

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Instituto de Geociências

Programa de Pós-Graduação em Geografia

Cecília Siman Gomes

**CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE BIOHIDROGEOMORFOLÓGICA DAS ÁREAS
ÚMIDAS DE MINAS GERAIS: integração multicriterial, multiescalar e geoespacial**

Belo Horizonte

2023

Cecília Siman Gomes

**CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE BIOHIDROGEOMORFOLÓGICA DAS ÁREAS
ÚMIDAS DE MINAS GERAIS: integração multicriterial, multiescalar e geoespacial**

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Geografia.

Área de concentração: Análise Ambiental

Linha de Pesquisa: Geografia Física

Orientador: Prof. Dr. Antônio Pereira Magalhães Jr

Coorientador: Prof. Cesar Borja Barrera

Belo Horizonte

2023

G633c
2023

Gomes, Cecília Siman.

Classificação e análise biohidrogeomorfológica das áreas úmidas de Minas Gerais [manuscrito] : integração multicriterial, multiescalar e geoespacial / Cecília Siman Gomes. – 2023.

348 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientador: Antônio Pereira Magalhães Júnior.

Coorientador: Cesar Borja Barrera.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2023.

Área de concentração: Análise Ambiental.

Linha de pesquisa: Geografia Física.

Bibliografia: f. 318-332.

Inclui apêndice.

1. Terras inundáveis – Minas Gerais – Teses. 2. Hidrologia – Teses. 3. Geomorfologia – Teses. 4. Ecossistemas – Teses. 5. Biodiversidade – Teses. 6. Áreas protegidas – Teses. I. Magalhães Junior, Antônio Pereira. II. Borja Barrera, César. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. IV. Título.

CDU: 551.58(815.1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
COLEGIADO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

"CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE BIOHIDROGEOMORFOLÓGICA DAS ÁREAS ÚMIDAS DE MINAS GERAIS: Integração Multicriterial, Multiescalar e Geoespacial"

CECÍLIA SIMAN GOMES

Tese de Doutorado defendida e aprovada, no dia **10 de maio de 2023**, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

Paulo de Tarso Amorim Castro

UFOP

Elizêne Veloso Ribeiro

IFMG Campus Ouro Preto

Diego Rodrigues Macedo

IGC/UFMG

Fábio Soares de Oliveira

IGC/UFMG

Antônio Pereira Magalhães Júnior - Orientador

IGC/UFMG

Belo Horizonte, 10 de maio de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Elizêne Veloso Ribeiro, Usuária Externa**, em 15/06/2023, às 12:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Paulo de Tarso Amorim Castro, Usuário Externo**, em 15/06/2023, às 12:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Diego Rodrigues Macedo, Professor do Magistério Superior**, em 15/06/2023, às 14:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Antonio Pereira Magalhaes Junior, Professor do Magistério Superior**, em 15/06/2023, às 15:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fabio Soares de Oliveira, Professor do Magistério Superior**, em 25/06/2023, às 22:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2387913** e o código CRC **34D73111**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a minha família por me apoiar e incentivar durante todo o meu percurso. Sem meus pais e minhas irmãs, não seria possível. Amo infinitamente vocês.

Agradeço ao meu orientador Antônio Magalhães que me acompanha desde o meu mestrado. Como é importante ter um orientador que está atento aos momentos chaves da pesquisa, trazendo importantes contribuições, seja nas reuniões, revisões de texto, sugestões ou mesmo fazendo perguntas. E, além disso, sempre respeitando a dinâmica da vida. Meu muito obrigada.

Agradeço muito à *Fundación Carolina*, que financiou meu estágio doutoral na *Universidad de Sevilla*, na Espanha, enriquecendo enormemente minha trajetória profissional e pessoal.

Agradeço ao meu coorientador César Borja durante a minha estadia na Espanha, que, apesar dos desafios da pandemia, possibilitou meu avanço na pesquisa e no conhecimento (teórico e prático) no campo de pesquisa das AUs.

Agradeço aos membros da banca pelo aceite e pelas contribuições feitas.

No meu percurso da tese, meu obrigada especial ao Gabriel, que desempenhou um papel ímpar em um momento chave da minha tese, contribuindo para a busca e/ou seleção de ferramentas Geo, auxiliando no processamento e correção de dados e mesmo na discussão dos resultados encontrados. Um agradecimento especial também ao meu cunhado, Rudá, que me apoiou na estruturação das tabelas e gráficos, otimizando meu tempo.

Agradeço aos meus compartes de trabalho pelo apoio com o novo desafio do trabalho e durante meu último ano de doutorado, com agradecimento especial ao Eder por contribuir também com sugestões de ferramentas Geo e procedimentos na geração de resultados.

Agradeço as minhas amigas da faculdade pelo apoio e pela amizade, e agradeço especialmente a Laura por estar sempre perto me fortalecendo nos momentos difíceis e de maior desafio.

Agradeço a minha família e meu agradecimento especial a minha prima Glauquinha, fonte eterna de amor pela vida, perseverança, força e de alegria por onde passa.

Mãe, Pai e minhas irmãs, meu obrigada novamente. Compartilho com vocês esta minha conquista, pois vocês são parte dela.

RESUMO

As Áreas Úmidas (AUs) são ecossistemas ou unidades funcionais presentes em diferentes contextos físicos e bióticos e que apresentam gêneses, tipologias e dimensões espaçotemporais variadas. As funções ambientais fornecidas pelas AUs são muito diversas e de grande relevância, como: recarga de aquíferos, manutenção de corpos hídricos, retenção de carbono e fornecimento de habitats. A preservação e o manejo sustentável das AUs demandam conhecimento de suas principais características e das inter-relações com os meios onde estão situadas. Logo, os inventários e as classificações das AUs desempenham um papel fundamental ao permitirem a análise sistemática da sua distribuição, extensão, tipos e principais características, fornecendo subsídios para o estabelecimento de ações de monitoramento, pesquisa e políticas de manejo e conservação desses ecossistemas de forma integrada ao meio. Nesse sentido, esta tese tem como objetivo principal desenvolver uma proposta de classificação biohidrogeomorfológica geoespacial das Áreas Úmidas do Estado de Minas Gerais, organizada em níveis escalares regionais, incluindo a análise de sua distribuição no território, a interpretação dos seus tipos e características, bem como a identificação de áreas potenciais de maior relevância para a sua proteção ambiental. Para isso, através da seleção e cruzamentos de dados geoespaciais, estruturou-se um inventário de AUs de Minas Gerais, totalizando aproximadamente 8.133,76 km². Para a classificação das AUs desse inventário, foram estruturados dois níveis escalares de análise – Nível 1-N1 (regional) e Nível 2-N2 (sub-regional) – e também foi proposto um terceiro nível – Nível 3 – de avaliação individual de exemplos de AUs no contexto local. Os parâmetros biohidrogeomorfológicos geoespaciais que compõem os níveis da classificação foram definidos e estruturados considerando seu papel na formação das AUs, seus tipos, características e/ou funções e sua escala de análise. O N1 possui quatro parâmetros: domínios geomorfológicos, sistemas aquíferos, pluviosidade e biomas; o N2 também possui quatro parâmetros: unidades geomorfológicas, tipos de aquíferos, déficit hídrico e ecorregiões; e o Nível 3 possui seis parâmetros: formas de relevo, altimetria, declividade, formas de terreno (forma da vertente e direção preferencial dos fluxos de água), ordem do curso d'água associado (quando aplicável) e fitofisionomias. Em sequência, as AUs do inventário foram classificadas a partir do cruzamento das unidades dos parâmetros do N1 e do N2, isolados e combinados entre si, sendo analisadas sua distribuição no território e os tipos de ambientes com maior ocorrência e potencial de dar origem a AUs, assim como interpretadas as suas características, formas de alimentação hídrica, tipos e/ou possíveis funções ambientais. Para a combinação do N1N2, foram feitos recortes específicos de áreas no estado para apresentar um panorama geral das características das AUs do inventário. Exemplos da classificação das AUs nos três níveis foram então apresentados para ilustrar e validar a proposta de classificação. Como parte da classificação, também analisou-se a ocorrência das AUs em relação à sobreposição dos seguintes instrumentos de gestão territorial: Áreas prioritárias para conservação (estadual e federal), Áreas prioritárias para criação de Unidades de Conservação (UCs), Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, Reserva da Biosfera da Caatinga e Reserva da Biosfera do Espinhaço. Foi delineado um mapeamento de áreas potenciais de maior relevância ambiental para a proteção de AUs de Minas Gerais, formando um panorama regional para possíveis delimitações e/ou expansões de novas UCs sob a ótica da diversidade, relevância e conservação das AUs para a manutenção de suas funções ambientais. Espera-se que esta tese possa subsidiar novas pesquisas e apoiar ações públicas que visem a proteção e manejo destes ecossistemas de forma integrada ao ambiente, nas diversas escalas de análise de planejamento e gestão territorial.

Palavras-chave: áreas úmidas; classificação de áreas úmidas; funções ambientais; hidrogeomorfologia; áreas protegidas.

ABSTRACT

Wetlands are ecosystems or functional units that occur in different abiotic and biotic contexts and which have varied genesis, typologies and spatiotemporal dimensions. The environmental functions provided by wetlands are very diverse and of significant relevance, such as: aquifer recharge, maintenance of bodies of water, carbon storage and habitat provision. The preservation and sustainable management of wetlands require knowledge of their main characteristics and the interrelationships with the environments in which they are located. Therefore, inventories and classifications of wetlands play a fundamental role in allowing the systematic analysis of their distribution, extent, types and main characteristics, providing support for the establishment of monitoring programs, research, and management and conservation policies for these ecosystems, in an integrated environmental approach. In this direction, the main purpose of this thesis is to develop a proposal for a geospatial biohydrogeomorphological classification of wetlands in the State of Minas Gerais, organized into regional scalar levels, including the analysis of their distribution in the territory, the interpretation of their types and characteristics, as well as the identification of potential areas of significant relevance for environmental protection. In order to achieve this goal, through the selection and crossing of geospatial data, an inventory of the wetlands of Minas Gerais (Brazil) was structured with a total of approximately 8,133.76 km². To classify the wetlands in this inventory, two scalar levels of analysis were structured – Level 1-N1 (regional) and Level 2-N2 (sub-regional) – and was also proposed a third level – Level 3 – of individual evaluation of examples of wetlands in the local context. The geospatial biohydrogeomorphological parameters that constitute the classification levels were defined and structured considering their role in the formation of wetlands, their types, characteristics and/or functions and their scale of analysis. N1 has four parameters: geomorphological domains, aquifer systems, rainfall measurements and biomes; N2 also has four parameters: geomorphological units, aquifer types, water deficit and ecoregions; and Level 3 has six parameters: relief forms, altimetry, slope, terrain forms (slope shape and direction of water flow), watercourse order (when applicable) and phytophysionomies (vegetation types). In sequence, the wetlands in the inventory were classified based on the crossing of the units of the N1 and N2 parameters, isolated and combined with each other, and their distribution in the territory and the types of environments with greater occurrence and potential to give rise to wetlands, as well as interpreting their characteristics, sources of inflows, types and/or possible environmental functions. For the N1N2 combination, specific sections of areas in the state were developed to present a general overview of the characteristics of the wetlands in the inventory. Examples of the classification of wetlands into the three levels were then presented to illustrate and validate the classification proposal. As part of the classification, the occurrence of wetlands was also analyzed in relation to the overlapping of territorial management instruments: Priority areas for conservation (state and federal), Priority areas for the creation of Conservation Units-UCs, Atlantic Forest Biosphere Reserve, Caatinga Biosphere Reserve and Espinhaço Biosphere Reserve. A map of potential areas of significant environmental relevance for the protection of wetlands in Minas Gerais was outlined, forming a regional panorama for the delimitation and/or expansion of new UCs from the perspective of the diversity, relevance and conservation of wetlands to maintain their functions environmental. It is expected that this thesis can subsidize new research and support public actions aimed at protecting and managing these ecosystems in an integrated way with the environment, at different scales of planning analysis and territorial management.

Keywords: wetlands; wetland classification; environmental functions; hydrogeomorphology; protected areas.

RESUMEN

Los humedales son ecosistemas o unidades funcionales presentes en diferentes contextos físicos y bióticos y que tienen génesis, tipologías y dimensiones espaciotemporales diversas. Las funciones ambientales que brindan los humedales son muy diversas y de gran relevancia, tales como: recarga de acuíferos, mantenimiento de cuerpos de agua, retención de carbono y provisión de hábitats. La preservación y el manejo sostenible de los humedales requieren del conocimiento de sus principales características y de las interrelaciones con los ambientes en los que se ubican. Por lo tanto, los inventarios y clasificaciones de humedales juegan un papel fundamental al permitir el análisis sistemático de su distribución, extensión, tipos y características principales, brindando apoyo para el establecimiento de acciones de monitoreo, investigación y políticas de manejo y conservación de estos ecosistemas de manera integrada al medio. En este sentido, el principal objetivo de esta tesis es desarrollar una propuesta de clasificación biohidrogeomorfológica geoespacial de los humedales del Estado de Minas Gerais, organizada en niveles escalares regionales, incluyendo el análisis de su distribución en el territorio, la interpretación de sus tipos y características, así como la identificación de áreas potenciales de mayor relevancia para su protección ambiental. Para ello, a través de la selección y cruce de datos geoespaciales, se estructuró un inventario de humedales en Minas Gerais, con un total aproximado de 8.133,76 km². Para clasificar los humedales de este inventario se estructuraron dos niveles escalares de análisis – Nivel 1-N1 (regional) y Nivel 2-N2 (subregional)– y un tercer nivel –Nivel 3– de evaluación individual de ejemplos de humedales en el contexto local. Los parámetros biohidrogeomorfológicos geoespaciales que conforman los niveles de clasificación fueron definidos en razón de su papel en la formación de los humedales, sus tipos, características y/o funciones y su escala de análisis. El N1 tiene cuatro parámetros: dominios geomorfológicos, sistemas acuíferos, precipitación y biomas; el N2 también tiene cuatro parámetros: unidades geomorfológicas, tipos de acuíferos, déficit hídrico y ecorregiones; y el Nivel 3 tiene seis parámetros: formas de relieve, altimetría, pendiente, curvatura de la pendiente y dirección de los flujos de agua, orden del curso de agua (cuando hay) y fitofisonomías. En secuencia, los humedales del inventario fueron clasificados con las unidades de los parámetros N1 y N2, aislados y combinados entre sí. Fue evaluada su distribución en el territorio, los tipos de ambientes con mayor ocurrencia y potencial para su formación, sus características, formas de manutención, tipos y/o posibles funciones ambientales. Para la combinación N1N2, se realizaron secciones específicas de áreas del estado para presentar un panorama general de las características de los humedales del inventario. Luego se presentaron ejemplos de la clasificación de los humedales en los tres niveles para ilustrar y validar la propuesta de clasificación. Como parte de la clasificación, también se analizó la ocurrencia de los humedales en relación a la superposición de instrumentos de gestión territorial: Áreas prioritarias para la conservación (estatal y federal), Áreas prioritarias para la creación de Unidades de Conservación-UCs y las Reservas de la Biosfera de la Mata Atlántica, de la Caatinga y del Espinhaço. Se trazó un mapeo de áreas potenciales de mayor relevancia ambiental para la protección de humedales en Minas Gerais, conformando un panorama regional para la delimitación y/o ampliación de nuevas UCs desde la perspectiva de la diversidad, relevancia y conservación de los humedales para el mantenimiento de sus funciones ambientales. Se espera que esta tesis pueda subsidiar nuevas investigaciones y apoyar acciones públicas destinadas a proteger y gestionar estos ecosistemas de forma integrada con el medio ambiente, en diferentes escalas de análisis de planificación y gestión territorial.

Palabras clave: humedales; clasificación de humedales; funciones ambientales; hidrogeomorfología; áreas protegidas

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Desenho esquemático com o afloramento do nível freático em uma porção de vertente com gradientes de altitude e declividade alternados, na estação seca e chuvosa.....	34
Figura 2.2 - Formas biológicas de Macrófitas Aquáticas	39
Figura 2.3 - Modelo conceitual dos três componentes básicos que determinam a integridade ecológica das AUs	43
Figura 2.4 – Estrutura do inventario das AUs da Argentina e sua vinculação com a classificação e as tipologias derivadas.....	67
Figura 2.5 - Blocos diagramas exemplificando os principais contextos geomorfológicos e formas de alimentação e funcionamento das AUs.....	72
Figura 3.1– Campo Alagado e Área Pantanosa do mapeamento de Cobertura e Uso da Terra (Mapbiomas, Coleção 7).....	81
Figura 3.2 – Veredas do Inventário Florestal de Minas Gerais (Scolforo; Carvalho;Oliveira, 2009)	82
Figura 3.3 – Veredas do mapeamento de Cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica (IEF, 2019)	83
Figura 3.4– Lagoas transicionais do mapeamento de Massas D’água (Ana;Igam)	85
Figura 3.5 - Estrutura do Nível 1 da Classificação de AUs	95
Figura 3.6 - Estrutura do Nível 2 da Classificação	97
Figura 3.7 - Estrutura do Nível 3 da Classificação.....	99
Figura 3.8 – Modelo Digital de Elevação de Minas Gerais	101
Figura 3.9 – Classes de Declividade de Minas Gerais.....	102
Figura 3.10 – Mapa de Unidades de Relevo (IBGE, 2017).....	103
Figura 3.11 – Mapa Preliminar de Domínios Geomorfológicos de Minas Gerais.....	104
Figura 3.12 – Mapa dos Padrões de Relevo (Machado, 2010)	105
Figura 3.13 – Mapa Amplitude Topográfica (Machado, 2010).....	105
Figura 3.14 – Mapa de Declividade (Machado, 2010)	106
Figura 3.15 – Mapa de Unidades Litohidrogeológicas (Machado, 2010)	108
Figura 3.16 – Mapa de Dobramentos (Machado, 2010)	108
Figura 3.17 – Mapa de Fraturas e Zonas de Cisalhamento (Machado, 2010)	109
Figura 3.18 – Mapa de Porosidade (Machado, 2010).....	110
Figura 3.19 – Mapa de Textura (Machado, 2010)	111
Figura 3.20 – Mapa dos Domínios Hidrogeológicos (CPRM, 2007)	112
Figura 3.21 – Mapa dos Subdomínios Hidrogeológicos (CPRM, 2007)	112
Figura 3.22 – Mapa das Isoietas para o período de 1977-2000	114
Figura 3.23 – Mapa de Déficit Hídrico de Minas Gerais.....	115
Figura 3.24 - Limites dos Biomas de Minas Gerais	117
Figura 3.25 - Limites das Ecorregiões de Minas Gerais.....	119
Figura 3.26 – Delimitação das áreas de Mata Seca e Campos Rupestres em Minas Gerais.....	120
Figura 3.27 – Formas de relevo de Minas Gerais (Theobald, <i>et al.</i> , 2015)	123
Figura 3.28 - Combinação das curvaturas para caracterização das formas de terreno.....	124

Figura 3.29 - Formas de terreno de Minas Gerais (Valeriano, 2008)	125
Figura 3.30 – Inventário Florestal de Minas Gerais (Scolforo; Carvalho; Oliveira, 2008)	126
Figura 3.31 – Áreas Prioritárias MMA (2019)	130
Figura 3.32 – Áreas prioritárias (Drummond et., 2005)	131
Figura 3.33 – Áreas prioritárias para a criação de Unidades de Conservação (UCs) propostas pelo IEF	132
Figura 3.34 – Reservas da Biosfera incidentes em Minas Gerais	133
Figura 3.35 – Unidades de Conservação de Proteção Integral em Minas Gerais	135
Figura 4.1 – AUs do inventário	142
Figura 4.2 –Parâmetro Geomorfológico Nível 1 - Domínios Geomorfológicos no contexto de Minas Gerais	144
Figura 4.3 –Distribuição das AUs pelos Agrupamentos dos Domínios Geomorfológicos.....	154
Figura 4.4 –Parâmetro Geomorfológico Nível 2 – Unidades Geomorfológicas no contexto de Minas Gerais	156
Figura 4.5 –Parâmetro Hidrogeológico Nível 1 - Domínios dos Aquíferos no contexto de Minas Gerais	170
Figura 4.6 –Distribuição das AUs pelos Sistemas Aquíferos	181
Figura 4.7 –Parâmetro Hidrogeológico Nível 2 – Tipos de aquíferos no contexto de Minas Gerais	186
Figura 4.8 –Parâmetro Climático Nível 1 – Faixas de Pluviosidade no contexto de Minas Gerais.....	199
Figura 4.9 –Distribuição das AUs pelas Faixas Pluviométricas	204
Figura 4.10 –Parâmetro Climático Nível 2 – Faixas de déficit hídrico no contexto de Minas Gerais.....	206
Figura 4.11 –Distribuição das AUs pelas Faixas de Déficit Hídrico	210
Figura 4.12 –Parâmetro Bioma Nível 1– Biomas no contexto de Minas Gerais	213
Figura 4.13 –Distribuição das AUs pelos Biomas	218
Figura 4.14 –Parâmetro Nível 2 – Ecorregiões no contexto de Minas Gerais	221
Figura 4.15 –Distribuição das AUs pelas Ecorregiões	227
Figura 4.16 – Recorte das principais classes do N1 nas bacias dos rios Paranaíba e Grande.....	235
Figura 4.17 – Recorte das principais classes do N1 na bacia do rio São Francisco.....	236
Figura 4.18– Recorte 12ª e 13ªclasses do N1	237
Figura 4.19– Recorte de classes do N2 (1 a 9ª classe).....	248
Figura 4.20– Recorte de classes do N1N2 (domínios das bacias dos rios Paranaíba e Grande).....	257
Figura 4.21– Recorte de classes do N1N2 (domínios da bacia do rio São Francisco).....	259
Figura 4.22– Recortes de classes do N1N2: bacias dos rios Doce e Jequitinhonha e no Sul de Minas, na bacia do rio Grande	261
Figura 4.23– Recortes de classes do N1N2: contexto serrano.....	263
Figura 4.24 - Mapa com a localização dos perfis topográficos	265
Figura 4.25 – Perfil topográfico-geológico (exemplo 1)	267
Figura 4.26 – Perfil topográfico-geológico (exemplo 2)	270
Figura 4.27 – Perfil topográfico-geológico (exemplo 3)	273
Figura 4.28 – Perfil topográfico-geológico (exemplo 4)	276
Figura 4.29 – Perfil topográfico-geológico (exemplo 5)	278

Figura 4.30 – Perfil topográfico-geológico (exemplo 6)	280
Figura 4.31 – Perfil topográfico-geológico (exemplo 7)	283
Figura 5.1 - Instrumentos ambientais de gestão territorial em Minas Gerais	286
Figura 5.2 – Localização das Unidades de Conservação de Proteção Integral no estado	292
Figura 5.3 –Distribuição das UCs de Proteção Integral em relação às classes de instrumentos de gestão	299
Figura 5.4 –Distribuição das AUs em relação às classes de instrumentos de gestão e as UCs em Minas Gerais	303
Figura 5.5 – Áreas potenciais com AUs de maior relevância ambiental	305

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Critérios para a identificação de Zonas Úmidas de Importância Internacional	24
Quadro 2.2 - Critérios Nacionais para a seleção de Áreas Protegidas a serem indicadas como potenciais Sítios de Importância Internacional	26
Quadro 2.3 - Sítios Ramsar brasileiros	27
Quadro 2.4 – Valorização de ecossistemas ambientais	47
Quadro 2.5 – Exemplos de serviços ecossistêmicos obtidos pelas AUs	48
Quadro 2.6 – Funções ambientais, serviços ecossistêmicos e biodiversidade	49
Quadro 2.7 - Esquema hierárquico da regionalização ecológica das AUs da Andaluzia	60
Quadro 2.8 – Critérios das Classes HGM para as AUs de MG	71
Quadro 3.1 – Bases selecionadas para a construção do inventário de AUs	86
Quadro 3.2 – Quadro da base do inventário de AUs e da classificação das tipologias identificadas	89
Quadro 3.3 – Formas de relevo <i>SRTM Landforms</i>	122

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 - Distribuição percentual dos Domínios Geomorfológicos em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 1 (G1)	147
Gráfico 4.2 - Distribuição percentual das AUs nos Domínios Geomorfológicos em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 1 (G1)	149
Gráfico 4.3 – Distribuição percentual de AUs em relação aos grandes agrupamentos de domínios geomorfológicos	151
Gráfico 4.4 - Percentual de AUs em relação à área de cada Domínio Geomorfológico do Nível 1 (G1)	152
Gráfico 4.5 - Distribuição percentual das Unidades Geomorfológicas em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 2 (G2)	162
Gráfico 4.6 - Distribuição percentual das AUs nas Unidades Geomorfológicas em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 2 (G2)	163
Gráfico 4.7 - Percentual de AUs em relação à área de cada Unidade Geomorfológica do Nível 2 (G2)	166
Gráfico 4.8 - Distribuição percentual dos Domínios de Aquíferos em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 1 (A1)	176

Gráfico 4.9- Distribuição percentual das AUs nos sistemas aquíferos em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 1 (A1).....	177
Gráfico 4.10 - Percentual de AUs em relação à área de cada sistema aquífero do Nível 1 (A1).....	178
Gráfico 4.11 - Distribuição percentual dos tipos de aquíferos em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 2 (A2).....	187
Gráfico 4.12 - Distribuição percentual das AUs nos Tipos de Aquíferos em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 2 (A2).....	193
Gráfico 4.13 - Percentual de AUs em relação à área de cada Tipo de Aquífero do Nível 2 (A2)	194
Gráfico 4.14- Distribuição percentual das Faixas de Pluviosidade em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 1 (P1)	201
Gráfico 4.15 - Distribuição percentual das AUs nas Faixas de Pluviosidade em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 1 (P1)	202
Gráfico 4.16- Percentual de AUs em relação à área de cada Faixa de Pluviosidade do Nível 1 (P1)	203
Gráfico 4.17 - Distribuição percentual de cada Faixa de Déficit Hídrico em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 2 (DH2).....	207
Gráfico 4.18 - Distribuição percentual das AUs em cada Faixa de Déficit Hídrico em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 2 (DH2).....	208
Gráfico 4.19 – Percentual de AUs em relação à área de cada Faixa de Déficit Hídrico em Minas Gerais do Nível 2 (DH2).....	209
Gráfico 4.20 - Distribuição percentual de cada Bioma em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 1 (B1).....	215
Gráfico 4.21 - Distribuição percentual das AUs nos Biomas em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 1 (B1).....	216
Gráfico 4.22 – Percentual de AUs em relação à área de cada bioma do Nível 1 (B1)	217
Gráfico 4.23 - Distribuição percentual de cada Ecorregião em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 2 (E2).....	223
Gráfico 4.24 – Distribuição percentual das AUs nas Ecorregiões em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 2 (E2)	224
Gráfico 4.24 - Percentual de AUs em relação à área de cada Ecorregião do Nível 2 (E2).....	225
Gráfico 5.1- Percentual de ocorrência dos instrumentos de gestão em relação à área do estado e os agrupamentos de domínios	288
Gráfico 5.2- Percentual de ocorrência dos instrumentos de gestão em relação à área do estado e os sistemas aquíferos	289
Gráfico 5.3- Percentual de ocorrência dos instrumentos de gestão em relação à área do estado e as faixas de pluviosidade.....	290
Gráfico 5.3- Percentual de ocorrência dos instrumentos de gestão em relação à área do estado e os biomas.....	291

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Distribuição dos domínios geomorfológicos em Minas Gerais	143
Tabela 4.2 - Distribuição das AUs nos Domínios Geomorfológicos em Minas Gerais.....	148
Tabela 4.3 – Distribuição das unidades geomorfológicas em Minas Gerais	155
Tabela 4.4 – Distribuição das AUs nas Unidades Geomorfológicas em Minas Gerais	162
Tabela 4.5 – Distribuição das AUs nos Agrupamentos de Domínios e Unidades Geomorfológicas em Minas Gerais.....	168
Tabela 4.6 – Distribuição dos sistemas aquíferos em Minas Gerais.....	169
Tabela 4.7 – Distribuição das AUs nos sistemas aquíferos em Minas Gerais (Nível 1 – Parâmetro A1).176	
Tabela 4.8 –Parâmetro Hidrogeológico Nível 2 – Tipos de aquíferos no contexto de Minas Gerais	185
Tabela 4.9 – Distribuição das AUs nos Tipos de aquíferos em Minas Gerais	190
Tabela 4.10 – Distribuição das AUs: Sistemas e tipos de aquíferos em Minas Gerais.....	197
Tabela 4.11 – Distribuição das unidades geomorfológicas em Minas Gerais	198
Tabela 4.12 – Distribuição das AUs nas Faixas Pluviométricas em Minas Gerais (Nível 1 – Parâmetro P1)202	
Tabela 4.13 – Distribuição das faixas de déficit hídrico em Minas Gerais	205
Tabela 4.14 – Distribuição das AUs nas Faixas de Déficit Hídrico em Minas Gerais (Nível 2– Parâmetro DH2)	208
Tabela 4.15 – Distribuição das AUs: Faixas pluviométricas e de déficit hídrico em Minas Gerais	211
Tabela 4.16 – Distribuição dos biomas em Minas Gerais	212
Tabela 4.17 – Distribuição das AUs pelos Biomas em Minas Gerais (Nível 1 – Parâmetro B1)	215
Tabela 4.18 – Distribuição das ecorregiões em Minas Gerais.....	220
Tabela 4.19 – Distribuição das AUs pelas Ecorregiões em Minas Gerais (Nível 2 – Parâmetro E2).....	224
Tabela 4.20 – Principais classes do N1 – Nível 1 das AUs	229
Tabela 4.21 – Principais classes do N2 – Nível 2 das AUs	239
Tabela 4.22 – Principais combinações das classes do Nível 1 com o Nível 2 (N1N2) das AUs	250
Tabela 5.1 –Classificação de número de instrumentos de gestão ambiental territorial por área e percentual no estado	285
Tabela 5.2 – Distribuição das UCs em relação aos agrupamentos dos domínios geomorfológicos em Minas Gerais.....	294
Tabela 5.3– Distribuição das UCs em relação aos agrupamentos dos sistemas aquíferos em Minas Gerais	295
Tabela 5.4– Distribuição das UCs em relação às faixas de pluviosidade em Minas Gerais	295
Tabela 5.5 – Distribuição das UCs em relação aos biomas em Minas Gerais.....	296
Tabela 5.6 –Relação dos instrumentos de gestão ambiental territorial e a distribuição das UCs de Proteção Integral por área e percentual no Estado	296
Tabela 5.7 - Distribuição das AUs por instrumentos de gestão e UCs de Proteção Integral	300

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APPs	Áreas de Preservação Permanente
AUs	Áreas Úmidas
CMA	Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (Espanha)
CNZU	Comitê Nacional para as Zonas Úmidas
CONVENÇÃO DE RAMSAR	Convenção sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional, especialmente como Habitat para Aves Aquáticas
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
HMG	Hidrogeomorfologia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEDE	Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais de Minas Gerais
IDE-Sisema	Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais
IEF	Instituto Estadual de Florestas
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INAU	Instituto Nacional de Áreas Úmidas
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MaB	Man and. Biosphere/O Homem e a Biosfera
MDE	Modelo de Elevação Digital
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PAH	Plano Andaluz de Humedales – Plano de Áreas Úmidas de Andaluzia (Espanha)
RBCA	Reserva da Biosfera da Caatinga
RBMA	Reserva da Biosfera da Mata Atlântica
RBSE	Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SISEMA	Sistema Estadual de Meio Ambiente (Sisema) de Minas Gerais
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
SRTM	Shuttle Radar Topographic Mission
UCs	Unidades de Conservação
WWF	World Wildlife Fund
ZUs	Zonas Úmidas de Importância Internacional

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 MARCO TEÓRICO: SUBSÍDIOS PARA A CLASSIFICAÇÃO BIOHIDROGEOMORFOLÓGICA DAS AUS EM MINAS GERAIS	23
2.1 Convenção de Ramsar e contexto legal das AUs no Brasil e em Minas Gerais	23
2.2 Fatores determinantes e de caracterização das AUs e a abordagem conceitual biohidrogeomorfológica	31
2.3 Valores funcionais das AUs: funções ambientais, biodiversidade e serviços ecossistêmicos e ambientais.....	46
2.4 Propostas de classificação e regionalização de AUs com critérios biohidrogeomorfológicos	55
2.5 Tipologias e principais características das AUs em Minas Gerais	69
3 METODOLOGIA	78
3.1 Embasamento teórico-conceitual das AUs e subsídios para classificação.....	78
3.2 Construção do inventário de AUs.....	Erro! Indicador não definido.
3.3 Construção da classificação biohidrogeomorfológica	89
3.3.1 Estrutura e aspectos definidores	89
3.3.2 Níveis 1 e 2.....	101
3.3.2.1 Formação do parâmetro Geomorfológico	101
3.3.2.2 Formação do parâmetro Hidrogeológico	107
3.3.2.3 Formação do parâmetro Climático	113
3.3.2.4 Formação do parâmetro Biológico	116
3.3.3 Definição das bases geoespaciais do Nível 3 da classificação	121
3.4 Instrumentos ambientais de gestão territorial e UCs de Proteção Integral	126
3.4.1 Classificação por instrumentos ambientais de gestão territorial	127
3.4.2 Disposição das UCs de Proteção Integral	134
3.5 Análise dos resultados	135
4 CLASSIFICAÇÃO BIOHIDROGEOMORFOLÓGICA DAS AUS NO CONTEXTO DE MINAS GERAIS	141
4.1 Parâmetro Geomorfológico	143
4.1.1 Nível 1: Domínios Geomorfológicos.....	143
4.1.2 Nível 2: Unidades Geomorfológicas	155
4.1.3 Relações entre os níveis 1 e 2 das AUs	166
4.2 Parâmetro Hidrogeológico.....	169
4.2.1 Nível 1: Domínios de Sistemas Aquíferos.....	169
4.2.2 Nível 2: Tipos de Aquíferos	182
4.2.3 Relações entre os níveis 1 e 2 das AUs	195
4.3 Parâmetro Climático.....	198

4.3.1 Nível 1: Faixas de Pluviosidade	198
4.3.2 Nível 2: Faixas de Déficit Hídrico.....	205
4.3.3 Relações entre os níveis 1 e 2 das AUs	211
4.4 Parâmetro Biológico.....	212
4.4.1 Nível 1: Biomass.....	212
4.4.2 Nível 2: Ecorregiões	219
4.5 Principais classes do Nível 1 das AUs.....	228
4.6 Principais classes do Nível 2 das AUs.....	238
4.7 Principais classes resultantes da combinação dos níveis 1 e 2 das AUs	249
4.8 Aplicação da proposta de classificação das AUs nos multiníveis	264
5 POTENCIALIDADES DE PROTEÇÃO DAS AUS	284
5.1 Contexto dos instrumentos ambientais de gestão territorial e das UCs de Proteção Integral e distribuição das AUs.....	284
5.2 Áreas potenciais de maior relevância de AUs para preservação ou manejo sustentável	304
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	312
REFERÊNCIAS	318
APÊNDICE – PRINCIPAIS CLASSES RESULTANTES DA COMBINAÇÃO DOS NÍVEIS 1 E 2 (N1N2) DAS AUS.....	333

1 INTRODUÇÃO

As Áreas Úmidas (AUs) são ecossistemas ou unidades funcionais cuja presença permanente ou temporária de água na superfície ou na zona de raízes é suficiente para promover processos físicos, químicos e biológicos de ambientes com deficiência ou ausência de oxigênio, indicados pela presença de águas rasas, solos úmidos ou encharcados com características hidromórficas e/ou uma biota adaptada a essas condições ao menos parte do ano. Formam-se em diferentes contextos físicos e bióticos e apresentam tipologias e dimensões espaçotemporais variadas, condicionadas pela conjunção de fatores hidrogeomorfológicos.

As AUs cobrem apenas em torno de 4 a 6% da superfície da Terra, mas são consideradas um dos ecossistemas mais importantes do mundo, tanto do ponto de vista dos serviços ecossistêmicos que oferecem ao homem, quanto do seu papel para a manutenção da biodiversidade, tendo em vista que 40% de todas as espécies vivem e se reproduzem em zonas úmidas, (Costanza *et al.*, 2014; Ramsar, 2018).

Os serviços ecossistêmicos são bens e serviços fundamentais que a natureza proporciona, direta e indiretamente, para a humanidade. Existem basicamente quatro tipos de serviços, a saber: serviços de provimento (aqueles obtidos da natureza para consumo ou utilização, como madeira, alimentos, substâncias medicinais, fibras, fitofármacos e recursos genéticos), serviços de regulação (benefícios obtidos com a regulação de condições ambientais, como de regulação do clima, purificação do ar, manutenção hidrológica e controle de inundações, erosão e pragas), serviços culturais (aqueles de natureza recreativa, educacional, espiritual, estético-paisagística, dentre outros) e serviços de suporte (serviços que contribuem para a produção dos outros três tipos supracitados, como formação do solo, ciclagem de nutrientes, polinização, dispersão de sementes, variedade genética de espécies, responsável pela biodiversidade, e outros) (EEM, *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio*, 2005).

Os valores ou benefícios fornecidos pelas AUs, além de muito diversos, operam em diferentes escalas e magnitudes espaciais e são provenientes de suas funções ambientais e ecológicas. Globalmente, as AUs atuam sequestrando e retendo carbono da atmosfera no solo e, como estabilizadores do clima, proporcionam serviços de regulação climática e atenuam as alterações climáticas. Estima-se que as AUs podem capturar até 40% do carbono do mundo (Ramsar, 2000; Embrapa Pantanal, 2007), mas se impactadas liberam os três principais gases de efeito estufa, no caso, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). Em

termos regionais, as AUs regulam ciclos hidrológicos e biogeoquímicos. No ciclo da água, as AUs recebem, armazenam e regulam fluxos de água e liberam água aos ecossistemas aquáticos durante os períodos de estiagem. Nos ciclos biogeoquímicos, as AUs absorvem, retêm e processam nutrientes, contaminantes e sedimentos, filtrando a água e melhorando a sua qualidade (Mitsch; Gosselink, 2007). Em escala local e regional, as AUs são uma das principais fontes de água para consumo humano e atividades como pecuária, produção agrícola e reposição de estoques pesqueiros (Borja; Camacho; Florín; 2012). Nas cidades, esses sistemas podem ter um impacto direto na qualidade de vida de seus habitantes, já que tendem a estar associadas a espaços verdes para lazer, assim como podem aumentar o conforto térmico e a infiltração de água no solo, reduzindo os riscos de enchentes, inundações e alagamentos (Lusett, 2017). Nas zonas costeiras, as AUs contribuem para aumentar a resiliência das cidades frente aos efeitos de oscilações climáticas e podem se configurar em atrativos para o turismo sustentável (Ramsar, 2018).

As AUs também são altamente relevantes para a conservação da biodiversidade aquática. As planícies fluviais e fluviolacustres funcionam como *habitats* de desenvolvimento ictiofauna, sobretudo de espécies migradoras (Junk; Wantzen, 2004). Brejos temporários podem abrigar espécies aquáticas e semiaquáticas endêmicas e ameaçadas. Lagoas transitórias se constituem em rotas de diversas espécies migratórias de aves. Além disso, são ambientes de répteis, anfíbios e diversos invertebrados.

Apesar da relevância destes ecossistemas, estima-se que a extensão global das zonas úmidas diminuiu entre 64 e 71% no século XX (Davidson, 2014), principalmente devido à drenagem artificial para a expansão agrícola e urbana (Mitsch; Gosselink, 2007), ao crescimento populacional e a carência na adoção de práticas sustentáveis (Davidson, 2014). Os dados atuais são alarmantes, pois as AUs continuam a diminuir globalmente, tanto em termos de extensão, quanto de qualidade ambiental (Ramsar, 2015; 2019). A retirada da cobertura natural para usos diversos, a extração de água, a poluição, a sobreexploração dos recursos naturais e a introdução de espécies exóticas que se tornam invasoras estão entre os principais agentes diretos da sua degradação e que impactam no seu equilíbrio (Kandus; Minotti, 2018).

A perda e degradação desses ambientes podem resultar em grandes danos ecológicos, ambientais e sociais, pois podem provocar a redução da disponibilidade hídrica e das taxas de recarga do nível freático, a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, a redução do conforto térmico, a perda da biodiversidade, a perda dos modos de vida de comunidades locais e o aumento dos processos migratórios populacionais (Barbier *et al.*; 1997; Mitsch; Gosselink,

2000; 2007). Assim, é fundamental o conhecimento das propriedades das AUs que absorvem determinadas funções para que sejam mantidos tanto seus serviços ecossistêmicos, quanto o seu equilíbrio ambiental e ecológico.

Portanto, não é de estranhar que as AUs constituem o único tipo de ecossistema abordado por uma convenção internacional que busca a sua proteção: a Convenção sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional, conhecida como Convenção de Ramsar, o nome da cidade no Irã onde o acordo foi assinado em 1971.

A Convenção de Ramsar marcou o início do processo de reconhecimento e valorização global das AUs. Inicialmente, o objetivo da Convenção foi promover a conservação de aves aquáticas migratórias, mas nas últimas décadas vem destacando também a necessidade da manutenção das funções e dos serviços ecossistêmicos desempenhados pelas AUs. Conforme Ramsar (2018), no contexto das mudanças climáticas, do aumento das crises hídricas e de eventos de inundações e secas no mundo, a formulação de políticas nacionais, estaduais e municipais de gestão e manejo baseadas na conservação e no uso sustentável das zonas úmidas é fundamental para materializar os benefícios socioambientais das AUs para a sociedade e a proteção da fauna silvestre.

O manejo sustentável das AUs exige o conhecimento básico da distribuição, da extensão e das principais características dos diferentes tipos de AUs existentes em dado recorte espacial (Carrera; De La Fuente, 2003). Conforme esses autores, as políticas para conservação das zonas úmidas demandam informações em nível regional e nacional, as quais precisam subsidiar a identificação e a caracterização dos tipos de zonas úmidas existentes (classificação) e o mapeamento e delimitação de sua distribuição (inventário) na paisagem.

Assim, a classificação é um instrumento que possibilita a sistematização e ampliação do conhecimento, pois é um processo de ordenamento, agrupamento e tipificação de habitats ou recursos naturais em categorias com atributos, propriedades ou funções semelhantes (Tiner, 1999; 2017), sendo utilizado para (i) uniformizar conceitos e terminologias; (ii) desenvolver sínteses das características, processos e/ou funções dominantes; (iii) organizar as unidades através de atributos físicos, químicos, biológicos, ecológicos e/ou ambientais relativamente semelhantes entre si, estabelecendo níveis e classes; (iv) auxiliar na escolha de indicadores adequados para fins de monitoramento e restauração; e (v) formar um instrumento básico para pesquisas, inventários, mapeamentos, planejamento, avaliação de impactos ambientais, estudos de valoração ambiental, programas de manejo ou conservação de AUs, etc (Scott; Jones, 1995; Cowardin; Golet, 1995), ou seja, fornece subsídios para o estabelecimento de políticas legais.

A importância do inventário e da classificação de AUs se dá em razão da seguinte premissa: não se pode conservar ou manejar algo que não se conhece, nem se pode manejar algo que não se sabe o quanto se tem. Assim, este problema é resolvido através de uma proposta de classificação para o desenvolvimento de um inventário de AUs (Finlayson; Van Der Valk, 1995; Mitsch; Gosselink, 2007). Por outro lado, há países ou regiões que fizeram um caminho contrário, ou seja, que já contavam com inventários de AUs, geralmente fora de uma estrutura ordenada e sistematizada, que serviram de base para a elaboração de metodologias de classificação. Nesse sentido, a classificação e o inventário são ferramentas que se retroalimentam à medida que são desenvolvidas e o conhecimento avança.

A partir da segunda metade do século XX, vários países desenvolveram metodologias de identificação e classificação das AUs, seja dentro de uma proposta nacional ou regional, tanto no meio científico quanto legal. Há uma ampla gama de publicações científicas e manuais governamentais com diferentes propostas de classificação, cuja estrutura, categorias, níveis e/ou atributos variam conforme os objetivos envolvidos. Como exemplos, podemos citar Estados Unidos, Canadá, Austrália, França, Espanha, México, Costa Rica, Colômbia, Equador, Argentina, África do Sul, Índia, China, dentre outros.

Nas últimas décadas, propostas de classificação ou regionalização que visam analisar as AUs em diversas escalas ou níveis de categorização estão cada vez mais presentes para categorizar e caracterizar os tipos de AUs, seus mecanismos de funcionamento, estado de conservação e/ou serviços ecossistêmicos prestados e, conseqüentemente, fornecer subsídios à produção de zoneamentos e normativas específicas para sua gestão e conservação.

A regionalização e ou a classificação do território, seja com uma abordagem ecológica, fisiográfica e/ou biohidrogeomorfológica, pode ser considerada um primeiro e importante passo para a classificação e inventário de áreas úmidas, uma vez que identifica unidades espaciais homogêneas em termos de características estruturais e/ou funcionais dos sistemas (Finlayson *et al.*, 2002; Benzaquen *et al.*, 2017; Kandus; Minotti, 2018).

A associação de dados físicos e biológicos em uma classificação de AUs reduz a dispersão das informações e sistematiza conhecimentos dentro de um referencial, o que reduz o problema científico da conexão ou integração necessária para compreender as interconexões existentes entre os ecossistemas e os seus meios físicos e bióticos de inserção (Martinez *et al.*, 2014). Por esses motivos, é necessário um sistema geral de classificação multiuso que possa servir como ponto de partida para classificações específicas (Bailey, 2009).

Nesse contexto, pode-se dizer que as escalas de análise regionais, sub-regionais e/ou de paisagem são de suma importância, pois sabe-se que mesmo as características locais de um ecossistema não devem ser baseadas apenas em suas condições físicas e/ou biológicas do local, mas também em como estas condições se encaixam em um contexto mais amplo. Isso ocorre porque as interações com as áreas adjacentes determinam parcialmente a resposta de um ecossistema. Além disso, o uso de diferentes escalas minimiza a fragmentação e desconexão de informações ou estudos dispersos sobre as AUs, dando suporte ao planejamento e à priorização de ações para o monitoramento, conservação e/ou ao manejo sábio desses ecossistemas (Montes *et al.*, 1998). Assim, conforme Bailey (2009), precisa-se de dados de ecossistemas para vários níveis territoriais de planejamento, desde o nacional e/ou regional à paisagem e/ou ao local, e que estes ecossistemas também devem ser analisados em relação às unidades ambientais e territoriais circundantes.

Nesse sentido, a definição de parâmetros para a classificação do território, com enfoque em variáveis ou critérios que condicionam e/ou caracterizam as AUs em diferentes níveis ou escalas de análise, pode tanto prover resultados que classificam e caracterizam as AUs conforme seus contextos de ocorrência, como embasar classificações posteriores mais específicas.

No Brasil, apesar das AUs cobrirem cerca de 20% do território (Junk *et al.*, 2013; Cunha *et al.*, 2015), pouco ainda se sabe sobre suas características, distribuição, dinâmica hidrológica, funções ambientais e estado de conservação. Os pesquisadores do Instituto Nacional de Áreas Úmidas (INAU) desenvolveram uma proposta de classificação de grandes AUs brasileiras, com o objetivo de fornecer bases científicas para o desenvolvimento de políticas de proteção desses ecossistemas e que embasou a Recomendação nº 7/2015 do Comitê Nacional de Zonas Úmidas (CNZU), que dispõe sobre o sistema de classificação. Contudo, a classificação concentra-se nos tipos ecológicos de AUs das regiões do Amazonas, Pantanal e Banhados do Sul, que diferem dos principais tipos característicos do estado de Minas Gerais.

A deficiência de políticas, instrumentos, metodologias e ações que visem o mapeamento, a caracterização e a conservação das AUs brasileiras pelos órgãos públicos demonstra que esses ecossistemas não possuem a proteção necessária para garantir sua proteção e o seu manejo sustentável. Conforme Leite (2018), entre os fatores que dificultam a adoção no Brasil das diversas recomendações da Convenção de Ramsar é o pouco conhecimento da sociedade e dos gestores ambientais acerca dos benefícios e serviços prestados pelas zonas

úmidas, assim como a ausência ou falta de instrumentos específicos que visem seu maior conhecimento para o ordenamento e o planejamento do território.

Minas Gerais é um estado que apresenta uma grande variedade de quadros morfológicos, que condicionam e imprimem diferentes características as AUs. Podemos identificar a ocorrência de AUs, por exemplo, nas regiões do Espinhaço e do Quadrilátero Ferrífero, na bacia do rio Pandeiros, nos relevos cársticos e de mares de morro e nas chapadas. O estado, chamado de “caixa d’água” do país por abrigar bacias hidrográficas que drenam para diversas partes do território nacional, possui uma grande variedade de AUs que, além de abrigar uma rica biodiversidade, fornece inúmeros serviços ambientais, como filtração natural de agrotóxicos, recarga e descarga de aquíferos, manutenção de corpos hídricos, áreas alagadas e mananciais. Contudo, as AUs vêm sofrendo contínua degradação e mesmo desaparecimento em função, principalmente, da expansão das atividades agropecuárias, da mineração e/ou da ocupação sem planejamento ambiental.

Em Minas Gerais, as pesquisas científicas sobre as AUs ainda são pouco expressivas, sendo geralmente centradas dentro de uma perspectiva ecológica ou biológica ou de gênese, restringindo-se ao estudo de uma AU ou área específica.

A política estadual de meio ambiente não apresenta planos e instrumentos jurídicos que abordem especificamente as AUs. Além disso, não há propostas e projetos que preveem o inventário e a classificação das AUs do estado e esses ecossistemas continuam desaparecendo e reduzindo sem um mapeamento e inventário de sua existência e características. Por outro lado, Minas Gerais é contemplado por diversos estudos, mapeamentos e dados cartográficos relevantes de geologia, geomorfologia, climatologia, vegetação, classes de cobertura da terra, áreas prioritárias para a conservação, unidades de conservação e outros, e que poderiam ser estudados e analisados sob o enfoque das AUs. Este material, produzido por diferentes organismos governamentais e/ou instituições colaborativas, apresenta enorme potencial para auxiliar no desenvolvimento de metodologias de classificação e inventários de AUs que visem a conservação e a gestão sustentável destes ecossistemas, além da identificação de áreas potenciais para a sua proteção. Além disso, diversas universidades e instituições publicaram pesquisas mais detalhadas para regiões ou locais específicos do estado, que podem servir como subsídios para a classificação e análise dos tipos e/ou funções das AUs e os impactos que vem sofrendo atualmente.

Assim, esta tese tem a seguinte **questão norteadora**: Quais são as características biohidrogeomorfológicas das Áreas Úmidas do Estado, quais tipos são formados, como se

distribuem no território e onde se localizam as áreas potenciais para sua proteção, dentro de um contexto regional?

Considerando o exposto, a **hipótese que orienta a pesquisa** é: a seleção de parâmetros geoespaciais geomorfológicos, hidrológicos, hidrogeológicos, climáticos, biológicos e de instrumentos de gestão de um território, estruturados dentro de uma classificação multiescalar e combinados com um inventário ou mapeamento de Áreas Úmidas, possibilitam a interpretação das características e tipos de Áreas Úmidas com base na sua relação com os meios circundantes, a análise da sua distribuição e da diversidade de tipos no território, assim como a identificação de áreas potenciais para sua proteção.

Neste contexto, essa pesquisa tem como **objetivo principal** desenvolver uma proposta de classificação biohidrogeomorfológica geoespacial das Áreas Úmidas de Minas Gerais, organizada em níveis escalares regionais, incluindo a análise de sua distribuição no território, a interpretação dos seus tipos e características, bem como a identificação de áreas potenciais de maior relevância para a sua proteção ambiental.

Para tanto, foram delineados os seguintes **objetivos específicos**:

- Estruturar um inventário de Áreas Úmidas do território de Minas Gerais, identificando, quando possível, sua tipologia;
- Definir os parâmetros biohidrogeomorfológicos para classificar espacialmente as Áreas Úmidas do inventário, em diferentes níveis escalares de análise;
- Analisar a distribuição espacial das Áreas Úmidas inventariadas, interpretar suas características e a diversidade de seus tipos, a partir da classificação proposta;
- Definir áreas com maior potencial de relevância ambiental a partir do cruzamento e das classes de instrumentos de gestão da classificação;
- Analisar a distribuição espacial das Áreas Úmidas no contexto das áreas potenciais de maior relevância ambiental e das unidades de conservação de proteção integral; e
- Indicar e discutir áreas potenciais para proteção e/ou manejo sustentável de Áreas Úmidas, considerando seus principais tipos, características, funções e impactos atuais, dentro de um panorama regional.

Nesse sentido, a proposta poderá fornecer subsídios para avançar nas pesquisas e na formulação e execução de políticas públicas que abordem as Áreas Úmidas como unidades funcionais a serem inventariadas, protegidas e geridas sustentavelmente, considerando a sua diversidade, suas características e funções, em diferentes escalas de análise e de planejamento e gestão territorial.

2 MARCO TEÓRICO: SUBSÍDIOS PARA A CLASSIFICAÇÃO BIOHIDROGEOMORFOLÓGICA DAS AUS EM MINAS GERAIS

2.1 Convenção de Ramsar e contexto legal das Áreas Úmidas no Brasil e em Minas Gerais

A Convenção de Ramsar, tratado intergovernamental promulgado em 1971 e que tem como objetivo a conservação e o uso racional das zonas úmidas através da promoção de ações locais e nacionais e da cooperação internacional, define as zonas úmidas como:

Áreas de pântano, charco, turfa ou água, natural ou artificial, permanente ou temporária, com água estagnada ou corrente, doce, salobra ou salgada, incluindo áreas de água marítima com menos de seis metros de profundidade na maré baixa (RAMSAR, 1971).

A definição adotada pela Convenção de Ramsar é ampla, abarcando lagos e rios, aquíferos, pântanos, campos úmidos, turfeiras, manguezais, recifes de corais, estuários, deltas e zonas úmidas antropizadas. A definição dos seis metros na maré baixa para áreas costeiras foi estabelecida com a função de proteger as áreas com aves aquáticas migratórias, objetivo inicial da Convenção, mas que a partir dos anos 1990 incorporou uma visão mais abrangente sobre as AUs, passando a focar não apenas a conservação de habitats das aves aquáticas, mas a diversidade, singularidade e manutenção de outras espécies e processos ecológicos.

No âmbito da Convenção, para um país tornar-se membro, é necessário designar ao menos uma Zona Úmida de Importância Internacional (Sítio Ramsar) em seu território para ser gerido segundo os princípios de sustentabilidade da convenção. A Lista de Ramsar, formada pelos Sítios Ramsar, tem como missão desenvolver e manter uma rede internacional de zonas úmidas que são importantes para a conservação da diversidade biológica global e para sustentação da vida humana através da manutenção dos seus elementos e processos e dos benefícios e serviços ecossistêmicos que desempenham (Ramsar, 2022). A Lista Ramsar é o principal instrumento adotado pela Convenção para implementar seus objetivos.

A Convenção de Ramsar, por meio da Recomendação 4.2 de 1990, propôs nove critérios gerais para os países identificarem Sítios Ramsar (Quadro 2.1).

Quadro 2.1 - Critérios para a identificação de Zonas Úmidas de Importância Internacional

Grupo A. Sítios que contêm um tipo de área úmida representativa, rara ou única	
Critério 1	Uma zona úmida deve ser considerada de importância internacional se ela é um tipo de área úmida representativa, rara ou única de área alagada natural ou quase natural dentro de uma região biogeográfica apropriada.
Grupo B. Sítios de importância internacional para conservação da diversidade biológica	
Critérios baseados em espécies e comunidades ecológicas	
Critério 2	Uma zona úmida deve ser considerada de importância internacional se ela suporta espécies vulneráveis, em perigo ou criticamente em perigo ou comunidades ecológicas ameaçadas.
Critério 3	Uma zona úmida deverá ser considerada de importância internacional se ela suporta populações de espécies importantes para a manutenção da diversidade biológica de uma região biogeográfica especial de plantas e/ou animais.
Critério 4	Uma zona úmida deve ser considerada de importância internacional se ela suporta espécies vegetais e / ou animais em uma fase crítica em seus ciclos de vida, ou fornece refúgio durante condições adversas.
Critérios específicos baseados em aves aquáticas	
Critério 5	Uma zona úmida deve ser considerada de importância internacional se ela suporta regularmente 20.000 ou mais pássaros aquáticos.
Critério 6	Uma zona úmida deve ser considerada de importância internacional se ela suporta regularmente 1% dos indivíduos de uma população de uma espécie ou subespécie de aves aquáticas.
Critérios específicos baseados em peixes	
Critério 7	Uma zona úmida deve ser considerada de importância internacional se ela suporta uma proporção significativa de subespécies de peixes nativas, espécies ou famílias, fases do ciclo de vida, espécies interações e / ou populações que são representativas de benefícios e/ou valores de zonas úmidas e, assim, contribui para diversidade biológica global.
Critério 8	Uma zona úmida deve ser considerada de importância internacional por se tratar de uma importante fonte de alimento para os peixes, local de desova, reprodução e/ou migração de peixes, importante para manutenção dos estoques pesqueiros, quer dentro da área úmida ou em outro lugar da qual dependem.
Critérios específicos baseados em outros táxons	
Critério 9	Uma zona úmida deve ser considerada de importância internacional se ela suporta regularmente 1% dos indivíduos de uma população de uma espécie ou de uma subespécie de aves não-dependentes de zonas úmidas.

Fonte: <https://www.ramsar.org/document/recommendation-42-criteria-for-identifying-wetlands-of-international-importance>.

Conforme o Quadro 2.1, observa-se que os critérios de identificação estão distribuídos em dois grupos, A e B, sendo um correspondente às zonas úmidas que compreendem sítios representativos, raros ou únicos, e outro referente aos sítios com alta diversidade biológica. Para

uma área úmida ser considerada um sítio Ramsar, é necessário apresentar ao menos um dos nove critérios estabelecidos pela Convenção, sendo que aquelas AUs com presença de aves aquáticas migratórias, em qualquer estação do ano, devem ser considerados em primeiro lugar.

A inclusão de demais critérios ecológicos se deve, principalmente, ao fato que as AUs apresentam mais de 40% de todas as espécies descritas no mundo, com grandes concentrações de algas, plantas, aves aquáticas, mamíferos, répteis, anfíbios, peixes e invertebrados, estes últimos formando, inclusive, um número expressivo de espécies endêmicas (Ramsar, 2013).

No Brasil, a Convenção de Ramsar foi incorporada ao quadro regulamentar através do Decreto 1.905, de 16 de maio de 1996. Através do seu Artigo 4, o Decreto afirma que os membros da Convenção devem promover a conservação das zonas úmidas e das aves aquáticas, estabelecendo reservas naturais, estejam ou não incluídas na Lista Ramsar, para providenciar a sua proteção apropriada.

Para a seleção de Sítios Ramsar, o Comitê Nacional de Zonas Úmidas (CNZU), instituído inicialmente pelo Decreto 23, de 23 de outubro de 2003, alterado pelo Decreto de 5 de novembro de 2008 e hoje instituído e com as competências descritas no Decreto nº 10.141, de 28 de novembro de 2019, estabeleceu, através da Recomendação nº 05/2012, seis critérios nacionais a serem considerados na seleção de áreas potenciais para designar como sítios Ramsar, que são apresentados no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 - Critérios Nacionais para a seleção de Áreas Protegidas a serem indicadas como potenciais Sítios de Importância Internacional

Critério	Pontuação	Regras da pontuação
Representação nos Biomas ¹	0 a 5	Subtrair de 5 o número correspondente à quantidade de sítios Ramsar já existentes no Bioma em que a Área Protegida está presente.
Representação nas Ecorregiões Aquáticas de Águas Continentais ² e Ecorregiões Marinhas ³	0 a 5	Subtrair de 5 o número correspondente à quantidade de sítios Ramsar já existentes na Ecorregião em que a Área Protegida está presente.
Importância Biológica das Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição dos Benefícios da Biodiversidade Brasileira ⁴	0 a 5	5 para área com Importância Extremamente Alta; 3 para área com Importância Muito Alta; 1 para área com Importância Alta; e 0 para área com Importância Insuficientemente Conhecida.
Áreas Importantes para a Conservação das Aves ⁵ (<i>Important Bird Areas</i>) - IBAs	0 a 5	5 para áreas em até 1km das IBAs; 3 para áreas em até 15km das IBAs; 1 para áreas em até 50km das IBAs; e 0 para áreas a mais de 50km das IBAs.
Percentual de Área Úmida	0 a 5	5 para áreas com mais de 50% de ambientes de áreas úmidas; 3 para áreas com 20 a 50% de ambientes de áreas úmidas; 1 para áreas com 5 a 20% de ambientes de áreas úmidas; e 0 para áreas com menos de 5% de ambientes de áreas úmidas.
Bacias hidrográficas (ottobacias de 4ª a 6ª ordem) que contém peixes com distribuição restrita ⁶ - KBAs de peixes (áreas-chave para a conservação da biodiversidade de peixes)	0 a 1	0 para áreas que não fazem interseção com nenhuma bacia hidrográfica representativa de peixes com distribuição restrita; 1 para áreas que fazem interseção com alguma bacia hidrográfica representativa de peixes com distribuição restrita.

Fonte: Recomendação nº 05/2012.

A Recomendação nº 05/2012 estabelece que as pontuações dos critérios devem ser somadas para cada uma das Áreas Protegidas e o resultado deve ser apresentado em uma lista ordenada conforme a pontuação recebida, subdividida em áreas continentais e áreas costeiras. A Recomendação também elencou Unidades de Conservação (UCs) a serem indicadas como potenciais Sítios Ramsar, mas não restringe a importância somente aquelas indicadas. Além disso, recomendou, em um prazo de 5 anos a partir da sua publicação, a revisão dos critérios e a meta de designação de ao menos 10 novos sítios Ramsar. Esta meta foi atendida, mas não foi publicada uma revisão dos critérios. Porém, foi verificado que, desde 2017, o Ministério do Meio Ambiente (MMA), autoridade administrativa da Convenção no país, criou uma categoria de Sítios Ramsar denominada Sítios Ramsar Regional ampliando a designação para áreas que não coincidem com UCs. Contudo, não especifica claramente se há necessidade de incidência de outro critério de restrição, para além das UCs, terras indígenas e as áreas de preservação permanente.

Conforme Leite (2018), há vantagens e desvantagens quando a designação de sítios Ramsar se limita a áreas legalmente protegidas. Quando a designação se limita às UCs, os sítios Ramsar se beneficiam por serem adequadamente manejados pela Lei nº 9.985/2000 do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), já que a Convenção de Ramsar tem o papel de promoção e não obrigação, sendo frágil neste aspecto. Por outro lado, a designação de sítios Ramsar apenas a áreas protegidas diminui a importância das AUs e da valorização dos seus serviços ecossistêmicos como ativos para o desenvolvimento socioeconômico, um dos objetivos da Convenção.

Apesar da Convenção de Ramsar não possuir mecanismos legais que assegurem a sua implementação adequada pelas partes contratantes, as zonas úmidas designadas como Sítios Ramsar possuem reconhecimento internacional e podem fortalecer cooperações internacionais e a captação de recursos, possibilitando uma maior valorização das zonas úmidas pela sociedade, o desenvolvimento do turismo ecológico e a adoção de atividades econômicas mais compatíveis com o ambiente onde se inserem. Assim, podem auxiliar no planejamento territorial de um país, região ou mesmo local, quando bem articuladas com os atores envolvidos.

Atualmente, 172¹⁾ países ratificaram a Convenção, sendo designados 2.493 sítios Ramsar, o que equivalente a 256.759.538 hectares (2.567.595 km²). O Brasil, território com mais de 8 milhões de km², possui 27 sítios Ramsar (Quadro 2.3) que cobrem uma área de 26.794.455 hectares.

Quadro 2.3 - Sítios Ramsar brasileiros

Sítios	UF	Data da designação
Área de Proteção Ambiental das Reentrâncias Maranhenses	MA	30/11/1993
Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense	MA	29/02/2000
Parque Estadual Marinho do Parcel de Manuel Luiz e Baixios do Mestre Alvaro e Tarol	MA	29/02/2000
Parque Nacional do Araguaia - Ilha do Bananal	TO	04/10/1993
Parque Nacional da Lagoa do Peixe	RS	24/05/1993
Parque Nacional do Pantanal Mato-Grossense	MT	24/05/1993
Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá	AM	04/10/1993
Reserva Particular do Patrimônio Natural SESC Pantanal	MT	06/12/2002
Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Rio Negro	MS	28/05/2009
Arquipélago de Fernando De Noronha	PE	25/01/2018
Parque Estadual do Rio Doce	MG	26/02/2010

¹ A Lista de países signatários da Convenção, assim como manuais, documentos, notícias, etc., pode ser consultada na página <https://www.ramsar.org/>.

Parque Nacional do Cabo Orange	AP	02/02/2013
Reserva Biológica Atol das Rocas	RN	11/12/2015
Parque Nacional do Viruá	RR	22/03/2017
Parque Nacional de Anavilhanas	AM	22/03/2017
Reserva Biológica do Guaporé	RO	22/03/2017
Estação Ecológica do Taim	RS	22/03/2017
Estação Ecológica de Guaraqueçaba	PR	05/06/2017
Lund-Warming/APA Carste de Lagoa Santa	MG	05/06/2017
APA Cananéia - Iguape - Peruíbe	SP	04/09/2017
APA Estadual de Guaratuba	PR	21/09/2017
Parque Nacional de Ilha Grande	MS/PR	30/09/2017
Arquipélago de Fernando de Noronha	PE	25/01/2018
Rio Negro (Sítio Ramsar Regional)	AM	19/03/2018
Estuário do Amazonas e seus Manguezais (Sítio Ramsar Regional)	AP até CE	19/03/2018
Rio Juruá (Sítio Ramsar Regional)	AM	29/09/2018
Estação Ecológica Taimã	MT	21/10/2018

Minas Gerais, com uma superfície com mais de 580.000 km², abrangendo em média 6,9% do território nacional, possui 2 sítios Ramsar (Parque Estadual do Rio Doce - PE Rio Doce e a APA Carste de Lagoa Santa - *Lund Warming*) (Quadro 2.3), ocupando uma área de 59.838 hectares. Ou seja, somente uma área de aproximadamente 0,2% do total dos sítios Ramsar brasileiros situa-se em Minas Gerais. A título de comparação, a Espanha, com uma superfície em média de 505.9900 km², possui 76 sítios ocupando uma área de 313.089 hectares do seu território, ou seja, maior que 5 vezes a dos sítios de Minas Gerais. Já a França, com uma superfície em média de 551.695 km², possui 53 sítios Ramsar na Europa, que ocupam 3.808.250 km² do seu território, ou seja, maior que 50 vezes a área dos sítios Ramsar de Minas Gerais.

Em Minas Gerais, o PE Rio Doce, inserido no bioma da Mata Atlântica, foi eleito como sítio de Ramsar em função da sua diversidade biológica. As lagoas e áreas úmidas abrigam hábitat de espécies endêmicas e influenciam o regime de água em extensas áreas, proporcionando condições ideais para reprodução e desenvolvimento de diversas destas espécies. Já o Sítio Lund Warming, composto por dois importantes biomas, a Mata Atlântica e o Cerrado, abriga florestas decíduais e semidecíduais e lagoas transitórias em rochas carbonáticas associadas à campos úmidos com alta biodiversidade, com diversos registros de espécies de aves aquáticas migratórias².

² As informações sobre os sítios Ramsar de Minas Gerais foram consultadas na seguinte página do Instituto Estadual de Florestal (IEF): <http://www.ief.mg.gov.br/pesquisa-cientifica/sitio-ramsar>

Cabe assinalar que, em termos de critérios locacionais de enquadramento de atividades e empreendimentos (Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Política Ambiental DN Copam nº 217, de 06 de dezembro de 2017), os sítios Ramsar apresentam Peso 2 (igualmente as UCs de Proteção Integral e a supressão de vegetação nativa em áreas prioritárias para conservação, formando o peso máximo) e, portanto, a modalidade de licenciamento é mais restritiva. Assim, a delimitação de novos Sítios Ramsar no território poderia auxiliar no controle das perdas de AUs no estado, seja em quantidade e/ou qualidade.

Para identificação de zonas úmidas, o Comitê Nacional de Zonas Úmidas adota a seguinte definição de AUs:

Ecosistemas na interface entre ambientes terrestres e aquáticos, continentais ou costeiros, naturais ou artificiais, permanente ou periodicamente inundados ou com solos encharcados. As águas podem ser doces, salobras ou salgadas, com comunidades de plantas e animais adaptados à sua dinâmica hídrica (Recomendação CNZU nº 7, de 11 de junho de 2015; adaptado de Junk *et al.*, 2013).

Este conceito foi adaptado de Junk *et al.* (2013), do Instituto Nacional de Áreas Úmidas, e é mais específico que a Convenção de Ramsar na definição de zonas úmidas, pois auxilia a identificação de AUs através da presença de solos encharcados e plantas e animais adaptados. Contudo, o termo “inundados” e a expressão “interface entre ambientes terrestres e aquáticos” pode direcionar o entendimento que o conceito engloba somente as AUs em planícies de inundação. O termo “solos encharcados” também pode ser um limitador quando as AUs ocorrem sobre sedimentos ou rochas.

Por outro lado, o conceito de AU se torna mais claro quando é definido a extensão de uma AU como:

(...) limite da inundação rasa ou do encharcamento permanente ou periódico, ou no caso de áreas sujeitas aos pulsos de inundação, pelo limite da influência das inundações médias máximas, incluindo-se aí, se existentes, áreas permanentemente secas em seu interior, habitats vitais para a manutenção da integridade funcional e da biodiversidade das mesmas. Os limites externos são indicados pela ausência de solo hidromórfico, e/ou pela ausência permanente ou periódica de hidrófitas e/ou de espécies lenhosas adaptadas a solos periodicamente encharcados (Recomendação CNZU nº 7, de 11 de junho de 2015; adaptado de Junk *et al.*, 2013).

O Código Florestal (Lei 12.651/12) brasileiro define as AUs da seguinte forma: “pantanaís e superfícies terrestres cobertas de forma periódica por águas, cobertas originalmente por florestas ou outras formas de vegetação adaptadas à inundação”. A Lei Florestal de 2013 de Minas Gerais (Lei 20.922/2013) também apresenta uma definição de AUs em consonância com a definição do Código nacional: “pantanaís e as superfícies terrestres

inundadas naturalmente e de forma periódica, cobertas originalmente por florestas ou outras formas de vegetação adaptadas à inundação”. Nota-se que na lei mineira tem-se a inclusão da palavra “naturalmente”, possivelmente como forma de demonstrar que os sistemas agrícolas irrigados em planícies de inundação não são AUs (Gomes, 2017). Ambas as definições excluem as AUs que se encontram permanentemente saturadas ou cobertas por águas e parecem indicar como AUs somente aquelas inundadas por cursos d’água. Nesse sentido, apesar de serem definições mais específicas que a definição da Convenção de Ramsar, podem gerar dúvidas quando aplicadas.

