

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL

Francisco Ferreira Martins Neto

COMPARTIMENTOS TOPO-MORFOLÓGICOS E MORFODINÂMICA DA BACIA DO
CÓRREGO DAS LAJES – UBERABA – TRIÂNGULO MINEIRO

UBERABA

2018

Francisco Ferreira Martins Neto

COMPARTIMENTOS TOPOMORFOLÓGICOS E MORFODINÂMICA DA BACIA DO
CÓRREGO DAS LAJES – UBERABA – TRIÂNGULO MINEIRO

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

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Aníbal Corradini

UBERABA

2018

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

M344c Martins Neto, Francisco Ferreira
Compartimentos topomorfológicos e morfodinâmica da bacia do
córrego das lajes – Uberaba – Triângulo Mineiro / Francisco Ferreira
Martins Neto. -- 2018.
111 f. : il., fig., tab.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) --
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2018
Orientador: Prof. Dr. Fabrício Aníbal Corradini

1. Bacias hidrográficas. 2. Geomorfologia. 3. Geologia estrutural. I.
Corradini, Fabrício Aníbal. II. Universidade Federal do Triângulo
Mineiro. III. Título.

CDU 556.51

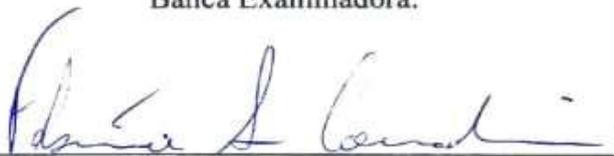
FRANCISCO FERREIRA MARTINS NETO

COMPARTIMENTOS TOPOMORFOLÓGICOS E MORFODINÂMICA DA BACIA DO
CÓRREGO DAS LAGES – UBERABA – TRIÂNGULO MINEIRO

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.

Aprovada em 27 de agosto de 2018

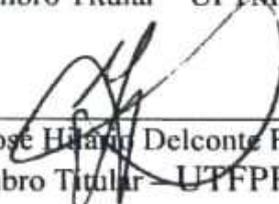
Banca Examinadora:



Prof. Dr. Fabrício Aníbal Corradini
Orientador – PPGCTA – UFTM



Prof. Dr. Carlos Alberto Araújo Campos
Membro Titular – UFTM



Prof. Dr. José Hilário Delconte Ferreira
Membro Titular – UTFPR

Dedico essa dissertação aos meus pais, Jairo e Juliana; à mulher da minha vida, Yara, por todo apoio e carinho nos momentos mais difíceis; meus “segundos pais” Antônio Carlos e Creusa, meus irmãos Rafael e Adriana, pois sem o amor deles, nada disso seria possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por abençoar e dar-me forças para essa conquista.

Agradeço especialmente a Jairo José de Melo Martins, meu pai, pelo exemplo de caráter a ser seguido, pelo amor incondicional, conselhos, broncas e por mais uma vez acreditar e contribuir na continuação da minha formação acadêmica. Pai, não me canso de dizer à todos que és a melhor pessoa que eu conheço e tenho orgulho de ser seu filho.

Agradeço a minha futura esposa, Yara, por todo apoio nos momentos que pensei em desistir, por todo o carinho e amor dedicado, por ter paciência com minhas angustias, por me apoiar incondicionalmente em um dos momentos mais difíceis de minha vida e por sempre ser essa pessoa fantástica, especial e intensa. Não teria conseguido se não fosse pelo seu amor, obrigado!

Aos meus tios, principalmente a Antônio Carlos Adib e Creusa Aparecida de Melo Martins Adib, pelo amor compartilhado, ensinamentos e companheirismo. Aos meus queridos irmãos e primos, que apesar da distância, sinto que a cada dia, nos tornamos mais próximos, sendo o alicerce de uma amizade verdadeira. A memória dos meus avós Ana Melo Martins, Francisco Ferreira Martins, Alaíde Aparecida Ferreira e Jorge Luiz Ferreira, que tão cedo partiram, restando boas lembranças e saudades que não podem ser mensuradas.

Agradeço ao meu orientador, professor Dr. Fabrício Aníbal Corradini, por todo o apoio nos estudos realizados, bem como por me proporcionar entender um novo conceito de ambiente. Especialmente por ter me apoiado nos percalços ao longo dessa jornada e não deixar de acreditar em meu potencial. Obrigado por todos os ensinamentos providos!

Agradeço aos amigos da primeira turma do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA), especialmente a Andréia, Amanda, Marcos, Matheus e Polyane, pelos momentos de descontração em meio as árduas pesquisas.

Agradeço aos amigos da época de graduação, que ainda se fazem presentes; aos que reencontrei no retorno a Uberaba; aos que remontam da infância em Sales Oliveira, pelos quais guardo o maior carinho.

Agradeço especialmente ao Luiz Armando Bispo (Guido), por todos os anos de amizade e, após tanto anos, ainda se mostrar praticamente um irmão! Não há palavras para mensurar o quanto sou grato por tudo! Obrigado, Guido!

Agradeço aos amigos de trabalho, especialmente ao Éder, Paulo, Roberto, Márcio, Pedro e Baltazar, pelos ensinamentos, conselhos, aprendizados e pelos momentos descontraídos nos almoços.

Agradeço ao professor Dr. Carlos Alberto Araújo Campos pelos ensinamento e por ter tido o privilégio de ser seu orientando no estágio à docência. Suas aulas foram um exemplo a ser seguido.

Agradeço ao professor Dr. José Hilário Delconte Ferreira por outrora ter participado da banca em minha graduação e aceitar o convite para compor a banca examinadora em minha dissertação. Tenho profunda admiração por seu trabalho e lhe tenho como um dos melhores docentes que tive o privilégio de ser aluno.

Aos professores do PPGCTA por todo o aprendizado proporcionado, bem como a oportunidade de realizar mais essa etapa em minha carreira acadêmica. Em especial, aos doutores Júlio e Ricardo, por todo o comprometimento, conhecimento e carinho demonstrados.

Enfim, meus sinceros agradecimentos a todos que fizeram parte de toda minha vida, e peço desculpas a quem não foi citado, pois de forma alguma, deixam de ter sua importância.

“O período de maior ganho em conhecimento e experiência é o período mais difícil da vida de alguém.”

Dalai Lama.

RESUMO

A formação das cidades está atrelada, inicialmente, a ocupação antrópica desordenada das áreas próximas aos recursos hídricos, ocasionando problemas relacionados a impermeabilização desses locais. Ainda, essas bacias estão condicionadas a morfodinâmica proveniente das características estruturais do relevo local. Desta forma, o objetivo do estudo foi utilizar as características físicas para identificar os compartimentos topomorfológicos da bacia do Córrego das Lajes, bem como verificar a ocorrência de basculamento na mesma. A área de estudo compreendeu a Bacia do Córrego das Lajes (26,7 Km²), localizada no perímetro urbano de Uberaba – Triângulo Mineiro – Minas Gerais. Por meio das características físicas, como declividade, hipsometria, hidrografia e, com o auxílio do software livre QGIS 2.18, foi possível contemplar sua área em três compartimentos topomorfológicos: Fundo de Vale - CFV (1,9 Km²), área com recorrência de inundações; Compartimento de Vertentes - CV (13,9 Km²) e Compartimento de Topos Suavemente Ondulados – TSO (10,9 km²). Observou-se a presença de laterização, bem como assimetria entre as margens do rio e na bacia, inferindo-se a ocorrência de basculamento tectônico. Os dados levantados foram especializados em camadas (shapefiles) e elencados, posteriormente sobrepostos, resultando em mapas temáticos. A apropriação desordenada dos compartimentos ocasionou a reconfiguração morfológica da área da bacia, bem como mudanças nos fluxos naturais do ambiente. A laterização condicionou as diferenças do relevo entre as margens dos rios, influenciadas ainda pelo basculamento, proveniente da migração do canal em virtude do neotectnia existente no local. Os resultados obtidos foram satisfatórios, demonstrando que as áreas susceptíveis a inundações estão localizadas na região do CFV, sendo diretamente relacionadas ao escoamento superficial no CV que acarretam em menor infiltração e maior volume e velocidade das águas, bem como a influência da falhas tectônicas na forma do relevo e dos canais de drenagem.

Palavras-chave: Unidades topomorfológicas; Bacia do Córrego das Lajes; Basculamento tectônico.

ABSTRACT

The formation of cities is initially linked to anthropogenic occupation of areas close to urban water resources and basin, causing problems related to the waterproofing of these sites. Also, these basins are conditioned to the morphodynamics coming from the structural characteristics of the local relief. In this way, the objective of the study was to use the physical characteristics to identify the geomorphological compartments of the Lajes Stream basin, as well as verify the occurrence of tipping in it. The study area comprised the Lajes Stream Basin (26.7 Km²), located in the urban perimeter of Uberaba - Triângulo Mineiro - Minas Gerais. By means of the physical characteristics, such as slope, hypsometry, hydrography and with the aid of the free software QGIS 2.18, it was possible to contemplate its area in three geomorphological compartments: Fundo de Vale - CFV (1.9 Km²), area with recurrent floods; Slopes compartment - CV (13.9 Km²) and Soft Wave Compartment - TSO (10.9 km²). It was observed the presence of laterization as well as asymmetry between the river banks and in the basin, inferring the occurrence of tectonic tipping. The collected data were specialized in layers (shapefiles) and listed, later superimposed, resulting in thematic maps. The disorderly appropriation of the compartments caused the morphological reconfiguration of the basin area, as well as changes in the natural flows of the environment. The lateralization influenced the differences of the relief between the river banks, influenced by the tipping, due to the migration of the canal due to the existing neotectonia in the place. The results were satisfactory, demonstrating that the areas susceptible to flooding are located in the CFV region, being directly related to the surface runoff in the CV that leads to lower infiltration and higher volume and water velocity, as well as the influence of tectonic faults in the form relief and drainage channels.

