fluxograma das metodologias aplicadas. ....  | 38 |
| Figura 11- Foto do a) equipamento utilizado. b) Utilização em campo. ....  | 40 |
| Figura 12 - Mapa de localização dos pontos visitados em campo.....   | 42 |
| Figura 13 - Mapa de afloramentos e ocorrência fossilíferas para a área de estudo. ....   | 43 |
| Figura 14 - Mapa de umidade do TCT para a área de estudo.....  | 44 |
| Figura 15 - Mapa de localização dos processos de outorgas para a área de estudo. ....  | 45 |
| Figura 16 - Mapa de classificação de profundidade dos poços dentro da zona de transição do perímetro urbano para rural de Uberaba.....   | 46 |
| Figura 17 - Mapa de localização das amostragens gamaespectométrica sobre a geologia. ....  | 48 |
| Figura 18 - Mapa de disposição dos pontos de amostragens gamaespectométricas sob a composição ternária da região de Uberaba.....   | 50 |
| Figura 19 - Fotos das estruturas e formações encontradas durante o levantamento. a) camadas de estratos plano-paralelos e estratificações cruzadas compostas por camadas de arenito do P01; b) e c) amostragem realizada em perfil em estratificação cruzada acanalada ambas do P09 (2037 e 2038); d) amostragem realizada em afloramento de basalto da Fm Serra Geral (2027); e) .camada de arenito avermelhado (2030), no arenito com estratificação cruzada (2031) no P06.<br>..... | 51 |
| Figura 20 - Gráfico geral dos valores de K, U e Th amostrados em campo.....  | 52 |
| Figura 21 - Gráfico dos valores de K, U e Th encontrados no P01 na Fm Uberaba. ....  | 53 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 22 - Gráfico de valores de K, U e Th encontrados no P04. ....   | 54 |
| Figura 23 - Gráfico de valores de K, U e Th encontrados no P09. ....   | 55 |
| Figura 24 - a) Visão do local amostrado, b) estratificação cruzada acanalada, c) lente de clastos carbonáticos. ....               | 56 |
| Figura 25 - Gráfico de valores de K, U e Th encontrados no P09. ....   | 57 |
| Figura 26 - Amostragem em solo realizada nos pontos P02 e P09. ....  | 58 |
| Figura 27 - Gráfico de valores de K, U e Th encontrados em solo nos pontos P03e P09.....   | 59 |
| Figura 28 - Gráfico de valores de K, U e Th encontrados em regiões de topo da Fm Uberaba. ....                                     | 60 |
| Figura 29 - Gráfico de valores de K, U e Th encontrados na Fm Serra Geral. ....  | 61 |
| Figura 30 - Gráfico de valores de K, U e Th encontrados em regiões de contato entre as Fm Uberaba e Serra Geral.....               | 62 |
| Figura 31 - Mapa de localização dos Pontos P10 e P11.....  | 63 |
| Figura 32 - Local de realização das amostras 2052 (local do equipamento), a) amostra 2053, b) amostra 2054 e c) amostra 2055. .... | 64 |
| Figura 33 - Gráfico de valores de K, U e Th encontrados nas amostragens realizadas em Peirópolis.....                              | 65 |
| Figura 34 -Elaboração das superfícies de contato. ....   | 66 |
| Figura 35 - Bloco do modelo geológico gerado. ....   | 67 |
| Figura 36 - Mapa Geológico da zona de transição do perímetro urbano para o perímetro rural. ....                                   | 70 |
| <br>   |    |
| Quadro 1 -Arquivos inseridos no Leapfrog Geo sobre a área de estudo Uberaba, MG, 2021. ....  | 41 |
| Quadro 2 - Relações estáticas Coluna Estratigráfica do Modelo Geológico elaborado para área de estudo. Uberaba, MG, 2021.....      | 68 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Variação da concentração média dos radioelementos em rochas e solos na Austrália.<br>.....      | 34 |
| Tabela 2 - Conjuntos de dados e fontes usadas no presente estudo. ....                                     | 36 |
| Tabela 3 - Diferentes tipos de modos de uso da água na para a área de estudo Uberaba, MG,<br>2021. ....    | 46 |
| Tabela 4 - Intervalo de profundidade dos poços analisados para a área de estudo Uberaba, MG,<br>2021. .... | 47 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CODEMIG - Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

GEE - *Google Earth Engine*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatístico

IDE-SISEMA - Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Fm - Formação

MDE - Modelo Digital de Elevação

NE - Nível Estático

ND - Nível Dinâmico

SEMAD - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrânea

SIAM - Sistema Integrado de Informação Ambiental

TCT - *Tasseled Cap Transformation*

## SUMÁRIO

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>1</b>  | <b>INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>16</b> |
| <b>2</b>  | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>  | <b>17</b> |
| 2.1       | Mapeamento geológico urbano e a conservação fossilífera .....                          | 17        |
| 2.2       | GEOMORFOLOGIA .....  | 18        |
| 2.3       | GEOLOGIA REGIONAL .....  | 19        |
| 2.3.1     | Bacia Bauru .....  | 19        |
| 2.3.1.1   | Grupo São Bento.....   | 21        |
| 2.3.1.1.1 | Formação Serra Geral .....   | 21        |
| 2.3.1.2   | Grupo Bauru .....  | 21        |
| 2.3.1.2.1 | Formação Uberaba.....  | 22        |
| 2.3.1.2.2 | Formação Marília.....  | 24        |
| 2.3.1.2.3 | Coberturas Cenozoicas – Formação Nova Ponte.....                                       | 27        |
| 2.3.1.2.4 | Depósitos Quaternários.....  | 28        |
| 2.4       | CONTEXTO PALEONTOLÓGICO.....   | 28        |
| 2.5       | GAMAESPECTOMETRIA .....  | 29        |
| <b>3</b>  | <b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>   | <b>34</b> |
| 3.1       | LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....  | 34        |
| 3.2       | AQUISIÇÃO E GERENCIAMENTO DE DADOS .....   | 35        |
| 3.3       | MÉTODOS .....  | 37        |
| 3.3.1     | Pré Campo .....  | 38        |
| 3.3.2     | Levantamento de Campo .....  | 40        |
| 3.3.3     | Pós Campo .....  | 40        |
| <b>4</b>  | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>   | <b>41</b> |
| 4.1       | MAPAS TEMÁTICOS E ESTRATÉGIA DE CAMPO .....  | 41        |
| 4.2       | ANÁLISE DOS DADOS DE POÇOS TUBULARES.....  | 44        |
| 4.3       | INTERPRETAÇÃO DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS E LEVANTAMENTO<br>GAMAESPECTROMÉTRICO.....      | 49        |
| 4.4       | MODELO GEOLÓGICO .....   | 65        |
| 4.5       | MAPA GEOLÓGICO .....   | 69        |
| <b>5</b>  | <b>CONCLUSÃO .....</b>   | <b>71</b> |
|           | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>  | <b>72</b> |
|           | <b>APÊNDICE A - Dados das amostras adquiridas no levantamento gamaespectrométrico.</b> |           |

**APÊNDICE B – Perfis de poços tubulares comparados com a variação do nível d'água.**

**82**

## 1 INTRODUÇÃO

O mapeamento geológico é usado como base em estudos que envolvem o planejamento da expansão do perímetro urbano na gestão municipal, para tanto sendo integrando estudos geotécnicos (RIBEIRO; DIAS, 2020).

O uso de ferramenta SIG (Sistema de Informação Geográfica) vem se popularizando e se tornando essencial nas atividades que envolvem gerenciamento de informações geoespaciais (Amaral; Silva et al., 2020, faria; Silva; Camargo, 2020). Para Ayer, Garofalo e Pereira (2017) as técnicas de sensoriamento remoto e análises geoespaciais podem ser empregadas na criação e combinação de informação como mapas geológico e uso e cobertura do solo.

Autores como Borsatto et al. (2015) utilizaram o mapeamento geológico associado a ferramentas SIG como etapa da cartografia geotécnica, com objetivo de melhorar a compreensão sobre as propriedades e características do subsolo em área urbana.

O mapeamento geológico também é fundamental para a elaboração de medidas de proteção e reconhecimento do patrimônio paleontológico como apontado no mapeamento e inventário de Ponciano et al. (2012). O levantamento geológico também é utilizado no geoturismo paleontológico em área urbana envolvendo aspectos econômica e cultural.

Inserida no contexto geológico da Bacia Bauru, a região de Uberaba, possui um dos mais relevantes sítios paleontológicos do Brasil, abrangendo uma ampla área geográfica, com registros fósseis datados do final do Cretáceo Superior. (RIBEIRO et al., 2012).

A necessidade do direcionamento de ações que contribuam para o reconhecimento, a proteção e a conservação deste patrimônio acentua-se devido ao potencial histórico cultural e geológico da região. Logo a ampliação dos conhecimentos sobre as unidades litológicas aflorantes nas imediações da zona de transição do perímetro urbano para o rural de Uberaba, contribuir para a conservação e proteção do acervo fossilífero e também com o gerenciamento do ordenamento territorial do município.

Assim, tendo em vista a falta de estudos em semi-detulhe das características geológicas, se propôs o trabalho de investigação geológica compreendendo o levantamento bibliográfico, a avaliação de mapas geológicos e cartas topográficas, aquisição de produtos de sensoriamento remoto seguidas de atividades de campo e aquisição de dados gamaespectométricos locais, além do levantamento e aplicação de informações litológicas de perfis construtivos de poços tubulares em um modelo 3D para a área de estudo.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a realização da atividade proposta, se faz necessário o entendimento dos elementos que compõem da área de estudo, os itens a seguir apresentam tal contextualização.

### 2.1 MAPEAMENTO GEOLÓGICO URBANO E A CONSERVAÇÃO FOSSILÍFERA

No processo de implementação de obras de engenharia civil, o conhecimento sobre o terreno é primordial sobre os aspectos técnicos e econômicos (Souza; Teixeira; Sousa, 2019). Ainda segundo estes autores, o conhecimento sobre o terreno se torna fundamental no planejamento urbano, se tornando a base para a elaboração de planos diretores, cartas geotécnicas e projetos de engenharia futuros para a cidade. Dessa forma percebe-se a importância da realização de mapeamento dos aspectos do terreno, principalmente sobre a geologia.

O uso de ferramenta SIG vem se popularizando e se tornando essencial nas atividades que envolvem gerenciamento de informações geoespaciais, pois permitem analisar, identificar e interpretar os dados (Amaral; Silva et al., 2020, Faria; Silva; Camargo, 2020). Tais ferramentas também possibilitam avaliar de forma sistemática o ambiente além de mensurá-lo (AYER; GAROFALO; PEREIRA, 2017).

Para Ayer, Garofalo e Pereira (2017) as técnicas de sensoriamento remoto e análises geoespaciais podem ser empregadas na criação e combinação de mapas geológico, e também de uso e cobertura do solo. O mapeamento geológico é usado como base para estudos na gestão municipal voltados para o planejamento da expansão do perímetro urbano, para tanto sendo associados a estudos geotécnicos como descrito por Ribeiro e Dias (2020).

Borsatto et al. (2015) utilizaram o mapeamento geológico associado a ferramentas SIG como etapa da cartografia geotécnica, com objetivo de melhorar a compreensão sobre as propriedades e características do subsolo em área urbana.

O mapeamento geológico também é fundamental para a elaboração de medidas de proteção e reconhecimento do patrimônio paleontológico. Ponciano et al. (2012) apontam a contínua destruição de afloramentos da Formação Pimenteira, a qual possui ocorrências fossilíferas, devido principalmente ao crescimento demográfico e urbano sobre este terreno, com o objetivo de alcançar um maior reconhecimento da relevância patrimonial desta formação, realizaram o mapeamento e inventário da mesma. Já Medeiros e Polck (2017), utilizaram a construção do conhecimento geológico e paleontológico como uma ferramenta econômica e cultural, abordando o geoturismo paleontológico em área urbana.