Ainda em relação à Lei 12.651/12, observa-se que há outras tipologias de AUs presentes, mas sem considerá-las como AUs, como ocorre com as veredas, manguezais, restingas e as áreas definidas como várzea de inundação. Santos *et al.* (2021) verificaram, com base na análise da legislação ambiental brasileira, a adoção de conceitos diversos e sem uma padronização, o que dificulta, conforme os autores, a proteção da diversidade ecossistêmica das AUs.

Por outro lado, o Art.6 da Código Federal e o artigo Art. 10 da Lei estadual nº 20.922/2013 possibilitam a delimitação de AUs como áreas de preservação permanente, quando declaradas de interesse social, já que, entre seus incisos, está a proteção das AUs, especialmente de importância internacional. Assim, AUs que não são individualizadas na Lei e que apresentam alto valor ecológico, hidrológico e/ou socioambiental podem ser declaradas de interesse social por ato do Chefe do Poder Executivo, possibilitando, através desse mecanismo, a sua delimitação como áreas de preservação. Contudo, o conceito de AUs nos referidos Códigos Florestais, por serem imprecisos e direcionado às AUs inundáveis, limitam a aplicação das áreas de interesse social, excluindo, por exemplo, AUs de domínios montanhosos associadas a campos rupestres brejosos ou campos úmidos, com a formação ou não de turfeiras.

Nesse sentido, pode-se dizer que a imprecisão e a fragilidade dos conceitos de AUs estabelecidos pelas leis federal (12.651/12) e estadual (20.922/2013) dificultam a implementação de áreas de preservação permanente que poderiam ser declaradas de interesse social com o objetivo de proteger áreas úmidas diversas (Santos *et al.*, 2021). Além disso, estes conceitos dificultam ou mesmo inviabilizam a implementação de um inventário de AUs, que, por sua vez, também é essencial para um mapeamento de AUs (sobretudo, aquelas de maior relevância) e para um planejamento das políticas territoriais, com a definição de áreas para a conservação e/ou ao manejo sábio desses ecossistemas. Cabe ainda destacar que o Código

Florestal brasileiro e de Minas Gerais fragilizaram a proteção das AUs, ao modificar, por exemplo, a metragem da APP a partir do leito regular e não mais do leito maior.

Considerando o exposto, a adoção de um conceito de AUs é o ponto de partida para identificar, classificar, delimitar e monitorar desses ecossistemas. A Convenção de Ramsar menciona a importância de os países membros adotarem um conceito de AUs com base em critérios científicos e que servirá como referência para a elaboração de inventários e programas de conservação de AUs (Recomendação nº 07 de 2015). A seguir, o subcapítulo 2.2 apresenta os fatores centrais que determinam e caracterizam as AUs e abordagem biohidrogeomorfológica para classificação de AUs.

2.2 Fatores determinantes e de caracterização das AUs e a abordagem conceitual biohidrogeomorfológica

As áreas úmidas são sistemas cuja ocorrência é determinada por uma combinação de fatores físicos que interagem no ambiente. Estas combinações produzem diferentes características físicas e bióticas e tipologias de AUs, que podem expressar-se de diferentes maneiras em termos espaçotemporais.

Os principais componentes ambientais para a compreensão das AUs são a hidrologia e o balanço hídrico, a geomorfologia, incluindo as coberturas superficiais e os solos, a geologia, incluindo a hidrogeologia, e a biota, que formam uma abordagem biohidrogeomorfológica das AUs.

A hidrologia é fundamental para a existência, estrutura e manutenção das AUs, pois é a presença persistente da água (permanente ou temporária) na superfície ou na zona de raízes que exerce influência dominante no desenvolvimento de solos com características hidromórficas e/ou de uma biota adaptada (NRC, 1995; Finlayson; Van Der Valk, 1995; Mitsch; Gosselink 2007). Assim, a hidrologia, associada à dimensão geomorfológica, geológica e climática, determina sua formação, configuração e dinâmica de entradas e saídas de água.

O regime hidrológico das AUs pode ser caracterizado em termos da origem da água (superficial e /ou subsuperficial); duração e frequência das inundações e/ou da saturação da superfície pelo nível freático; profundidade e fluxo da lâmina d'água (quando presente); e saída da água.

De acordo com Dawson *et al.* (2003), o balanço hídrico de uma determinada AU é uma relação entre a água que entra por precipitação, contribuição subterrânea, escoamento

superficial e/ou transbordamento lateral de corpos d'água, e o que sai por evapotranspiração, infiltração em direção ao nível freático e/ou por escoamento superficial para áreas adjacentes. Pode-se dizer que a combinação do balanço hídrico de uma AU com a morfologia e o substrato do terreno produz ecossistemas específicos, cuja presença, extensão e características estruturais e funcionais dependem das peculiaridades climáticas, hidrológicas e geomorfológicas do contexto em que se encontram (Cunha *et al.*, 2015, p.34).

Nesse sentido, as AUs se configuram a partir das características particulares do seu contexto geológico-geomorfológico em um dado regime climático e, também, de sua localização na paisagem.

Sobre o regime climático, as AUs ocorrem geralmente com maior frequência nos climas úmidos e semiúmidos e seu regime pluviométrico influencia, na maioria dos casos, a variabilidade espacial e temporal das AUs (Brinson, 1993; Semeniuk; Semeniuk, 1995; Tiner, 1999; Mitsch; Gosselink, 2007). Assim, há uma estreita relação entre as características estruturais e funcionais das AUs com o regime hidrológico das AUs, que faz com que as AUs sejam sistemas dinâmicos (Mitsch; Gosselink 2015).

Em termos morfológicos e sua localização na paisagem, as planícies inundáveis, as áreas deprimidas, as bases de encostas, as áreas de acumulação no perfil da vertente e as cabeceiras de drenagem favorecem a formação das AUs, já que permitem o acúmulo de água e influenciam a dinâmica da água superficial e subsuperficial. Em geral, as partes altas e menos declivosas constituem zonas potenciais de recarga e as baixas de descarga do fluxo freático.

Em regiões montanhosas, por exemplo, a declividade do terreno facilita o escoamento da água, mas a água infiltrada que atinge à zona de saturação irá se deslocar em direção às zonas mais baixas na vertente, onde o movimento é mais lento, facilitando a sua acumulação. Dependendo do tipo de material e do tipo de exfiltração, a água pode formar forma nascentes, olhos d'água e/ou áreas úmidas. Por outro lado, em fundos vales planos e em áreas deprimidas a água terá uma maior oportunidade de infiltração e exfiltração, pois recebem tanto as águas infiltradas localmente, quanto as descargas das encostas do entorno. Além disso, podem receber a contribuição das águas provenientes do extravasamento de cursos d'água, quando presentes, resultando no nivelamento da superfície pela acumulação de sedimentos. Além da presença de água, a forma do terreno, a posição da AU na paisagem e o tipo de material são fundamentais nesse processo.

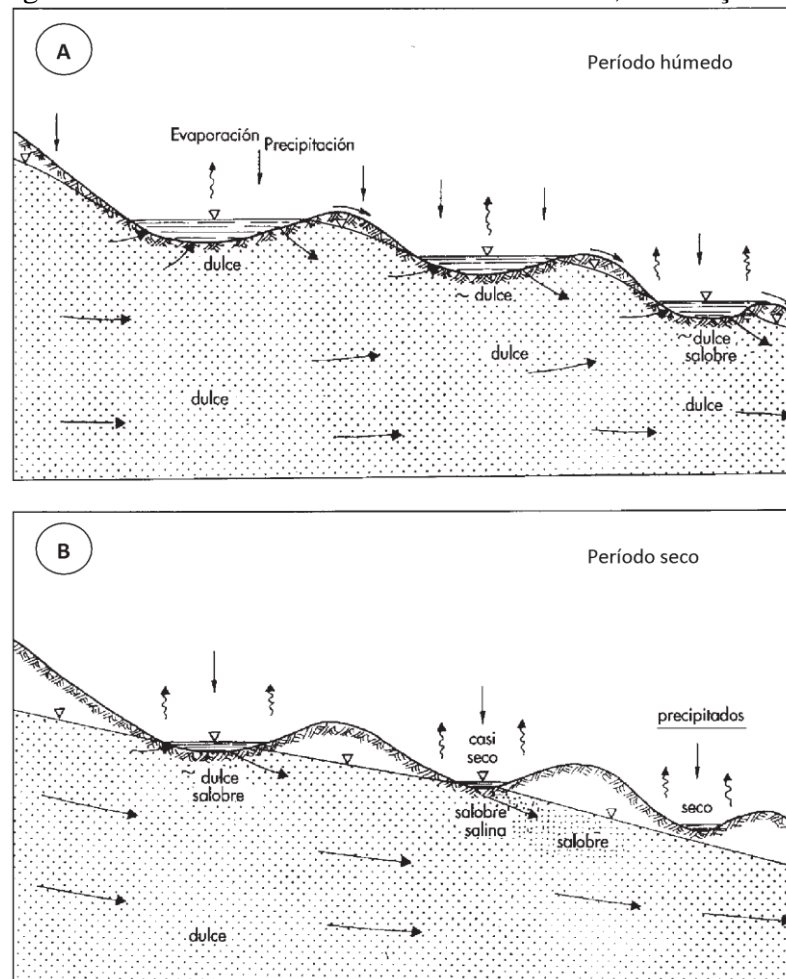
A morfologia também atua condicionando a forma, o tamanho e a profundidade das AUs, que, por sua vez, deriva de processos morfoclimáticos e/ou tectônicos, onde o nível de

base e suas implicações controlam a dinâmica da água superficial e subsuperficial e o grau em que estão abertas a trocas de água e material com as áreas adjacentes (Bailey, 2009). Cabe destacar também que a morfologia de uma vertente (côncava, retilínea, convexa, mista) também é de grande importância na organização dos fluxos hídricos e formação das AUs.

As AUs alimentadas por águas subsuperficiais também estão diretamente associadas as características morfológicas do terreno, do material e do movimento das águas em subsuperfície. Em escalas regionais, os domínios ou unidades hidrogeológicas ou litohidrogeológicas fornecem um panorama geral das características litológicas onde as AUs se assentam, podendo fornecer elementos importantes sobre suas características físicas e mecanismos de funcionamento. Em escalas locais, analisada com a topografia do terreno, critérios mais específicos de alimentação são identificados, podendo-se compreender o comportamento e fazer previsões de evolução da AU.

Em uma vertente, por exemplo, as AUs podem ser geradas com a interceptação do nível freático na superfície (Figura 2.1). Estas áreas de descarga são, em geral, apenas uma pequena parte da extensão do aquífero e geralmente podem ter uma forma alongada ou localizada, e de forma contínua ou descontínua (Custodio, 2010). Conforme o autor, a parte central da área deprimida da AU é frequentemente ocupada e confinada por sedimentos de baixa permeabilidade e apresentam água ou umidade elevada, mas que nas estações secas também podem secar se a evaporação for elevada e não houver fluxos ascendentes de água subterrânea suficientes para manter a umidade. Se parte desta exfiltração estiver concentrada em áreas específicas, será formada uma AU com perfil descontínuo, sendo identificadas as zonas de umidade preferencial e de exfiltração de água subterrânea.

Figura 2.1 - Desenho esquemático com o afloramento do nível freático em uma porção de vertente com gradientes de altitude e declividade alternados, na estação seca e chuvosa



Fonte: Custodio, 2010 p.121.

Se as circunstâncias de recarga e hidrogeológicas forem favoráveis, podem surgir AUs dependentes de águas subterrâneas em áreas de chapadas e topos de serras, seja por exfiltração do lençol freático em materiais superficiais pouco ou moderadamente permeáveis, seja por exfiltração em locais, por exemplo, onde há falhas não impermeabilizadas (Custodio, 2010).

Já em planícies de inundação podem ser formadas extensas AUs não somente em função do extravasamento de água, mas pelo contato direto com o aquífero que alimenta o curso d'água e sua descarga contínua ou frequente, já que são áreas convergentes de fluxos.

De forma geral, as AUs continentais que dependem das águas subterrâneas podem ser encontradas principalmente em: a) áreas próximas a cursos d'água, em planícies e planícies fluviais, e em terraços fluviais, com a descarga lateral de águas subterrâneas; b) depressões e sopés de vertentes; c) depressões rasas formadas por dissolução de rochas carbonáticas, como

dolinas, poljes e estruturas de colapso; d) áreas em que as descargas de nascentes ou cursos d'água se acumulam por degraus topográficos (níveis de base locais, ou *knickpoints*); e) áreas em que ocorre a descarga forçada de um aquífero confinado devido a presença de falhas ou descontinuidades sedimentares, podendo dar origens a AUs em áreas elevadas rodeadas por morfologias mais elevadas onde ocorre a recarga; f) e locais onde o fluxo do aquífero é forçado a sair devido à diminuição da transmissividade lateral por razões sedimentares (Custodio, 2010). Salienta-se que as zonas úmidas alimentadas por águas subterrâneas em relevos elevados e cabeceiras são geralmente mais flutuantes do que em terrenos baixos, em fundos vales.

Além disso, quando uma AU está localizada no final de um sistema aquífero, suas características tendem a ser menos variáveis, quanto maior for o sistema. Por outro lado, quando recebem apenas uma parte do fluxo subterrâneo, são mais flutuantes e seu funcionamento pode modificar-se de forma muito acentuada por alterações hidrológicas naturais ou artificiais, como alteração do regime climático, da cobertura vegetal ou exploração de águas subterrâneas. Além disso, a flutuação pode naturalmente aumentar em função do tipo de vegetação e do regime climático, extraindo um fluxo mais significativo de água subsuperficial em estações secas (Trick, 1998; Custodio, 2010).

As AUs que dependem das águas subterrâneas podem ser unicamente ou parcialmente (de forma dominante ou não) dependente da sua exfiltração. Estas AUs podem receber aportes de fluxos subterrâneos locais, intermediários ou regionais, nas quais os tempos de trânsito da água poderão compreender, respectivamente, dias, anos, séculos ou milênios, cuja estabilidade e que manifestam uma grande diversidade de formas, circunstâncias, salinidades e habitats. Geralmente, as AUs são menos flutuantes em termos de fluxo e composição química do que aquelas que dependem apenas das águas superficiais (Custodio, 2001). É necessário ter conhecimento adequado da hidrogeologia de áreas úmidas que dependem das águas subterrâneas, pois podem ser extremamente sensíveis às variações do regime hidrológico. Há também uma atenção espacial as AUs em climas mais secos, já que a proporção de AUs que dependem das águas subterrâneas nestes regimes climáticos é maior.

Em termos gerais, existem dois fatores centrais para entender o papel hidrogeológico na formação e caracterização das AUs: a litologia e a estrutura, pois a velocidade do movimento da água subsuperficial depende da composição do material e da estrutura, para que a água possa transitar pelo subsolo.

As litologias têm certas propriedades que são definitivas para constituir bons aquíferos, que são, basicamente, a porosidade e a permeabilidade (ou mais estritamente condutividade hidráulica).

A porosidade pode ser definida como a fração relativa do volume da rocha que é ocupada pelos poros (ou vazios), estando relacionada à capacidade da rocha de armazenar fluidos. Existem dois tipos básicos de porosidade: a porosidade primária (original), característica de toda a massa rochosa, e a secundária (induzida), que depende da história de alteração da rocha, podendo ser bastante variável no mesmo maciço rochoso. Salienta-se que a presença e o desenvolvimento dos vazios estão também estreitamente relacionados com a deformação e a rotura das rochas, sendo quanto mais branda a rocha, maior a deformação (Sansone; César, 2014).

A porosidade primária depende da relação entre o volume de vazios de uma rocha e o seu volume total, sendo efetiva quando os espaços vazios estão interconectados. De forma geral, os fatores que influem na porosidade primária são:

- Granulometria do material: quanto menor a granulometria, maior a porosidade, já que entre as partículas menores mais poros ou vazios são formados;
- Grau de seleção do material: quanto maior o grau de seleção das partículas, maior a porosidade, pois haverá uma menor quantidade de detritos finos que preenchem os poros;
- Grau de arredondamento: quanto maior o arredondamento, menor a porosidade, já que os ângulos aumentam o espaçamento entre os grãos;
- Compactação e cimentação: quanto maior a compactação e cimentação, menor a porosidade, já que a compactação comprime o volume de poros e a cimentação preenche os vazios;

Já a porosidade secundária é o conjunto de espaços que se formam dentro da rocha após a sua consolidação ou litificação, sendo dependente da presença de fraturas. Há materiais que podem apresentar uma porosidade dupla, que são intergranulares e fraturados. Por outro lado, há diversos arenitos cimentados, por exemplo, são dependentes de sistemas de fraturas para armazenar água (Gutiérrez, 2012).

Por sua vez, a permeabilidade é a facilidade que um material geológico tem de permitir que qualquer fluido se movimente pelos interstícios. Diferenciaram-se dois tipos de permeabilidade: a permeabilidade contínua, quando os poros ou interstícios se comunicam entre

si, e a permeabilidade localizada ou secundária, em meios fraturados, quando a água se move através de fissuras e fendas nas rochas (Gutiérrez, 2012). A primeira intervém através da natureza litológica que determina a permeabilidade primária; e a segunda, permite a presença de fraturas favoráveis à percolação da água livre e é conhecida como permeabilidade secundária. O valor da permeabilidade cresce com a fissuração e o grau de alteração das rochas (Hibbeler, 2004).

Nesse sentido, não basta que as formações ou materiais geológicos tenham um alto percentual de porosidade, mas também é necessário que seus poros ou fraturas estejam interligados para a passagem e acúmulo de águas subterrâneas.

Em termos locais, as zonas úmidas dependentes de águas subterrâneas variam muito de um lugar para outro: são dependentes das características morfológicas, geológicas e climáticas da área, da taxa de recarga e descarga do aquífero; da distribuição de permeabilidade regional e local e do tamanho do aquífero e, ainda, suas relações com as águas superficiais (Sophocleous, 2002; 2009). Em todos os casos, a natureza tridimensional da permeabilidade e do fluxo das águas subterrâneas e as variações químicas são de grande importância para compreender o seu comportamento e fazer previsões de evolução da AU (Custodio, 2010), além de identificar ações necessárias para sua proteção e/ou recuperação. Estas considerações também devem ser levadas em conta ao interpretar a composição química e isotópica da água, tanto no nível regional quanto na área próxima à AU. Neste último caso, os depósitos de fundo e o acúmulo de matéria orgânica podem ter efeitos hidráulicos e geoquímicos importantes na AU (Álvarez, 2013).

A interação entre as águas superficiais e subterrâneas é fundamental para entender os processos que ocorrem nas zonas úmidas. Sophocleous (2009) estabeleceu quatro tipos principais de regimes de fluxo em AUs: zonas úmidas influentes conectadas ao aquífero, que atuam recarregando o aquífero; b) zonas úmidas influentes desconectadas do aquífero, onde o fluxo é suficientemente lento para que haja uma zona insaturada sob a AU; c) “*Flow-trough wetland*” ou escoamento através da zona úmida, em que existe uma zona de recarga do aquífero para a zona úmida e vice-versa; d) zonas úmidas efluentes, que se alimentam do aquífero.

A maior acumulação de água (superficial e/ou subsuperficial) na ou próxima da superfície irá aumentar seu tempo sob condições de saturação, podendo promover o desenvolvimento processos anaeróbicos e de redução no substrato e a conseqüente formação de

feições redoxmórficas³ e o acúmulo de matéria orgânica, indicadores de hidromorfismo nos solos de AUs (Beirigo, 2013). Além da morfologia do relevo, as características dos materiais superficiais também são levadas em conta. Quanto menor a sua permeabilidade e/ou porosidade, maior é a deficiência de drenagem e, portanto, maior é o tempo de retenção da água, o que facilita as condições anaeróbicas e os processos típicos de ambientes úmidos.

Por sua vez, as condições do meio abiótico, sejam elas climáticas, geomorfológicas, hidrológicas ou pedológicas, influenciam nos padrões de estrutura e de fisionomia da cobertura vegetal (Ab'Sáber, 1977; 2003). As condições de saturação, alagamento e inundação permanente ou temporária refletem em tipos específicos de plantas, limitando o estabelecimento de espécies de plantas (Ferreira; Ribeiro, 2001) e determinando a ocorrência de ambientes seletivos, colonizados por espécies tolerantes ao excesso hídrico, mesmo que de forma temporária (ARAÚJO *et al.* 2002,). Dessa forma, as comunidades vegetais encontradas em locais onde há saturação hídrica do solo apresentam composição florística distintas daquelas encontradas sobre solos bem drenados em seu entorno (Tannus, 2007). Estas espécies são referidas na literatura como hidrófitas, hidrófilas, higrófitas, macrófitas aquáticas ou anfíbias.

De acordo com Esteves (2011), o termo macrófita aquática é o termo mais apropriado para caracterizar o vegetal que ocupa desde brejos até ambientes verdadeiramente aquáticos, podendo colonizá-los completamente, apresentando adaptações com as variações climáticas. Assim, as macrófitas aquáticas podem ser classificadas como anfíbias, emergentes, flutuantes fixas e livres e submersas fixas e livres, sendo a forma biológica o seu hábito de vida (morfologia e modo de crescer) em relação à superfície da água (Irgang *et al.*, 1984), sendo designadas da seguinte forma:

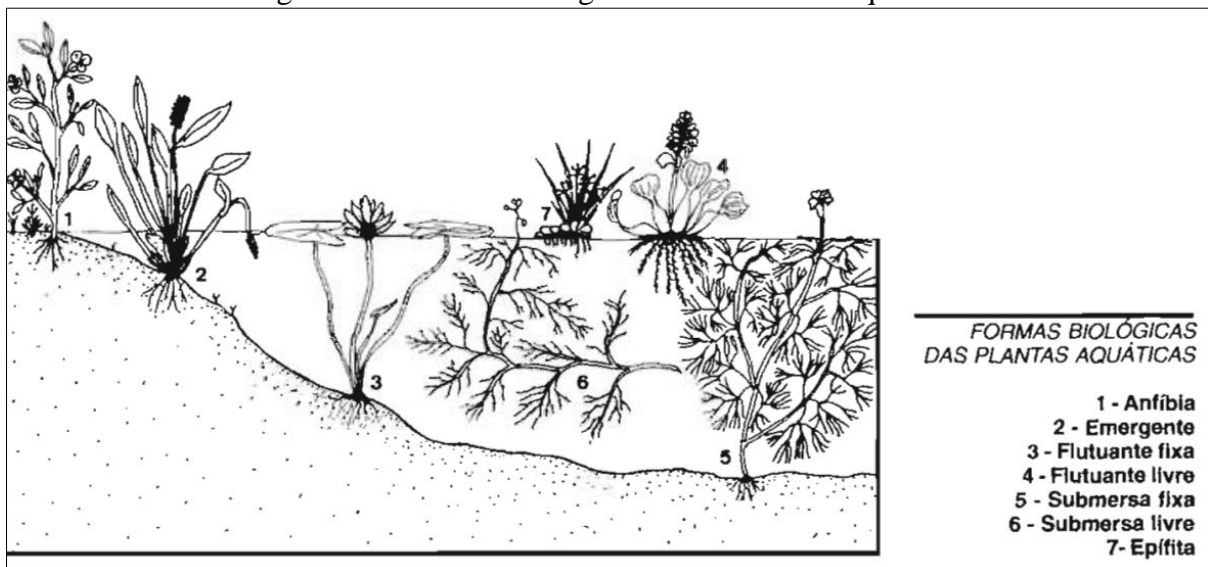
- Anfíbia ou semiaquática: capaz de viver bem tanto em área alagada como fora da água, geralmente modificando a morfologia da fase aquática para a terrestre quando o nível d'água reduz;
- Emergente: enraizada no fundo, parcialmente submersa e parcialmente fora d'água;
- Flutuante fixa: enraizada no fundo, com caule e/ou ramos e/ou folhas flutuantes.;
- Flutuante livre: não enraizada no fundo, podendo ser levada pela correnteza, pelo vento ou até por animais;

³ As feições redoxmórficas (ou feições redox) são originadas dos ciclos de redução e oxidação (reações de oxirredução ou reações redox), com segregação de ferro e/ou manganês, formando cores mosqueadas e/ou variegadas (EMBRAPA, 2006), plintitas e petroplintitas, que são os principais atributos utilizados para a identificação de solos sujeitos a inundações e as reações de oxidação-redução (Beirigo, 2013).

- Submersa fixa: enraizada no fundo, caule e folhas submersos, geralmente saindo somente a flor para fora d'água.
- Submersa livre: não enraizada no fundo, totalmente submersa, geralmente emergindo somente as flores; e
- Epífita: que se instala sobre outras plantas aquáticas.

A Figura 2.2 a seguir apresenta as formas biológicas das macrófitas aquáticas.

Figura 2.2 - Formas biológicas de Macrófitas Aquáticas



Fonte: Plantas aquáticas do pantanal, Pott & Pott, 2000 p.37.

Cabe ressaltar que a biologia desempenha um papel fundamental nas características das AUs em termos de composição, estrutura de comunidades e padrões de distribuição das espécies vegetais. Estes aspectos, por sua vez, influenciam na produtividade das AUs. A presença de diferentes espécies vegetais e microrganismos atuam na ciclagem e disponibilização de nutrientes, que contribuem para diversidade biológica das AUs. Além disso, os tipos de plantas presentes atuam na formação e estabilização do solo, na retenção da água e sedimentos, provendo inúmeras funções ambientais e influenciando na própria dinâmica hidrológica das AUs. Dependendo da presença de determinadas espécies de plantas, haverá uma maior retenção das águas pelas AUs. Além disso, a própria diversidade de espécies e microrganismos também

contribui para a resiliência das AUs e a formação de habitats permanentes ou temporários para uma variedade de espécies da fauna.

Assim, os processos e as características de uma AU são influenciados pela interação entre a água, aspectos geomorfológicos e os organismos presentes, resultando na formação de ecossistemas únicos, altamente produtivos e que sustentam uma alta diversidade biológica.

Nesse sentido, as AUs são formadas e caracterizadas por um conjunto de critérios ou fatores relacionados à água, à geomorfologia e à biologia, que podem ser integrados dentro de uma abordagem conceitual biohidrogeomorfológica multiescalar de análise.

A palavra **Biohidrogeomorfologia** nada mais é que a junção da Biologia, Hidrologia/Hidrogeologia e da Geomorfologia, incluindo as coberturas superficiais. A análise de diversos aspectos destes campos científicos, dentro de uma abordagem escalar, permite compreender elementos que podem dar origem as áreas úmidas e caracterizá-la em mais de uma escala ou nível de análise:

- A Geomorfologia é um fator determinante na formação das AUs, em diversos níveis escalares de análise. Em escalas mais regionais, determinados domínios ou unidades de relevo tendem a concentrar um maior número de AUs e suas variações auxiliam no entendimento regional do condicionamento das AUs na paisagem. Em escalas de paisagem, a hidrogeomorfologia auxilia no levantamento preliminar de suas funções ambientais. Em escalas locais, a água, a forma de relevo e as coberturas superficiais condicionam a configuração da forma, tamanho e profundidade das AUs. Os tipos de modelados e o tipo de material associados permitem a acumulação de água e, conseqüentemente, imprimem características específicas resultantes da interação entre os processos geomorfológicos e pedológicos.
- O papel do ciclo hidrológico é determinante na formação e caracterização das AUs, pois envolve a movimentação da água na AU, caracterizando suas entradas superficiais e/ou subsuperficiais e as saídas de água. É a presença persistente da água em superfície ou próxima a ela que determina a formação, funcionamento e manutenção das AUs. Determinados critérios nas escalas regionais auxiliam o levantamento e o entendimento de como as AUs se originaram e quais são as fontes predominantes de alimentação. Na escala de paisagem ou local, auxilia no entendimento da direção preferencial dos fluxos de entrada e saída de água e, associada a geomorfologia, permite levantar as funções hidrogeomorfológicas principais de determinado tipo de AU. Neste sentido, o papel das águas na formação das AUs está intimamente relacionado com

dados climáticos, a interação das águas subterrâneas com a superfície, a retenção de água na superfície e seus fluxos de direção preferencial. Cabe ainda destacar a interação dos aspectos hidrológicos com as características físicas, químicas e biológicas das coberturas superficiais e das águas superficiais e subsuperficiais, que determinam a presença de uma biota adaptada a estes ambientes. Por sua vez, os próprios materiais ou solos se transformam ao longo do tempo por esta presença, formando um complexo ecossistema.

- A biologia (ou as ciências biológicas) apresenta um papel fundamental no estudo das AUs, influenciando suas características. Nesta pesquisa, foi delimitado o papel da biologia em termos de bioma, ecorregião e fitofisionomias. Os Biomas são constituídos por um complexo conjunto de fitofisionomias, que ocupam grandes áreas geográficas e que possuem características ambientais semelhantes, incluindo macroclima, solo, altitude, formações vegetais e fauna, apresentando, assim, uma certa uniformidade em termos de seus elementos bióticos e abióticos. Ou seja, a uniformidade de um macroclima e uma determinada formação vegetação, fauna e outras condições ambientais imprimem uma estrutura e uma funcionalidade distinta, uma ecologia própria do bioma (Coutinho, 2006). As diferentes fitofisionomias são, por sua vez, caracterizadas por diferentes estruturas e composições vegetais e que são influenciadas pelas condições climáticas, geomorfológicas e geológicas. As AUs apresentam uma vegetação adaptada a estes ambientes e, também, uma fauna específica. Por exemplo, AUs em ambientes de clima frios e temperados possuem uma biota diferente daquela de clima equatoriais, que, por sua vez, também é diferente daquela biota de clima mais secos ou tropicais. Neste sentido, os biomas, as ecorregiões e as fitofisionomias são uma resposta e, também, uma interação do meio físico com o biótico e que interagem com a fauna.

Considerando o exposto, pode-se dizer que a hidrogeomorfologia tem um papel estruturante e caracterizador das AUs, ao passo que as características bióticas têm um papel mais caracterizador e da produtividade das AUs, mas que, em conjunto, permitem uma visão mais abrangente e ecossistêmica do seu papel para a manutenção da biodiversidade e do fornecimento dos seus serviços ecossistêmicos.

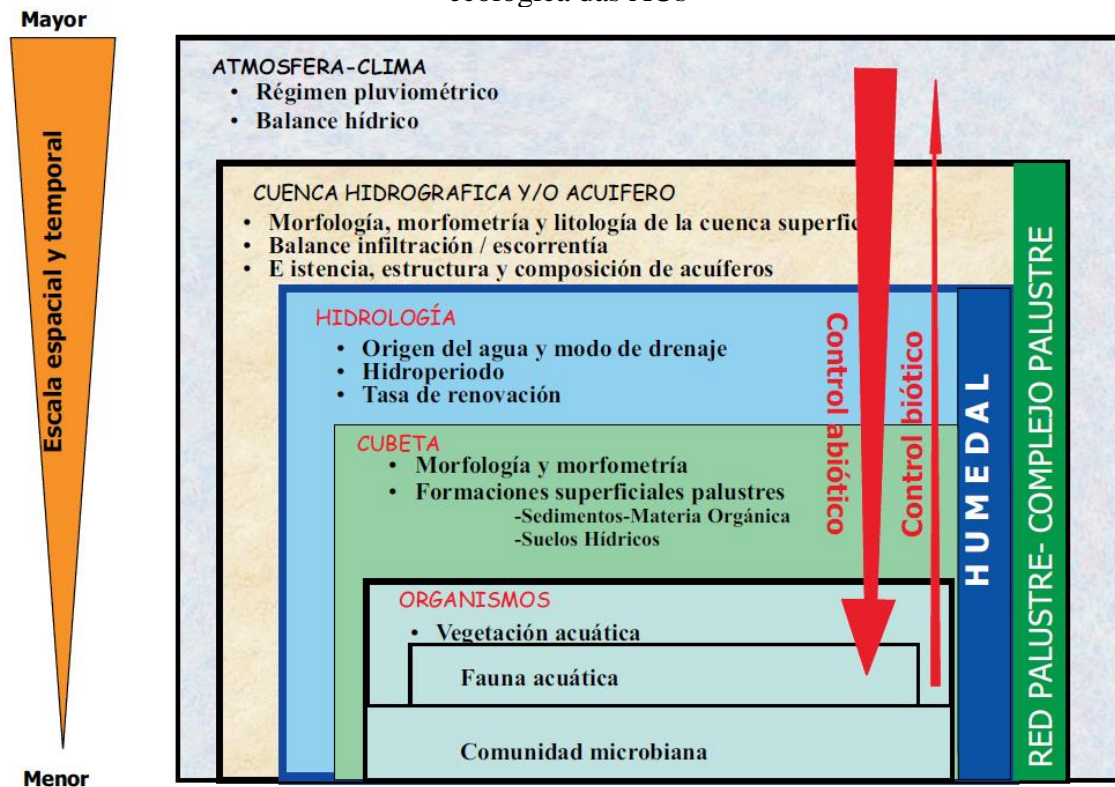
Há definições que apresentam uma abordagem funcional ou ecossistêmica e hierárquica das AUs, entre as quais destaca-se a elaborada pelo Conselho de Meio Ambiente da Andaluzia,

na Espanha, no âmbito do Plano Andaluz de Áreas Úmidas (*Plano Andaluz de Humedales - CMA, 2002*):

Uma AU é um ecossistema ou unidade funcional de caráter predominantemente aquático, que não sendo um rio, nem um lago, nem ambiente marinho, constitui, no espaço e no tempo, uma anomalia hídrica positiva em relação a um entorno mais seco. A conjunção hierárquica de fatores climáticos e hidrogeomorfológicos gera inundações rasas recorrentes, permanentes, sazonais ou irregulares, e/ou condições de saturação na ou próximo da superfície do terreno pela presença de águas subterrâneas, suficientemente importantes para afetar os processos biogeoquímicos da região em questão. A característica essencial mínima para diagnosticar a existência de uma AU é a inundação por águas rasas superficiais (formação palustre) ou saturação na ou da superfície do terreno (solos úmidos), condicionando outras características fundamentais de apoio ao diagnóstico, que são a presença de solos hídricos e/ou a vegetação hidrófila. Geralmente, essas propriedades explicam a existência de comunidades especiais de microrganismos e de fauna, assim como diferentes atividades humanas e uma paisagem com grau elevado de qualidade visual em relação ao entorno (CMA, 2002 p. 81-82).

A definição do CMA (2002) considera três fatores que explicam as diferenças entre AUs e outros ecossistemas aquáticos ou terrestres, a saber: a água, a forma deformada do relevo e suas formações superficiais associadas, e a biota. Estes fatores, mais que uma soma no espaço e no tempo, resultam em processos ecológicos que regulam diferentes relações biofísicas e formam um sistema complexo de interações bioquímicas e hidrogeomorfológicas que deve ser avaliado, gerido e protegido como uma entidade integrada e unificada, em uma escala espaço-temporal. Essa heterogeneidade de relações sugere uma configuração hierárquica de influência entre componentes, onde os elementos abióticos superiores, como o clima, o relevo e a dinâmica hidrológica, influenciam os elementos bióticos inferiores, e vice-versa (em menor escala). A definição elaborada pelo Conselho de Meio Ambiente (CMA) da Andaluzia visa ser operacional e facilitar o estabelecimento de estratégias de gestão para uso e conservação destes ecossistemas (CMA, 2002). A Figura 2.3 ilustra esse modelo hierárquico de conceituação das AUs adotado pelo *Plano Andaluz de Humedales - PAH*.

Figura 2.3 - Modelo conceitual dos três componentes básicos que determinam a integridade ecológica das AUs



Fonte: CMA, 2002.

Legenda: Os fatores de controle (hidrologia, “cubeta” / bacia, organismos) e os principais processos acima da escala superior a bacia e a hidrologia da AU são expressas na bacia hidrográfica da superfície ou subterrânea e no nível do clima. A direção e a espessura das setas representam o controle superior exercido pelos componentes abióticos nos organismos e o controle inferior, que é menos importante, que os organismos têm sobre eles.

Nesse sentido, a definição do CMA (2002) vai além e faz uma abordagem multiescalar considerando que as fronteiras dos ecossistemas nunca são fechadas (Bailey, 2009). Independentemente do seu tamanho, os ecossistemas estão sempre abertos à transferência de energia e materiais de, ou para, outros ecossistemas. Embora possamos lidar com um ecossistema específico como unidade bem delimitada, deve-se ter sempre em mente que a troca de material com o ambiente adjacente é um aspecto importante da operação do ecossistema.

Além disso, de acordo com a escala de observação e análise adotada, as conclusões obtidas podem ser muito diferentes (Montes *et al.*, 1998). Assim, é necessária que a análise de qualquer ecossistema seja precedida pela determinação do recorte espacial e temporal que se expressa o ecossistema (seja do ponto de vista científico quanto da gestão) e das escalas em que esses ecossistemas definem e estabelecem sua rede de interdependências (CMA, 2002). Conforme o CMA, a consequência mais importante da conceituação de ecossistemas como unidades funcionais, organizadas hierarquicamente, é que cada fator, processo, padrão ou

atributo (como heterogeneidade, estabilidade, sucessão etc.) pode ser analisado no nível espaço-temporal mais apropriado. Além disso, é possível selecionar uma série de fatores de controle que explicam certos padrões biofísicos (climáticos, litológicos, hidrológicos, geomorfológicos, vegetação etc.) relativamente homogêneos, para cada escala espaço-temporal (CMA, 2002). Bailey (2009) reforça essa análise, pois como critérios diferentes também produzem mapas radicalmente diferentes para a mesma área, pesquisas e gerenciamento multidisciplinares seriam muito difíceis, se não impossíveis. Assim, uma abordagem para resolver esse problema é analisar os fatores que controlam o ecossistema em escalas variadas e usar as mudanças significativas desses controles como critérios de delimitação.

Dentro da perspectiva biohidrogeomorfológica, a abordagem das AUs é valiosa, sobretudo para fins de classificação e inventários que usam uma perspectiva hierárquica e/ou multiescalar. A perspectiva biohidrogeomorfológica permite a conceituação de áreas úmidas em um contexto mais amplo, focando nas suas características ambientais, configuração espacial, conectividade (hidrológica e ecológica) e valores funcionais. As fotografias aéreas, imagens de satélite e / ou camadas sobrepostas de informações geográficas fornecem elementos que auxiliam na identificação e caracterização do seu contexto geomorfológico, fisionômico, ecológico ou uso do território, estabelecendo conexões entre as AUs e seu contexto de inserção (Loiselle *et al.*, 2004; Moraes, 2011; Kandus; Minotti, 2018). Por sua vez, a geomorfologia está intimamente relacionada à funcionalidade e à conectividade da água na paisagem. Pode-se falar de unidades ou classes biohidrogeomorfológicas que são definidas de acordo com padrões de relevo, redes de drenagem, características geológicas e geomorfológicas, em relação à dinâmica da água. A interação dessas características com a vegetação, solos e usos pode dar origem a arranjos espaciais com um mesmo padrão de paisagem dentro de uma região (Matteucci, 1998) ou a uma variedade de paisagens com distintos funcionamentos ecológicos.

Além disso, ao considerar a multiplicidade de fatores que atuam e interagem durante processos de alteração dos sistemas (mudanças climáticas graduais, regimes de perturbação, processos geomorfológicos, migração de indivíduos, interações populacionais e ações humanas), deve-se contemplar que as características das AUs são consequência de fatores que atuam de forma inter-relacionada em diferentes escalas espaciais e temporais (CMA, 2002; Kandus; Minotti, 2018). Assim, uma abordagem conceitual biohidrogeomorfológica e multiescalar de AUs, sobretudo para fins operativos, é extremamente valiosa, pois permite caracterizar as AUs do ponto de vista físico e biológico e integrado as características do seu meio, em múltiplos recortes e níveis de análise.

Considerando o exposto, pode-se dizer que um conceito científico de AUs, que visa embasar propostas de classificação, inventários e mapeamento de AUs parte das seguintes perguntas: O que vamos considerar como uma AU? (identificação); onde começa e onde termina uma AU? (delimitação); como podemos descrevê-las? (caracterização). As duas primeiras questões estão intimamente ligadas à definição de AU adotada; a última, por outro lado, responde aos objetivos específicos do inventário (ou seja, características, estrutura, fisionomia, biodiversidade, funções e serviços ecossistêmicos, uso etc. (Kandus; Minotti, 2018).

A adoção de uma proposta conceitual como a da Andaluzia, por exemplo, que apresenta uma abordagem ecológica ou biohidrogeomorfológica multiescalar, é condizente com estudos que visam caracterizar e classificar as AUs em mais de um contexto análise e inserção. Além disso, pode auxiliar estudos diversos que visam a gestão e a proteção desses ecossistemas, já que capturam sua natureza integrada dentro de uma hierarquia espacial.

Assim, um sistema de classificação e um mapeamento ou inventário que captura a natureza integrada dos recursos naturais dentro de diferentes escalas de análise auxilia o entendimento de análises integradas e sinérgicas, a adoção de práticas de manejo inter-relacionadas e o zoneamento do território.

Considerando o exposto, a presente tese partiu de um conceito de AUs que integra e correlaciona aspectos hidrológicos, biológicos e geomorfológicos, com base na adaptação do conceito de AUs estabelecido pelo Plano Andaluz de Áreas Úmidas (CMA, 2002) e Gomes, (2017):

Áreas Úmidas (AUs) são ecossistemas ou unidades funcionais que se constituem, no espaço e no tempo, em áreas permanentes ou temporariamente inundadas, alagadas, encharcadas e/ou saturadas, formadas em relevos e substratos que permitem um maior acúmulo de águas superficiais e/ou subsuperficiais, por tempo suficiente para promover processos físicos, químicos e biológicos de ambientes com deficiência ou ausência de oxigênio, indicados, comumente, por uma biota adaptada a essas condições ao menos em parte do ano e ou por solos com características hidromórficas. Geralmente, essas propriedades explicam a existência de comunidades especiais de microrganismos, flora e fauna e uma paisagem com grau elevado de qualidade visual em relação ao entorno. A conjunção de fatores climáticos e hidrogeomorfológicos é responsável por gerar inundações ou alagamentos recorrentes, permanentes, sazonais ou irregulares, e/ou condições de saturação na ou próximo da superfície do terreno pela presença de águas subsuperficiais, suficientemente importantes para afetar os processos biogeofísicoquímicos da área em questão. Ocorrem comumente em planícies inundáveis, fundos de vales, sopés de encostas, cabeceiras de drenagem, superfícies planas e áreas deprimidas. Conforme a escala de análise da dinâmica hidrológica, as AUs podem incluir áreas permanentemente secas e/ou aquáticas, que são fundamentais para a sua manutenção ecológica.

2.3 Valores funcionais das AUs: funções ambientais, biodiversidade e serviços ecossistêmicos e ambientais

As AUs apresentam uma quantidade e diversidade significativa de benefícios ou valores funcionais, que são derivados de suas funções ambientais ou ecossistêmicas, que são próprias e distintas, como a regulação hidrológica e biogeoquímica, e as funções ecológicas específicas (EEM, 2005). O abastecimento de água, a proteção contra inundações, a recarga de aquíferos, a retenção de sedimentos, nutrientes e poluentes, a purificação das águas doces e a estabilização da linha de costa, são alguns dos serviços derivados das funções reguladoras destes ecossistemas. As AUs também fornecem habitat, alimento e abrigo para sustentar a diversidade biológica e, também, podem oferecer ambientes relevantes em termos paisagísticos, cultural, educacional e turístico. Além disso, são ecossistemas importantes no que diz respeito à variabilidade climática, já que diversas AUs atuam no sequestro e armazenamento de carbono no solo, bem como atuam nos processos de adaptação climática ao reduzir o risco de eventos extremos, como tempestades, inundações e secas.

Dessa forma, do ponto de vista dos serviços ecossistêmicos, as AUs são consideradas ecossistemas valiosos, pois são vitais aos humanos (Costanza *et al.*, 1997, 2014; Mitsch; Gosselink, 2007; De Groot *et al.*, 2012; Mitsch; Gosselink, 2000; 2015; Mitsch *et al.*, 2015; Xu *et al.*, 2020).

Costanza *et al.* (1997) compararam diferentes unidades de paisagens de ecossistemas e mostraram que as AUs, especialmente os pântanos, mangues e as planícies inundáveis, são consideravelmente mais valiosos do que lagos, rios e florestas (Quadro 2.4). Neste quadro, destaca-se também o papel dos mangues, que tiveram um aumento expressivo em termos de serviços valorados entre 1997 e 2011. Tal fato se deve aos novos estudos realizados sobre o papel dos mangues na proteção contra tempestades, erosão e tratamento de resíduos (Costanza *et al.*, 2014, p.155).

Quadro 2.4 – Valorização de ecossistemas ambientais

Ecosistemas	1997 unidade de valor estimada (US\$ ha⁻¹ yr⁻¹)	2011 unidade de valor estimada (US\$ ha⁻¹ yr⁻¹)
Estuários	31,509	28,916
Planícies inundáveis	27,021	25,681
Mangues	13,786	193,843
Lagos e Rios	11,727	12,512
Florestas	1338	3800
Campos naturais (limpo, úmido e sujo)	321	4166

Fonte: As estimativas de 1997 são de Costanza *et al.*, 1997 e as de 2011 são de Costanza *et al.*, 2014.

Os serviços ecossistêmicos das AUs podem ser categorizados de diversas maneiras. Por exemplo, em termos biológicos, podem ser categorizados em três níveis hierárquicos: população, ecossistema e biosfera /global. Os valores populacionais incluem aqueles relacionados a populações ecológicas específicas, como o fornecimento de habitats e alimentos para animais, produção de peixes e crustáceos e suporte para espécies ameaçadas e em extinção. No nível dos ecossistemas, os valores se referem ao ecossistema como um todo e não apenas algumas espécies. Neste nível, atuam as funções hidrogeomorfológicas, como na melhoria da qualidade da água (por exemplo, por meio da retenção de poluentes e da remoção de altas taxas de nitratos por meio da desnitrificação), no controle de inundações (dependente da morfometria da bacia e da sua localização nesta, sendo potencializado ou alterado pela presença de vegetação para reduzir a velocidade das correntes), na recarga de aquíferos (em áreas onde o substrato permite a infiltração), entre outros, e até na sustentação de determinadas culturas e comunidades. Os valores globais se referem aos benefícios que se acumulam em todo o mundo, atuando em uma escala muito mais ampla do que a do nível do ecossistema, como na regulação de ciclos regionais e globais de nitrogênio, enxofre e carbono e suas influências na qualidade da água e do ar (Mitsch *et al.*, 2015; Mitsch; Gosselink, 2000).

A publicação da Avaliação Ecossistêmica do Milênio (EEM, 2005) formulou uma categorização para serviços ecossistêmicos, em que os serviços são descritos como sendo de provisionamento, regulação, cultura e suporte. Os serviços de provisionamento incluem produtos obtidos de ecossistemas, como alimentos, água, madeira, fibra ou recursos genéticos. Os serviços de regulação incluem a regulação da qualidade do ar e do clima, regulação de doenças e pragas, a polinização, a purificação da água, e regulação de riscos naturais. Os serviços culturais incluem benefícios que as pessoas obtêm de ecossistemas relacionados a recreação, ecoturismo, educação, patrimônio cultural e natural, entre outros. Os de apoio/

suporte incluem processos ecossistêmicos básicos de ciclagem de nutrientes e produtividade primária que podem, por sua vez, levar aos outros três serviços listados acima. O Quadro 2.5 mostra serviços ecossistêmicos prestados pelas AUs, com base no documento EEM (2005).

Quadro 2.5 – Exemplos de serviços ecossistêmicos obtidos pelas AUs

Serviços de provisionamento	
Alimento	Apoio à pesca, horticultura e arroz
Água doce	Armazenamento e retenção de água; provisão de água para irrigação e uso doméstico
Fibra e combustível	Produção de madeira e produção de turfa para combustível
Serviços de regulação	
Regulação do clima	Regulamentação de gases de efeito estufa, temperatura, precipitação e outros processos climáticos; composição química da atmosfera
Regulação do regime hidrológico	Recarga e descarga de água subterrânea; armazenamento de água para agricultura, indústria e uso doméstico
Controle da contaminação	Retenção e eliminação do excesso de nutrientes e contaminantes; melhoria da qualidade da água
Proteção contra a erosão	Controle contra a inundação, proteção do litoral
Serviços culturais	
Recreativo	Ecoturismo, bem-estar, beleza cênica
Educação	Educação ambiental
Comunidades	Sustento das culturas humanas tradicionais
Serviços de apoio / suporte	
Biodiversidade	Variedade genética de espécies; habitat para espécies, com destaques para as migratórias, raras e/ou ameaçadas de extinção; ciclo de reprodução; alimento; produtividade primária
Formação de solos	Retenção de sedimentos e acúmulo de matéria orgânica
Ciclo de nutrientes	Armazenamento, reciclagem, processamento aquisição de nutrientes
Polinização	Apoio à polinização

Fonte: Adaptado de *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio* (EEM, 2005).

Conforme Groot *et al.* (2002), as funções de regulação apresentam maior desempenho quando os ecossistemas naturais não são perturbados e, para que o ser humano se beneficie destas funções, é necessário garantir a integridade dos ecossistemas e de seus processos. Por outro lado, a biodiversidade depende de todos os serviços de suporte e de regulação.

O Quadro 2.6 faz uma associação entre as funções (gerais e específicas), os serviços ecossistêmicos prestados pelas AUs e a biodiversidade. As funções gerais são divididas em três (hidrológica, biogeoquímica e ecológica). Cada uma destas funções gerais apresenta funções específicas que, por sua vez, produzem serviços ecossistêmicos e desempenham papéis fundamentais na manutenção da biodiversidade.

Quadro 2.6 – Funções ambientais, serviços ecossistêmicos e biodiversidade

Função geral	Função específica	Serviços ecossistêmicos e biodiversidade
Regulação Hidrológica	Redução de fluxos e diminuição da turbulência da água	Diminuição do poder erosivo e controle do fluxo de água; estabilização da linha de costa; alta produtividade primária, abundância e biomassa; substrato e berçário para diversos organismos
	Regulação de inundações	Diminuição da intensidade dos efeitos das inundações e enchentes, com destaque às áreas urbanas; Conexão das áreas inundáveis com os ecossistemas aquáticos; formação de habitats (alimento, abrigo, proteção e reprodução) para espécies residentes ou migratórias
	Retenção de água; armazenamento de longo prazo e/ou curto prazo	Perenização de corpos d'água e manutenção de reservatórios de água para consumo humano (mananciais) e para atividades humanas
	Recarga de aquíferos	Reservas de água doce para o homem, tanto para consumo direto, quanto para uso em suas atividades produtivas, a longo prazo
	Retenção e estabilização de sedimento	Melhoria da qualidade da água
	Regulação de processo evapotranspiração	Mitigação de condições climáticas extremas
Regulação Biogeoquímica	Ciclagem e retenção de nutrientes (nitrogênio, carbono e fósforo)	Retenção de contaminantes; melhoria da qualidade da água; acúmulo de carbono orgânico no solo; regulação climática
	Transformação e degradação de poluentes	Melhoria da qualidade da água; regulação climática
	Regulação de salinidade	Abastecimento de água doce; proteção do solo; produção de sal
Ecológicas	Produção Primária	Sequestro de carbono no solo e biomassa; produção agrícola (por exemplo, arroz), de forragem, mel, combustível vegetal e substrato para cultivo de flores e hortaliças
	Produção secundária	Produção de proteínas para consumo humano (peixes) ou como base para alimentação de gado
	Fornecimento de habitat	Fornecimento de habitats críticos para espécies migratórias (particularmente aves e peixes), para répteis e anfíbios e invertebrados aquáticos; ambiente de interesse paisagístico; oferta de habitat para espécies de interesse comercial
	Manutenção de interações biológicas	Manutenção de cadeias tróficas de ecossistemas vizinhos; exclusão de espécies invasoras
	Manutenção da biodiversidade e da variabilidade de espécies e genética	Manutenção de habitats; produção de produtos alimentícios

Fonte: Adaptado de Benzaquen *al.*, 2017.

Considerando o Quadro 2.6, entre as funções das AUs está o armazenamento e liberação de água, seja através da água superficial ou subsuperficial, seja através da transpiração pela vegetação, contribuindo assim, para o ciclo hidrológico. As AUs também atuam mantendo fluxos de água quando as condições são mais secas ou reabastecendo as águas subterrâneas.

Podem atuar tanto em escala local, quanto regional e/ou global, dependendo das suas dimensões e seu papel ecossistêmico (Hein et al., 2006).

Além disso, as AUs atuam interceptando o escoamento superficial e amortecendo a energia das inundações. Parte da água é retida diminuindo os fluxos de água dos rios e seus picos de elevação e, também, fornecendo água aos rios na estação chuvosa. Assim, reduzem os picos de inundações à jusante, evitando a ocorrência de desastres naturais e, também, melhoram a navegação, já que reduzem a sedimentação nos canais fluviais. Além disso, as AUs inundáveis, ao receberem água, sedimentos, nutrientes e propágulos trazidos pelo escoamento superficial e pelas inundações, permitem que os sedimentos e outros materiais se acumulem após a inundações, proporcionando água mais limpa para peixes, animais selvagens e pessoas. A combinação de nutrientes abundantes e água rasa nas AUs, por sua vez, promove o crescimento da vegetação, que fornece habitat e alimento para uma ampla variedade de peixes, pássaros e invertebrados (Clarkson *et al.*, 2014). São, portanto, consideradas essenciais para a manutenção de habitats de diversas espécies, como as aves e peixes migratórios, anfíbios, répteis e invertebrados. Os peixes migratórios, por exemplo, detêm uma segregação espacial entre os sítios de alimentação, reprodução e crescimento. Após a reprodução, os ovos e larvas dispersam-se rio abaixo e desenvolvem-se, em grande parte, em lagoas marginais (Godinho; Pompeu, 2003), ou seja, em AUs.

As AUs atuam na remoção ou retenção de nutrientes ou outras substâncias biodegradáveis, ao reter matéria orgânica e reduzir sedimentos suspensos por meio da atuação das plantas adaptadas, tornando-as mitigadoras de problemas ambientais como a eutrofização de lagoas e lagos. A retenção de nitrogênio e fósforo é um dos atributos mais importantes das AUs, particularmente as que recebem poluição de fontes difusas (agricultura e pastagens) ou águas residuárias. Estas AUs, ao observar uma carga significativa de nutriente, protege a integridade dos ecossistemas aquáticos adjacentes e à jusante. Ressalta-se que a capacidade aumentada de desnitrificação, produção de metano e armazenamento de carbono no solo das AUs é dado pelo tipo de vegetação e do resultado da falta ou deficiência de oxigênio nos seus sedimentos. Ou seja, as zonas úmidas suportam condições ideais para a remoção de nitrogênio reativo por desnitrificação e para o sequestro de nitrogênio e fósforo na matéria orgânica (Reddy; Delaune 2008). Por outro lado, pode ocorrer um desequilíbrio do ecossistema com a entrada ou intensificação de uma fonte poluidora, por exemplo, provocando um aumento da população de macrófitas aquáticas e uma piora da qualidade da água e do ambiente, com a eutrofização do ambiente.

Em termos de biodiversidade, as AUs são extremamente importantes para a conservação da diversidade biológica em nível mundial, pois abrigam uma ampla gama de espécies, desde plantas e pequenos invertebrados até aves, répteis, anfíbios, peixes e mamíferos. Grande parte dessas espécies dependem exclusivamente das AUs para sobreviver ou se reproduzir. Muitas espécies de anfíbios, por exemplo, necessitam das AUs para postura de ovos e desenvolvimento dos girinos. Os macroinvertebrados vive toda ou parte da sua vida na AUs para se reproduzir e se alimentar. Diversas aves constroem ninhos na vegetação aquática. Mais de 50% das espécies de insetos são encontradas em AUs, que atuam em processos ecológicos responsáveis pelo funcionamento das AUs, como a ciclagem e a liberação de nutrientes e são a principal fonte de alimento para inúmeras espécies de peixes, anfíbios e aves (Zardo, 2019). Conforme a autora, as AUs temporárias fazem com que muitas espécies de invertebrados e peixes desenvolvam estratégias morfológicas e fisiológicas para permanecerem nessas AUs.

A combinação de águas rasas, elevados níveis de nutrientes e altas taxas de produtividade primária é responsável pela alta biodiversidade das AUs, pois atua como a base de diversas teias alimentares (Mitsch; Gosselink, 2000). Por outro lado, apesar das espécies serem adaptadas às variações hidrológicas (presença e ausência de água), que é uma característica geralmente presente na maioria das AUs, as condições extremas dessas variações são estressantes para as espécies (Esteves, 1998; 2011). Verificam-se muitos casos de endemismos em AUs e, por conta da degradação ou eliminação desses ambientes, tem ocorrido um declínio maior no número das espécies que dependem das AUs para sobreviver, que em relação às espécies que são dependentes exclusivamente de ecossistemas terrestres (EEM, 2005).

Cabe destacar o papel das AUs naturais de pequenas dimensões que correspondem a uma parte expressiva destes ecossistemas e, ainda que não adequadamente mapeadas, contribuem significativamente para a diversidade regional e a manutenção de diferentes populações animais e vegetais no espaço e no tempo (Bozelli *et al.*, 2018). Pequenas lagoas e poças, normalmente com vegetação aquática abundante associada e sem peixes, podem abrigar um maior número de espécies de diversos grupos, como aves, anfíbios e invertebrados por área, quando comparadas a grandes lagos devido à menor pressão de competição e predação entre as espécies e maior disponibilidade de alimento e estrutura espacial (Scheffer *et al.*, 2006). Além disso, pequenas AUs são fontes essenciais de água, alimento e abrigo para a fauna transicional e migratória, já que funcionam como trampolins aquáticos (*stepping stones*) na matriz terrestre, fornecendo condições de repouso para espécies que estão migrando para outros locais (Calhoun

et al., 2017; Bozelli *et al.*, 2018). Por outro lado, pequenas poças e brejos temporários podem formar habitats de rivulídeos anuais, que são pequenos peixes endêmicos e um dos mais ameaçados de extinção no Brasil. Os ovos dos rivulídeos ficam postos no substrato e resistem à estação seca até a próxima chuva, quando eclodem e o ciclo se repete. Por serem coloridos e exuberantes, são espécies usadas pela aquariofilia, mas vem desaparecendo em função do desmatamento e da ocupação urbana (Ciolete *et al.*, 2018).

As AUs com saturação permanentes ou quase permanentes são igualmente importantes. Apresentam níveis muito baixos de oxigênio no solo, que promovem mudanças em processos microbianos críticos, resultando em transformações de nutrientes anaeróbicos que disponibilizam nitrogênio para uso pelas plantas (fixação de nitrogênio) e convertem nitratos em gases inofensivos, melhorando assim, a qualidade da água (desnitrificação). As condições anóxicas também promovem o acúmulo de turfa, retendo carbono, que, por sua vez, regula os níveis de carbono atmosférico (Clarkson *et al.*, 2014).

Martinez (2014) apresenta diversos estudos realizados em diversas partes do mundo demonstrando como as AUs atuam como um filtro natural de sedimentos e nutrientes, como o nitrogênio e o fosforo, responsável pela eutrofização de corpos d'águas, e a sua eficácia na redução de sedimentos e nutrientes em corpos d'águas provenientes de fontes não pontuais. Estudos mostraram que uma combinação entre faixas de proteção e áreas úmidas controlará efetivamente os fluxos de nutrientes (Van Beek; Heinen; Clevering, 2007), sendo encontrada uma redução de nutrientes, que é variável devido a fatores ambientais e de tempo (ou seja, variabilidade temporal da entrada de água, tempo necessário para filtrar ou transformar nutrientes, taxas de carga hidráulica e eficiência hidráulica).

As AUs artificiais (construídas) também podem fornecer serviços ambientais, ecológicos, sociais e econômicos. Até o final dos anos 80, o principal enfoque da biologia da conservação concentrava-se nos ecossistemas naturais, principalmente aqueles protegidos em unidades de conservação. A partir de 1990 foi dada uma importância sob o ponto de vista da conservação às áreas manejadas pelo homem, como em sistemas agrícolas. Por exemplo, os canais de irrigação entremeados em cultivos agrícolas podem fornecer habitats, mesmo que artificiais, para a biota, interligando diferentes ecossistemas aquáticos. Assim, determinados modos de cultivo ou produção, como os sistemas agrofloretais, possibilitam conservar uma parcela importante da biodiversidade, mas não substituem a conservação da biodiversidade regional (Stenert, 2013).

No meio urbano os benefícios das AUs antrópicas também ocorrem. Wahlroos *et al.*, (2015) descrevem os serviços ambientais de duas pequenas zonas úmidas construídas (controlar pulsos de águas pluviais urbanas) nas bacias hidrográficas do Mar Báltico no sul da Finlândia, entre 2010 e 2014. Os valores descritos incluem desde a mitigação da poluição da água, aumento da população de anfíbios e aves, até a melhoria da qualidade de vida urbana. Conforme os autores, o público considera os parques pantanosos atraentes por causa da diversidade de plantas e animais, especialmente de aves. O padrão de retenção de nutrientes, a presença de flora e fauna diversificadas e a apreciação pública de um 'parque pantanoso' foi semelhante aos serviços ecossistêmicos demonstrados ao longo de 20 anos em parque em Ohio, EUA (Mitsch *et al.*, 2015).

Conforme Ramsar (2018), diversas atividades antrópicas, sobretudo na forma de grandes monoculturas, criação de reservatórios e atividades minerárias, acarretam prejuízo às funções desempenhadas pelas AUs e a diversidade biológica. Modificações no regime hidrológico, como, por exemplo, através da drenagem desses ambientes e exploração de aquíferos, podem extinguir ou degradar esses ecossistemas. A retirada de água subterrânea reduz o nível freático e o fluxo de base para as AUs. O aumento da produção de sedimento e da concentração de nutrientes carreados pela água e provocados pela agropecuária também reduzem o volume de água armazenado e a qualidade da água. Atividades industriais podem prejudicar as AUs por meio da liberação de substâncias tóxicas e de vazamentos acidentais. O impacto da expansão de áreas urbanas se dá por redução na extensão das AUs e pelos danos associados à infraestrutura como estradas, portos, fornecimento de água e controle de inundação. Cardoni *et al.* (2008) comentam que são poucos os estudos que analisam os efeitos do turismo em AUs. Ao investigarem os impactos de atividades recreacionais sobre a avifauna em AUs argentinas, os autores verificaram que o uso excessivo sobre os serviços ecossistêmicos afeta não apenas a abundância e riqueza de espécies, mas, também, a forma de uso do habitat.

Para Loisel *et al.* (2004), o desafio para o manejo de serviços ecossistêmicos é fornecer benefícios econômicos enquanto se mantém a integridade e o valor funcional dos ambientes. Esse reconhecimento faz com que se oriente o manejo integrado de AUs e de recursos hídricos, na escala da bacia hidrográfica, em função do papel fundamental da água na manutenção e fornecimento de água e da biodiversidade. Conforme Moraes (2011), o desenvolvimento de estratégias para manejo sustentável requer a disponibilidade de ferramentas de gestão, que indiquem qual tipo de desenvolvimento pode ser suportado pelos ecossistemas. A utilização de tecnologias com abordagens multidisciplinares (biológicas, hidrológicas e socioeconômicas

integradas), produzidas para diferentes escalas espaciais, pode subsidiar os gestores quanto às opções de manejo em nível regional ou local. Loisel *et al.*, 2004 comentam que a complexidade e a carência de informações das AUs, em regiões neotropicais, é o principal fator que compromete o manejo racional.

Assim, o ordenamento e controle do uso e ocupação do solo, com a adoção de melhores práticas de manejo das atividades econômicas, a recuperação de áreas degradadas (com potencial de benefícios ecológicos e sociais), associada à criação de UCs, corredores ecológicos e a preservação de áreas naturais, é essencial para reduzir os efeitos negativos sobre as AUs, suas funções hidrológicas e a permanência de uma grande diversidade ecológica.

Alguns mecanismos financeiros, como o pagamento por serviços ecossistêmicos ou ambientais, podem estimular algumas ações para a preservação ou recuperação do ambiente. Recentemente, foi instituída no Brasil a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (Lei Federal nº 14.119 de 13 de janeiro de 2021), com a definição de conceitos, objetivos, diretrizes, ações e critérios para sua implantação. No âmbito do estado de Minas Gerais, foi apresentado o Projeto de Lei 4041/2022, que institui a Política Estadual de Serviços Ambientais, cria o Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais e dá outras providências. As ações ou atividades humanas, que resultem na preservação, conservação, restauração, recuperação ou uso sustentável do meio ambiente, favorecendo a melhoria dos serviços ecossistêmicos, dos recursos naturais e espaços urbanos, são favorecidas na forma de pagamento por serviços ambientais. Assim, a manutenção e a recuperação de AUs podem ser favorecidas e estimuladas por meio do pagamento por serviços ambientais. Além disso, a atualização da forma de pagamento do ICMS Ecológico pode ser um outro incentivo.

Hermann *et al.* (2011) destacam que enquanto nos níveis locais e regionais o conceito de serviço ecossistêmico possa atuar como uma ferramenta de suporte a decisão para alcançar um manejo sustentável, na escala global pode ser visto como um sistema de alerta, debate e planejamento global para mitigar problemas ambientais provocados pelo desmatamento e a emissão de carbono e metano nas mudanças climáticas globais e na perda da biodiversidade.

A capacidade dos ecossistemas em fornecer serviços ecossistêmicos e/ou ambientais, de forma sustentável, depende das características bióticas e abióticas e do seu tamanho e sua posição na paisagem. O grau de conectividade hidrológica entre uma zona úmida e sua bacia hidrográfica afeta não apenas a fonte, mas a composição de elementos biogeoquimicamente importantes na AU, bem como o grau em que a AU pode afetar os padrões biogeoquímicos em escalas de captação maiores (Inglett *et al.*, 2005).

Assim, para a implementação de estratégias de manejo apropriadas, deve-se identificar e classificar os valores ambientais, ecológicos e sociais e os processos ecológicos das AUs (Wattage; Mardle, 2007). Nesse sentido, o desenvolvimento de uma classificação e inventário das AUs é um ponto de partida fundamental, pois, a partir da classificação e do inventário, pode-se obter informações das funções mais prováveis desempenhadas pelas AUs (Ramsar, 2007b) e pode-se fornecer subsídios para o desenvolvimento e a implementação de regulamentações específicas para fins diversos, como programas ou ações para recuperação ou restauração de AUs, monitoramento e delimitação de áreas de restrição de uso.

Neste contexto, é de fundamental importância que os instrumentos se vinculem também ao desenvolvimento de regulamentações legais e financeiras que priorizem a restauração ou o manejo do solo de áreas já degradadas, de forma cíclica e contínua, a fim de se obter uma maior qualidade ambiental do meio e a preservação e manutenção de áreas naturais.

2.4 Propostas de classificação e regionalização de AUs com critérios biohidrogeomorfológicos

A classificação é um elemento central no âmbito dos inventários de AUs. Conforme Bailey (2009), uma grande quantidade de informações sobre determinados ecossistemas só é utilizável se organizadas e ordenadas sistematicamente, para que possamos entender melhor suas semelhanças e relações.

Métodos de classificar permitem comparar, de forma sistematizada e organizada, diferentes AUs, suas características e/ou contextos de ocorrência. Também permite verificar AUs ou regiões de maior relevância ambiental, sendo um passo necessário e fundamental para formular estratégias para a conservação e gestão sustentável de zonas úmidas, em diversas escalas espaciais.

Existem várias maneiras de classificar as zonas úmidas, cujos critérios diferem em termos das finalidades propostas, como por exemplo:

- Uniformizar terminologias;
- Caracterizar de forma sistematizada e padronizada as AUs;
- Desenvolver uma síntese da compreensão e conhecimento dos componentes e/ou processos de diferentes tipologias de AUs;
- Identificar regiões que têm padrões semelhantes de distribuição de AUs;

- Avaliar a representatividade e a singularidade das AUs para diversos propósitos, incluindo avaliação para fins de conservação;
- Prever a presença ou ausência de espécies com base na tipologia e contexto fisiográfico de inserção da AU;
- Identificar e comparar as mudanças na extensão de diferentes tipos de AUs devido a pressões naturais ou antrópicas;
- Selecionar e interpretar indicadores apropriados para fins de monitoramento;
- Facilitar a compreensão e/ou o intercâmbio de informações provenientes de diferentes campos do conhecimento entre cientistas, técnicos, gestores e leigos;
- Compor a gestão de bacias hidrográficas e áreas protegidas para manter processos de conectividade.

Em termos de estrutura, a classificação das AUs apresenta duas tendências, uma na direção horizontal e outra na direção vertical (hierárquica). As classificações horizontais dividem os habitats em uma série de classes ou tipos, como meandros, turfeiras, mangues, etc, formando tipologias. As classificações hierárquicas separam os tipos de AUs em diferentes níveis, onde os primeiros apresentam características mais gerais, enquanto os níveis posteriores utilizam características mais específicas. Estas características podem ter uma relação espacial escalar ou não. A abordagem hierárquica é a mais difundida, pois tende a facilitar comparações regionais, nacionais e/ou internacionais entre sistemas similares e permitir maior detalhamento dos tipos individuais de AUs na paisagem (Tiner, 1999). É importante ressaltar que as classificações hierárquicas não são puramente verticais, elas também crescem na direção horizontal para detalhar os tipos individuais de AUs, ou seja, apresentam componentes hierárquicos e não hierárquicos.

As classificações são dinâmicas também. Se modificam conforme se avança no conhecimento sobre a complexidade das zonas úmidas de determinada região ou país e os efeitos buscados na sua gestão. Assim, a adoção de critérios de classificação não implica, necessariamente, a adoção de um esquema de classificação imutável ou único e/ou que seja aplicável em diferentes regiões do mundo. Os avanços ocorridos em diferentes países estão vinculados com suas particularidades em termos de marco regulatório, estrutura institucional e desenvolvimento técnico-científico.

Em termos mundiais, o desenvolvimento de inventários e/ou classificações nacionais de zonas úmidas é desigual. Entre os inventários existentes, alguns foram desenvolvidos em escala detalhada, com grande investimento orçamentário e muitas vezes com enfoques específicos; outros, apresentam metodologias com abordagens sucessivas de níveis escalares e nem sempre como muitos detalhes, para preencher lacunas do conhecimento e atender fins variados de gestão.