Keywords: Urban geomorphology; Urban basin; Tectonic Movements.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da Bacia do Córrego das Lajes - Uberaba - MG.....	19
Figura 2 - Rede de drenagem da Bacia do Córrego das Lajes - Uberaba - MG.....	28
Figura 3 - Crescimento da mancha urbana de Uberaba - MG.....	31
Figura 4 - Malha urbana atual e as áreas de expansão definidas no Plano Diretor do município de Uberaba - MG.	33
Figura 5 - Fator de Assimetria da Bacia	41
Figura 6 - Fator de Simetria Topográfico Transversal	42
Figura 7 - Mapa de elevação altimétrica da Bacia do Córrego das Lajes - Uberaba - MG.	45
Figura 8 - Áreas de ocupação antrópica na Bacia do Córrego das Lajes - Uberaba - MG.	48
Figura 9 - Perfil longitudinal do canal principal sob a Avenida Leopoldino de Oliveira na Bacia do Córrego das Lajes - Uberaba - MG	52
Figura 10 - Afloramentos de basaltos no baixo curso do Córrego das Lajes - Uberaba - MG, evidenciando a presença de Knickpoints	54
Figura 11 - Transectos utilizados na elaboração dos perfis topográficos na Bacia do Córrego das Lajes - Uberaba - MG.	55
Figura 12 - Transecto sobre a malha viária da Rua Jaime Bilharinho utilizado na elaboração do perfil topográfico na Bacia do Córrego das Lajes - Uberaba - MG. ...	57
Figura 13 - Rua Jaime Bilharinho, Uberaba - MG	58
Figura 14 - Transecto sobre a malha viária da Dr. Paulo Pontes, utilizado na elaboração do perfil topográfico na Bacia do Córrego das Lajes - Uberaba - MG	60
Figura 15 - Região da Bacia do Córrego das Lajes - Uberaba - MG com ocorrência de laterização	62
Figura 16 - Área com relevo apresentando formas similares a terraços, provenientes da presença de Lateritas na Bacia do Córrego das Lajes - Uberaba - MG.....	64
Figura 17 - Perfil topográfico Leste/Oeste na Bacia do Córrego das Lajes - Uberaba - MG	65
Figura 18 - Perfil topográfico Norte/Sul na Bacia do Córrego das Lajes - Uberaba - MG	65
Figura 19 - Compartimentos topomorfológicos da Bacia do Córrego das Lajes - Uberaba - MG.....	67

Figura 20 - Representação tridimensional dos Compartimentos topomorfológicos da Bacia do Córrego das Lajes - Uberaba - MG	68
Figura 21 - Área de intersecção da Avenida Santos Dumont e Leopoldino de Oliveira – Uberaba - MG.....	70
Figura 22 - Área de fundo de vale localizada na Bacia do Córrego das Lajes - Uberaba - MG	71
Figura 23 - Inundações recorrentes na região central da Bacia do Córrego das Lajes - Uberaba - MG.....	73
Figura 24 - Nascentes localizadas dentro da área da Bacia do Córrego das Lajes - Uberaba - MG.....	75
Figura 25 - Nascente na Avenida Leopoldino de Oliveira - Uberaba - MG.....	75
Figura 26 - Nascente canalizada entre as Av. Maranhão e Pedro Salomão - Uberaba - MG	76
Figura 27 - Nascente na Avenida Dr. Randolpho Borges Junior - Uberaba - MG	76
Figura 28 - Visão sentido Bairro-Centro na avenida Santos Dummond, destacando as edificações na região central da área urbana no município de Uberaba - MG.....	77
Figura 29 - Av. Nenê Sabino, Uberaba - MG.....	80
Figura 30 - Compartimentação estrutural do Triângulo Mineiro (MG), com destaque para as duas principais depressões.	82
Figura 31 - Afloramento de rochas ocasionado pelos processos erosivos na Bacia do Córrego das Lajes - Uberaba - MG	83
Figura 32 - Afloramento de rochas na margem inferior, ocasionado pelos processos erosivos e técnicas de contenção e/ou estabilização do talude na margem superior do Córrego das Lajes - Uberaba - MG	84
Figura 33 - Fator de Assimetria e Fator de Simetria Topográfico Transversal na Bacia do Córrego das Lajes - Uberaba - MG	86
Figura 34 - Meandramento do canal do Córrego das Lajes - Uberaba - MG	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificações das unidades geomorfológicas	21
Quadro 2 - Índices de sinuosidade dividido em classes	36
Quadro 3 - Classes de Relevô39	39
Quadro 4 - Indicadores fisiográficos da Bacia do Córrego das Lajes - Uberaba - MG46	46
Quadro 5 - Fator de Simetria Topográfico Transversal na Bacia do Córrego das Lajes - Uberaba - MG.87	87

LISTA DE SIGLAS

CPRM - Serviço Geológico do Brasil
CFV - Compartimento de Fundo de Vale
CV - Compartimento das Vertentes
Dd - Densidade de drenagem
DWG - Autodesk's Design Web Format
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAB - Fator de Assimetria da Bacia
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Ic - Índice de circularidade
Is - Índice de sinuosidade
IGAM - Instituto Mineiro de Gestão de Águas
Kc - Coeficiente de compacidade
Kf – Fator de Forma
Kp - *Knickpoints*
MDE - Modelo Digital de Elevação
OLI - Operational Land Imager
PIB - Produto Interno Bruto
PMU - Prefeitura Municipal de Uberaba
SIG - Sistema de Informação Geográfica
SRTM - Shuttle Radar Topography Mission
T - Fator de Simetria Topográfico Transversal
TIN - Triangulated Irregular Network
TSO - Compartimento dos Topos Suavemente Ondulados
WGS - World Geodetic System 84

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO GERAL.....	17
1.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	17
2	CONTEXTUALIZAÇÃO FÍSICA DA ÁREA ESTUDADA.....	18
2.1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA.....	18
2.2	GEOLOGIA.....	20
2.3	GEOMORFOLOGIA.....	21
2.4	PEDOLOGIA.....	24
2.5	CLIMA.....	25
2.6	VEGETAÇÃO	26
2.7	HIDROGRAFIA.....	27
2.8	HISTÓRICO DA BACIA DO CÓRREGO DAS LAJES	29
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
3.1	INDICADORES MORFOMÉTRICOS DE BACIA HIDROGRÁFICA.....	34
3.2	OBTENÇÃO DAS CURVAS DE NÍVEL	36
3.3	HIDROGRAFIA.....	37
3.4	DELIMITAÇÃO DA BACIA DO CÓRREGO DAS LAJES.....	37
3.5	MAPA DE IMPERMEABILIZAÇÃO (OCUPAÇÃO ANTRÓPICA)	38
3.6	MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO, MAPA HIPSOMÉTRICO E DECLIVIDADE	38
3.7	PERFIL TOPOGRÁFICO E LONGITUDINAL	39
3.8	COMPARTIMENTOS TOPOMORFOLÓGICOS.....	40
3.9	FATOR DE ASSIMETRIA E FATOR DE SIMETRIA TOPOGRÁFICO TRANSVERSAL	40
3.10	TRABALHO DE CAMPO	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44

4.1	FISIOGRAFIA DA BACIA	46
4.2	TRANSECTOS LONGITUDINAL E TRANSVERSAL	50
4.3	COMPARTIMENTOS TOPOMORFOLÓGICOS.....	66
4.3.1	Compartimento do Fundo de Vale (CFV) e áreas adjacentes	69
4.3.2	Compartimento das Vertentes (CV).....	74
4.3.3	Compartimento dos Topos Suavemente Ondulados (TSO).....	79
4.4	ANÁLISE PRELIMINAR DE BASCULAMENTO TECTÔNICO	81
5	CONCLUSÕES	91
	REFERÊNCIAS.....	93

1 INTRODUÇÃO

As cidades são sistemas complexos que podem interferir paisagens naturais, aumentando a vulnerabilidade de determinados locais principalmente pela construção de residências e demais infraestruturas urbanas (ANCHUELA et al., 2015). Nesse processo de ocupação antrópica, é inevitável a alteração do sistema ambiental, que por sua vez passa a incorporar outras estruturas, tais como edificações, canalização e retificação das redes de drenagem, bem como a impermeabilização do solo, limitação de áreas verdes, dentre outros, transformando sua dinâmica natural.

Desta forma, faz-se necessária uma análise na perspectiva das ciências geomorfológicas para corroborar com os processos responsáveis pela estruturação da paisagem, sendo que, estudos referentes as atividades neotectônicas são fundamentais, uma vez que podem influenciar nas formas do relevo, bem como em sua dinâmica.

No Brasil, essa temática ocorre a partir da década de 1960, com os primeiros trabalhos de análise da paisagem urbana a partir de uma visão geomorfológica, vinculada na sua abordagem os estudos de sistemas geoecológicos, buscavam a compreensão da paisagem como uma combinação dinâmica de elementos químicos, físicos biológicos e antrópicos que interagem entre si e se tornam constantemente mutáveis (BERTRAND, 2004).

Diversos estudos buscaram compreender a relação entre a geomorfologia urbana e conflitos ambientais, tais como Penteado (1972), que estudou as feições geomorfológicas relacionadas com as ações antrópicas na região de Rio Claro - SP; Casseti (1992) com o intuito de colaborar com a elaboração da carta geoambiental de Goiânia - GO, Silva (1994), seguindo a mesma ideia em Belo Horizonte - MG e Fujimoto (2002), na região metropolitana de Porto Alegre - RS; Pedro (2011) em um estudo da ocupação de compartimentos geomorfológicos de Presidente Prudente - SP; Schutzer (2012), em análise histórica das ocupações dos compartimentos da Grande São Paulo - SP e Miyazaki (2016) que espacializou os compartimentos em parte da área urbana de Ituiutaba - MG.

Outros buscam entender a influência do basculamento tectônico nos canais de drenagem e nas áreas de uma bacia hidrográfica, como Cox (1994) e Garrote et al. (2006) no Rio Mississipi, utilizando o fator de simetria topográfico transversal; Holbrook e Schumm (1999), analisando as ferramentas utilizadas para verificar as

respostas dos rios as deformações tectônicas de diversos estudos, Lima (2000), constatando o neotecnismo no nordeste brasileiro; Roy e Sahu (2015) averiguando o controle tectônico em relação a morfologia do canal Ajay-Damodar – Índia.

Durante o planejamento, desenvolvimento e gestão do ambiente urbano, geralmente considera-se somente parâmetros econômicos e sociais. Conseqüentemente, há uma ocupação de locais vulneráveis, que acarretam em danos a sociedade e economia, a partir de eventuais tragédias (BATHRELLOS et al., 2012). De acordo com Berhane e Walraevens (2012), para o planejamento urbano coerente, é necessário o estudo da geomorfologia e geologia de locais a serem ocupados, ou que já apresentam infraestrutura instalada. Ao se considerar o último caso, as análises geomorfológicas e tectônicas podem ser uma importante ferramenta para diagnóstico das formas do relevo e conflitos ambientais, bem como mitigação dos mesmos.

Nesse contexto, a região do Triângulo Mineiro, onde situa-se o município de Uberaba – MG, possui locais com alta declividade no perímetro urbano, que, aliada as características geomorfológicas e a ocupação inadequada, principalmente em locais próximos a afluentes, com tendência natural de alagamento, ocasiona diversos problemas, tais como enchentes e inundações, acarretando em prejuízos a sociedade.

Este cenário ocorre na bacia do Córrego das Lajes, onde se encontra praticamente todo o perímetro urbano de Uberaba – MG. Destaque para a região central da cidade, cujas avenidas principais e o centro comercial estão sobre os fundos de vales dos Córrego das Lajes e seus afluentes tributários. No seu entorno, estão as maiores áreas impermeabilizadas, resultado de um longo processo de especulação imobiliária e adensamento urbano. Infraestruturas urbanas, aliada a falta de vegetação ciliar, e a canalização de quase todo o córrego, transformam a morfologia do local, potencializando as fragilidades do sistema ambiental.

Contudo, ainda são incipientes os estudos que permitem um entendimento dos processos geomorfológicos como um sistema ambiental integrado e dinâmico da bacia dos Córregos das Lajes, motivo pelo qual despertou o interesse da pesquisa proposta. A necessidade da análise é imprescindível para avançar no entendimento desse sistema ambiental e que vêm para complementar outras informações levantadas no campo da engenharia.