Faria, Silva e Camargo (2020) justificaram a necessidade da realização de mapeamento geológico e de outros estudos, devido à falta destes na área de investigação, causando na maioria das vezes ocupação sem planejamento. Ainda segundo estes autores, apesar das inúmeras formas de aplicação do geoprocessamento em diversas áreas das geociências e na gestão ambiental, não são todos os locais, incluindo algumas regiões do estado de Minas Gerais, que já foram mapeados por meio da aplicação de ferramentas SIG.

A região de Uberaba, inserida no contexto geológico da Bacia Bauru, possui um dos mais relevantes sítios paleontológicos do Brasil, abrangendo uma ampla área geográfica, com registros fósseis datados do final do Cretáceo Superior. (RIBEIRO et al., 2012).

Tendo em vista o histórico e o potencial da região, acentua-se a necessidade do direcionamento de ações que contribuam para o reconhecimento, a proteção e a conservação deste patrimônio. A ampliação dos conhecimentos sobre as unidades litológicas aflorantes nas imediações da zona de transição do perímetro urbano para o rural de Uberaba, corrobora com o gerenciamento do ordenamento territorial do município, além de contribuir para a conservação e proteção do acervo fossilífero proveniente dessa região.

## 2.2 GEOMORFOLOGIA

Segundo Ribeiro et al. (2012) observa-se a presença de chapadões, escarpas e topos arredondados, pertencentes ao planalto da Bacia do Paraná. Esse relevo também é descrito por Seer e Moraes (2017) como variado, salientando a presença de superfícies planas, vales encaixados em relevos de colinas suaves, além de morros testemunhos isolados.

De modo geral observa-se, abaixo da Superfície Sul-Americana, identificada na porção nordeste de Uberaba até próximo à cota de 700 metros colinas suaves, são caracterizadas por uma superfície de denudação extensa e plana, representada pela Formação Nova Ponte de idade Cenozoica. Esta compreende a depósitos inconsolidados cascalhosos e compõe o que se conhece popularmente como Chapadões, ou seja está intimamente associada a Superfície de Cimeira (King, 1958) do ciclo de denudação denominado Sul Americano, o qual pode ser observado em boa parte do Triângulo Mineiro, Goiás e Mato Grosso, com cotas entre 950 a 1050m, sendo evidência de uma sedimentação terciária pós-Bauru (RIBEIRO et al., 2012). Seer e Moraes (2017) posicionam a Formação Uberaba entre as cotas de 750 e 840 metros; enquanto o topo da Formação Marília é identificado próximo a cota de 970 metros, podendo alcançar os 1.000 metros.

O contato entre a base da Formação Marília (Membro Ponte Alta) e o topo da Formação Uberaba forma uma diferenciação na paisagem, a qual pode ser justificada pela composição

mineralógica do Membro Ponte Alta possuir maior resistência a ações intempéricas, caracterizando escarpas verticalizadas como as serras do Veadinho e da Vida, em Peirópolis (RIBEIRO et al., 2012).

A rede de drenagem pode ser observada próxima à cota de 520 metros, podendo localmente apresentar declividade mais acentuada, que por sua vez, podem formar escarpas rochosas verticalizadas correlacionadas a quebras de relevo perpendiculares aos cursos d'água, formando cachoeiras, como as identificadas no Rio Uberaba e ribeirões Ponte Alta e Veadinho (SEER; MORAES, 2017). Nessa altitude observa-se ainda, principalmente na porção norte do município, a decomposição de basaltos da Formação Serra Geral, formando latossolos roxos, solo com maior fertilidade (RIBEIRO et al., 2012).

## 2.3 GEOLOGIA REGIONAL

### 2.3.1 Bacia Bauru

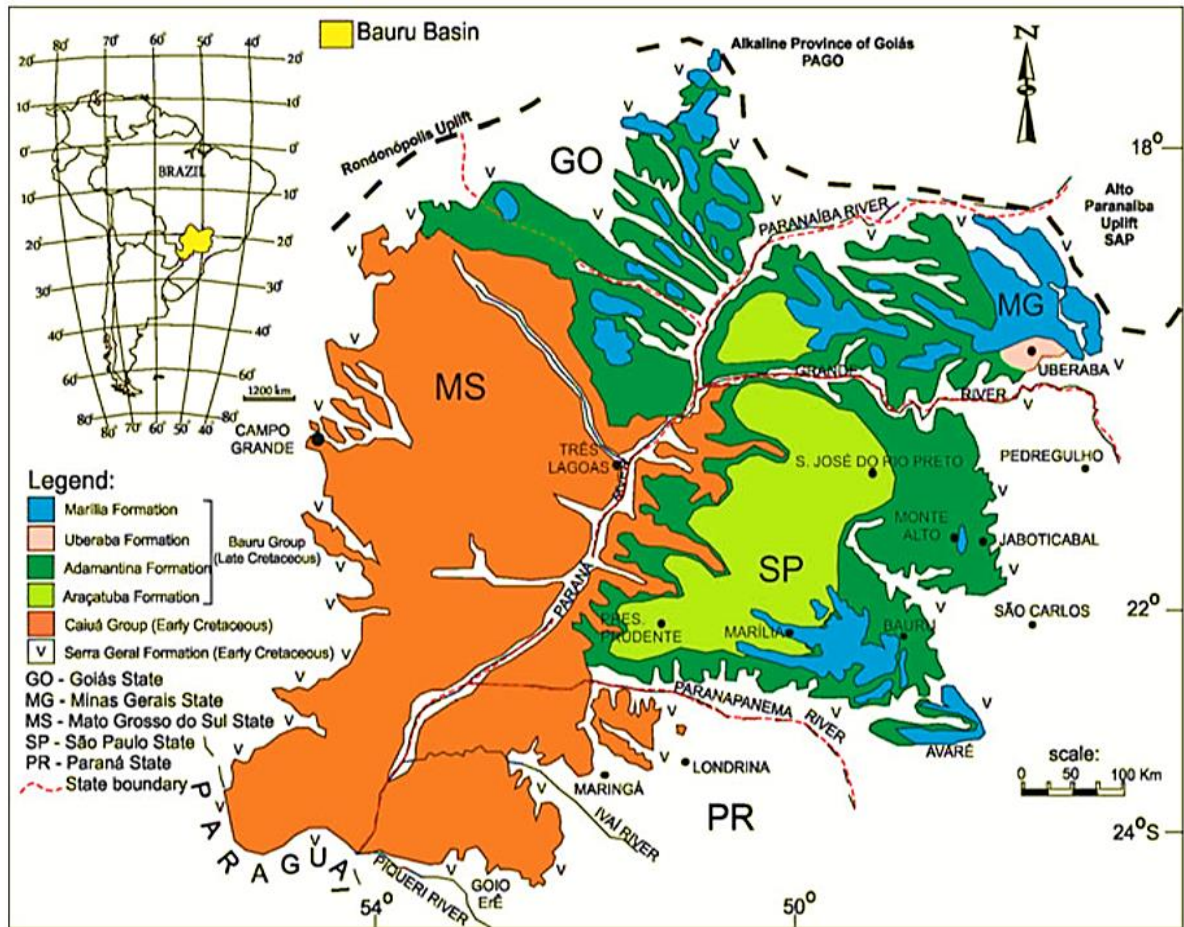
Após a ruptura do supercontinente Gondwana, um rearranjo tectônico no início do Neocretáceo possibilitou a formação da Bacia Bauru no centro-sul da Plataforma Sul-Americana, em um contexto de sedimentação intracratônica oriunda da formação de depressões por subsidência termo-mecânica relacionada aos movimentos distensivos crustais que deram origem à abertura do oceano Atlântico Sul, mais desenvolvida nas regiões onde se encontram pacotes mais espessos de basaltos da Formação Serra Geral (FERNANDES; COIMBRA, 1994, FERNANDES, 2004; BATEZELLI, 2015; MARTINELLI et al., 2015).

Essa bacia está instalada sobre as rochas da Bacia Sedimentar do Paraná em sua porção norte, majoritariamente sobre rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. Estudos paleontológicos e estratigráficos sugerem como período de deposição o intervalo Aptiano-Maastrichtiano (125,0 a 66,0 Ma) (SOARES et al. 1980; MENEGAZZO; CATUNEANU; CHANG, 2016).

A bacia abrange uma área de aproximadamente 330.000 km<sup>2</sup>, ocupando as porções oeste de Minas Gerais, leste de Goiás, leste de Mato Grosso do Sul e oeste de São Paulo e do Paraná, com alguns afloramentos no nordeste do Paraguai (FÚLFARO, 1996; SEER; MORAES, 2017).

As formações aflorantes caracterizadas na Bacia Bauru são: Caiuá, Pirapozinho, Santo Anastácio, Birigui, Araçatuba, São José do Rio Preto, Uberaba, Adamantina, Marília e Itaqueri (MENEGAZZO; CATUNEANU; CHANG, 2016).

Figura 1 - Mapa geológico da Bacia Bauru.



Fonte: Batezelli, 2015. Modificado de Fernandes e Coimbra (1994).

Segundo Fernandes e Coimbra (2000), o Grupo Bauru é composto pelas formações Uberaba (Hasui 1968), Vale do Rio do Peixe, Araçatuba, São José do Rio Preto, Presidente Prudente (Fernandes, 1998) e Marília (Barcelos; Suguio 1987).

Ainda segundo Fernandes e Coimbra (2000), são observadas ocorrências do Grupo Bauru na parte ocidental da bacia no Triângulo Mineiro (MG), em São Paulo (principalmente) e no Norte do Paraná. A base da bacia é separada por não-conformidade dos basaltos do Grupo São Bento (Formação Serra Geral).

Observando aspectos litoestratigráficos, a bacia possui características de sedimentação de ambientes continentais, principalmente semiáridos a áridos, que não permitiram o desenvolvimento de superfícies discordantes de caráter regional ou horizontes-guia na bacia (FERNANDES; COIMBRA, 2000).

O contínuo aporte de sedimentos das bordas e o consequente soterramento do interior da bacia proporcionaram o preenchimento, favorecendo uma progressiva expansão dos limites da área deposicional (FERNANDES; COIMBRA, 2000).