Nas últimas décadas, métodos de classificação que combinam dados bióticos com dados morfológicos, hidrológicos e/ou físico-químicos vêm sendo desenvolvidos, podendo incluir, de forma conjunta ou separada, biorregionalizações e características geográficas e paisagísticas. Estes avanços são importantes para sanar lacunas derivadas da fragmentação e da falta de uma abordagem integrada nos estudos sobre as AUs, o que dificulta a realização de análises de interação entre os diversos sistemas na paisagem, a gestão em vários níveis de planejamento (Montes *et al.*, 1998) e a adoção de ações mais articuladas.

A classificação por meio da regionalização foi incorporada em diversos processos metodológicos de classificação e inventários de áreas úmidas em países e regiões, como a Austrália (Aquatic Ecosystems Task Group, 2012) e os governos de Victoria (Department of Environment, Land, Water and Planning, 2016) e Queensland (Department of Environment and Science, 2015; 2019), Ásia (Finlayson *et al.*, 2002), Espanha (Montes *et al.*, 1998; CMA, 2002), Argentina (Benzaquen *et al.*, 2017; Kandus; Minotti, 2018), Cuba (Martinez; Rodriguez, 2014; 2015) e México (Conagua, 2017; Berlanga, 2008), etc. A regionalização do território, sob a abordagem das AUs, produziu resultados hierárquicos de acordo com o nível de detalhamento com que as zonas úmidas se caracterizam e suas condições.

Em 2002, Finlayson *et al.* publicaram um manual básico para o inventário de AUs da Ásia (AWI), com um protocolo multiescalar padronizado e informações importantes para a classificação, avaliação e monitoramento de suas zonas úmidas, tornando-se uma ferramenta para gestores e analistas e para a formulação de metodologias de classificação de AUs de outras regiões. O inventário apresenta quatro escalas espaciais. O primeiro nível escalar diferencia as bacias hidrográficas das regiões costeiras (500.000 a 1: 1.000.000); o segundo nível divide as bacias em sub-bacias e as regiões em sub-regiões costeiras (1: 250.000 a 1: 500.000); o terceiro identifica e mapeia complexos de zonas úmidas (100.000 a 1: 250.000); e o quarto os habitats de zonas úmidas (1:10.000 a 1: 50.000). A proposta recomenda que uma proposta inicial de regionalização geográfica use os limites do primeiro nível escalar e seja descrita com base em

características ambientais, como climáticas, geológicas, características hidrológicas e da vegetação.

As quatro escalas adotadas fornecem informações diferentes para a gestão de zonas úmidas. Como os dados para cada escala estão interligados, é possível compilar o inventário em uma abordagem de cima para baixo ou de baixo para cima, dependendo da finalidade do inventário. As informações em cada escala também podem servir a diferentes propósitos (Finlayson *et al.* 2002). A proposta para abordar o inventário em diferentes escalas se deve também a complexidade que as AUs apresentam para sua identificação, delimitação e manejo, que é facilitada a partir do entendimento da expressão espacial das AUs, pois revela as inter-relações espaciais e temporais com outros sistemas no contexto de paisagens e regiões (Kandus; Minotti, 2018). Ao contrário da proposta de classificação de Cowardin *et al.* (1979), a proposta adotada pelo AWI apresenta um esquema de classificação de zonas úmidas baseado em uma abordagem hidrogeomorfológica funcional (Brinson, 1993, Semeniuk; Semeniuk 1995).

Diversas iniciativas de regionalização e classificação hierárquica e/ou multiescalar para inventariar as AUs foram empreendidas por países europeus para identificar suas características ecológicas, estado de conservação e uso. Nivet; Frazier (2004) mostram que essas iniciativas e programas de avaliação de zonas úmidas na região foram desenvolvidos com uma grande variedade de objetivos, nível de detalhamento e critérios de cobertura.

A Espanha é um país que avançou na proposta de regionalização ecológica de AUs. A província mediterrânea de Andaluzia, no sul da Espanha, se constitui em uma importante referência para auxiliar no desenvolvimento das bases conceituais, dos procedimentos da pesquisa, de formas de análise e de práticas adequadas para a conservação de áreas úmidas no Brasil.

Andaluzia produziu um significativo arcabouço teórico e metodológico para fundamentar o conceito e uma proposta de regionalização e classificação das AUs da região. Este arcabouço fundamentou o “Plano de Zonas Úmidas da Andaluzia” (*Plan Andaluz de Humedales – PAH*) (CMA, 2002), primeiro plano regional aprovado para a conservação de zonas úmidas em Espanha, sendo parte do da Rede de Espaços Protegidos da Andaluzia – (*Red de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía – RENPA*).

O PAH é um documento de planificação, ordenamento e gestão das zonas úmidas andaluzes, onde se estabelecem os procedimentos para a inclusão de uma AU no seu inventário e as bases científicas para a manutenção da sua integridade ecológica, como os programas setoriais, ações e procedimentos necessários para almejar uma coexistência entre a preservação

e uso sustentável das AUs. Desde a sua aprovação, foram expandidos o inventário de AUs, as áreas protegidas que englobam AUs e investimentos em projetos de monitoramento e recuperação, o que se traduziu em uma maior proteção legal e reconhecimento do valor do socioambiental das AUs da província. Além disso, diversas AUs andaluzes foram pesquisadas e monitoradas, com o objetivo de compreender a sua dinâmica, gênese e tipologias e propor medidas de recuperação, o que permitiu avançar no conhecimento das características, dos serviços ecossistêmicos e dos valores ambientais correlatos. O conhecimento mais aprofundado das AUs andaluzes impõe, ao mesmo tempo, maiores pressões sociais e ou institucionais para um maior controle da exploração das águas subterrâneas pelas atividades agrícolas, visto que as águas subterrâneas são a principal fonte de alimentação das AUs da Andaluzia.

A metodologia do PAH é guiada pela abordagem ecossistêmica, que enfoca na integridade (estrutura, funcionamento e manutenção) e saúde (funções ecossistêmicas, que geram serviços e bens) do ecossistema. É uma síntese e integração de conhecimentos geográficos e bióticos, articulados dentro e em torno do conceito de ecossistema na perspectiva integrada e multiescalar do território. Esta abordagem permite reconhecer sistemas organizados estrutural e funcionalmente sob uma configuração hierárquica de relações de interdependência entre fatores de controle e processos resultantes, que atuam e interagem ao longo do tempo e que se expressam em determinada escala (CMA, 2002). Assim, a base de construção metodológica do conceito, da regionalização e classificação das AUs do referido Plano parte de fundamentos hierárquicos e multiescalares para o entendimento das características e processos que condicionam sua estrutura, funcionamento e manutenção.

O PAH propôs três contextos escalares de classificação, subdivididos em níveis (ecozona, ecodomínio, ecoprovíncia, ecorregião, ecodistrito, ecosessão, ecolocalidade, ecótopo e ecoelemento), que são definidos por seus fatores de controle. O Quadro 2.7 apresenta a disposição hierárquica das escalas de análise e quais são os fatores de controle que compõem cada unidade de análise. Ressalta-se que o nível de ecótopo, pertencente ao nível local, é aquele onde as AUs estão enquadradas.

Quadro 2.7 - Esquema hierárquico da regionalização ecológica das AUs da Andaluzia

Orden escalár		FACTORES DE CONTROL Y RANGOS ESCALARES DE FUNCIONAMIENTO	
Contexto zonal			
Ecozona	<ul style="list-style-type: none"> Estructura y dinámica general general de la atmósfera, distribución de continentes y océanos 		
Ecodominio	<ul style="list-style-type: none"> Grandes áreas del clima Conjuntos morfoestructurales Litologías 	<ul style="list-style-type: none"> Regímenes pluviométricos Posición del nivel del mar Grandes unidades de endorreísmo estructural Escalas de permanencia 	Espacial: $>10^4$ km ² / Temporal: $\geq 10^6$ a
Ecoprovincia	<ul style="list-style-type: none"> Áreas medianas del clima Grandes unidades de relieve 		
Contexto regional			
Ecoregión	<ul style="list-style-type: none"> Grandes áreas morfogenéticas Series de vegetación y suelos (fisiografía) 		
Ecodistrito	<ul style="list-style-type: none"> Grandes formas del relieve Balace entre erosión-deposición / formación de suelos, facies litológicas 	<ul style="list-style-type: none"> Geometría y estructura de los acuíferos Balace hídrico global (precipitación / escorrentía / recarga de acuíferos) Nivel de base regional Articulación de la red hidrográfica Escalas de evolución 	Espacial: $10^1 - 10^4$ km ² / Temporal: $10^4 - 10^5$ a
Ecosección	<ul style="list-style-type: none"> Grandes formas del relieve Génesis y evolución de formaciones superficiales (suelos y sedimentos) 		
Contexto local			
Ecolocalidad	<ul style="list-style-type: none"> Grandes formas del relieve Series de sedimentos y suelos Formaciones vegetales 	<ul style="list-style-type: none"> Caracterización de las redes de flujo hídricas (superficiales, subsuperficiales y subterráneas) y relación con la cubeta 	
Ecotopo (humedales)	<ul style="list-style-type: none"> Mesomodelado Composición de formaciones superficiales Composición y estructura de comunidades biológicas 	<ul style="list-style-type: none"> Estructura, composición y organización de las masas de agua 	
Ecoelemento	<ul style="list-style-type: none"> Micromodelado Rasgos menores de suelos y sedimentos Poblaciones, cuadros Bio-geo-químicos básicos 	<ul style="list-style-type: none"> Escalas de dinámica 	Espacial: $\leq 10^1$ km ² / Temporal: 10^3 a

Fonte: CMA, 2002 p. 88.

Observa-se que as características genéticas fazem a parte dos níveis mais amplos, já que determinam os padrões dos ecossistemas e são elementos chaves para a compreensão de diversas características ecológicas das AUs (CMA, 2002; Bailey, 2009). A abordagem genética procurou encontrar padrões na paisagem e entender os seus processos formativos. Nota-se que o clima é o primeiro atributo zonal, pois é o primeiro fator de diferenciação dos ecossistemas, que por sua vez, influencia a formação dos grandes biomas (Bailey, 2009).

Conforme CMA (2002), a efetivação no espaço do processo de classificação hierárquica em diferentes unidades homogêneas do ambiente natural é o método de regionalização ecológica. Neste método, os menores ecossistemas são progressivamente integrados em unidades maiores. O desenvolvimento dessa regionalização ecológica hierárquica implica, portanto, que cada nível escalár considerado possui uma classificação e um gerenciamento sistemático próprio e que em conjunto, formam classificações interdependentes, formando a regionalização.

Conforme CMA (2002), esta abordagem permite preencher vazios de conhecimento, fragmentação e desconexão dos estudos sobre as AUs e permite que as AUs sejam manejadas como sistemas integrados na paisagem, em diversas escalas espaciais. Nesse sentido, também rompe com a prática de ver as áreas protegidas como sistemas isolados, o que gera diversos problemas de conservação, e contribui para resolver a fragmentação e a falta de coordenação entre as diferentes administrações e autarquias envolvidas no ambiente natural, já que congrega diversas características físicas e bióticas, e mesmo sociais (Montes *et al.*, 1998).

Em relação ao gerenciamento, as escalas mais amplas (escala zonal e as escalas regionais de ecodistrito e ecorregião) são adequadas para definir as diretrizes gerais da política ambiental e do planejamento integrado de grandes territórios. Já a escala regional, seção e as locais, são as mais adequadas para a implementação de programas específicos para diagnóstico e avaliação de impactos, gestão de recursos naturais, dentre outros (CMA, 2002).

A Austrália apresenta uma grande experiência em gestão e desenvolvimento de estruturas de regionalização e classificação de zonas úmidas. Diversos esquemas de classificação foram produzidos desde a década de 1980 para inventários regionais ou para fins descritivos ou de gestão. Em nível nacional, o país desenvolveu um sistema de classificação de ecossistemas aquáticos que inclui as áreas úmidas, denominado de *Australian National Aquatic Ecosystem (ANAE) Classification*, que apresenta uma abordagem multicriterial dentro de uma estrutura hierárquica. Este sistema foi elaborado pelo AETG (*Aquatic Ecosystems Task Group* - Grupo de Trabalho de Ecossistemas Aquáticos) em 2012 (*Aquatic Ecosystems Task Group*, 2012) e influenciou a elaboração e/ou atualização de novas estruturas de classificação de zonas úmidas para diversos estados australianos.

Conforme o AETG (*Aquatic Ecosystems Task Group*, 2012), a classificação é o processo de atribuir conjuntos de dados lógicos, que foram identificados como relevantes para o funcionamento ecológico dos ecossistemas aquáticos. A estrutura de classificação da ANAE está subdividida em três níveis hierárquicos:

- Nível 1 – Escala Regional, sendo definido por aspectos hidrológicos, climáticos e forma de relevo;
- Nível 2 – Escala de Paisagem, definido com base na influência da água, forma do terreno, topografia e clima); e
- Nível 3 – Escala Local, sendo formado por:
 - duas classes hidrológicas (águas superficiais e subterrâneas);

- seis sistemas alimentados por águas superficiais (marinho, estuarino, lacustre, fluvial e palustre, planície de inundação) e quatro sistemas alimentados por águas subterrâneas (meio fraturado, meio poroso das rochas sedimentares, material inconsolidado e carste);
- conjunto de atributos para a definição da categoria de habitats (categoria baseada em vários fatores, como vegetação, substrato e fonte de água).

De acordo com o grupo de trabalho australiano AETG, as regionalizações baseadas em atributos de larga escala, como clima, padrões fisiográficos e geomorfológicos e influência da água, são ferramentas internacionalmente aceitas para ajudar na descrição dos limites do ecossistema para fins de planejamento, gestão e políticas ambientais territoriais (Aquatic Ecosystems Task Group, 2012).

Os níveis 1 e 2 da estrutura proposta são descritos como regionalizações nacionais em larga escala destinados a fornecer um contexto físico e biótico nas escalas regional e da paisagem, baseados em conjuntos de dados existentes agrupados em padrões avaliados, em uma variedade de escalas espaciais.

Cabe destacar que a forma de relevo, embora seja tratada nos níveis regional (Nível 1) e da paisagem (Nível 2), pode ser usada também no nível dos sistemas (Nível 3), principalmente para os sistemas fluvial, planície de inundação, lacustre e palustre, já que as áreas terrestres do entorno e do ecossistema apresentam um importante papel no ambiente e as condições subsequentes de habitat e da biota de um local. Por exemplo, áreas de maior declividade e altitude resultam em maior velocidade da água, o que, por sua vez, influencia a biota que habita a área. Nesse sentido, foi proposta uma divisão das formas de relevo para os sistemas fluvial, lacustre e palustre do Nível 3, subdivididos em duas unidades, a saber: áreas de alta energia (terras declivosas e terras altas e declivosas) e áreas de baixa energia (platôs e planícies) (Aquatic Ecosystems Task Group, 2012).

O estado de Victoria desenvolveu uma regionalização de áreas úmidas que resultou na categorização sistemática de atributos de sistema e habitat que se relacionam à maioria dos principais componentes e processos da função de áreas úmidas recomendados para uso na Austrália. A estrutura de classificação de Victoria, produzida pelo Departamento de Meio Ambiente, Terra, Água e Planejamento (Department of Environment, Land, Water and Planning, 2014), é uma das referências modelo para categorizar as AUs com base em atributos multiescalares e funcionais específicos, e orientar pesquisas, políticas e medidas de gestão.

A partir da avaliação dos atributos regionais e paisagísticos das AUs de Victoria com base na estrutura da classificação nacional australiana (ANAE) produzida pelo AETG (Aquatic Ecosystems Task Group, 2012), foi definida uma variação regional e paisagística de suas AUs, descrita de forma qualitativa, considerando critérios e mapas produzidos pelo AETG e variáveis como altimetria, pluviosidade, temperatura, vegetação, unidades geológicas e geomorfológicas, planícies de inundação e distribuição de espécies-chave. A aplicação dos atributos da ANAE não foi usada de forma homogênea e sim avaliando as características mais sobressalentes da paisagem de AUs. Ressalta-se que o inventário de zonas úmidas vitorianas inclui apenas águas superficiais lânticas.

Conforme o Departamento de Meio Ambiente e Ciência de Queensland, o processo de classificação deve seguir as seguintes etapas: propósito de classificação; escala; variáveis e atributos de dados; método de classificação/tipologia e produtos disponíveis. Em termos de propósito da classificação, também deve ser considerado a avaliação de quais características ou atributos seriam mais úteis para descrever a natureza de uma zona úmida específica e distingui-las de outras (Department of Environment and Science, 2015; 2019).

A tipologia é derivada da classificação, sendo que nem todos os atributos precisam ser utilizados. Assim, o desenvolvimento de uma estrutura de classificação é parte de processo maior para o manejo, gestão e conservação das AUs, já que sua aplicação deriva em inúmeros produtos, como tipologias, modelos, indicadores, mapeamento, informações para gestão e tomadas de decisão, estatísticas, servidor online de dados, módulos educacionais sobre as AUs etc. Para as AUs de pequenas dimensões de uma determinada área, por exemplo, seus dados necessitam ser coletados em uma escala mais precisa para garantir que todos os tipos de AUs possam ser incluídos e avaliados.

Os atributos dos dados do método de classificação de AUs de Queensland são coletados em distintos níveis hierárquicos e são exibidos em diferentes escalas. Seu objetivo é fornecer informações de atributos gerais para os habitats de zonas úmidas, com base em fatores climáticos, hidrológicos, de substrato e vegetacionais, e que têm potencial de aplicação para diversas ações de gestão e manejo, nas escalas municipais, estadual e nacional. A partir do seu método de classificação multiescalar e com diversas categorias com critérios físicos, químicos e biológicos de informação, foram derivadas as tipologias de AUs, por meio da sua classificação regional ou específica, que são descritas de forma qualitativa (Department of Environment and Science, 2019). Ressalta-se que as tipologias do inventário, derivando em perfis de AUs, constam de informações com dados como: região biogeográfica, biodiversidade, se há presença

de espécies migratórias ameaçadas de extinção, localização em termos de área protegida, dentre outras. Ressalta-se que os atributos dos componentes e processos que formam a base do sistema têm sido efetivamente aplicados em escala estadual por meio do mapeamento e inventário de zonas úmidas em um Sistema de Informações Geográficas.

Na América do Sul, os processos de realização de classificação, inventários e/ou propostas de regionalização de zonas úmidas são bastantes variados e há países avançados nessa temática, como é o caso do México e as propostas metodológicas recentes da Argentina.

O México, através da Comissão Nacional da Água (*Comisión Nacional del Agua - Conagua*), apresenta um site online que conta com diversos documentos técnico-científicos utilizados como base no desenvolvimento do seu Inventário Nacional de Zonas Úmidas. Entre estes documentos inclui-se um de delineamentos para a classificação das AUs, considerado como a base para a realização do inventário.

A proposta de classificação para as AUs do México tem uma abordagem multiescalar e possui três escalas de trabalho: (1) Nível 1 / Sistema - Escala 1: 250.000 para nível nacional, onde são identificados os tipos de sistemas de AUs conforme suas condições similares em termos hidrológicos, geomorfológicos, químicos e biológicos (marinho, estuário, fluvial, lacustre, palustre e antrópico); (2) Nível 2 / Subsistema - Escala 1: 50.000 para nível da bacia hidrográfica, que considera as formas principais da superfície (plataforma/superfície horizontal plana e elevada, depressão, planície, fluvial, encosta e montanha); e (3) Nível 3 / Classe - Escala 1: 20.000 para o nível das unidades mínimas cartografáveis, que contempla o regime de água ou da maré (permanente, sazonal ou intermitente). Após o Nível 3 das Classes, também pode ser agregado o Nível 4, das subclasses, que se refere as unidades primárias, onde se definem como áreas que convergem várias AUs ou AUs específicas que compartilham de uma mesma forma da superfície (Nível 2) e um regime de água específico (Nível 3). Depois do Nível 4 ainda podem ser agregados os descritores, que são informações como clima, tamanho, forma da AU, tipo de vegetação e substrato e comunidades biológicas (Conagua, 2013). Para a delimitação de AUs em escala local, enfatiza-se a importância de se entender que estes ecossistemas são parte de um sistema maior e, neste caso, usam o conceito de bacia hidrográfica, como a proposta para a Ásia, elaborada por Finlayson *et al.* 2002.

Na Argentina, o processo de construção para as bases de um inventário começou no final do século XX e envolveu uma construção coletiva formada por pesquisadores e técnicos de diversas instituições do país, contando, inclusive, com participação de especialistas estrangeiros em cursos especializados (Kandus; Minotti, 2018). Diversos documentos foram

publicados desde então, que tem entre seus objetivos: fornecer uma base de dados geográficos de regiões, sistemas, paisagens e ambientes das AUs, incluindo a área ocupada por zonas úmidas, sua delimitação, distribuição espacial e contexto em que estão localizadas; propor um sistema com nomenclatura padronizada e que permita comparar informações de diferentes níveis escalares e regiões geográficas; e prover informações sobre as características das zonas úmidas com ênfase em suas funções serviços ecológicos e ecossistêmicos. Com base no documento de Kandus; Minotti, 2018, o Ministério de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável da Argentina publicou um documento cujo enfoque principal foi estabelecer um quadro técnico e institucional para a integração dos projetos de inventário de zonas úmidas no país (MAyDS, 2020).

O inventário proposto apresenta uma abordagem hierárquica das zonas úmidas baseada na ecologia regional e de paisagens e se concentra na configuração espacial dos ecossistemas, seus fatores genéticos, sua conectividade e vínculo funcional com os ecossistemas adjacentes. Permite contextualizar os ecossistemas de zonas úmidas em um contexto mais amplo e fornece uma ferramenta de gestão para ação em diferentes escalas. Com base neste quadro conceitual, o Inventário de Zonas Úmidas da Argentina é organizado em quatro níveis ou escalas de classificação: Nível I – Regiões de AUs; Nível II – Sistemas de paisagens de AUs; Nível III – Unidades de paisagens de AUs; e Nível IV – Unidades de AUs.

As Regiões de AUs (ou sub-regiões) (Nível I) representam áreas semelhantes em termos de altimetria e condições climáticas (balanço hídrico e temperatura), influenciando a dinâmica das paisagens das AUs e os processos biohidrogeomorfológicos que dão origem à ocorrência de zonas úmidas. Uma região (ou sub-região) Nível I pode ser composta por várias paisagens de AUs. A escala é menor que 1:2.000.000 e a unidade de análise é a bacia hidrográfica (unidade de análise; escala 1:250.000) (Benzaquén *et al.*, 2009; 2017; Kandus; Minotti, 2018).

Os Sistemas de Paisagens de AUs (Nível II) resultam da subdivisão das Regiões de AUs e são definidos a partir de uma perspectiva de gênese, cujos territórios apresentam a mesma origem geológica e geomorfológica e atuam influenciando o padrão de escoamento da água e sua permanência na superfície. A geomorfologia é considerada o principal fator que rege a distribuição espacial das zonas úmidas no Nível II, uma vez que determina a topografia e a natureza dos depósitos e, portanto, o padrão de escoamento da água na superfície e seu tempo de residência. Dados utilizados como base são unidades geológicas, unidades geomorfológicas, imagens de satélite de média a baixa resolução, altimetria, padrões de drenagem e de relevo. Assim, os sistemas de paisagens formam um conjunto de unidades de paisagens de AUs

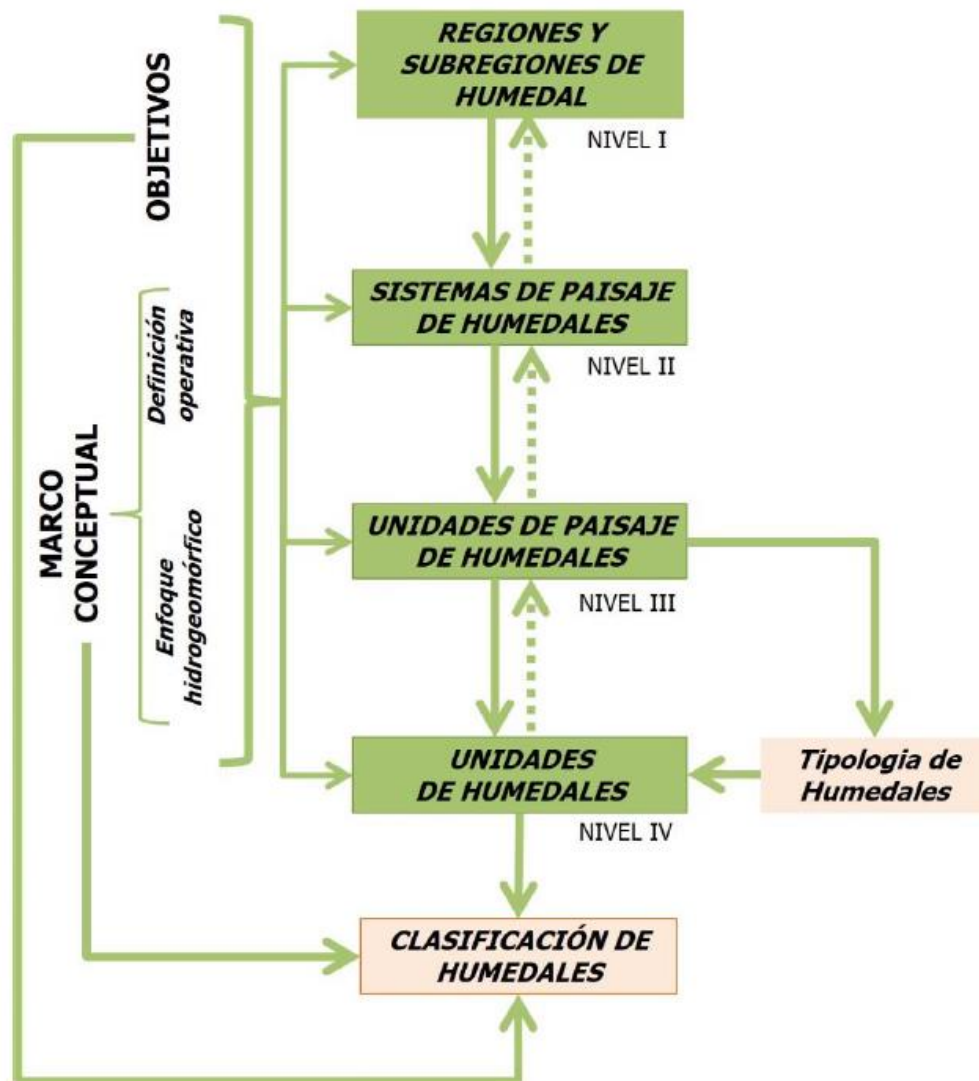
semelhantes em termos de configuração estrutural, fisionomia e funcionamento, como áreas alimentadas por pulsos de inundação, e que permitem a adoção de modelos de gestão semelhantes. As escalas geográficas variam entre 1: 3.000.000 e 1:500.000.

As Unidades de Paisagem de AUs (Nível III) são áreas com AUs conectadas por fluxos locais de águas superficiais e subsuperficiais. Seus limites são pouco precisos e são definidos em termos de gênese e formas do relevo, posição topográfica da AU e dinâmica da água superficial, incluindo as regiões de inundação ou alagamento. Compartilham de condições geomorfológicas semelhantes. A interação dessas características com a vegetação, solos e o uso e ocupação do solo dá origem a uma variedade de unidades de paisagem, que em conjunto formam sistemas de paisagem de AUs. Imagens de resolução espacial e trabalhos de campo são usadas para validar os limites das unidades. São expressas em escalas geográficas que variam entre 1: 250.000 e 1: 10.000. Ressalta-se que a partir de cada unidade de paisagem se obterá uma tipologia de AUs particular, formada por diferentes tipos de AUs. Assim, uma lista com tipos de AUs formará uma unidade de paisagem de AU.

As Unidades de AUs (Nível IV) correspondem aos elementos da paisagem ou geoformas que permitem o acúmulo permanente ou temporário de água em posições topográficas específicas. O termo geoforma envolve também a dimensão, a gênese e aspectos geológicos, como o tipo de rocha. Apresentam características distintivas que indicam a presença de zonas úmidas (água, biota, solos), que determinam os seus limites e as diferenciam dos ecossistemas aquáticos e terrestres. As escalas geralmente são maiores que 1:50.000, sendo mais recomendado uma escala 1:25.000. Poderão ser utilizadas, inclusive, escalas de 1:10.000 a 1:5.000 ou ainda maiores.

Cada Unidade de AU é demonstrada através de uma tipologia de zonas úmidas descrita por meio da localização geomorfológica, as características hidrológicas e ecológicas de cada tipo de zona úmida presente. Assim, na Argentina, o inventário de AUs engloba múltiplas escalas espaciais, classificando as AUs por meio de categorias ou classes, onde uma mesma categoria pode englobar diferentes tipos de AUs se estes tipos compartilham de características semelhantes. Já as tipologias que foram caracterizadas e delimitadas no país servem para embasar as unidades de paisagens e a própria classificação. A Figura 2.4 apresenta a vinculação das etapas.

Figura 2.4 – Estrutura do inventário das AUs da Argentina e sua vinculação com a classificação e as tipologias derivadas



Fonte: Kandus; Minotti, 2018 p.41.

Ressalta-se que, atualmente, o território da Argentina apresenta uma proposta para os três primeiros níveis (regiões, sistemas paisagísticos e unidades paisagísticas), onde cada nível implica uma divisão espacial ou subdivisão do nível superior. No último nível, as unidades de áreas úmidas são delimitadas e diferenciadas dos ecossistemas terrestres e aquáticos adjacentes, e foram executadas para algumas unidades específicas.

Conforme Kandus; Minotti (2018), os inventários de zonas úmidas são considerados como um processo ao longo do tempo e não como um único produto ou resultado. No âmbito desse processo, informações importantes são geradas, muitas vezes para diferentes escalas espaciais e diferentes regiões do território. Estas informações são adaptadas conforme são

desenvolvidos e aprofundados os estudos, as técnicas de mapeamento, os critérios de classificação e formas de registro e divulgação dos resultados do inventário, podendo ser continuamente incorporadas aos planos de manejo e ordenamento ambiental do território.

Há propostas de classificação de AUs para regiões específicas do país também, que apresentam uma abordagem multiescalar. Para a província de Santa Cruz na Patagônia, por exemplo, Mazzoni; Vázquez (2004) propuseram um esquema de classificação de acordo com o contexto geomorfológico em que a AU está localizada (cordilheira, serras, planalto e vale) e as unidades de paisagem de AUs em cada contexto. Por exemplo, no contexto das cordilheiras, tem-se relevo abrupto, relevo suave e ondulado, geleiras e bacias lacustres. Dentro de cada unidade de paisagem, as AUs são identificadas de acordo com a posição geomorfológica (Kandus; Minotti, 2018).

Ressalta-se que no contexto nacional não há uma proposta de classificação de AUs que associe critérios geomorfológicos, hidrológicos e biológicos. O sistema de classificação das AUs brasileiras, elaborado pelo Instituto Nacional de Áreas Úmidas (INAU), é formado por 3 níveis hierárquicos, sendo o primeiro nível formado pelos sistemas (AUs costeiras, interiores e antrópicas); o segundo nível por fatores hidrológicos, conforme as características da dinâmica do nível d'água, permanência e frequência; e o terceiro nível pelo tipo de macrohabitat e plantas. Os sistemas antropogênicos são diretamente caracterizados dentro de tipologias, como açudes, canais de drenagem, etc (Junk *et al.*, 2013; Cunha *et al.* 2015). Ressalta-se, também, o sistema de classificação classifica as AUs até o nível da vegetação presente, mas não tem uma base geoespacial vinculada, com a delimitação das AUs.

Nesse sentido, de acordo com as experiências analisadas, não existe uma única forma de classificar ou regionalizar as AUs para inventariá-las e definir suas tipologias. Observa-se que cada classificação, regionalização e inventário de AUs possui suas especificidades e que podem ser adaptadas ao longo tempo em função do desenvolvimento das pesquisas, da aplicação das metodologias e dos seus objetivos. Além disso, foi visto que independentemente da classificação ou da regionalização de AUs proposta, muitas vezes estas são abordadas dentro dos inventários, e vice-versa, já que estes instrumentos se retroalimentam e tem um objetivo em comum.

2.5 Tipologias e principais características das AUs em Minas Gerais

Em Minas Gerais, Gomes (2017) e Gomes; Magalhães (2020) apresentaram uma tipologia de AUs com os principais tipos ocorrentes no estado e propuseram grandes classes hidrogeomorfológicas conceituais de AUs, considerando-se as características hidrodinâmicas e os principais tipos de solo e vegetação relacionados às AUs. Com base na proposta de Gomes (2017) e Gomes; Magalhães (2020), a seguir são caracterizados os principais tipos (ou tipologias) de AUs que ocorrem em Minas Gerais, a posição hidrogeomorfológica que geralmente ocorrem na paisagem, bem como as principais fitofisionomias e os tipos de solos associados.

No estado, os principais tipos de AUs ocorrentes são do tipo poças temporárias, nascentes difusas, lagoas transicionais; veredas e campos de murundus, a saber:

- **Poças temporárias** - São pequenos acúmulos de águas rasas formados no período das chuvas e geralmente sem conexão com corpos d'água, em ambientes naturais. Além das águas pluviais, podem ser formadas pelo afloramento de águas subterrâneas (olho d'água). Seu processo de formação e suas características variam de acordo com a topografia do terreno, com o regime local de chuvas e a vegetação no entorno. São fundamentais para diversas espécies que precisam viver na água pelo menos em uma fase de seu ciclo de vida. Formam habitats de espécies endêmicas e ameaçadas, como os rivulídeos (Setubal *et al.*, 2018; Ciolete *et al.*, 2018)
- **Nascentes difusas**: sistemas de exfiltração de águas subterrâneas de forma difusa e que dão origem a cursos d'água a jusante, onde o fluxo d'água se concentra. Assim, a água aflora em uma área indefinida, promovendo o encharcamento do solo na forma de brejos, sendo comum a ocorrência de áreas de hidromorfismo. Podem ser perenes ou temporárias e somente a jusante, onde o fluxo d'água torna-se concentrado, há o início da formação de um canal (Felippe, 2009). São típicas em morfologias côncavas ou sopés de encostas, que tendem a conferir menor gradiente aos fluxos subterrâneos, promovendo a exfiltração de modo difuso.
- **Lagoas transicionais** são áreas relativamente deprimidas que acumulam águas superficiais e/ou subsuperficiais e apresentam vegetação emergente. Se diferem dos lagos e lagoas, pois suas formas (ou extensões) são espacialmente variáveis ao longo do

tempo e geralmente se transformam em brejos ou secam nos períodos secos. Quando as águas são permanentes, seu nível é raso e há ocorrência de vegetação adaptada predominando no ambiente. No estado, ocorrem geralmente associadas às rochas ferruginosas, quartzíticas e/ou cársticas, e/ou em subsistemas deprimidos mais úmidos, como meandros abandonados em planícies fluviais atuais e subatuais, formando subtipos, como lagoas marginais. As lagoas transicionais são sistemas geralmente bastantes dinâmicos, apresentado extensões espaciais muito variadas no tempo (Gomes, 2017; Gomes; Magalhães, 2020).

- **Veredas:** são sistemas úmidos perenes do bioma cerrado associados a solos hidromórficos ou solo orgânico e ao nível freático, que aflora ou está próximo a superfície durante a maior parte do ano e tem como espécie típica os buritis, que crescem de forma alinhada ou agrupada (Drummond *et al.*, 2005). Ocupam vales rasos, vertentes côncavas ou áreas planas acompanhando linhas de drenagem mal definidas. O afloramento do nível freático é decorrente, principalmente, da alternância da permeabilidade entre as camadas sedimentares, em relevos de chapadas (Boaventura, 1988, 2007; Ribeiro; Walter, 1998; Carvalho, 1991). As veredas também podem ser classificadas em subtipos, conforme o seu posicionamento geomorfológico (Boaventura, 1978; Ferreira, 2005), como por exemplo: veredas de encostas, veredas de sopé, veredas de patamar, veredas de cordão linear, e outras. São sistemas que apresentam uma rica biodiversidade, formando áreas de abrigo e alimentação de diversas espécies da fauna terrestre e aquática. Além disso, atuam na perenização de corpos d'água, no controle de sedimentos e na retenção de poluentes, atuando na manutenção da quantidade e qualidade das águas (Carvalho, 1991; Lima, 1991).
- **Campos de Murundus** (covoais): áreas brejosas ou alagadas do bioma cerrado com presença de “murundus”, que são pequenas elevações cônica/convexa naturais do terreno (Resende *et al.*, 2004). Os solos dos murundus são geralmente bem drenados e a vegetação é formada por arbustos e árvores de pequeno porte. Já o entorno dos murundus é formado por depressões de maior umidade, com gramíneas e solos hidromórficos (Diniz de Araújo Neto *et al.*, 1986). Intercalam-se, portanto, dois microambientes diferentes: o ambiente mais seco das microelevações e outro mais úmido, a base da depressão (Schneider; Silva, 1991). Assim como as veredas, são

comuns em planaltos sedimentares, nos topos e bordas das chapadas e nas cabeceiras de drenagem e na baixa encosta. Apresentam uma flora e fauna dependentes e, também, atuam como reservatórios de água, liberando lentamente às águas aos sistemas hídricos durante o período seco, porém, ao contrário das veredas, apresentam grandes variações sazonais do nível d'água em função da sua maior dependência com o regime climático (Oliveira Filho; Furley, 1990; Castro Junior, 2002).

O Quadro 2.8 apresenta as informações dos critérios geomorfológicos e hidrológicos que formam as classes hidrogeomorfológicas (HGM) das AUs, ou seja, a posição e forma da AU e seus mecanismos hidrológicos de funcionamento e manutenção. A Figura 2.5 ilustra as AUs em diferentes contextos geomorfológicos de ocorrência e seus fluxos de funcionamento e manutenção. Para informações mais detalhadas vide Gomes (2017) e Gomes; Magalhães Junior (2020).

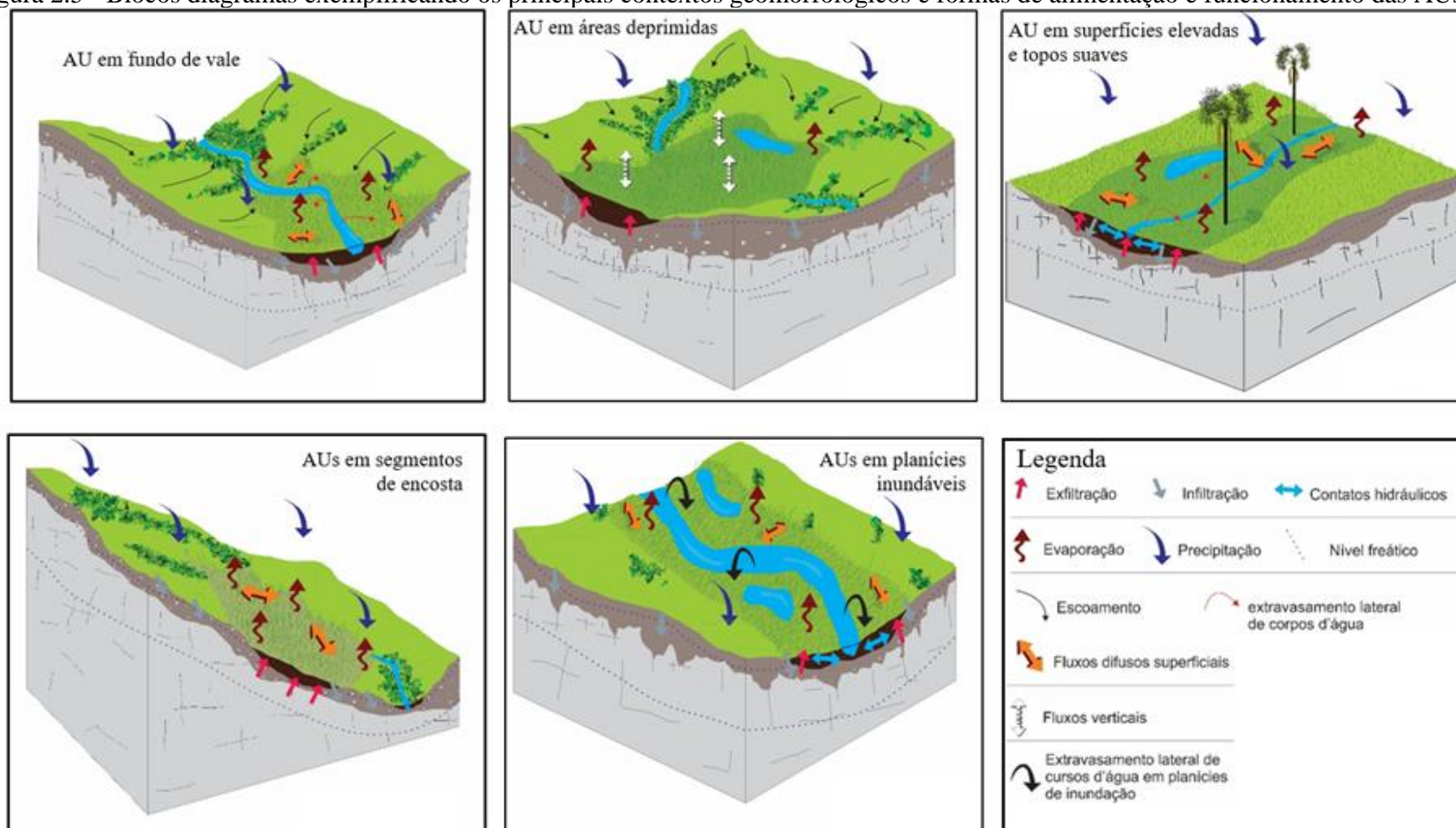
Quadro 2.8 – Critérios das Classes HGM para as AUs de MG

Critério	Parâmetros das Classes		Contextos geomorfológicos de ocorrência
Contexto geomorfológico	Morfologia da AU (plana, deprimida ou côncava);		- AUs de Planícies Inundáveis
	Posição topográfica na paisagem ou contexto local de inserção (topos de morro, vertentes (sopés de vertente, rupturas de declive e cabeceiras de drenagem) e fundos de vale (estes associados ou não as planícies de inundação));		
	Processos (perda ou acumulação de materiais);		
	Tipo de materiais associados		
Fonte/origem da água e sua duração e frequência	Predominantemente superficial	Precipitação direta, escoamento pluvial e extravasamento da água de corpos d'água lênticos e lóticos	- AUs Planas e Elevadas
	Predominantemente subsuperficial	Nível freático suspenso e profundo	- AUs de Depressão
	Regime hídrico associado	Permanente ou temporário	- AUs de Segmentos de Encosta
Dinâmica da água	Tipos de fluxos	Planares, Convergentes, ou Divergentes; e/ou ainda verticais e difusos	AUs de Topo de Morro
	Tipos de saídas	Evaporação, infiltração e percolação para o nível freático superficial e profundo e para corpos d'água	- AUs de Fundos de Vale*

Fonte: Adaptado de Gomes (2017) e de Gomes; Magalhães Junior, 2020.

*As AUs de Fundo de vale diferem-se das AUs de planície inundáveis ao não formar feições deposicionais típicas de planícies de inundação fluviais, como barras de pontal, diques e lagoas marginais. Geralmente associam-se a cursos d'água de pequena a média magnitudes e ordens.

Figura 2.5 - Blocos diagramas exemplificando os principais contextos geomorfológicos e formas de alimentação e funcionamento das AUs



Fonte: Gomes (2017); Gomes; Magalhães Junior, 2020.

Em termos de fitofisionomias associadas às AUs do estado, as principais são: campos úmidos (limpo, sujo ou rupestre), florestas inundáveis e buritizais, descritas a seguir.

- **Campos úmidos:** formações essencialmente herbáceo-subarbustivas do cerrado, onde há saturação hídrica do solo, geralmente com presença de nascentes difusas. Estabelecem-se, portanto, em terrenos úmidos ou encharcados, com afloramento do nível freático, ou em depressões fechadas, que acumulam água durante a estação chuvosa. As inundações ou encharcamento periódicos dificultam o estabelecimento de espécies arbustivo-arbóreas, enquanto as espécies herbáceas são adaptadas ao maior grau de encharcamento e predominam neste tipo de vegetação (França, 2011). O relevo é geralmente suave e os solos são do tipo Hidromórfico, Aluvial e Plintossolo e Solo Orgânico. Os campos úmidos podem estar associados a corpos d'água e sua fisionomia pode variar de campo limpo à sujo (Ribeiro; Walter, 1998) e rupestre. Podem ocorrer, assim, em áreas de campos rupestres, de várzeas, no entorno de brejos, lagoas e veredas (Oliveira Filho *et al.*, 2006).
 - O Campo Limpo é uma fitofisionomia predominantemente herbácea, com alguns subarbustos. É encontrado em diversas posições topográficas, com diferentes graus de umidade. Geralmente ocorre com mais frequência nas encostas, nas chapadas, nas nascentes, no entorno das veredas e nas bordas das matas de galeria. Em planícies periodicamente inundadas também é denominado de “campo de várzea”, “várzea” ou “brejo”. Em função da umidade do solo e da topografia, o Campo Limpo pode variar entre seco (quando o nível freático for profundo), úmido (quando o nível freático está na superfície ou próximo a ela) e com murundus (quando na área ocorrem microrelevos mais elevados), estes dois últimos os solos também são mal drenados, temporária ou permanentemente encharcados devido ao afloramento do nível freático associado à deficiência de drenagem (Eiten, 1994; Ribeiro; Walter, 1998).
 - O Campo Sujo é uma fitofisionomia herbáceo-arbustivo, com presença de indivíduos arbóreos de pequeno porte de forma esparsa. Assim como o Campo Limpo, o Campo Sujo também varia em função da umidade do solo e da topografia, podendo ser seco, úmido e com ou sem murundus, estes dois últimos os solos também são mal drenados. (Ribeiro; Walter, 1998).

- O Campo Rupestre é uma fitofisionomia predominantemente herbáceo-arbustivo, com a presença eventual de indivíduos arbóreos pouco desenvolvidos de até dois metros de altura. Abrange um complexo de vegetação com espécies típicas, ocupando trechos de afloramentos rochosos. Está associado a afloramentos, sobretudo, de quartzitos e/ou crostas ferruginosas, mas podem ocorrer associados ao embasamento cristalino. Sua ocorrência se dá nos três biomas, pois estão situados em áreas de transição (Oliveira, 2017). Os campos rupestres brejosos são ambientes temporariamente brejosos, com uma variação hidrológica sazonal elevada. A vegetação é fortemente adaptada a este regime hidrológico e os solos apresentam características hidromórficas. Ocorrem em nível rebaixado em relação ao entorno e tornam-se lagoas com vegetação aquática no período chuvoso. Durante alguns meses do período seco podem apresentar-se completamente secos (Pereira, 2010). Geralmente ocorre em altitudes superiores a 900 metros (Ribeiro; Walter, 1998). Em Minas Gerais, o Campo Rupestre brejoso ocorre principalmente no Espinhaço e, em menor percentual, no Quadrilátero Ferrífero, na Serra da Canastra e da Mantiqueira. Cabe destacar que identificar corretamente a litologia e os solos de cada um dos campos rupestres é um fator importante, pois diferentes tipos de rocha originam solos com características diferentes, que, por sua vez, geram campos rupestres com singularidades bióticas específicas (Vasconcelos, 2014). Fatores como profundidade do solo, acidez, teor de matéria orgânica e disponibilidade de água são elementos chaves para a diferenciação da biodiversidade interna aos Campos Rupestres (Nunes, 2009), onde diversos deles ocorrem associados às AUs.
- **Florestas inundáveis:** as espécies das florestas inundáveis variam, sobretudo, em função das características fisiográficas onde ocorrem (como solo, altitude, clima, etc), o tipo e grau de fragmentação da vegetação presente e da vegetação adjacente e o tempo e grau de saturação do solo. A diversidade e o estabelecimento da vegetação dependem da sua adaptabilidade às condições de saturação hídrica, que possui baixa oxigenação do solo (Silva *et al.*, 2012). A terminologia usada para as florestas inundáveis é variável e não necessariamente se refere somente as florestas em planícies de inundação. Dependendo da literatura, são denominadas ou incorporam matas ou florestas de galeria, mata inundável, mata de várzea, mata de brejo, floresta inundável e mesmo floresta paludosa. Em Minas Gerais, destaca-se a ocorrência ao longo de cursos d'água e em

ambientes onde o nível freático está na ou próximo a superfície, geralmente formando nascentes difusas.

- As florestas paludosas referem-se as formações florestais permanentemente encharcadas ou inundadas que ocorrem em solos hidromórficos, com a presença permanente ou quase permanente de água superficial em função do afloramento do nível freático, são geralmente denominadas de florestas paludosas (Terror et al., 2011). As florestas paludosas estão associadas a nascentes difusas ou a áreas de depressão com acúmulo de argila e/ou de matéria orgânica, que permanecem saturadas na maior parte do ano, com menor encharcamento apenas em épocas de menor pluviosidade (Silva et al., 2012). Em função da saturação permanente, apresentam baixa diversidade de espécies lenhosas, quando comparadas com as matas de galeria (Oliveira Filho et al., 2006). Conforme os autores, em Minas Gerais, a ocorrência das florestas paludosas é típica em cabeceiras de drenagem com presença de nascentes difusas, em altimetrias elevadas do bioma da Mata Atlântica. Já no bioma do cerrado, estão associadas a nascentes e corpos d'água, frequentemente associadas às veredas.
- **Palmeiral:** tipo de formação do Cerrado onde uma determinada espécie de palmeira arbórea é dominante na paisagem. Pode ser denominado pelo nome da espécie dominante, como Buritizal. O Palmeiral forma dossel, ainda que descontínuo, e alguns trechos podem ser considerados como formações florestais (Ribeiro; Walter, 1998). De forma geral, os palmeirais encontram-se em terrenos bem drenados, mas podem ocorrer em solos mal drenados, em áreas brejosas, quando formam galerias ao longo de cursos d'água (Eiten, 1994), em fundos de vales. Nesses casos, são geralmente dominados pela presença de buritis, sendo referenciados diversas vezes como veredas. Contudo, são formações distintas, pois nas veredas o buriti ocorre em menor densidade, não forma dossel e é circundado por um estrato arbustivo-herbáceo característico. Além disso, o Buritizal se diferencia da Mata de Galeria Inundável mesmo quando forma galerias, em função da dominância marcante do buriti (Ribeiro; Walter, 1998).

Em relação às classes de solos ocorrentes nas AUs, as principais são Gleissolos, Organossolos, Plintossolos, Planossolos, Vertissolos, Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos e Flúvicos e Espodossolos, com destaque para as duas primeiras, os Gleissolos e Organossolos. As classes de solos são apresentadas a seguir, com base em Embrapa (2006).

- **Gleissolos:** solos minerais, hidromórficos, originados de sedimentos recentes não consolidados. Apresentam horizonte glei dentro de 50 cm a partir superfície, ou entre 50 e 125 cm, desde que imediatamente abaixo de horizontes A ou E (com ou sem gleização) ou de horizonte hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos. Compreende solos mal a muito mal drenados e que possuam características resultantes da influência do excesso de umidade permanente ou temporário. Apresentam um horizonte subsuperficial de coloração acinzentada, com mosqueados amarelados ou avermelhados, oriundos da oxidação do ferro na matriz do solo em consequência de fenômenos de oxirredução. Frequentemente, desenvolvem-se em sedimentos recentes próximos aos cursos d'água e em materiais colúvio-aluviais sujeitos a condições de hidromórficas, podendo formar-se também em áreas de relevo plano de terraços fluviais, lacustres ou marinhos, como também em materiais residuais em áreas abaciadas e depressões. São eventualmente formados em áreas inclinadas sob a influência do afloramento de água subterrânea (surgentes). São solos que ocorrem sob vegetação hidrófila ou higrófila herbácea, arbustiva ou arbórea.
- **Organossolos:** são solos pouco evoluídos, constituídos por material orgânico de coloração preta, cinzenta muito escura ou brunada, resultantes de acumulação de restos vegetais, em graus variáveis de decomposição, em condições de drenagem restrita (ambientes mal a muito mal drenados), ou em ambientes úmidos de altitudes elevadas, saturados com água por apenas poucos dias durante o período chuvoso. Em ambientes sujeitos a forte hidromorfismo, pelo fato de o lençol freático permanecer elevado durante grande parte do ano, as condições anaeróbicas restringem os processos de mineralização da matéria orgânica e limitam o desenvolvimento pedogenético, conduzindo à acumulação expressiva de restos vegetais. São formados em áreas planícies fluviais depressões sujeitos a inundações constantes e com má drenagem e locais de surgência em cabeceiras de drenagem, sob vegetação hidrófila ou higrófila, do tipo campestre ou florestal, ou a ambientes úmidos durante todo o ano e em altitudes elevadas, saturados com água por menos de 30 dias consecutivos durante o período chuvoso. Geralmente são denominados como sinônimos de turfeiras.
- **Plintossolos:** solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte plíntico, litoplíntico ou concrecionário. São formados sob condições de restrição à percolação da água ou sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade. São imperfeitamente ou mal drenados. Os solos com horizonte plíntico têm ocorrência geralmente relacionada a

terrenos de várzeas e áreas com relevo plano ou suavemente ondulado. Ocorrem também nas partes inferiores de encostas ou áreas de surgência, sob condicionamento quer de oscilação do nível freático, quer de alagamento ou encharcamento periódico por efeito de restrição à percolação ou escoamento de água.

- **Planossolos:** Solos com presença de horizonte B plânico, subjacente a qualquer tipo de horizonte A, podendo ou não apresentar horizonte E. Ocorrem preferencialmente em áreas de relevo plano ou suave ondulado, onde as condições ambientais e do próprio solo favorecem vigência periódica anual de excesso de água, mesmo que de curta duração. Nas baixadas, várzeas e depressões, sob condições de clima úmido ou semiúmido, são verdadeiramente solos hidromórficos.
- **Vertissolos:** Solos minerais não hidromórficos com séria restrição temporária à percolação de água, variando de imperfeitamente a mal drenados. A baixa infiltração de água e a drenagem lenta favorecem o seu encharcamento. Distribuem-se em áreas planas a pouco movimentadas e, menos frequentemente, em encostas e topos de serras ou serrotes.
- **Neossolo Quartzarênico Hidromórficos e Flúvico:** Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos apresentam elevado grau de hidromorfismo, com o nível freático elevado durante grande parte do ano, na maioria dos anos e são imperfeitamente ou mal drenados. De modo geral, ocorrem nos terrenos rebaixados. Os Neossolos Flúvicos são formados pela deposição de sedimentos ao longo de margens de cursos d'água. Frequentemente ocorrem associados aos solos hidromórficos, mas não são considerados hidromórficos por terem melhor drenagem ao longo do perfil, geralmente arenoso, e por apresentarem horizonte A sobre uma sucessão de camadas de sedimentos que não têm relação pedogenética entre si.
- **Espodossolos:** solos com presença de horizonte diagnóstico B espódico em sequência a horizonte E ou horizonte A, cuja drenagem é muito variável, havendo estreita relação entre profundidade, grau de desenvolvimento, endurecimento/cimentação do horizonte B espódico. Ocorrem em locais com umidade elevada, como planícies de inundação, áreas de surgência e deprimidas, sob os mais diversos tipos de vegetação.

3 METODOLOGIA

Este capítulo tem como objetivo apresentar o percurso metodológico da presente pesquisa de doutorado, assim os métodos e ferramentas aplicados. A metodologia foi estruturada da seguinte forma:

3.1 Embasamento teórico-conceitual das AUs e subsídios para classificação

Inicialmente, foi feita uma ampla pesquisa bibliográfica para a elaboração do Capítulo 2. Os principais objetivos deste Capítulo foram: apresentar uma breve contextualização das AUs no Brasil e Minas Gerais no contexto da Convenção de Ramsar e da legislação federal e estadual (subcapítulo 2.1); discutir os elementos hidrogeomorfológicos determinantes das AUs, as características das AUs, a contribuição conceitual da abordagem biohidrogeomorfológica e o conceito de AUs adotados na presente tese (subcapítulo 2.2); discutir os principais valores funcionais das AUs (subcapítulo 2.3); avaliar metodologias de classificação e/ou regionalização de AUs, que proveram diferentes ideias e/ou subsídios para o desenvolvimento da proposta geoespacial de classificação biohidrogeomorfológica das AUs de Minas Gerais (subcapítulo 2.4); e apresentar as tipologias de AUs de Minas Gerais, suas classes hidrogeomorfológicas e as principais características fitofisionômicas e de solos associados (subcapítulo 2.5). Essa fundamentação teórica foi fundamental para estabelecer o arcabouço teórico e o ponto de partida para o início do processo de construção da proposta de inventário e classificação.

Essa estruturação conceitual teve como principal referência norteadora o conhecimento e experiência sobre as AUs de Andaluzia, comunidade autônoma localizada no sul da Espanha, onde realizou-se um estágio doutoral na Universidade de Sevilla em 2021 (fevereiro-julho), sob a tutoria e coorientação do prof. César Borja Barrera e possibilitado pela *Fundación Carolina*.

Devido à escassez de estudos em Minas Gerais e no Brasil, a pesquisa de experiências internacionais foi essencial para avançar na produção de conhecimentos e instrumentos para a gestão de zonas úmidas integradas às leis de proteção ambiental. Assim, a experiência espanhola contribuiu significativamente para a pesquisa, tanto em termos teóricos quanto empíricos, no meio científico e legal.

Neste contexto, a adaptação do conceito de AUs do *Plan Andaluz de Humedales – PAH* (CMA, 2002) como ponto de partida desta tese foi proveniente do aprofundamento teórico-metodológico e da experiência obtida durante estágio doutoral em Sevilha, onde teve-se contato

direto com o objeto investigado e com estudiosos acadêmicos da área, que, além de apresentarem inúmeras pesquisas na área, participaram da elaboração do *Plan Andaluz de Humedales* (CMA, 2002). Além disso, a abordagem ecossistêmica nos estudos das AUs foi umas principais referências para prover contribuições ou ideias para o desenvolvimento da proposta de classificação das AUs de Minas Gerais.

Em relação às abordagens de classificação, o enfoque principal foi discutir propostas metodológicas multiescalares e/ou hierárquicas de classificação e regionalização de AUs, que consideram aspectos físicos e bióticos para caracterizá-las em vários níveis escalares de análise e que permitem uma abordagem de AUs de forma mais integrada.

Para tanto, foi feita uma leitura e avaliação de diversas metodologias de classificação e regionalização sob a abordagem hierárquica, como as da Espanha (Montes *et al.*, 1998; CMA, 2002), Ásia (Finlayson *et al.*, 2002), Austrália e regiões (Aquatic Ecosystems Task Group, 2012; Environment, Land, Water and Planning, 2016; Department of Environment and Science, 2015; 2019), e Argentina (Benzaquen *et al.*, 2017; Kandus; Minotti, 2018).

A partir da leitura e estudo de diferentes tipos de classificação e regionalização, várias ideias emergiram para o desenvolvimento da metodologia de classificação. Neste sentido, esta avaliação serviu para prover ideias e auxiliar na seleção dos parâmetros (ou critérios) e os níveis da classificação proposta.

O último subcapítulo teve como objetivo apresentar as tipologias de AUs existentes no estado e os principais tipos de posição hidrogeomorfológica, fitofisionomias e solos associados às AUs, levantados, em grande parte, durante as pesquisas de mestrado e que podem ser consultados com maiores detalhes em Gomes (2017); Gomes; Magalhães (2017; 2020), servindo, assim como outras literaturas, como um dos subsídios da tese para a classificação e para dialogar com os resultados.

Cabe destacar que a proposta de classificação desenvolvida na presente tese, além de ter sido provida de reflexões sobre as classificações já existentes, também teve influência do próprio estudo de documentos e bases geoespaciais do contexto de Minas Gerais e das experiências em campo. Nesse sentido, o processo construtivo tanto do inventário de AUs, quanto da forma e método da classificação proposta, é um esforço de um desenvolvimento particular e original de classificação e, também, desenvolvido considerando as AUs de Minas Gerais.

3.2 Construção do inventário de AUs

Para a construção da proposta inicial de um inventário de AUs do estado de Minas Gerais, foram pesquisadas e reunidas bases (matriciais e vetoriais) provenientes de diversos bancos de dados geoespaciais governamentais ou de instituições colaborativas responsáveis que desenvolvem mapeamentos em geral, que apresentam atributos definidores de AUs, associadas ou não a suas tipologias. Conforme apresentado no Capítulo 2 (subcapítulo 2.7), as tipologias de AUs que ocorrem no estado são: poças temporárias; nascentes difusas; lagoas transicionais; veredas; e campos de murundus.

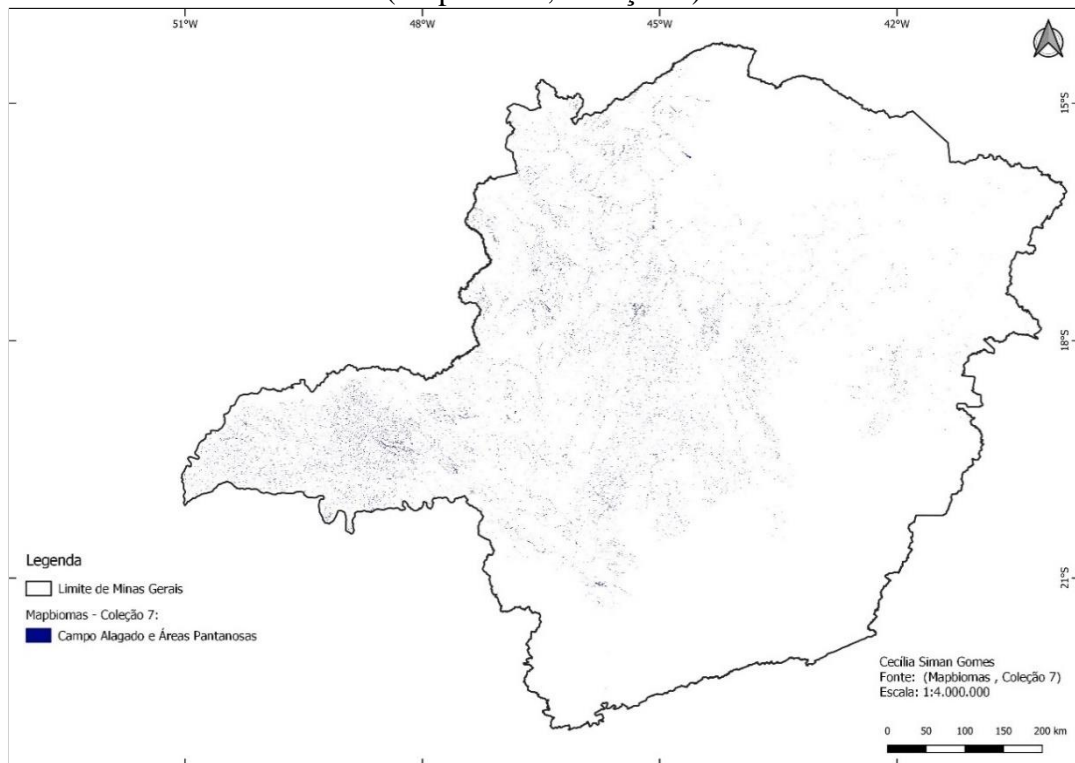
Foram definidos dois grupos para categorização, organização e análise dos dados, a saber: dados que identificam AUs, sem tipologia associada; e dados que identificam as AUs pela tipologia. Estes dois grupos são detalhados a seguir, assim como as operações feitas para sua extração. Ressalta-se que as bases geoespaciais selecionadas foram avaliadas sobre imagens do google Earth Pro e outros produtos geoespaciais em geral, a fim de verificar sua acurácia. As bases selecionadas foram acompanhadas de mapas.

- **Dados que identificam AUs, sem a tipologia associada**

Campo Alagado e Área Pantanosa (Projeto MapBiomias Brasil, Coleção 7, Ano base 2021)

Foram extraídas as áreas classificadas como “Campo Alagado e Área Pantanosa” (*value 11*) da base de dados matricial do mapeamento de Cobertura e Uso da Terra do Brasil do Projeto MapBiomias para Minas Gerais, Coleção 7, Ano base 2021 (Figura 3.1), resolução espacial de 30 metros (Souza *et al.*, 2020), que tem como referência inúmeros mapas e imagens Landsat para treinar algoritmos de classificação do uso e cobertura do solo. Para tanto, foi feito o download da base na plataforma do Mapbiomas e, no Qgis, por meio da calculadora raster, foi extraído o campo “Campo Alagado e Área Pantanosa”, formando uma classe de base de dados com mais de 5 gigas de tamanho e cobrindo uma área de aproximadamente 4.182,31 km². Para avaliar a sua precisão, o resultado foi sobreposto no google Earth Pro, assim como em diversos mapas de insumo e com a rede de drenagem, sendo verificada elevada acurácia.

Figura 3.1– Campo Alagado e Área Pantanosa do mapeamento de Cobertura e Uso da Terra (Mapbiomas, Coleção 7)



Vegetação Inundada – Flooded Vegetation (LandCover, 2020)

Este dado de “Vegetação Inundada” do tipo raster provém do mapa global de cobertura do solo elaborado e disponibilizado pela Esri, derivado de imagens ESA Sentinel-2 com resolução espacial de 10 metros (Karra *et al.*, 2021). Foi feito o download das três cenas que abrangiam o território de Minas Gerais e, por meio da calculadora raster, foi extraído o campo “Flooded Vegetation”. Infelizmente, as três bases geradas se tornaram inviáveis em função do seu tamanho: uma com mais de 15 gigas e as outras duas cada uma com mais de 30 gigas de tamanho, sendo, portanto, descartadas.

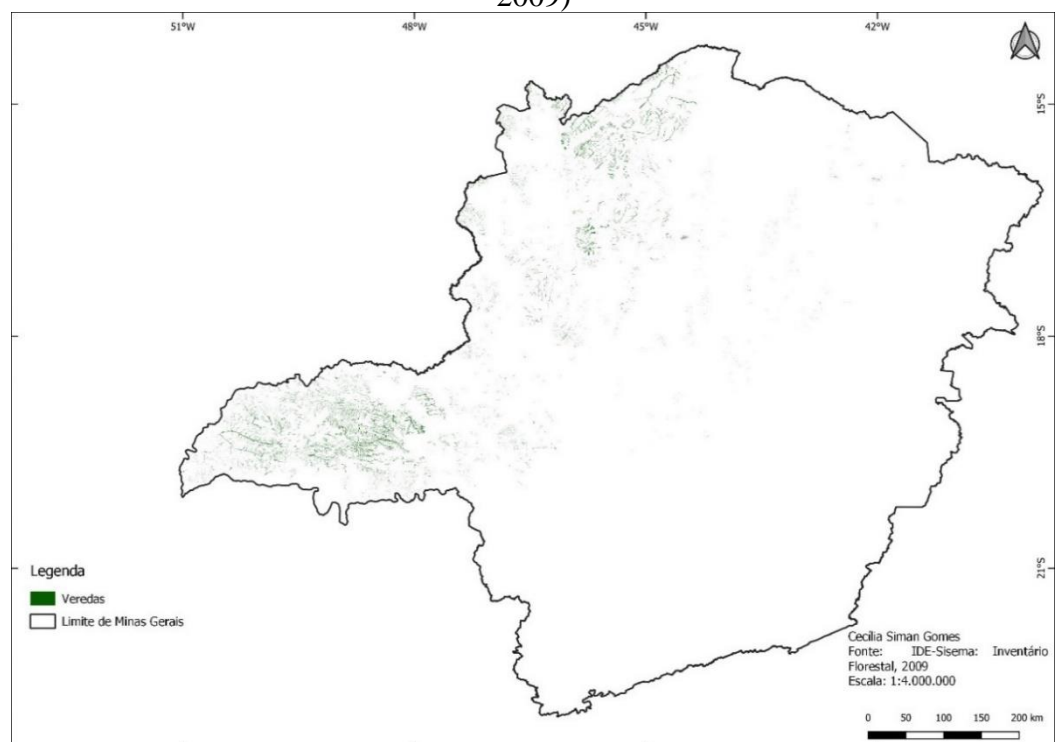
- **Dados que identificam as AUs pela tipologia**

Veredas (Inventário Florestal de Minas Gerais - Scolforo; Carvalho; Oliveira, 2008)

O dado “Veredas” é do tipo vetorial e polígono e provém da extração do atributo veredas da coluna “class_name” do Inventário Florestal de Minas Gerais (Figura 3.2) (Scolforo; Carvalho; 2006; Scolforo; Carvalho; Oliveira, 2008), produzido entre 2005 e 2007 pela Universidade Federal de Lavras (UFLA) em parceria com a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - Semad e o Instituto Estadual de Florestas – IEF. Faz parte de um conjunto de publicações que detalham a situação da cobertura vegetal nativa do Estado, bem como das florestas de produção. Os dados foram produzidos na escala de 1:60.000, e com resolução espacial de 30 metros a partir do conjunto de imagens Landsat 5.

O dado do inventário é disponibilizado na plataforma IDE-Sisema (Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Minas Gerais) e no Instituto Pristino, sendo que a IEDE (Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais) disponibiliza separadamente o shapefile com a classe veredas do referido inventário. A classe de “Veredas” totaliza uma área de 4.060,33 Km².