Desta forma, é proposto nesse trabalho uma análise dos elementos e processos morfológicos do sistema ambiental da bacia do Córrego das Lajes, na cidade de Uberaba, MG. Espera-se que os resultados permitam avançar na

compreensão dos processos geomorfológicos e possam trazer valiosas contribuições sobre os problemas ambientais para além da abordagem de engenharia, e ainda, subsidiar no planejamento ambiental e urbano com políticas públicas.

1.1 OBJETIVO GERAL

A presente dissertação teve como objetivo geral compreender os compartimentos topomorfológicos e a morfodinâmica da Bacia do Córrego das Lajes, Uberaba, MG, relacionar a influência da ocupação e antropização na dinâmica natural e avaliar a hipótese da ocorrência de basculamento tectônico.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Visando alcançar o objetivo geral do estudo, são os objetivos específicos:

- Analisar as características do sistema ambiental na bacia do Córrego das Lajes;
- Identificar a ocupação da bacia do córrego das Lajes e suas alterações dinâmicas no seu sistema ambiental;
- Levantar as feições morfológicas do relevo a partir de perfis topográficos transversais e longitudinais;
- Verificar a ocorrência de basculamento tectônico da Bacia do Córrego das Lajes utilizando o Fator de Assimetria da bacia e o Fator de Simetria Topográfico Transversal;
- Avaliar as formas morfológicas e associá-las a processos morfodinâmicos.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO FÍSICA DA ÁREA ESTUDADA

Este capítulo reúne informações gerais da região do Triângulo Mineiro e especificamente da bacia do Córrego das Lajes. Serão abordados a localização da área estudada, suas características, aspectos físicos (geologia, geomorfologia clima e outras) e sociais.

2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A bacia do Córrego das Lajes encontra-se na região do Triângulo Mineiro, Estado de Minas Gerais, especificamente na área urbana do município de Uberaba (Figura 1). Está localizada entre as coordenadas de latitude 19° 05' 03''S, 19° 37' 38''S, 20° 07' 26''S e 19° 24' 46'' S e de longitude 47° 52' 07''O, 47° 34' 53''O, 47° 53' 52''O e 48° 21' 08''O (PMU, 2005a, 2005b).

Nota-se que o local apresenta uma posição privilegiada no âmbito geoeconômico, uma vez que, localiza-se num raio de aproximadamente 500 km dos principais centros financeiros, consumidores e administrativos do país como São Paulo, Goiânia e Brasília e de cerca de 480 Km de Belo Horizonte

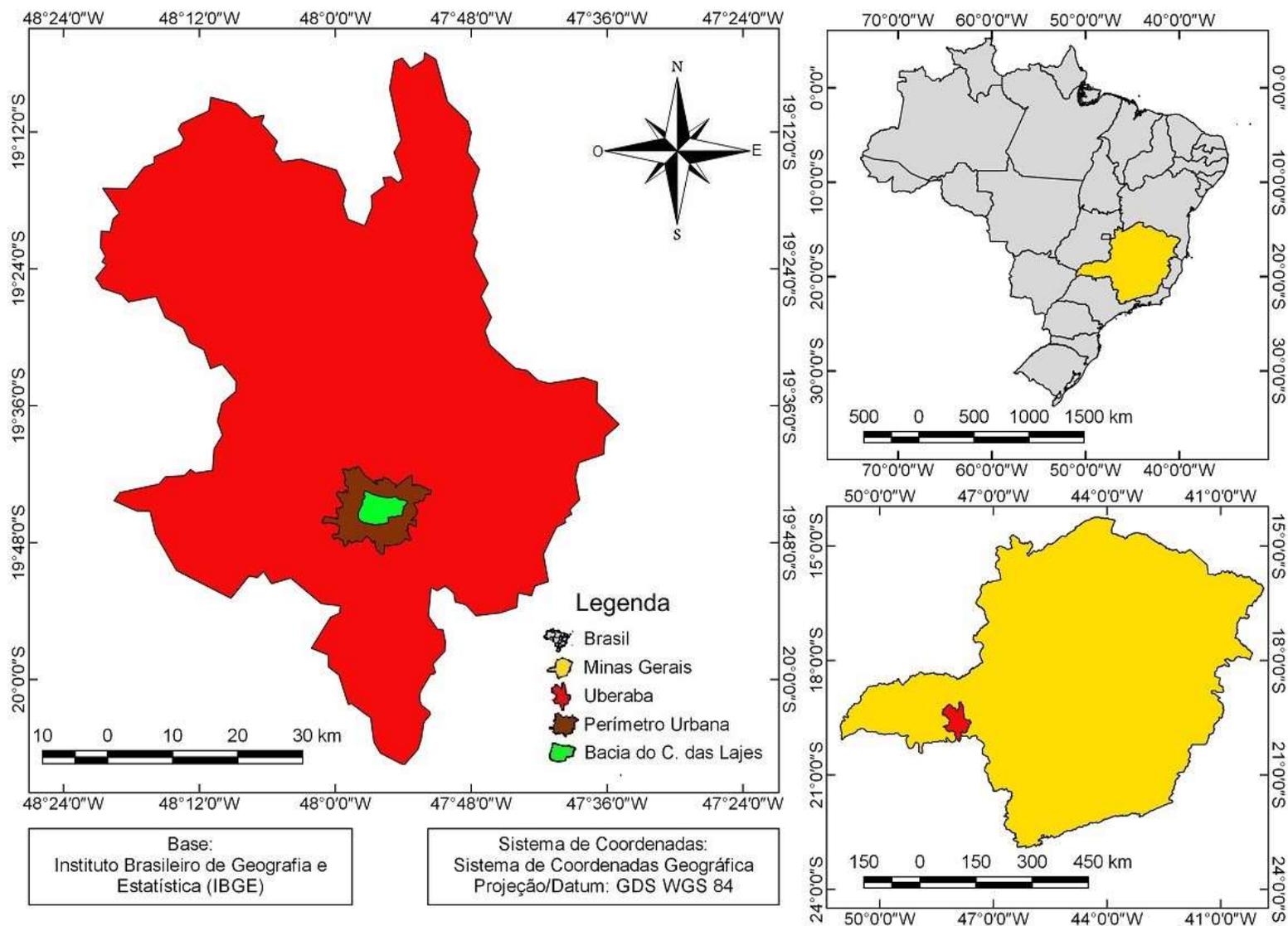
Quanto às atividades econômicas, segundo IBGE (2018), levando em consideração a participação no Produto Interno Bruto (PIB) destaca-se a prestação de serviços (52,65%), indústria (27,49%), impostos (12,87%) e agropecuária (6,99%).

O município de Uberaba apresenta área física de 4.540,51 km², sendo composto pelos distritos de Ponte Alta, Santa Rosa e Capelinha do Barreiro, perfazendo aproximadamente 0,6% da área total do Estado de Minas Gerais. Com perímetro urbano de 256 km², faz divisa com os municípios de Uberlândia e Indianópolis ao norte, Nova Ponte e Sacramento a leste, Conquista, Delta, Água Comprida ao sul, e Conceição das Alagoas e Veríssimo ao oeste (PMU, 2005a; PMU, 2005b; PMU, 2009a; PMU, 2009b).

Segundo o último censo, realizado em 2010, possuía uma população de 295.988 habitantes, com estimava de pouco mais de 328.000 em 2017 (IBGE, 2010), alcançando números acima de 66,0 hab./km² de densidade demográfica.

Em 1990, a população era constituída por 211.824 habitantes, apresentando crescimento de 18,99% até o ano de 2000, onde o censo contabilizou 252.051 e 17,44% em 2010.

Figura 1 - Mapa de localização da Bacia do Córrego das Lajes - Uberaba - MG



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

2.2 GEOLOGIA

A geologia da região onde o município está localizado é constituída por rochas sedimentares, pertencentes a feição geotectônica da Bacia Sedimentar do Paraná, provenientes dos Grupos São Bento e Bauru, que por sua vez, são de origem do período Mesozoico, especificamente no Cretáceo Superior. O Grupo São Bento é representado pelas Formações Botucatu e Serra Geral e o Grupo Bauru por Araçatuba, Marília, Presidente Prudente, São José do Rio Preto, Vale do Rio do Peixe (anteriormente denominada Adamantina) e Uberaba, sendo a última, com ocorrência apenas no município de mesmo nome (ABDALA, 2012; BARCELOS, LANDIM, SUGUIO, 1981; BARCELOS, 1984; FERNANDES, 1998; FERNANDES, COIMBRA, 2017).

Em relação a formação Botucatu, segundo Orlandi Filho, Krebs e Giffoni (2006), era denominada anteriormente de Gres de São Bento na descrição realizada inicialmente por Gonzaga de Campos em 1889, constituída de arenitos eólicos típicos oriundos de ambiente com características desérticas, de coloração vermelho-tijolo, róseos pintalgados de branco ou arroxeados e granulometria entre fina e média, sendo a segunda predominante. Assim como a coloração, a forma dos grãos apresenta variações entre subarredondados a arredondados com diferentes diâmetros, pouco argilosos e friáveis quando não silicificados e frequente presença de cimento silicoso ou ferruginoso (SANT'ANNA et al., 1989; CPRM, 2010).

A Formação Serra Geral, descrita inicialmente por White em 1908, recebeu sua alcunha atual por Gordon Jr. em 1943, sendo proveniente de sucessivos derramamentos vulcânicos, constituída de basaltos toleíticos e andesitos basálticos de coloração cinza-escuros, maciços, intercalados descontinuamente com fraturas conchoidais características e de granulação fina a afanítica, geralmente muito consistentes (SANT'ANNA et al., 1989; CPRM, 2010; Fernandes, 1992; Orlandi Filho, Krebs e Giffoni; 2006; PEATE et al., 1992).

A formação Uberaba, encontrada na região do Triângulo Mineiro é constituída por tufos e arenitos tufáceos de cor esverdeada, bem como a ocorrência de siltitos, arfilitos e arenitos conglomeráticos de origem vulcânica, em ambiente sedimentação fluvial meandrante. Já a formação Marília é constituída de depósitos arenosos imaturos, com textura variável, grãos angulosos e com minerais com abundância de

feldspatos, depositadas em sistemas de leques aluviais, fluviais e pântanos, com ocorrência contínua de chuvas torrenciais (FERNANDES, 1992).

2.3 GEOMORFOLOGIA

A Geomorfologia é a ciência aplicada no estudo e análise das formas do relevo, por meio de suas características morfológicas, condicionadas pelos materiais de origem, processos atuantes e a dinâmica evolutiva, sendo que as feições topográficas são reflexos dos processos morfogenéticos e influenciam na aptidão de uso do solo (CHRISTOFOLETTI, 2012). É um dos primeiros componentes que devem ser levados em consideração, visto que irá definir as formas de relevo, bem como a morfogenética, influenciando todos os processos que moldaram a superfície terrestre, bem como taxas de erosão e deposição de sedimentos (MARTÍNEZ-GRAÑA et al., 2017).