### 2.3.1.1 *Grupo São Bento*

#### 2.3.1.1.1 Formação Serra Geral

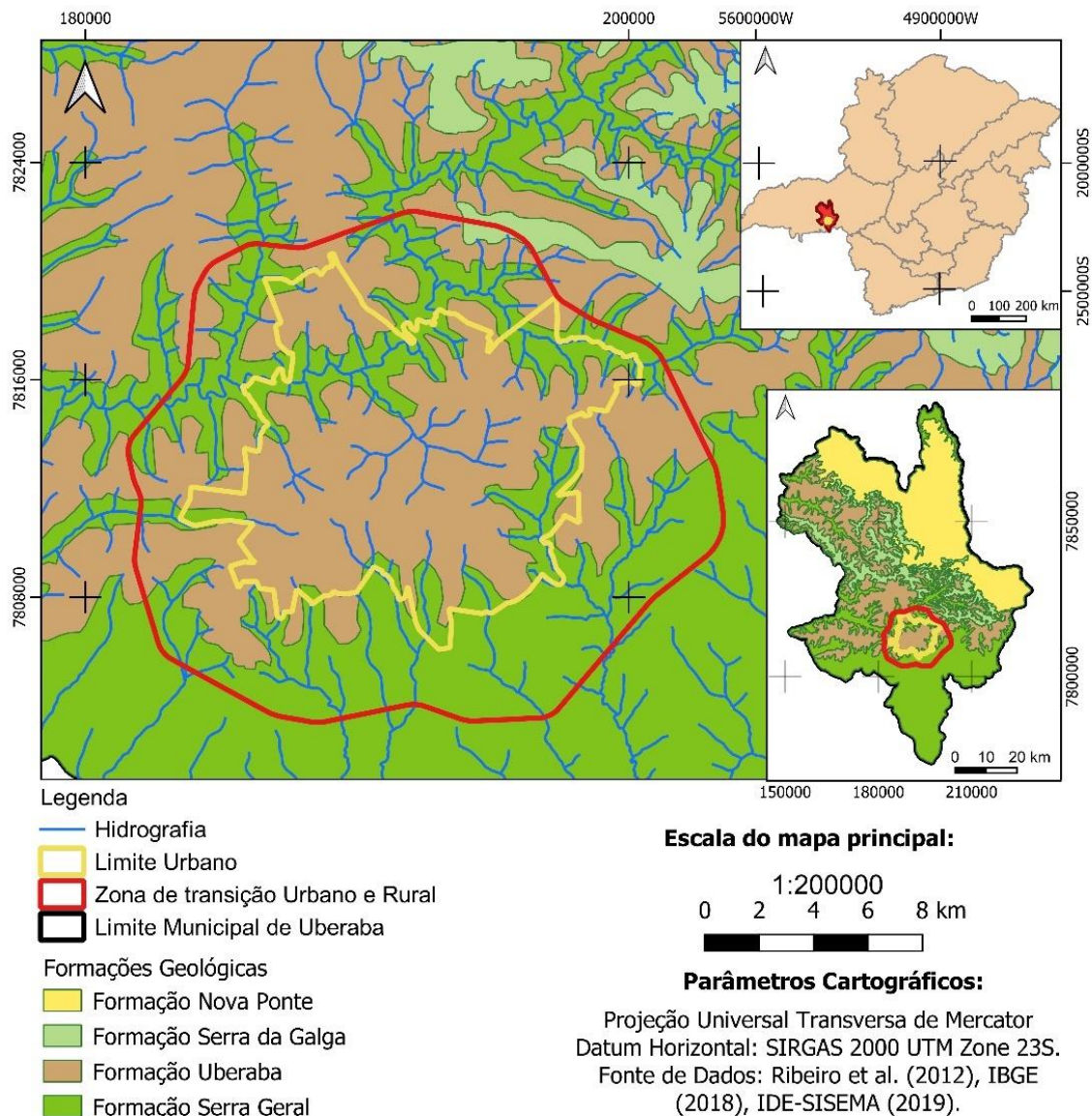
A Formação Serra Geral é caracterizada principalmente por rochas vulcânicas eocretácicas. Na forma de soleiras em vários níveis de planos de estratificação das rochas sedimentares mais antigas observa-se rochas plutônicas e diversos diques (SEER; MORAES, 2017).

Segundo Ribeiro et al. (2012) a alteração das rochas basálticas é marcada pela presença solo ocre-avermelhadas devido a oxidação dos minerais com ferro e a formação de limonita. Ainda segundo os mesmos autores, estima-se que a espessura da Formação Serra Geral no município seja da ordem de 460m.

### 2.3.1.2 *Grupo Bauru*

O Grupo Bauru reúne as formações Adamantina, São José do Rio Preto, Araçatuba, Uberaba e Marília, sendo as duas últimas referidas no presente estudo (Soares et al., 1980; Barcelos et al., 1983; Fúlfaro; Perinotto, 1996; Fernandes; Coimbra, 2000; 2009; Fernandes; Ribeiro, 2015; Menegazzo; Catuneanu; Chang, 2016). A Formação Uberaba é limitada à região do Triângulo Mineiro e a Formação Marília é composta pelos membros Serra da Galga, Ponte Alta e Echaporã (BARCELOS; SUGUIO, 1987).

Figura 2 - Mapa geológico da zona de transição do perímetro urbano para rural de Uberaba.



Fonte: Modificado Ribeiro et al. (2012).

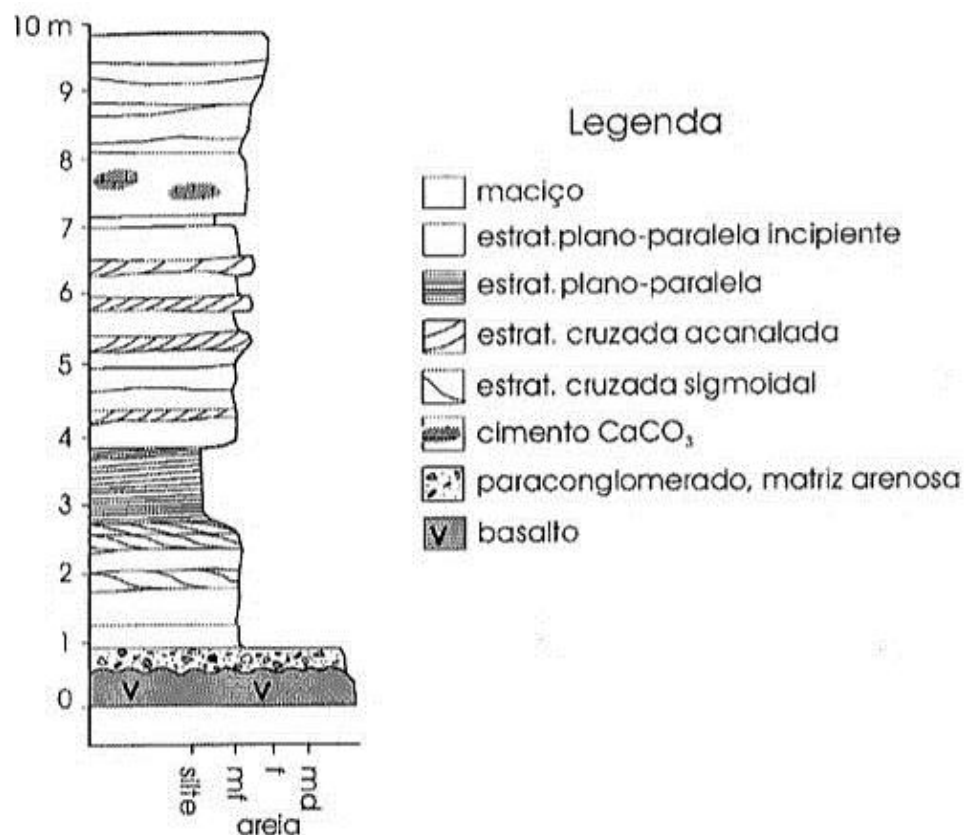
### 2.3.1.2.1 Formação Uberaba

Com ocorrência restrita à Região do Triângulo Mineiro (Hasui, 1968; Fernandes; Coimbra, 2000), a espessura máxima preservada da Formação Uberaba foi estimada em 85 metros por Hasui (1968). No entanto, Ribeiro et al. (2012) afirmam que segundo informações de poços tubulares na região urbana do município de Uberaba e afloramentos, estima uma espessura estimada máxima de 75 metros. Barcelos (1984) propôs a seção-tipo da unidade (Figura 3) em corte da rodovia BR-050 com a ferrovia da Ferrovia Paulista S/A - FEPASA dentro do município.

Ribeiro et al. (2012) apontam o contato inferior dessa formação correspondendo à discordância erosiva com basaltos da Formação Serra Geral e possuindo contato superior gradacional com o Membro Serra da Galga, pertencente à Formação Marília.

A Formação Uberaba possui área de ocorrência principal restrita à região do município homônimo, como ocorrências pontuais até a noroeste do município de Prata. Essa unidade é considerada de idade Campaniana (83,6 a 72,1 Ma), com base em dados litoestratigráficos (QUINTÃO et al., 2017).

Figura 3 - Seção- tipo da Formação Uberaba: Local ferroviária FEPASA ~Km 128 Rod. BR-050.



Fonte: Fernandes e Coimbra (2000).

Para Fernandes (2004) trata-se da associação de rochas epiclásticas, de seleção moderada, com notável quantidade de grãos clásticos de perovskita. A formação é constituída majoritariamente por arenitos subordinados a lamitos, siltitos, e conglomerados, sendo esses arenitos lenticulares de dimensões de 0,20 a 1,5 metros de espessura, de cor cinza-esverdeado a verde-oliva, tipicamente intercalados a níveis centimétricos a decimétricos de conglomerados e de siltito/lamito (Seer; Moraes, 2017). Os autores ainda descrevem, dentro da mineralogia

dessa formação, que o elevado conteúdo de magnetita, sendo característico, reflete na imagem da Amplitude do Sinal Analítico, e causa contraste magnético com a Formação Marília.

Para Hasui (1967) e Fernandes (2004) a Formação Uberaba possui grande quantidade de materiais de retrabalhamento de rochas ígneas efusivas e intrusivas básicas, ultrabásicas e intermediárias, alcalinas ou não.

Batezelli (2003), assim como outros autores, acreditam que as rochas da referida formação possuem grande contribuição de material vulcânico erodido dos basaltos da Formação Serra Geral e rochas alcalinas proeminentes do Soerguimento do Alto Paranaíba, bem como de rochas cristalinas do embasamento (grupos Araxá e Canastra).

Muitos autores defendem um sistema fluvial entrelaçado com pequeno transporte, baseados em evidências paleoambientes deposicionais da Formação Uberaba (Hasui, 1968; Ferreira Jr.; Guerra 1993, Fernandes; Coimbra, 2000; Batezelli, 2003).

#### 2.3.1.2.2 Formação Marília

A Formação Marília está presente nas bordas norte e leste da bacia, estando os membros Ponte Alta e Serra da Galga restritos à região do Triângulo Mineiro, enquanto o Membro Echaporã se distribui também nos estados de São Paulo e Goiás (Fernandes e Coimbra, 2000). Autores como Fernandes e Ribeiro (2015) e Batezelli e Ladeira (2016) destacam a ocorrência apenas dos membros Serra da Galga e Ponte Alta.

Essa unidade é composta por arenitos, variando de grossos a conglomeráticos, conglomerados, (com grãos angulosos e teor de matriz variável), siltito e paleossolos fortemente cimentados por  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{SiO}_2$ , exibindo estratificações cruzadas de pequena a média escala (até 3 metros). Os arenitos e conglomerados podem ser vistos em forma de canais, barras lenticulares e acreção que posteriormente formam canais amalgamados de vários andares e multilaterais, sendo intercalados por depósitos eólicos e paleossolos. Observa-se também bastantes estruturas calcretas, com abundantes nódulos carbonáticos, fissuras horizontais e rizólitos (SOARES et al., 1980; BATEZELLI, 2015; MENEGAZZO; CATUNEANU; CHANG, 2016; SEER; MORAES, 2017).

O alto conteúdo de cimento carbonático na formação é alvo de exploração como matéria-prima para fabricação de cimento Portland e como corretivo da acidez do solo, sendo visíveis essas ocorrências nas regiões de Ponte Alta e nas pedreiras do Km 50 da rodovia de Uberaba para Uberlândia (RIBEIRO et al., 2012).