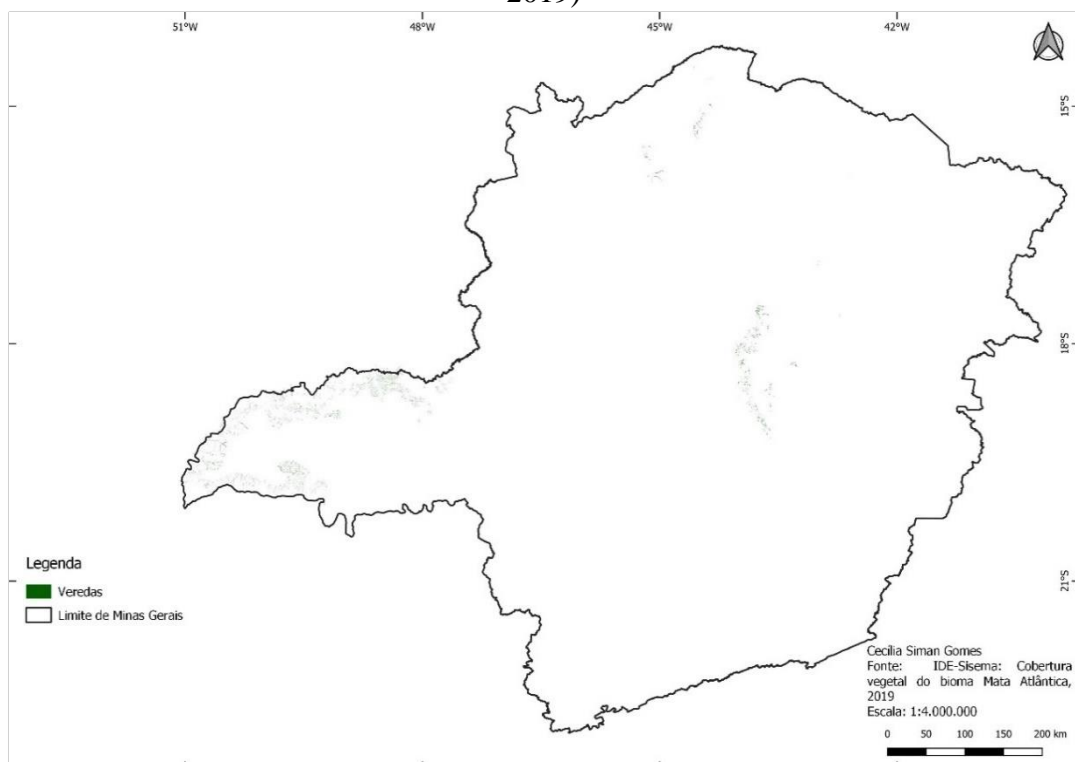
Figura 3.2 – Veredas do Inventário Florestal de Minas Gerais (Scolforo; Carvalho;Oliveira, 2009)



Veredas (Cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica - IEF, 2019)

Este dado de “Veredas” provém da base de dados vetorial do tipo polígono da Cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica, disponibilizada na plataforma IDE-Sisema e em três lotes (três camadas vetoriais), em função do seu tamanho. Foi elaborada pela Geoambiente em parceria com o IEF e publicada em 2019 por este Instituto. O mapeamento incorpora a área do limite legal do bioma estabelecido pela Lei Federal 11.428/2006 da Mata Atlântica, acrescido de um buffer de cinco quilômetros, considerando as áreas de transição para os outros biomas. Possui resolução espacial de 5 metros (imagens RapidEye) compatível com a escala 1:10.000, extensão temporal entre 2010 e 2014 e com visitas de campo entre. Após o download das camadas na IDE-Sisema, foram extraídas as feições dos atributos classificados como veredas (Figura 3.3), presentes no nível 2 da classificação do mapeamento, totalizando uma área de 615,63 Km². Posteriormente, foi feita uma operação de *merge* das três camadas filtradas e, em sequência, um novo *merge* com a camada de veredas proveniente do inventário florestal (Scolforo; Carvalho; 2009).

Figura 3.3 – Veredas do mapeamento de Cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica (IEF, 2019)



Veredas (Drummond *et al.*, 2005)

Também foi analisada a base de dados vetorial de veredas elaborada por Drummond *et al.* (2005) e disponibilizada pelo Instituto Pristino. Contudo, esta base de dados não foi utilizada, pois é do tipo linha que coincide com cursos d'água.

Lago/lagoa, meandro abandonado e seleção e reclassificação de feições sem classe (Massas D'água, 2019)

A base de dados denominada “Massa D'água” é vetorial do tipo polígono e foi elaborada pela ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico), formando um componente da sua Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO). Compreende as massas d'água existentes no território nacional, tais como lagos, lagoas, açudes, represas, reservatórios e trechos de rios representados como polígonos, consistidas em 2019 pela ANA⁴.

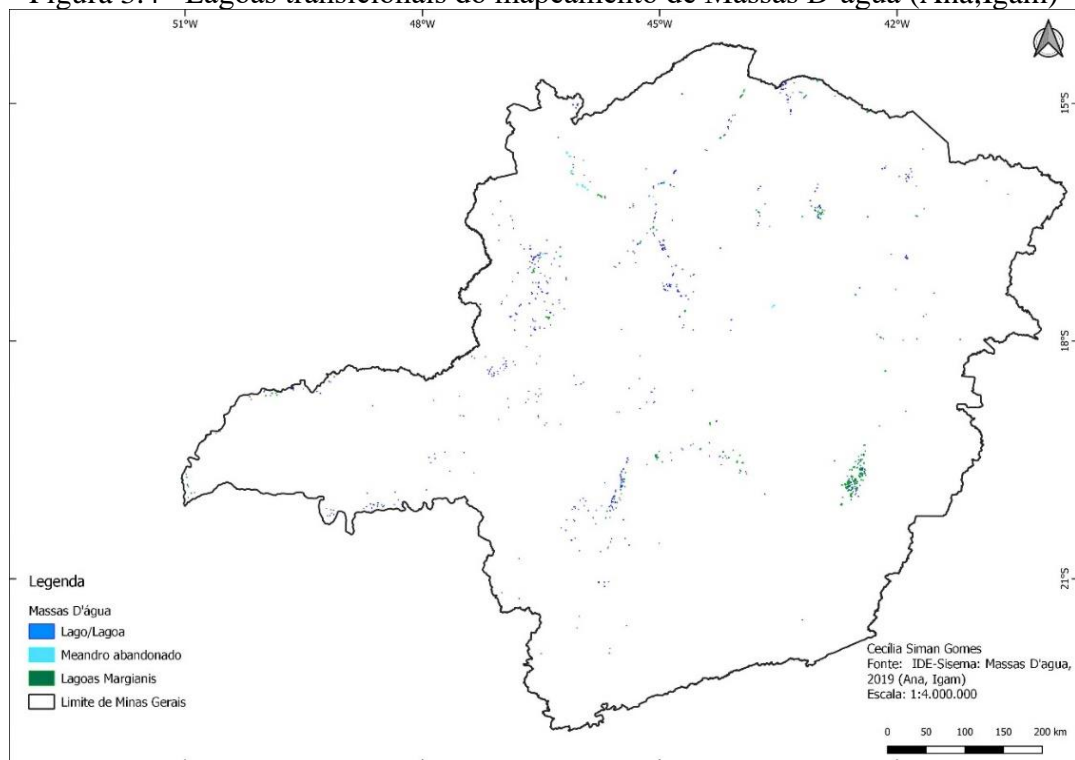
A base de dados foi extraída da plataforma IDE-Sisema, com seu recorte para Minas Gerais pelo IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas). Após o *download*, foram selecionadas as classes lago/lagoa e meandro abandonado na coluna de atributos “detipomda” (tipo da massa d'água). Em sequência, foram eliminadas as feições classificadas como artificiais na coluna de atributos “detipomass” (tipo de massa d'água); na coluna “nmoriginal” (nome original da massa d'água) foram excluídas aquelas com nome de córrego ou represas; e na coluna “nmgenerico” (nome genérico da massa d'água) foram excluídas aquelas classificadas como rio e represa. As características de regime hídrico (temporário ou permanente), na coluna “regime”, foram mantidas, quando existentes. Para avaliar se configurava como uma AU, o resultado foi avaliado sobre imagens de satélite e produtos derivados de NDVI (Índice de Umidade por Diferença Normalizada) e NDWI (Índice de Água por Diferença Normalizada) gerados para imagens Landsat.

Ao todo, foram selecionadas 625 feições, sendo 599 classificadas como lago/lagoa e 26 como meandros abandonados, somando 113,95 km². Para aqueles dados que não tinham classificação na coluna “detipomda” foi criado um arquivo *shapefile*, foram aplicados os mesmos filtros acima e eliminados aqueles campos nulos nas colunas “nmoriginal” e

⁴ A ANA apresenta a metodologia da base de Massas D'água 2019 na Nota Técnica nº 52/2020/SPR, disponibilizada no catálogo de metadados: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/7d054e5a-8cc9-403c-9f1a-085fd933610c>.

“nmgenerico”. Esta coluna apresentou inicialmente 192 feições e foram analisadas caso a caso para nova rodada de eliminação e ou de classificação, quando visível por imagem (Landsat e google satélite). Com base nessa análise, foram ainda excluídas 34 feições, resultando em 158 feições de AUs (90,00 km²). Deste total, 59 feições estavam associadas ao complexo de lagoas da bacia do rio Doce, sendo apenas 10 inseridas no Parque Estadual do Rio Doce. As 59 lagoas foram nomeadas como lagoas transicionais e do subtipo lagoas marginais. A Figura 3.4 mostra a localização dos subtipos de lagoas transicionais: lagoas marginais, meandros abandonados e lago/lagoa. Ao todo, foram classificadas 783 feições de lagoas, com uma área total de 203,94 km².

Figura 3.4– Lagoas transicionais do mapeamento de Massas D’água (Ana,Igam)



O processo de construção do inventário, contou, por tanto, com a seleção de dados provenientes de quatro bases espaciais, cujo detalhamento é apresentado no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Bases selecionadas para a construção do inventário de AUs

Fonte	Atributos selecionados	Coluna	Área em km ²
Mapbiomas Coleção 7	Campo Alagado e Áreas Pantanosas	Value 11	4.182,31
Inventario Florestal	Veredas	class_name	4.060,33
Cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica	Veredas	nivel_2	615,63
Massas D'água	Lagoas transitórias (Massas D'água filtradas*)	dediponda	203,94
Total inicial (com sobreposições)			9.062,22

*O processo de filtragem e seleção das feições foram descritos acima.

A partir desta seleção, selecionou-se a base do Mapbiomas como ponto de partida para construção do inventário, por apresentar a maior área e por ser a única base sem uma tipologia de AU associada. A partir dessa base, foram feitas as seguintes operações e processamento:

- **“Campo Alagado e Áreas Pantanosas” e “Massas D'água filtradas”**

- Transformação de raster para vetor dos valores *correspondentes* à “Campo Alagado e Áreas Pantanosas” do Mapbiomas > *Ferramenta Raster pixels to polygons* > 213.983 mil feições.

- Criação de duas colunas NOME e TIPO_1 na base vetorial para inserir os nomes das tipologias principais (NOME) e da subtipologia (TIPO_1) e um campo denominado fonte para operações posteriores e rastreamento da informação.

- Interseção da base vetorial “Campo Alagado e Áreas Pantanosas” com as feições de 599 feições de “lago/lagoa” filtradas e selecionadas da base Massas D'água, por meio da ferramenta *Select by location > intersect*. Onde houve interseção, foi denominado de “lago/lagoa” no novo campo TIPO_1 e “Mapbiomas e Massa d'água” no campo fonte.

- Diferença entre as 599 feições de “lago/lagoa” e a base vetorial “Campo Alagado e Áreas Pantanosas”, por meio da ferramenta *Vector > Difference* > O resultado da seleção foi inserido na base vetorial “Campo Alagado e Áreas Pantanosas”, sendo denominado de “lago/lagoa” no campo TIPO_1 e ‘Diferença entre Massa d'água e Mapbiomas’.

- A partir da operação Disjunto entre “lago/lagoa” e “Campo Alagado e Áreas Pantanosas”, por meio da ferramenta *Select by location > disjoint*, as feições foram copiadas e coladas na base “Campo Alagado e Áreas Pantanosas” e denominadas de “lago/lagoa” no campo TIPO_1 e “Massa d'água Disjoint”.

- Operação de merge das feições selecionadas no campo fonte denominadas de “Mapbiomas e Massa d’água” com “Diferença entre Massa d’água e Mapbiomas”, por meio da ferramenta *Merge Select Features*, mantendo a denominação de “Mapbiomas e Massa d’água”. Após esta operação aplicou-se o procedimento de dividir em partes individuais as feições agregadas, com o objetivo de manter as feições que se tocavam como uma única feição, expandindo assim, a área de delimitação das feições das tipologias de lago/lagoa e separar aquelas que não se tocavam como feições separadas. O procedimento foi feito por meio da ferramenta *Multiparts to Single Parts*. Ressalta-se que foi avaliado um ganho obtido com a expansão das áreas das tipologias, trazendo um mapeamento mais acurado dos limites das feições identificadas como “lago/lagoa” no TIPO_1.

- Denominação de ‘Lagoas transicionais’ no campo NOME das feições denominadas de “lago/lagoa” no TIPO_1.

- Os mesmos procedimentos descritos acima foram aplicados para as feições denominadas de ‘meandros abandonados’ selecionados da base de Massas d’água, onde o TIPO_1 foi definido como ‘meandros abandonados’ e NOME como “lagoas transicionais”. As “lagoas transicionais” que foram definidas do Massas d’água, porém sem TIPO_1 vinculado, foram denominadas de “lagoas transicionais” no campo NOME a partir do mesmo procedimento que o anterior.

- **Base resultante do primeiro cruzamento (“Campo Alagado e Áreas Pantanosas” e “Massas D’água filtradas”), denominada aqui de “Inventário_1”, com Veredas da Cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica**

Os mesmos procedimentos descritos acima foram aplicados, sendo que:

- Onde há interseção de “Veredas” com “Campo Alagado e Áreas Pantanosas” da base Inventário_1, foi definido como “Veredas” no campo NOME e escrito “Veredas Mata Atlântica e Mapbiomas” no campo fonte. Não houve interseção de “Lagoas transicionais” com “Veredas” da base da cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica.

- A diferença da base de “Veredas” e Inventário_1 foi copiada e colada na base Inventário_1 e no campo NOME foi escrito “Veredas” e no campo fonte “Diferença Veredas Mata Atlântica e Mapbiomas”.

- Processo de disjunto entre a base de Veredas e Inventário_1. As feições selecionadas foram copiadas para a base Inventário_1 e denominadas de Veredas no campo NOME e "Veredas Mata Atlântica" no campo fonte.

- Processo de merge entre os atributos "Veredas Mata Atlântica e Mapbiomas" e "Diferença Veredas Mata Atlântica e Mapbiomas" do campo fonte e operação parte simples para unir as feições que se tocavam no processo.

- Esta base foi definida aqui como Inventario_2 para facilitar o processo de entendimento das próximas etapas executadas.

- **Base resultante do primeiro e segundo cruzamento, denominada aqui de "Inventário_2, com Veredas do Inventário Florestal"**

- Onde há interseção de "Veredas" da base do Inventário Florestal com "Campo Alagado e Áreas Pantanosas" sem "lagoas transicionais" no campo NOME da base Inventário_2, foi definido como "Veredas" no campo NOME e "Veredas Inventário e Mapbiomas" no campo fonte. Onde houve coincidência onde já estava escrito no campo NOME "Veredas", foi escrito na fonte "Mapbiomas, Veredas Mata Atlântica e Veredas Inventário";

- A partir da interseção de "Veredas" da base do Inventário Florestal com "Lagoas transicionais" do Inventário_2, foi escrito no campo NOME "Veredas com lagoas transicionais" e como fonte "MapBiomas, Massas D'água e Veredas Inventário".

- As feições disjuntas de "Veredas" com a base Inventário_2 foram copiadas e coladas nesta base e escrito "Veredas" em NOME e "Veredas Inventário" em fonte.

- Foi feito um merge dos campos "Mapbiomas e Veredas Inventário" com "Diferença Veredas Inventario e Mapbiomas" e, em sequência, aplicou-se a ferramenta de *single parts*.

- A base resultante apresentou o equivalente à 8.133 km². As informações com a distribuição por tipologia são apresentadas no Quadro 3.2.

Neste sentido, com os cruzamentos e redefinição das tipologias conforme apresentado, houve uma proposta de ampliação de 547,24 Km² do mapeamento de veredas no estado. Além disso, houve uma ampliação das lagoas transicionais, com mais de 28,32 Km² (visto a diferença entre os valores iniciais e finais e uma parte acrescida nas veredas lagoas transicionais. Dado que apenas a tipologia de veredas apresenta um mapeamento expressivo no estado e que este mapeamento não considera a sua associação com lagoas transicionais, as discussões nos resultados da classificação consideraram, quando aplicável, a ocorrência das veredas. Além

disso, considerando que os subtipos de AUs mapeados pelo estado apresentam áreas inexpressivas para o objetivo do trabalho, a base foi simplificada com a operação de dissolve com a coluna NOME, para, assim, manter-se as tipologias para utilizá-las, quando aplicável, nas discussões dos resultados.

Quadro 3.2 – Quadro da base do inventário de AUs e da classificação das tipologias identificadas

Áreas Úmidas	Tipologia	km ²
AUs	Veredas com Lagoas transitacionais	60,83
	Lagoas transitacionais	232,26
	Sem tipologia identificada	2.678,31
	Veredas	5.162,37
Total		8.133,76

Ressalta-se que os trabalhos de campo realizados durante o doutorado, especificado no subcapítulo 3.5, as visitas de campo realizadas em trabalhos anteriores, as leituras técnica-científicas, a avaliação da base do inventário sobre imagens, os produtos cartográficos obtidos e gerados, assim como as experiências colhidas desde o mestrado, foram de suma importância para avaliar os resultados que foram sendo obtidos ao longo de todo o processo de construção da proposta do inventário e para a classificação das AUs.

3.3 Construção da classificação biohidrogeomorfológica

3.3.1 Estrutura e aspectos definidores

A definição dos parâmetros e a delimitação espacial das suas unidades para a classificação biohidrogeomorfológica das AUs partiu da premissa de estruturar critérios geoespaciais de forma hierarquizada, que analisados de forma conjunta ou individual, fornecem elementos que caracterizam e/ou determinam as AUs, em mais de uma escala de análise.

Para isso, atuou-se, primeiramente, em duas frentes: pesquisa bibliográfica e pesquisa por dados geoespaciais que abarcam o território de Minas Gerais com temáticas e/ou atributos que envolvem variáveis da proposta de classificação, a saber: geologia, hidrogeologia, geomorfologia, pedologia, climatologia, biomas, ecorregiões, vegetação e uso e cobertura do solo.

Ressalta-se que as linhas de pesquisa bibliográfica e de pesquisa de dados espaciais se retroalimentaram, pois são interdependentes e complementares, já que as referências teóricas

sobre Minas Gerais levaram à descoberta de dados espaciais e/ou mapas temáticos e vice-versa. Estas linhas se desdobraram para atingir os propósitos da pesquisa: a caracterização biohidrogeomorfológica do território e a classificação das AUs.

Para o levantamento bibliográfico sobre a fisiografia do estado foram consultados documentos como de Machado, 2010; Drummond *et al.*, 2009; 2005; IBGE, 2009; Ribeiro; Walter, 2008; Scolforo; Carvalho, 2006; além de diversas publicações científicas, teses e dissertações. Este material foi analisado para identificar as características fisiográficas de diversos tipos de AUs de Minas Gerais, em escala regional e local, e levantar algumas de suas funções e impactos atuais descritos em diversas pesquisas científicas. Esta pesquisa, juntamente com o marco teórico referencial, auxiliou na identificação de variáveis para estruturar os níveis da classificação e definir a finalidade e as características de cada nível, assim como fornecer informações para o levantamento das potencialidades de proteção das AUs.

Em relação à pesquisa de dados espaciais, o objetivo inicial foi levantar e reunir uma grande quantidade de dados georreferenciados (e seus respectivos metadados e dicionário de dados, quando existentes) para avaliar seus atributos, resolução espacial, fonte de origem, ano de publicação, sistemas de coordenadas e sua espacialização, sobretudo, no QGIS. Para tanto, buscou-se arquivos vetoriais e/ou matriciais dispostos em inúmeros sites de organismos e instituições oficiais, tais como IDE-SISEMA, IEDE, MMA, Serviço Geológico do Brasil (CPRM), IBGE, ANA, INMET, WWF, Instituto Pristino e do Projeto MapBiomass. Além disso, quando a base estava vinculada a algum estudo, este também foi selecionado para avaliação.

Após a planificação dos dados, verificou-se que um mesmo tema apresentava diversos dados espaciais, elaborados pela mesma instituição ou não. Além disso, foi visto que as temáticas interdisciplinares, como de Geodiversidade, apresentam atributos de diversas temáticas, como geologia, geomorfologia e hidrogeologia, e cuja origem é variada, sendo provenientes tanto de outras camadas, como gerados especificamente para determinado tema. Ainda, diversos destes atributos foram utilizados para gerar novas unidades/informações espaciais. Assim, para cada tema levantado, foram identificados todos os atributos do seu respectivo banco alfanumérico e sua espacialização.

Neste processo também foi averiguado que diversos mapeamentos não cobriam todo o estado, especialmente quando apresentavam escalas maiores, como foi o caso de diversos dados de geologia, pedologia, cobertura do solo e vegetação. Para dados climatológicos e hidroclimatológicos, a maioria das informações estava representada na forma de planilhas e gráficos.

A maior parte desse trabalho de verificação dos dados espaciais foi feito nos programas Qgis e Excel. Além disso, foi pesquisado se haviam documentos, manuais, relatórios etc., com informações mais precisas sobre o ano e a fonte de publicação, assim como os objetivos, os conceitos e a metodologia envolvidos na produção dos dados e em mapas correlativos. Esses documentos alimentaram, inclusive, a pesquisa bibliográfica e auxiliaram no levantamento e análise inicial das informações que poderiam agregar valor à classificação das AUs do estado.

Após a análise dos dados coletados, os atributos dos dados espaciais que tratavam da mesma temática, mas que eram provenientes de diferentes fontes, foram reunidos e comparados entre si, a fim de se identificar se as bases eram iguais ou não. Quando distintas, foram feitas análises espaciais comparativas, com o objetivo de identificar as vantagens e desvantagens das informações disponíveis em cada mapeamento. Nesse processo, verificou-se que a escala de resolução dos mapeamentos é variável e os dados mais recentes e/ou com as maiores escalas nem sempre são aqueles que melhor representam a realidade. Isto foi examinado através de análises comparativas entre os dados ou atributos espaciais com os pontos de campo e pesquisas desenvolvidas em áreas úmidas do estado.

Importante destacar que a construção da proposta de classificação constituiu-se como um grande desafio ao longo de todo processo, principalmente em função da extensão territorial de Minas Gerais: grande volume de dados com informações sobre temáticas variadas, dificultando a análise e seleção de atributos; dados produzidos para escalas diferentes, dificultando ou impossibilitando seu cruzamento; nem sempre dados com escalas mais detalhadas apresentavam um maior refino; nem sempre a base abarcava todo o limite de Minas Gerais, consistindo em mapeamentos específicos para determinada região; diversas bases muito pesadas, ultrapassando gigas de tamanho, dificultando ou inviabilizando o seu uso em função do processamento computacional necessário; muitos erros topológicos encontrados a partir do cruzamento de camadas geoespaciais provenientes de fontes diversas, inviabilizando tentativas e seguir com propostas construídas; inviabilidade de trabalhar com dados raster nos níveis superiores em função da necessidade de rastrear as informações nas colunas de atributos com sua geometria. Além disso, muitas vezes, apesar de uma coluna de atributos não compor exatamente um critério da classificação, sua informação e geometria possibilitava a avaliação e validação da proposta, auxiliava nas correlações entre os fatores e níveis espaciais e possibilitava a sua manutenção no banco de dados, seja para consulta, seja para compor novos níveis de classificação.

Ao longo do processo, verificou-se que a tabela de atributos proveniente do estudo "Geodiversidade do Estado de Minas Gerais", elaborado pela CPRM (Machado, 2010), era aquela que mais apresentava atributos que tinham relação com as variáveis necessárias para classificação das AUs. Uma proposta inicial de integração de variáveis foi desenvolvida com informações unicamente deste banco, mas sua abordagem ficou restringida a critérios geológicos e geomorfológicos, não abordando outros aspectos da abordagem biohidrogeomorfológica pretendida. Por outro lado, foram desenvolvidas duas outras propostas cruzando-se informações desta camada com outras camadas, mas milhares de erros topológicos foram sendo criados. Além disso, a dificuldade de compatibilizar as escalas e/ou adequar manualmente o limite de feições de determinadas bases, inviabilizou seguir com estas propostas. Nesse sentido, destaca-se que durante o processo de construção da proposta de classificação diversos caminhos foram percorridos antes de se chegar no desenvolvimento e elaboração da proposta da presente tese.

Cabe destacar que a partir da seleção da base de dados geoespacial de Machado (2010) como ponto de partida para a classificação geoespacial, estabeleceu-se que era necessário trazer outros critérios para sua tabela de atributos, mas que não fossem a partir do cruzamento com outras camadas geoespaciais, já que este caminho não havia se apresentado viável. Neste sentido, para trazer as informações necessárias para a tabela de atributos do dados geoespacial do Geodiversidade, mas sem a união e/ou intersecção com outras camadas de informação e evitando-se ao máximo cortar as feições para manter o banco o mais fidedigno da fonte possível, foram adotados procedimentos por meio da intersecção da ferramenta "*Select by location*" com outras bases geoespaciais. Ressalta-se que cada seleção deste processamento foi avaliada e refinada qualitativamente para que os limites entre as bases pudessem ser os mais próximos possíveis.

Ressalta-se que no procedimento por meio da ferramenta "*Select by location*" foram agrupadas informações da própria base de Machado (2010) para formar ou embasar determinadas variáveis. O processo de definição seleção e/ou elaboração do atributo de cada variável de entrada são descritos nos subcapítulos seguintes, mas para facilitar a compreensão do processo de construção da classificação, com seu níveis, parâmetros e unidades de entrada (aqui, o termo unidade refere-se no sentido geral, podendo ser domínio, faixa etc.), segue uma breve contextualização da estrutura geral da classificação.

Foram estabelecidos **três níveis de escala espacial de análise (Nível 1 – N1, Nível 2 – N2 e Nível 3- N3)**, onde o nível superior agrupa informações e o nível inferior fornece

informações mais detalhadas e/ou uma resposta a informação do nível superior. Os parâmetros para compor os níveis contém elementos que refletem de forma direta ou indireta determinados aspectos da biologia, hidrologia e geomorfologia de Minas Gerais que, por sua vez, são essenciais para coletar informações sobre a formação e/ou características das AUs, em diferentes escalas de análise, mas que se correlacionam, em maior ou menor grau, dependendo do parâmetro e/ou da sua unidade.

Nível 1 – Escala Regional: os parâmetros são formados por grandes conjuntos que tem aspectos semelhantes entre si. São formados por domínios geomorfológicos, que compartilham características em comuns, principalmente em termos de altitude, declividade e bacia hidrográfica; sistemas aquíferos, que apresentam características relativamente semelhantes em termos de rochas e forma de interação da água subsuperficial com a superfície; grandes faixas de pluviosidade, que influenciam nos grandes regimes climáticos do estado; e os biomas, que correspondem a grandes áreas formadas por um conjunto de vida vegetal e animal semelhantes.

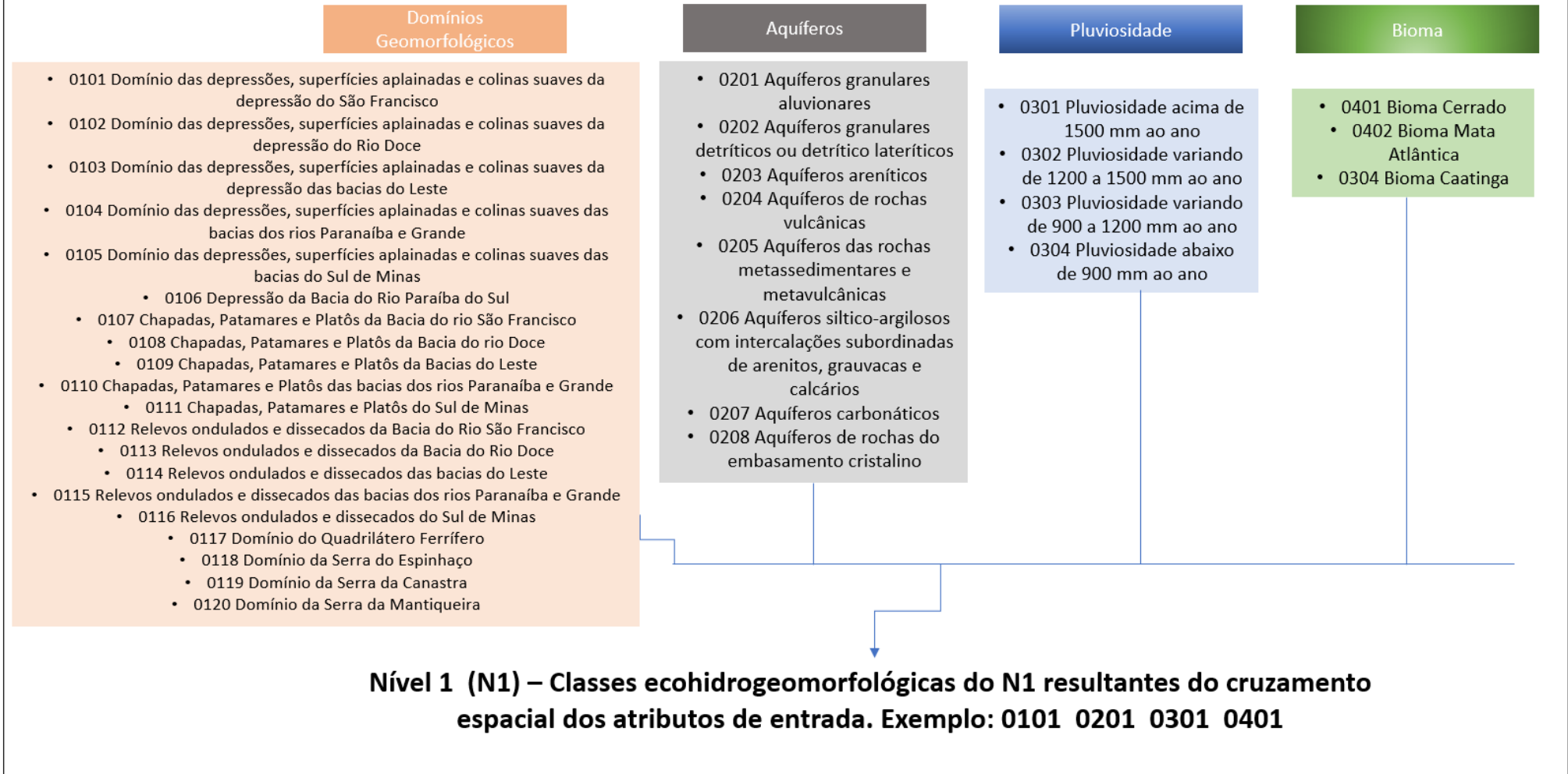
Nível 2 – Sub-regional: os parâmetros são formados por unidades que associam-se com o nível superior ou que detalham características do nível superior; são formados pelas unidades geomorfológicas, definidas por um agrupamento predominante de padrões de relevo, que por sua vez, são típicos de determinados domínios; os tipos de aquíferos, com características mais específicas das rochas e da dinâmica da água subterrânea, detalhando informações do sistema aquífero de determinado local; o déficit hídrico do solo, como uma resposta da camada superficial em relação à retenção de água; e as ecorregiões, que trazem as áreas de maior probabilidade Mata Seca e/ou Campos Rupestres nos biomas. Salienta-se, inclusive, que há autores que consideram a Mata Seca e os Campos Rupestres como biomas específicos, tendo em vista suas características particulares (que seriam suficientes para considerá-las como biomas a parte) e por ocorrerem em diferentes biomas.

Nível 3 – Contexto local: posição da AU no relevo, a altimetria, declividade, a forma do terreno, com a direção preferencial dos fluxos de água onde a AU se situa, proximidade com curso d'água e a fitofisionomia.

O N1 e N2, quando suas respectivas variáveis são combinadas, formam classes biohidrogeomorfológicas (classes N1 e classes N2). Se os dois níveis são combinados, formam as classes N1N2. Os parâmetros e seus critérios de entrada recebem uma codificação numérica, onde cada parte da codificação significa um atributo do parâmetro de entrada. A codificação é essencial tendo em vista a quantidade de variáveis e das classes resultantes dos cruzamentos.

A Figura 3.5 é um esboço da estrutura do **Nível 1 -N1** com os nomes dos parâmetros de entrada e seus atributos e que, quando combinados, resultam em classes hidrogeomorfológicas do N1. Assim, verifica-se que: no Nível 1 a Geomorfologia é representada pelos Domínios Geomorfológicos; a Hidrologia é representada pelos Aquíferos e a Pluviosidade; e a Biologia pelos Biomas; cada um destes parâmetros apresenta um determinado número de variáveis, onde cada variável apresenta uma codificação e um nome específico.

Figura 3.5 - Estrutura do Nível 1 da Classificação de AUs

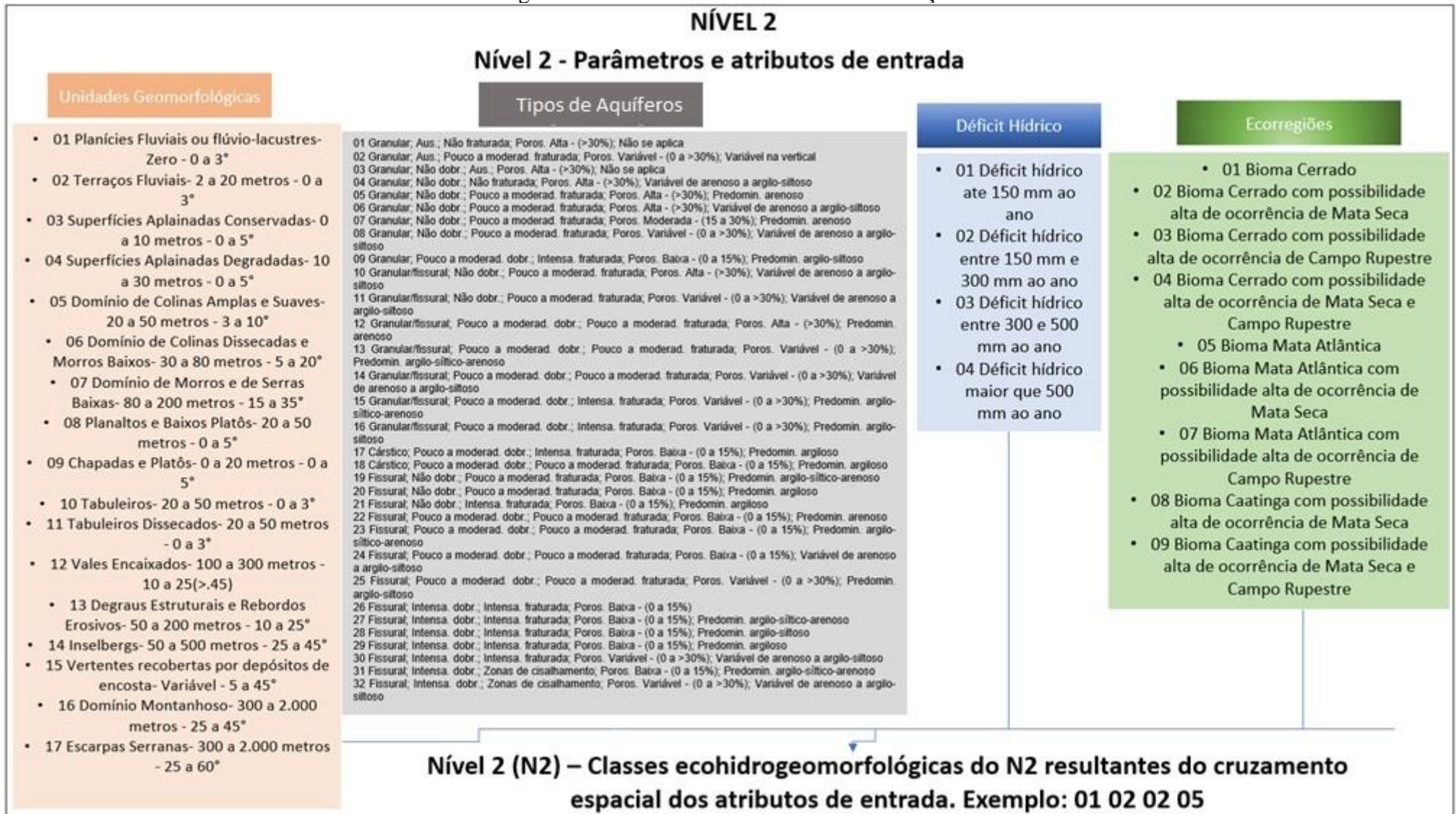
NÍVEL 1 (NÍVEL SUPERIOR)**Nível 1 - Parâmetros e atributos de entrada**

Ainda em relação à Figura 3.5, observa-se que as classes do **Nível 1** apresentam 4 números de codificação, sendo que os números iniciais servem para decodificar os parâmetros, sendo 01 são para a Geomorfologia; 02 são para os Aquíferos; 03 para a Pluviosidade; e 04 para os Biomas. Os dois números subsequentes são para identificar cada uma das classes de cada parâmetro. Como pode-se ver os Domínios Geomorfológicos apresentam 20 classes, que variam de 0101 a 0120. Os Aquíferos possuem 8 classes e variam de 0201 a 0208. A Pluviosidade e os Biomas apresentam quatro classes, que variam, respectivamente de 0301 a 0304 e 0401 a 0404. Ainda, pode-se ver um exemplo de resultado do Nível 1, que recebe uma codificação de 16 números, ou seja, a combinação espacial resultante do cruzamento. Para fins didáticos o cruzamento foi denominado de N1.

Em relação ao **Nível 2 – N2**, a Figura 3.6 esboça a sua estrutura, com os nomes dos parâmetros de entrada e os seus atributos, cujo cruzamento resulta no Nível 2 (ou para fins didáticos N2), formando classes biohidrogeomorfológicas do N2. Estas classes apresentam informações mais específicas que as classes superiores do Nível N1.

O Nível 2 tem a Geomorfologia representada pelas Unidades Geomorfológicas; a Hidrologia e Hidrogeologia representada pelos Tipos de Aquíferos e o Déficit Hídrico no solo; e a Biologia pelas Ecorregiões (os biomas do Nível 1 apresentam classes com alta probabilidade de ocorrência de Mata Seca e /ou Campo Rupestre) (Figura 3.6).

Figura 3.6 - Estrutura do Nível 2 da Classificação



Na Figura 3.6, observa-se que cada um destes parâmetros apresenta um determinado número de classes, onde cada classe apresenta uma codificação de dois números e um nome específico. Quando determinado parâmetro for analisado nos dois níveis escalares (Níveis 1 e 2), a combinação entre as duas variáveis virá separada de dois pontos, indicando a primeira classe de quatro dígitos (Nível 1) e a segunda classe de dois dígitos (Nível 2), demonstrando que a classe do Nível 2 está contida na classe do Nível 1 e qual é sua especificidade. Salienta-se que determinadas variáveis dos parâmetros do Nível 2 podem se repetir para caracterizar mais de uma variável do parâmetro do nível superior, pois aquela característica está presente em mais de um contexto de uma variável do nível superior.

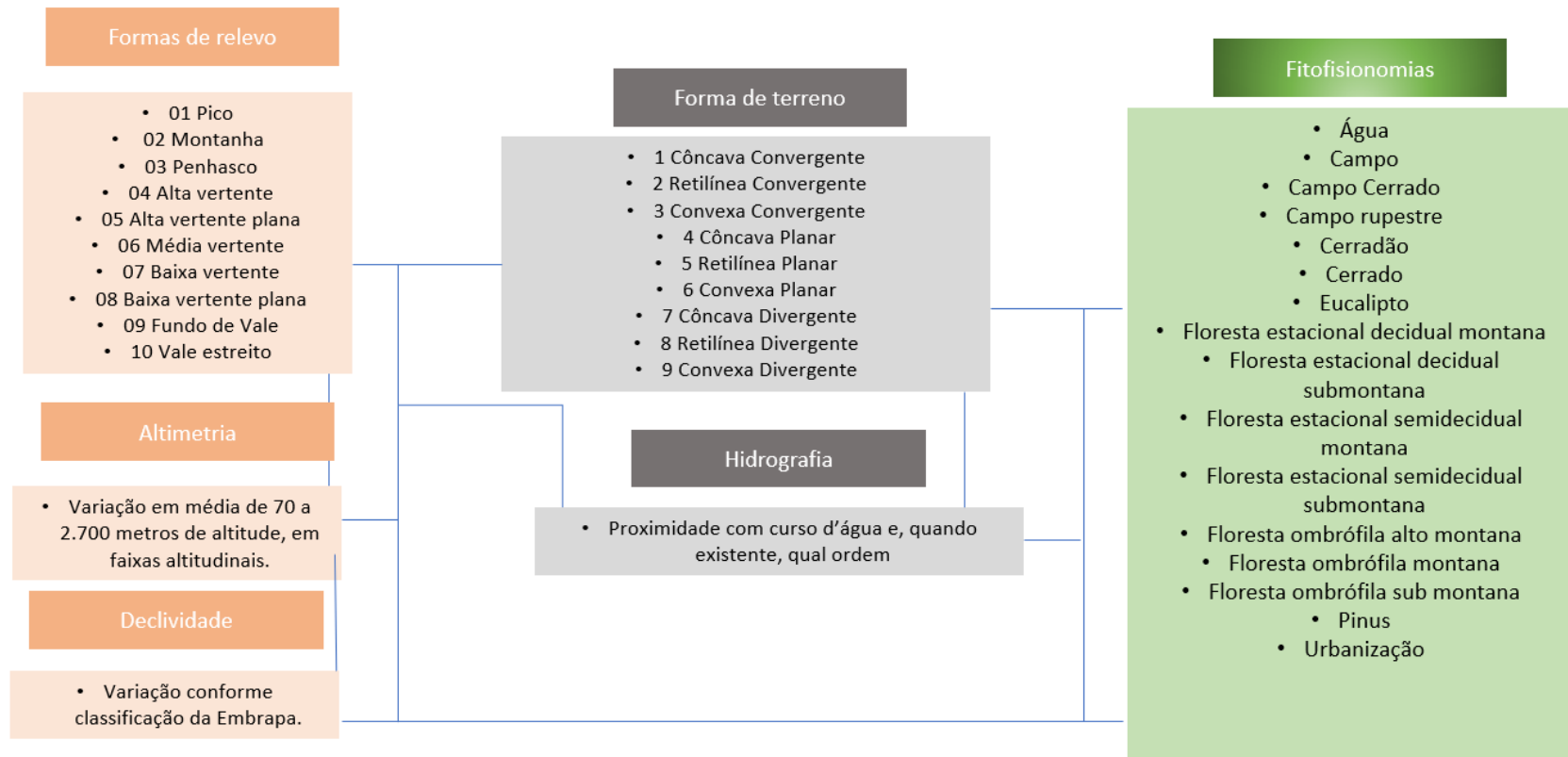
A classificação multiescalar das AUs nos parâmetros do Nível 1 e Nível 2, quando associados, permite caracterizar as AUs no seu contexto de ocorrência e fornece indicativos de aspectos que as determinam, dos mecanismos de funcionamento e funções ambientais.

O **Nível 3** é o nível do contexto local sob o olhar também da Biohidrogeomorfologia e auxilia na caracterização das AUs e no levantamento e refinamento dos mecanismos de funcionamento e possíveis funções ambientais. A Geomorfologia é representada pela posição no relevo, forma de terreno, altimetria e declividade; a Hidrologia é representada também pelas formas de terreno, através da direção do tipo de escoamento de água (convergente, divergente e/ou planar) e, quando existente, a proximidade com corpos d'água e sua ordem; e a Biologia pelas fitofisionomias, ou quando foram substituídas por um uso. A Figura 3.7 apresenta os parâmetros e suas variáveis de classificação.

Figura 3.7 - Estrutura do Nível 3 da Classificação

NÍVEL 3

Parâmetros e atributos das variáveis



Conforme pode ser observado na Figura 3.7, **o Nível 3 foi formado sem o cruzamento de suas variáveis**, pois considerou-se que a classificação da AU neste nível deve passar primeiro por uma análise de imagens de satélite e/ou campo antes de identificar qual é a sua classe prioritária quando intercepta determinado parâmetro. Tendo em vista que são arquivos raster e que cada polígono ou área de AU fragmenta-se excessivamente, deve-se buscar aquela classe do parâmetro de intersecção que mais caracteriza aquela AU no contexto local, já que o objetivo é identificar a classe prioritária de enquadramento da AU. Isto vale, sobretudo, para os critérios de formas de relevo e de terreno, que apresentam informações específicas de posição (forma de relevo) e forma da vertente, com direção de fluxo de água (forma de terreno). Por fim, ainda cabe destacar a necessidade de avaliar a proximidade da AU com corpos d'água e, quando próxima, a ordem deste canal deve ser identificada a fim de levantar a função hidrogeomorfológica predominante daquela AU no contexto de inserção.

Considerando o exposto, a seguir é detalhado como foi o processo e os insumos utilizados para a construção das unidades dos parâmetros. Tendo em vista a relação direta entre os Níveis 1 e 2 (nível regional e sub-regional), conforme apresentado, estes foram apresentados no mesmo subitem (3.3.2). Já a seleção dos parâmetros do Nível 3 foi discutida no item subsequente (3.3.3) por ser uma classificação na escala do contexto local.

Cabe destacar que os **trabalhos de campo** realizados tanto durante o doutorado como em anos anteriores, foram de extrema importância não somente para a avaliação do inventário, mas também para calibrar as variáveis, testar e validar a classificação, assim como trazer alguns modelos ilustrativos da classificação biohidrogeomorfológica das AUs nos multiníveis escalares. Nas visitas de campo, foram identificados diferentes tipos de AUs e que foram avaliados em relação às bases geoespaciais selecionadas, estruturação dos níveis, parâmetros, suas unidades e à formação das classes biohidrogeomorfológicas.

3.3.2 Níveis 1 e 2

3.3.2.1 Formação do parâmetro Geomorfológico

Para a formação dos domínios geomorfológicos do Nível 1 foram utilizados os seguintes insumos: o Modelo de Elevação Digital (MDE), a inclinação a classificação geomorfológica do terreno de Minas Gerais e as formas de relevo proposta por Machado (2010). O MDE teve como base o sistema de satélite de radar SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), com uma discretização espacial de 30 m, disponibilizado pelo Projeto Topodata. Foi feita uma reclassificação do modelo de duas formas: 200 em 200 m e outra com base nas quebras de Jenks (Figura 3.8), a fim de visualizar a variação e modelado altitudinal do estado. Com o MDE, foi construído o mapa de declividade, por meio da ferramenta “*slope*”, sendo reclassificado as faixas propostas pela Embrapa (2006). As Figuras 3.8 e 3.9 apresentam, respectivamente, o MDE e declividade do terreno.

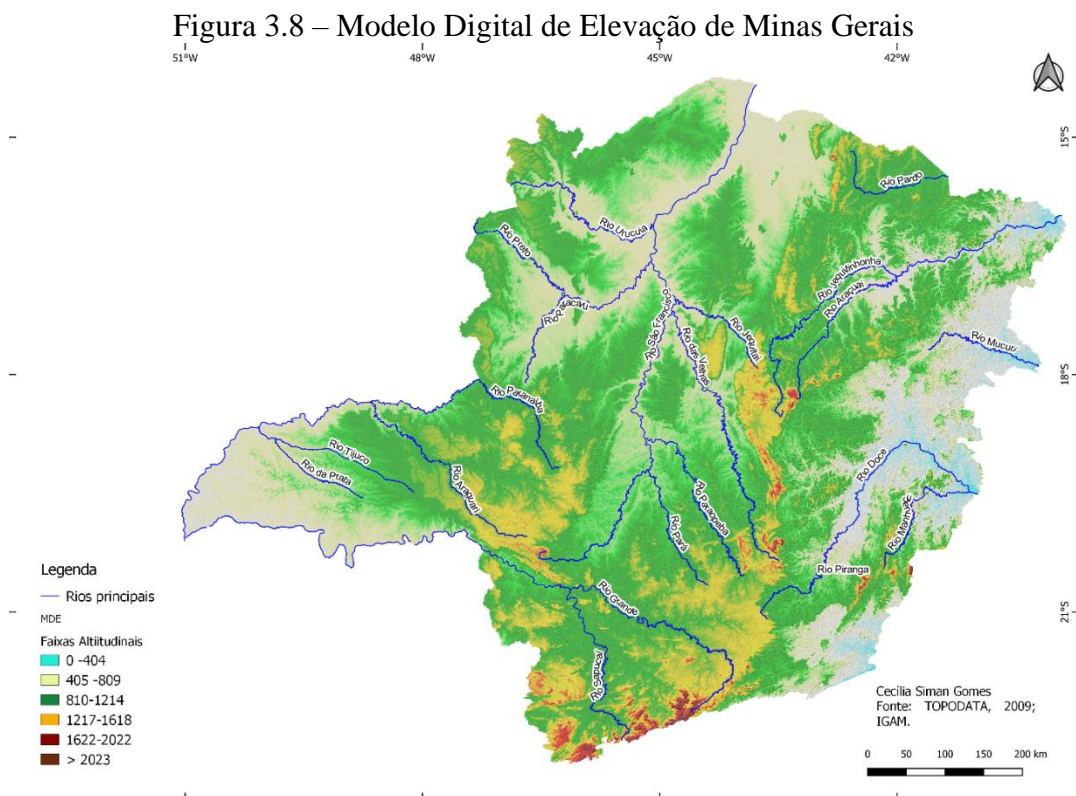
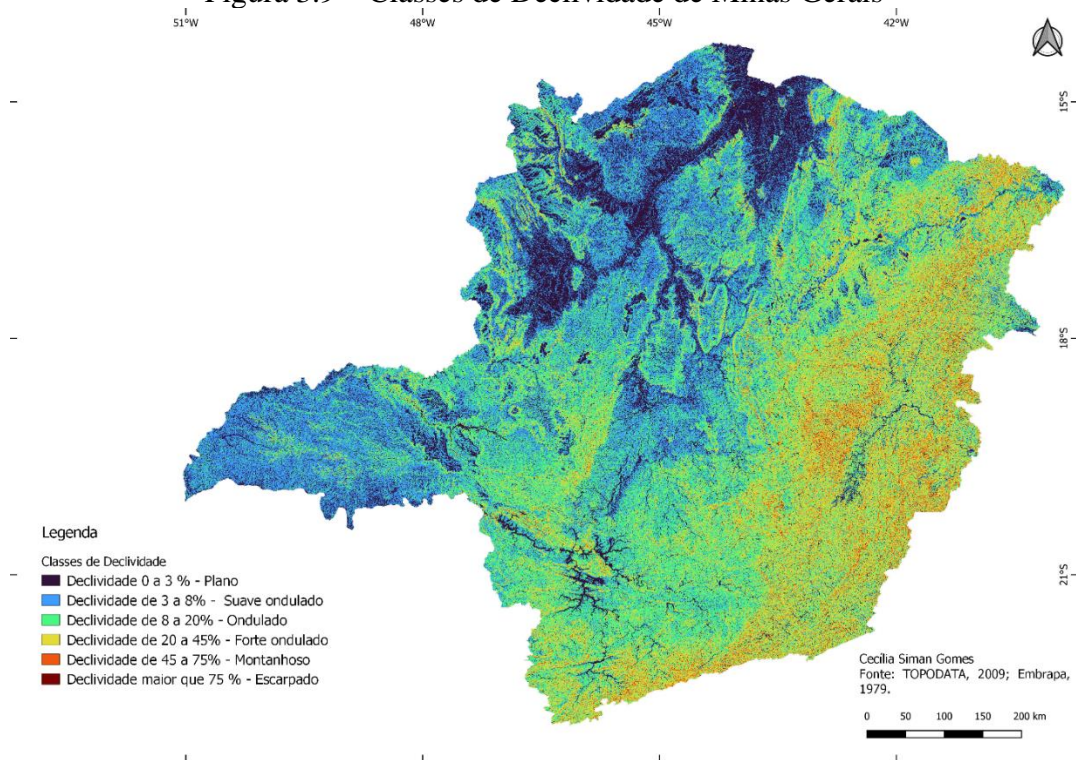
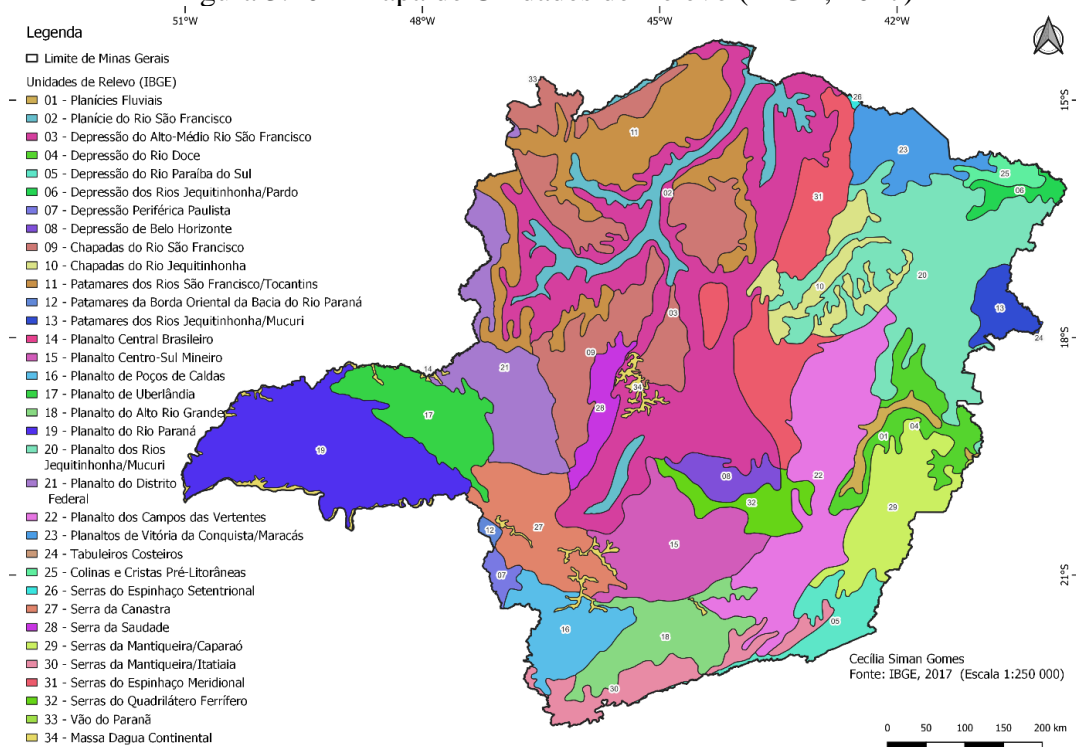


Figura 3.9 – Classes de Declividade de Minas Gerais



Em continuidade, foram estudadas as unidades de relevo de Minas Gerais, baseados principalmente nos documentos e mapas cartográficos publicados pelo IBGE, na escala de 1.000.000 e 1:250.000. Foi avaliada a distribuição espacial das 34 unidades de relevo proposta pelo IBGE (Figura 3.10) e sua relação com a altitude, a inclinação e os limites das bacias hidrográficas.

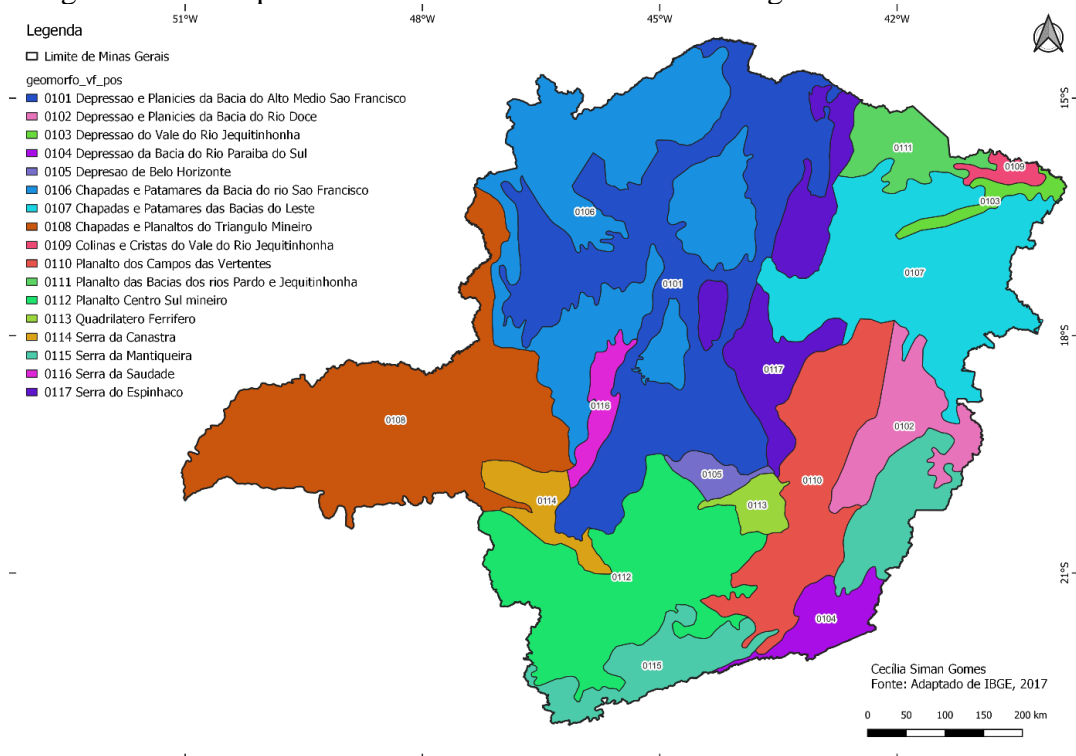
Figura 3.10 – Mapa de Unidades de Relevo (IBGE, 2017)



Verificou-se que os limites das unidades de relevo apresentadas por IBGE, mesmo estando na escala de 1:250.000, apresentavam diferenças significativas em relação à realidade, sobretudo, para as regiões mais elevadas, como para a unidade do Quadrilátero Ferrífero.

Em função do grande número de unidades no mapa geomorfológico de 1:250.000 para Minas Gerais (34 classes), foi feito um agrupamento inicial de unidades analisando-se o conjunto de formas de relevo, as unidades geomorfológicas e o contexto geomorfológico. A partir das classes preliminares elaboradas, fez-se um refinamento dos limites de diversas unidades, com objetivo de delimitar melhor os limites definidos no mapa de unidades de relevo do IBGE. Este refinamento foi feito com base no MDE, na rede de drenagem e as bacias hidrográficas do território, produzindo-se as classes preliminares de Unidades de Relevo de Minas Gerais, apresentado na Figura 3.11 a seguir.

Figura 3.11 – Mapa Preliminar de Domínios Geomorfológicos de Minas Gerais



Com base nos domínios geomorfológicos gerados e para a estruturação do Nível 2, prosseguiu-se com uma análise por localização deste resultado, por meio da ferramenta “*Select by location > interseção*”, com as seguintes variáveis geomorfológicas do banco de Machado (2010): padrões de relevo, amplitude do topo e declividade (Figuras 3.12, 3.13 e 3.14).

Figura 3.12 – Mapa dos Padrões de Relevo (Machado, 2010)

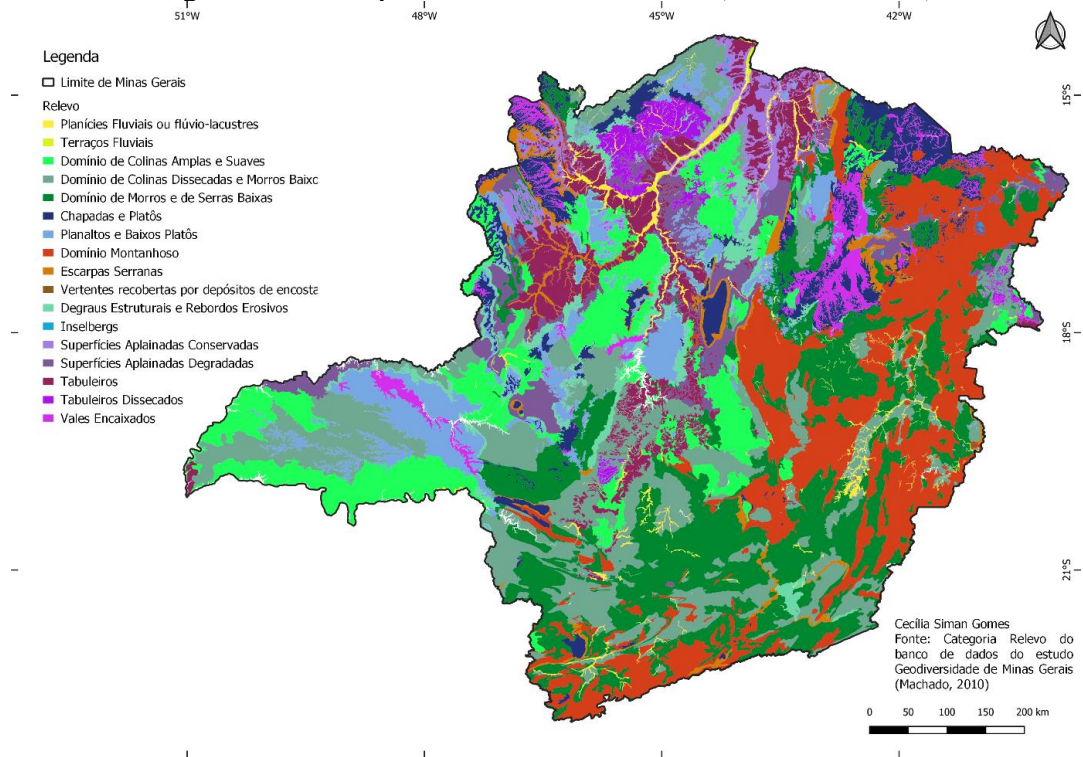


Figura 3.13 – Mapa Amplitude Topográfica (Machado, 2010)

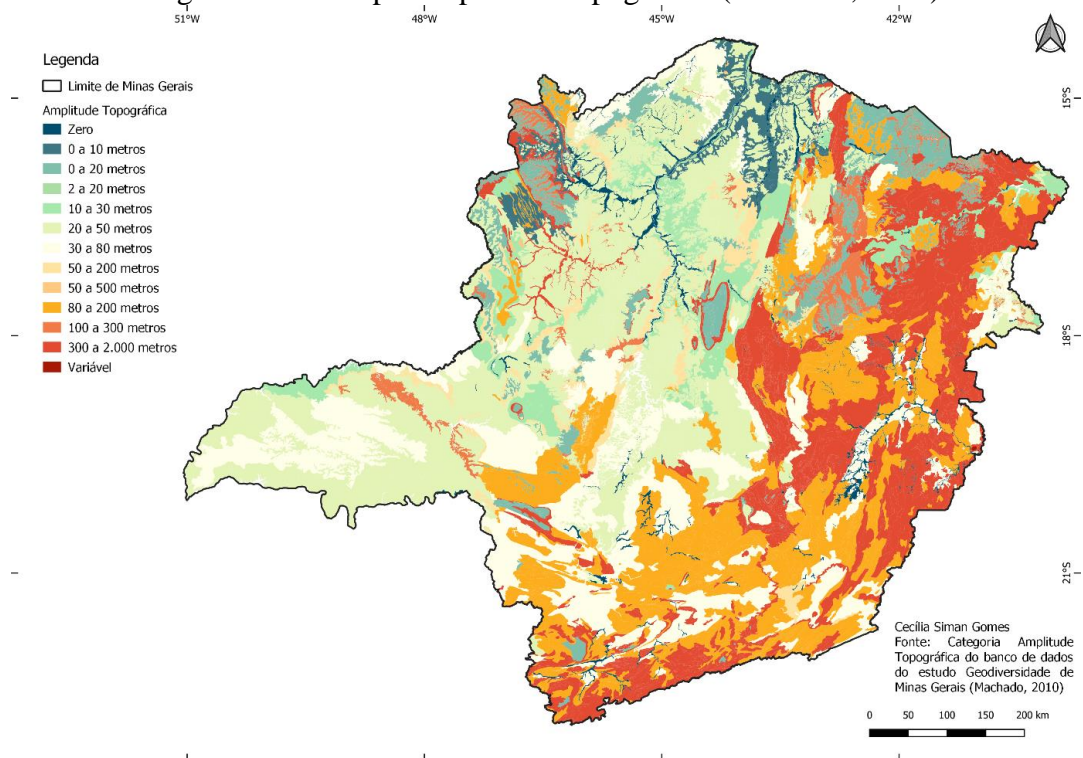
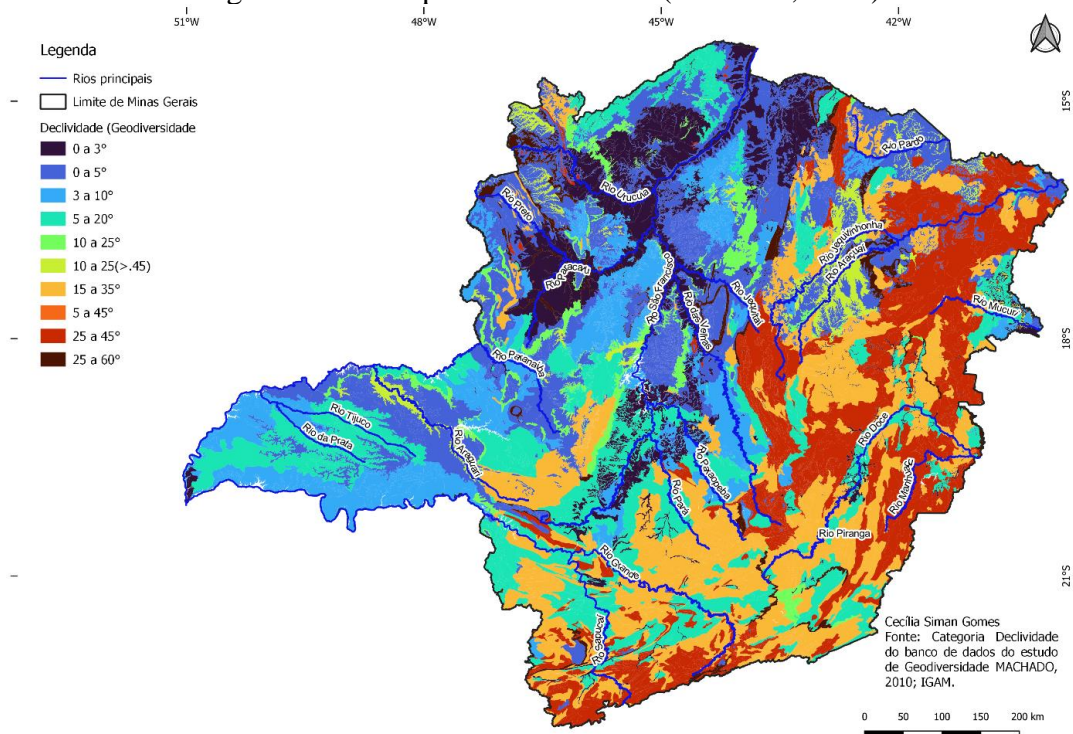


Figura 3.14 – Mapa de Declividade (Machado, 2010)



Observa-se que Machado (2010) propôs 17 padrões de relevo, 13 classes de amplitude do topo e 10 classes de declividades. Ressalta-se que os padrões de relevo foram obtidos com base em análises e interpretação de imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), com resolução de 90 m, que permitiram a determinação da declividade, da altimetria e do grau de dissecação do relevo. Além disso, foram utilizadas imagens GeoCover 2000 que, por meio de análises de características espaciais de imagens com resolução de 15 m e das características espectrais de imagens com resolução de 30 m, resultaram em padrões de relevo mais refinados. Estes, por sua vez, foram agrupados de acordo com a caracterização da textura e rugosidade das imagens e apresentados na escala de 1:1.000.000.

Com base na análise do estudo de Geodiversidade e na distribuição das classes de padrão de relevo, amplitude do tipo e declividade, a espacialização destas variáveis e sua análise por localização com o mapa preliminar de domínios geomorfológicos (Figura 3.11), foi criado o parâmetro geomorfológico Nível 1 (**parâmetro G1**), formado por 20 Domínios Geomorfológicos, sendo elaborado, portanto, com base na adaptação da Figura 3.11 e as três variáveis geomorfológicas do banco de dados de Machado (relevo, amplitude topográfica e declividade) (Figuras 3.12, 3.13 e 3.14).

Em função da relação entre o Nível 1 e as variáveis geomorfológicas do banco de Machado, definiu-se como o **parâmetro G2** (Nível 2) o resultado da concatenação das variáveis relevo, declividade e amplitude topográfica. Esta combinação resultou em 17 classes, definidas como as Unidades Geomorfológicas do Nível 2 (parâmetro G2).

Os resultados são apresentados no Capítulo 4, mais especificamente no subcapítulo 4.1–Parâmetro Geomorfológico.

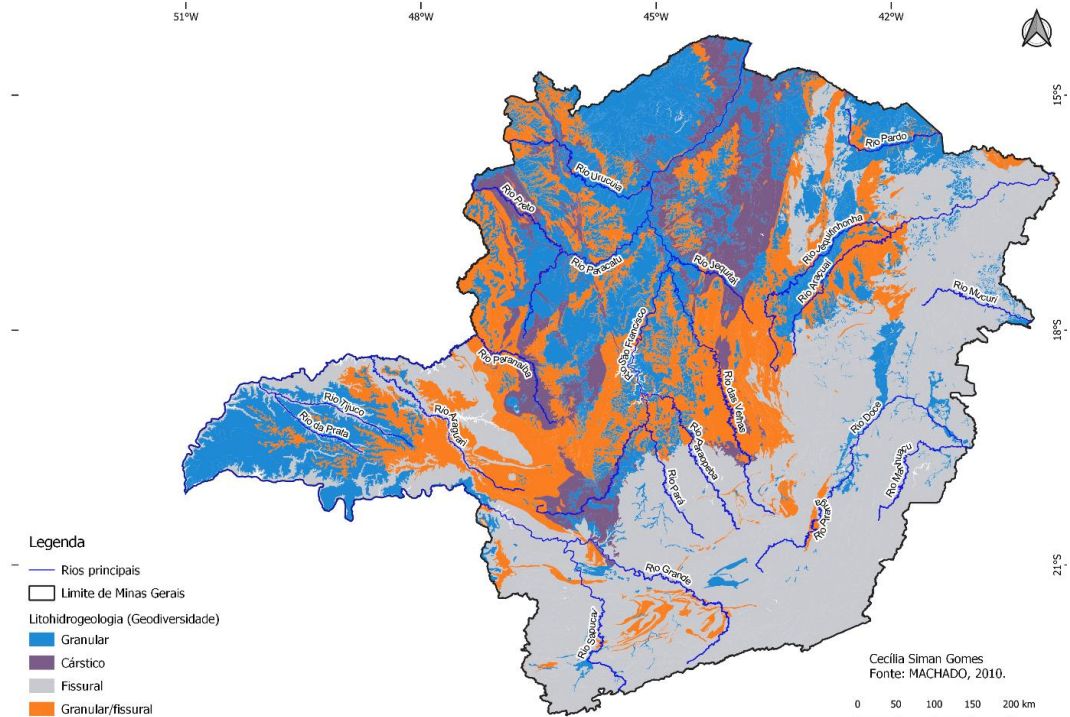
3.3.2.2 Formação do parâmetro Hidrogeológico

Para a elaboração do parâmetro Hidrogeológico dos níveis 1 e 2, foram analisadas diversas informações do banco de dados Machado (2010), entre as quais destacam-se: os tipos unidades litohidrogeológicas, o grau de deformação tectônica/dobramentos e fraturamento/cisalhamento; a localização das estruturas geológicas, como falhas, fraturas e zonas de cisalhamento; os aspectos texturais da rocha; os domínios e as unidades geológico-ambientais; e as litologias predominantes. Além disso, observou-se os Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos do Minas Gerais e sua favorabilidade hidrogeológica, proposta pela CPRM (2007), e adicionou-se a rede de drenagem e bacias hidrográficas do território para descrever inter-relações entre as águas superficiais e subsuperficial. Estes fatores estão diretamente correlacionados com a influência e o modo de alimentação das águas subsuperficiais no condicionamento e na manutenção das AUs.