A geomorfologia, segundo Ab'Sáber (2003), baseado nos estudos em relação aos domínios morfoclimáticos do Brasil realizados pelo autor em 1965, condiz que Uberaba encontra-se em área denominada faixa de transição, apresentando características complexas e heterogênicas derivadas das formações circunvizinhas, sendo elas o Domínio dos Cerrados, com predomínio de chapadões tropicais interiores com cerrados e florestas de galerias com vegetação característica e Domínio dos Mares de Morros, apresentando áreas mamelonares (topos aplainados e vertentes convexas) tropicais atlântica (resquícios) e chapadões florestados.

Segundo Ross (1992) as classificações das unidades (ou domínios) geomorfológicas (Quadro 1), são elencados em classes denominadas táxon. Quanto maior o nível categórico (maior táxon), tem-se maior especificidade nas características da área de estudo, perfazendo assim, estudo em menores escalas.

Quadro 1 - Classificações das unidades geomorfológicas

Táxon	Unidades	Descrição
1º	Morfoestruturais	Bacias sedimentares
2º	Morfoesculturais	Planaltos e Planícies
3º	Morfológicas	Topos, vertentes e vales
4º	Padrão de formas semelhantes	Formas tabulares
5º	Setores das vertentes	Geometria, genética e dinâmica

6º	Formas menores	Voçorocas, ravinas e assoreamentos
----	----------------	------------------------------------

Fonte: Adaptado de Ross (1992)

O primeiro nível destaca os agrupamentos genéticos de litologia e suas estruturas de forma geral. O segundo, reflete os resultados do intemperismo ocorrido em decorrência dos fatores climáticos, associados a influência da resistência litológica das estruturas. O terceiro nível remete as formas de relevo formadas ou em formação, por meio dos processos denudacionais e agradacionais, representada pelas diferentes rugosidades, bem como a dissecação ou diferença no formato dos topos, vertentes e vales. O quarto, quinto e sexto nível, destacam-se, respectivamente pelo padrão de formas semelhantes, vertentes com geometrias divergentes e processos erosivos e sedimentários atuais.

Em relação aos Domínios morfoestruturais (primeiro nível hierárquico da classificação do relevo), o município está inserido na região das Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozóicas, caracterizado por áreas de Planaltos e chapadas construídas sobre rochas sedimentares (segundo nível), podendo se apresentar, em alguns casos, dobradas e/ou falhadas devido a diversidade nos processos de sedimentação (IBGE, 2009).

Segundo IBGE (2009), as unidades geomorfológicas (terceiro nível) situam a região em Planalto Setentrional da Bacia do Paraná, com altitudes elevadas e em áreas onde os processos de erosão são maiores que os de sedimentação. De acordo com Campos (2017), essa classificação condiz a um relevo proveniente da evolução dessa Bacia, de aspecto relativamente homogêneo, morfologicamente caracterizada por chapadas.

Ainda no que tange a geomorfologia, Corsi (2003), ressalta que a mesma está diretamente relacionada a geologia do local, onde, eventos de descontinuidade (mudança de direção) na compartimentação estrutural da região, ocasionou o surgimento de depressões que moldaram e preservaram as formações do local.

No caso de Uberaba, o município está situado na unidade geomorfológica denominada Área de Relevo Medianamente Dissecado e possui relevo com topos convexos nivelados entre 750 e 900 metros, apresentando declividades entre 3º e 15º. Ainda, nota-se a incidência de áreas de alta declividade e grandes desníveis no perímetro urbano que, aliados com as recorrentes precipitações intensas, bem como

a impermeabilização cada vez maior, podem favorecer as inundações (BACCARO et al., 2001; PMU, 2009a, BACCARO, 1991).

Segundo Rodrigues (2016), esses aspectos citados anteriormente, consorciadamente a expansão urbana, diminuem a capacidade de infiltração das águas no solo, aumentando o escoamento superficial e acarretando maior probabilidade de ocorrência de enchentes e inundações.

Em relação aos ambientes onde ocorreu a apropriação antrópica do relevo, os aspectos geomorfológicos, apesar de naturais e cíclicos, são modificados a partir da ação do homem no ambiente. Desta forma, a geomorfologia urbana busca o estudo da influência antrópica no ambiente, tratando o ser humano como o agente transformador de perturbações, podendo, de acordo com as modificações ocorridas, alterar toda a dinâmica natural, em escalas regionais (CASSETI, 1991).

Atualmente, nota-se que estas transformações ocorrem em um curto espaço de tempo, sendo que em poucos anos há uma alteração efetiva em toda dinâmica sedimentar de vertentes. Guerra (2011) salienta que, ao se considerar o tempo geomorfológico, estas modificações implicam em uma dinâmica recente incisiva, alterando alterações no ambiente, sendo necessário se considerar o tempo “natural” para sua readequação.

Durante este processo, ocorrem as chamadas “catástrofes ambientais”, principalmente a partir de eventos ambientais extremos, tais como chuvas, que nada mais são do que a dinâmica natural do terreno buscando atingir seu equilíbrio novamente (SCHUTZER, 2012).

Assim, nota-se, a fragilidade ambiental é intensificada a partir da alteração da dinâmica da paisagem, intensificando assim, processos erosivos, enchentes, movimentos de massas, dentre outros. Esse, de acordo com Guerra (2011) é possível que a morfodinâmica superponha a morfoestrutura da paisagem.

Ainda, há uma intensificação de processos erosivos em bacias hidrográficas urbanas, principalmente devido ao escoamento superficial e infiltração da água no solo, uma vez que, qualquer alteração na dinâmica natural acarreta na interrupção ou redução da evapotranspiração. Este fato, aliado a ausência de solos com horizonte orgânico, e a falta de vegetação, faz com que haja uma intensificação do escoamento superficial, resultando em processos erosivos (CASSETI, 1991).

Obras de engenharia, visando a conformação topográfica, também alteram a dinâmica das vertentes, fazendo com que haja uma maior ou menor carga de

sedimentos, a serem depositados nos corpos hídricos. Assim, resultando em um balanço morfopedológico, positivo, ao se constatar o excesso de sedimentos, ou negativo, a partir da ausência de sedimentação ativa, alterando desta forma, a dinâmica natural das bacias hidrográficas (SCHUTZER, 2012).

Desta forma, os elementos da paisagem, antrópicos ou naturais, não podem ser entendidos de maneira unilateral, visto que, ao considera-los como elementos separados, não se considera as ações e reações condicionadas pela matéria e suas fontes energéticas (CASSETI, 1991).

2.4 PEDOLOGIA

O solo pode ser definido como uma coleção de corpos naturais, constituídos de partes sólidas, líquidas e gasosas, formadas por materiais minerais e orgânicos, podendo ser vegetados, além de, eventualmente, sofrerem modificações por meio de ações antrópicas.

Quanto a sua disposição, apresentam-se em seções aproximadamente paralelas, denominadas camadas, quando pouco influenciada pelos processos pedogenéticos ou horizontes, quando refletem o intemperismo da rocha ou sedimentação de natureza diversa. Ambos são distintos do material de origem inicial, proveniente de adições, perdas, translocações e transformações de energia e matéria ocorridas ao longo do tempo em consequência da influência do clima, organismos e relevo (EMBRAPA 1999, EMBRAPA 2014).

A região do Triângulo Mineiro, bem como o município de Uberaba, apresenta predominantemente Latossolos com diferentes graus de fertilidade, texturas médias, variando de arenoso a argiloso, destacando-se Latossolos Vermelho Escuro distrófico e Latossolos Roxo Distrófico (EMBRAPA, 1982; GALETI, 1982; CRUZ, 2003).

Ainda, Rodrigues (2016), baseada nos estudos de Barcelos (1984), destaca-se o predomínio dos seguintes solos na região de Uberaba: Latossolo Vermelho Amarelo em Chapadões; Argissolo em encostas; Latossolo Vermelho Escuro em áreas de menor altitude e Latossolos vermelhos distroféricos nas proximidades das margens do Rio Grande. A autora afirma que a textura dos solos arenosos da região condiz as Formações Uberaba e Marília e os solos Argilosos a Formação Serra Geral.

Os Latossolos Vermelho-Amarelo estão associados a áreas que apresentam relevos planos, suave ondulados ou ondulados, em locais bem drenados,

profundidade elevada e uniformidade de cor, textura e estrutura. Já os Latossolos vermelho-escuros se diferenciam do anterior pela coloração vermelha acentuada devido à forte presença de óxidos de ferro (EMBRAPA, 2014).

Argissolos são conhecidos por sua capacidade de armazenamento de água às plantas por um tempo mais longo devido ao gradiente de textura no perfil destes solos e características estruturais, muito influenciadas pela mineralogia da argila.

2.5 CLIMA

Na região sudeste há o predomínio das massas de ar Equatorial Continental, Tropical Continental e Tropical Atlântica, sendo a última, formada pelo anticiclone tropical do Atlântico Sul, que no inverno ocasiona a escassez das chuvas nessa região, no período de maio a outubro. Quando há a ocorrência, são chuvas frontais, provenientes das frentes frias das massas polares (Rosa, 1991).

De acordo com a proposta de classificação de Köppen, o clima de Uberaba é definido como Tropical Úmido de Savana (Aw), apresentando duas estações bem definidas, sendo uma época seca no inverno (abril a setembro), com valores de precipitação inferiores a 60 mm e temperaturas superiores a 18°C (temperatura anual máxima entre 25,1°C a 30,3°C e mínima de 15,8°C a 17,5°C) e estação úmida no verão, com a concentração de chuvas (outubro a março) também na primavera, com média anual entre 1300 e 1700 mm, os meses de dezembro e janeiro são os mais chuvosos (ABDALA, 2005; ROSA, 1991; SÁ JUNIOR, 2009; NOVAIS, 2011).

Em Uberaba há a incidência de aproximadamente 360 horas de insolação média anualmente e o meses de dezembro, janeiro e fevereiro são os de maior volume de precipitação, variando entre 42,8 e 541 mm/mês (ABDALA, 2005; SILVA, 2003)

Segundo Abdala (2005), o delineamento da paisagem, bem como a evolução geológica podem ser associados pelas condições climáticas, aferindo que, no local, os processos de perda d'água do meio ambiente para a atmosfera ocorrem pela evapotranspiração, fato corroborado pela incidência solar e temperatura da região.

A umidade relativa média anual, segundo Embrapa (1982), varia entre 70 e 75%, com oscilação de distribuição sazonal, com máxima de 81% em dezembro e mínima de 52% em agosto.

2.6 VEGETAÇÃO

O estado de Minas Gerais possui uma heterogeneidade de formações florestais, nas quais, de acordo com Coura, Shimabukuro e Freitas (2009), destacam-se o Cerrado, Floresta Estacional Semidecidual e Caatinga. No entanto, a formação original encontra-se alterada devido intensas modificações ao longo do tempo, principalmente pelas atividades antrópicas relacionadas urbanização e agricultura.