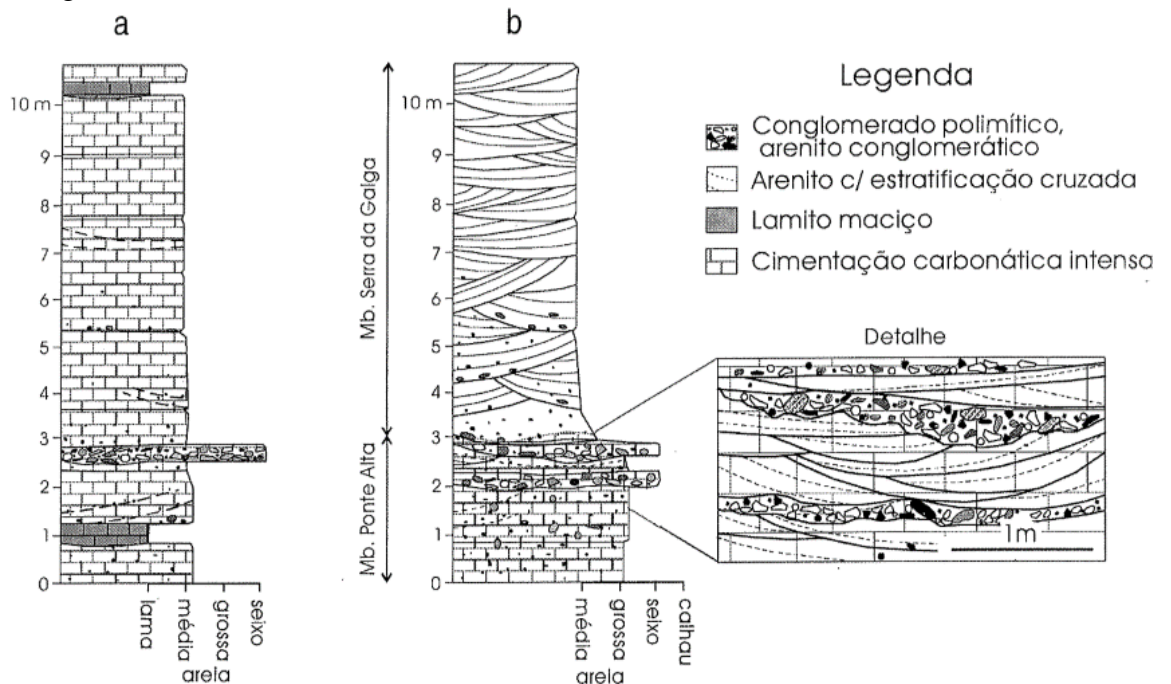


Para Ribeiro et al. (2012) os contatos da Formação Marília com a Formação Uberaba variam de gradacional a interdigitado, como observado em Peirópolis, Uberaba, e imediações de Veríssimo.

### Membro Ponte Alta

A seção-tipo do Membro Ponte Alta foi definida em uma pedreira de calcário no município de Ponte Alta - MG (Suguio; Barcelos, 1983; Barcelos, 1984). No entanto, Fernandes e Coimbra (2000) sugeriram como seção-tipo a Pedreira do Lajeado (Figura 4), na Serra do Veadinho, próxima de Peirópolis, em Uberaba – MG.

Figura 4 - a) Seção-tipo do Membro Ponte Alta. Local: Pedreira do Lajeado, Serra do Veadinho; b) Seção Complementar: corte do Km 153, rod BR-050 (contato com o Membro Serra da Galga).



Fonte: Fernandes e Coimbra (2000).

De acordo com Barcelos e Suguio (1987), o Membro Ponte Alta é constituído por calcários e calcretas. Segundo Fernandes e Coimbra (2000), a unidade é formada por calcários de aspecto maciço, com concentrações locais de sílica, na forma de vênulas e crostas sub-horizontais, além de revestimento e preenchimento de pequenas cavidades, de origem pós-sedimentar, provavelmente relacionadas à formação de calcretas, e três litotipos, intensamente cimentados por carbonato de cálcio, sendo eles: calcário arenoso de aspecto maciço; calcário conglomerático de matriz arenosa (conhecido como casco-de-burro); e calcário fino fragmentado.

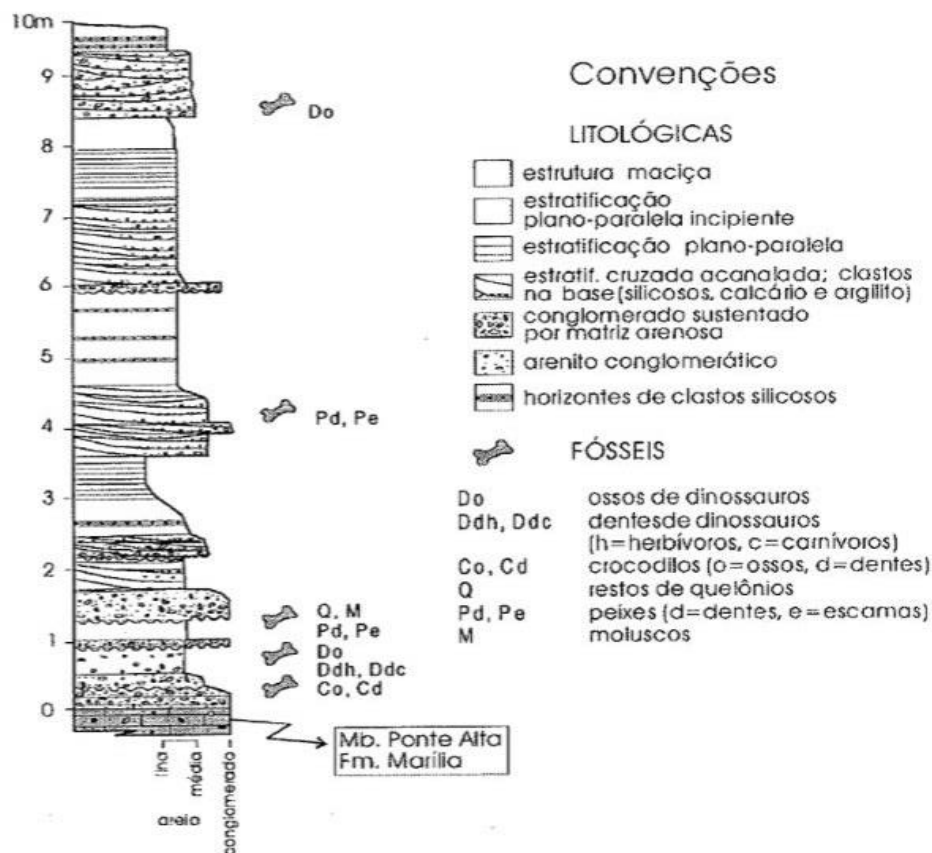
Segundo Mineiro e Santucci (2018) as calcretes do Membro Ponte Alta apresentam um contato erosivo com uma camada de conglomerado arenoso sustentado por seixos que corresponde a base do Membro Serra da Galga.

O Membro Ponte Alta tem contatos superior e lateral com o Membro Serra da Galga (Suguio; Barcelos, 1983; Goldberg; Garcia, 1995; Fernandes; Coimbra, 2000). Aparentemente os dois membros possuem relações de contato com a Formação Uberaba, mas são pouco definidas, podendo haver um diastema (FERNANDES; COIMBRA, 2000).

### Membro Serra da Galga

A seção-tipo do Membro Serra da Galga foi definida em corte da rodovia BR-50, na Serra da Galga, em Uberaba – MG (Suguio; Barcelos, 1983; Barcelos, 1984). Entretanto, Fernandes e Coimbra (2000) sugeriram, como seção-tipo da unidade (Figura 5), o afloramento da caieira na Serra do Veadinho, no distrito de Peirópolis em Uberaba - MG.

Figura 5 - Seção-tipo principal do Membro Serra da Galga. Local: Serra do Veadinho, imediações de Peirópolis.



Fonte: Fernandes e Coimbra (2000), adaptado de Capilla e Azevedo (1995).

Essa unidade foi salientada por alguns autores como ocorrendo apenas na borda nordeste da bacia, no Triângulo Mineiro, e apresentando espessura máxima de cerca de 110 metros (BARBOSA et al., 1970; FERNANDES, 2004).

A unidade é caracterizada por estratos lenticulares de arenitos e arenitos conglomeráticos, com espessuras de variação decimétrica a métrica, cimentados por carbonatos e ocasionalmente contendo crostas de sílex. Exibem cor amarelo-clara, estratificações cruzadas tangenciais na base e acanaladas, de médio a pequeno porte. Há ainda ocorrência de intercalações de lentes de conglomerados e lamitos de cor marrom (FERNANDES, 2004; FERNANDES; COIMBRA, 2000).

Com menor expressão, Ribeiro (2000) relata a presença de silcretes, em níveis e camadas horizontais contínuas e descontínuas, com espessuras milimétricas a métricas.

O Membro Serra da Galga tem contato interdigitado, complexo e irregular com o Membro Ponte Alta (Fernandes, 2004). Para vários autores, as condições climáticas na fase inicial da diagênese dessa unidade foram quentes e secas, principalmente com a formação de calcretes, palicretes e silcretes, enquanto na fase final houve clima quente, mas com alguma umidade, indicada pela presença de caulinitas e óxidos e hidróxidos de ferro (RIBEIRO, 2001; MENEGAZZO, 2016).

O contexto deposicional do Membro Serra da Galga é caracterizado por leques aluviais medianos a distais com sistemas fluviais entrelaçados associados. Possui também eventual alternância de depósitos de pequenas dunas eólicas (subordinados). Evidências quanto à ausência de litofácies típicas sugerem ter havido sua erosão. Essa unidade, por sua vez, apresenta importantes jazigos de ossos de répteis de grande porte da bacia (crocodilos, dinossauros e quelônios) (FERNANDES; COIMBRA, 2000; FERNANDES, 2004).

Estudos recentes apontam que os depósitos da porção nordeste da Bacia Bauru dos membros da Fm Marília possuem características que os diferem do Membro Echaporã e dessa forma os depósitos antes nomeados como Membros Serra da Galga e Ponte Alta, são referidos como Formação Serra da Galga (SOARES et al., 2020). Devido a região de estudo possuir ocorrências de tais Membros da Fm Marília, os mesmos foram referidos como Formação Serra da Galga.

#### 2.3.1.2.3 Coberturas Cenozoicas – Formação Nova Ponte

A Formação Nova Ponte foi definida por Ferrari (1989), e é datada como terciária, (65 a 2,6 Ma) para Ribeiro et al. (2012), a mesma é formada majoritariamente por extensas cascalheiras com níveis arenosos, friáveis de matriz avermelhada e textura argilo-arenosa,

contendo seixos bem arredondados de diâmetros centimétricos à decimétricos. Por meio dessas características, esses autores consideram plausível que os seixos sejam oriundos de erosão da Formação Serra Geral e do Grupo Bauru.

#### 2.3.1.2.4 Depósitos Quaternários

Caracterizado por Ribeiro et al. (2012) como um nível de sedimentos arenosos, de cor cinza, com clastos arredondados de quartzo e angulosos de arenito, pouco consolidados, provenientes da Formação Uberaba. Algumas vezes têm presença de material orgânico na forma de fragmentos de vegetais.

Em leito de drenagem, o material ocupa discordantemente o paleorelevo, composto de arenitos verdes da Formação Uberaba, apresenta espessura entre 0,60 e 1,70 metros, além de apresentar nível fossilífero, com registros da megafauna Pleistocênica/Holocênica. Sobreposta a esse nível, observa-se uma capa argilosa negra turfácea que varia de 2 a 4 metros (RIBEIRO et al., 2012).

## 2.4 CONTEXTO PALEONTOLÓGICO

Ribeiro e Carvalho (2007) relatam que a região de Uberaba é alvo de investigações paleontológicas desde meados do século passado, sendo esse interesse motivado pelo fato de o município abrigar registros fósseis datados do Cretáceo Superior, de grande relevância para o cenário acadêmico regional, tornando-se um dos maiores e mais importantes sítios paleontológicos do Cretáceo continental brasileiro.

O Membro Serra da Galga da Formação Marília, vem sendo considerado como principal depósito fossilífero na região do Triângulo Mineiro (Ribeiro et al., 2012). Os locais considerados com maiores diversidade taxonômica fossilífera por Martinelli e Teixeira (2015) estão na região de Peirópolis, são o “Ponto 1 do Price” (Caieira) e o “Ponto 2 do Price” (pedreira) ambos descritos e publicadas por Llewellyn Ivor Price na década de 1940, apresentando quantidade expressiva de restos de vertebrados. O ponto da Caieira ainda se destaca pela quantidade significativa de material recuperado, seguido do local nas adjacências da Rodovia BR 050, do município de Uberaba (RIBEIRO; CARVALHO, 2007; FERNANDES; RIBEIRO, 2015; MARTINELLI et al., 2019; PINTO, 2020).