A seguir são apresentadas as principais características a disposição espacial dos dados supracitados. Não foram representadas as litologias e tampouco as unidades geológico-ambientais do banco de Machado (2010) em função do grande número de classes.

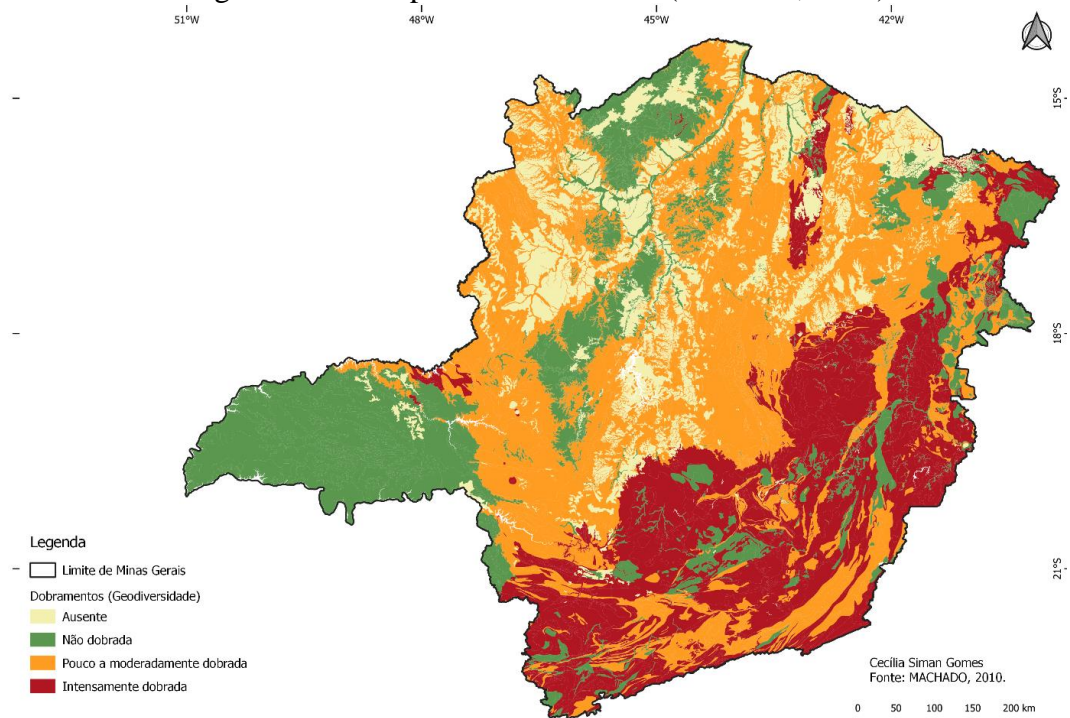
A maior classe taxonômica aquífera pode ser definida pelo agrupamento de unidades geológicas que armazenam e transmitem águas subterrâneas de forma semelhante, criando as unidades hidrolitológicas ou lito-hidrogeológicas, que são geralmente classificadas em quatro tipos básicos: porosas ou granulares; fraturadas; cársticas e não aquíferas (Diniz, 2014). Assim, são unidades classificadas conforme sua dinâmica hidráulica e permeabilidade. Machado (2010) classificou estas unidades nas seguintes classes: Granular; Fissural; Granular/fissural e Cárstico (Figura 3.15).

Figura 3.15 – Mapa de Unidades Litohidrogeológicas (Machado, 2010)



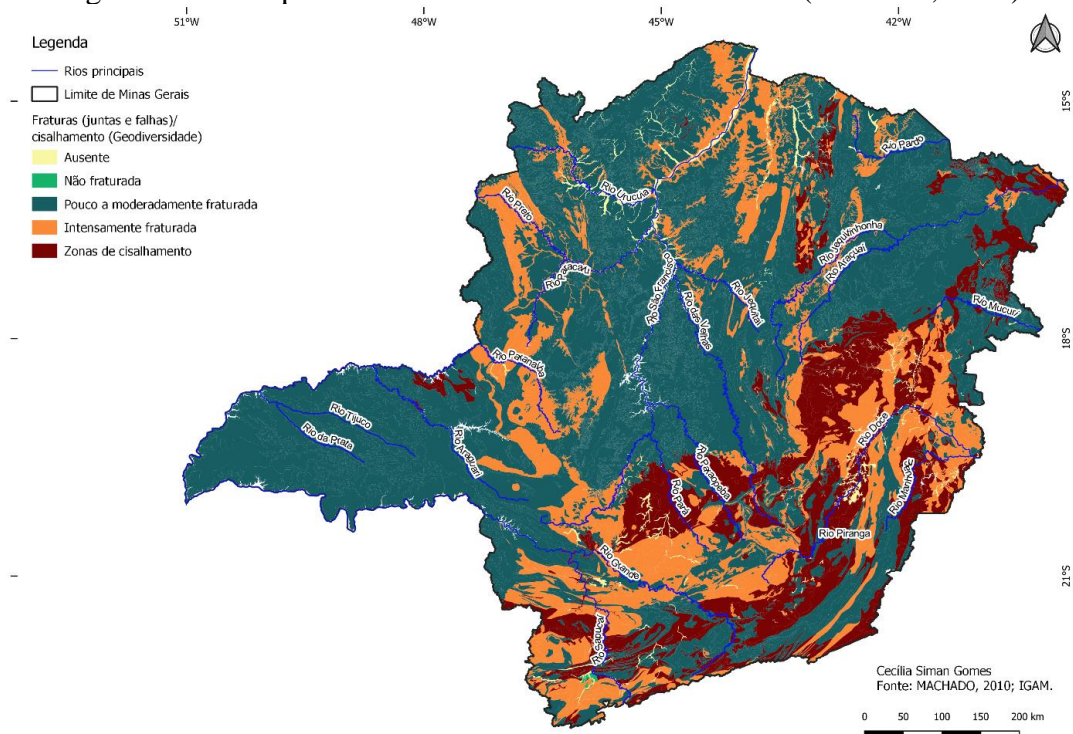
Em termos de dobramento das rochas, foram propostas 4 classes por Machado (2010): Ausente; Não-dobrada; Pouco a moderadamente dobrada; e Intensamente dobrada (Figura 3.16).

Figura 3.16 – Mapa de Dobramentos (Machado, 2010)



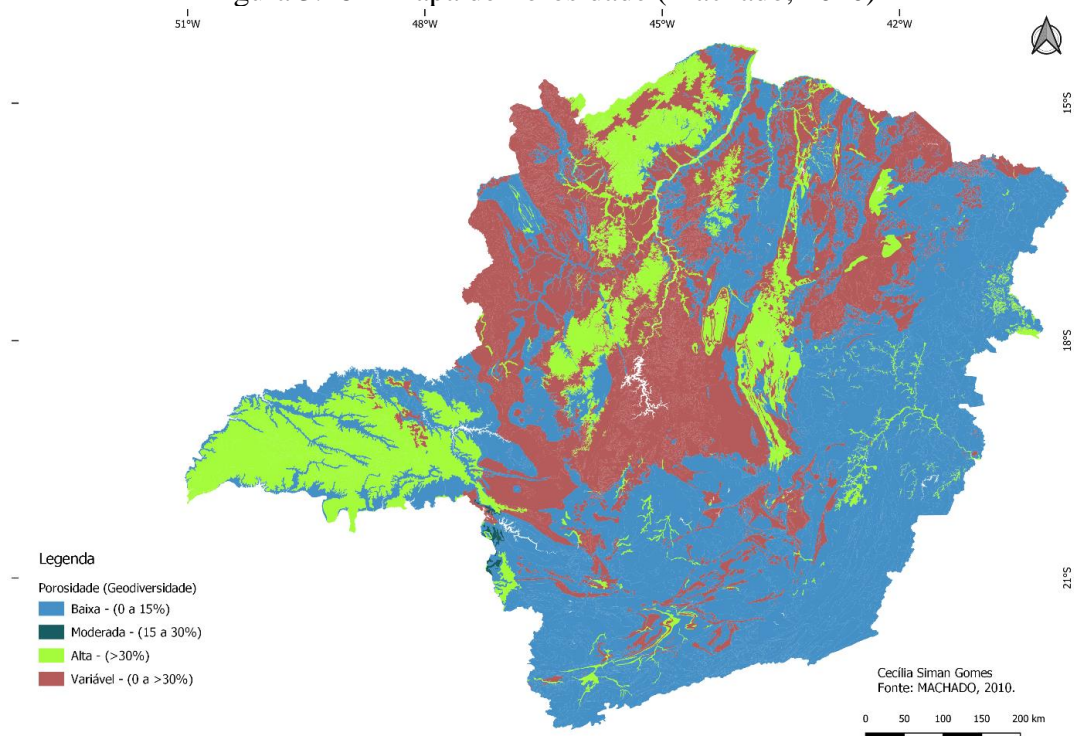
O grau de fraturamento (juntas e falhas) / cisalhamento das rochas foi também dividido em quatro classes (Machado, 2010): Ausente ou não-fraturada; Pouco a moderadamente fraturada; Intensamente fraturada; e Zonas de cisalhamento (Figura 3.17).

Figura 3.17 – Mapa de Fraturas e Zonas de Cisalhamento (Machado, 2010)



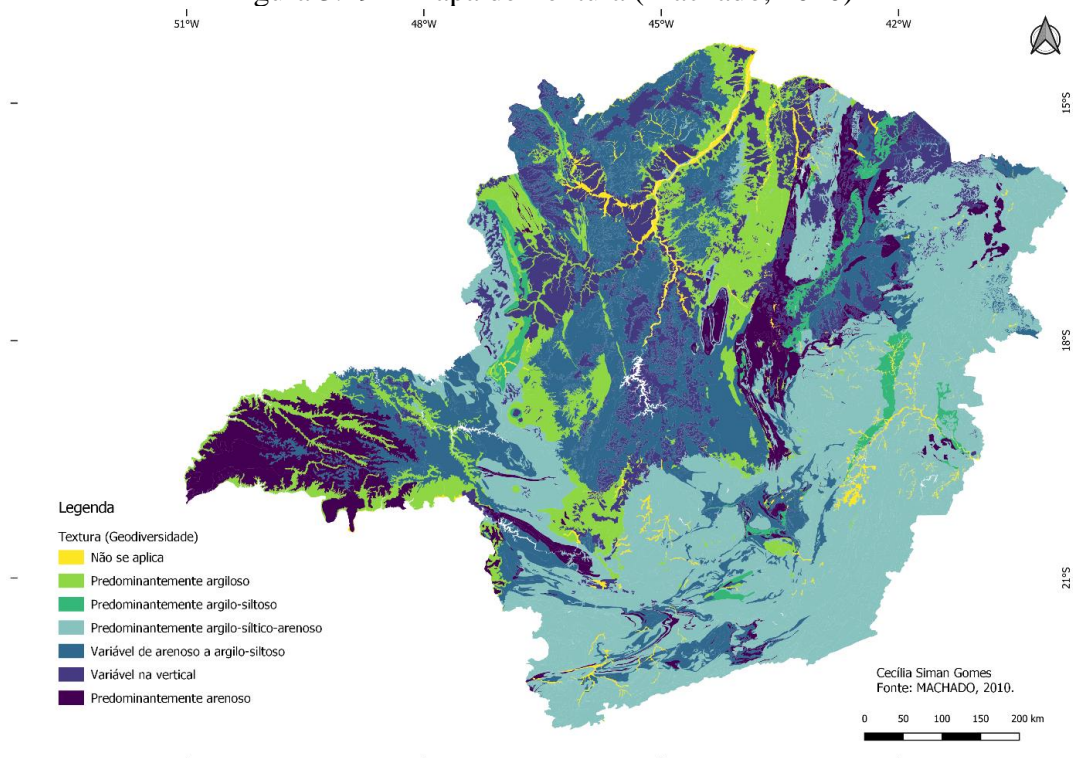
Em termos de porosidade primária, Machado (2010), classificou as rochas em 4 grupos, a saber: Baixa; Moderada; Alta; Variável (Figura 3.18).

Figura 3.18 – Mapa de Porosidade (Machado, 2010)



Por fim, em termos de padrão textural, que está relacionado à alteração da rocha ou de um grupo de rochas, Machado (2010) subdividiu em 7 classes, a saber: Predominantemente arenoso; Predominantemente argiloso; Predominantemente argilossiltoso; Predominantemente argilo-siltico-arenoso; Variável de arenoso a argilossiltoso; Predominantemente siltoso; e Não se aplica (Figura 3.19).

Figura 3.19 – Mapa de Textura (Machado, 2010)



O mapeamento de domínios e subdomínios hidrogeológicos do Brasil, publicado em 2007, foi elaborado na escala 1: 2.500.000. Os domínios foram definidos como o agrupamento de unidades geológicas com afinidades hidrogeológicas, tendo como base principalmente as características litológicas das rochas, e os subdomínios uma divisão desta. As Figuras 3.20 e 3.21 apresentam a distribuição dos domínios e subdomínios hidrogeológicos no estado.

Figura 3.20 – Mapa dos Domínios Hidrogeológicos (CPRM, 2007)

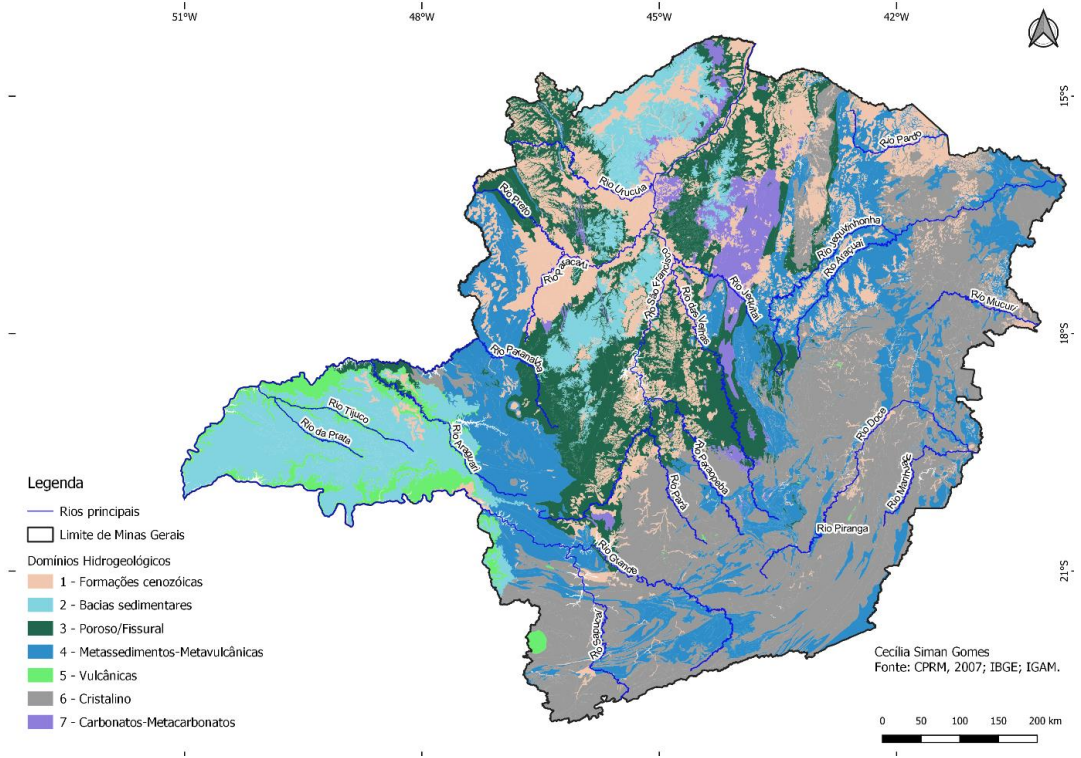
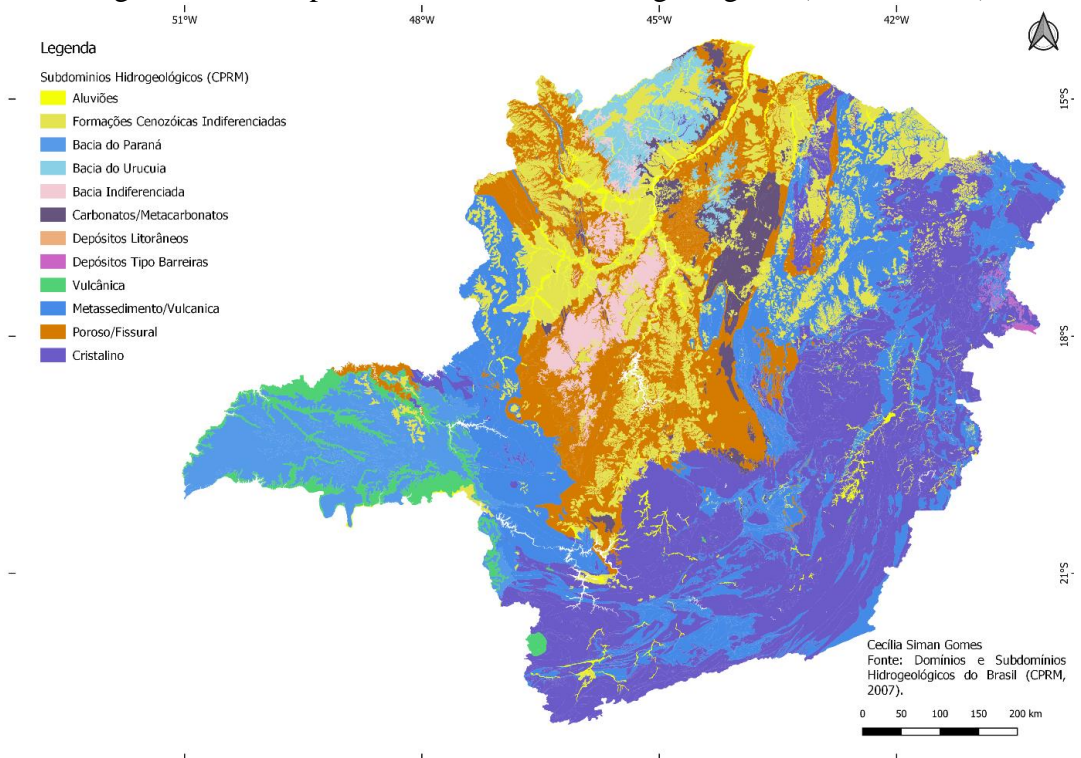


Figura 3.21 – Mapa dos Subdomínios Hidrogeológicos (CPRM, 2007)



Por outro lado, a Ana (Agência Nacional de Águas, 2018) apresenta uma visão mais abrangente de domínios hidrogeológicos, definindo-os como grandes áreas que comungam feições relativamente próximas quanto à geomorfologia, geologia, estrutura, padrões de deformação, litologia, hidrogeologia, recarga e descarga. Subdomínios são áreas, nos domínios, onde são percebidas diferenciações nessas feições, mas que não são suficientes para individualizar um novo domínio.

Considerando o exposto e a distribuição e análise dos dados apresentados, foram feitas diversas análises das características hidrogeológicas das rochas, por meio de ferramentas de superposição, união, reclassificação, dissolução dos dados, que resultaram na elaboração de 8 sistemas aquíferos para o Nível 1 (**Parâmetro A1**) e 32 tipos de aquíferos (**Parâmetro A2**) para o Nível 2. Os resultados são apresentados no Capítulo 4, mais especificamente no subcapítulo 4.2 – Parâmetro Hidrogeológico.

3.3.2.3 Formação do parâmetro Climático

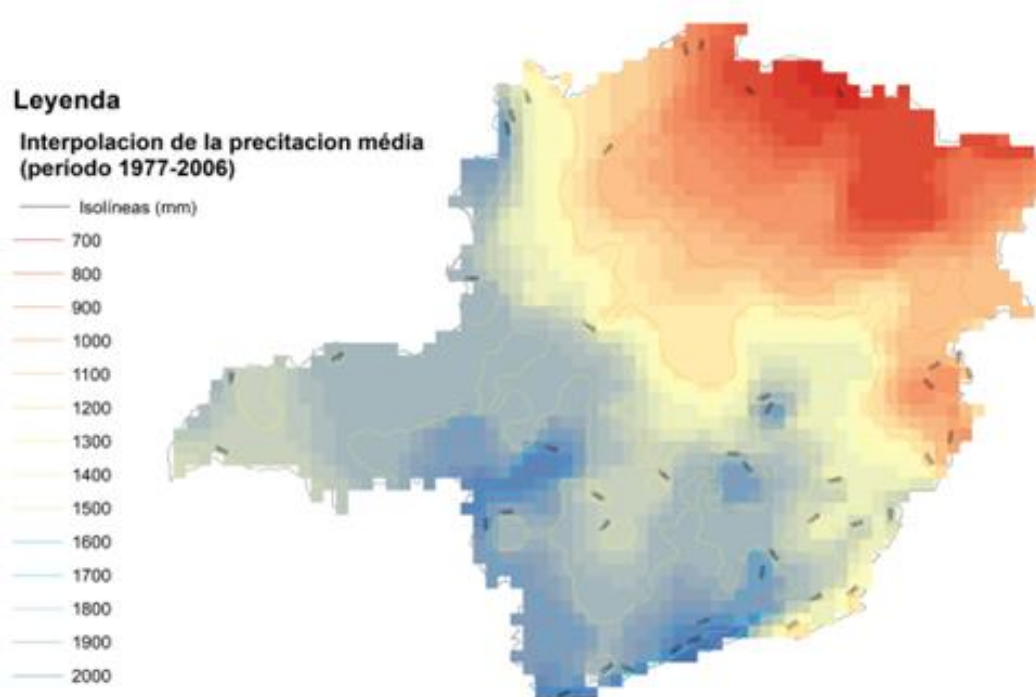
Para a definição do parâmetro climático nos níveis 1 e 2, foram reunidas e analisadas diversas bases espaciais (dados raster e vetoriais), entre quais destacam-se dados climatológicos produzidos pelo *Terraclimate* (1958-2015) e *WorldClim* (1970-2000); a Classificação Climática - Köppen-Geiger 2013-2017; os dados da precipitação média anual obtidos a partir da rede meteorológica nacional para o período de 1977-2006; a análise pluviométrica resultante das estações climáticas convencionais para o período de 1991-2020; o mapa do semiárido mineiro, delimitado pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste -SUDENE; o índice de umidade Thornthwaite e as zonas climáticas, elaborados pelo ZEE-MG. Ressalta-se que os mapas do ZEE-MG foram utilizados apenas como referência para a avaliação inicial das outras bases por terem sido elaborados com base nas normais climatológicas de 1960-1990. O objetivo foi a necessidade de encontrar em níveis superiores aspectos climáticos para formar unidades de análises relativamente homogêneas mais abrangentes.

Para esta análise, foram gerados inúmeros mapas realizando-se diversos tipos de agrupamentos, a fim de avaliar a configuração climática do território de Minas Gerais e escolher a melhor base para se trabalhar. Além disso, estes mapas foram comparados com o mapa de biomas e de ecorregiões (apresentados no item 3.3.2.4, em sequência) para analisar as relações entre si.

Neste processo, a pluviosidade foi considerada a mais adequada para compor o Nível 1 (**Parâmetro P1**), pois caracteriza os grandes mesoclimas do estado, tendo em vista que as precipitações abaixo de 900 mm incorporam a região semiárida de Minas Gerais e as áreas com precipitações irregulares e com mais de 6 meses de seca ano; as pluviosidades entre 900-1200 são consideradas típicas de clima tropical mais seco; entre 1200-1500 mm são de tropical típico e a tendencia é que, acima disso, o clima seja tropical úmido. Assim, foram selecionadas as isoietas de precipitação com a média anual calculada para o período de 1977 a 2006, disponibilizadas em arquivo *shapefile* do tipo linha pelo CPRM, no âmbito do projeto Atlas Pluviométrico do Brasil (Pinto *et al.*, 2011).

Para produzir este mapa foram executadas as seguintes etapas no software ArcGIS: criação de TIN com base no campo das curvas > TIN para raster > avaliação do dado gerando um classificando por quebras naturais (Jenks) e uma interpolação bilinear (dados contínuos) > reclass em quatro classes: 600-900 mm; 900-1200 mm; 1200-1500 mm; 1500 -2625 > recorte do quadrante para Minas Gerais e, por fim, raster para vetor. As isoietas em Minas Gerais variaram de 700 a 2000 mm. A Figura 3.22 representa as isoietas e o raster produzido.

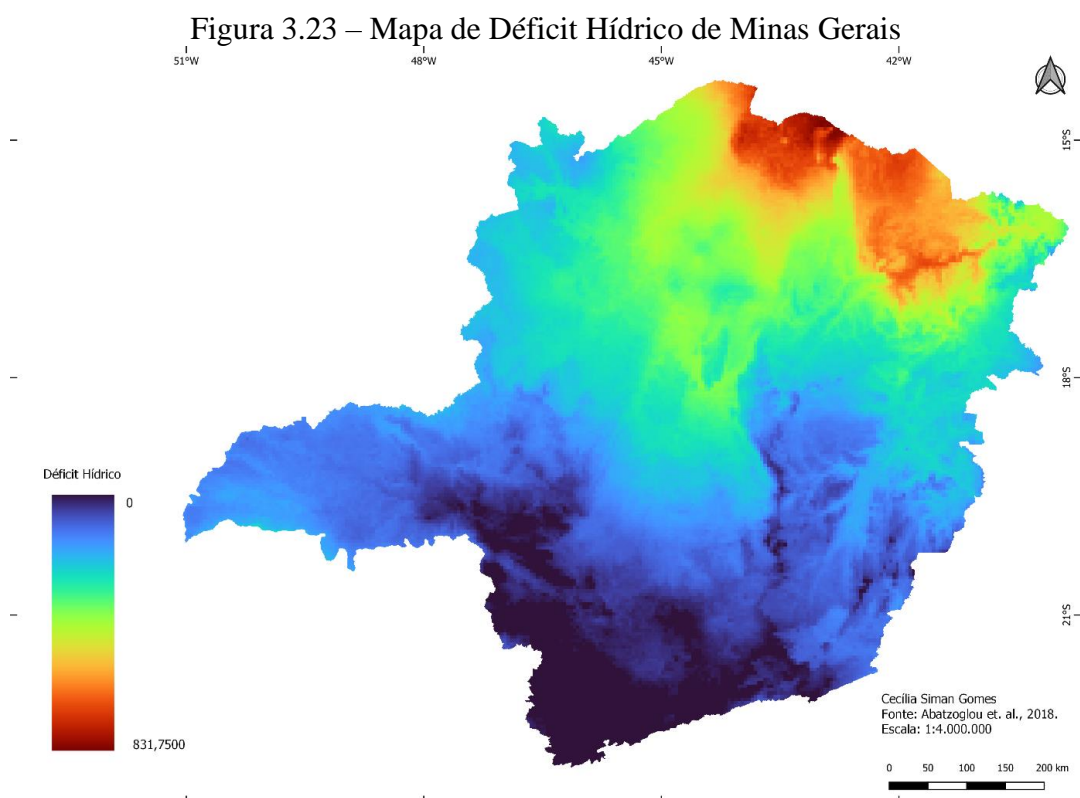
Figura 3.22 – Mapa das Isoietas para o período de 1977-2000



Fonte: Elaboração da autora, com base nas isoietas das médias pluviométricas do período de 1977-2000 disponibilizadas pelo CPRM (Pinto *et al.*,2011).

Para o parâmetro climático do Nível 2, a variável que apresentou espacialmente a maior relação com os limites das ecorregiões foi a de déficit hídrico do solo da proveniente da base de dados produzida pelo *Terraclimate* (1958-2015) (Figura 3.23), refletindo na retenção de água no solo interage com o tipo de bioma e, inclusive, com a pluviosidade. Foi visto que, além da caatinga e mata atlântica, os limites definidos para a probabilidade de ocorrência de mata seca (item 3.3.2.4) interagem mais com a capacidade de retenção de água no solo.

Ressalta-se que o *TerraClimate* apresenta um conjunto de dados de clima mensal de alta resolução espacial ($1/24^\circ$, ~ 4 km) e balanço hídrico climático para superfícies terrestres globais (Abatzoglou et al., 2018). A variável déficit hídrico é calculada com base no modelo de balanço hídrico climático de Thornthwaite-Mather e da capacidade de armazenamento de água do solo e pode ser obtida no Google Engine, selecionando-se o período desejado. O dado apresenta a escala de 0.1. Na presente pesquisa, foi abarcada a média do período climático fornecido, pois o objetivo foi pegar o maior intervalo de anos, para que a resposta em relação aos biomas e ecorregiões pudessem ser o mais consistente possível. A Figura 3.23 mostra o déficit hídrico de Minas Gerais.



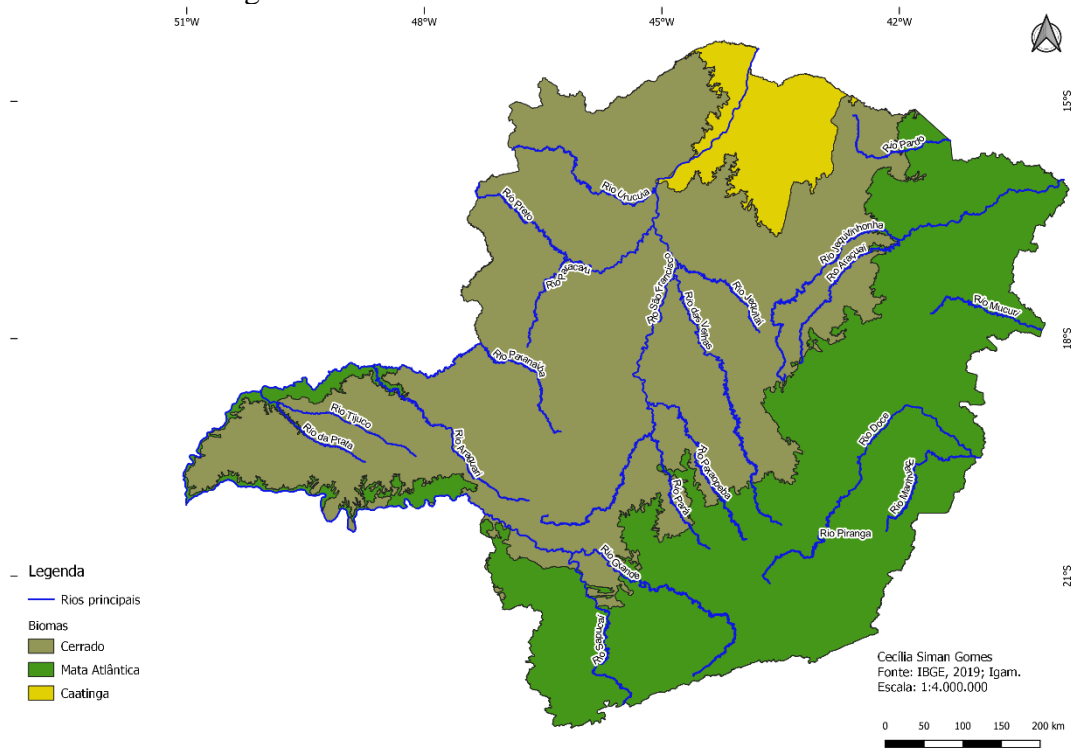
Os dados matriciais foram reagrupados a fim de reduzir o número de classes, mas mantendo seus aspectos centrais. Para chegar-se em agrupamento por meio da reclassificação do raster, gerou-se, primeiramente, 4 e 5 classes por *k-means clustering for grids*, a fim de se visualizar áreas relativamente homogêneas do ponto de vista climático. Em sequência, o raster foi reclassificado em quatro classes e transformado em vetor, formando o parâmetro de déficit hídrico do Nível 2 - **Parâmetro DH2**. Os valores das faixas do parâmetro têm a escala de 0.1, sendo divididos nas seguintes classes: até 150 mm ao ano; entre 150 mm e 300 mm ao ano; entre 300 e 500 mm ao ano; e maior que 500 mm ao ano. Os resultados são apresentados no Capítulo 4, mais especificamente no subcapítulo 4.3 – Parâmetro Climático.

3.3.2.4 Formação do parâmetro Biológico

Para a elaboração do parâmetro Biológico no Nível 1 foi utilizado o conceito de bioma, conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O IBGE define os biomas como um “conjunto de vida (vegetal e animal) definido pelo agrupamento de tipos de vegetação contíguos e identificáveis em escala regional, com condições geoclimáticas similares e história compartilhada de mudanças, resultando em uma diversidade biológica própria”, formando áreas extensas, com até mais de 1.000.000 km² (IBGE, 2004, p.49).

A Figura 3.24 apresenta os biomas de Minas Gerais, com base no Mapa de Biomas e Sistema Costeiro-Marinheiro do Brasil, produzido pelo IBGE na escala 1:250.000, onde verifica-se a ocorrência de três tipos no estado, a saber: Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga.

Figura 3.24 - Limites dos Biomas de Minas Gerais



Para levar estes limites para a base de geodiversidade, mas sem a ferramenta de interseção a fim de evitar erros topológicos, como já explicado, foi feita a análise de interseção por localização. Assim, os polígonos da base de Geodiversidade que estavam contidos dentro de determinado limite de um bioma, o nome do bioma foi replicado na base. Contudo, os polígonos que ultrapassaram mais de um tipo de bioma foram analisados sobrepostos a imagens de satélite, a fim de classificá-lo no bioma conforme a vegetação identificada por imagem. Além disso, quando o polígono apresentou dimensões expressivas incidindo em mais de um tipo de bioma, foi feito um recorte da feição do polígono da base de geodiversidade. O resultado com o limite de biomas do Nível 1 (**Parâmetro B1**), é apresentado nos resultados.

Salienta-se, conforme apresentado no item 3.3.2.3, que há uma relação espacial expressiva entre os dados de pluviosidade e déficit hídrico e os limites de biomas.

Para estruturação do Nível 2 foi feita a seleção da base de ecorregiões. As ecorregiões podem ser definidas como áreas relativamente homogêneas que possuem condições ambientais similares e que podem ser definidas em diferentes escalas (Bailey, 2005). Dinerstein *et al.* (1995) acrescenta, ainda, que além das condições ambientais similares, as ecorregiões representam um conjunto de comunidades naturais, geograficamente distintas, que compartilham a maioria das suas espécies, dinâmicas e processos ecológicos, que é dependente

das condições ambientais para a sua manutenção a longo prazo. Nesse sentido, para o mapeamento das ecorregiões, são utilizadas variáveis bióticas e abióticas como clima, hidrologia, feições morfológicas da paisagem, vegetação e solo (Omernik, 1987). Contudo, ainda hoje não há um consenso conceitual e metodológico para reconhecer e identificar as ecorregiões na escala regional, não havendo, portanto, uma metodologia padronizada quantitativa, ficando a cargo da definição do pesquisador (Ximenes *et al.*, 2009).

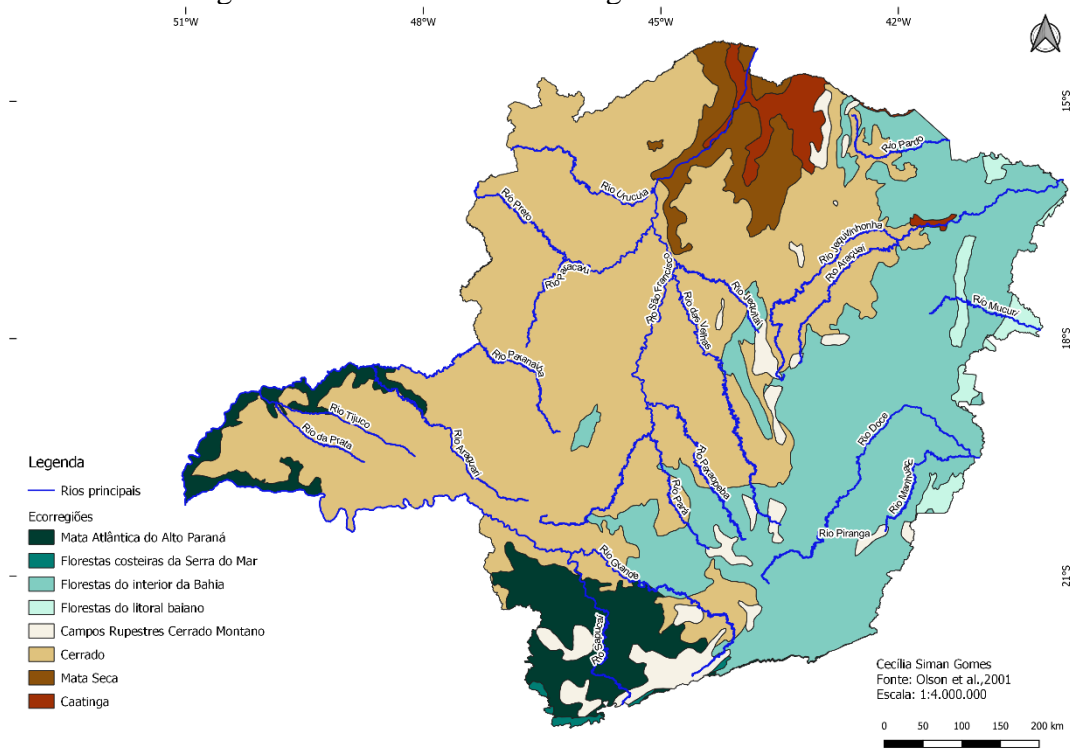
Olson *et al.* (2001) com o apoio do *World Wildlife Fund* (WWF), produziram as ecorregiões terrestres para todo o globo, com o objetivo de criar unidades biogeográficas na escala regional a fim de representar as comunidades naturalmente distintas; os processos ecológicos e evolucionários; as populações das espécies; e as grandes áreas de habitat natural.

Para o Brasil, foram utilizados os mapas do RADAM, publicados pelo IBGE na escala de 1:5.000.000, os grandes rios como barreiras (Olson *et al.*, 2001) e outras variáveis menos expressivas como os efeitos de distância geográfica, a precipitação e os regimes de inundação, que resultou em uma delimitação qualitativa delimitada por especialistas (Ximenes *et al.*, 2009). A base foi extraída do próprio site⁵ da WWF e recortada para Minas Gerais.

Conforme a Figura 3.25, em Minas Gerais, as ecorregiões definidas por Olson *et al.* (2001) foram: Mata Atlântica do Alto Paraná, Florestas costeiras da Serra do Mar, Florestas do interior da Bahia, Florestas do litoral baiano, Campos Rupestres Cerrado Montano, Cerrado, Mata Seca e Caatinga.

⁵ <https://www.worldwildlife.org/publications/terrestrial-ecoregions-of-the-world>

Figura 3.25 - Limites das Ecorregiões de Minas Gerais



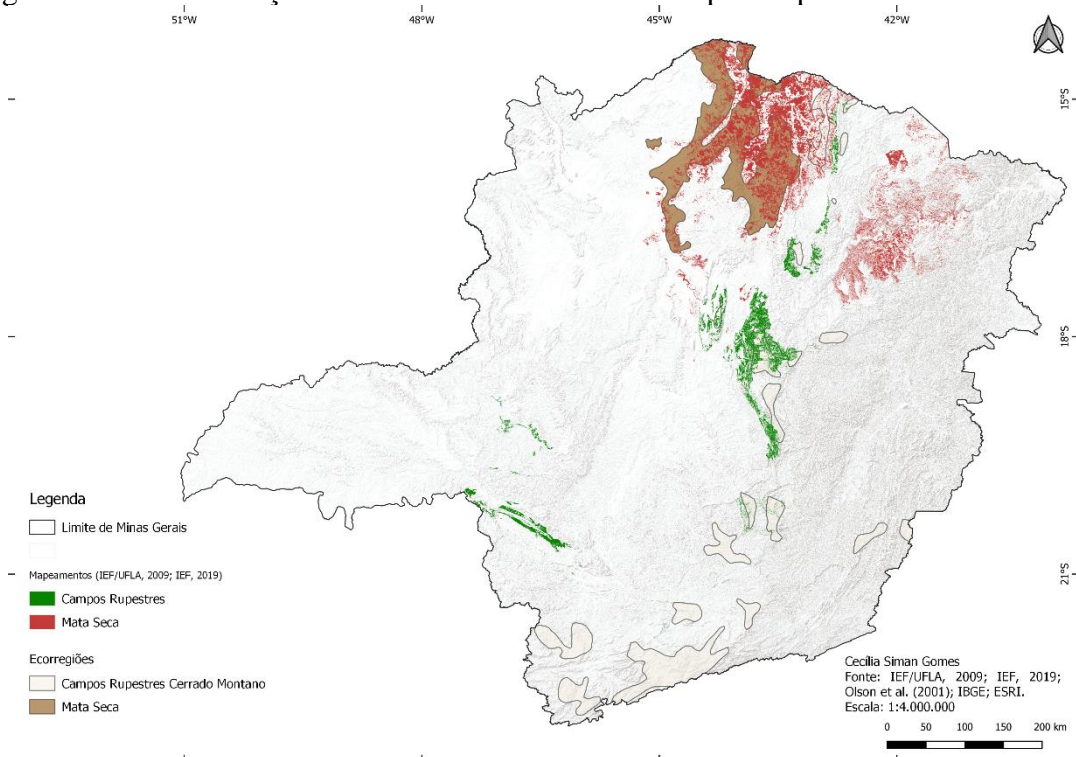
Conforme pode ser observado na Figura 3.25, as áreas de Mata Atlântica são representadas pela Mata Atlântica do Alto Paraná e pelas Florestas costeiras da Serra do Mar, do interior da Bahia e do litoral baiano. Assim como a Mata Atlântica, há os biomas do Cerrado e da Caatinga. A maior diferença das ecorregiões em relação aos biomas do estado, está, portanto, na inserção da Mata Seca e dos Campos Rupestres Cerrado Montano. Salienta-se que as fitofisionomias de Mata Seca e de Campos Rupestres são consideradas, para alguns autores, como biomas específicos, pois ocorrem em diferentes biomas e suas características seriam suficientes para considerá-las como biomas a parte. Nesse sentido, as ecorregiões podem ser entendidas, neste trabalho, como um detalhamento dos biomas, com a inserção das fitofisionomias de Mata Seca e Campo Rupestre.

Com base no mapa de ecorregiões de Olson *et al.* (2001) verificou-se que os limites se apresentaram deslocados quando se fez um zoom destas fitofisionomias em imagens de satélite. Além disso, determinadas porções com mapeamento de Mata Seca e Campo Rupestre apresentaram-se sem a ocorrência de Mata Seca e Campo Rupestre.

Assim, para a elaboração das ecorregiões do Nível 2 foram analisadas também as bases do Inventário Florestal (Scolforo; Carvalho; Oliveira, 2008) e da Cobertura Florestal (IEF,

2019) na área do bioma da Lei da Mata Atlântica (Lei nº 11.428/2006) com um buffer de 5 quilômetros, disponibilizados na IDE-Sisema. Para isso, foram filtradas as fitofisionomias de Floresta Estacional Decidual Montana e Submontana (Mata Seca) e Campos Rupestres e sobrepostas aos limites destas ecorregiões em imagem de satélite (Figura 3.26).

Figura 3.26 – Delimitação das áreas de Mata Seca e Campos Rupestres em Minas Gerais



A partir desta análise inicial, foi verificado que as feições do inventário eram muito pequenas e compartimentadas, não incorporando diversos fragmentos de Mata Seca e, sobretudo, de Campo Rupestre, no entorno de inúmeros polígonos mapeados. Além disso, em função do tamanho pouco expressivo destas feições em relação aos polígonos da base de Geodiversidade e considerando que o intuito das ecorregiões na escala regional é mapear grandes fragmentos de ocorrência de determinadas unidades biogeográficas, definiu-se que o mapa do Nível 2 seria a junção dos biomas com as áreas de maior probabilidade de ocorrência destas fitofisionomias de Campo Rupestre e Mata Seca.

Em sequência, foi feita uma análise de localização por interseção das áreas de Mata Seca e Campo Rupestre dos mapeamentos do estado com a base de geodiversidade, onde já haviam sido incorporados os biomas. Foram selecionados aqueles polígonos que concentraram ou incorporaram uma porção significativa de fragmentos de Mata Seca e/ou Campo Rupestre, ou

ainda, repartiu-se alguns polígonos onde que muito grandes, mas que concentravam áreas expressivas destas fitofisionomias.

Ressalta-se que para esta variável não foi produzida uma concatenação entre o Nível 1 e Nível 2, tendo em vista que a resultante (**Parâmetro E2**) são os próprios Biomas subdivididos com áreas de maior probabilidade de ocorrência de Mata Seca e/ou Campo Rupestre.

Os resultados são apresentados no Capítulo 4, mais especificamente no subcapítulo 4.4 – Parâmetro Bioma.

3.3.3 Definição das bases geoespaciais do Nível 3 da classificação

Conforme exposto na introdução deste subcapítulo metodológico, foram selecionadas várias bases de entrada (Figura 3.7) para a classificação no nível do contexto local, mas que não resultaram em cruzamentos em função dos motivos já apresentados (subcapítulo 3.3). Este nível de classe serviu para calibrar as variáveis e/ou os limites geomorfológicos dos níveis superiores, assim como para validar a proposta e classificar exemplos de AUs mapeadas em campo para ilustrar a proposta de classificação.

Para construção do Nível 3, foi feita uma grande busca por dados na escala do contexto local que pudessem classificar as AUs com critérios biohidrogeomorfológicos.

A plataforma de análise geoespacial do Google Engine, baseada em nuvem, permite aos usuários visualizar, analisar e/ou baixar inúmeras imagens de satélite. Foram avaliados inúmeros produtos disponibilizados pelo Engine gratuitamente e que poderiam caracterizar as AUs no contexto local e identificar suas principais funções ambientais nesta escala. Além do Engine, foram buscados dados em outros repositórios, como do Topodata, IDE-Sisema, WWF, etc.

O princípio da seleção das bases partiu da definição que não era objetivo delimitar as AUs ou monitorá-las, já que não são enfoques desta pesquisa e são mais voltados para a escala local.

Além do Modelo Digital de Elevação e das Classes de Declividade (resolução espacial de 30 metros) já apresentadas Figuras 3.8 e 3.9, respectivamente, que foram critérios selecionados para fazer parte da classificação no nível do contexto local, foram selecionadas as bases apresentadas a seguir. Estas bases apresentam resolução espacial de 30 metros e são compatíveis com a escala de 1:60.000, que é umas das escalas utilizadas nas análises e mapas

de paisagem (Boggione et al.,2009), trazendo informações importantes para caracterizar o contexto local de inserção da AU.

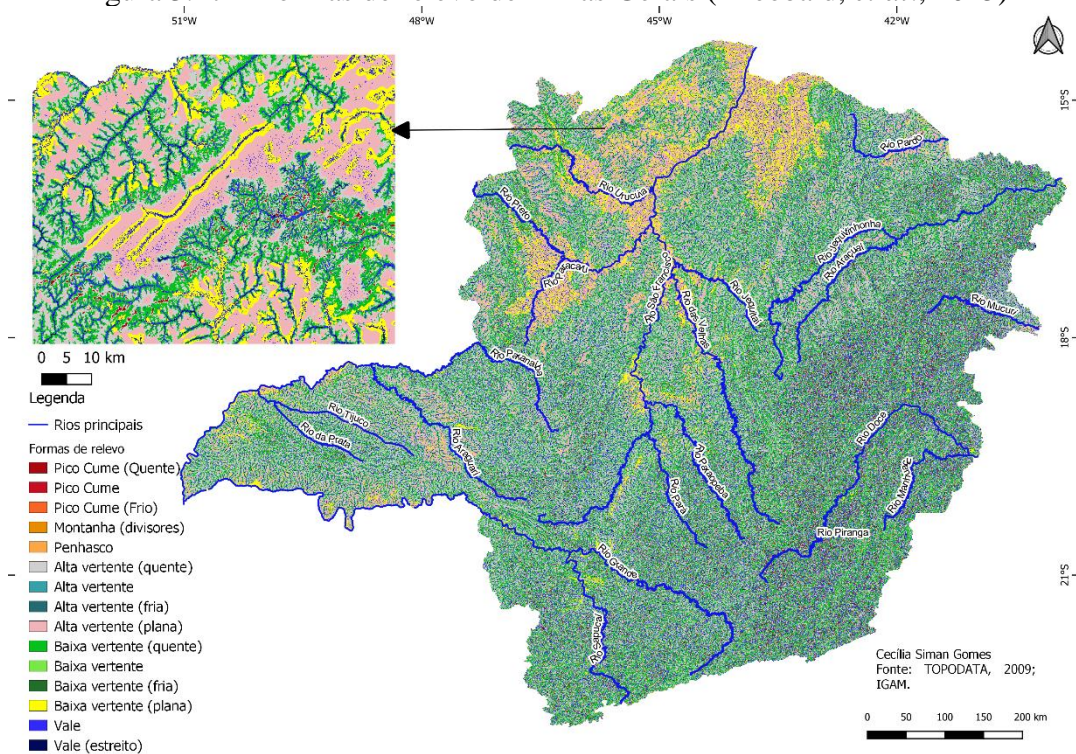
- **SRTM Landforms (Theobald, et al.2015) (Formas de relevo)**

O conjunto de dados SRTM Landforms fornece classes de relevo resultantes da combinação dos conjuntos de dados do Índice de Carga de Insolação de Calor Contínua (SRTM CHILI) e dos conjuntos de dados do Índice de Posição Topográfica Multi-escala (SRTM mTPI). É baseado no MDE SRTM de 30m. Esta base foi baixada do Google Engine e apresenta 15 classes (Quadro 3.3), que foram analisadas também através da sua distribuição espacial (Figura 3.27). Assim, pode situar a AU no relevo (pico, montanha, penhasco, alta e baixa vertente - plana e não plana-, vale ou vale estreito) e, dependendo da classe, o seu grau de insolação, classificado em quente ou frio.

Quadro 3.3 – Formas de relevo *SRTM Landforms*

Forma de relevo	Valor do pixel
Pico Cume (Quente)	11
Pico Cume	12
Pico Cume (Frio)	13
Montanha (divisores)	14
Penhasco	15
Alta vertente (quente)	21
Alta vertente	22
Alta vertente (fria)	23
Alta vertente (plana)	24
Baixa vertente (quente)	31
Baixa vertente	32
Baixa vertente (fria)	33
Baixa vertente (plana)	34
Vale	41
Vale (estreito)	42

Figura 3.27 – Formas de relevo de Minas Gerais (Theobald, *et al.*, 2015)



- **Formas de terreno do Projeto Topodata (Valeriano, 2008)**

Em termos hidrogeomorfológicos, as formas de terreno do Topodata (Valeriano, 2008) se configuram como uma importante fonte de dados para variáveis geomorfométricas locais das AUs, pois caracterizam a curvatura do terreno e o padrão de dispersão ou concentração e acúmulo do escoamento de água, diretamente associadas as dinâmicas de fluxos das AUs.

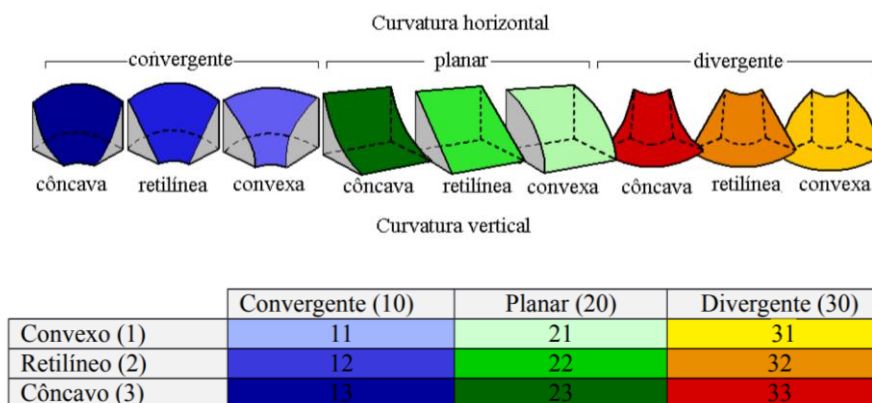
A curvatura vertical refere-se à forma do terreno em côncava, convexa e retilínea, quando analisado em perfil. Já a curvatura horizontal é o caráter divergente, convergente ou planar dos fluxos de matéria e água sobre o terreno, relacionando-se com os processos de transporte e acumulação de água. São nove combinações ao todo, a saber:

- Côncava-convergente: vertente côncava com escoamento de água convergente (máxima concentração e acúmulo do escoamento);
- Retilínea-convergente: vertente retilínea com escoamento de água convergente;
- Convexa-convergente: vertente convexa com escoamento de água convergente;
- Côncava-planar: vertente côncava com escoamento de água planar;
- Retilínea-planar: vertente retilínea com escoamento de água planar;

- Convexa-planar: vertente convexa com escoamento de água planar;
- Côncava-divergente: vertente côncava com escoamento de água divergente;
- Retilínea-divergente: vertente retilínea com escoamento de água divergente; e
- Convexa-divergente: vertente convexa com escoamento de água divergente (máxima dispersão do escoamento)

A Figura 3.28 representa estas combinações. Nota-se que o caráter convergente das águas é representado em azul, pois associa-se ao efeito de umidade, com a forma côncavo-convergente apresentando a máxima concentração e acúmulo do escoamento de água. Já o caráter divergente das águas é apresentado em tons quentes, onde a forma convexa-divergente apresenta a máxima dispersão do escoamento (simbolizada em amarelo para representar terrenos que apresentam possivelmente solos mais secos e rasos).

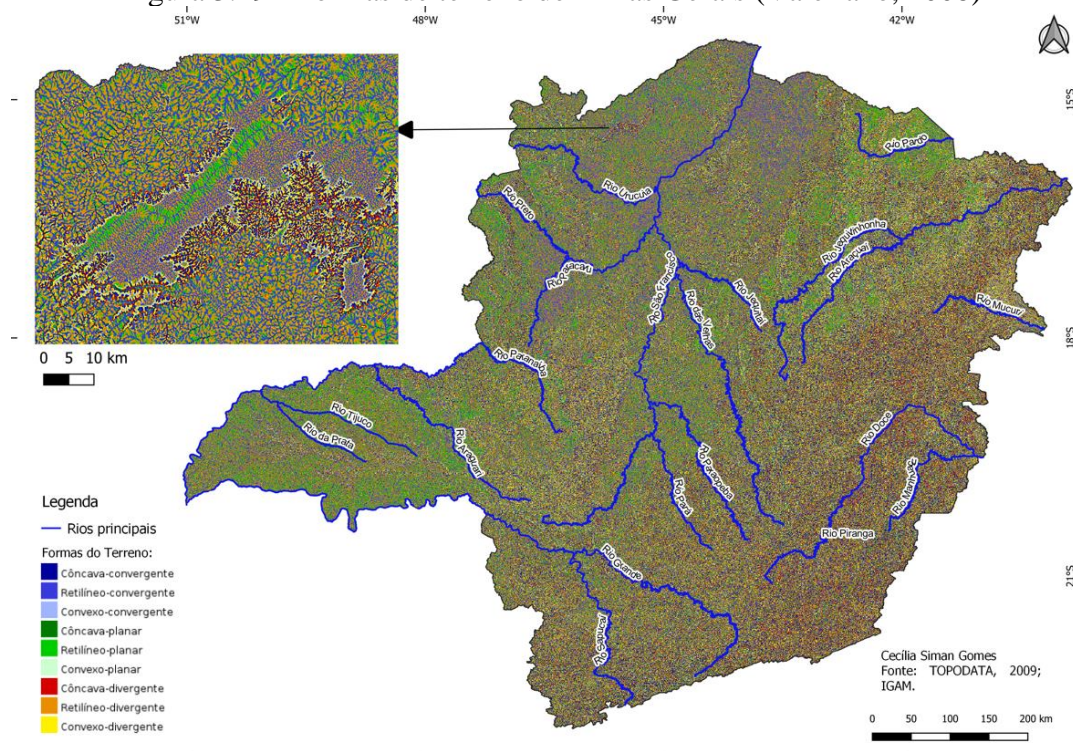
Figura 3.28 - Combinação das curvaturas para caracterização das formas de terreno



Fonte: INPE p.64.

As formas de terreno são derivadas do modelo digital de elevação elaborado a partir da resolução espacial de 90 metros e refinados para 30 metros e obtidas a partir da combinação entre as curvaturas horizontais e verticais. A Figura 3.29 mostra a sua espacialização no território.

Figura 3.29 - Formas de terreno de Minas Gerais (Valeriano, 2008)

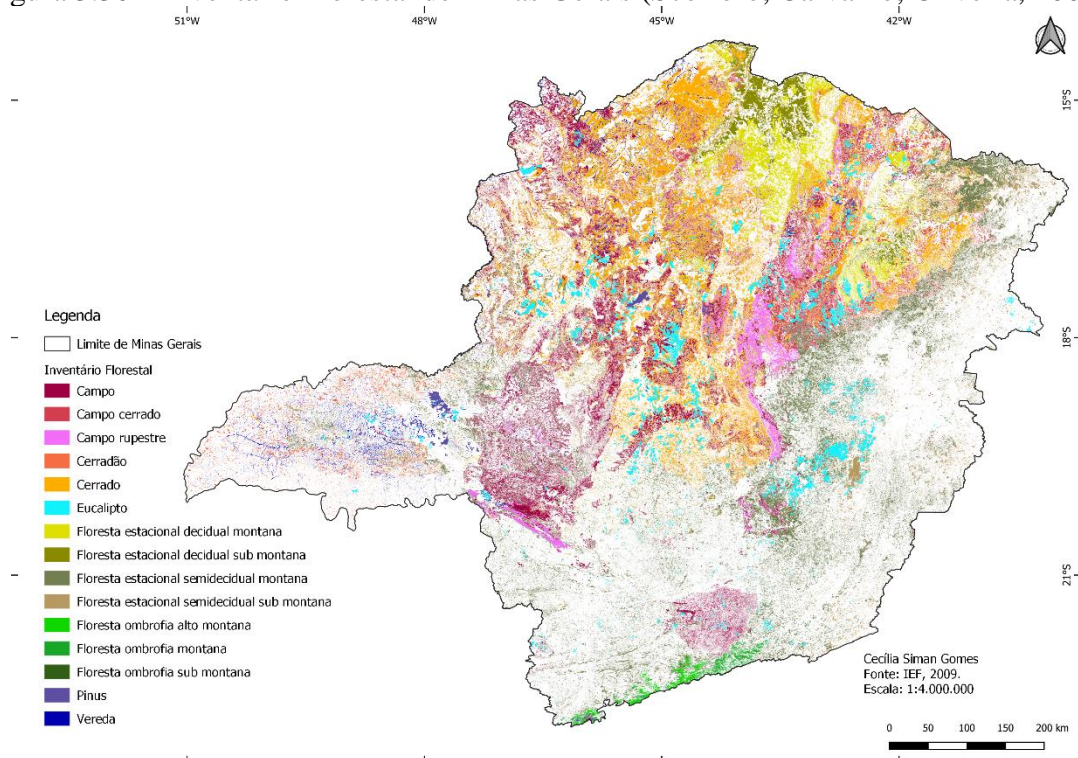


Além disso, para a análise local dos pontos de campo, foi analisada a proximidade com corpos d'água e, quando aplicável, a ordem deste canal. A presença de corpos d'água e a ordem do canal foi feita com bases na hidrografia ottocodificada da Ana e consistida pelo Igam, para Minas Gerais, disponibilizada na Plataforma IDE-Sisema.

Nesse sentido, o intuito de analisar as bases citadas foi tanto levantar, na escala do contexto local de inserção das AUs, os mecanismos de funcionamento hidrológico e as possíveis funções hidrogeomorfológicas, assim como demonstrar, a partir dos exemplos de campo, como as escalas espaciais de análise interagem.

Por fim, ainda para a escala do contexto local, os exemplos de pontos de campo foram avaliados sob as fisionomias do inventário florestal de Minas Gerais (Figura 3.30), a fim de ter uma compreensão mais ampla das características do ambiente.

Figura 3.30 – Inventário Florestal de Minas Gerais (Scolforo; Carvalho; Oliveira, 2008)



3.4 Instrumentos ambientais de gestão territorial e UCs de Proteção Integral

Como uma etapa de classificação das AUs considerou-se essencial classificar as AUs do inventário também em relação à disposição de diversos instrumentos de gestão territorial ambiental legalmente instituídos, a fim de avaliar o padrão e as áreas de distribuição das AUs com maior potencial ecológico, em termos regionais, e em que medida as AUs estão sendo protegidas em relação às UCs (Unidades de Conservação) de Proteção Integral.

Foram selecionadas as UCs de Proteção Integral para avaliar a proteção das AUs pelos seguintes motivos: as UCs de Proteção Integral são áreas de domínio público e que possuem regulamentos específicos para manter sua integridade ecológica.

Sobre as áreas de uso restrito estabelecidas no Código Florestal, não foi identificada a disponibilização de um mapeamento oficial com a delimitação destas áreas durante o período da pesquisa. Cabe destacar que o Código Florestal apresenta regramentos específicos de recomposição e ocupação por atividades agrossilvipastoris em APPs (Áreas de Preservação Permanente), conforme o tamanho do módulo fiscal e o marco temporal de 22 de julho de 2008, que diferencia os usos consolidados de não consolidados. Assim, a recomposição mínima das

APPs depende de outras variáveis. Por outro lado, as APPs podem ser declaradas de interesse social por ato do Chefe do Poder Executivo, mas ainda é um mecanismo pouco utilizado.

Ainda, cabe destacar que diversas AUs de grande relevância hidrológica e ecológica não são ou são parcialmente contempladas pelas leis ambientais. As turfeiras úmidas e os campos de murundus, por exemplo, não apresentam regramentos específicos. Áreas que fazem parte do ecossistema das veredas e milhares de lagoas marginais não estão dentro do limite dos raios de restrição do Código Florestal.

Neste sentido, as UCs de Proteção Integral são instrumentos fundamentais para abarcar a diversidade e a permanência das AUs a longo prazo, já que os governos no âmbito federal, estadual e municipal tem a prerrogativa para planejar e instituir as UCs no território e conectar áreas de maior potencial hidrológico, ecológico e ambiental.

Nesse sentido, considera-se que a disposição das AUs mapeadas no estado, com base no inventário proposto, ao ser analisada sob a ótica das áreas de maior potencial ecológico e ambiental e das UCs de Proteção Integral, é um dos temas centrais da tese para diagnosticar o panorama atual do estado e contribuir com o avanço do conhecimento e fomento das políticas ambientais que visem caracterizar e proteger estes ecossistemas. Os resultados são apresentados no Capítulo 5 - Potencialidade de proteção das AUs.

3.4.1 Classificação por instrumentos ambientais de gestão territorial

Para a definição das áreas potenciais de maior potencial ecológico e ambiental para fins de avaliar a disposição das AUs do inventário, partiu-se da análise conceitual dos principais instrumentos ambientais de gestão territorial ou de política pública que espacializam estas áreas em Minas Gerais. Conforme o MMA:

Os instrumentos de gestão territorial são alternativas para compatibilizar a ocupação humana com a conservação da biodiversidade. Eles visam garantir a sobrevivência e a efetividade das áreas naturais protegidas em consonância com as atividades humanas, por meio de ações no território, envolvendo as UC e seu entorno, outras áreas protegidas e as áreas modificadas pela ação do homem estabelecidas entre elas. Esses instrumentos, quando aplicados no contexto regional, fortalecem a gestão das áreas protegidas, ordenam o território e compatibilizam a presença da biodiversidade, a valorização da sociobiodiversidade e as práticas de desenvolvimento sustentável (MMA⁶).

⁶ <https://antigo.mma.gov.br/areas-protegidas/instrumentos-de-gestao.html>

Os instrumentos de gestão têm relação de maneira direta e especial com os critérios bióticos, uma vez que identificam, no contexto regional, as áreas de maior relevância para conservação ou proteção da biodiversidade e de espécies endêmicas ou ameaçadas de extinção, que, por sua vez, muitas destas tem relação direta ou indireta com os valores funcionais das AUs. Estas áreas também são de elevada importância para a conservação das águas e do patrimônio natural e cultural do estado, ao abrigar importantes cabeceiras de bacias hidrográficas, lagoas marginais e/ou antigas cadeias de montanhas de relevância socioambiental ímpar, fornecendo habitats e/ou alimentos as espécies endêmicas e ameaçadas de extinção.

A ideia central foi que quanto maior a sobreposição de instrumentos que delimitam áreas prioritárias ou que abrigam ecossistemas singulares do ponto de vista da biodiversidade, maior é o potencial para estabelecer a prioridade quanto à adoção de iniciativas governamentais para o mapeamento, caracterização e medidas para a proteção e/ou manejo sustentável das AUs.

Foram selecionados os instrumentos ambientais de gestão territorial pontuados abaixo, cujo objetivo e justificativa de seleção de cada instrumento é apresentado em sequência. Ressalta-se que não se adotou somente um instrumento, pois o objetivo foi sobrepor diferentes estudos para ser uma percepção mais abrangente e diversificada do ambiente, pois seus objetivos, metodologias e/ou equipes técnicas são diversas.

Os instrumentos selecionados foram:

- Áreas prioritárias para conservação – Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2018)
- Áreas prioritárias para conservação – (Drummond *et al.*, 2005)
- Áreas prioritárias para criação de UCs (IDE-Sisema - IEF)
- Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA, 2018)
- Reserva da Biosfera da Caatinga (RBCA, 2015)
- Reserva da Biosfera do Espinhaço (RBSE, 2018)

Áreas prioritárias para conservação

As Áreas Prioritárias para a Conservação, ou Áreas Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição dos Benefícios da Biodiversidade, são um instrumento de política pública que visa embasar o planejamento e a implementação de medidas adequadas à conservação, à recuperação e ao uso sustentável de ecossistemas.

A metodologia de Planejamento Sistemático da Conservação (PSC) se baseia na coleta e o processamento de informações espaciais sobre a ocorrência de espécies e ecossistemas, custos e oportunidades para a conservação, que resulta na construção do mapa das áreas e definição de ações prioritárias para conservação da biodiversidade.

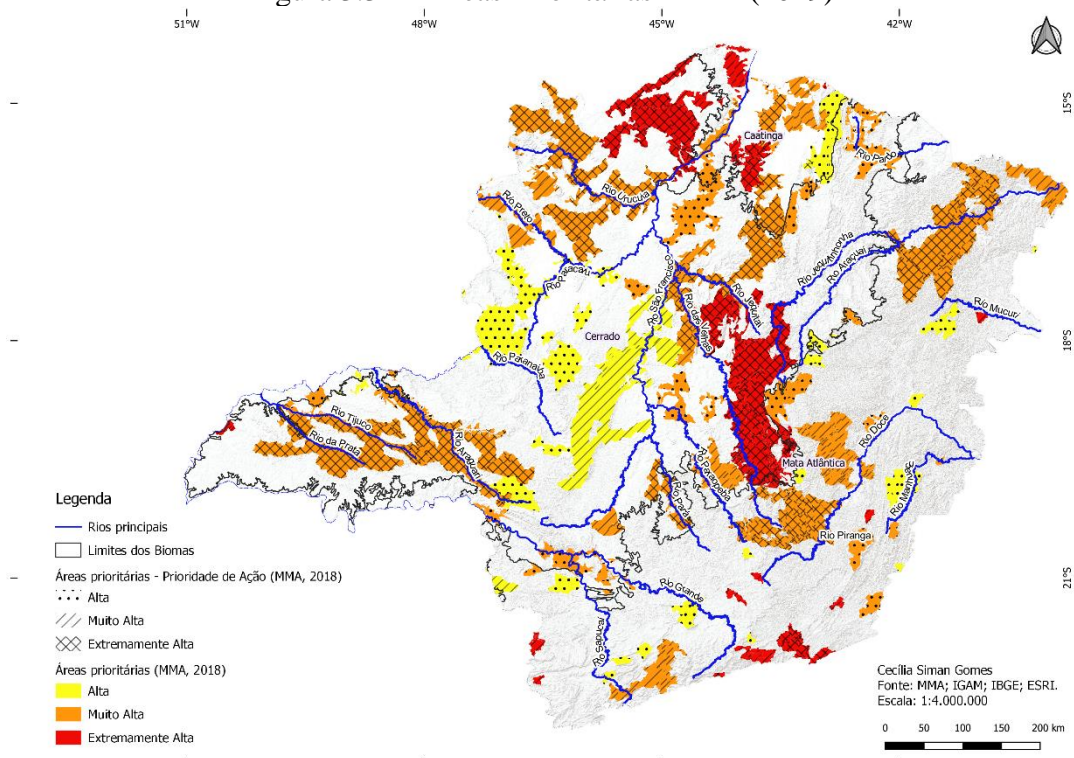
Salienta-se que Áreas prioritárias para Conservação, tanto do governo federal quanto do estado de Minas Gerais, categorizam as áreas mapeadas em diferentes níveis de prioridade para conservação. Contudo, esta diferenciação não foi considerada na tese pelos seguintes motivos: as áreas com as categorias mais altas (categoria extremamente alta do estado do MMA, 2018 e categorias extrema e espaciais de Drummond *et al.*, 2005) centram-se, sobretudo, nas mesmas regiões (Figuras 3.31 e 3.32). Assim, a própria somatória em si dos instrumentos já eleva a tendência de maior potencial destas áreas, não havendo necessidade, portanto, de diferenciar também as categorias no processo de sobreposição.

Em relação às Áreas Prioritárias para Conservação do Ministério do Meio Ambiente (MMA), o MMA publicou, pela primeira vez, em 2004, as áreas e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade. Em 2006 ocorreu a 1ª Atualização, contando com o apoio de diversas instituições e parceiros, cujo processo foi aprovado por meio da Deliberação Conabio nº 39 de 14/12/2005 e reconhecidas pela Portaria nº 9, de 23 de janeiro de 2007, do Ministério do Meio Ambiente. A 2ª Atualização das Áreas e Ações Prioritárias para a Conservação, publicada em 2018, destaca-se pelo avanço e refinamento das informações sobre a distribuição e ocorrência de espécies e ecossistemas utilizados no cálculo da camada de alvos e metas de conservação, provenientes de dados do ICMBIO, pelo aprimoramento das informações espaciais das atividades incompatíveis e oportunidades para a conservação, e pela consulta a especialistas temáticos e ou regionais, resultando em uma delimitação mais precisa e estratégica de áreas e ações prioritárias para a conservação⁷.

A classificação das áreas prioritárias do MMA (2018) em Minas Gerais apresenta as categorias Alta, Muito Alta e Extremamente Alta e é apresentada na Figura 3.31 a seguir. Também são diferenciadas o grau de prioridade para o estabelecimento de ações.