Especificamente no Triângulo Mineiro, o domínio fitogeográfico predominante é o cerrado. Ribeiro e Walter (2008) e Rizzini (1997) destacam que o cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, apresentando diversas fisionomias, de acordo com as características predominantes do local.

Desta forma, o cerrado possui, de acordo com a região em que está localizado, características distintas, nas quais, poderão prevalecer espécies arbóreas, com a formação de dossel contínuo, denominadas cerradão, locais onde as árvores incidem em menor escala, contemplando espécies de gramíneas, ervas e arbustos, conhecida como cerrado *strictu sensu*, e, por fim, campos, onde predominantemente sucedem gramíneas, sendo designada como campo limpo ou campo sujo (COURA, SHIMABUKURO; FREITAS, 2009; RIBEIRO; WALTER, 2008; VELOSO, RANGEL FILHO; LIMA, 1991).

Em ambientes com abundância de recursos hídricos, tais como bordas de rios e nascentes, há a formação de uma vegetação com maior exuberância, conhecida como mata ciliar. Nestes locais, é comum a maior heterogeneidade de espécies, que poderão apresentar similaridade entre si, independentemente do domínio fitogeográfico dominante (RIZZINI, 1979).

Devido à ausência da vegetação original, é possível caracterizar a fisionomia na bacia do Córrego das Lajes a partir dos remanescentes florestais existentes. Em um estudo realizado por Pegorari (2007) para a Mata do Ipê, Mata do Carrinho e Parque Jacarandá, ambos inseridos na área estudada, constatou-se a presença de cerrado, podendo assim, aferi-lo como o domínio fitogeográfico com maior ocorrência da bacia, que também contempla mata ciliar nas margens do córrego, principalmente nos remanescentes que ainda existem

2.7 HIDROGRAFIA

A hidrografia consiste na rede de drenagem de uma determinada região, podendo ser delimitada a partir da direção dos corpos hídricos, perfazendo assim uma subbacia ou bacia hidrográfica (VILLELA E MATTOS, 1975).

Segundo Justino, Paula e Paiva (2011), a recarga dos córregos pelo ciclo hidrológico ocorre em etapas, dentre elas, a precipitação, infiltração, escoamento superficial, dentre outros, sendo que, no âmbito urbano, o último citado se faz de maior relevância.

O Córrego das Lajes, bem como os seus demais tributários é um importante afluente do sistema fluvial Uberaba – Rio Grande no seu médio curso, na porção sudeste do Triângulo Mineiro, localizado no perímetro Urbano do município de Uberaba.

Sua bacia hidrográfica abriga uma rede de drenagem tributária (Figura 2) formada por vários canais canalizados e retificados que abrange área de 26,7 km² e perímetro de 22,45 km.

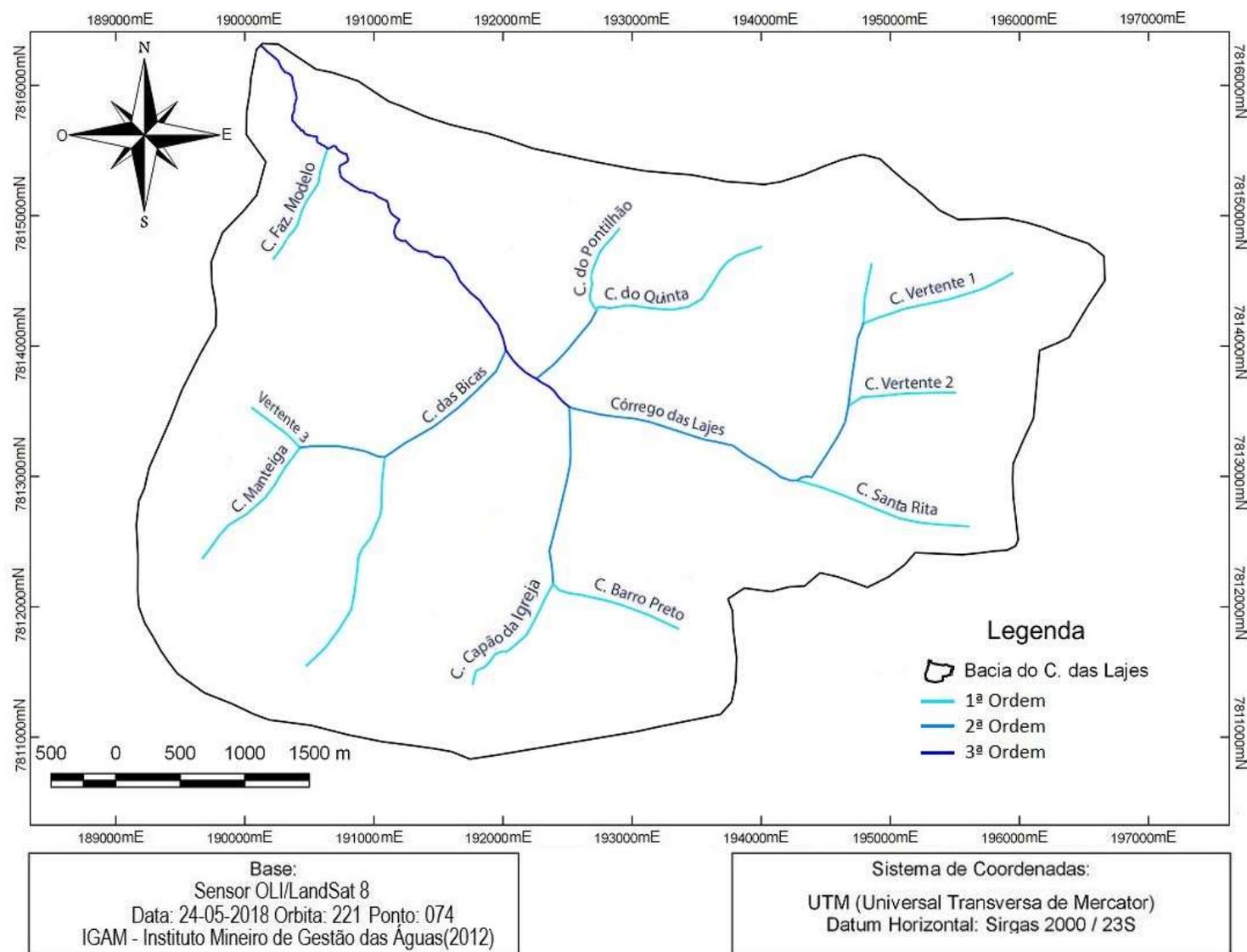
Dentre os canais tributários canalizados e/ou retificados, encontram-se o Córrego das Bicas, Córrego Barro Preto, Córrego do Pontilhão, Córrego Capão da Igreja, dentre outros.

Nos estudos realizados por Moraes (2001), a Bacia do Córrego das Lajes apresentava aproximadamente 61% dos cursos d'água canalizados (fechados), sendo que, especificamente Córrego das Lajes encontrava-se canalizado em 43% do seu percurso. O mesmo autor afirma que as obras de canalização realizadas foi a solução viável no período de 1970 para problemas relacionados a mobilidade urbana, bem como saneamento municipal.

Segundo Sousa (2016), assim como diversos municípios brasileiros, é verificado que Uberaba apropriou-se da sua rede de drenagem para escoamento das águas pluviais, bem como o despejo de esgotos domésticos, principalmente na área central.

Destaca-se a importância dessa bacia por se encontrar na sua totalidade em território urbanizado na cidade de Uberaba, cujos bairros mais populosos e o centro principal da cidade se encontram na sua área de captação de água.

Figura 2 - Rede de drenagem da Bacia do Córrego das Lajes - Uberaba - MG



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Souza (2008) ressalta que 60% de toda a área urbana do município localiza-se dentro da bacia do Córrego das Lajes, sendo o mesmo, responsável pela drenagem da maior parte da chuva excedente na mesma.

2.8 HISTÓRICO DA BACIA DO CÓRREGO DAS LAJES

A formação da região denominada Triângulo Mineiro baseou-se em três fatores primordiais que impulsionaram o desenvolvimento regional, sendo economicamente a exploração mineral e o pastoreio, a rota favorável em relação a nova capital (Brasília) e o agronegócio (RIBEIRO, OLIVEIRA, 2015). Essas premissas possibilitaram o desenvolvimento da região, posteriormente desmembrada em diversas cidades.

Dessa forma, Uberaba, bem como as demais cidades que compõem a região do Triângulo Mineiro, teve seu processo de ocupação desencadeado a partir de excursões organizadas que buscavam iniciar a ocupação do interior do território nacional. Desta forma, primeiramente surgiram aldeias que se desenvolveram para vilas, tornando, ao longo dos anos, pequenas cidades interioranas (MORI; DANTAS, 2011).

Em meados de 1810, houve a configuração da cidade de Uberaba, a partir da colonização de pioneiros advindos da região de Desemboque, datado como primeiro povoamento do Triângulo Mineiro. Este processo de ruralização dos pequenos povoados tem como principal fator impulsionador o declínio das atividades mineradoras, tanto em Minas Gerais como em Goiás, devido ao esgotamento dos recursos naturais. Assim, estes trabalhadores buscaram a região para se dedicarem as atividades agrícolas, principalmente a pecuária. (GUERRA; ROSA; OLIVEIRA, 2015)

Tendo como primeiro nome Arraial da Farinha Podre, Uberaba foi emancipada por meio da lei nº 28 de 22 de fevereiro de 1836. Nota-se que entre 1827 e 1859, apresentou um crescimento acentuado, principalmente pelo comércio de sal e a pecuária (MORI; DANTAS, 2011). Assim, Uberaba passou a ser considerado um agrupamento urbano, com grandes possibilidades de expansão e investimento. O formato da cidade foi criado a partir da delimitação de bairros, tendo como fatores limitantes os agentes físicos do terreno, tais como topografia, colinas e córregos, que por muito tempo impossibilitaram a expansão urbana. O Córrego das Lajes, até o ano de 1855 era visto como um obstáculo a expansão, posteriormente, ambas as margens

do corpo hídrico passam a incorporar o ambiente urbano (GUERRA; ROSA; OLIVEIRA, 2015).

No entanto, a partir de 1858 houve um declínio na economia local, principalmente pela abertura de uma nova rota de exploração pelo rio Araguaia, excluindo assim, a cidade de Uberaba da ligação entre o interior paulista e mato grosso. Desta forma, há uma estabilização no crescimento local (FONSECA, 2014).

A chegada de imigrantes, advindos de diversos locais, possibilitou a dinamização do comércio de Uberaba, fazendo com que, a partir da década de 1950, houvesse o aumento de obras de infraestrutura urbana, tais como redes de água, esgoto e energia elétrica (MORI; DANTAS, 2011).

Desta forma, as obras de canalização do Córrego das Lajes, que, nesta época, já estava inserido no centro da cidade, iniciaram-se em 1960, visando alterar o percurso natural do corpo hídrico. As mesmas começaram a pouco menos de 2 quilômetros de distância a jusante da nascente do Córrego das Lajes. Desta forma, a partir destas intervenções, o córrego passa a ser o responsável pelo recebimento de toda a carga de esgoto da região central da cidade, juntamente com os outros córregos inseridos em sua bacia, uma vez que estas obras também incorporaram os demais córregos tributários, construindo assim, galerias retificadas, que mais tarde se constituiriam em partes do sistema viário de Uberaba (CARVALHO, 2004).