Nessa região, Ribeiro e Carvalho (2007) mencionam a identificação de diversas espécies de macrofósseis e microfósseis. Alguns autores retratam a assembleia fossilífera compreendida na Formação Marília como sendo composta por algas carófitas, esporocarpos de pteridófitas

(Marsiliaceae), ostracodes, artrópodes, bivalvíos, gastrópodes e icnofósseis. Mencionam ainda que os grupos taxonômicos mais frequentes são peixes, anfíbios e répteis (peixe, anuros, tartarugas, crocodilos, dinossauros terópodes e titanossauros) (RIBEIRO et al., 2012, MARTINELLI; TEIXEIRA, 2015).

Vista a necessidade de proteção e gerenciamento integrado das reservas fossilíferas de Uberaba, a Portaria Municipal Integrada 003/2015 (UBERABA, 2015) estabelece a necessidade de um parecer técnico de profissionais habilitados a avaliar os possíveis impactos às rochas e formações sedimentares (Formações geológicas Uberaba, Marília – membros da Ponte Alta e Serra da Galga – Vale do Rio do Peixe (Adamantina) e depósitos aluviais cenozoicos) de todos os procedimentos que envolvam movimentação de solo, escavação e/ou outros que interfiram nas reservas fossilíferas (UBERABA, 2015).

## 2.5 GAMAESPECTOMETRIA

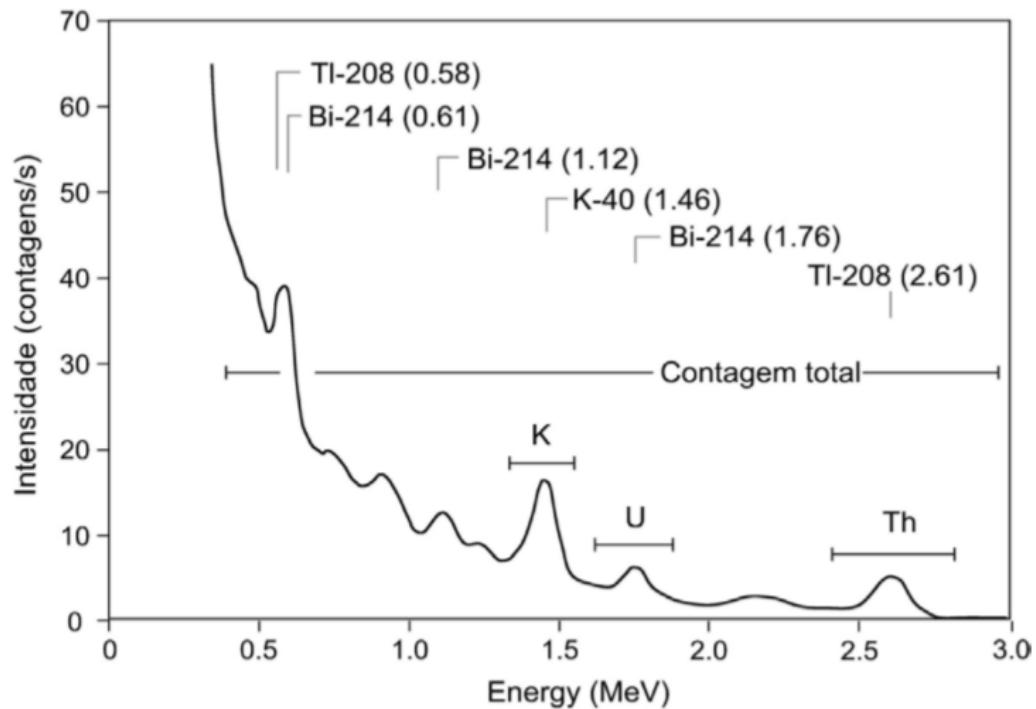
A aplicação de técnicas indiretas de investigação utilizada em método geofísicos permite a análise da subsuperfície por meio do contraste das propriedades físicas do material geológico com maior rapidez e menor interferência ao meio (SANTOS; MENEZES; NASCIMENTO, 2008).

Uma variedade de elementos radioativos compõe diferentes tipos de minerais e rochas, esses diferentes tipos de rochas podem ser identificados com base na concentração relativa dos radioelementos (SOUZA, 1998; GRAHAM; BONHAM-CARTER, 1993; OLIVEIRA, 2019).

Devido a energia de um raio  $\gamma$  depender do isótopo particular que o produz, essa pode ser usada para determinar o elemento que produz a radioatividade. Segundo Kearey, Brooks e Hill (2002) o levantamento de radioatividade mede a radioatividade natural advindo do potássio, tório e urânio em rochas próximas à superfície, esse tipo de levantamento pode ser aplicado em mapeamento geológico por meio de levantamentos terrestres ou aéreos.

Segundo Mussett e Khan (2009) apesar dos raios  $\gamma$  poderem ser detectados de várias maneiras, o espectrômetro de raios  $\gamma$  é o instrumento mais eficaz. Para Kearey, Brooks e Hill (2002), o espectrômetro de raios gama permite que o elemento de origem seja identificado, pois eles apresentam picos que representam estágios nas séries de decaimento, como demonstrado na figura abaixo.

Figura 6- Espectros de radiação gama mostrando as posições da janela de energia para cada elemento e da contagem total.



Fonte: Ribeiro, Mantovani e Louro (2013) Modif. Foote (1968).

A radioatividade natural é devida quase inteiramente aos três elementos radioativos mais abundantes: urânio ( $^{238}\text{U}$  e  $^{235}\text{U}$ ) e tório ( $^{232}\text{Th}$ ) e potássio ( $^{40}\text{K}$ ) (KEAREY; BROOKS; HILL, 2002).

Segundo IAEA (2003) os elementos  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$ , possuem uma abundância média na crosta superior de 2,3%, 2,7 ppm e 1,2 ppm respectivamente.

Os elementos K, U e Th são relativamente estáveis além de possuir relação correlativa entre si. Logo a variação resultante de concentração ou diluição, indicam condições que causaram efeitos geológicos especiais como alteração e mineralização (OLIVEIRA, 2019).

Na crosta, o potássio apresenta uma proporção de 2,35% (Souza, 1998). Os minerais muscovita, biotita e feldspatos potássicos se apresentam em na maioria das vezes como minerais fontes de K em rochas (Costa, 2013). Em levantamentos gamaestrométrico pode ser detectado pela medição de 1,46 MeV emitida pelo decaimento do  $^{40}\text{K}$ , que permite uma medida direta do teor de K no terreno (SOUZA, 1998).

O urânio apresenta aproximadamente 3 ppm de abundância média na crosta terrestre (Dickson; Scott, 1997; Souza, 1998). Em rochas, apresenta-se como óxidos e silicatos, uraninita e uranotorita, e em minerais ocorre principais como a monazita, o xenotímeo e o zircão, contudo somente a monazita e o zircão são estáveis durante o intemperismo (SOUZA, 1998).

Ainda segundo o mesmo autor, na crosta a concentração média do tório é aproximadamente de 12 ppm. Ele pode ocorrer na forma de óxidos, silicatos, carbonatos e fosfatos (Costa, 2013). Quando liberado durante o intemperismo, pode ser retido em óxidos e hidróxidos de Fe ou Ti e em argilas (Souza, 1998). A Fm Uberaba possui minerais que apresentam enriquecimento de Fe e Ti nos arenitos líticos (QUINTÃO et al., 2017). Para Pires (1995) devido a sua pouca mobilidade em ambiente superficial, o tório é considerado um bom mapeador litológico, pois a baixa mobilidade em relação aos demais radioelementos faz dele um elemento traço que pode caracterizar melhor a rocha fonte.

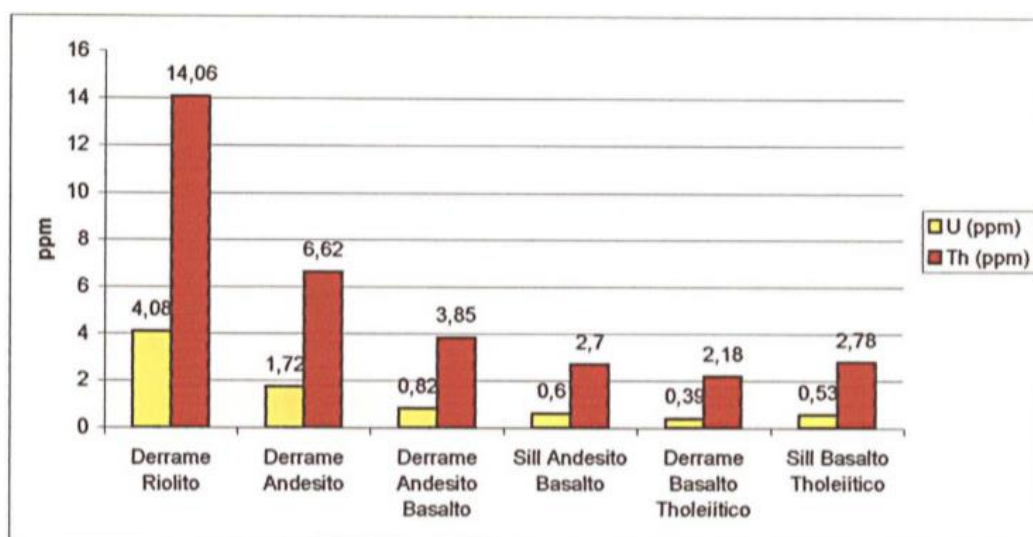
### Distribuição dos Radioelementos em rochas e solo

Os magmas ácidos geram rochas que apresentam maior proporção de K, enquanto, magmas básicos geram rochas que por sua vez exibem menores proporção de K, ele pode ser encontrado em feldspatos alcalinos e micas (SIAL; McREATH, 1984 apud COSTA, 2013; SOUZA, 1998).

Souza (1998) aponta que o urânio e o tório, quando presentes em rochas ígneas, são associados a minerais moderadamente radioativos, ou ocorrem nas fissuras de minerais ou inclusões fluídas. Eles tendem a se concentrar em magmas, com alto teor de sílica. Dentro das rochas ácidas, o U e o Th - ao contrário do K - estão concentrados em minerais acessórios, como apatita, monazita, esfênio e zircão (KEAREY; BROOKS; HILL, 2002).

O estudo de Marques (1988) relatado em Souza (1998) exibem os resultados de U e Th em amostras de rochas ácidas, intermediárias e básicas da Bacia do Paraná.

Figura 7 – Gráfico com as médias de U e Th em rochas da bacia do Paraná.



Fonte: Marques (1988) apud em Souza (1998).

As amostras de rochas ácidas, como os riolitos (Figura 7), apresentam os maiores valores de U e Th quando comparadas com as amostras de rochas intermediárias (andesitos) e básicas (andesitos basaltos e basaltos tholeiíticos).

O estudo de Willford et al. (1997) apresentado em Costa (2013) verificaram as variações nos teores médios de K, U e Th de rochas ígneas com o aumento do teor de Si. Esses autores relatam que com o aumento do teor de sílica, aumenta principalmente a variações no teor médios de K(%) das rochas ígneas félsicas, decaindo expressivamente apenas para pegmatitos.

As rochas sedimentares apresentam concentrações que refletem suas rochas de origem (DICKSON; SCOTT, 1997; SOUZA, 1998). Dessa forma, sedimentos imaturos de fontes graníticas, podem apresentar teores altos de radionuclídeos, enquanto sedimentos mais maduros, constituídos principalmente de quartzo, devem apresentar índices radioativos muito mais baixos (SOUZA, 1998).