⁷ <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/servicosambientais/ecossistemas-1/conservacao-1/areas-prioritarias>

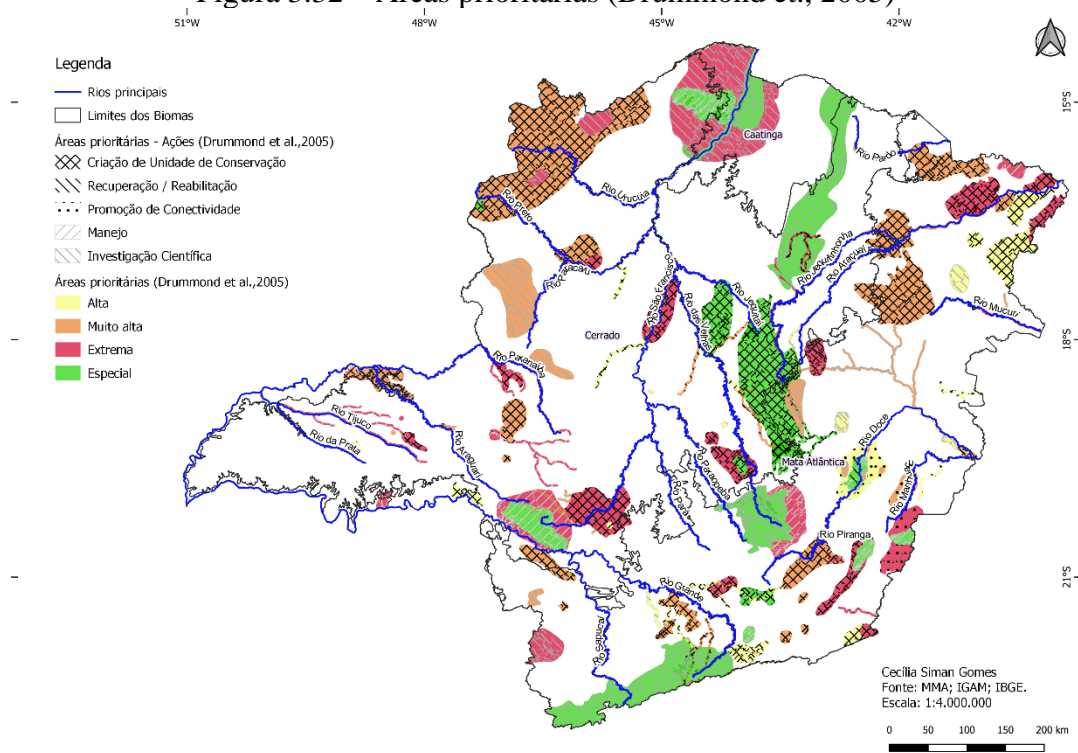
Figura 3.31 – Áreas Prioritárias MMA (2019)



No âmbito do estado, foi utilizada a base das áreas e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade publicada no âmbito do estudo “Biodiversidade Em Minas Gerais: Um Atlas Para Sua Conservação”, de Drummond *et al.*, 2005, tendo em vista que o “Projeto Áreas Prioritárias: Estratégias para a Conservação da Biodiversidade e Ecossistemas de Minas Gerais” (IEF, 2021) ainda não foi legalmente formalizado e sua publicação foi feita sem as bases geoespaciais.

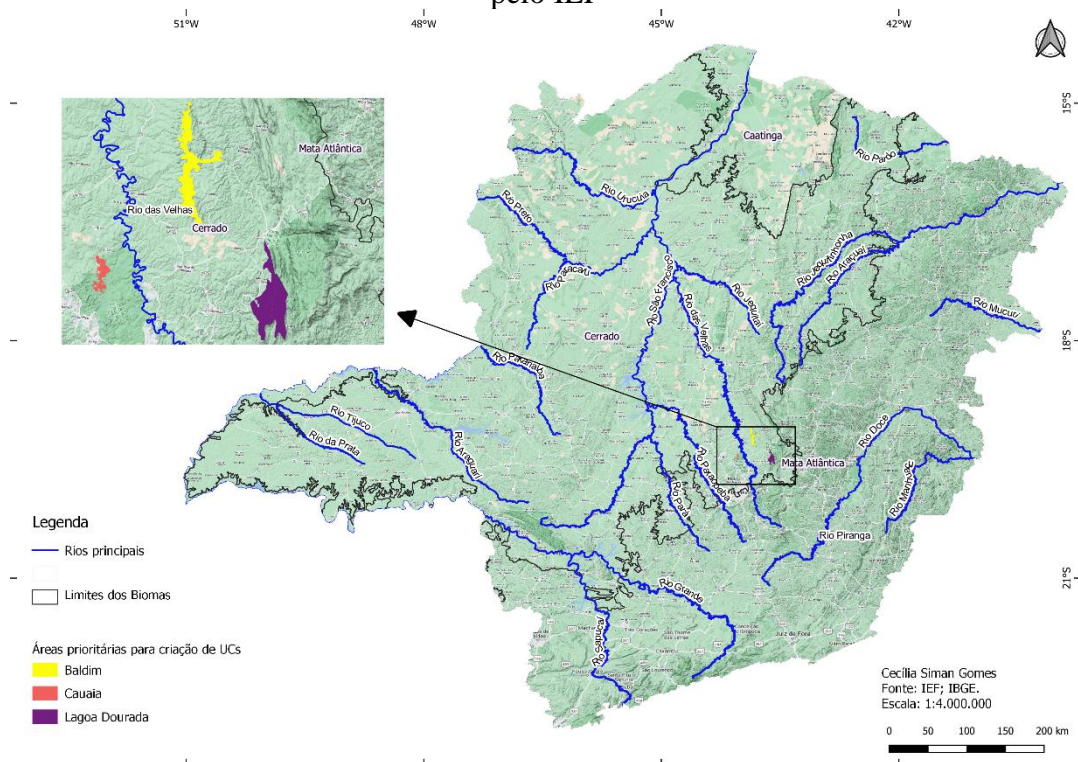
A Figura 3.32 apresenta as áreas prioritárias mais importantes identificadas no estado para a conservação da biodiversidade. São 4 classes (Alta, Muito Alta, Extrema e Especial), sendo que a diferença entre as classes Extrema e Especial se deve: a classe Extrema apresenta apenas um grupo temático especial de incidência, ao passo que a classe Especial apresenta mais de um grupo classificado como especial. Os grupos temáticos são formados pela Flora e os grupos de Fauna (Mastofauna, Avifauna, Herpetofauna e Ictiofauna).

Figura 3.32 – Áreas prioritárias (Drummond et al., 2005)



A Figura 3.33 apresenta a espacialização das áreas prioritárias para formação de Unidades de Conservação (UCs), propostas pelo IEF, sendo definidas três, ao total: Baldin (localizada em áreas dos municípios de Baldin, Jequitibá, Santana de Pirapama e Jaboticatubas), Cauaia (localizada em áreas dos municípios de Matozinhos e Prudente de Moraes) e Lagoa Dourada (localizada em áreas dos municípios de Jaboticatubas, Taquaraçu de Minas e Nova União).

Figura 3.33 – Áreas prioritárias para a criação de Unidades de Conservação (UCs) propostas pelo IEF

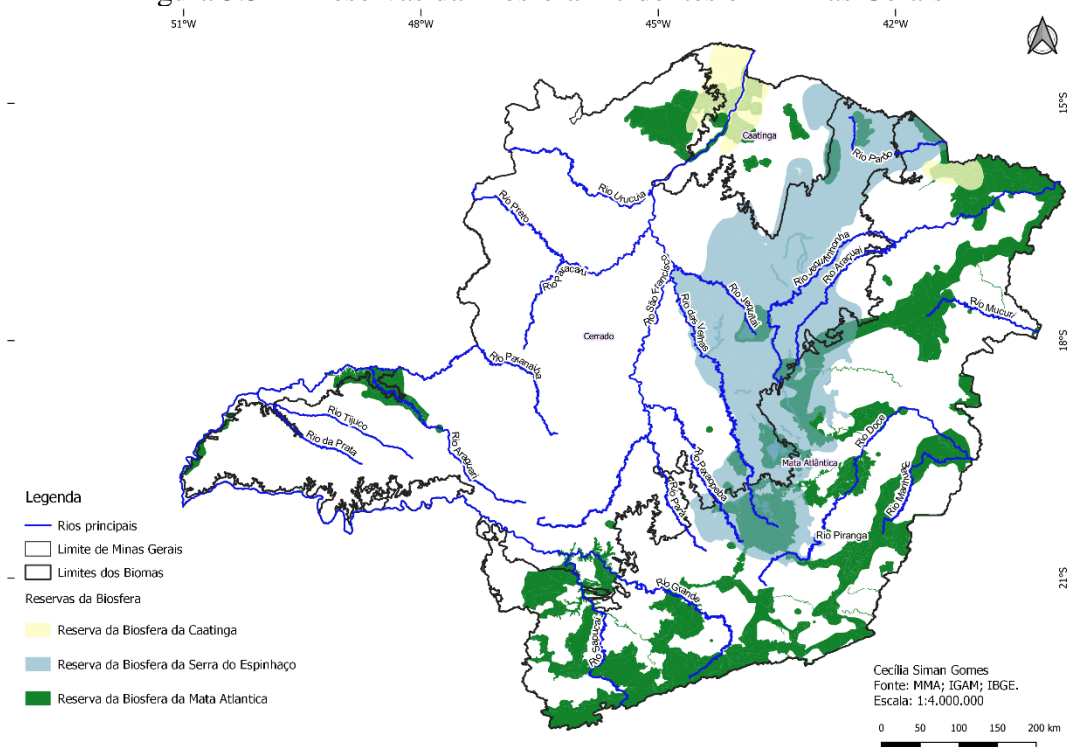


Das Reservas da Biosfera:

Conforme a Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC (Lei nº 9.985/2000), a Reserva da Biosfera é um modelo de gestão integrada, adotado internacionalmente, que tem entre os seus objetivos básicos a preservação da diversidade biológica, o desenvolvimento da pesquisa, o monitoramento e a educação ambiental, o desenvolvimento sustentável e a melhoria da qualidade de vida das populações. Seu gerenciamento é coordenado pela Comissão Brasileira, instituído pelo Decreto nº 4.340/2002, que regulamenta artigos da Lei do SNUC, para o Programa "O Homem e a Biosfera" (MAB) (Cobramab), estabelecido pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura - Unesco, organização da qual o Brasil é membro.

Em Minas Gerais, incidem as Reservas da Mata Atlântica, Caatinga e Espinhaço (Figura 3.34). Cabe salientar que, em agosto 2018, a Comissão Brasileira havia aprovado novos limites da Reserva da Biosfera do Cerrado, incorporando áreas do estado de Minas Gerais. Contudo, a Comissão decidiu pela revisão dos limites, e ainda carece de aprovação pelo governo federal para seu envio à Unesco.

Figura 3.34 – Reservas da Biosfera incidentes em Minas Gerais



Cabe destacar que a Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA) foi instituída pela ação conjunta entre o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e o Conselho Nacional, sendo reconhecida pela Unesco em 1991, com revisão e atualizações pelo Conselho entre 2008 e 2018. Foi a primeira unidade da Rede Mundial de Reservas da Biosfera declarada no Brasil. As funções da RBMA são a conservação da biodiversidade e dos demais atributos naturais da Mata Atlântica, incluindo a paisagem e os recursos hídricos. Apresenta registros de biodiversidade com recordes em torno de 450 espécies de árvores por hectare e mais de 10.000 plantas identificadas. Sua fauna é uma das mais diversas do mundo, incluindo 70% das espécies consideradas ameaçadas no Brasil⁸.

A Reserva da Biosfera da Caatinga (RBCA) foi instituída pela ação conjunta entre o MMA e conselho nacional, sendo reconhecida pela Unesco em 2001 pelo MAB, com revisão e atualizações entre 2011 e 2015 pelo Conselho Nacional da RBCA. A RBCA apresenta altitude de 0 a 600 m, temperatura entre 24°C a 28°C, precipitação média de 250mm a 1000 mm e o déficit hídrico alto durante todo o ano. Por meio das zonas de amortecimento e transição, a

⁸ <https://reservasdabiosfera.org.br/reserva/rb-mata-atlantica/>

RBCA apresenta corredores ecológicos entre as várias zonas núcleo, unindo também as áreas contínuas dos biomas Mata Atlântica e Cerrado⁹.

A Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço (RBSE) foi criada em 2005 através do programa MAB, e com revisão e atualizações consistidas pelo Comitê Gestor Estadual da RSBE entre 2015 e 2018. Compreende aspectos biogeográficos das regiões do Quadrilátero Ferrífero e da Serra do Espinhaço e é uma das maiores produtoras de água nas principais bacias hidrográficas brasileiras que deságuam em direção ao Oceano Atlântico. É uma área que apresenta Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica, com ocorrência destacada de Campos Rupestres, que foram um rico mosaico de comunidades vegetais que dependem das características únicas do local (relevo, da natureza do substrato e microclima local). Estudos florísticos atuais estimam que existam entre 2.000 e 3.000 espécies com endemismo e cerca de 350 espécies ameaçadas de extinção¹⁰.

Considerando o exposto, as Reservas da Biosfera foram considerados importantes instrumentos para delimitar as áreas de maior relevância ecológica e ambiental do estado, dentro de uma perspectiva regional.

União e classificação dos dados:

As bases de áreas prioritárias para conservação, criação de UCs e reservas da biosfera (um total de seis bases geoespaciais) foram unidas no QGIS por meio da ferramenta *Geoprocessing Tools > Union*, e as áreas foram classificadas da seguinte forma: 1 instrumento; 2 instrumentos; 3 instrumentos; 4 instrumentos; 5 ou mais instrumentos. Considerou-se que quanto maior a quantidade de instrumentos incidentes sobre a área, maior é o potencial de relevância da área.

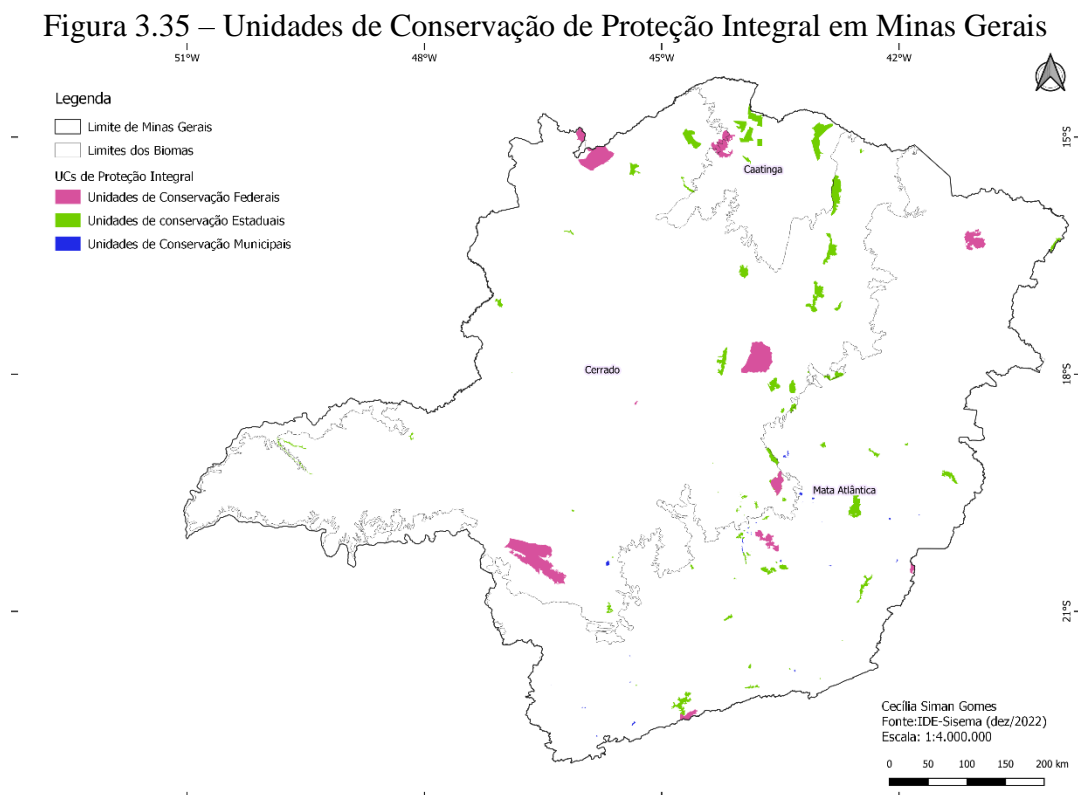
3.4.2 Disposição das UCs de Proteção Integral

As bases geoespaciais das UCs de Proteção Integral (municipais, estaduais e federais) incidentes em Minas Gerais foram extraídas da Plataforma Ide-Sisema e sua espacialização pode ser visualizada na Figura 3.35 abaixo. Após a extração, as bases foram unidas por meio

⁹ <https://reservasdabiosfera.org.br/reserva/rb-caatinga/>

¹⁰ <https://reservasdabiosfera.org.br/reserva/rb-serra-do-espinhaco/>

da ferramenta *Geoprocessing Tools* > *Union*. Em sequência, por meio da mesma ferramenta, esta base foi unida com a base de instrumentos de gestão, para facilitar a análise dos resultados.



3.5 Análise dos resultados

A partir da definição e espacialização das classes de cada parâmetro biohidrogeomorfológico para a classificação das AUs, em seus diferentes níveis escalares espaciais, foram conduzidas as etapas seguintes.

Para cada parâmetro do Nível 1 e 2 da classificação biohidrogeomorfológica, foram calculadas as áreas e percentuais de ocorrência de cada classe (Nível 1 e Nível 2) em relação à área do estado, assim como as áreas e percentuais resultantes do cruzamento de uma mesma variável/parâmetro do Nível 1 e Nível 2, a partir da concatenação de diferentes campos.

Salienta-se que objetivo inicial foi, primeiro, avaliar a distribuição espacial das classes de cada parâmetro e sua representatividade no estado. Considerando a relevância ímpar de analisar as AUs dentro do seu contexto de inserção, como já discutido, a classificação do território de Minas Gerais foi um passo fundamental na construção do método proposto de classificação das AUs. A análise da distribuição das classes de cada parâmetro, além de

acompanhada de tabelas e gráficos, foi acompanhada figuras com a espacialização dos resultados.

Para o cálculo das áreas e percentuais de ocorrência de cada classe, dado o grande volume de dados, foram testados, inicialmente, diferentes métodos no QGIS para calcular as áreas das classes de cada parâmetro a fim de definir uma única forma como padrão de cálculo, evitando assim, diferentes margens de erros. O método selecionado foi transformar o *shapefile* para a Projeção de Albers, ideal para o cálculo de grandes áreas na América do Sul, e fazer, primeiramente, o *dissolve* por meio do processamento em lote (*Vector > Geoprocessing Tools > Dissolve > Run as single process*). Foram dissolvidas as seguintes categorias:

- **Para o Nível 1: G1, A1, P1 e B1**, resultando, portanto, em 4 bases dissolvidas, onde **G** representa o parâmetro geomorfológico, o **A** os aquíferos, o **P** pluviosidade e o **B** biomas;
- **Para o Nível 2: G2, A2, DH2 e E2**, resultando, portanto, em 4 bases dissolvidas, onde **G** representa a geomorfologia, o **A** aquíferos, o **DH** déficit hídrico, o **E** ecorregiões;
- **Principais combinações: N1, N2, N1N2, G12, A12 e P1DH2**, resultando, portanto, em 6 bases dissolvidas, onde N1 representa o Nível 1 (ou seja, cruzamento espacial das variáveis do nível 1A), o N2 representa o Nível 2 (ou seja, cruzamento espacial das variáveis do nível 2), o N1N2 (cruzamento do N1 com N2), G12 a combinação da geomorfologia dos níveis 1 e 2; A12 a combinação dos aquíferos dos níveis 1 e 2; P1DH2 a combinação das variáveis climáticas dos níveis 1 e 2.

Em relação às combinações, cabe destacar que não foram feitos cruzamentos entre o B1 (biomas) e o E2 (ecorregiões), tendo em vista, conforme foi apresentado, que as ecorregiões já diferenciam os biomas. Além disso, outras combinações foram feitas entre os parâmetros e, também, com outras variáveis da base de geodiversidade, que serviram como subsídio para a analisar os resultados produzidos e/ou calibrar a própria classificação proposta.

Após a individualização das unidades de cada categoria apresentada a partir da ferramenta dissolve, prosseguiu-se com o cálculo das áreas, através da Calculadora de Campo (*Field Calculator*). Com as áreas geradas, o arquivo *shapefile* foi salvo também em *excel* para a produção de tabelas e gráficos. Estes dados, juntamente com a espacialização dos resultados no QGIS, foram fundamentais para compreender e analisar as características

biohidrogeomorfológicas do estado sua distribuição espacial, dentro de classificação padronizada e multiescalar.

Em sequência, foi feito um **cruzamento do inventário de AUs com a base da classificação biohidrogeomorfológica** do território de Minas Gerais (ambas bases na projeção de Albers), por meio da ferramenta *Vector > Geoprocessing Tools > Intersection*. A partir da interseção, foram gerados novos campos na base, resultantes das seguintes combinações/concatenações: TG1, TG2, TA1, TA2, TP1, TDH2, TB1, TE2, TN1, TN2 e TN1N2, onde T representa a tipologia da AU. A partir das concatenações, foram gerados os *dissolves* dos campos para depois o cálculo das áreas e transformação para excel, para elaboração de tabelas e gráficos.

Contudo, considerando que a maior parte do mapeamento de AUs do inventário enquadra-se em veredas ou não apresenta uma tipologia identificada, para não fragmentar demasiadamente as análises dos resultados, o enfoque da classificação pautou-se na análise da distribuição das AUs nas classes de cada parâmetro e nas combinações resultantes, e não nas tipologias, que necessitam de mapeamentos detalhados e futuras pesquisas. Nesse sentido, as tipologias foram citadas de forma qualitativa, no contexto aplicável a análise.

O **objetivo central da análise** das AUs nos níveis 1 e 2 em relação aos parâmetros e suas unidades (**Capítulo 4, subcapítulos 4.1 a 4.4**) foi: identificar as áreas e percentuais de AUs que incidem em cada unidade de cada parâmetro; verificar quais são as classes onde predomina a ocorrência de AUs e a representatividade/distribuição desta classe em relação ao estado; como que cada classe influencia ou determina a ocorrência de AUs e/ou pode imprimir características específicas de identificação, manutenção e/ou funcionamento da AU; quais são as características das AUs a partir da combinação das unidades de um mesmo parâmetro nos níveis 1 e 2 (AUs com G12, A12, P1DH2 e E2, visto que E2 já é a combinação dos biomas com os campos rupestres e mata seca). Além disso, quando foram verificadas inter-relações muito nítidas entre diferentes parâmetros, estas foram consideradas na análise nos resultados, pois o objetivo foi, justamente, demonstrar as relações existente entre as variáveis que imprimem determinadas características no meio e, por sua vez, nas AUs. Claramente, existe uma forte relação entre geomorfologia-hidrogeologia e climatologia-bioma-ecorregião e que, quando estas relações se complementam, permitem uma avaliação mais completa do contexto e das AUs presentes.

Após a análise considerando-se os parâmetros, foi feita uma análise da classificação das AUs em relação às principais classes do N1 e N2 e das classes resultantes da combinação

(N1N2) das AUs (**Capítulo 4, subcapítulos 4.5 a 4.7**). Foram estabelecidos recortes específicos para a análise e ilustração. Para o N1 e N2, o recorte das classes foi a representação daquelas que abrangeram ao menos 1.000 ha (10 km²) de AUs, que corresponderam à 96,6% do inventário das AUs no N1 e 92,2% do inventário das AUs no N2. Para a combinação N1N2 foram feitos recortes específicos para ilustrar o panorama das classes de AUs em diferentes contextos do estado. O Anexo 1 apresenta as principais classes resultantes do cruzamento a partir do mesmo recorte espacial de igual ou acima de 1.000 ha de AUs do inventário e abrangeu 90% das AUs do inventário.

A **classificação de exemplos de AUs**, sobretudo com AUs mapeadas em campo, foi feita nos níveis 1,2 e 3 (**Capítulo 4, subcapítulo 4.8**). O objetivo foi, além de ilustrar e validar a classificação proposta, demonstrar como a ferramenta possibilita um conhecimento de forma padronizada e sistematizada das AUs de Minas Gerais, e como os resultados da classificação permitem alcançar uma visão geral regionalizada das AUs de modo menos fragmentado e mais integrado ao seu contexto de ocorrência

Ao todo, foram estruturados 7 exemplos na forma de figuras com diversas informações. Todos os exemplos acompanhados de perfis topográfico-geológico, com recortes de imagem Google Earth e o tipo de sistema aquífero (A1- Parâmetro Hidrogeológico do Nível 1). Sobre o perfil, foram indicadas as áreas de ocorrência das AUs e aquelas que apresentam fotos foram numeradas e classificadas nos níveis 1, 2 e 3. Quando necessário, foram pontuadas observações, como ambiente de transição entre biomas etc.

Ressalta-se que a maioria das fotos é de AUs identificadas durante os **trabalhos de campo do doutorado**, realizados em 2019 e 2020, sendo que:

- Em 2019, as visitas ocorreram na região de Pirapora e Buritizeiro e em áreas do domínio da Serra do Espinhaço, no Parque Estadual da Serra do Cipó, na divisa de Jaboticatubas e Santana do Riacho, e Lapinha da Serra, em Santana do Riacho.
- Em 2020, foram feitas visitas na região da APA Carste de Lagoa Santa, avistando a Lagoa do Sumidouro, no Parque Estadual do Sumidouro, e AUs no município de Matozinhos.

Após esta etapa, prosseguiu-se com a interseção da base do inventário (já resultante do cruzamento com a base de classificação) com a base dos instrumentos de gestão e UCs. A partir da interseção, foram geradas concatenações entre os campos de números de instrumentos (nos campos nulos colocou-se antes zero) e as AUs, gerando a classificação em 5 classes de instrumentos:

- 1 instrumento
- 2 instrumentos
- 3 instrumentos
- 4 instrumentos
- 5 ou mais instrumentos.

Além disso, foi feita a concatenação das AUs com o campo de presença de UCs de Proteção Integral e a concatenação da tipologia com UC e instrumentos de gestão. O objetivo desses cruzamentos foi avaliar a disposição, as áreas e percentuais das AUs em relação aos instrumentos de gestão e/ou as UCs de Proteção Integral.

Com base na análise dos dados, foi problematizado as AUs em relação aos instrumentos de gestão e discutido se UCs de proteção integral estão abarcando a diversidade de ecossistemas de AUs. A **análise das AUs no contexto dos instrumentos de gestão e das UCs de Proteção Integral** encontra-se no **Capítulo 5, subcapítulo 5.1**.

Por fim, no **subcapítulo 5.2**, foram indicadas e discutidas **áreas potenciais** para aprofundar nos estudos das AUs e/ou mesmo para se delimitar novas áreas de preservação ou manejo sustentável de ambientes que contém AUs com maior potencial de relevância ambiental, a fim preservar estes ecossistemas, suas funções, biodiversidade e seus serviços ecossistêmicos. Este subcapítulo dialogou com os demais capítulos da tese e trouxe novas informações, como decorrentes de impactos sobre estes ecossistemas no estado. Cabe destacar que as áreas potenciais delimitadas foram elaboradas dentro de um panorama regional do estado, assim, seus limites não tiveram como objetivo serem fechados; pelo contrário, foram indicativos da presença de potencialidades para conservação ambiental.

Nesse sentido, os **capítulos 4 e 5 apresentam os resultados das análises**, sendo o Capítulo 4 referente à classificação biohidrogeomorfológica das AUs no contexto de Minas Gerais e o Capítulo 5 as potencialidades de proteção das AUs no contexto dos instrumentos de gestão territorial e da análise das unidades de conservação, com a indicação de áreas potenciais

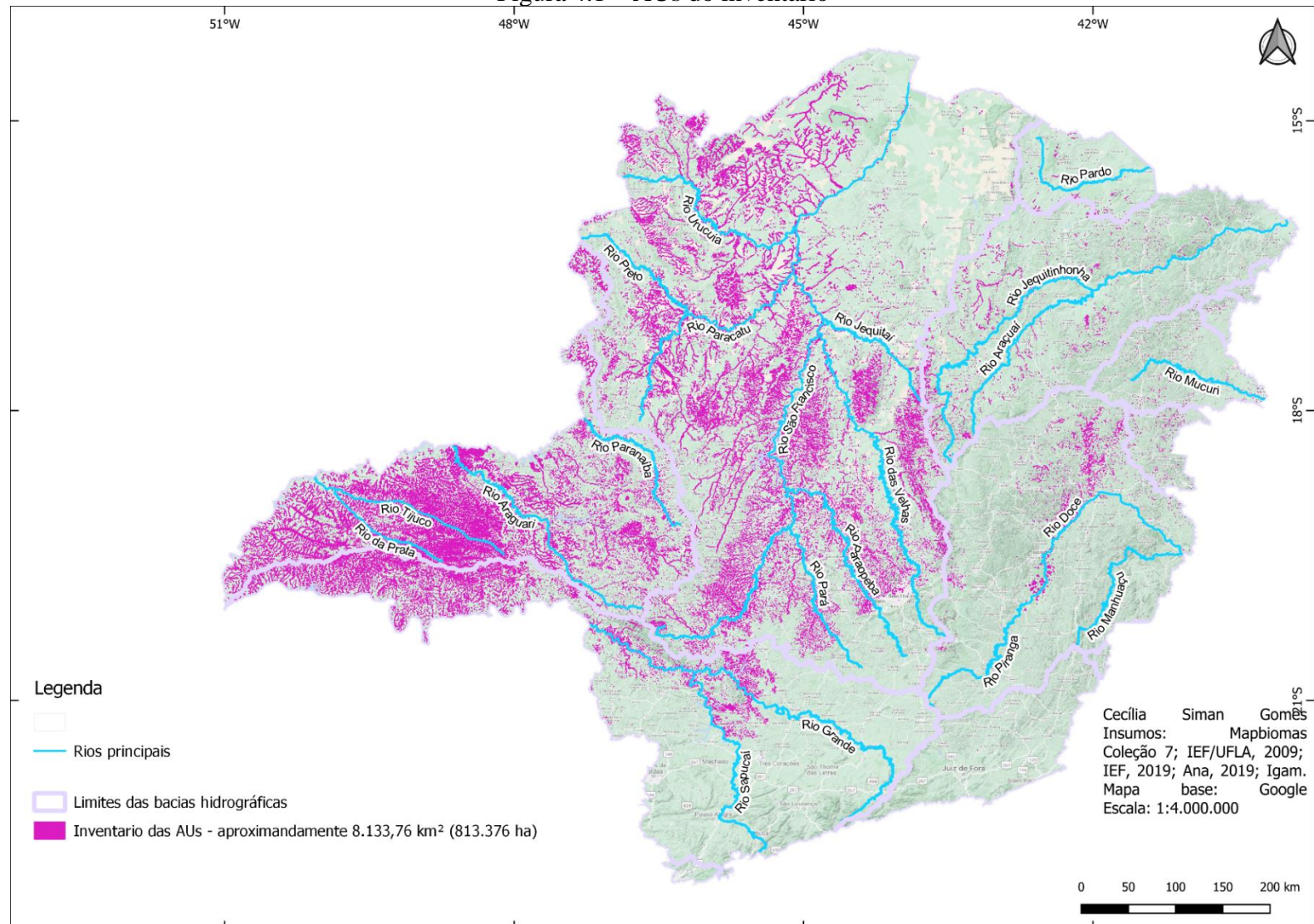
de maior relevância de AUs para a preservação ou manejo sustentável. Cabe destacar que em alguns momentos podem ser verificadas pequenas variações decimais na área total resultante do cruzamento da base do inventário com a da classificação biohidrogeomorfológica e instrumentos de gestão, o que é natural dado grande volume de dados e diferentes recortes espaciais.

Já o **capítulo 6** de considerações finais, retoma o objetivo central da tese, apresentando, de forma resumida, a estrutura da classificação e os resultados que o desenvolvimento da proposta de classificação, associada ao inventário de AUs, possibilitou em termos de caracterização e análise das AUs e da indicação de áreas potenciais para sua proteção, no contexto regional. Também são apresentadas as principais limitações da pesquisa e que podem servir como pontos futuros de melhorias a partir, sobretudo, de desenvolvimento de bases e mapeamentos mais detalhados. Como pontos centrais das considerações finais são apresentadas as contribuições teóricas e práticas da tese e as sugestões e recomendações futuras para avançar tanto no conhecimento, classificação e inventário de AUs, por meio de pesquisas científicas e no contexto das políticas públicas, como na implementação de instrumentos e normativas que abordem as AUs, considerando sua diversidade física e biológica, suas funções, seus tipos e a sua natureza integrada ao ambiente para um planejamento e uma gestão territorial que incorpore a conservação, restauração e a manutenção dos ecossistemas e dos seus valores funcionais.

4 CLASSIFICAÇÃO BIOHIDROGEOMORFOLÓGICA DAS AUS NO CONTEXTO DE MINAS GERAIS

A seguir são apresentados e discutidos os resultados da classificação biohidrogeomorfológica das AUs no contexto de Minas Gerais. A Figura 4.1 mostra uma visão geral da distribuição das AUs do inventário no estado ($\cong 8.133,76 \text{ km}^2$), como contextualização ao leitor.

Figura 4.1 – AUs do inventário



4.1 Parâmetro Geomorfológico

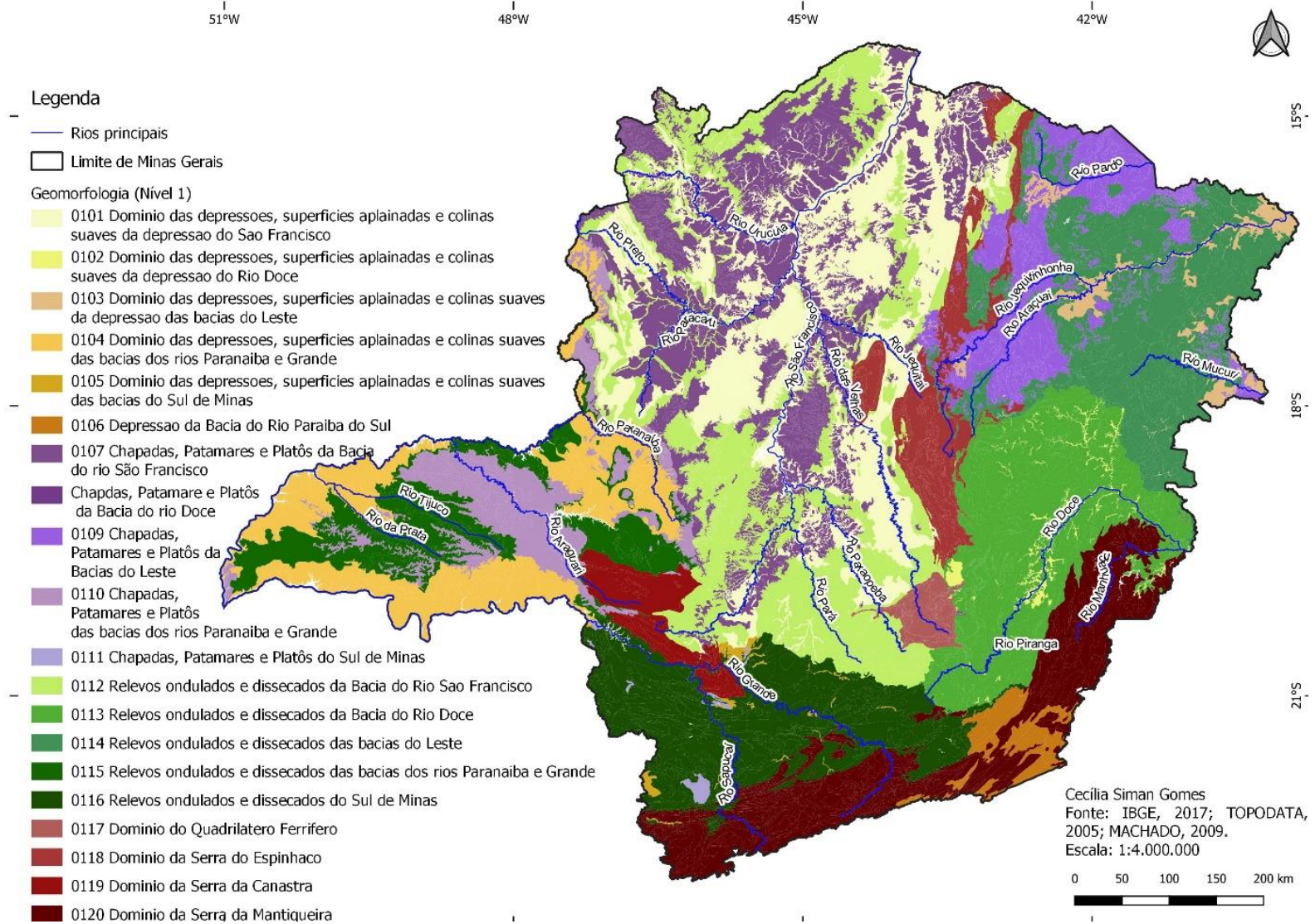
4.1.1 Nível 1: Domínios Geomorfológicos

Em Minas Gerais, o parâmetro G1 (Nível 1 – Geomorfologia) é representado por 20 Domínios Geomorfológicos. A Tabela 4.1 apresenta a área e o percentual de ocorrência de cada domínio no estado e a Figura 4.2 sua espacialização no estado.

Tabela 4.1 – Distribuição dos domínios geomorfológicos em Minas Gerais

Agrupamentos e domínios geomorfológicos	km2 Domínio	% Estado
Depressões	122.271,49	21%
0101 Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da depressão do São Francisco	70.108,24	12%
0102 Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da depressão do Rio Doce	2.976,37	1%
0103 Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da depressão das bacias do Leste e do Rio Pardo	7.320,77	1%
0104 Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	34.009,45	6%
0105 Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias do Sul de Minas	1.551,81	0%
0106 Depressão da Bacia do Rio Paranaíba do Sul	6.304,85	1%
Superfícies elevadas e topos suaves	130.197,66	22%
0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	74.645,18	13%
0108 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio Doce	66,41	0%
0109 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias do Leste e do rio Pardo	31.005,81	5%
0110 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande	23.472,05	4%
0111 Chapadas, Patamares e Platôs do Sul de Minas	1.008,22	0%
Relevos ondulados e dissecados	252.138,07	43%
0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	71.692,30	12%
0113 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio Doce	50.806,39	9%
0114 Relevos ondulados e dissecados das bacias do Jequitinhonha e do rio Pardo	56.654,86	10%
0115 Relevos ondulados e dissecados das bacias dos rios Paranaíba e Grande	26.199,49	4%
0116 Relevos ondulados e dissecados do Sul de Minas	46.785,03	8%
Relevos serranos	78.305,54	13%
0117 Domínio do Quadrilátero Ferrífero	4.595,21	1%
0118 Domínio da Serra do Espinhaço	21.512,01	4%
0119 Domínio da Serra da Canastra	10.007,95	2%
0120 Domínio da Serra da Mantiqueira	42.190,37	7%
Total Geral	582.912,76	100%

Figura 4.2 –Parâmetro Geomorfológico Nível 1 - Domínios Geomorfológicos no contexto de Minas Gerais



Considerando a Tabela 4.1, o agrupamento das “Depressões” (código **0101 a 0106**) é formado por um conjunto de relevos planos, suaves ou suavemente ondulados rebaixados em relação ao relevo circundante, modelados em rochas variadas. Este agrupamento corresponde a cerca de 21% do território de Minas Gerais e a maioria concentra-se na bacia do São Francisco e, em sequência, nas bacias dos rios Paranaíba e Grande. Por outro lado, são praticamente inexpressivas no Sul de Minas (Tabela 4.1). Este agrupamento forma os seguintes domínios (Figura 4.2):

- 0101 Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da depressão do São Francisco
- 0102 Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da depressão do Rio Doce
- 0103 Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da depressão das bacias do Leste
- 0104 Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande
- 0105 Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias do Sul de Minas
- 0106 Depressão da Bacia do Rio Paraíba do Sul

Já o agrupamento das “Superfícies Elevadas e Topos Suaves” (**0107 a 0111**, Tabela 4.1) envolve os domínios das Chapadas, Patamares e Platôs, que são formados por formas de relevo de topo plano, assentados em rochas sedimentares (arenitos, siltitos e sedimentos arenosos, quando comparados com os domínios (A1). Essas formas são, em geral, limitadas por escarpas e, também, por relevos constituindo superfícies intermediárias entre áreas chapadas, serras ou relevos dissecados, e depressões. Estas superfícies intermediárias estão assentadas, sobretudo, sobre aquíferos detríticos ou detrítico-lateríticos. Neste domínio, destaca-se as bacias do rio São Francisco, bacias do Leste e do rio Pardo e Paranaíba e Grande (Tabela 4.1). Este agrupamento ocupa, em média, 22% da área do estado, e forma os seguintes domínios (Figura 4.2):

- 0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco
- 0108 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio Doce
- 0109 Chapadas, Patamares e Platôs das Bacias do Leste e do rio Pardo
- 0110 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande

- 0111 Chapadas, Patamares e Platôs do Sul de Minas

O agrupamento de "Relevos Ondulados e Dissecados" forma o maior conjunto no estado (43 % da área) (**0112 a 0116**). Corresponde, principalmente, a superfícies planálticas, onde os processos de erosão superam os de sedimentação. Nos planaltos, é comum que as feições se caracterizem por domínios de colinas dissecadas e morros e serras baixas. Este é o grupo predominante nas porções do São Francisco, Jequitinhonha e rio Pardo, Doce e Sul de Minas. O agrupamento é formado pelos seguintes domínios (Figura 4.2):

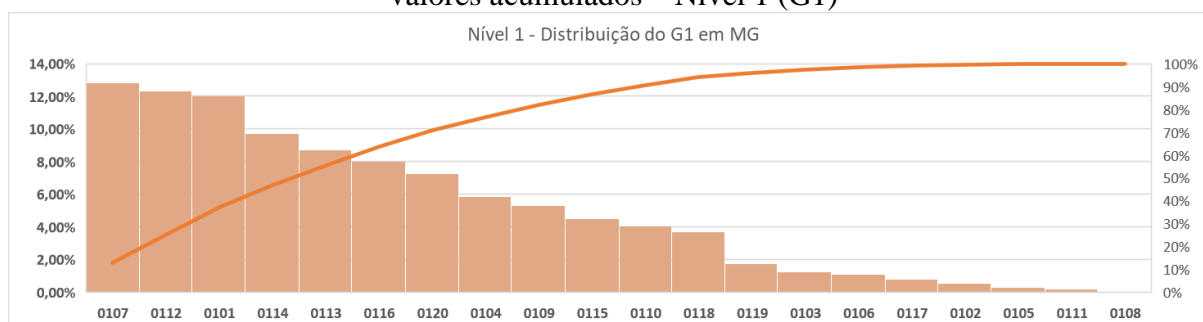
- 0112 Relevo ondulado e dissecado da Bacia do Rio São Francisco
- 0113 Relevo ondulado e dissecado da Bacia do Rio Doce
- 0114 Relevo ondulado e dissecado das bacias do Jequitinhonha e do rio Pardo
- 0115 Relevo ondulado e dissecado das bacias dos rios Paranaíba e Grande
- 0116 Relevo ondulado e dissecado do Sul de Minas

Por fim, o agrupamento de "Relevos Serranos" (**0117 a 0120**) corresponde, em média, a 13% do estado, englobando os relevos mais elevados e escarpados, modelados em diferentes tipos de litologias. Os domínios formam importantes divisores de bacias hidrográficas e dão origem a nascentes dos principais rios do estado (Figura 4.1). Conforme a Figura 4.2, este é o grupo predominante no sul e sudeste de Minas Gerais, com a Serra da Mantiqueira (**0120**), nas bacias do Grande, Paranaíba do Sul e do rio Doce, formando os modelados mares de morro sobre rochas cristalinas; o Quadrilátero Ferrífero (**0117**) e a Serra do Espinhaço (**0118**) abrangendo as bacias do rio São Francisco e, secundariamente, do Jequitinhonha, e modelados, sobretudo, em rochas metassedimentares e metavulcânicas; e a Serra da Canastra (**0119**) abrangendo as bacias do Paranaíba e Grande, e formando divisores com a bacia do São Francisco (Figura 4.2). O agrupamento engloba os seguintes domínios:

- 0117 Domínio do Quadrilátero Ferrífero
- 0118 Domínio da Serra do Espinhaço
- 0119 Domínio da Serra da Canastra
- 0120 Domínio da Serra da Mantiqueira

Em termos de distribuição de cada domínio e seus valores acumulados (Gráfico 4.1), observa-se que as Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco (0107), os Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco (0112), as Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da bacia do São Francisco (0101), já formam um acumulado de quase 40% dos domínios presentes. Tal fato se deve ao tamanho da bacia no estado. Contudo, observa-se que há uma distribuição relativamente homogênea de suas áreas (Gráfico 4.1). Com base no Gráfico 4.1, observa-se que os domínios dos relevos ondulados e dissecados das bacias do Jequitinhonha e do rio Pardo (0114), da bacia do Rio Doce (0113) e do Sul de Minas (0116) seguem em sequência, formando um acumulado de quase 70% com os domínios acima. Logo em sequência, destaca-se o domínio da Mantiqueira (0120), representando quase 6% do estado. As três unidades menos representativas no estado são os domínios das Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio Doce (0108), as Chapadas, Patamares e Platôs do Sul de Minas (0111) e o Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias do Sul de Minas (0105). Observa-se que a porção centro-sul de Minas (Figura 4.2) é dominada pelos Relevos ondulados e dissecados do Sul de Minas (0116), que são, basicamente, os planaltos dissecados de formação cristalina, formando colinas e morros. Já mais ao sul e sudeste do estado, ocorre os mares de morro da Serra da Mantiqueira (1020).

Gráfico 4.1 - Distribuição percentual dos Domínios Geomorfológicos em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 1 (G1)



Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da depressão: 0101 São Francisco; 0102 Rio Doce; 0103 bacias do Leste e do Rio Pardo; 0104 das bacias dos rios Paranaíba e Grande; 0105 Sul de Minas; 0106 Depressão da Bacia do Rio Paraiba do Sul; **Chapadas, patamares e platôs** 0107 São Francisco; 0108 Doce; 0109 Leste e do rio Pardo; 0110 bacias dos rios Paranaíba e Grande; 0111 Sul de Minas; **Relevos ondulados e dissecados** 0112 São Francisco; 0113 Doce; 0114 Jequitinhonha e do rio Pardo; 0115 Paranaíba e Grande; 0116 Sul de Minas; **Domínios** 0117 Quadrilátero Ferrífero; 0118 Serra do Espinhaço; 0119 Serra da Canastra; 0120 Serra da Mantiqueira

Em termos de **distribuição das AUs** do inventário em relação aos domínios geomorfológicos, a Tabela 4.2 apresenta os quantitativos em área e percentual de ocorrência de AUs em cada domínio geomorfológico do nível 1 (G1) e seu percentual relativo em relação à

área de cada domínio no estado, assim como dos agrupamentos em “Depressões”, “Superfícies Elevadas e Topos Suaves”, “Relevos Ondulados e Dissecados” e “Relevos Serranos”.

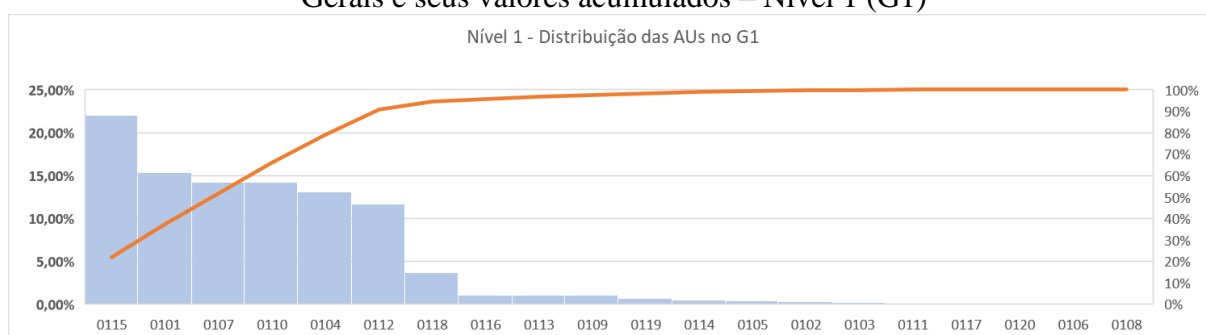
Tabela 4. 2 - Distribuição das AUs nos Domínios Geomorfológicos em Minas Gerais

Geomorfologia Nível 1 - Domínios do G1	AUs – área em km ²	% de ocorrência de AUs	Area em km ² de cada domínio do G1	% de ocorrência AUs em cada domínio do G1
<i>Depressões</i>	2.389,09	29,4%	122.271,49	2,0%
0101 Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da depressão do SF	1.248,05	15,34%	70.108,24	1,8%
0102 Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da depressão do Rio Doce	29,5	0,36%	2.976,37	1,0%
0103 Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da depressão das bacias do Leste e do Rio Pardo	15,3	0,19%	7.320,77	0,2%
0104 Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	1.062,76	13,07%	34.009,45	3,1%
0105 Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias do Sul de Minas	33,39	0,41%	1.551,81	2,2%
0106 Depressão da Bacia do Rio Paraíba do Sul	0,09	0,00%	6.304,85	0,0%
<i>Superfícies elevadas e topos suaves</i>	2.409,30	29,6%	130.197,66	1,9%
0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	1.161,05	14,27%	74.645,18	1,6%
0108 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio Doce	0,01	0,00%	66,41	0,0%
0109 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacias do Leste e do rio Pardo	84,74	1,04%	31.005,81	0,3%
0110 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande	1.156,87	14,22%	23.472,05	4,9%
0111 Chapadas, Patamares e Platôs do Sul de Minas	6,63	0,08%	1.008,22	0,7%
<i>Relevos ondulados e dissecados</i>	2.968,01	36,5%	252.138,07	1,2%
0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	951,5	11,70%	71.692,30	1,3%
0113 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio Doce	88,18	1,08%	50.806,39	0,2%
0114 Relevos ondulados e dissecados das bacias do Jequitinhonha e do rio Pardo	43,68	0,54%	56.654,86	0,1%
0115 Relevos ondulados e dissecados das bacias dos rios Paranaíba e Grande	1.795,35	22,07%	26.199,49	6,9%
0116 Relevos ondulados e dissecados do Sul de Minas	89,3	1,10%	46.785,03	0,2%
<i>Relevos serranos</i>	367,36	4,5%	78.305,54	0,5%
0117 Domínio do Quadrilátero Ferrífero	1,79	0,02%	4.595,21	0,0%
0118 Domínio da Serra do Espinhaço	305,04	3,75%	21.512,01	1,4%
0119 Domínio da Serra da Canastra	60,24	0,74%	10.007,95	0,6%
0120 Domínio da Serra da Mantiqueira	0,29	0,00%	42.190,37	0,0%
Total Geral	8.133,76	100%	582.912,76	-

A fim de se facilitar a visualização e análise da distribuição dos resultados da Tabela 4.2, o Gráfico 4.2 permite verificar, além da distribuição percentual de ocorrência das AUs em

cada domínio geomorfológico em Minas Gerais, os valores acumulados. Por sua vez, o Gráfico 4.3 apresenta o percentual relativo de AUs em relação à área de cada domínio no estado. Ou seja, em qual o percentual de área ocupada por AUs em relação à área de cada domínio.

Gráfico 4.2 - Distribuição percentual das AUs nos Domínios Geomorfológicos em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 1 (G1)



Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da depressão: 0101 São Francisco; 0102 Rio Doce; 0103 bacias do Leste e do Rio Pardo; 0104 das bacias dos rios Paranaíba e Grande; 0105 Sul de Minas; 0106 Depressão da Bacia do Rio Paraíba do Sul; **Chapadas, patamares e platôs** 0107 São Francisco; 0108 Doce; 0109 Leste e do rio Pardo; 0110 bacias dos rios Paranaíba e Grande; 0111 Sul de Minas; **Relevos ondulados e dissecados** 0112 São Francisco; 0113 Doce; 0114 Jequitinhonha e do rio Pardo; 0115 Paranaíba e Grande; 0116 Sul de Minas; **Domínios** 0117 Quadrilátero Ferrífero; 0118 Serra do Espinhaço; 0119 Serra da Canastra; 0120 Serra da Mantiqueira

Considerando a Tabela 4.2 e o Gráfico 4.2, verifica-se que 22,07 % das AUs mapeadas estão no domínio dos Relevos ondulados e dissecados do Paranaíba e Grande (0115). Em sequência, variando entre 15 e 11%, estão, em ordem decrescente, o Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da depressão do São Francisco (0101) (15,34 %); as Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco (0107) (14,27 %); as Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande (0110) (14,22 %); os Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande (0104) (13,07%); e os Relevos Ondulados e Dissecados da Bacia do Rio São Francisco (0112) (11,70 %). A somatória das classes equivale a mais de 95% das AUs mapeadas (Gráfico 4.2). Em sequência, segue o domínio da Serra do Espinhaço (0118), com 3,75 % das AUs.

Com base nos resultados de distribuição das AUs, pode-se tecer as seguintes considerações:

- Maior ocorrência absoluta de AUs em áreas de Relevos ondulados e dissecados (36,5%), com destaque para as bacias do Paranaíba e Grande, que concentram 22,07%;
- A maior ocorrência de AUs em “Relevos Ondulados e Dissecados” (36,5%) coincide com áreas de concentração de veredas nas bacias do Paranaíba, Grande e São Francisco.
- As “Superfícies Elevadas e Topos Suaves” (29,6%), que formam o segundo maior agrupamento de ocorrência de AUs (praticamente equivalente ao das depressões), também se

deve, principalmente, a ocorrência de veredas e chapadões nos aquíferos areníticos (domínio de aquíferos – A1), em especial, nas bacias do São Francisco e Paranaíba e Grande, com distribuição relativamente semelhante (Tabela 4.1). Já em termos de distribuição relativa, observa-se que as Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande (**0110**) concentram uma maior quantidade de AUs (4,9%) que a do São Francisco (1,6%), mostrando que outros fatores ambientais, ou a associação destes, favorecem uma maior ocorrência de AUs (Tabela 4.2; Gráfico 4.3);

- O agrupamento das “Depressões” também apresenta, do total das AUs inventariadas (29,4%), um percentual de ocorrência semelhante ao agrupamento das superfícies elevadas e topos suaves, sendo os domínios predominantes nas bacias do São Francisco (15,34%) e Paranaíba e Grande (13,07%) Já em termos relativos, o domínio das depressões do Paranaíba e Grande concentra 3,1% de AUs do total de sua área, seguindo do Domínio das depressões do Sul de Minas (**0105**) (2,2%) e, em sequência, do São Francisco (**0101**) (1,8%) e Doce (**0102**) (1%) (Tabela 4.1; Gráfico 4.3);

- Em termos relativos, considerando, a área total dos agrupamentos de domínios e a área total de ocorrência das AUs do inventário em cada agrupamento (Tabela 4.1), observa-se que as Depressões apresentam maior percentual relativo de ocorrência (2%), seguindo das Superfícies elevadas e topos suaves (1,9%) e dos Relevos ondulados e dissecados (1,2%) e, por último, das regiões serranas (0,5%).

Em “Relevos Serranos”, destaca-se a Serra da Mantiqueira com baixa ocorrência de AUs, mesmo sendo um domínio extenso. Neste sentido, a geologia do embasamento cristalino e a morfologia parecem não favorecer a formação de AUs. Ademais, as extensas áreas de Mata Atlântica dificultam a identificação de possíveis AUs.

O Gráfico 4.3 apresenta a distribuição percentual das AUs pelos grandes agrupamentos de domínios e o Gráfico 4.4 apresenta o percentual relativo de AUs em relação à área de cada Domínio Geomorfológico. Pode-se observar que, nos modelados de serra, o domínio do Espinhaço é o que mais favorece a ocorrência de AUs. Cabe destacar o papel das turfeiras no Espinhaço, que formam nascentes difusas e a recarga hídrica de diversos cursos d’água na região (Campos, 2014; Gonçalves *et al.*, 2022). As AUs estão associadas, no Espinhaço, principalmente à unidade geomorfológica das formas montanhosas e às ecorregiões do cerrado com presença de campos rupestres.

Gráfico 4.3 – Distribuição percentual de AUs em relação aos grandes agrupamentos de domínios geomorfológicos

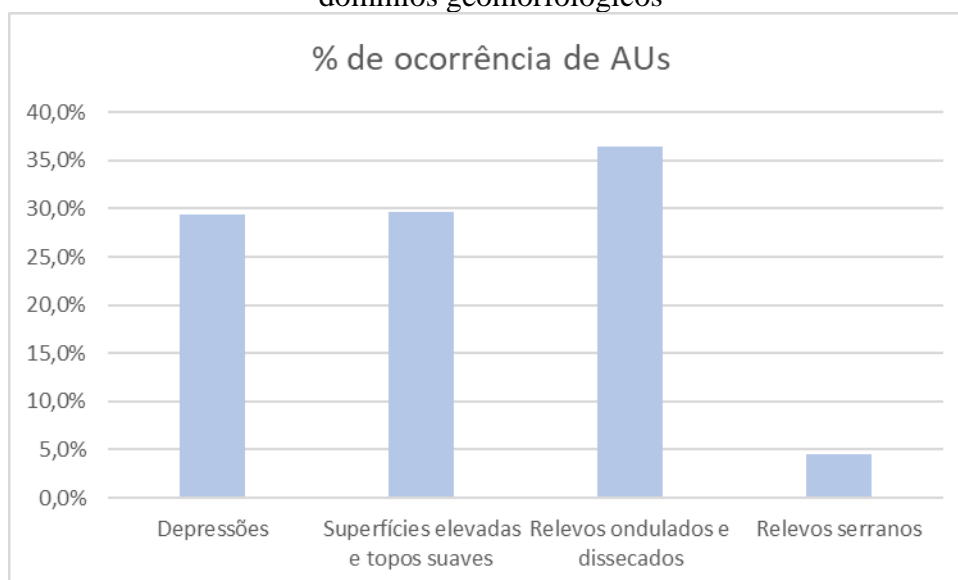
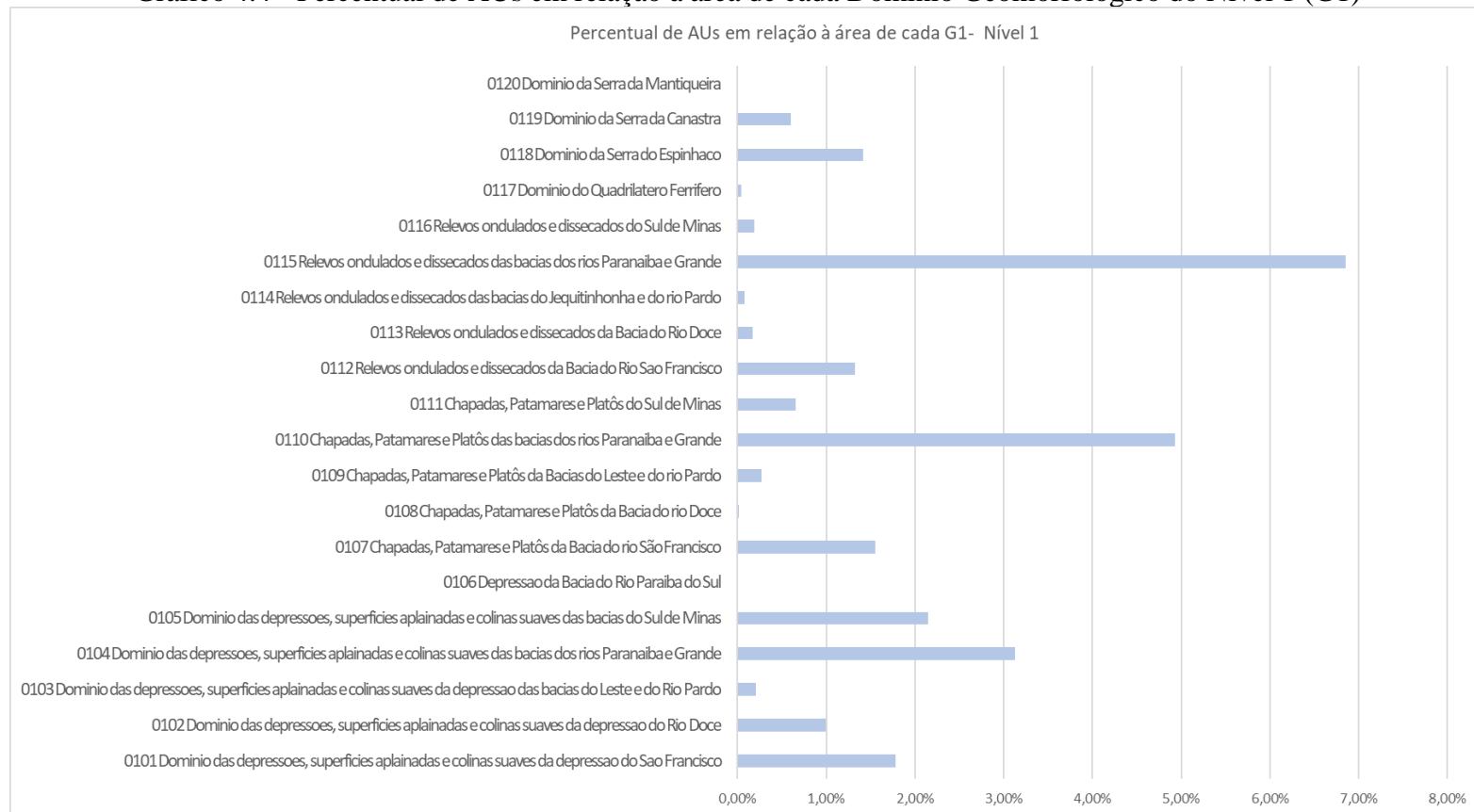


Gráfico 4.4 - Percentual de AUs em relação à área de cada Domínio Geomorfológico do Nível 1 (G1)



A Figura 4.3 apresenta a distribuição das AUs do inventário nos agrupamentos dos domínios geomorfológicos. Optou-se por esta representação, tendo em vista que são 20 domínios geomorfológicos.

Nesse sentido, e considerando a Figura 4.3, pode-se dizer que há uma necessidade de ampliação do mapeamento nos domínios situados no sul, sudeste, leste e nordeste do estado, no domínio do bioma da Mata Atlântica (subcapítulo 4.4). Tal fato se deve, possivelmente, à dificuldade de mapeamento de AUs por sensoriamento remoto em áreas preservadas de Mata Atlântica, ao fato do estado já apresentar mapeamentos de veredas, e ao próprio contexto geológico marcado pelas rochas do embasamento cristalino (subcapítulo 4.2), que não favorece a ocorrência de AUs alimentadas por águas subterrâneas, por serem rochas com baixo potencial hídrico. Já a baixa ocorrência de AUs no norte do estado se deve, em grande medida, à menor pluviosidade (subcapítulo 4.3), que condiciona a Caatinga (subcapítulo 4.4) e as poucas AUs.

Neste sentido, pode-se dizer que há grande ocorrência de AUs no estado formando veredas nos agrupamentos das “Superfícies Elevadas e Topos Suaves” e dos “Relevos Ondulados e Dissecados”; e AUs associadas a áreas de acumulação de água, nas “Depressões”, como em planícies fluviais, e em áreas deprimidas como em relevos cársticos.

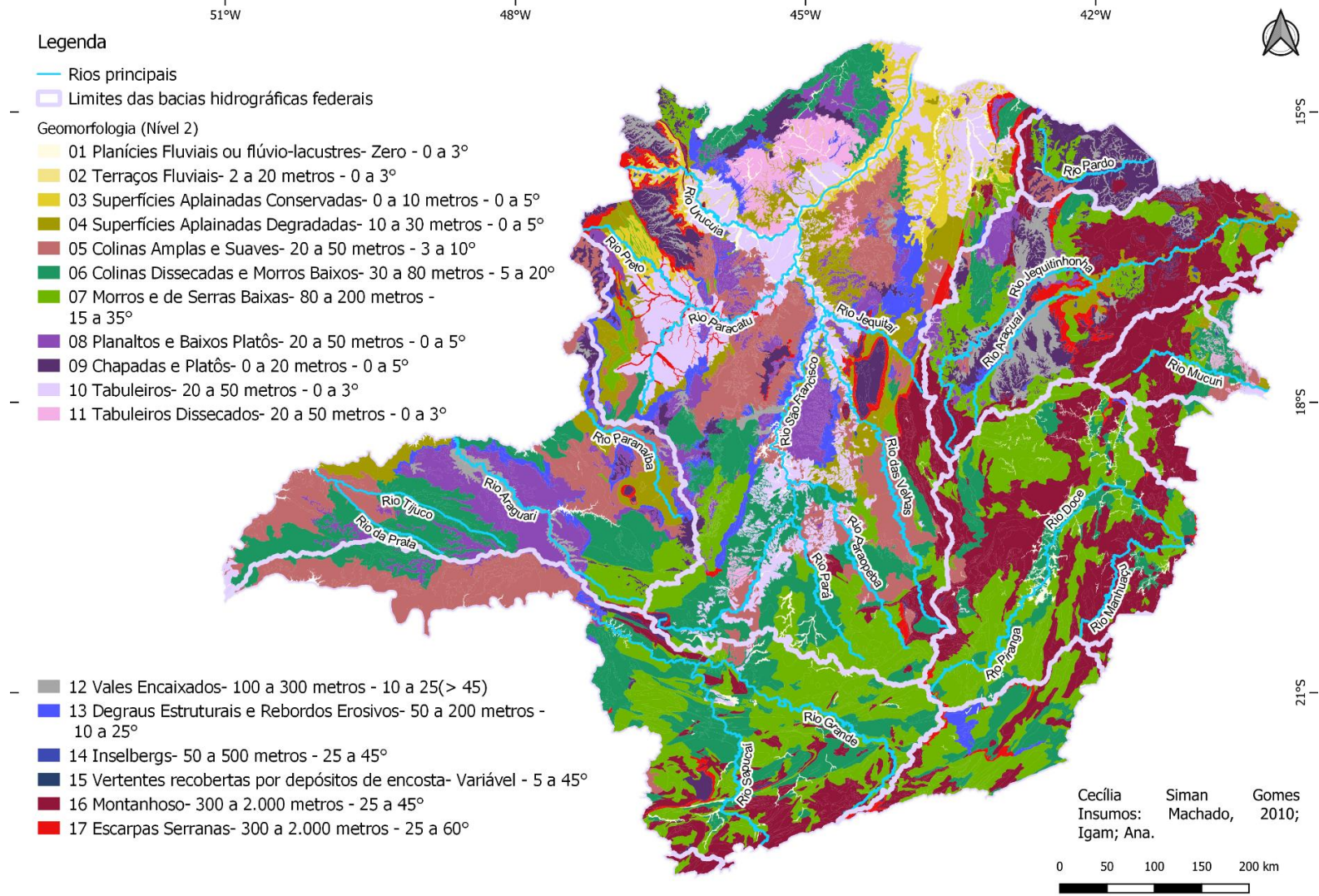
4.1.2 Nível 2: Unidades Geomorfológicas

O parâmetro G2 (Nível 2 – Geomorfologia) é representado por 17 Unidades Geomorfológicas, que representam um agrupamento predominante de formas de relevo. A Tabela 4.3 apresenta a área e o percentual de ocorrência de cada unidade e a Figura 4.4 sua espacialização.

Tabela 4.3 – Distribuição das unidades geomorfológicas em Minas Gerais

Unidades geomorfológicas	km² Unidade	% Estado
01 Planícies Fluviais ou fluviolacustres- Zero - 0 a 3°	10.137,25	1,7%
02 Terraços Fluviais- 2 a 20 metros - 0 a 3°	717,72	0,1%
03 Superfícies Aplainadas Conservadas- 0 a 10 metros - 0 a 5°	14.118,67	2,4%
04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°	29.496,64	5,1%
05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	62.812,71	10,8%
06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	96.400,66	16,5%
07 Morros e de Serras Baixas- 80 a 200 metros - 15 a 35°	110.417,22	18,9%
08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	37.257,64	6,4%
09 Chapadas e Platôs- 0 a 20 metros - 0 a 5°	34.208,17	5,9%
10 Tabuleiros- 20 a 50 metros - 0 a 3°	37.819,78	6,5%
11 Tabuleiros Dissecados- 20 a 50 metros - 0 a 3°	9.769,40	1,7%
12 Vales Encaixados- 100 a 300 metros - 10 a 25(>.45)	15.300,05	2,6%
13 Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos- 50 a 200 metros - 10 a 25°	16.859,48	2,9%
14 Morros residuais- 50 a 500 metros - 25 a 45°	516,12	0,1%
15 Vertentes recobertas por depósitos de encosta- Variável - 5 a 45°	55,44	0,0%
16 Montanhoso- 300 a 2.000 metros - 25 a 45°	93.978,61	16,1%
17 Escarpas Serranas- 300 a 2.000 metros - 25 a 60°	13.047,23	2,2%
Total	582.912,78	100,0%

Figura 4.4 –Parâmetro Geomorfológico Nível 2 – Unidades Geomorfológicas no contexto de Minas Gerais



Com base em Machado (2010), e nos percentuais de área de ocorrência no estado apresentados na Tabela 4.3 e sua espacialização no território (Figura 4.4), as unidades geomorfológicas são descritas a seguir considerando-se suas formas de relevo, declividade e amplitude dos topos, percentual e áreas de maior ocorrência no estado e sua relação com os domínios geomorfológicos (parâmetro geomorfológico - G1). Quando foi verificada uma maior correspondência espacial com o parâmetro hidrogeológico (parâmetro geomorfológico - G1), este também foi considerado na descrição.

- **01 Planícies Fluviais ou fluviolacustres - Zero - 0 a 3°:** São planícies inundáveis com morfologia plana ou suave (inclinação entre 0-3° e amplitude nula) e formadas pelas inundações periódicas marginais de corpos d'água; estão sempre associadas a corpos d'água naturais e/ou artificiais, permanentes ou temporários. São zonas de acumulação atual compostas por depósitos de textura variável, formando substratos em aquíferos granulares aluvionares. As áreas mapeadas ocupam apenas 1,7% do estado, mas os percentuais variam em função das escalas adotadas. O mapeamento realizado mostra maior concentração de AUs nas bacias dos rios São Francisco (1%) e Doce (0,4%).
- **02 Terraços Fluviais - 2 a 20 metros - 0 a 3°:** São sistemas deposicionais fluviais inativos localizados em fundos de vales, em cotas acima do nível das inundações sazonais. São zonas de acumulação subatual com formas planas a suaves. Os depósitos apresentam textura variada e geralmente são bem drenados. A amplitude de relevo varia entre 2 e 10 m e a inclinação das vertentes de 0 a 3°. Ocorrem de forma localizada nas bacias do São Francisco e, secundariamente, do Rio Doce e correspondem a 0,1% da área do estado, na escala do mapeamento.
- **03 Superfícies Aplainadas Conservadas- 0 a 10 metros - 0 a 5°:** São superfícies planas a levemente onduladas, que representam fragmentos de formas geradas por eventos de desnudação que podem envolver processos mecânicos e/ou geoquímicos. São formas com amplitude de relevo muito baixa, entre 0 e 10 m, e inclinação de vertentes que variam de 0 a 5°. Apresentam, geralmente, solos rasos e pedregosos. Os processos de erosão laminar são expressivos. Ocupam cerca de 2,4% do território e estão localizadas em quase toda a sua totalidade no Domínio das depressões superfícies aplainadas e colinas suaves da depressão do São Francisco. Em termos de bacias hidrográficas, predominam nas dos rios Preto, Urucuia e médio São Francisco – norte do estado, sobretudo, em aquíferos carbonáticos.