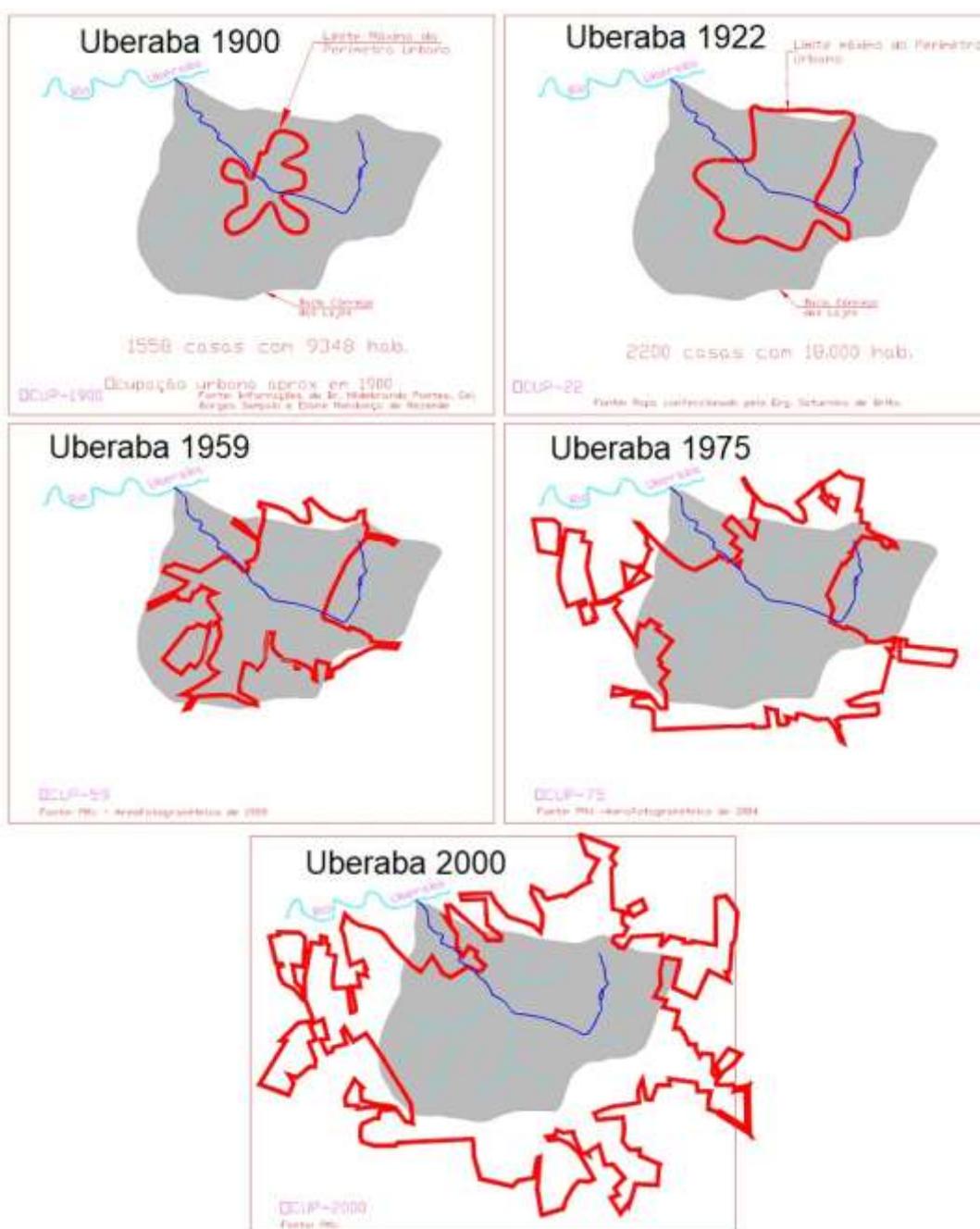
Segundo a PMU (2009), a área urbana do município de Uberaba localiza-se quase que em sua totalidade dentro da bacia do Córrego das Lajes, apresentando intenso crescimento demográfico a partir de 1900 (Figura 3).

A evolução da ocupação do município até 1922 ocorreu apenas na região dentro dos limites da bacia do Córrego das Lajes, sendo que posteriormente, entre 1922 e 1959, ocorreu o surgimento das primeiras casas no Alto da Boa Vista. A partir desse período, observa-se um crescimento acelerado, sendo que entre 1995 e 2000, tem-se ocupação superior a 70% da bacia e com vários loteamentos fora da área geográfica da mesma (PMU, 2009; OLIVEIRA, 2005). Ainda, no final da década de 1990, a mancha urbana ultrapassou grande parte dos limites geográficos da bacia do Córrego das Lajes. (OLIVEIRA, 2005).

De acordo com Carvalho (2004) ao se considerar o processo de ocupação de Uberaba, o Córrego das Lajes possui um papel fundamental, visto que em suas margens, devido à alta disponibilidade hídrica e os solos férteis, foi possível o estabelecimento de pequenas populações. Oliveira (2005) destaca que, como as

demais cidades brasileiras, o crescimento populacional de Uberaba não acompanhou a disponibilidade de infraestrutura urbana, acarretando assim em diversos problemas ambientais associados. A partir da canalização do Córrego das Lajes, bem como de seus tributários, que acarretou em diversas mudanças na dinâmica natural do curso hídrico, a cidade de Uberaba passa a vivenciar frequentes enchentes. Este problema, ainda é intensificado pela ausência de vegetação, bem como a impermeabilização da bacia como um todo (RODRIGUES, 2016).

Figura 3 - Crescimento da mancha urbana de Uberaba - MG



Fonte: PMU (2009a)

Atualmente, a bacia do Córrego das Lajes (Figura 4) apresenta problemas relacionados a perturbação da dinâmica de seus processos naturais, o qual poderá se agravar futuramente, uma vez que a legislação municipal dada pela Lei Complementar Nº 374 de 2007, que dispõe sobre o perímetro urbano e dá outras providências, mensura novas áreas passíveis de crescimento urbano, podendo acarretar em novos locais impermeabilizados.

Apesar da lei apresentar, no seu artigo 183 (referente as diretrizes relativas para uso e ocupação do solo), seção I (do uso e ocupação do solo), subseção I (do uso e ocupação do solo urbano) inciso IV, onde dispõe que para preservar a qualidade ambiental, o uso do solo no município de Uberaba deve apresentar “condicionamento do adensamento à implantação de mecanismos de controle de inundações e permeabilidade do solo nas áreas suscetíveis às enchentes”, nota-se insucesso nas obras realizadas, dada a recorrência de enchentes no local.

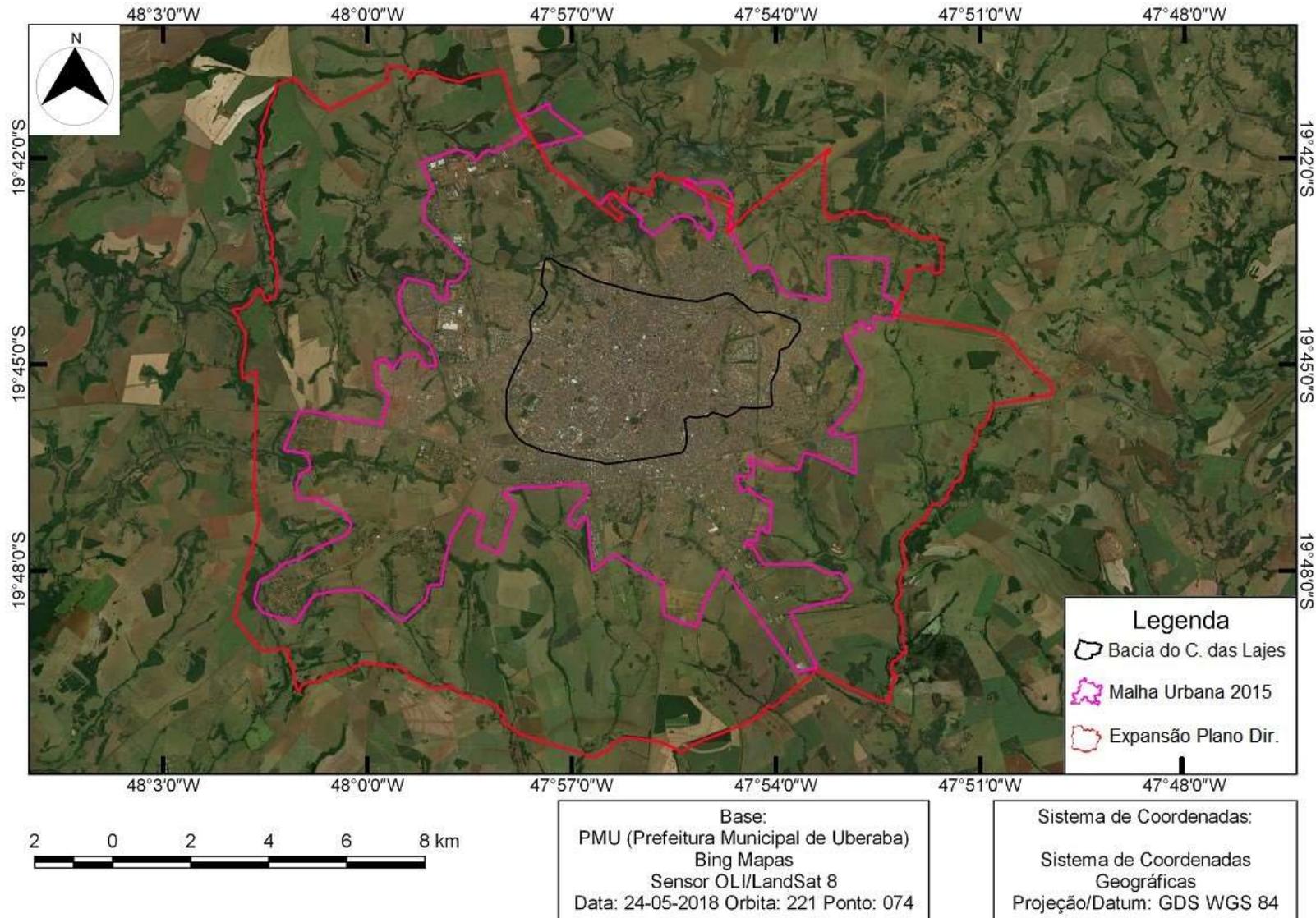
As ressalvas observadas nas diretrizes apresentam-se genericamente, limitando-se apenas ao controle teórico do adensamento populacional na região central, permitido mediante a implementação de mecanismos de controle de inundação no local. Porém, não faz menção a demais regiões da bacia que, ao serem impermeabilizadas, contribuirão para o aumento do escoamento hortoniano, e a elevação do volume direcionado as áreas centrais.