#### **Distribuição dos Radioelementos nos Solo**

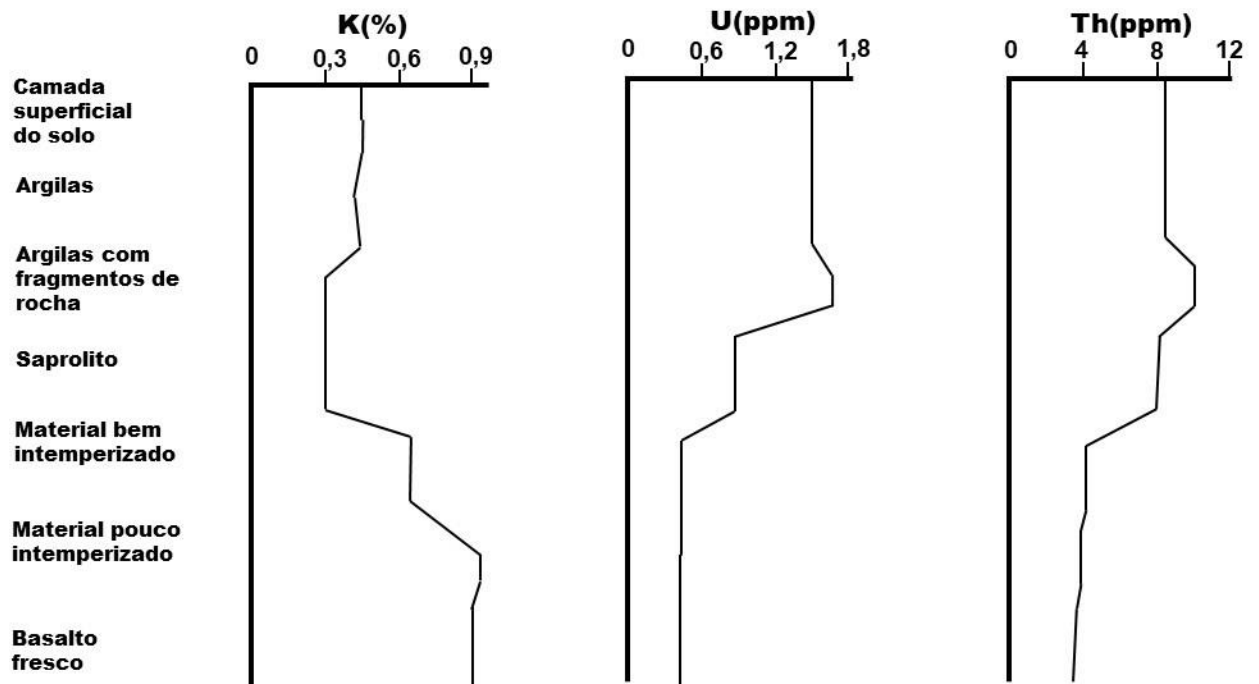
Souza (1998) aponta que a composição química de latossolos roxos provenientes do intemperismo de rochas básicas, apresentam baixos teores de urânio, classificação de solo desenvolvida pela Fm Serra Geral presente na área de estudo descrita por Ribeiro et al. (2012).

No desenvolvimento de solos em regiões semi-áridas o urânio é geralmente lixiviado devido sua maior mobilidades quando comparadas com o tório, aumentando dessa forma a razão Th/U em relação a rocha fonte. (SOUZA, 1998; KEAREY; BROOKS; HILL, 2002).

Em um estudo sobre o intemperismo de basaltos no oeste da Austrália, verificaram mudanças consideráveis em solos desenvolvidos sobre rochas vulcânicas máficas. (DICKSON; SCOTT, 1997). Os solos apresentaram perdas de K (50%) e ganhos de U e Th, refletindo dessa forma as perdas de K do material vulcânico pelo intemperismo e a concentração de U e Th em óxidos de ferro durante a pedogênese. A variação dos teores de K, U e Th verificada durante o intemperismo dos basaltos é mostrada na Figura 8.



Figura 8 - Variação nas concentrações de K, U e Th durante o intemperismo do Basalto.



Fonte: Adaptado de Souza (1998) Modif. de Dickson e Scott (1997).

Desse estudo, Souza (1998) aponta que os teores de U e Th são mais elevados nas camadas superficiais do solo e argilas, do que nas porções menos intemperizadas e de rocha fresca.

Embora seja possível prever a presença de radionuclídeos na rocha, se torna impossível a determinação da concentração de cada rocha, devido as diversas variações na mesma. A Tabela 1 abaixo apresenta a variação da concentração média dos radioelementos em rochas e solos na Austrália

Tabela 1 - Variação da concentração média dos radioelementos em rochas e solos na Austrália.

| Tipo de Rocha             | Rocha   |         |          | Solo    |         |          |
|---------------------------|---------|---------|----------|---------|---------|----------|
|                           | K(%)    | U (ppm) | Th (ppm) | K(%)    | U (ppm) | Th (ppm) |
| <b>INTRUSIVAS</b>         |         |         |          |         |         |          |
| Intrusivas 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 Máfica         | 0,1-0,8 | 0,0-1,1 | 0,0-3,1  | -       | -       | -        |
| <b>EXTRUSIVAS</b>         |         |         |          |         |         |          |
| Vulcânicas intermediárias | 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  | -       | -       | -        |
| <b>SEDIMENTARES</b>       |         |         |          |         |         |          |
| 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  | -       | -       | -        |

Fonte: Adaptação de Ribeiro, Mantovani e Louro (2013) Modif. de Dickson e Scott (1997).

Zonas alteradas desenvolvidas a partir de rochas intrusivas e extrusivas, intermediárias e básicas, apresentam variações significativas na interface saprolito solo, que refletem as perdas de K dos feldspatos potássicos e a retenção do U e do Th em óxidos de ferro e argilas ou em minerais resistentes, provavelmente intemperismo por meio de infiltração da água (SOUZA, 1998).

O conhecimento sobre rochas e solo pode ser expandido com o auxílio da aplicação de ferramentas para a aquisição de informações associadas aos métodos geofísicos (COSTA, 2013).

O uso de ferramenta SIG segundo Wilford (2002) possibilita que imagens radiométricas possam ser processadas de modo a alcançar análises de correlação das respostas dos radioelementos com diferentes litologias.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

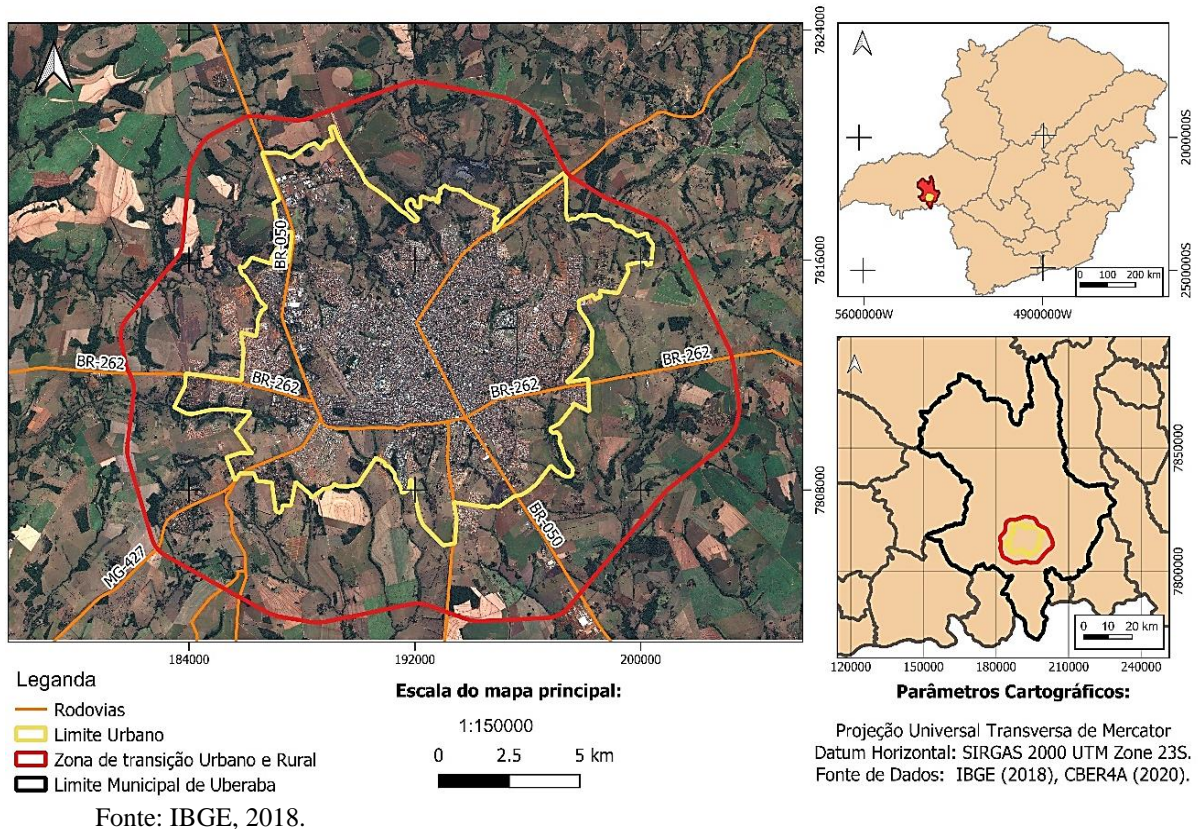
Os matérias e métodos utilizados no trabalho, são apresentados após a contextualização da localização da área de estudo.

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Uberaba está localizada no oeste de Minas Gerais, na Mesorregião do Triângulo Mineiro, dista cerca de 500 Km tanto da capital do estado quanto da capital do País. Tem como municípios limítrofes: Uberlândia e Indianópolis (ao norte), Conquista, Delta, Água Comprida (ao sul), Nova Ponte e Sacramento (a leste) e Conceição das Alagoas e Veríssimo (ao oeste) (Figura 9).

A área territorial do município é de 4.523,957 km<sup>2</sup> (IBGE, 2010) e sua população total é de 295.988 habitantes (IBGE, 2010).

Figura 9- Mapa de Localização do Município.



### 3.2 AQUISIÇÃO E GERENCIAMENTO DE DADOS

A fundamentação teórica dessa pesquisa se deu pela compilação bibliográfica de teses, dissertações, artigos, livros e publicações clássicas e atuais referentes à evolução e dinâmica da Bacia Bauru na porção de ocorrência das formações geológicas presentes na área de estudo.

Os dados necessários para o presente estudo compreendem um conjunto de dados que tangem os aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrológicos, adquiridos mediante o acesso a bancos de dados virtuais, como limites municipais disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, mapas geológicos das folhas: Miraporanga, Nova Ponte, Veríssimo, e Uberaba – Igarapava, de escala 1:100.000 da Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais – CODEMIG. A CODEMIG dispõem de um conjunto de dados que fornece além de informações geológicas, dados geofísicos, estruturais, geográficos, pontos de verificação e o relatório técnico para cada folha. O mapa geológico de Ribeiro et al. (2012) também foi utilizado juntamente com as demais informações, como base geológicas para o município.

O *software Quantum Gis Browser 3.8.1 with GRASS 7.6.1 (QGIS)*, foi utilizado para compilação e articulados os dados digitais.

A base hidrológica utilizada foi adquirida por meio ao acesso a plataforma da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-SISEMA) (SISEMA, 2019).

Para o levantamento de informações geológicas de poços tubulares na área de estudo, considerou-se como fonte de investigação os registros de poços no Sistema de Informações de Águas Subterrânea – SIAGAS, os dados dos processos de outorga da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD encontrados no SISEMA (2019) e os processos de outorga contendo tais informações na plataforma Sistema Integrado de Informação Ambiental – SIAM. Após a seleção desses dados, os mesmos foram compilados e tratados no *software Microsoft Excel 2019*.