- **04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°:** Assim como a unidade anterior, as Superfícies aplainadas degradadas são geradas por processos de desnudação. São extensas formas suavemente onduladas, com amplitude de topo podendo chegar a 30 m e baixas declividades, não formando, assim, ambiente colinoso. Ocupam cerca de 5,1% do território e estão localizadas sobretudo, no contexto das grandes depressões do estado, especialmente do São Francisco, Paranaíba, Jequitinhonha e, mais pontualmente, na depressão Sul de Minas e Serra do Espinhaço.
- **05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°:** São formas pouco dissecadas, com vertentes convexas e topos amplos, de morfologia tabular ou alongada, sendo mais comuns em rochas sedimentares. Apresentam planícies aluviais relativamente amplas, amplitude de relevo entre 20 a 50 m e inclinação de vertentes entre 3 e 10°. Esta unidade é marcada por intensos processos de pedogênese, com ocorrência limitada de processos de erosão laminar ou linear acelerada. Rampas de colúvio são geralmente formadas nas baixas vertentes. Esta unidade de formas de relevo ocupa em torno de 10,8% da área do estado e está presente em todos os domínios das depressões e, de forma pontual, no Quadrilátero Ferrífero e na Serra do Espinhaço. As formas são modeladas, sobretudo, em aquíferos areníticos e aquíferos siltico-argilosos e, secundariamente, em rochas metassedimentares e metavulcânicas.
- **06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°:** São formas dissecadas, com vertentes convexo-côncavas e topos arredondados ou aguçados. O sistema de drenagem principal forma planícies aluviais restritas, por vezes em vales estreitos. A amplitude de relevo varia de 30 a 80 m e inclinação de vertentes de 5-20°. São comuns os solos espessos e bem drenados. Os processos de erosão laminar e linear acelerada são frequentes. Rampas de colúvio são geralmente formadas nas baixas vertentes. Esta unidade ocupa uma área expressiva do estado, em torno de 16,5% (segunda maior ocorrência), abrangendo os relevos ondulados e dissecados das bacias dos rios São Francisco, Jequitinhonha, Pardo, Paranaíba e Grande.
- **07 Morros e de Serras Baixas- 80 a 200 metros - 15 a 35°:** São elevações dissecadas com topos arredondados ou aguçados e, menos frequentemente, topos tabulares e planos. O sistema de drenagem principal forma planícies aluviais restritas. A amplitude de relevo varia de 80 a 200 m e a inclinação das vertentes entre 15-35°. Ocorrem solos pouco espessos em terrenos declivosos, com destaque para depósitos coluviais nas

baixas vertentes. Os processos de erosão laminar e linear acelerada são frequentes. Correspondem à 18,9% da área do estado, sendo o domínio predominante. Este padrão de relevo predomina nos relevos ondulados e dissecados em sistemas aquíferos de rochas metassedimentares e metavulcânicas e nos domínios serranos dos sistemas aquíferos do embasamento cristalino. Nos domínios das depressões, ocorre somente na bacia do rio Paraíba do Sul.

- **08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°:** São formas de relevo ligeiramente mais elevadas que os terrenos adjacentes, com topos planos a suavemente ondulados. Apresentam formas tabulares ou colinas muito amplas, com dissecção fluvial variada em franco processo de entalhamento. A amplitude de relevo varia entre 0 e 50 m e a inclinação de vertentes entre 0-5°. São formas mais comuns em rochas sedimentares e, secundariamente, cristalinas. Ocorrem nos domínios das Chapadas, Patamares e Platôs (com destaque para as bacias Paranaíba e Grande, São Francisco e Jequitinhonha) e, de forma pontual, em alguns domínios serranos (Espinhaço e Canastra). Correspondem à 6,4% da área do estado.
- **09 Chapadas e Platôs- 0 a 20 metros - 0 a 5°:** Constituem superfícies tabulares com formas planas ou aplainadas, não ou pouco dissecadas. Apresentam rebordos delimitados por escarpas erosivas. A amplitude de relevo varia de 0 a 20 m e as declividades são quase nulas. Correspondem a 5,9% da área do estado e ocorrem, principalmente nas bacias dos rios Jequitinhonha, Pardo e São Francisco.
- **10 Tabuleiros- 20 a 50 metros - 0 a 3°:** São formas de relevo extensas e suavemente dissecadas, com gradientes suaves, topos planos e alongados e vertentes retilíneas. A amplitude de relevo varia de 20 a 50 m, com inclinações entre 0-3°. Localmente, podem existir vertentes com inclinações entre 10-25°. Os tabuleiros ocorrem principalmente em rochas sedimentares pouco litificadas, e com solos espessos. Estas formas ocorrem associadas aos domínios das chapadas, patamares e platôs, majoritariamente, do São Francisco, e quase a totalidade apresenta coberturas detríticas ou detrítico-lateríticas (0202). Ocupam em torno de 6,5% da área do estado.
- **11 Tabuleiros Dissecados- 20 a 50 metros - 0 a 3°:** São formas tabulares dissecadas por uma densa rede de drenagem, com topos planos alongados, vertentes retilíneas e declivosas. Ocorrem, sobretudo, em sistemas aquíferos areníticos. Correspondem a cerca de 1,7% da área do estado e ocorrem nos Domínios das chapadas, patamares e

platôs do São Francisco e das bacias do Leste. Ocorrem associados aos vales encaixados na bacia do Mucuri (formação barreiras)

- **12 Vales Encaixados- 100 a 300 metros - 10 a 25 (>.45):** São vales fortemente encaixados nos domínios das Chapadas, Patamares e Platôs, nas bacias do Jequitinhonha, Mucuri (Formação Barreiras), Pardo, São Francisco e Araguari, na bacia do Paranaíba. As vertentes são predominantemente retilíneas a côncavas, fortemente sulcadas, declivosas (principalmente entre 10 a 25°, mas podendo ultrapassar 45°) e com frequentes depósitos coluviais. Apresentam drenagem principal em franco processo de entalhamento, gerando amplitudes entre 100 e 300 m. Este padrão de relevo indica dinâmica da rede de drenagem com fortes *inputs* de energia para o encaixamento, resultando em intensa morfodinâmica das encostas que explica a presença de solos rasos e atuação marcante de erosão laminar e movimentos de massa. Correspondem a cerca de 2,6% da área do estado.
- **13 Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos- 50 a 200 metros - 10 a 25°:** São formas acidentadas, declivosas e topos levemente arredondados, com frequentes depósitos coluviais. Exibem sistema de drenagem principal em franco processo de entalhamento, com encostas sendo marcadas por solos rasos e processos de erosão laminar e movimentos de massa. A amplitude de relevo está entre 50 e 200 m e a inclinação de vertentes entre 10 e 25°. Ocorrem associados, principalmente, aos domínios Chapadas, Patamares e Platôs. Correspondem a cerca de 2,9% da área do estado.
- **14 Morros residuais- 50 a 500 metros - 25 a 45°:** Formas de relevo residuais isoladas, destacadas no relevo aplainado. Apresentam amplitude de relevo entre 50 e 200 m, inclinação das vertentes entre 25 e 45° e ocorrência de paredões rochosos subverticais. Não ocupam área expressiva no estado, predominando nos domínios ondulados e dissecados das bacias dos rios São Francisco e Jequitinhonha.
- **15 Vertentes recobertas por depósitos de encosta- Variável - 5 a 45°:** São rampas de colúvio e tálus de blocos formando zonas de acumulação atual com depósitos mal selecionados. Os tálus ocorrem nos sopés de vertentes íngremes de terrenos montanhosos, variando entre 20 e 45°. As rampas de colúvio ocorrem nas baixas encostas de ambientes colinosos ou de morros e formam superfícies deposicionais inclinadas com 5 a 20°. Apresentam ocorrência pontual na escala de mapeamento.

- **16 Montanhoso- 300 a 2.000 metros - 25 a 45°:** Esta unidade abrange os conjuntos montanhosos, por vezes escarpados e com topos sob forma de cristas. Os sopés das elevações tendem a possuir acumulações colúviais como tálus de blocos. A drenagem tende a apresentar dinâmica de encaixamento. A amplitude do relevo tende a ultrapassar 300 m e as vertentes variam entre 25 e 45°. Há tendência de solos rasos nos terrenos acidentados, já que predominam processos de retirada como erosão e movimentos de massa. São típicos dos domínios ondulados e dissecados das bacias do Leste, Jequitinhonha e do rio Doce, e dos domínios serranos. Correspondem a cerca de 16,1% da área do estado.
- **17 Escarpas Serranas- 300 a 2.000 metros - 25 a 60°:** As escarpas serranas ocorrem em relevos montanhosos e escarpados, com abundantes depósitos colúviais na base das encostas. A rede de drenagem está em franca dinâmica de encaixamento, gerando vales com amplitudes acima de 300 m e vertentes entre 25-60°. Assim como na unidade anterior, predominam processos desnudacionais e os solos são rasos. Correspondem a cerca de 2,2% da área do estado, estando concentradas nos relevos ondulados, dissecados e serranos.

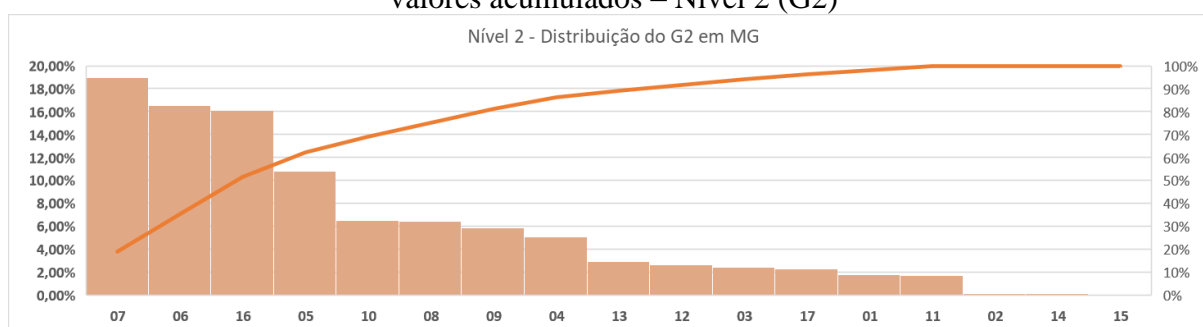
Em termos de distribuição de cada unidade geomorfológica e seus valores acumulados no estado (Gráfico 4.5), pode ser concluir que:

- A unidade de Morros e de Serras Baixas (**07**) é a unidade geomorfológica predominante, ocupando mais 18% do território;
- As unidades de Colinas Dissecadas e Morros Baixos (**06**) e Montanhoso (**16**) são, em sequência, as duas maiores, ocupando em média, cada unidade, 16%;
- As três unidades acima (**07; 06 e 16**) modelam mais de 50% do estado; logo em sequência desponta as Colinas Amplas e Suaves (**05**), com mais de 10% do estado;
- As unidades **10** (Tabuleiros), **08** (Planaltos e Baixos Platôs), **09** (Chapadas e Platôs) e **04** (Superfícies Aplainadas Degradadas) apresentam percentuais relativamente semelhantes, situados na faixa de 5 a 7%, formando valores acumulados na faixa de 80% do estado.
- As unidades **13** (13 Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos), **12** (Vales Encaixados), **03** (Superfícies Aplainadas Conservadas), **17** (Escarpas Serranas), **01** (Planícies Fluviais ou fluviolacustres) e **11** (Tabuleiros Dissecados) apresentam percentuais relativamente

semelhantes, situados na faixa de 3 a 1,6%, formando valores acumulados de quase 100% do estado.

- As unidades Terraços Fluviais (**02**), Morros residuais (**14**) e (**15**) Vertentes recobertas por depósitos de encosta, são inexpressivas no estado (em média 0,22%), ao menos na escala do mapeamento.

Gráfico 4.5 - Distribuição percentual das Unidades Geomorfológicas em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 2 (G2)



01 Planícies Fluviais ou fluviolacustres- Zero - 0 a 3°; **02** Terraços Fluviais- 2 a 20 metros - 0 a 3°; **03** Superfícies Aplainadas Conservadas- 0 a 10 metros - 0 a 5°; **04** Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°; **05** Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°; **06** Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°; **07** Morros e de Serras Baixas- 80 a 200 metros - 15 a 35°; **08** Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°; **09** Chapadas e Platôs- 0 a 20 metros - 0 a 5°; **10** Tabuleiros- 20 a 50 metros - 0 a 3°; **11** Tabuleiros Dissecados- 20 a 50 metros - 0 a 3°; **12** Vales Encaixados- 100 a 300 metros - 10 a 25(>.45); **13** Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos- 50 a 200 metros - 10 a 25°; **14** Morros residuais- 50 a 500 metros - 25 a 45°; **15** Vertentes recobertas por depósitos de encosta- Variável - 5 a 45°; **16** Montanhoso- 300 a 2.000 metros - 25 a 45°; **17** Escarpas Serranas- 300 a 2.000 metros - 25 a 60°

Em relação à **distribuição das AUs** do inventário em relação às unidades geomorfológicas, a Tabela 4.4 apresenta os quantitativos em área e percentual de ocorrência de AUs em cada unidade geomorfológica do nível 2 (G2) e seu percentual relativo em relação à área de cada unidade no estado.

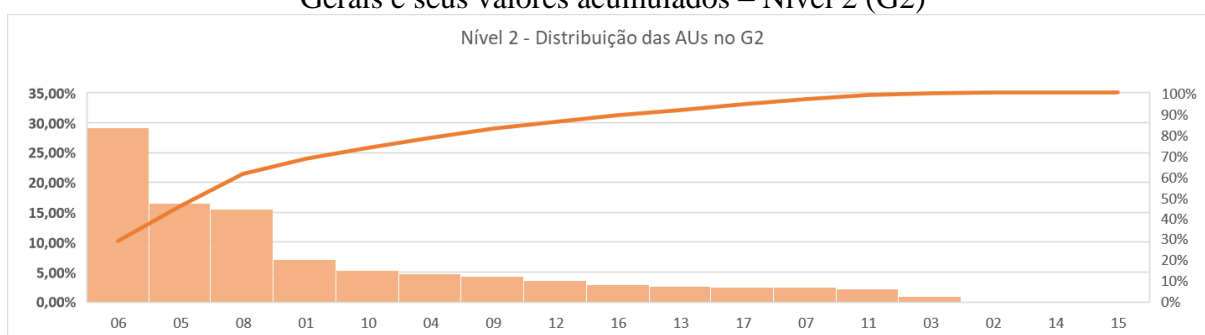
Tabela 4.4 – Distribuição das AUs nas Unidades Geomorfológicas em Minas Gerais

Descrição	AUs – área em km ²	% de ocorrência a de AUs	Area em km ² de cada unidade do G2	% de ocorrência a AUs em cada unidade do G2
01 Planícies Fluviais ou fluviolacustres- Zero - 0 a 3°	578,35	7,1%	10.137,25	5,70%
02 Terraços Fluviais- 2 a 20 metros - 0 a 3°	4,5	0,1%	717,72	0,60%
03 Superfícies Aplainadas Conservadas- 0 a 10 metros - 0 a 5°	72,91	0,9%	14.118,67	0,50%
04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°	386,51	4,8%	29.496,64	1,30%

05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	1.349,3 2	16,6%	62.812,71	2,10%
06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	2.376,1 5	29,2%	96.400,66	2,50%
07 Morros e de Serras Baixas- 80 a 200 metros - 15 a 35°	199,5	2,5%	110.417,2 2	0,20%
08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	1.266,8 2	15,6%	37.257,64	3,40%
09 Chapadas e Platôs- 0 a 20 metros - 0 a 5°	344,97	4,2%	34.208,17	1,00%
10 Tabuleiros- 20 a 50 metros - 0 a 3°	425,22	5,2%	37.819,78	1,10%
11 Tabuleiros Dissecados- 20 a 50 metros - 0 a 3°	178,81	2,2%	9.769,40	1,80%
12 Vales Encaixados- 100 a 300 metros - 10 a 25(>.45)	291,5	3,6%	15.300,05	1,90%
13 Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos- 50 a 200 metros - 10 a 25°	212,27	2,6%	16.859,48	1,30%
14 Morros residuais- 50 a 500 metros - 25 a 45°	0,24	0,0%	516,12	0,00%
15 Vertentes recobertas por depósitos de encosta- Variável - 5 a 45°	0,13	0,0%	55,44	0,20%
16 Montanhoso- 300 a 2.000 metros - 25 a 45°	240,26	3,0%	93.978,61	0,30%
17 Escarpas Serranas- 300 a 2.000 metros - 25 a 60°	206,31	2,5%	13.047,23	1,60%
Total Geral	8.133,7 6	100,00%	582.912,7 8	

A fim de se facilitar a visualização e análise da distribuição dos resultados da Tabela 4.4, o Gráfico 4.6 permite verificar a distribuição percentual de ocorrência das AUs em cada unidade geomorfológica em Minas Gerais e os valores acumulados; o Gráfico 4.7 apresenta o percentual relativo de AUs em relação à área de cada unidade no estado.

Gráfico 4.6 - Distribuição percentual das AUs nas Unidades Geomorfológicas em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 2 (G2)



01 Planícies Fluviais ou fluviolacustres- Zero - 0 a 3°; **02** Terraços Fluviais- 2 a 20 metros - 0 a 3°; **03** Superfícies Aplainadas Conservadas- 0 a 10 metros - 0 a 5°; **04** Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°; **05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°**; **06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°**; **07** Morros e de Serras Baixas- 80 a 200 metros - 15 a 35°; **08** Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°; **09** Chapadas e Platôs- 0 a 20 metros - 0 a 5°; **10** Tabuleiros- 20 a 50 metros - 0 a 3°; **11** Tabuleiros Dissecados- 20 a 50 metros - 0 a 3°; **12** Vales Encaixados- 100 a 300 metros - 10 a 25(>.45); **13** Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos- 50 a 200 metros - 10 a 25°; **14** Morros residuais- 50 a 500 metros - 25 a 45°; **15** Vertentes recobertas por depósitos de encosta- Variável - 5 a 45°; **16 Montanhoso- 300 a 2.000 metros - 25 a 45°**; **17** Escarpas Serranas- 300 a 2.000 metros - 25 a 60°

Considerando a Tabela 4.4 e o Gráfico 4.6, verifica-se que quase 30% das AUs mapeadas estão na unidade das Colinas Dissecadas e Morros Baixos **(06)** (29,2%). Em sequência, variando entre 15 e 17%, estão, em ordem decrescente, as Colinas Amplas e Suaves **(05)** (16,6 %) e os Planaltos e Baixos Platôs **(08)** (15,6 %), somando mais de 60% das AUs do inventário (61,4%). Em sequência, segue o domínio das Planícies Fluviais ou fluviolacustres **(01)**, com 7,1%.

Os Tabuleiros **(10)**, as Superfícies Aplainadas Degradadas **(04)** e as Chapadas e Platôs **(09)**, apresentam valores acima de 4% das AUs, mas menores que 5,2%. Logo abaixo de 4% e até 3%, em ordem decrescente, ocorrem os Vales Encaixados **(12)** e Montanhoso **(16)**.

Entre 3% e 2% estão os Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos **(13)**, com 2,6%, Escarpas Serranas **(17)** e os Morros e de Serras Baixas **(07)**, ambos com 2,5%, e os Tabuleiros Dissecados **(11)**, com 2,2%. Cabe destacar que em termos relativos os Morros e de Serras Baixas não tendem a favorecer a ocorrência de AUs. As bordas das Escarpas Serranas e os Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos, em contato com os domínios das chapadas, favorecem a formação de veredas de encosta, dinâmica de erosão remontante das cabeceiras nas chapadas. As Superfícies Aplainadas Conservadas **(03)** contam com 0,9%, e as unidades Terraços Fluviais **(02)**, Morros residuais **(14)** e Vertentes recobertas por depósitos de encosta **(15)**, apresentaram registros inexpressivos.

Com base nos resultados de distribuição das AUs nas unidades geomorfológicas, pode-se tecer as seguintes considerações:

- A princípio, espera-se que Colinas Amplas e Suaves **(05)** sejam mais aptas a ocorrência de AUs que as Colinas Dissecadas e Morros Baixos **(06)**, em função das primeiras se constituem em relevos mais suaves. Contudo, as Colinas Dissecadas e Morros Baixos formam padrões de relevo dos Domínios dos relevos ondulados e dissecados nas bacias do Paranaíba e Rio Grande e São Francisco, condicionando a formação de AUs, sobretudo, de segmentos de encosta e fundos de vale, com a exfiltração e a formação de AUs do tipo veredas, principalmente. A hidrogeologia da unidade **06**, geralmente, é dominada pelos aquíferos areníticos no Paranaíba e Rio Grande e, secundariamente, no São Francisco, o que também favorece a formação de uma grande quantidade de AUs do tipo veredas. Já os aquíferos carbonáticos e siltitos-argilosos favorecem a formação de AUs por escoamento subsuperficial nas áreas mais deprimidas. De modo secundário, AUs ocorrem nos domínios serranos, em rochas metassedimentares, metavulcânicas e do embasamento cristalino, sendo condicionadas pelo substrato geológico bastante deformado e com abundantes estruturas (A1). Desta forma, em termos relativos

(Gráfico 4.7) esta não é a unidade com maior percentual de AUs quando observado o tamanho da sua área.

- Na unidade das Colinas Amplas e Suaves (**05**), a formação de AUs é favorecida pelo sistema de drenagem principal, onde as planícies aluviais são relativamente amplas.

- Os Planaltos e Baixos Platôs (**08**) favorecem a ocorrência de AUs, pois estão associados, em sua maioria, aos domínios das Chapadas, Patamares e Platôs (formando diversos patamares nas porções mais elevadas) e aos aquíferos areníticos (0203) e aquíferos granulares detríticos ou detrítico-lateríticos (0202), ocorrendo a formação de AUs com a exfiltração de níveis freáticos nas bordas das chapadas, que são marcadas por contrastes hidráulicos em função do contato das camadas de litologias diferentes. Geralmente, são AUs do tipo veredas. Nos domínios das Chapadas, Patamares e Platôs (parâmetro G1), esta é a unidade que mais favorece a ocorrência de AUs, tanto em termos absolutos quanto em termos relativos, predominando as veredas de patamares.

Os Tabuleiros (**10**) e as Chapadas e Platôs (**09**) apresentam percentuais totais e, sobretudo, relativos, semelhantes. Os Vales Encaixados (**12**), os Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos (**13**) e os Tabuleiros Dissecados (**11**) igualmente. É possível que os Tabuleiros (**10**) e as Chapadas e Platôs (**09**) tendem a formar veredas de superfícies tabulares, de Vales Encaixados (**12**) veredas ao longo da linha de drenagem, e de Tabuleiros Dissecados (**11**) e Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos (**13**) veredas de encostas e de anfiteatro.

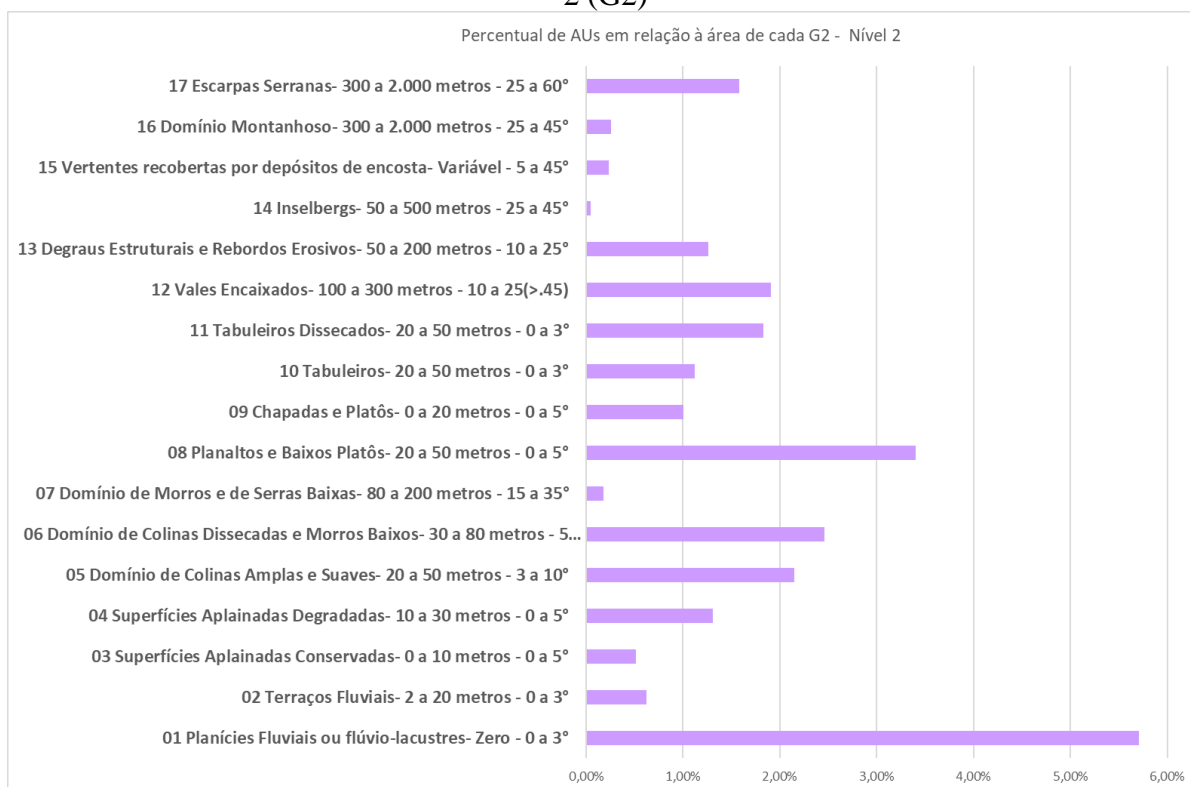
- As Planícies Fluviais ou fluviolacustres (**01**), apesar de ocuparem uma pequena área do estado, abrigam 7,1% das AUs e, em termos relativos, ou seja, percentual mapeado em relação ao tamanho da unidade (Tabela 4.4; Gráfico 4.7), é a unidade que mais concentra AUs (5,7%). Geralmente, as AUs nessa unidade apresentam forma plana ou suave e são formadas pelas inundações periódicas marginais de corpos d'água, estando sempre associadas a corpos d'água, naturais e/ou artificiais, permanentes ou temporários. Além disso, muitas vezes recebem contribuições secundárias constantes ou temporárias de água subsuperficial nos subsistemas deprimidos, conectadas pelos aquíferos aluvionares.

- Nas Superfícies Aplainadas Degradadas (**04**), a formação de AUs é favorecida pelas formas de relevo, que apresentam rede de drenagem incipientes e modelado suavemente ondulado extenso. Assim, as AUs geralmente se situam ao longo das rampas de vertente, associada aos canais fluviais de ordem mais baixa. Nesse sentido, a formação de AUs nesta unidade é mais ocorrente que na unidade das Superfícies Aplainadas Conservadas (**03**), tanto

em termos absolutos quanto relativos, já que as Superfícies Aplainadas Conservadas por apresentarem, geralmente, solos rasos e pedregosos, dificulta também a sua formação.

- Nos modelados serranos cabe destacar as unidades de Montanhas (16) e da Escarpas Serranas (17), onde a primeira é maior em termos absolutos e a segunda é maior em termos relativos. Na unidade de Montanhas, destaca-se o domínio da Serra do Espinhaço na formação de AUs, com destaque pelas turfeiras.

Gráfico 4.7 - Percentual de AUs em relação à área de cada Unidade Geomorfológica do Nível 2 (G2)



4.1.3 Relações entre os níveis 1 e 2 das AUs

A Tabela 4.5 apresenta a distribuição das AUs, considerando os agrupamentos de domínios geomorfológicos (G1) e as unidades geomorfológicas (G2). Considerou-se o agrupamento com o objetivo de facilitar a leitura dos resultados, tendo em vista foram geradas

99 classes). Com base na tabela e no parâmetro geomorfológico, as AUs encontram-se principalmente em:

- **Nos domínios das Depressões:** destacam-se as AUs em Planícies Fluviais ou fluviolacustres, em Colinas Amplas e Suaves e, secundariamente, as Superfícies Aplainadas Degradadas. Estas AUs geralmente estão associadas aos canais fluviais e situam-se em planícies inundáveis ou fundos de vale, formando lagoas transitórias; em planícies inundáveis, as lagoas transitórias são do subtipo lagoa marginal. Em termos relativos, as planícies fluviais ou fluviolacustres é a unidade que mais condiciona AUs.
- **Nos domínios Superfícies Elevadas e Topos Suaves:** ocorrem todas as unidades, com destaque para os Planaltos e Baixos Platôs; estas AUs geralmente ocorrem em patamares mais elevados do relevo, apresentam pequeno abaulamento em relação ao seu entorno, acumulando água no seu centro de origem superficial e aquíferos superficiais. No estado, geralmente são do tipo veredas.
- **Nos domínios dos Relevos Ondulados e Dissecados:** destacam-se as Colinas Dissecadas e Morros Baixos; estas AUs geralmente ocorrem em cabeceiras de drenagem, rupturas de declividade e sopés de vertentes. São geralmente do tipo nascentes difusas.
- **Nos domínios dos Relevos Serranos:** destacam-se as AUs na unidade Montanhoso e, secundariamente, nas Chapadas e Platôs dos relevos. São as áreas de menor ocorrência das AUs. São geralmente do tipo nascentes ou áreas de exfiltração difusas, ocorrendo em afloramentos rochosos ou em solos muito rasos, com presença de matéria orgânica elevada.

Assim, considerando os grandes agrupamentos de domínios (“Depressões”, “Superfícies Elevadas e Topos Suaves”, “Relevos Ondulados e Dissecados” e “Relevos Serranos”) pode-se dizer que unidades geomorfológicas citadas acima são aquelas que abrigam os maiores percentuais de AUs no estado.

Tabela 4.5 – Distribuição das AUs nos Agrupamentos de Domínios e Unidades Geomorfológicas em Minas Gerais

G12	Soma de AUs – área em km ²	% de ocorrência de AUs	% de ocorrência AUs em cada unidade e agrupamento G1
Depressões	2389,09	29,40%	30,80%
01 Planícies Fluviais ou fluviolacustres- Zero - 0 a 3°	576,59	7,10%	19,40%
02 Terraços Fluviais- 2 a 20 metros - 0 a 3°	4,5	0,10%	0,60%
03 Superfícies Aplainadas Conservadas- 0 a 10 metros - 0 a 5°	72,91	0,90%	0,50%
04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°	386,51	4,80%	3,60%
05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	1348,5	16,60%	6,70%
06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0,09	0,00%	0,00%
07 Morros e de Serras Baixas- 80 a 200 m - 15 a 35°	0	0,00%	0,00%
Superfícies elevadas e topos suaves	2409,31	29,60%	29,70%
08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	1264,93	15,60%	8,60%
09 Chapadas e Platôs- 0 a 20 metros - 0 a 5°	248,84	3,10%	4,00%
10 Tabuleiros- 20 a 50 metros - 0 a 3°	425,22	5,20%	5,60%
11 Tabuleiros Dissecados- 20 a 50 metros - 0 a 3°	178,81	2,20%	2,00%
12 Vales Encaixados- 100 a 300 metros - 10 a 25(>.45)	291,5	3,60%	9,50%
Relevos ondulados e dissecados	2968,01	36,50%	20,30%
06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	2362,31	29,00%	10,40%
07 Morros e de Serras Baixas- 80 a 200 m - 15 a 35°	156,3	1,90%	2,30%
13 Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos- 50 a 200 m - 10 a 25°	212,23	2,60%	2,70%
14 Morros residuais- 50 a 500 metros - 25 a 45°	0,24	0,00%	0,10%
15 Vertentes recobertas por depósitos de encosta- Variável - 5 a 45° mm	0,13	0,00%	0,40%
16 Montanhoso- 300 a 2.000 metros - 25 a 45°	36,15	0,40%	1,00%
17 Escarpas Serranas- 300 a 2.000 metros - 25 a 60°	200,65	2,50%	3,40%
Relevos serranos	367,36	4,50%	18,80%
01 Planícies Fluviais ou fluviolacustres- Zero - 0 a 3°	1,76	0,00%	7,20%
03 Superfícies Aplainadas Conservadas- 0 a 10 metros - 0 a 5°	0	0,00%	0,00%
04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°	0	0,00%	0,00%
05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	0,82	0,00%	0,40%
06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	13,75	0,20%	1,00%
07 Morros e de Serras Baixas- 80 a 200 m - 15 a 35°	43,21	0,50%	0,80%
08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	1,89	0,00%	1,70%
09 Chapadas e Platôs- 0 a 20 metros - 0 a 5°	96,13	1,20%	4,80%
13 Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos- 50 a 200 m- 10 a 25°	0,04	0,00%	0,00%
14 Morros residuais- 50 a 500 metros - 25 a 45°	0	0,00%	0,00%
16 Montanhoso- 300 a 2.000 metros - 25 a 45°	204,11	2,50%	2,10%
17 Escarpas Serranas- 300 a 2.000 metros - 25 a 60°	5,66	0,10%	0,60%
Total Geral	8133,77	100,00%	-

4.2 Parâmetro Hidrogeológico

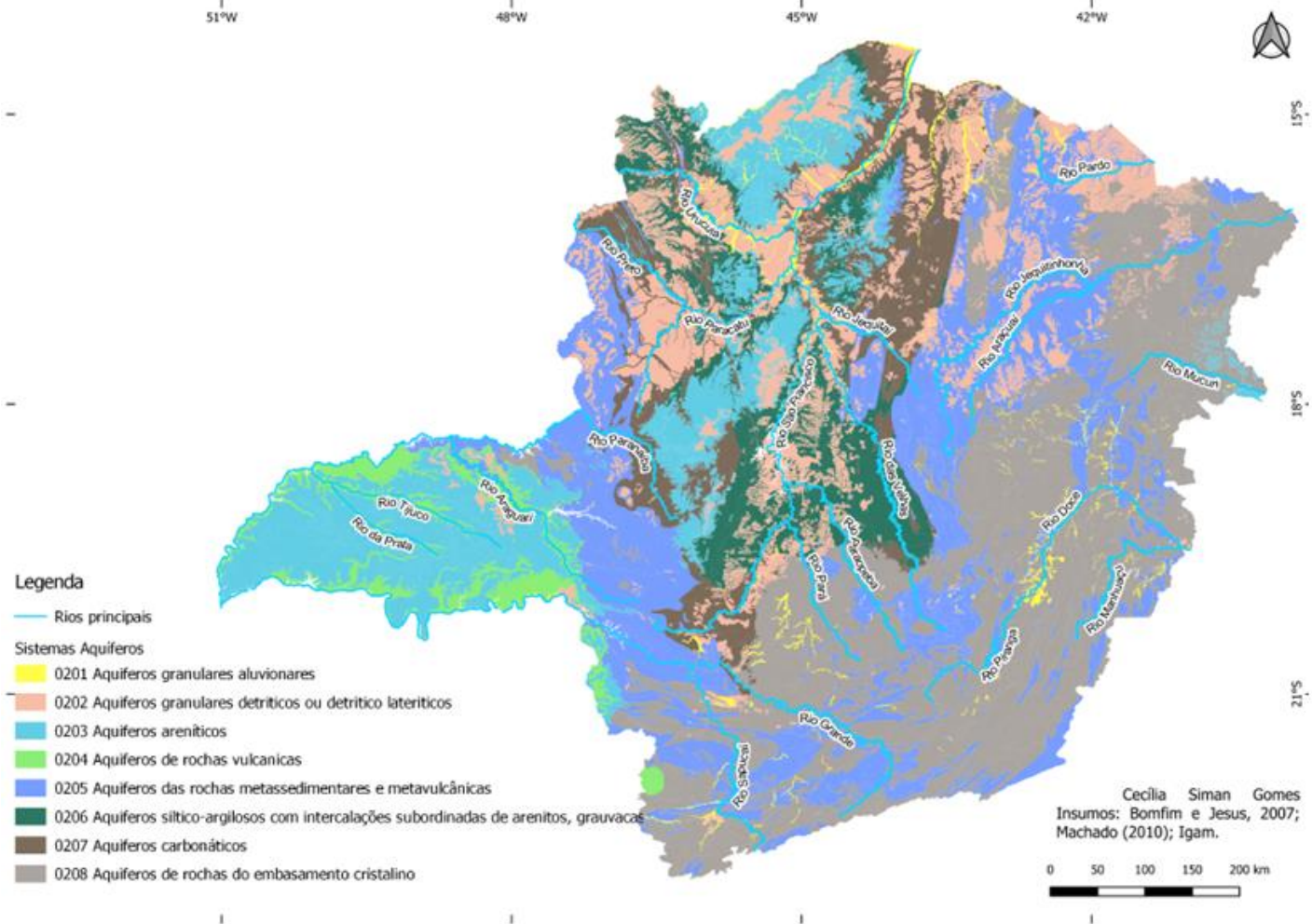
4.2.1 Nível 1: Domínios de Sistemas Aquíferos

Em Minas Gerais, o parâmetro A1 (Nível 1 – Hidrogeologia) é representado por 8 sistemas aquíferos. A Tabela 4.6 apresenta a área e o percentual de ocorrência de cada sistema no estado e a Figura 4.5 a sua espacialização.

Tabela 4.6 – Distribuição dos sistemas aquíferos em Minas Gerais

Sistemas Aquíferos	Área em km ²	% de ocorrência em relação à área do estado
0201 Aquíferos granulares aluvionares	10749,55	1,8%
0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico-lateríticos	81306,01	13,9%
0203 Aquíferos areníticos	76355,93	13,1%
0204 Aquíferos de rochas vulcânicas	16140,03	2,8%
0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	126557,39	21,7%
0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvacas e calcários	43945,92	7,5%
0207 Aquíferos carbonáticos	51737,20	8,9%
0208 Aquíferos de rochas do embasamento cristalino	176120,73	30,2%
Total Geral	582.912,77	100,00

Figura 4.5 –Parâmetro Hidrogeológico Nível 1 - Domínios dos Aquíferos no contexto de Minas Gerais



A seguir são descritos os sistemas aquíferos, considerando as características principais das rochas e a forma de interação da água subsuperficial com a superfície, a qual pode dar origem a AUs. Além disso, são apresentados os percentuais de ocorrência (Tabela 4.6) e sua distribuição no território (Figura 4.5).

0201 Aquíferos granulares aluvionares

- Sistema aquífero formado pelas formações superficiais cenozoicas aluvionares, que apresentam elevada porosidade e permeabilidade granular. São constituídos por areias, siltes, argilas e cascalho, sendo que os materiais com granulometria mais grossa (cascalho e areia grossa) são encontrados junto às calhas fluviais, vales abandonados e paleocanais, e os materiais mais finos (areia, silte e argila) nas planícies inundáveis (Souza, 1995; Pinto; Martins Neto, 2001; Diniz, 2006; Ramos; Paixão 2015).
- Apresentam-se mais desenvolvidos e espessos nos vales dos rios Doce e São Francisco, sendo que nesta bacia são mais expressivas ao longo dos rios São Francisco e Urucua (Figura 4.5). Cabe destacar que na bacia do rio São Francisco este aquífero apresenta comportamento hidráulico sazonal em função da sua conexão hidráulica com as águas superficiais, recebendo contribuição dos rios nos períodos chuvosos e mantendo seus fluxos de base nos períodos secos. Têm na evapotranspiração um importante exultório devido à pequena profundidade (Diniz, 2006; Ramos; Paixão, 2015). Os aquíferos aluvionares tem maior expressividade nos domínios das depressões nas bacias do São Francisco (0101) e Doce (0102). Embora seja o sistema de aquíferos que tem menor representatividade no estado (1,8%), apresentam ocorrência espacialmente generalizada.

0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico-lateríticos

- Sistema aquífero formado pelas formações superficiais detríticos ou detrítico-lateríticos provenientes, sobretudo, de processos de laterização do manto de alteração. Apresentam espessura variada e são compostos por materiais diversificados, como areia, silte e/ou argila, apresentado, portanto, porosidade variável. Originam, na sua maioria, coberturas ricas em detritos ferruginosos, originados por processos de laterização de materiais superficiais, que sustentam diferentes tipos de relevo (Machado, 2010). Este sistema de aquífero, situa-se, principalmente, no Domínio das chapadas, patamares e platôs da bacia do rio São Francisco (0107) e, secundariamente, das bacias do Leste e do rio Pardo

(0109), sustentando, sobretudo, domínios de chapadas, patamares e platôs e rebordos bem marcados. Este sistema abrange 13,9% do estado.

0203 Aquíferos areníticos

- Sistema aquífero formado por extensos e espessos arenitos fanerozóicos pouco deformados, principalmente, das bacias sedimentares do Paraná e do Urucuaia, com permeabilidade granular e coeficiente de infiltração em sua maioria bastante elevada, evidenciada pela baixa densidade de drenagem (Souza, 1995; Pinto; Martins Neto, 2001; Ramos; Paixão, 2015; Diniz, 2006).
- Ocorrem, sobretudo, nas porções superiores de elevações das superfícies elevadas e/ou dissecadas das bacias do Paranaíba e Grande (0110 e 0115) e, secundariamente, do São Francisco (0107 e 0112), e contribuem para a manutenção permanente do fluxo de base dos afluentes deste rios. Devido à disposição tabular, apresentam superfície retalhada com seccionamento dos domínios de acumulação, o que facilita o rápido retorno das águas à superfície como escoamento de base dos rios (Diniz, 2006). Geralmente, a recarga ocorre nas superfícies superiores e a descarga ocorre principalmente por surgências no sopé das elevações, no contato com o substrato impermeável. Ainda nestas bacias, ocorrem em porções de colinas suaves e superfícies aplainadas degradadas das depressões (0104 e 0101). A formação de veredas é típica.
- Além disso, são sistemas de aquíferos que ocorrem na formação Barreiras, na bacia do rio Mucuri, no domínio das chapadas, patamares e platôs da bacias do leste e do rio Pardo (0109), onde a densidade da rede de drenagem é mais elevada e o relevo apresenta-se em camadas sedimentares formando tabuleiros dissecados com vales rasos e amplos.
- Os sistemas aquíferos areníticos ocorrem sua maioria nas superfícies elevadas e dos relevos dissecados e algumas porções de colinas amplas e suaves. Ocupam, em média, 13,1% do estado.

0204 Aquíferos de rochas vulcânicas

- Sistema aquífero formado, majoritariamente, por rochas basálticas. As águas circulam sobretudo, por falhas e fraturas, facilitadas pelas estruturas de foliação e acamamento dos basaltos. Determinados basaltos podem apresentar porosidade primária relacionada

a estruturas vesiculares. O potencial hidrogeológico é geralmente mais elevado do que o ocorrente no domínio dos metassedimentos/metavulcânicas (Bomfim, 2010). Os basaltos ocorrem nas bacias do Paraná e do Grande, na Formação Serra Geral. Essas rochas têm os seus afloramentos quase que exclusivamente restritos aos fundos de vale de cursos d'água de maior porte, como os rios Grande, Araguari e Paranaíba, no domínio das depressões das Depressões, Superfícies Aplainadas e Colinas Suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande (0104) e nas Chapadas, Patamares e Platôs (0110) e Relevos Ondulados e Dissecados (1115) do Paranaíba e Grande. Ocupam somente 2,8% do estado.

0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas

- Sistema aquífero formado por rochas que praticamente não apresentam porosidade primária. São formados por xistos, filitos, metarenitos, metassiltitos, anfibolitos, quartzitos, ardósias, metagrauvacas, e metavulcânicas diversas. A circulação e o armazenamento de água estão relacionados às fraturas e falhas, formando aquíferos fissurais. Os reservatórios de água, quando ocorrentes, são aleatórios, descontínuos e de pequena extensão (Bomfim, 2010). Neste sistema, podemos destacar os aquíferos quartzíticos e os aquíferos xistosos e itabiríticos.
- Os aquíferos quartzíticos são caracterizados como fissurados, sendo formados pelos armazenamentos em rochas quartzíticas associadas a várias unidades geológicas responsáveis por sustentarem diferentes serras, como do Espinhaço, da Canastra e do Quadrilátero Ferrífero. A recarga se dá de forma direta pelos sistemas de fratura, com a percolação pelo manto de intemperismo. As nascentes difusas ocorrem de forma generalizada e respondem pelos níveis de base dos rios que cortam os terrenos quartzíticos (Diniz, 2006; Ramos; Paixão, 2015). Sua recarga pode ser direta pelo sistema de fraturas, por infiltração pelo manto de intemperismo ou por drenagem de sistemas granulares sobre os aquíferos quartzíticos (Ramos; Paixão, 2015).
- Os aquíferos xistosos e itabiríticos são do tipo fraturado, ocorrendo predominantemente nos flancos das serras e relevos dissecados e apresentando elevada frequência de estruturas. As rochas itabiríticas correspondentes às formações ferríferas bandadas da Formação Cauê, no Quadrilátero Ferrífero, estão englobadas nesse sistema e apresentam um sistema de elevado potencial hidrogeológico e de comportamento heterogêneo, dependente da composição mineralógica e do nível de intemperismo sofrido.

- De acordo com Bomfim (2010), apesar deste sistema ter comportamento similar ao do embasamento cristalino, há um maior potencial hidrogeológico associado à maior presença de estruturas de deformação nas rochas. Ocupa, em média, 21,7% dos sistemas aquíferos do estado.

0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvacas e calcários

- Sistema aquífero siltico-argiloso, com destaque para os argilitos, siltitos, ardósias, e finas intercalações de arenitos, margas e calcários. É um sistema pouco a moderadamente fraturado e dobrado. Ocorre na bacia do rio São Francisco, com destaque para as bacias dos rios Paracatu e Urucuia, na borda da Serra do Espinhaço, e na porção superior da bacia do São Francisco. A recarga pode ocorrer por meio da infiltração de aquíferos granulares superiores (Diniz, 2006; Ramos; Paixão, 2015). São aquíferos do tipo granular/fissural e, em alguns locais, cárstico-fissurado. Ocupam 7,5% do território.

0207 Aquíferos carbonáticos

- Sistema aquífero relacionado a rochas calcárias e dolomíticas, onde o processo de dissolução é responsável pela formação de cavidades com elevado potencial de armazenamento e circulação das águas. Desta forma, propiciam maior porosidade e permeabilidade secundárias que aumentam o potencial de armazenamento subterrâneo (Bomfim, 2010). Além de calcários e dolomitos, este sistema pode ser constituído por arcóseos, argilitos, calcarenitos, folhelhos, margas, siltitos, fosforitos e meapelitos. Ocorre majoritariamente na bacia do rio São Francisco e, secundariamente em relevos deprimidos na bacia do rio Paranaíba (0104), e na bacia do Grande, no domínio das depressões do Sul de Minas (0106) Na bacia do rio São Francisco, ocorrem nas regiões de Arcos e Bambuí, APA carste de Lagoa Santa, Sete Lagoas, Curvelo, Montes Claros e Peruaçu, modelando principalmente relevos deprimidos ou dissecados (0101 e 0112).
- Conforme Ramos; Paixão (2015), as condições de recarga são efetivas em áreas de afloramentos rochosos, em pontos de aporte dos cursos d'água superficiais, e nas zonas de absorção cárstica. Os níveis de base da circulação subterrânea são representados

pelos grandes rios que mostram, em alguns trechos, significativas situações de influência (perdas para o aquífero) ou efluência (contribuições hídricas do aquífero).

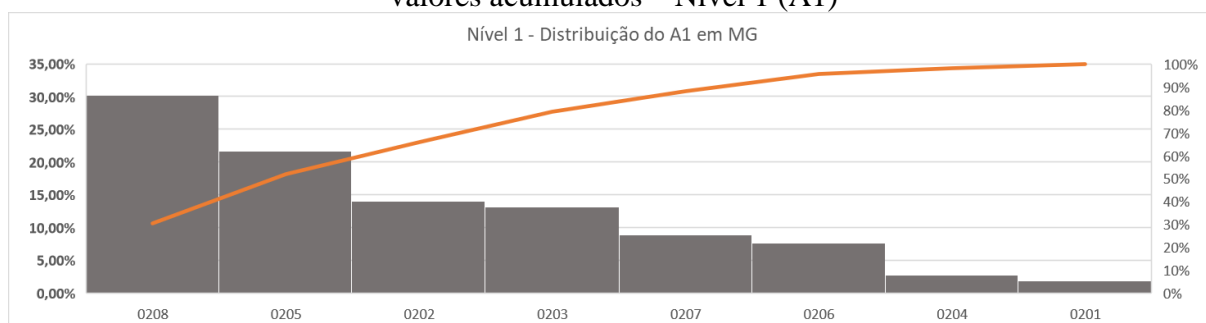
0208 Aquíferos de rochas do embasamento cristalino

- Sistema aquífero relacionado ao armazenamento hídrico nos sistemas de estruturas, formando reservatórios relativamente pequenos e descontínuos. Como litologias, destacam-se granitos, granitoides, gnaisses, granulitos, migmatitos e rochas básicas e ultrabásicas (Bomfim, 2010). Há uma tendência de que este domínio seja o de potencial hidrogeológico mais baixo dentre todos aqueles relacionados aos aquíferos fissurais (Bomfim, 2010). A recarga se dá principalmente através dos sistemas de estruturas e dos mantos de intemperismo colúvio-eluvionares. A descarga ocorre por meio de fontes pontuais e difusas em estruturas ou no contato entre o saprolito e a rocha sã, atuando como reguladores de escoamento superficial (Ramos; Paixão, 2015).
- Este sistema ocupa a maior área do estado- 30,2%-, abrangendo a região do sul de Minas e a faixa leste, em áreas de relevo, sobretudo, dissecado (0112 a 0114, e 0116), a Serra da Mantiqueira (0120) e a depressão da bacia do Paraíba do Sul (0106).

Por fim, salienta-se que as interações hídricas superficiais e subterrâneas podem apresentar situações distintas dentro de um mesmo sistema aquífero, tendo em vista que as interações dependem do tipo de conexão hidráulica prevalente em cada local, das condições de profundidade dos fluxos subterrâneos, da capacidade de transmissão e armazenamento das rochas e, principalmente, da disposição da rede de drenagem (Bomfim, 2010). Nesse sentido, apesar de alguns aquíferos apresentarem elevada disponibilidade hídrica subterrânea, sua influência no regime superficial pode ser pequena, e vice-versa.

Em termos de valores acumulados (Gráfico 4.8), os aquíferos de rochas do embasamento cristalino (0208) e das rochas metassedimentares e metavulcânicas (0205) ocupam 60% do estado. Seguem os aquíferos granulares detríticos ou detrítico-lateríticos (0202) e os areníticos (0203), com cerca de 13 % cada. A somatória destes quatro sistemas ocupa 80% do estado. Em sequência estão os aquíferos carbonáticos (0207), com 8,9 % e os aquíferos siltico-argilosos (0206), elevando a somatória para 95% do estado. Os aquíferos de rochas vulcânicas e os granulares aluvionares são pouco expressivos na escala adotada, com 2,8% e 1,8% do estado, respectivamente.

Gráfico 4.8 - Distribuição percentual dos Domínios de Aquíferos em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 1 (A1)



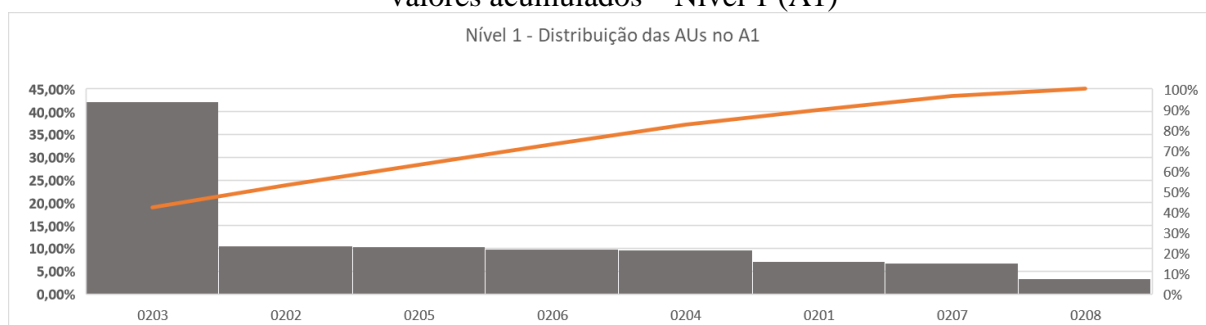
Legenda: **0201** Aquíferos granulares aluvionares; **0202** Aquíferos granulares detriticos ou detritico lateriticos; **0203** Aquíferos areníticos; **0204** Aquíferos de rochas vulcânicas; **0205** Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas; **0206** Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvas e calcários; **0207** Aquíferos carbonáticos **0208** Aquíferos de rochas do embasamento cristalino.

Em termos de **distribuição das AUs** do inventário em relação aos sistemas aquíferos, a Tabela 4.7 apresenta os quantitativos em área e percentual de ocorrência de AUs em cada sistema de aquífero do nível 1 (A1) e seu percentual relativo em relação à área de cada sistema de aquífero no estado. O Gráfico 4.9 permite visualizar a distribuição percentual de ocorrência das AUs em cada sistema aquífero em Minas Gerais e os valores acumulados.

Tabela 4.7 – Distribuição das AUs nos sistemas aquíferos em Minas Gerais (Nível 1 – Parâmetro A1)

Sistema aquífero	AUs – área em km ²	% de ocorrência de AUs	Area em km ² de cada sistema do A1	% de ocorrência AUs em cada sistema do A1
0201 Aquíferos granulares aluvionares	584,44	7,2%	10.749,55	5,4%
0202 Aquíferos granulares detriticos ou detritico-lateriticos	863,33	10,6%	81.306,01	1,1%
0203 Aquíferos areníticos	3.438,35	42,3%	76.355,93	4,5%
0204 Aquíferos de rochas vulcânicas	791,00	9,7%	16.140,03	4,9%
0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	835,95	10,3%	126.557,39	0,7%
0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvas e calcários	792,93	9,7%	43.945,92	1,8%
0207 Aquíferos carbonáticos	549,68	6,8%	51.737,20	1,1%
0208 Aquíferos de rochas do embasamento cristalino	278,09	3,4%	176.120,73	0,2%
Total	8.133,76	100,0%	582.912,77	

Gráfico 4.9- Distribuição percentual das AUs nos sistemas aquíferos em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 1 (A1)

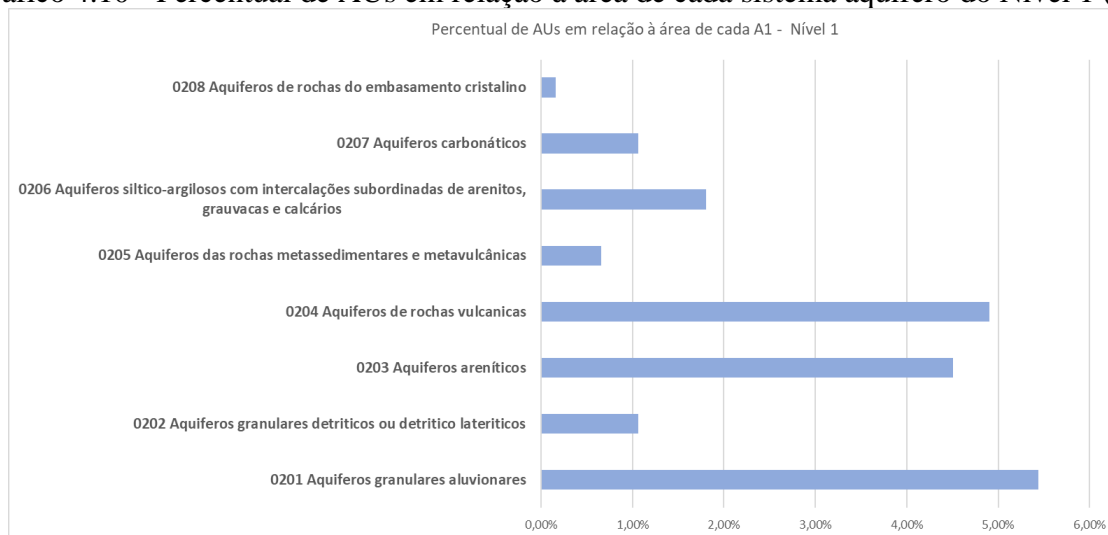


Legenda: **0201** Aquíferos granulares aluvionares; **0202** Aquíferos granulares detriticos ou detrítico lateríticos; **0203** Aquíferos areníticos; **0204** Aquíferos de rochas vulcânicas; **0205** Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas; **0206** Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvacas e calcários; **0207** Aquíferos carbonáticos **0208** Aquíferos de rochas do embasamento cristalino.

Considerando a Tabela 4.7 e o Gráfico 4.9, verifica-se que mais de 40% das AUs mapeadas estão no sistema aquíferos areníticos (0203). Em sequência, com percentuais muito próximos variando entre 9 e 11%, estão os sistemas detriticos ou detrítico-lateríticos (0202), com 10,6%, as rochas metassedimentares e metavulcânicas (0205), com 10,3%, e os aquíferos siltico-argilosos (0206) e as rochas vulcânicas (0204), ambos com 9,7%. A soma destes cinco sistemas engloba mais de 80% das AUs mapeadas. Em sequência, seguem os sistemas granulares aluvionares (0201) e carbonáticos (0207), com 7,2% e 6,8%, respectivamente, elevando a somatória para mais de 96% das AUs mapeadas no estado. Por último, encontra-se o sistema aquífero do embasamento cristalino, com apenas 3,4% das AUs mapeadas.

Por outro lado, observando a Tabela 4.7 e o Gráfico 4.10 (percentual de ocorrência de AUs em relação às áreas de ocorrência de cada sistema de aquíferos), nota-se que os aquíferos granulares (0201) são os que mais determinam, proporcionalmente, a formação de AUs (5,4%). Em seguida, tem-se valores relativos aproximados para os sistemas aquíferos das rochas vulcânicas (0204) e os aquíferos areníticos (0203), na faixa entre 4 e 5%. Na faixa entre 1 e 2% estão os aquíferos siltico-argilosos (0206), detriticos ou detrítico-lateríticos (0202) e carbonáticos (0207). Os das rochas metassedimentares e metavulcânicas (0205) e, sobretudo, do embasamento cristalino (0208) ocorrem de forma localizada, com menos 1% da área.

Gráfico 4.10 - Percentual de AUs em relação à área de cada sistema aquífero do Nível 1 (A1)



Pode-se perceber que os aquíferos granulares aluvionares, areníticos e vulcânicos apresentam características que favorecem a formação de AUs.

As AUs em aquíferos granulares aluvionares (0201) são, na maioria das vezes, originadas e mantidas tanto pela contribuição superficial proveniente das inundações dos cursos d'água, como também das conexões hidráulicas existentes entre a AU, o aquífero e o canal. As AUs típicas desses ambientes são as lagoas marginais, os meandros abandonados e as áreas brejosas, em geral. As AUs apresentam-se geralmente como subsistemas deprimidos na planície de inundação que estão sob influência das variações do nível d'água. No período seco, podem apresentar água ou estar mais úmidas que o entorno. A frequência e o tempo de permanência da água na AU dependem do regime pluviométrico, da frequência das inundações, da evapotranspiração, do tipo de substrato, das oscilações do nível freático e dos contatos hidráulicos. As AUs de aquíferos aluvionares estão majoritariamente no domínio das depressões (0101 a 0106) e se correlacionam às unidades geomorfológicas (G2) das planícies de inundação e fluviolacustres e terraços fluviais, já que estão distribuídas ao longo das calhas fluviais e dos níveis deposicionais fluviais.

As AUs em aquíferos areníticos (0203) são favorecidas pelos ambientes das superfícies elevadas e topos suaves, relevos dissecados e das depressões (vários níveis topográficos), nos domínios do São Francisco e Paranaíba e Grande. A formação de veredas é típica em função da presença de uma ou mais camadas de baixa permeabilidade sotoposta aos aquíferos areníticos, retendo a água infiltrada e formando zona de saturação superficial em áreas de relevo elevados e topos planos (principalmente em 0110 e 0107). Também podem ocorrer faixas de exfiltração

nas encostas e/ou zona saturada subsuperficial responsável pela presença de nascentes em relevos ondulados (principalmente em 1115 e 1112); e presença de zona de saturação superficial em áreas fundos de vales (principalmente em 0104 e 0101).

As AUs em sistemas aquíferos vulcânicos (0204) situam-se, basicamente, nos modelados das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves (0104) e, principalmente, dos relevos ondulados e dissecados das bacias dos rios Paranaíba e Grande (0115). Os basaltos encontram-se recobertos por sedimentos e, nas áreas de contato, formam zonas de exfiltração lateral de água e que dão origem a AUs.

As AUs em sistemas aquíferos granulares detríticos ou detrítico-lateríticos (0202) são importantes no processo da recarga de aquíferos (Diniz, 2006; Ramos; Paixão, 2015). As AUs podem ser formadas com a exfiltração das águas subsuperficiais nas áreas de rebordo de chapadas, patamares e platôs (com destaque para a unidade 0107 do São Francisco), estando, portanto, frequentemente, associadas a aquíferos suspensos.

As AUs em sistemas aquíferos siltico-argilosos (0206) estão situadas na bacia do São Francisco e estão relativamente bem distribuídas nos domínios das depressões, superfícies elevadas e relevos dissecados dessa unidade. Nesse sentido, sua relação com a geomorfologia não tem influência significativa na formação das AUs, tanto para o nível G1 como G2.

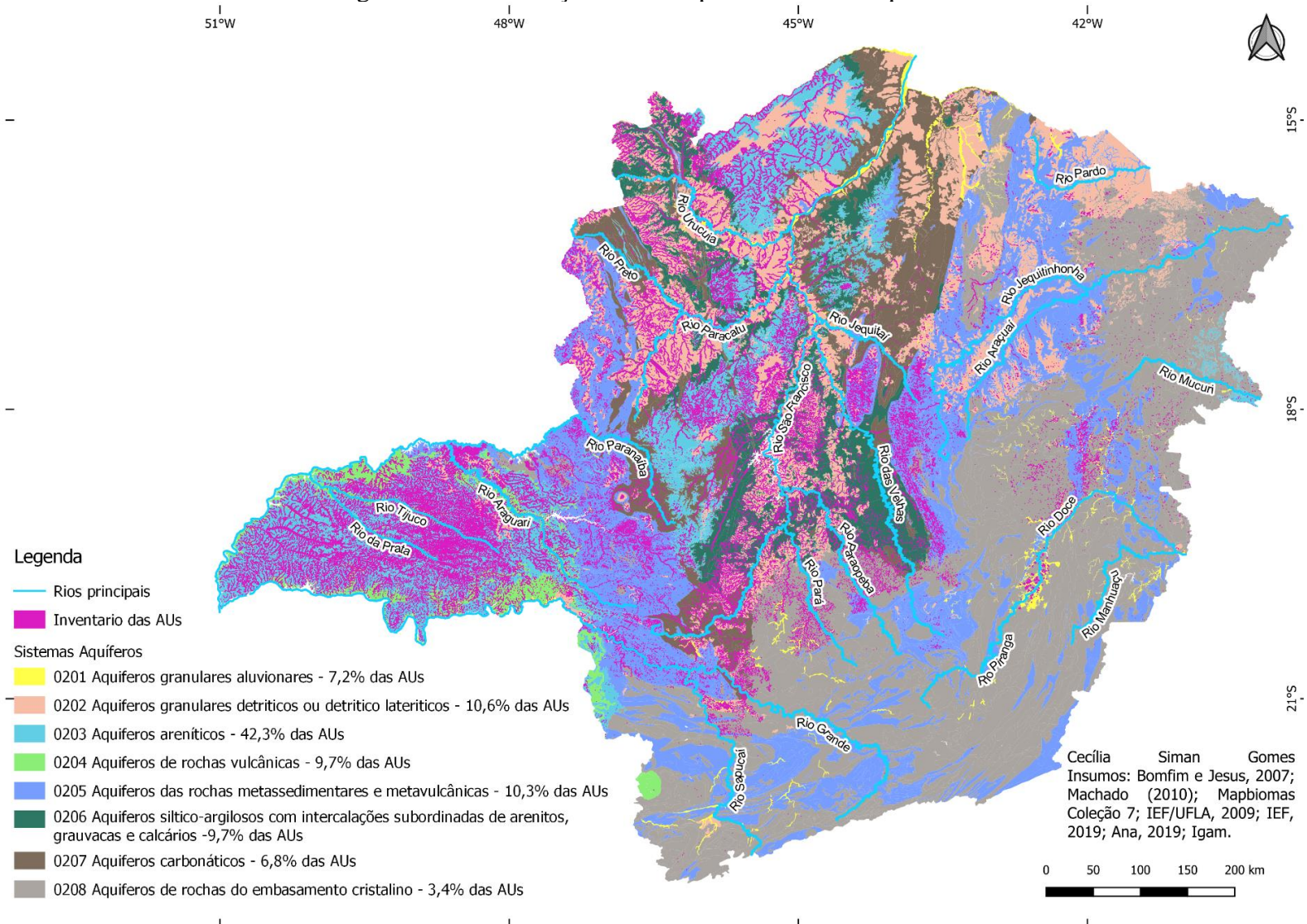
As AUs em sistemas aquíferos cársticos (02) apresentam tamanhos variados e ocorrem com frequência em relevos dissecados e deprimidos e, menos expressivamente, em relevos planos e elevados. Sua ocorrência é dependente dos sistemas estruturais e apresentam elevada sazonalidade. AUs ocorrem de forma mais pontual no sul de Minas (bacia do rio Grande - 0105), em algumas porções de Patos de Minas e entorno (bacia do rio Paranaíba - 0104) e nos relevos cársticos da bacia do rio São Francisco.

O sistema aquífero das rochas metassedimentares e metavulcânicas (0205), apesar de apresentarem áreas consideráveis de AUs (acima de 10%), condicionam relativamente pouco a formação de AUs, conforme a área que ocupa esta unidade. As AUs estão principalmente na bacia do rio Araguari, Alto Paranaíba, afluentes do Médio Grande, rio das Velhas, alto Jequitinhonha e Serra do Espinhaço (0118).

Já as AUs dos sistemas aquíferos das rochas do embasamento são pouco expressivas em quantidade. Estes aquíferos apresentam o menor percentual de área mapeada (3,4%), e o menor percentual de AUs em relação à área de domínio (0,2%). As AUs são encontradas na porção centro sul do estado e na bacia do rio Doce.

A Figura 4.6 apresenta a distribuição das AUs considerando-se os aquíferos. Salienta-se que as AUs tiveram o tamanho aumentado no mapa a fim de permitir sua visualização e diferenciação. O Gráfico 4.11 apresenta a distribuição percentual dos tipos de aquíferos em Minas Gerais e seus valores acumulados.

Figura 4.6 – Distribuição das AUs pelos Sistemas Aquíferos



4.2.2 Nível 2: Tipos de Aquíferos

O parâmetro A2 (Nível 2 – Hidrogeologia) representa os Tipos de Aquíferos no estado e é resultante da combinação das variáveis de dinâmica hidráulica e permeabilidade, grau de dobramento, grau de fraturamento, tipo de porosidade e característica do padrão textural das rochas, em função da influência destes critérios no condicionamento da AU e nas suas características hidrológicas. A classificação de cada um destes critérios é descrita a seguir, com base, principalmente, na análise do banco de dados de Machado (2010).

Existem quatro tipos de aquíferos relacionados às suas características gerais de dinâmica hidráulica e permeabilidade:

- Granular: é representada pelos aquíferos formados pelos depósitos sedimentares inconsolidados (eluviais, aluviais e coluviais);
- Fissural: é representada pelos aquíferos formados pela porosidade secundária, originada por falhas e fraturas nas rochas. É o tipo predominante no estado;
- Granular/fissural: é formada pela associação entre os aquíferos granulares e fissurais;
- Cárstico: é um tipo específico de aquífero marcado pela percolação e armazenamento de água em cavidades de dissolução, sendo o tipo menos expressivo no estado.

Em termos do grau de dobramento das rochas, há cinco classes de aquíferos:

- Ausente: sedimentos inconsolidados, depósitos de canga, coberturas detrito-lateríticas ferruginosas ou concreções ferruginosas e por colúvios e tálus, formando a classe com menor ocorrência no estado;
- Não-dobrada: rochas sedimentares, vulcanossedimentares, vulcânicas e ígneas não-dobradas e não metamorfizadas; o CPRM também classificou os depósitos aluvionares como não dobrados.
- Pouco a moderadamente dobrada: coberturas e sequências sedimentares ou vulcanossedimentares do grupo Bambuí, e determinados complexos granitóides, constituindo-se na classe predominante no estado;
- Intensamente dobrada: sequências sedimentares ou vulcanossedimentares complexas e intensamente dobradas, como no Quadrilátero Ferrífero, e rochas do embasamento cristalino.

Em relação ao grau de presença de falhas e fraturas das rochas, há cinco classes:

- Ausente: depósito aluvionares;
- Não-fraturada: depósito de canga, do tipo coluvial e de tálus, e coberturas detríticas indiferenciadas; a maioria é material superficial e tem localização restrita no estado;
- Pouco a moderadamente fraturada: coberturas detrítico-lateríticas ferruginosas, sequências sedimentares moderadamente consolidadas e vulcânicas, especialmente, mesozoicas, compondo a classe predominante no estado;
- Intensamente fraturada: sequências sedimentares e metassedimentares dobradas proterozóicas e, secundariamente, complexos cristalinos;
- Zonas de cisalhamento: faixas de deformação em domínio das sequências vulcanossedimentares e, principalmente, nos complexos cristalinos.

Em termos de porosidade primária das rochas, há cinco classes:

- Baixa: porosidade entre 0 e 15%, ocorrendo em rochas metamórficas, vulcânicas e principalmente cristalinas. É a classe que mais ocorre no estado;
- Moderada: porosidade entre 15 e 30%, ocorrendo em rochas sedimentares e vulcanossedimentares mesozoicas e paleozoicas, com distribuição bastante restrita no estado (relevos dissecados na porção sudoeste);
- Alta: aquíferos granulares de porosidade acima de 30%, ocorrendo em rochas sedimentares e coberturas inconsolidadas cenozóicas, envolvendo arenitos e sequências dobradas proterozóicas na Serra do Espinhaço;
- Variável: aquíferos com porosidade variando de 0 a mais de 30%, com destaque para os aquíferos detríticos ou detríticos-lateríticos, siltico-argilosos com intercalações de arenitos, grauvacas e calcários, e os aquíferos de rochas metassedimentares e metavulcânicas. É a segunda classe de maior ocorrência no estado.