A falta de áreas de preservação permanente também é outro fator que influencia nas condições atuais da bacia do Córrego das Lajes, visto que de acordo com um estudo realizado por Souza (2008) a quantidade de vegetação da bacia é insuficiente para cumprir os processos que asseguram a qualidade ambiental, bem como o auxílio na macrodrenagem do escoamento superficial.

A mesma ainda afirma que a impermeabilização de áreas verdes, comumente ocorrida em processos de urbanização, ocasionam aumento no escoamento superficial, alterando a velocidade e vazão da chuva nos talwegues em dias de precipitação intensa em razão da impossibilidade de infiltração da água, bem como pela ausência das copas das arvores (que auxiliam na interceptação da chuva), condicionando possibilidade de enchentes.

Visando mitigar a situação, em 2009, a prefeitura Municipal de Uberaba criou o projeto Água Viva, que previa a concepção de obras de macrodrenagem no centro da cidade. Este projeto, no entanto, não conseguiu resolver o problema das enchentes na região central da cidade.

Figura 4 - Malha urbana atual e as áreas de expansão definidas no Plano Diretor do município de Uberaba - MG.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 INDICADORES MORFOMÉTRICOS DE BACIA HIDROGRÁFICA

Os indicadores físicos de uma bacia hidrográfica possibilitam uma análise morfométrica das suas características naturais, por meio de alguns parâmetros geométricos, sendo considerados para essa pesquisa o coeficiente de compacidade (Kc), o Fator de forma (kf), a densidade de drenagem (Dd), o índice de circularidade (Ic) e o índice de sinuosidade (Is).

Para a realização do cálculo dos índices, foi necessário o levantamento de dados físicos da bacia, como a área (km²), perímetro (km), comprimento do rio principal (km), comprimento do talvegue (km²) e soma dos rios (km).

O ordenamento dos cursos d'água seguiu as premissas da classificação de Strahler (1952), baseada na proposta por Horton (1945), remetendo ao grau de ramificação ou bifurcação em uma bacia hidrográfica. Nesta classificação atribui-se um número de ordem a cada curso de água sendo classificadas como cursos de água de 1ª ordem aqueles que não apresentem afluentes. Os canais fluviais de primeira ordem são as nascentes e/ou cabeceiras de drenagem, por não apresentarem tributários. Os canais de segunda ordem correspondem a junção (confluência) de dois canais de primeira ordem e assim subsequentemente, sendo que, no caso do encontro de rios de diferentes ordens, prevalece o de maior hierarquia.

De acordo com Villela e Mattos (1975), o coeficiente de compacidade (1) está relacionado a forma da área da bacia, sendo a relação entre o seu perímetro e a circunferência de um círculo proporcional. Quanto mais regular a forma, menor o Kc e maior o risco de enchentes na bacia.

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

Onde: P = Perímetro; A = Área

Ainda o mesmo autor, define o fator de forma (2) como o formato da bacia em relação a um retângulo, sendo que, comparando duas bacias de mesmo tamanho, a

que apresenta menor valor de Kf possui menor probabilidade de enchente entre ambas.

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

Onde: A = Área; L = Comprimento da Bacia

A velocidade do tempo de retenção da água na bacia hidrográfica, dada pela densidade de drenagem (3) da bacia é o índice associado ao grau de desenvolvimento da rede de drenagem da bacia (VILLELA; MATTOS, 1975).

$$Dd = \frac{L}{A} \quad (3)$$

Onde: L_t = Comprimento de todos os cursos d'água; A = Área.

Segundo Christofletti (1979 apud Parada e Camargo, 1982) a densidade de drenagem é o fator que influencia nos processos erosivos e sedimentativos dentro de uma bacia hidrográfica, consorciados pelas características das rochas, bem como a vegetação.

Outro aspecto que pode ser analisado, segundo Cardoso et al. (2006), é o índice de circularidade da bacia (4), apresentando valores maiores quanto mais próxima a forma circular da área da mesma.

$$Ic = 12.57 \frac{A}{P^2} \quad (4)$$

Onde: A = Área, P = Perímetro

Segundo Lana, Alves e Castro (2001), citando Muller (1953) e Schumm (1956), afirma que, quanto maior o valor de Ic (valores acima de 0.51), mais circular é a forma da bacia, favorecendo os processos de inundação e valores inferiores a 0.51 condicionam bacias alongadas, auxiliando no processo de escoamento.

Ainda, o Índice de Sinuosidade (5), apresentado por Horton (1945) e adaptado por Mansikkaniemi (1970), permite verificar o quão retilíneo é o rio principal, utilizando a relação entre a distância da foz e a nascente vetorialmente pelo comprimento do corpo d'água.

$$L_s = 100 \frac{(L - Dv)}{L} \quad (5)$$

Onde: L = Comprimento do rio Principal; Dv = Distância vetorial do rio principal

Uma de suas contribuições, Mansikkaniemi (1970) estabeleceu cinco classes de sinuosidade (Quadro 2), variando desde canais muito retos, onde o índice é inferior a 20%, até canais com elevada sinuosidade, com valores acima de 50%.

Quadro 2 - Índices de sinuosidade dividido em classes

Classe	Denominação	Índice (%)
I	Muito Reto	<20
II	Reto	20,1 < 29,9
III	Divagante	30 < 39,9
IV	Sinuoso	40 < 49,9
V	Muito Sinuoso	>50

Fonte: Adaptado de Mansikkaniemi (1970)

O autor supracitado concluiu que, quanto maior o valor do índice, aumenta-se a possibilidade de enchente na bacia, uma vez que o canal se apresentara com elevada sinuosidade, acarretando em maior tempo para o fluxo hídrico escoar até o exutório.

3.2 OBTENÇÃO DAS CURVAS DE NÍVEL

Os dados de curvas de nível foram fornecidas pela Secretaria de Planejamento do Município de Uberaba em arquivo digital no formato "DWG", sendo posteriormente inserido num banco de dados georreferenciados geral construído para o desenvolvimento dessa pesquisa com o uso do *software* livre QGIS 2.18. O

levantamento planialtimétrico disponibilizado possuía isolinhas com equidistância de 10 metros na escala de 1:50.000.

Para alcançar os objetivos propostos as isolinhas foram convertidas no formato *shapefile* o que permitiu validar o georreferenciamento desses dados.

3.3 HIDROGRAFIA

Os dados contendo a rede de drenagem (hidrográfica) da bacia dos Córregos das Lajes foram obtidos pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM, 2002) na escala de 1:50.000. O levantamento realizado pelo IGAM considerou as cartas topográficas do IBGE nas escalas de 1:25.000, 1:50.000 e 1:100.000, imagens de radar da missão *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* de 2000.

Esse levantamento foi elaborado a partir do Projeto de Otocodificação da Drenagem de Minas Gerais, desenvolvido pelo IGAM. Os dados foram obtidos no formato Shapefile, com *datum* horizontal WGS 84 (World Geodetic System 84), sendo ajustados para o *datum* horizontal SIRGAS 2000.

O refinamento da rede de drenagem foi realizado com o auxílio de imagens do sensor Operational Land Imager (OLI), alocado no Satélite Landsat 8, com resolução espacial de 30 metros, obtidas no ano de 2018, cena LO82210732018144CUB00; órbita 221 Ponto 074. Ainda, para as regiões onde os cursos d'água foram canalizados, utilizou-se dados do projeto denominado "Água Viva" (PMU, 2005a; PMU, 2009a).

3.4 DELIMITAÇÃO DA BACIA DO CÓRREGO DAS LAJES

A delimitação da bacia do Córrego das Lajes foi elaborada com o auxílio do *Software* QGIS 2.18, por meio das curvas de nível, sendo traçado um polígono sobre os divisores de água, abrangendo toda a rede de drenagem do Córrego das Lajes, localizado na área urbana do município.

O traçado foi delimitado utilizando como base as curvas de nível e os pontos de maior altitude, circundando o curso d'água principal, bem como seus tributários.

3.5 MAPA DE IMPERMEABILIZAÇÃO (OCUPAÇÃO ANTRÓPICA)

A elaboração do mapa de impermeabilização do solo por ocupação antrópica foi realizada com o auxílio do *Software* QGIS 2.18, por meio da ferramenta *Semi-Automatic Classification Plugin*, permitindo aplicar o processo de classificação supervisionada (ou semiautomática), caracterizada pela classificação pixel a pixel.

O procedimento é realizado em imagens obtidas por meio de técnicas de sensoriamento remoto, sendo fornecido como parâmetros para o treinamento do algoritmo de classificação do *Semi-Automatic Classification Plugin*, locais com características já identificadas. Por fim, executou-se a classificação por Máxima Verossimilhança, obtendo-se as áreas impermeabilizadas.

3.6 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO, MAPA HIPSOMÉTRICO E DECLIVIDADE

Para a obtenção do modelo digital de elevação, utilizou-se o levantamento planialtimétrico citado no item 3.2. Com o auxílio do *software* QGIS 2.18, foram interpoladas as curvas de nível e pontos cotados, utilizando o algoritmo *Triangulated Irregular Network* (TIN) (PEUCKER, et al., 1978).

Esse tipo de interpolação é obtido por meio de pontos vetoriais amostrados, criando uma superfície formada por triângulos que utilizam as informações do ponto vizinho mais próximo, estimando valores para locais não amostrados (RADHAKRISHNAN et al.; 2016).

O processamento resultou num arquivo raster, o qual subsidiou a elaboração do mapa hipsométrico da Bacia do Córrego das Lajes, estabelecendo 7 classes altimétricas, delimitadas a cada 20 metros, o que possibilitou visualizar a distribuição espacial do relevo da área. Ainda, utilizando o plug-in *Qgis2threejs*, obteve-se um modelo tridimensional do terreno.

A análise das áreas de declividade acentuada foi realizada utilizando o Modelo Digital de Elevação, proveniente da aplicação do algoritmo TIN. Uma vez que os valores se apresentam em metros, é realizada a conversão em porcentagem com a aplicação da ferramenta “Declividade” do *software* QGIS 2.18.

A distribuição das classes ([Quadro 3](#)) baseou-se na proposta da Embrapa (1979), sendo considerado valores acima de 8% como declividades acentuadas.

Quadro 3 - Classes de Relevo

Declividade	Classe de Relevo
<3	Plano
3-8	Suave ondulado
8-20	Ondulado
20-45	Forte Ondulado
45-75	Montanhoso
>75	Escarpado

Fonte: Adaptado de Embrapa (1979, p. 27)

Para delimitar os valores nos intervalos descritos acima, utilizou-se o plug-in Slicer, realizando o fatiamento das declividades e alocando-as nas respectivas classes.

3.7 PERFIL TOPOGRÁFICO E LONGITUDINAL

O estudo do relevo na área pesquisada foi realizado utilizando perfis topográficos, elaborados por segmentos de reta em consonância com a malha viária. Os transectos foram elaborados em sobreposição ao Modelo Digital de Elevação (MDE), obtido por meio do algoritmo *Triangulated Irregular Network*, a partir do corpo hídrico em direção ao topo da vertente, em atenção às intersecções perpendiculares entre as isolinhas e o transecto ao passo que se buscava uma simetria de ambos os lados amostrados. Quando possível, o comprimento totalizou 1.000 metros (sendo 500 metros a direita e 500 a esquerda, ambos perpendiculares quando utilizando como referência o corpo hídrico), com a menor incidência de mudança de direção.