A Tabela 2 mostra as fontes institucionais de informações de base e os endereços de seus sites.

Tabela 2 - Conjuntos de dados e fontes usadas no presente estudo.

| Tipo de Dado  | Uso no estudo   | Fonte   | URL   |
|---|---|---|---|
| Limites geográficos   | Delimitação e localização das áreas de interesse  | IBGE  |   |
| Mapa geológico do município                                   | Base geológica  | Ribeiro et al. (2012)<br>Seer e Morais (2017)<br>CODEMIG. | -<br><a href="http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/">http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/</a>  |
| Conjunto de dados atribuídos ao mapeamento geológico regional | Levantamento bibliográficos e cartográficos<br>Elaboração de mapas temáticos processado no QGIS | Seer e Morais (2017)<br>CODEMIG.                          | <a href="http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/">http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/</a>   |
| Rede de Drenagem  | Base para a elaboração de mapas temáticos processado no QGIS                                    | IDE-SISEMA<br><br>SIAGAS                                  | <a href="https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis">https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis</a><br><br><a href="http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php">http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php</a><br><a href="http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenca-outorgas?OutorgaSearch%5Bportaria%5D=%5Bdata_publicacao%5D=&amp;OutorgaSearch%5D=&amp;OutorgaSearch%5BanoFilter%5D=&amp;Bregional_id%5D=18&amp;OutorgaSearch%5B%5D=&amp;OutorgaSearch%5Bcnpj%5D=&amp;OutorgaSearch%5Bmodo_id%5D=7&amp;data_publicacao-outorgas%5Bdata_publicacao-disp=&amp;page=121">http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenca-outorgas?OutorgaSearch%5Bportaria%5D=%5Bdata_publicacao%5D=&amp;OutorgaSearch%5D=&amp;OutorgaSearch%5BanoFilter%5D=&amp;Bregional_id%5D=18&amp;OutorgaSearch%5B%5D=&amp;OutorgaSearch%5Bcnpj%5D=&amp;OutorgaSearch%5Bmodo_id%5D=7&amp;data_publicacao-outorgas%5Bdata_publicacao-disp=&amp;page=121</a> |
| Perfil construtivo de poços tubulares em processos de outorga | Estimativa do comportamento das formações subterrâneas  | SISEMA<br><br>SEMAD                                       | <a href="http://www.siam.mg.gov.br/siam/processo/processo_emprto_emprdor.jsp?pageheader=null&amp;num_pt=&amp;ano_pt=&amp;nome_empendedor=&amp;cpf_cnpj_emprdor=&amp;num_fob=&amp;ano_fob=&amp;cod_atividades=&amp;cod_outros_municipios=701&amp;nome_empreendime">http://www.siam.mg.gov.br/siam/processo/processo_emprto_emprdor.jsp?pageheader=null&amp;num_pt=&amp;ano_pt=&amp;nome_empendedor=&amp;cpf_cnpj_emprdor=&amp;num_fob=&amp;ano_fob=&amp;cod_atividades=&amp;cod_outros_municipios=701&amp;nome_empreendime</a>   |

| Tipo de Dado       | Uso no estudo  | Fonte             | URL  |
|--------------------|--|-------------------|--|
| Imagem CBERS 4A    | Visualização atual da área de estudo. Uso na elaboração da estratégia para os levantamentos de campo | INPE              | nto=&cpf_cnpj_emp=&tipoProcesso=&num_apefoutorga=&cod_emprego=&ano_apefoutorga=<br><a href="http://www.dgi.inpe.br/CDSR/">http://www.dgi.inpe.br/CDSR/</a> |
| Imagem ALOS PALSAR | MDE processado no QGIS   | ESDS              | <a href="https://search.asf.alaska.edu/#/">https://search.asf.alaska.edu/#/</a>  |
| Imagem Sentinel 2A | Elaboração da banda de umidade por meio do TCT   | Processado no GEE | <a href="https://code.earthengine.google.com/">https://code.earthengine.google.com/</a>  |

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

Os dados espaciais adquiridos em SISEMA (2019) foram processados no QGIS, já os dados encontrados no SIAM após tratamento, foram inseridos no *software* de modelamento Leapfrog Geo, adquirido por meio de licença acadêmica, para elaboração de um modelo geológico 3D como o objetivo de otimizar a visualização de tais informações geológicas e estimar seu comportamento.

Na plataforma do *Earth Science Data Systems* (ESDS), foi adquirida uma Imagem ALOS PALSAR, afim de extrair o Modelo Digital de Elevação – MDE, e posteriormente obter informações de curvas de nível da zona de transição do perímetro urbano e rural.

Para realizar a fotointerpretação da região de estudo, adquiriu-se a Imagem CBERS 4A de julho de 2020. O *Google Earth Engine* GEE foi utilizado para executar o *Tasseled Cap Transformation* (TCT) em um mosaico de imagens Sentinel-2 referente ao mês de julho de 2020 e selecionar a componente umidade.

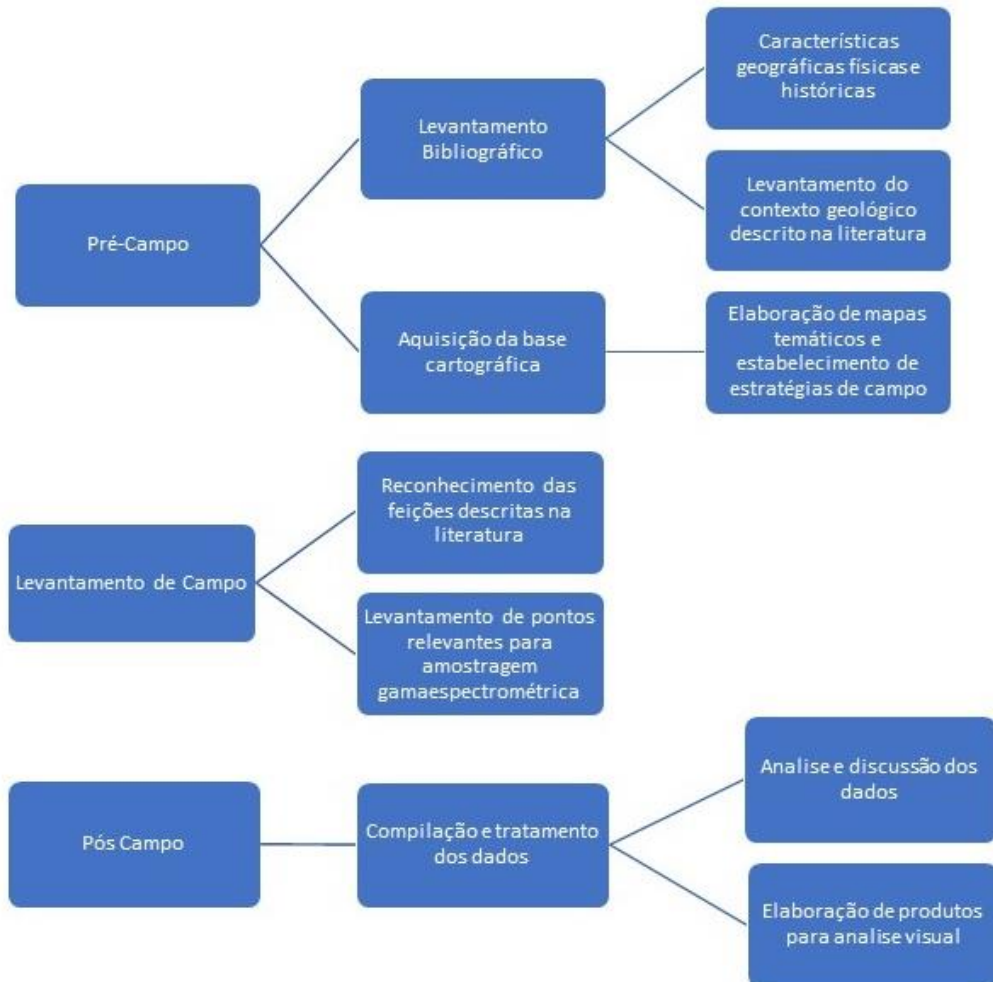
Para a realização do levantamento gamaespectrométrico, foi utilizado o espectrômetro portátil de raio gama RS-330 *Multipurpose Gamma-Ray Spectrometer* do fabricante *Radiation Solutions Inc.* do Instituto de Geociências e ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP – Campus Rio Claro.

### 3.3 MÉTODOS

Para executar os objetivos propostos, dividiu-se as atividades em três etapas principais, sendo elas: levantamento de dados sobre a região (pré-campo), levantamento de dados em campo, e análise e tratamento de dados obtidos (pós-campo). A fim de simplificar os

procedimentos que estão descritos na metodologia, criou-se um fluxograma explicativo (Figura 10).

Figura 10 - Fluxograma das metodologias aplicadas.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

### 3.3.1 Pré Campo

Após o levantamento bibliográfico e a aquisição da base cartográfica, as informações foram articuladas e organizadas no QGIS para a elaboração dos mapas temáticos a serem utilizados.

Oliveira (2019) relata a possibilidade de análise utilizando dados gamaespectrométricos sobrepostos a imagens de relevo sombreado geradas a partir de MDE. Assim como sobre a posição de dados geológicos e mapa ternário possibilitar a correlação dos contatos litológicos.

O TCT foi apresentada por Kauth e Thomas (1976) e converte as bandas originais de uma imagem de satélite em três componentes com significado físico na superfície (RODRIGUES et al., 2019).

O TCT é utilizada para detectar as mudanças na vegetação e a evolução da área urbana, além de extração de feições de interesse arqueológico (INSAURRALDE, 2019; ABATE et al., 2020).

A primeira banda do TCT está relacionada ao “brilho”. O segundo está relacionado ao "verdor" e é usado como um índice de vegetação saudável. O terceiro é 'umidade' ou 'amarelecimento' e é relevante para a umidade do solo ou do dossel (ABATE et al., 2020).

O método reduz os dados de várias bandas multiespectrais em um conjunto de três componentes principais, chamados de “brilho”, “verdura” usado como um índice de vegetação saudável e “umidade” relevante para a identificação da umidade do solo (ZANCHETTA; BITELLI; KARNIELI, 2016; ABATE et al., 2020; VIEIRA et al., 2021).

O GEE combina *petabytes* de imagens de satélite e catálogos de conjuntos de dados geoespaciais com recursos de análise em escala planetária (GOOGLE EARTHE ENGINE, [s.d.]). O Acesso gratuito a alta capacidade de armazenamento e processamento em ambiente de computação da nuvem Google para o processamento de imagens, torna o GEE um ambiente atrativo para trabalho (OLIVEIRA, 2019).

O script desenvolvido no GEE para a elaboração o índice de umidade (W) pelo TCT utilizou imagens Sentinel-2 disponível para a área de estudo para o mês de julho de 2020 usando Eq. (1):

$$\text{TCTW} = \text{BLUE}(\text{B2}) * 0.1509 + \text{GREEN}(\text{B3}) * 0.1973 + \text{RED}(\text{B4}) * 0.3279 + \text{NIR}(\text{B8}) * 0.3406 + \text{SWIR1}(\text{B11}) * -0.7112 + \text{SWIR2}(\text{B12}) * -0.4572 \quad \text{Eq. (1)}$$

O coeficiente de soma das bandas foi retirado de ABATE et al. (2020) e *Index DataBase* (IDB, [s.d.]) que dispõem dos coeficientes adequados para o sensor correspondente a imagens Sentinel.

A fim de englobar todas as formações com ocorrência na área de estudo, a escolha dos pontos de aferição em campo focou em locais de afloramento e/ou solo exposto, próximo dos limites entre as unidades, partindo da programação estratégicas de mapeamento caracterizada por Lisle, Barnes e Brabham (2011).

A compilação dos pontos visitados por Seer e Moraes (2017), dos pontos de achados fósseis atualizados por Pinto (2020) e os pontos levantados por Fernandes (1998) serviu de base para a determinação dos pontos visitados no levantamento de campo.

Analisando tais pontos de referência associados às porções com maior resposta a humidade sobrepostos ao mapa geológico de Ribeiro et al. (2012), foram selecionados 44

pontos correspondendo a porções de perfil de solo desenvolvido, afloramentos e zonas de contato entre as Formações Serra Geral e Uberaba.

### 3.3.2 Levantamento de Campo

Após a análise da disposição dessas informações, foi estabelecida uma estratégia para o levantamento das informações de campo incluindo viabilidade de acesso, o que resultou em 44 ponto na primeira campanha de campo.

Na segunda campanha de campo foi realizado o levantamento gamaespectrométrico, em alguns locais selecionados. O equipamento foi ajustado como o tempo de aquisição de dados para 180s. Em campo, o equipamento foi posicionado de forma a obter o maior contato com a rocha (

Figura 11b). Assim, após acionado o gamaespectrômetro e passados o tempo de aquisição de dados de K(%), eU (ppm) e eTh (ppm), os mesmos foram registrados.

Figura 11- Foto do a) equipamento utilizado. b) Utilização em campo.



Fonte: a) *Radiation Solutions Inc.* (2017), b) Do autor, 2021.

Em alguns pontos foram realizadas amostragem em seção, (pontos P01, P04, P06, P09 e P11), e em onde procurou-se obter amostragens espaçadas de acordo com o dimensionamento das estruturas encontradas.

### 3.3.3 Pós Campo

No pós campo os dados referente aos levantamentos de campo foram tratados e compilados, afim de sintetizar as informações adquiridas.



As informações geológicas de poços tubulares, após a compilação e tratamento foi possível mesurar a espessura dos pacotes litológicos, assim como Ribeiro et al. (2012). As informações de localização, posição, profundidade, intervalos litológicos e de nível água referentes aos poços tubulares dentro da área de estudo foram compiladas e posteriormente inseridas em arquivos específicos no formato .csv (Quadro 1) no *software* Leapfrog Geo para otimizar a visualização das informações geológicas.

Quadro 1 -Arquivos inseridos no Leapfrog Geo sobre a área de estudo Uberaba, MG, 2021.

| Nome do arquivo | Tipo de Informação              |
|-----------------|---------------------------------|
| Collar          | ID, coordenadas e elevação      |
| Survey          | ID, inclinação e mergulho       |
| Geology         | ID, intervalo litológico        |
| NA              | ID, intervalo de variação no NA |

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

As informação para inserção no Leapfrog Geo foram organizadas e separadas em quatro arquivos, como demonstrado no Quadro 1. O método de modelagem implícita foi usada observando a geologia e a limitação dos dados. A superfície foi modelada por meio do MDE combinada às informações contidas dos poços tubulares. Após a criação das camadas litológicas, também foi modelados os dados de nível d'água e incrementados ao modelo.

De posse de todas essas informações, foi então elaborado o mapa geológico da área de estudo, baseando-se na sobreposição das informações como topográficas, características geológicas e geofísicas observadas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSOES

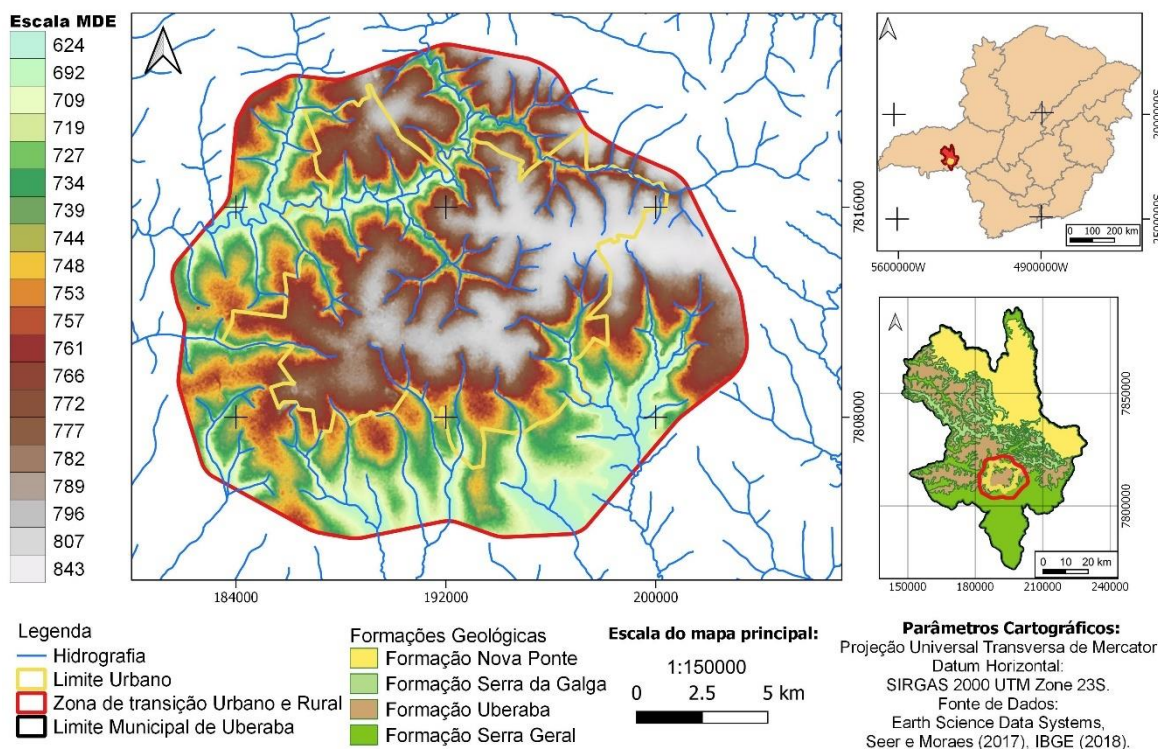
A compilação e integração dos dados espaciais e informações bibliográficas são fundamentais para a realização eficiente do mapeamento, para tanto são apresentados os mapas temáticos elaborados com as informações adquiridas sobre área de estudo.

### 4.1 MAPAS TEMÁTICOS E ESTRATÉGIA DE CAMPO

Com relação a variação topográfica da área de estudo, quando verificada a delimitação altimétrica do mapa geológico de Ribeiro et al. (2012) a Formação Uberaba é delimitada em cotas acima de 743m dentro da área de estudo, se aproximando do valor determinado no mapa

geológico de Seer e Moraes (2017) que a representa na cota de 738m. No entanto, Seer e Moraes (2017) posicionam a ocorrência da Formação Uberaba de forma geral entre as cotas de 750 e 840 metros. A Figura 12 apresenta o MDE para área de estudo, onde é possível verificar sua escala de variação altimétrica.

Figura 12 - Mapa de localização dos pontos visitados em campo.

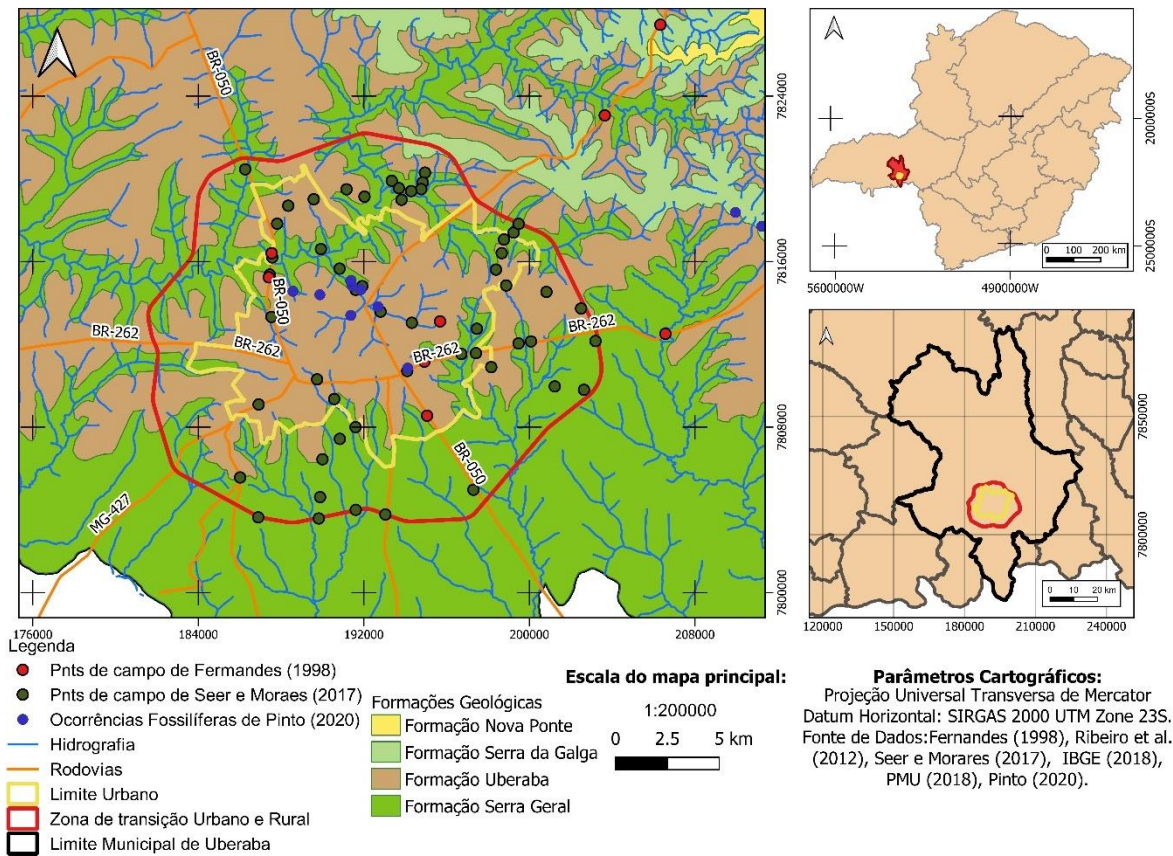


Fonte: Do autor, 2021.

Ao elaborar o mapa de elevação para a área de estudo (Figura 12) foi observado que a porção nordeste da zona de transição do perímetro urbano e rural apresenta ocorrências da Formação Serra da Galga no mapa geológico de Ribeiro et al. (2012), nessa região essa formação apresenta-se em cotas superiores a 800m, Seer e Moraes (2017) a estima próxima a cota de 830m, não apresentado ocorrência na área de estudo. Dessa forma, percebe-se que as cotas das formações variam de acordo com o ponto de análise, todavia os valores observados em campo se assemelham ao observado pelos autores supracitados.

Os pontos contidos na zona de transição do perímetro urbano e rural visitados por Fernandes (1998), somados aos pontos mapeados por Seer e Moraes (2017) juntamente dos pontos atualizados de ocorrência fóssil de Pinto, (2020) foram compilados de forma a sobrepôr a geologia de Ribeiro et al. (2012), como mostra a Figura 13.

Figura 13 - Mapa de afloramentos e ocorrência fossilíferas para a área de estudo.



Fonte: Modificado de Ribeiro et al. (2012).

Percebe-se que grande parte dos pontos apontados no mapa da Figura 13 estão vinculados a rede de drenagem e as vias e rodovias, locais que propiciam a exposição de material rochoso. Os demais pontos foram associados a outros tipos de atividades que acarretam a movimentação do solo, como obras de construção civil e mineração.

Na busca por outros possíveis afloramentos dentro da zona de transição do perímetro urbano e rural utilizou-se o índice de umidade do TCT como mostra a Figura 14.