Ainda, foram elaborados 2 transectos utilizando os mesmos parâmetros e processos descritos anteriormente, porém com comprimento superior aos anteriores, abrangendo as extremidades da Bacia, perfazendo a área da mesma em sua totalidade.

Por fim, para verificar a possibilidade da existência de declives abruptos no relevo (*knickpoints*), foi elaborado o perfil transversal do Córrego das Lajes, por meio da elaboração de um transecto ao longo de toda sua extensão, da nascente a foz.

3.8 COMPARTIMENTOS TOPOMORFOLÓGICOS

A definição dos compartimentos topomorfológicos foi realizada a partir da análise dos dados obtidos com o mapa hipsométrico e os perfis topográficos, considerando como critério a topomorfologia e a dinâmica das vertentes, cujos limites entre as unidades fora definido conforme as formas e os seus processos atuantes na Bacia dos Córregos das Lajes. Para validação dos compartimentos elaborados, realizou-se confirmações em campo, visando comprovar as informações levantadas remotamente.

Por meio da ferramenta Qgis2threejs, foi realizada a espacialização em três dimensões dos compartimentos, possibilitando observar suas formas, bem como suas dimensões e declives.

Os compartimentos foram mensurados por meio da metodologia proposta por Ross (1992), até o terceiro nível taxonômico, consistindo nas unidades morfológicas do relevo.

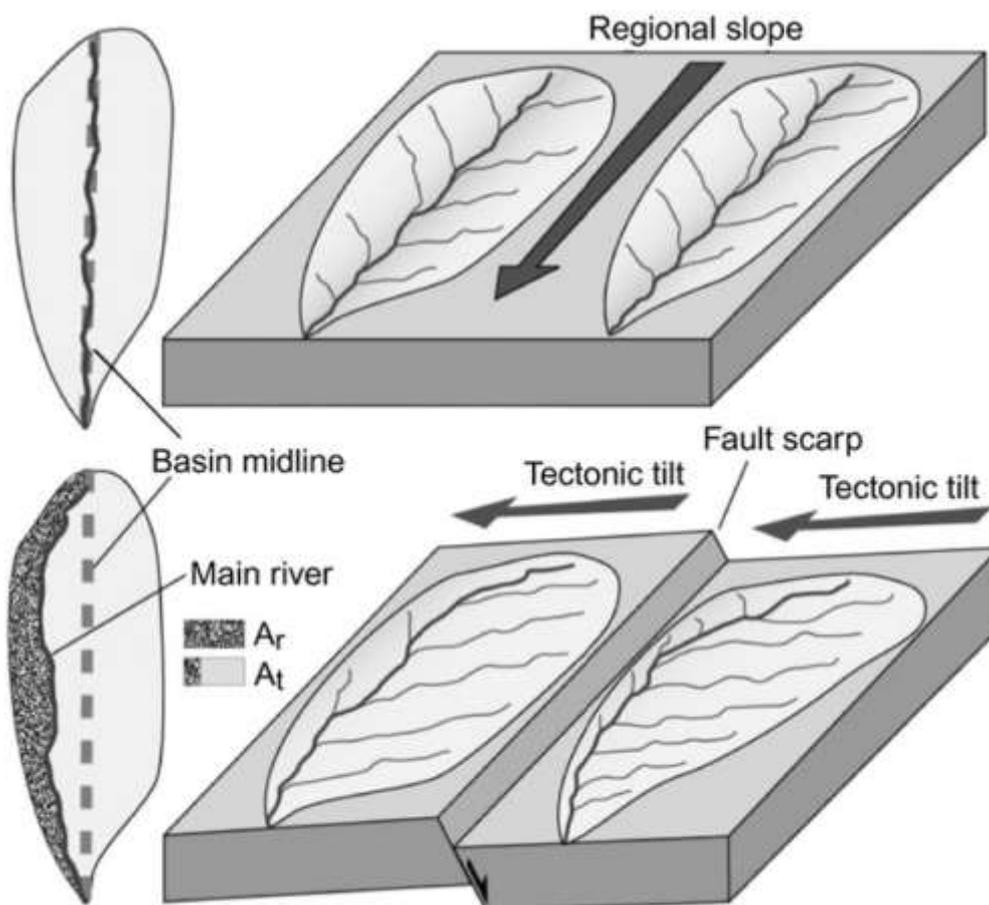
3.9 FATOR DE ASSIMETRIA E FATOR DE SIMETRIA TOPOGRÁFICO TRANSVERSAL

A avaliação do basculamento tectônico da rede de drenagem na bacia do Córrego das Lajes usou como método as propostas de Keller e Pinter (1996) e Cox (1994). Os primeiros autores condicionaram ao desenvolvimento do Fator de Assimetria da Bacia (FAB) ([Figura 5](#)), permitindo diagnosticar a incidência do basculamento tectônico.

O mesmo é um valor adimensional, variando de 0 a 100, sendo que, quando esse índice for próximo a 50, caracterizam-se bacias simétricas e quando FAB for maior ou menor que 50, tem-se, respectivamente, a ocorrência de basculamento na margem esquerda ou direita.

Com o auxílio do *software* QGIS 2.18, foi possível calcular a área total da bacia, bem como as áreas de cada região adjacentes a divisão da linha de drenagem atual da Bacia do Córrego das Lajes.

Figura 5 - Fator de Assimetria da Bacia



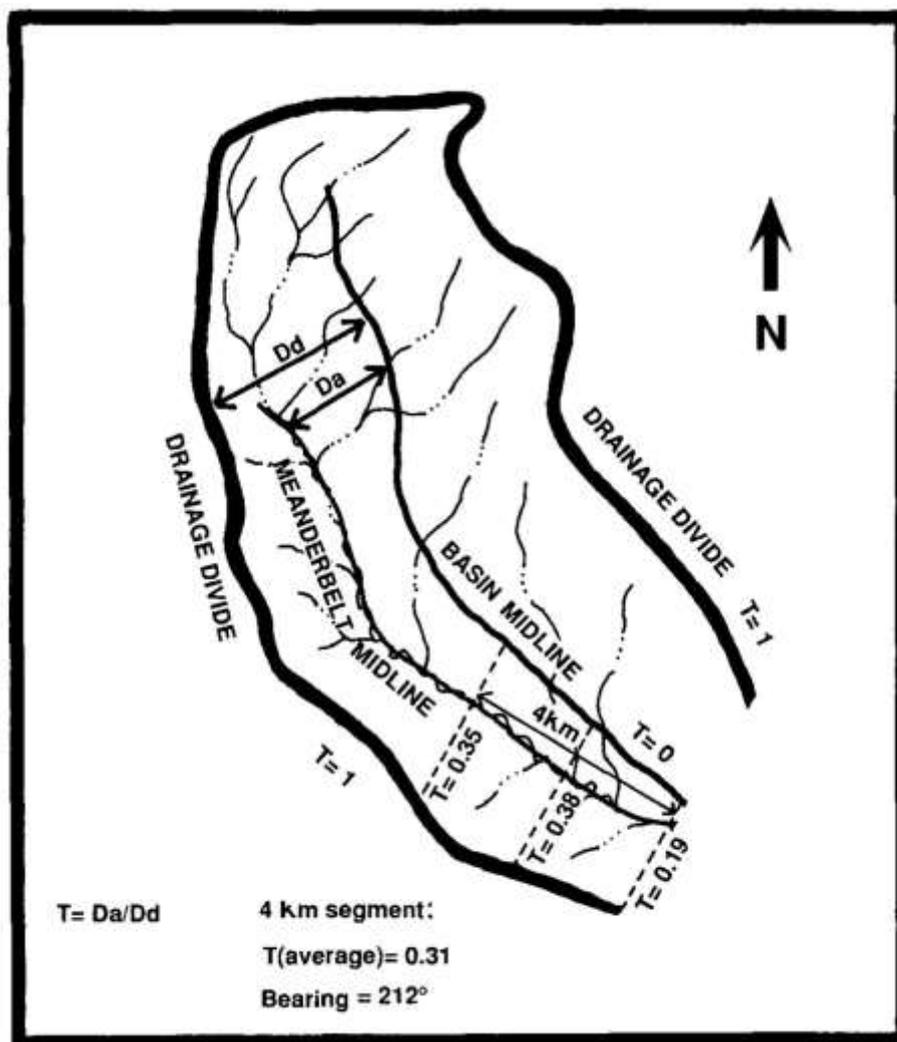
Fonte: Adaptado de Keller, Pinter (2002 apud Mahmood, Gloaguen, 2012)

Para isso, foi realizada a análise da área do lado direito da bacia (A_r), tendo como referencial a jusante do meandro principal e a área total da mesma (A_t), onde:

$$FAB = 100 \frac{A_r}{A_t} \quad (1)$$

A proposta de Cox (1994) dá-se pela aplicação do cálculo do Fator de Simetria Topográfico Transversal da Bacia (Figura 6), possibilitando verificar o deslocamento dos canais de drenagem de uma bacia hidrográfica em relação a linha média da bacia (segmento de linha imaginária que divide a bacia simetricamente, representando o canal de drenagem ideal), em consequência de ações tectônicas.

Figura 6 - Fator de Simetria Topográfico Transversal



Fonte: Cox (1994, p. 574)

O Fator de Simetria Topográfico Transversal (T) é calculado pela razão da distância entre a linha média da bacia e o canal de drenagem (D_a), pela distância do canal de drenagem e o limite da bacia (D_d), sendo:

$$T = \frac{D_a}{D_d} \quad (2)$$

Dessa forma, Cox (1994) afirma que, o valor do T quanto mais se aproxima de 1, maior será a influência tectônica, sendo um método válido para identificação de basculamento tectônico por meio de mapeamentos utilizando ferramentas de Sistema de informações Geográficas (SIG).

3.10 TRABALHO DE CAMPO

De posse aos produtos gerados inicialmente foram necessários trabalhos de campo para validação dos dados e para coletar importantes informações que pudessem corroborar na análise e interpretação dos dados.

Foi observado em campo processos de laterização por meio da presença de amostras *in situ*, conhecidas localmente como tapiocangas, nas áreas que nos mapeamentos realizados apresentavam possíveis incidências de variações no relevo provenientes da influência geológica.

Foram realizadas incursões nas áreas do Córrego das Lajes remotamente mapeadas que apresentaram possível erosão marginal do canal, na região onde o canal encontra-se aberto.

Ainda, realizou-se visitas ao longo do curso do Córrego das Lajes, anteriormente ao ponto de desague no Rio Uberaba, visando verificar a incidência de quedas abruptas no perfil longitudinal (*knickpoints*), uma vez que na sua elaboração constatou-se ruídos que, a priori, poderia estar relacionado a esse aspecto.

Por fim, para utilização e inserção das observações no estudo, realizou-se o registro fotográfico das mesmas, permitindo corroborar as hipóteses previamente estabelecidas.