Por fim, em termos de padrão textural, há sete classes, a saber:

- Predominantemente arenoso: espessos e amplos pacotes de rochas predominantemente arenoquartzosas, com destaque para as do Supergrupo Espinhaço, os arenitos no Triângulo Mineiro e as sequências vulcanossedimentares proterozóicas no Quadrilátero Ferrífero e nas bacias do Jequitinhonha, Pardo, Grande, Doce e Paraíba do Sul;

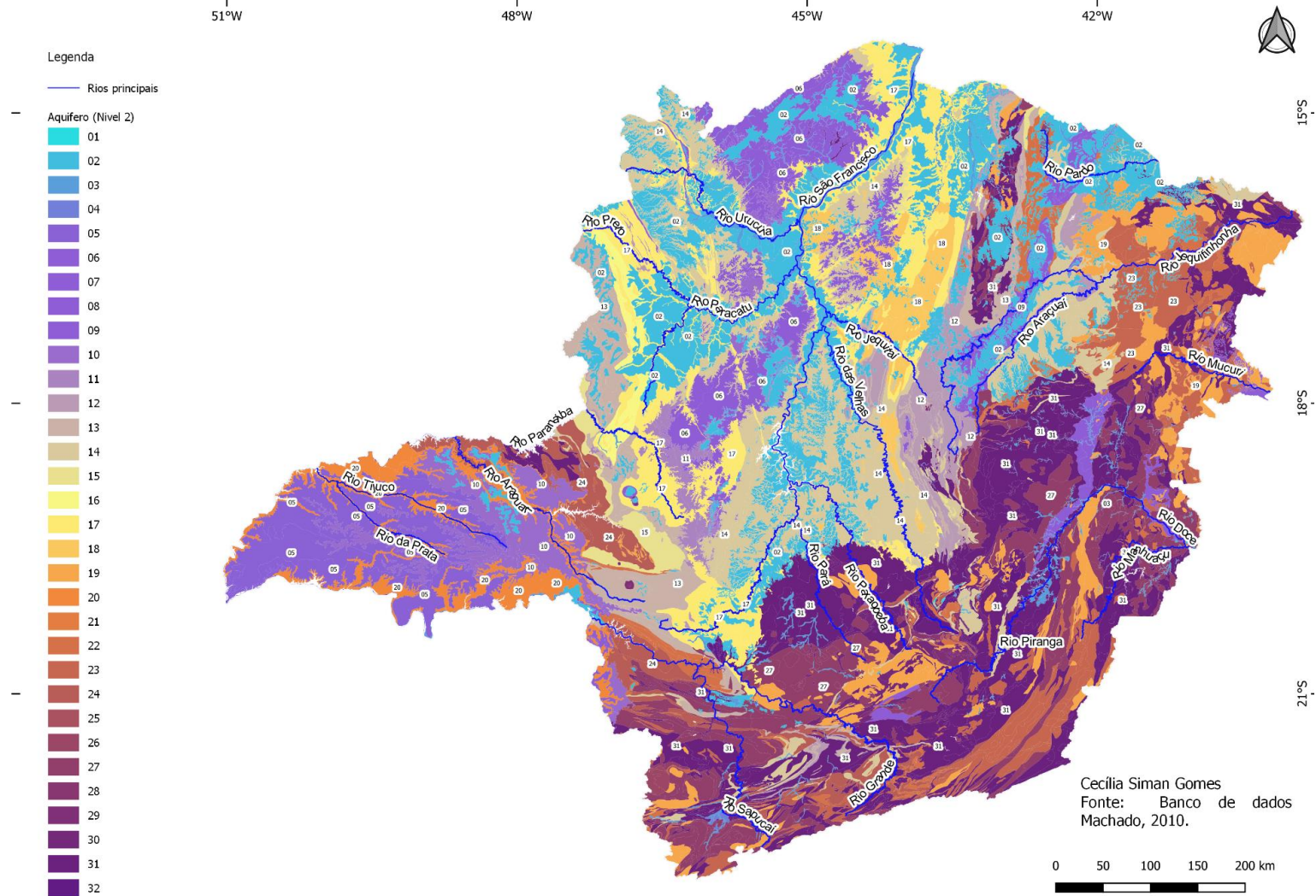
- Predominantemente argilo-siltico-arenoso: predomínio de granitos e gnaisses e, em menor grau, das sequências sedimentares proterozóicas dobradas e metamorfizadas em baixo a médio grau. Maior classe de ocorrência no estado;
- Predominantemente argilo-siltoso: siltitos, folhelhos, filitos, xistos e rochas metavulcânicas. Sua ocorrência no estado é mais fragmentada e pontual;
- Predominantemente argiloso: rochas ricas em argilominerais, como os basaltos e calcários;
- Variável de arenoso a argilo-siltoso: sequências sedimentares e vulcanossedimentares. É a classe predominante no estado;
- Indeterminada: depósitos detríticos ou detríticos-lateríticos, com espessura relativamente pequena;
- Não se aplica: aquíferos granulares aluvionares (depósitos atuais e antigos) e depósito de canga do tipo coluvial e de tálus.

A partir da combinação dos critérios apresentados (unidades litohidrogeológicas e as características de dobramento, fraturas, porosidade e textura das rochas), há 32 tipos de aquíferos em Minas Gerais que formam o parâmetro A2 (Nível 2 – Hidrogeologia). A Tabela 4.8 apresenta a área e o percentual de ocorrência de cada unidade no estado e a Figura 4.7 a sua espacialização no estado.

Tabela 4.8 –Parâmetro Hidrogeológico Nível 2 – Tipos de aquíferos no contexto de Minas Gerais

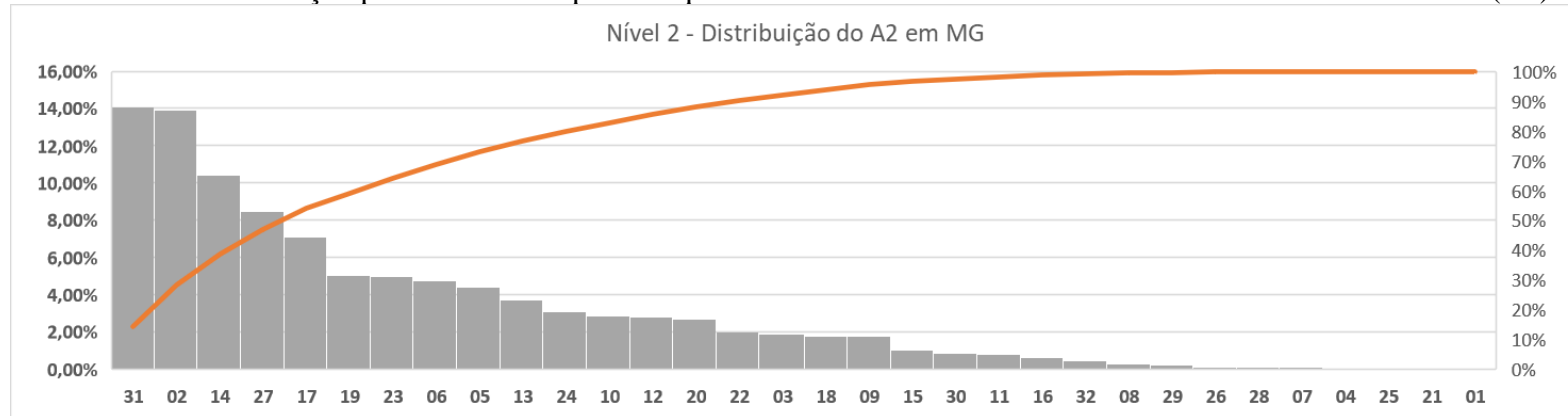
Unidades hidrogeológicas	km² Unidade	% Estado
01 Granular; Ausente; Não fraturada; Porosidade Alta - (>30%); Não se aplica	31,7	0,0%
02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Indeterminado	81090,5	13,9%
03 Granular; Não dobrada; Ausente; Porosidade Alta - (>30%); Não se aplica	10749,5	1,8%
04 Granular; Não dobrada; Não fraturada; Porosidade Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	193,0	0,0%
05 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	25463,2	4,4%
06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	27471,6	4,7%
07 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Moderada - (15 a 30%); Predominantemente arenoso	629,6	0,1%
08 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	1506,0	0,3%
09 Granular; Pouco a moderad. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltoso	10293,2	1,8%
10 Granular/fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	16613,1	2,9%
11 Granular/fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	4462,1	0,8%
12 Granular/fissural; Pouco a moderad. dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	16072,1	2,8%
13 Granular/fissural; Pouco a moderad. dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltoso-arenoso	21569,1	3,7%
14 Granular/fissural; Pouco a moderad. dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	60793,0	10,4%
15 Granular/fissural; Pouco a moderad. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltoso-arenoso	5879,0	1,0%
16 Granular/fissural; Pouco a moderad. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltoso	3577,7	0,6%
17 Cárstico; Pouco a moderad. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	41357,3	7,1%
18 Cárstico; Pouco a moderad. dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	10379,9	1,8%
19 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltoso-arenoso	29210,5	5,0%
20 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	15478,5	2,7%
21 Fissural; Não dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	96,7	0,0%
22 Fissural; Pouco a moderad. dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente arenoso	11674,9	2,0%
23 Fissural; Pouco a moderad. dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltoso-arenoso	28894,5	5,0%
24 Fissural; Pouco a moderad. dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	17865,3	3,1%
25 Fissural; Pouco a moderad. dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltoso	137,0	0,0%
26 Fissural; Intensa. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%)	661,5	0,1%
27 Fissural; Intensa. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltoso-arenoso	49266,0	8,5%
28 Fissural; Intensa. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltoso	631,2	0,1%
29 Fissural; Intensa. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	1362,8	0,2%
30 Fissural; Intensa. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	5004,6	0,9%
31 Fissural; Intensa. dobrada; Zonas de cisalhamento; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltoso-arenoso	82079,4	14,1%
32 Fissural; Intensa. dobrada; Zonas de cisalhamento; Porosidade Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	2418,4	0,4%

Figura 4.7 –Parâmetro Hidrogeológico Nível 2 – Tipos de aquíferos no contexto de Minas Gerais



Nota: Legenda de cada numeração representa na Tabela 4.8.

Gráfico 4.11 - Distribuição percentual dos tipos de aquíferos em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 2 (A2)



Unidades hidrogeológicas	% Estado
31 Fissural; Intensa. dobrada; Zonas de cisalhamento; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltoso-arenoso	14,1%
02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Indeterminada	13,9%
14 Granular/fissural; Pouco a moderad. dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	10,4%
27 Fissural; Intensa. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltoso-arenoso	8,5%
17 Cárstico; Pouco a moderad. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	7,1%
19 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltoso-arenoso	5,0%
23 Fissural; Pouco a moderad. dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltoso-arenoso	5,0%
06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	4,7%
05 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	4,4%
13 Granular/fissural; Pouco a moderad. dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltoso-arenoso	3,7%
24 Fissural; Pouco a moderad. dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	3,1%
10 Granular/fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	2,9%
12 Granular/fissural; Pouco a moderad. dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	2,8%
20 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	2,7%
22 Fissural; Pouco a moderad. dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente arenoso	2,0%
03 Granular; Não dobrada; Ausente; Porosidade Alta - (>30%); Não se aplica	1,8%
18 Cárstico; Pouco a moderad. dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	1,8%
09 Granular; Pouco a moderad. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltoso	1,8%
15 Granular/fissural; Pouco a moderad. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltoso-arenoso	1,0%
30 Fissural; Intensa. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0,9%
11 Granular/fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0,8%
16 Granular/fissural; Pouco a moderad. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltoso	0,6%
32 Fissural; Intensa. dobrada; Zonas de cisalhamento; Porosidade Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0,4%
08 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0,3%
29 Fissural; Intensa. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0,2%
26 Fissural; Intensa. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%)	0,1%
28 Fissural; Intensa. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltoso	0,1%
07 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Moderada - (15 a 30%); Predominantemente arenoso	0,1%
04 Granular; Não dobrada; Não fraturada; Porosidade Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0,0%
25 Fissural; Pouco a moderad. dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltoso	0,0%
21 Fissural; Não dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0,0%
01 Granular; Ausente; Não fraturada; Porosidade Alta - (>30%); Não se aplica	0,0%
Total	100,0%

Considerando o percentual de distribuição e os valores acumulados, pode-se tecer as seguintes considerações:

- Quase 30% da área do estado é abrangida por dois tipos de aquíferos: a) fissural, intensamente dobrado, com porosidade baixa e textura predominantemente argilo-siltico-arenosa (**31**) (14,1%), concentrado no embasamento cristalino (0208) e, de forma pontual, no sistema de aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas (0205); b) granular, pouco a moderadamente fraturado principalmente, com porosidade e textura variáveis (**02**) (13,9%), estando vinculado aos aquíferos superficiais das coberturas detríticas e detrítico-lateríticas (0202).
- Na faixa entre 10,4 e 7% da área no estado há quatro tipos de aquíferos: a) granular/fissurais; pouco a moderadamente dobrados e fraturados; porosidade variável e textura de arenosa a argilo-siltosa (**14**) (10,4%), presentes nos sistemas aquíferos silto-argilosos intercalados com arenitos, grauvacas e calcários (0206) e, secundariamente, das rochas metassedimentares e metavulcânicas (0205); b) fissurais, intensamente dobrados e fraturados, com porosidade baixa e predominantemente argilo-silto-arenosos (**27**) (8,5%), presentes no sistema de aquífero das rochas do embasamento cristalino (0208); c) fissurais não dobrados, pouco a moderadamente fraturados;, com porosidade baixa e predominantemente argilo-silto-arenosos (**19**) (7,6%), também nas rochas do embasamento cristalino (0208); d) cársticos, pouco a moderadamente dobrados e intensamente fraturados, com porosidade baixa e predominantemente argilosos (**17**) (7,1%), situados nos sistemas aquíferos carbonáticos (0207). Em termos acumulados, os tipos **31**, **02**, **14**, **27**, **19** e **17** ocupam mais que 61% do estado.

Os aquíferos **19**, **23**, **06** e **05** apresentam uma distribuição relativamente semelhante, variando entre 4 e 5 % de área. Todos são pouco a moderadamente fraturados, sendo que os granulares apresentam porosidade alta e os fraturados porosidade baixa. Abaixo são apresentadas suas características:

- Aquífero fissural, não dobrado e pouco a moderadamente fraturado; com porosidade baixa e predominantemente argilo-silto-arenoso (5%) (**19**);
- Aquífero fissural, pouco a moderadamente dobrado e fraturado; com porosidade baixa e predominantemente argilo-silto-arenoso (5%) (**23**);

- Aquífero granular, não dobrado; pouco a moderadamente fraturado; com porosidade alta e variável de arenoso a argilo-siltoso (4,7%) (**06**);
- Aquífero granular, não dobrado; pouco a moderadamente fraturado; com porosidade alta e predominantemente arenoso (4,4%) (**05**).

Em termos acumulados, os tipos de aquíferos apresentados acima somam em torno de 70% da área do estado. Os outros tipos apresentam percentuais abaixo de 4%, a saber:

- **13, 24, 10, 12, 20, 06 e 22** – 2 a 3,7%;
- **03, 18, 09 e 15** – 1 a 1,8%;
- **30, 11, 16, 32, 08, 29, 26, 28, 07, 04, 25, 21 e 01** – < 1%.

O significado de cada unidade (ou número) pode ser conferido na Tabela 4.8.

De forma resumida, foi verificado que, em Minas Gerais:

- A grande maioria dos aquíferos granulares não é dobrada. Quando dobrados, os aquíferos apresentam intercalações irregulares de metassedimentos. Apresentam-se, em sua maioria, pouco a moderadamente fraturados, com porosidade alta ou variável, e textura indeterminada ou arenosa;
- A grande maioria dos aquíferos granulares/fissurais é pouco a moderadamente dobradas e fraturadas, com porosidade principalmente variável e textura variável de arenosa a argilo-siltosa;
- Os aquíferos fissurais apresentam-se de intensamente dobrados a não dobrados, de pouco a moderadamente fraturados, cisalhados ou intensamente fraturados, com porosidade baixa e textura predominantemente argilo-silto-arenosa;
- Os aquíferos cársticos variam de intensamente dobrados a não dobrados, pouco a moderadamente fraturados, cisalhados ou intensamente fraturados, porosidade baixa e textura predominantemente argilo-silto-arenosa.

Em **termos de distribuição das AUs** do inventário em relação aos tipos de aquíferos, a Tabela 4.9 apresenta os quantitativos em área e percentual de ocorrência de AUs em cada tipo de aquífero do nível 2 (A2) e seu percentual em relação à área de cada tipo no estado.

Tabela 4.9 – Distribuição das AUs nos Tipos de aquíferos em Minas Gerais

Tipos de aquíferos	AUs – área em km ²	% de ocorrência de AUs	Area em km ² de cada tipo A2 Unidade	% de ocorrência AUs em cada tipo A2
01 Granular; Ausente; Não fraturada; Porosidade Alta - (>30%); Não se aplica	0,00	0,0%	31,7	0,0%
02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Indeterminada	863,32	10,6%	81090,5	1,1%
03 Granular; Não dobrada; Ausente; Porosidade Alta - (>30%); Não se aplica	584,44	7,2%	10749,5	5,4%
04 Granular; Não dobrada; Não fraturada; Porosidade Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0,01	0,0%	193,0	0,0%
05 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	1832,14	22,5%	25463,2	7,2%
06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	656,81	8,1%	27471,6	2,4%
07 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Moderada - (15 a 30%); Predominantemente arenoso	2,51	0,0%	629,6	0,4%
08 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	5,35	0,1%	1506,0	0,4%
09 Granular; Pouco a moderad. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltoso	43,88	0,5%	10293,2	0,4%
10 Granular/fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	898,16	11,0%	16613,1	5,4%
11 Granular/fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	43,25	0,5%	4462,1	1,0%
12 Granular/fissural; Pouco a moderad. dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	233,62	2,9%	16072,1	1,5%
13 Granular/fissural; Pouco a moderad. dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltoso-arenoso	254,77	3,1%	21569,1	1,2%
14 Granular/fissural; Pouco a moderad. dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	813,39	10,0%	60793,0	1,3%
15 Granular/fissural; Pouco a moderad. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltoso-arenoso	101,82	1,3%	5879,0	1,7%
16 Granular/fissural; Pouco a moderad. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltoso	14,54	0,2%	3577,7	0,4%
17 Cárstico; Pouco a moderad. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	518,87	6,4%	41357,3	1,3%
18 Cárstico; Pouco a moderad. dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	30,81	0,4%	10379,9	0,3%
19 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltoso-arenoso	26,15	0,3%	29210,5	0,1%
20 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	790,86	9,7%	15478,5	5,1%
21 Fissural; Não dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0,00	0,0%	96,7	0,0%
22 Fissural; Pouco a moderad. dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente arenoso	19,74	0,2%	11674,9	0,2%
23 Fissural; Pouco a moderad. dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltoso-arenoso	6,46	0,1%	28894,5	0,0%
24 Fissural; Pouco a moderad. dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	134,85	1,7%	17865,3	0,8%
25 Fissural; Pouco a moderad. dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltoso	0,01	0,0%	137,0	0,0%
26 Fissural; Intensa. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%)	0,14	0,0%	661,5	0,0%
27 Fissural; Intensa. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltoso-arenoso	36,78	0,5%	49266,0	0,1%
28 Fissural; Intensa. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltoso	0,12	0,0%	631,2	0,0%
29 Fissural; Intensa. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	1,17	0,0%	1362,8	0,1%
30 Fissural; Intensa. dobrada; Intensa. fraturada; Porosidade Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	1,27	0,0%	5004,6	0,0%
31 Fissural; Intensa. dobrada; Zonas de cisalhamento; Porosidade Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltoso-arenoso	213,03	2,6%	82079,4	0,3%
32 Fissural; Intensa. dobrada; Zonas de cisalhamento; Porosidade Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	5,48	0,1%	2418,4	0,2%
Total Geral	8.133,76	100,0%	582.912,78	

Observando a Tabela 4.9 e o Gráfico 4.12 (percentual de ocorrência das AUs em cada tipo de aquífero e seus valores acumulados), observa-se que o tipo de aquífero **5** (do tipo granular, não dobrado, pouco a moderadamente fraturado, porosidade alta e predominantemente arenoso) é aquele que abriga um maior percentual de AUs no estado, com 22%. Além disso, em termos de percentual de AUs em relação à área de cada tipo de aquífero (Tabela 4.9; Gráfico 4.13) é aquele que também apresenta maior ocorrência em relação à área de ocorrência da unidade, apresentando 7,2% ocupada por AUs. O aquífero **5** coincide com espessos pacotes de arenitos, condicionando a ocorrência de veredas. Estão, em sua maioria, no domínio dos Relevos ondulados e dissecados das bacias dos rios Paranaíba e Grande (**0115**), em colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20° (**06**) e no domínio da Depressão dos rios Paranaíba e Grande (0104), em Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10° (**05**).

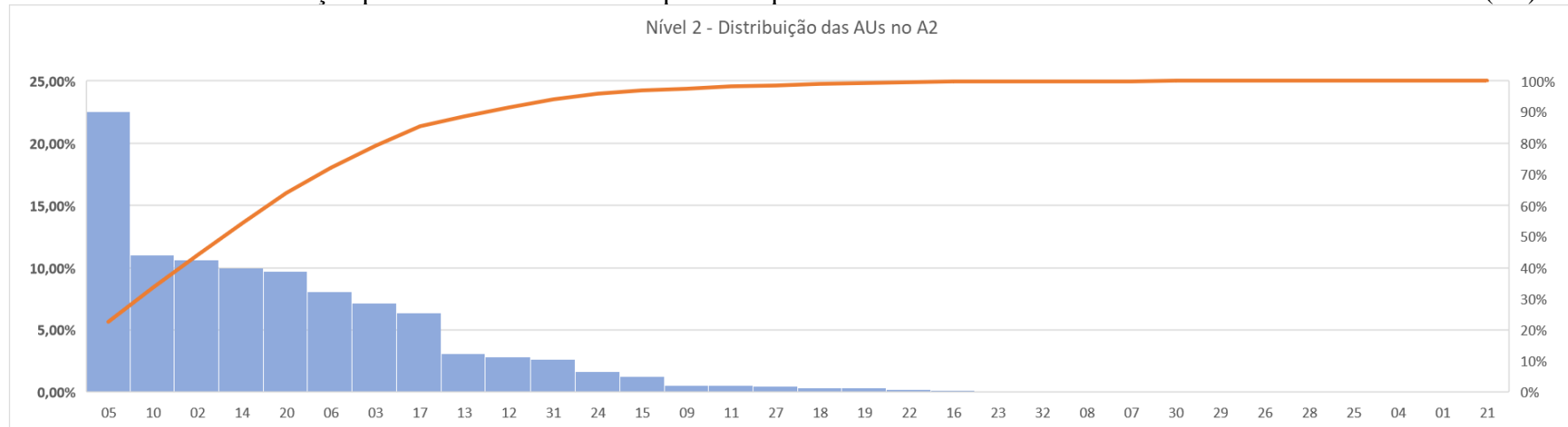
Entre 11 e 9,7% das AUs (Tabela 4.9 e o Gráfico 4.12), tem-se, em ordem decrescente sua ocorrência distribuída nos seguintes tipos de aquíferos:

- Tipo de aquífero granular/fissural, não dobrado, pouco a moderadamente fraturado, porosidade alta e textura variável de arenoso a argilo-siltoso (**10**) (11,0%), coincidentes com arenitos (**0203**). Observa-se que, em termos relativos (percentual relativo à sua área no estado), apresenta a segunda maior ocorrência de AUs (5,4%) (Tabela 4.9);
- Tipo de aquífero granular, sem dobras, pouco a moderadamente fraturados, porosidade e textura variáveis (**02**) (10,6%), em sistemas aquíferos detríticos ou detrítico-lateríticos (**0202**); Apesar de concentrarem a terceira maior ocorrência de AUs, em termos relativos, as AUs ocupam apenas 1,1% desta unidade (Tabela 4.9);
- Tipo de aquífero granular/fissural, pouco a moderadamente dobrado e fraturado, com porosidade variável - (0 a >30%); e textura variável de arenosa a argilo-siltosa (**14**) (10,0%), ocorrendo principalmente em aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvacas e calcários (0206); em termos relativos, ocupam apenas 1,3% (Tabela 4.9).
- Tipo de aquífero fissural, sem dobras, pouco a moderadamente fraturados com porosidade baixa, predominantemente argiloso (**20**) (9,7%), ocorrendo em aquíferos de rochas vulcânicas (**0204**); em termos relativos, apresentam percentuais relativamente elevados, com 5,1% (Tabela 4.9).

Os valores acumulados com os tipos descritos somam quase 64% das AUs do estado. Em sequência, com 7,2% de ocorrência de AUs, tem-se o tipo de aquífero granular, não dobrados e fraturados, com porosidade alta (**03**), coincidente com o sistema de aquíferos granulares aluvionares (**0201**). Em termos relativos (percentual relativo à sua área no estado), o tipo 3 apresenta percentual elevado (5,4%). Em seguida tem-se o aquífero do tipo cárstico, pouco a moderadamente dobrado e intensamente fraturado, com porosidade baixa e predominantemente argiloso (**17**), com 6,4% de ocorrência de AUs do mapeamento e apenas 1,3% relativo à sua área no estado. Com estes aquíferos o total acumulado sobe a 85,5%.

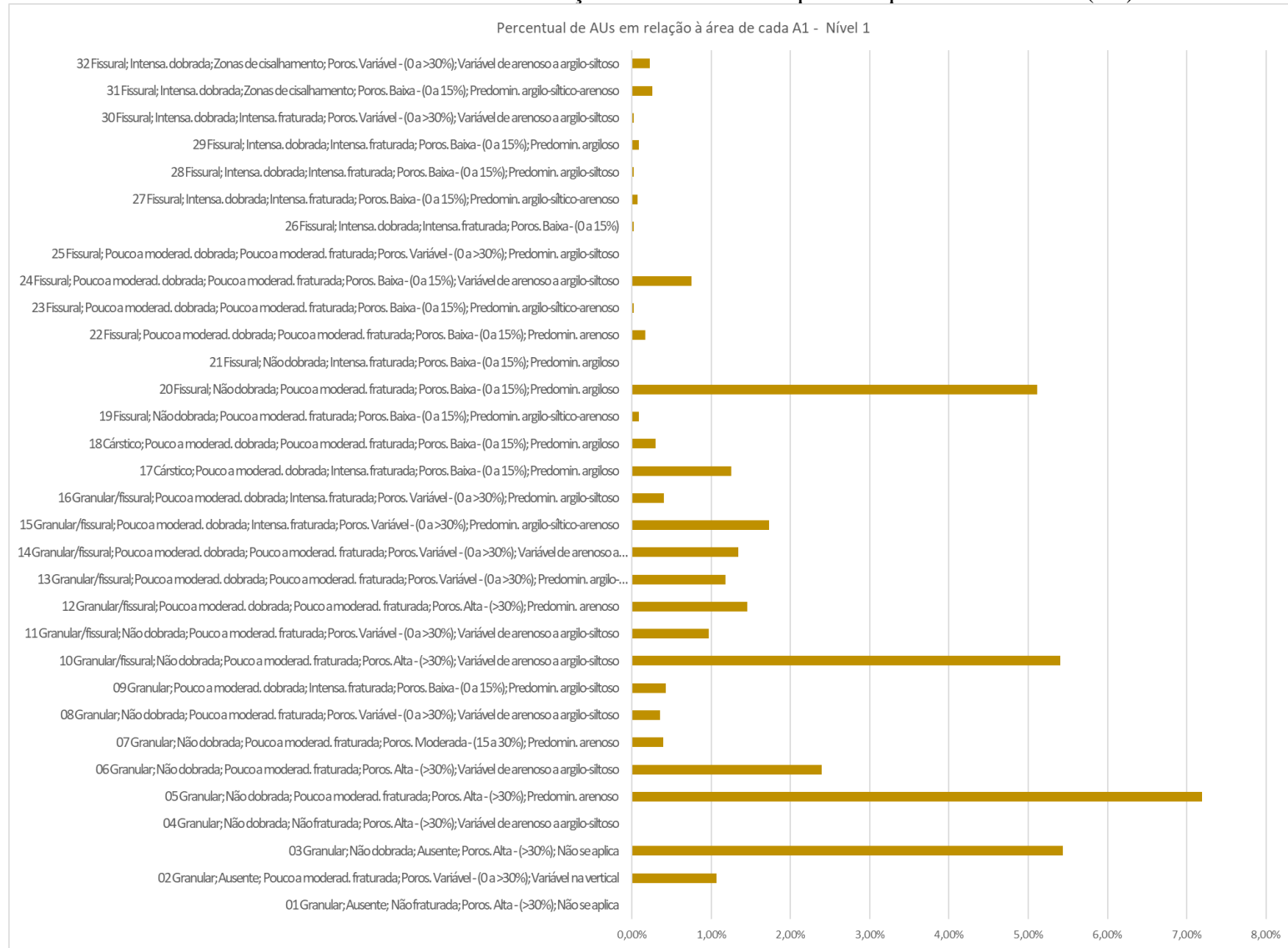
Os tipos **13**, **12**, **31**, **24** e **15**, cuja descrição pode ser vista na legenda, apresentam valores entre 3,1% e 1,3% e valores relativos abaixo de 2%. Os valores acumulados com os registros acima somam 97,1%. Os outros aquíferos têm percentuais pouco expressivos de AUs.

Gráfico 4.12 - Distribuição percentual das AUs nos Tipos de Aquíferos em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 2 (A2)



Ocorrência das AUs nos tipos de aquíferos	Área	Percentual
05 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta (>30%); Predominantemente arenoso	1.832,14	22,5%
10 Granular/fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	898,17	11,0%
02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável na vertical	863,32	10,6%
14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	813,39	10,0%
20 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	790,86	9,7%
06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	656,82	8,1%
03 Granular; Não dobrada; Ausente; Poros. Alta (>30%); Não se aplica	584,44	7,2%
17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	518,87	6,4%
13 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	254,78	3,1%
12 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta (>30%); Predominantemente arenoso	233,63	2,9%
31 Fissural; Intensamente dobrada; Zonas de cisalhamento; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	213,03	2,6%
24 Fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	134,85	1,7%
15 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	101,82	1,3%
09 Granular; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltoso	43,88	0,5%
11 Granular/fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	43,25	0,5%
27 Fissural; Intensamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	36,78	0,5%
18 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	30,81	0,4%
19 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	26,15	0,3%
22 Fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente arenoso	19,74	0,2%
16 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltoso	14,54	0,2%
23 Fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	6,46	0,1%
32 Fissural; Intensamente dobrada; Zonas de cisalhamento; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	5,48	0,1%
08 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	5,35	0,1%
07 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Moderada - (15 a 30%); Predominantemente arenoso	2,51	0,0%
30 Fissural; Intensamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	1,27	0,0%
29 Fissural; Intensamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	1,17	0,0%
26 Fissural; Intensamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%)	0,14	0,0%
28 Fissural; Intensamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltoso	0,12	0,0%
25 Fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltoso	0,01	0,0%
04 Granular; Não dobrada; Não fraturada; Poros. Alta (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0,01	0,0%
Total	8.133,78	100%

Gráfico 4.13 - Percentual de AUs em relação à área de cada Tipo de Aquífero do Nível 2 (A2)



4.2.3 Relações entre os níveis 1 e 2 das AUs

A Tabela 4.10 apresenta a distribuição das AUs, considerando os sistemas aquíferos (A1) e os tipos de aquíferos (A2 - 38 classes). Com base na tabela e no parâmetro hidrogeológico, as AUs encontram-se principalmente em:

- Aquíferos aluvionares (**0201**), do tipo granular (**03**) (ausente de dobras e ausente de fraturas e porosidade alta), tendem a formar AUs nas planícies de inundação, principalmente nos períodos de chuvas.
- Aquíferos detríticos ou detrítico-lateríticos (**0202**) (ausente de dobras, pouco a moderadamente fraturados - em porções localizadas, não fraturados – e porosidade e textura variáveis), formando, sobretudo, AUs de aquíferos suspensos em áreas elevadas;
- Aquíferos areníticos (**0203**):
 - Os aquíferos areníticos do tipo granulares, com porosidade e permeabilidade alta (**05**) são produtivos, com rápida recarga e favorecem a ocorrência das AUs nas zonas de contato entre o material arenoso e os materiais sotopostos, menos permeáveis. A exfiltração ocorre, principalmente, na base de colinas dissecadas e morros baixos formando veredas, no Triângulo Mineiro. Assim, estes aquíferos condicionam uma maior presença de AUs em função dos processos de recarga (infiltração), percolação e exfiltração ocorrerem de forma mais rápida e eficiente do que, por exemplo, o aquífero **10**;
 - Os aquíferos areníticos, do tipo granular/fissural, não dobrados e pouco fraturados (**10**), condicionam o surgimento de AUs nos planaltos e baixos platôs, sobretudo, no Triângulo Mineiro. A topografia suavizada e a baixa presença de estruturas favorecem a permanência da água por mais tempo na superfície e processos de infiltração mais lentos do que no tipo de aquífero 05, induzindo a formação de AUs nos relevos mais planos e elevados;
 - Os aquíferos areníticos, do tipo granular/fissural (**06**) são típicos do aquífero Urucuia, na bacia do rio São Francisco, em modelados de colinas (suaves e dissecadas) e tabuleiros dissecados
- Aquíferos de rochas vulcânicas (**0204**), do tipo fissural (**20**), com porosidade e permeabilidade baixa encontram-se recobertos por sedimentos e, nas superfícies de contato entre estes e o saprólito subjacente há a formação de níveis freáticos que tendem

a gerar AUs nas zonas de exfiltração, ou seja, estas zonas favorecem o armazenamento hídrico e a sua exfiltração, sobretudo, em zonas de relevos de colinas;

- Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas (**0205**) do tipo granular/fissural, onde as AUs se encontram, sobretudo, em relevos montanhosos;
- Aquíferos silto-argilosos (**0206**), em contextos variados;
- Aquíferos carbonáticos (**0207**) intensamente fraturados (**17**) favorecem a conexão com as águas subterrâneas, originando a formação de diversas AUs em superfícies de dissolução (dolinas, poliés). A retenção de água ocorre em função dos fundos impermeabilizados por partículas argilosas ou sílticas (armazenamento de águas pluviais ou fluviais), ou pela conexão sazonal com o nível freático;
- Aquíferos do embasamento cristalino (**0208**), com destaque para os intensamente dobrados e fraturados e com porosidade baixa (**31**), permitem uma maior mobilidade do nível freático em função da sazonalidade pluviométrica, favorecendo a formação de AUs.

Pode-se dizer que as características dos aquíferos nos níveis I e II oferecem subsídios para caracterizar as AUs e interpretar possibilidades de modos de alimentação e da dinâmica das águas. Além disso, quando a interpretação é conjugada com os níveis I e II do parâmetro geomorfológico, tem-se mais elementos para interpretar a dinâmica hidrogeomorfológica de determinada AU, na escala regional.

Cabe destacar a necessidade de ampliar e detalhar o inventário de AUs nas áreas do embasamento cristalino e das rochas metassedimentares e metavulcânicas da porção sul e sudeste do estado. Neste contexto geológico e geomorfológico, formado por modelados típicos de mares de morro e colinas dissecadas, as AUs ocorrem geralmente nos fundos de vale e apresentam menores dimensões, o que deve dificultar o seu mapeamento.

Tabela 4.10 – Distribuição das AUs: Sistemas e tipos de aquíferos em Minas Gerais

A1XA2	% de ocorrência
0201 Aquíferos granulares aluvionares	7,2%
03 Granular; Não dobrada; Ausente; Poros. Alta - (>30%); Não se aplica	7,2%
0202 Aquíferos granulares detriticos ou detritico lateriticos	10,6%
02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável na vertical	10,6%
04 Granular; Não dobrada; Não fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0,0%
0203 Aquíferos areníticos	42,3%
05 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	22,5%
06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	8,1%
07 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Moderada - (15 a 30%); Predominantemente arenoso	0,0%
08 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0,1%
10 Granular/fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	11,0%
11 Granular/fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0,5%
12 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	0,0%
0204 Aquíferos de rochas vulcanicas	9,7%
20 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	9,7%
26 Fissural; Intensamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%)	0,0%
0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	10,3%
09 Granular; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltoso	0,5%
12 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	2,9%
13 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	3,1%
14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0,3%
15 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	1,3%
16 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltoso	0,2%
22 Fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente arenoso	0,2%
24 Fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	1,7%
25 Fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltoso	0,0%
28 Fissural; Intensamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltoso	0,0%
29 Fissural; Intensamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0,0%
30 Fissural; Intensamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0,0%
31 Fissural; Intensamente dobrada; Zonas de cisalhamento; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	0,1%
32 Fissural; Intensamente dobrada; Zonas de cisalhamento; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0,1%
0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvacas e calcários	9,7%
14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	9,7%
0207 Aquíferos carbonáticos	6,8%
17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	6,4%
18 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0,4%
0208 Aquíferos de rochas do embasamento cristalino	3,4%
19 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	0,3%
23 Fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	0,1%
27 Fissural; Intensamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	0,5%
29 Fissural; Intensamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0,0%
31 Fissural; Intensamente dobrada; Zonas de cisalhamento; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	2,6%
Total Geral	100,0%

4.3 Parâmetro Climático

4.3.1 Nível 1: Faixas de Pluviosidade

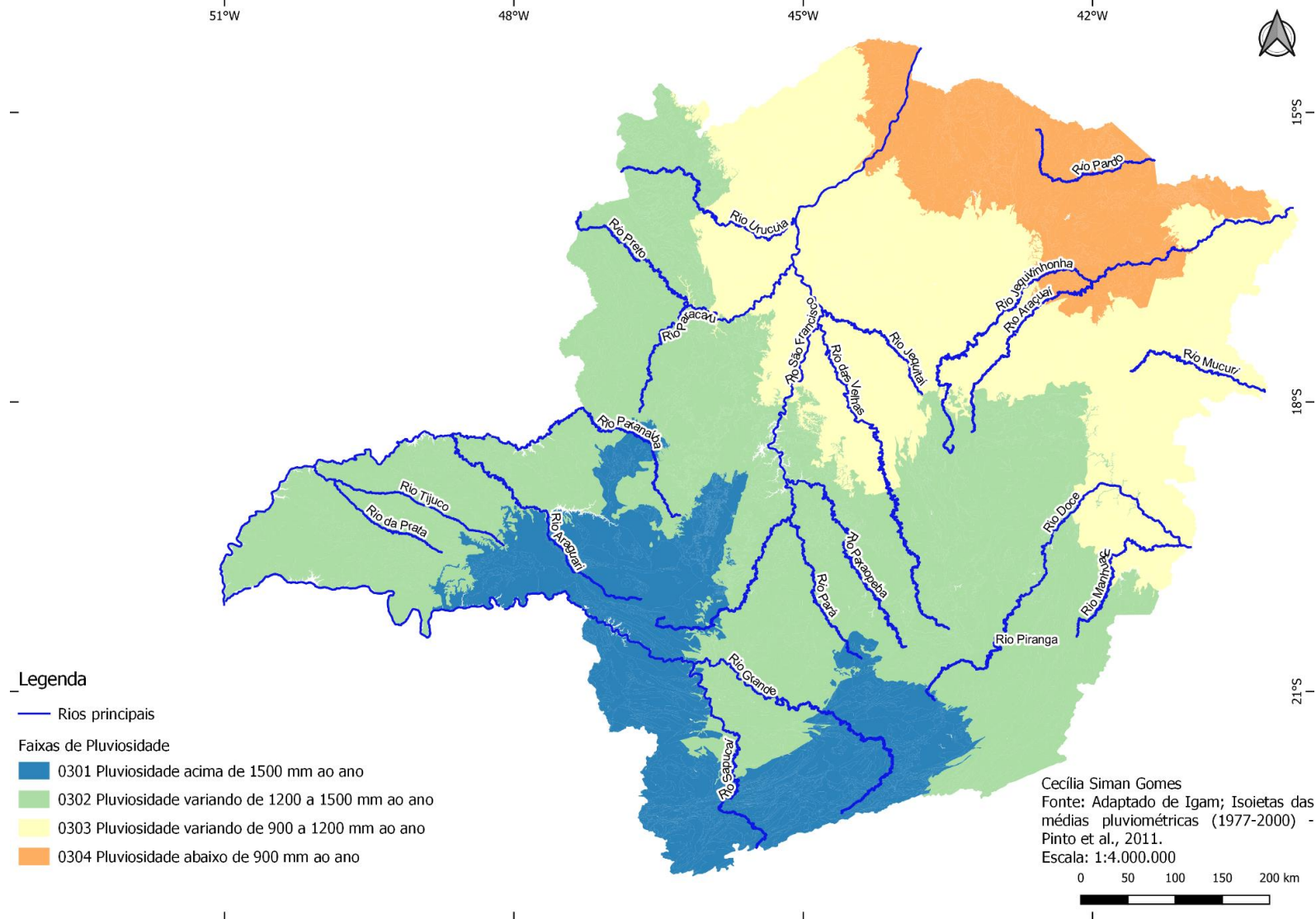
Em termos climáticos, o estado é dominado por um clima tropical com duas estações bem definidas (clima sazonal), sendo uma seca (inverno) e uma chuvosa (verão).

O parâmetro P1 (Nível 1 – Climatologia) é representado por 4 Faixas de Pluviosidade. A Tabela 4.11 apresenta a área e o percentual de ocorrência de cada faixa de pluviosidade e a Figura 4.8 sua espacialização.

Tabela 4.11 – Distribuição das unidades geomorfológicas em Minas Gerais

Faixas de Pluviosidade	km²	% Estado
0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	93.569,47	16,1%
0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	261.910,34	44,9%
0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	167.478,37	28,7%
0304 Pluviosidade abaixo de 900 mm ao ano	59.954,57	10,3%
Total Geral	582.912,75	100,0%

Figura 4.8 – Parâmetro Climático Nível 1 – Faixas de Pluviosidade no contexto de Minas Gerais



As quatro faixas pluviométricas definidas são descritas a seguir, considerando sua associação com as principais características climáticas presentes no território. Os percentuais de ocorrência e seus valores acumulados são apresentados no Gráfico 4.14.

Faixa pluviométrica ≥ 1500 mm/ano:

- Regime com precipitação acima 1500 mm (**0301**), onde os meses secos não ultrapassam geralmente 3 meses secos. É considerado um clima tropical úmido. A temperatura média anual é de branda ($< 15^\circ$). Ocupa a segunda menor área do estado, com 16,1% de abrangência, situando-se na faixa sudoeste-sul-sudeste.

Faixa pluviométrica ≥ 1200 e < 1500 mm /ano:

- Abrange áreas típicas do semiúmido mineiro, com chuvas acima de 1200 mm e menores que 1500 mm/ano (**0302**). A característica marcante é a estação chuvosa no verão. A temperatura média anual também é variável e o clima pode ser quente ($> 18^\circ$), sub quente (entre 15° e 18°) ou brando (entre 10° e 15°), dependente da altimetria, principalmente. Localiza-se na região centro-sul, sudeste e em grande parte do Triângulo Mineiro (região leste). É a faixa pluviométrica dominante, perfazendo 44,9% do território.

Faixa pluviométrica ≥ 900 e < 1200 mm/ano:

- Esta faixa envolve áreas de transição do semiárido ao semiúmido típico (**0303**). Situa-se nos vales dos rios São Francisco, alto curso do rio Jequitinhonha, rio Mucuri e uma porção do rio Doce (leste e nordeste do estado). Apresenta, geralmente, de 4 a 5 meses secos. A temperatura média anual é variável e o clima pode ser quente ($> 18^\circ$), sub quente (entre 15° e 18°) ou brando (entre 10° e 15°), dependendo do local e da altitude. Ocupa em torno de 28,7% do território.

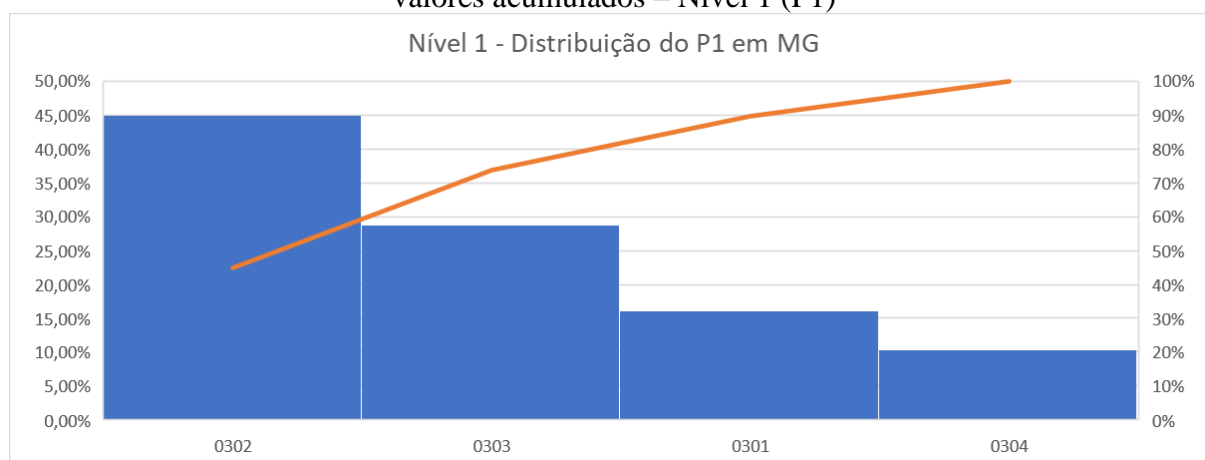
Faixa pluviométrica até 900 mm/ano:

- Esta faixa incorpora as áreas onde domina o clima semiárido mineiro, na região do norte de Minas, no vale do médio do rio São Francisco e no vale do rio Jequitinhonha (**0304**). Nesta faixa, os municípios também estão dentro do polígono da seca, delimitado pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste -SUDENE. O regime de chuvas é marcado pela escassez, irregularidade e concentração das precipitações num curto

período, geralmente de apenas três meses. O clima é quente, com presença de forte insolação. com temperatura média anual maior que 18°. Perfaz a menor área do estado, ocupando, em média, 10,3% do território.

Considerando os valores acumulados (Gráfico 4.14) observa-se que mais de 70% do estado apresenta uma pluviosidade entre 900 e 1500 mm/ano (**0302** e **0303**), que é um regime característico de um clima tropical semiúmido, sendo caracterizado por verões chuvosos e invernos secos com temperaturas mais amenas. Os extremos, ou seja, os valores abaixo de 900 mm (**0304**) e acima de 1500 mm (**0301**), perfazem menos de 30% do território e são típicos das regiões norte e sul, respectivamente.

Gráfico 4.14- Distribuição percentual das Faixas de Pluviosidade em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 1 (P1)



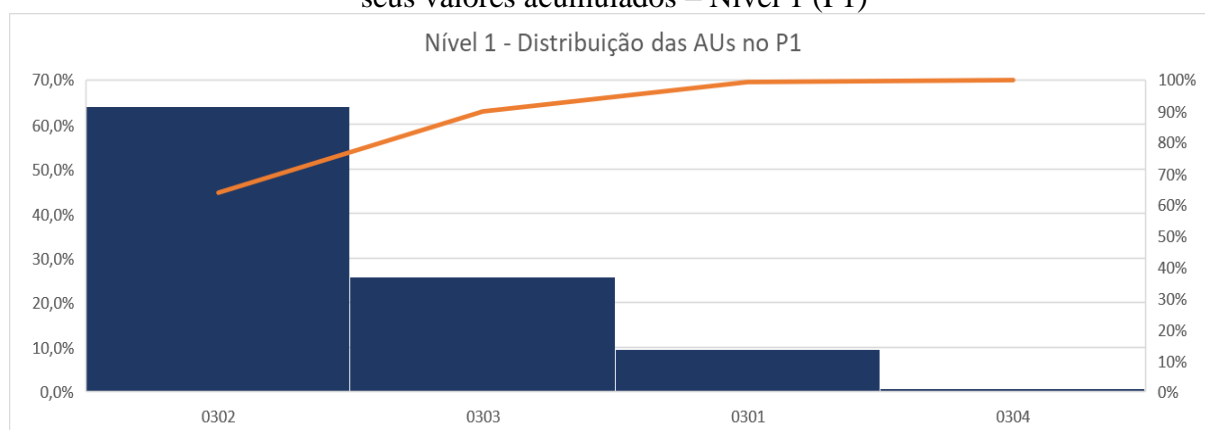
Legenda: **0301** Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano; **0302** Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano; **0303** Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano; **0304** Pluviosidade abaixo de 900 mm ao ano.

Em termos de **distribuição de AUs** do inventário em relação às faixas pluviométricas, a Tabela 4.12 apresenta os quantitativos em área e percentual de ocorrência de AUs em cada faixa do nível 1 (P1) e seu percentual relativo em relação à área de cada faixa pluviométrica no estado. O Gráfico 4.15 permite visualizar a distribuição percentual de ocorrência das AUs em cada faixa pluviométrica em Minas Gerais e os valores acumulados.

Tabela 4.12 – Distribuição das AUs nas Faixas Pluviométricas em Minas Gerais (Nível 1 – Parâmetro P1)

Descrição	AUs – área em km ²	% de ocorrência de AUs	Area em km ² de cada faixa do P1	% de ocorrência a AUs em cada faixa do P1
0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	773,25	9,5%	93.569,54	0,8%
0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	5.200,54	63,9%	261.919,70	2,0%
0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	2.101,17	25,8%	167.105,80	1,3%
0304 Pluviosidade abaixo de 900 mm ao ano	58,81	0,7%	60.313,28	0,1%
Total Geral	8133,76	100,0%	582.908,31	

Gráfico 4.15 - Distribuição percentual das AUs nas Faixas de Pluviosidade em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 1 (P1)



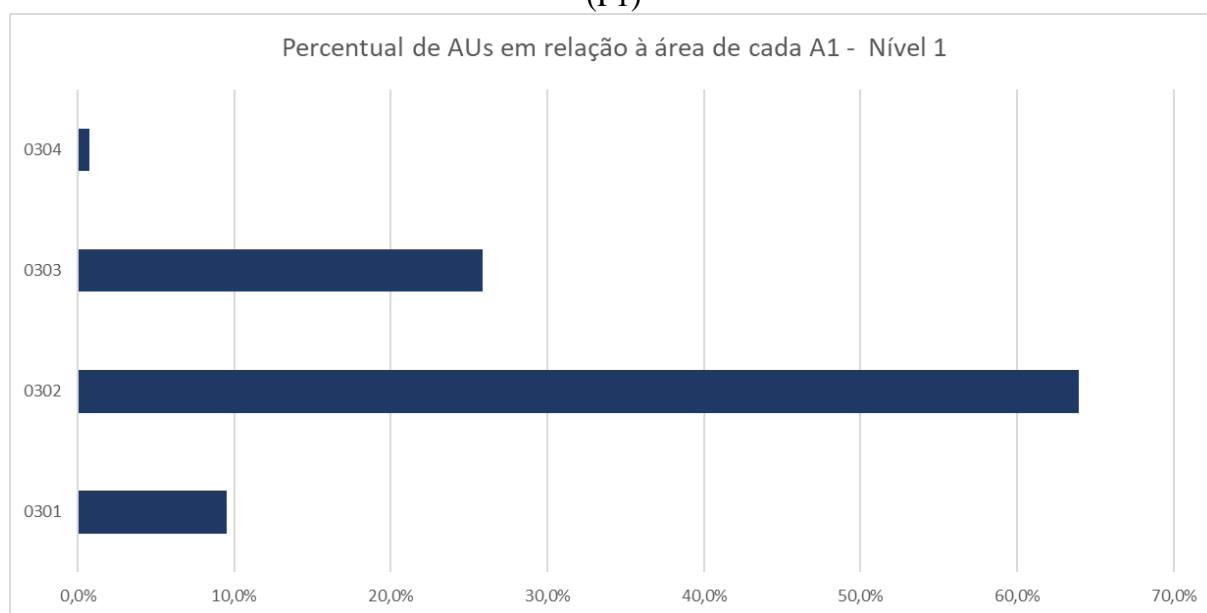
Legenda: **0301** Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano; **0302** Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano; **0303** Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano; **0304** Pluviosidade abaixo de 900 mm ao ano.

Considerando a Tabela 4.12 e o Gráfico 4.15, verifica-se que mais de 60% das AUs mapeadas encontram-se na faixa pluviométrica variando de 1200 a 1500 mm ao ano (**0302**) e, em sequência, na faixa de pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano (**0303**), com quase 26%. Estas duas faixas totalizam quase 90% do percentual mapeado das AUs no estado.

A faixa acima de 1500 mm (**0301**) concentra quase 10%, ao passo que a faixa abaixo de 900 mm (**0304**) concentra menos de 1% das AUs. Estas faixas também são aquelas que, em termos relativos, representam valores muito baixos, sobretudo, a faixa menor pluviosidade (Gráfico 4.16). Assim, pode dizer que os ambientes do semiárido mineiro e o sul de Minas, com

regimes, respectivamente, mais secos (**0304**) e mais chuvosos (**0301**), não favorecem a ocorrência de AUs. Dada a deficiência de água no semiárido, a ocorrência de AUs neste domínio se torna praticamente inexpressiva (**0304**). Em relação à faixa com maior pluviosidade (**0302**), destaca-se a porção sul e sudeste do estado, onde o embasamento cristalino intensamente dobradas e zonas de cisalhamento favorece a ocorrência de AUs em fundos de vale. O Gráfico 4.16, que apresenta o percentual de AUs em relação à área de cada Faixa de Pluviosidade do Nível 1, permite esta avaliação.

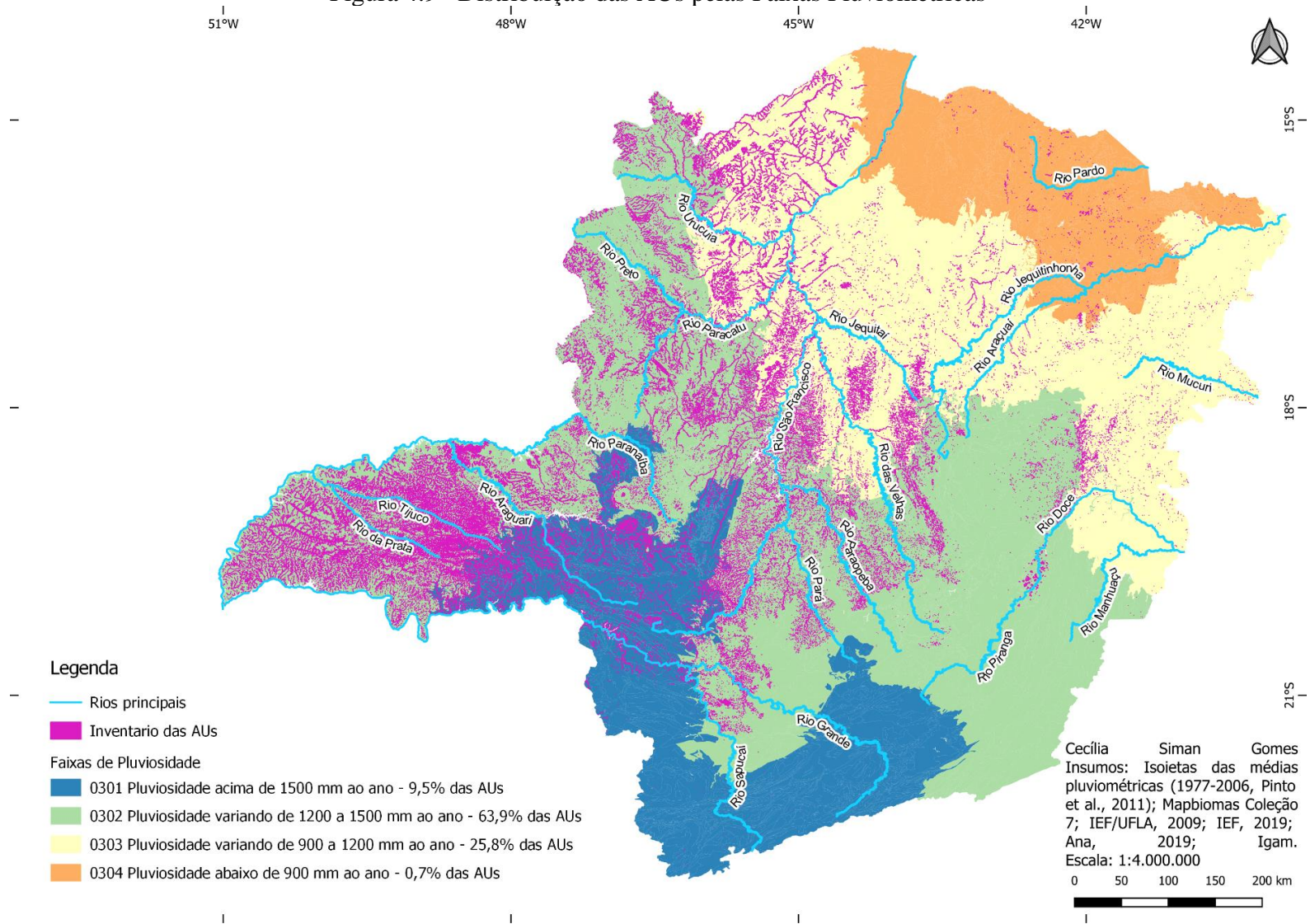
Gráfico 4.16- Percentual de AUs em relação à área de cada Faixa de Pluviosidade do Nível 1 (P1)



Legenda: **0301** Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano; **0302** Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano; **0303** Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano; **0304** Pluviosidade abaixo de 900 mm ao ano.

A Figura 4.9 apresenta a distribuição das AUs nas faixas pluviométricas no estado. Nota-se o predomínio das AUs na faixa do clima tropical típico (1200 a 1500 mm/ano) (**0302**) e, em sequência, o clima tropical típico mais seco (900 a 1200 mm/ano) (**0303**) do estado.

Figura 4.9 – Distribuição das AUs pelas Faixas Pluviométricas



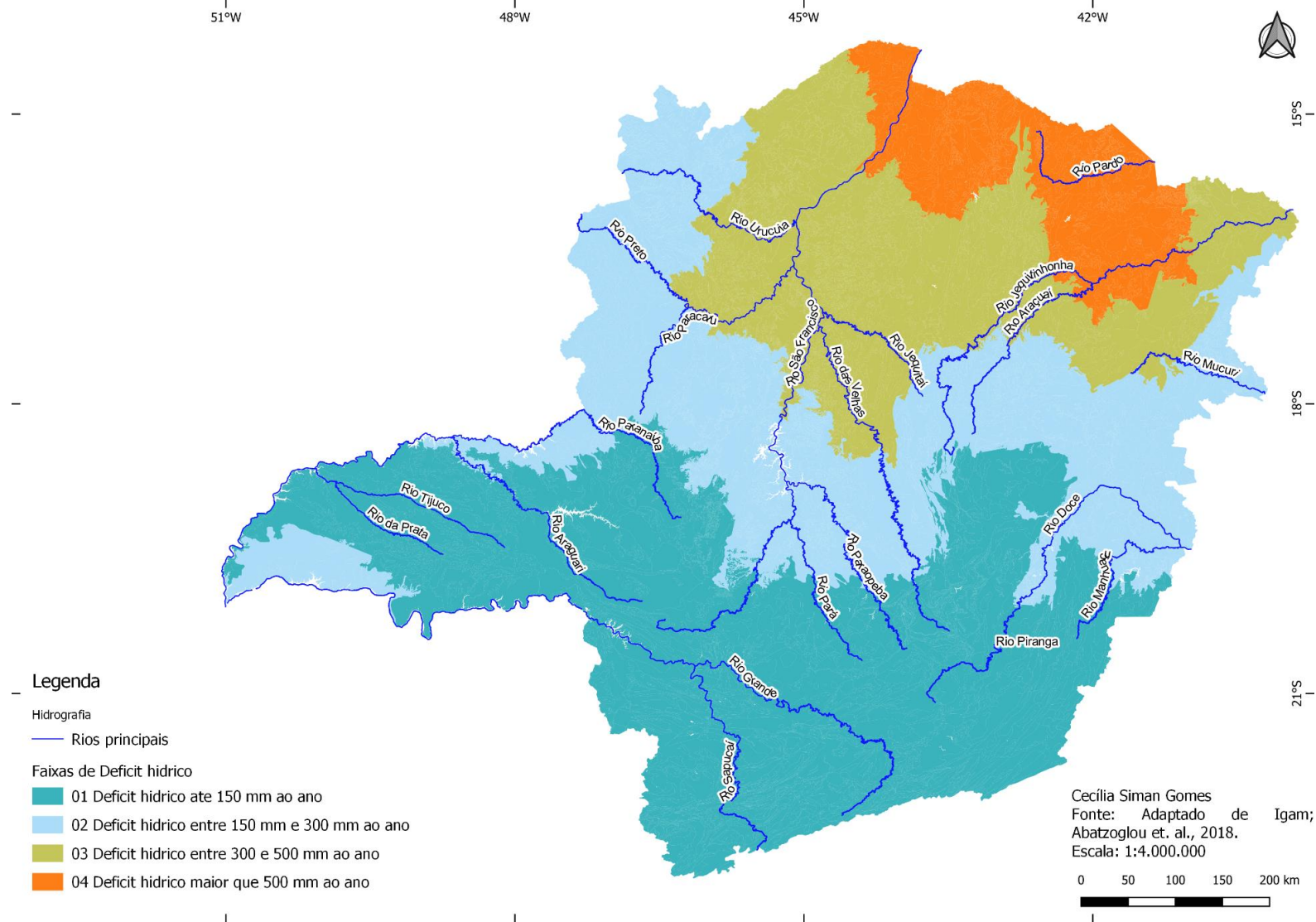
4.3.2 Nível 2: Faixas de Déficit Hídrico

O parâmetro DH2 (Nível 2 – Déficit Hídrico) é representado por faixas de déficit hídrico. A Tabela 4.13 apresenta a área e o percentual de ocorrência de cada faixa e a Figura 4.10 sua espacialização.

Tabela 4.13 – Distribuição das faixas de déficit hídrico em Minas Gerais

Faixas de Déficit Hídrico	km²	% Estado
01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	233.075,71	40,0%
02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	174.357,43	29,9%
03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	123.160,23	21,1%
04 Déficit hídrico maior que 500 mm ao ano	52.314,91	9,0%
Total Geral	582.908,28	100,0%

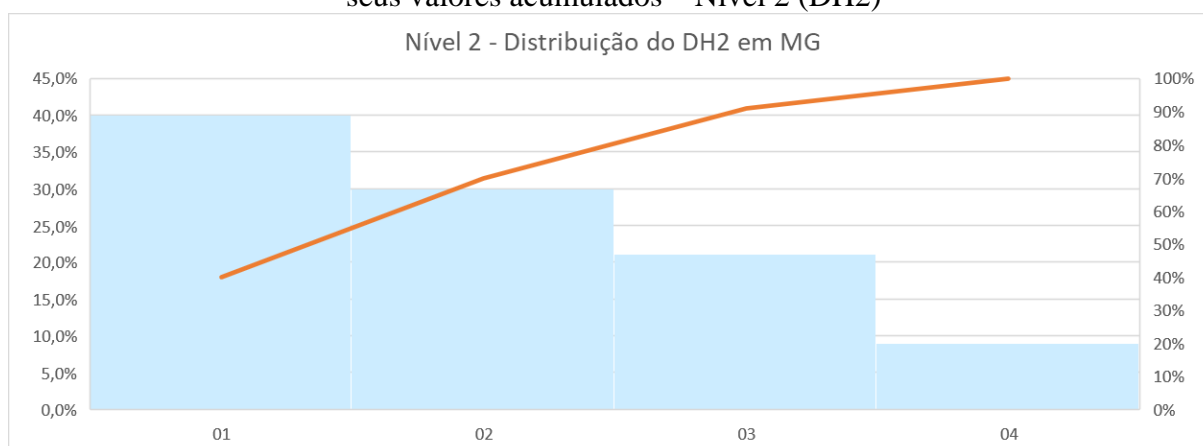
Figura 4.10 – Parâmetro Climático Nível 2 – Faixas de déficit hídrico no contexto de Minas Gerais



Observa-se que a maior parte do estado está presente na faixa que tem menor perda de umidade no solo anual (ou menor déficit hídrico – até 150 mm ao ano) (**01**), correspondendo a 40% do território. Esta faixa concentra-se na porção centro-sul, leste, sul, sudoeste e sudeste de Minas Gerais (Figura 4.10).

A faixa com déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano (**02**) representa quase 30%. Em termos acumulados (Gráfico 4.17), a somatória destas faixas representa quase 70% do território. Entre 300 e 500 mm (**03**) ocorre a terceira maior ocorrência, com 21,1%. Nesta faixa, destaca-se o médio vale do rio São Francisco (Figura 4.10). A faixa de maior déficit hídrico (maior que 500 mm ao ano) (**04**), apresenta também a menor cobertura no estado (9,0%), percentual semelhante que a faixa pluviométrica abaixo de 900 mm/ano (10,3%), onde, além da baixa pluviosidade, as taxas de evaporação da água no solo são mais significativas em função da maior temperatura na região.

Gráfico 4.17 - Distribuição percentual de cada Faixa de Déficit Hídrico em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 2 (DH2)



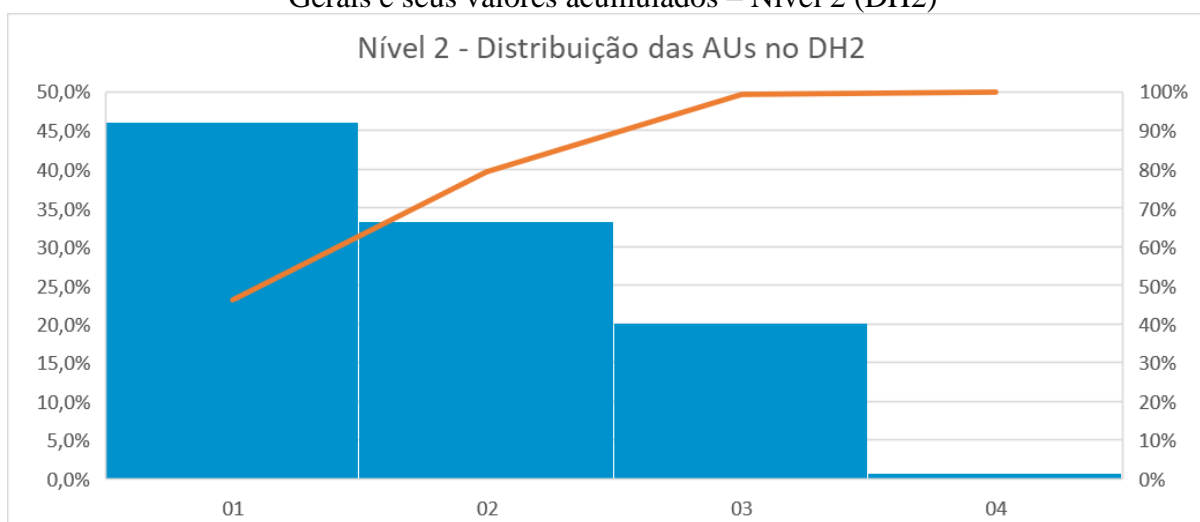
Legenda: **01** Déficit hídrico até 150 mm ao ano; **02** Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano; **03** Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano; **04** Déficit hídrico maior que 500 mm ao ano.

Em termos de **distribuição das AUs** do inventário em relação às faixas de déficit hídrico, a Tabela 4.14 apresenta os quantitativos em área e percentual de ocorrência de AUs em cada faixa do Nível 2 (DH2) e seu percentual relativo em relação à área de cada faixa déficit hídrico no estado. O Gráfico 4.18 permite visualizar a distribuição percentual de ocorrência das AUs em cada faixa de déficit hídrico em Minas Gerais e os valores acumulados.

Tabela 4.14 – Distribuição das AUs nas Faixas de Déficit Hídrico em Minas Gerais (Nível 2– Parâmetro DH2)

Faixas de Déficit Hídrico	AUs – área em km ²	% de ocorrência de AUs	Area em km ² de cada faixa do DH2	% de ocorrência AUs em cada faixa do DH2
01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	3745,23	46,00%	233.075,71	1,61%
02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	2703,61	33,20%	174.357,43	1,55%
03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	1634,98	20,10%	123.160,23	1,33%
04 Déficit hídrico maior que 500 mm ao ano	49,94	0,60%	52.314,91	0,10%
Total Geral	8133,76	100,00%	582908,28	

Gráfico 4.18 - Distribuição percentual das AUs em cada Faixa de Déficit Hídrico em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 2 (DH2)



Legenda: **01** Déficit hídrico até 150 mm ao ano; **02** Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano; **03** Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano; **04** Déficit hídrico maior que 500 mm ao ano.

Verifica-se que 46% das AUs encontram-se na faixa de déficit hídrico até 150 mm ao ano (**01**) e 33,20% na faixa de déficit hídrico entre 150 e 300 mm ao ano (**02**), somando quase 80% das AUs. Em termos relativos (Tabela 4.14 e Gráfico 4.19), ou seja, considerando o percentual de AUs em relação às áreas das faixas de Déficit Hídrico **01** e **02**, observa-se que os valores são extremamente próximos, 1,61% e 1,55%, respectivamente. Observa-se que a região do Triângulo Mineiro, onde há uma ocorrência concentrada de AUs, situa-se na faixa de pluviosidade entre 1200 e 1500 mm/ano e não acima de 1500 mm/ano (Figura 4.11). Por outro lado, há uma retenção expressiva de água no solo, cujo déficit hídrico está abaixo de 150 mm, o que demonstra o papel da hidrogeologia e dos solos hidromórficos na retenção de água.

A faixa de Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano (**03**) incorpora 20,10% das AUs e valores relativos de 1,33%, estando relativamente próximo às faixas **01** e **02**. Por outro lado, a faixa **03**, que apresenta Déficit hídrico maior que 500 mm ao ano, apresenta menos de 1% de ocorrência de AUs e sua ocorrência é inexpressiva (0,10%) em termos relativos (Gráfico 4.19).

Gráfico 4.19 – Percentual de AUs em relação à área de cada Faixa de Déficit Hídrico em Minas Gerais do Nível 2 (DH2)

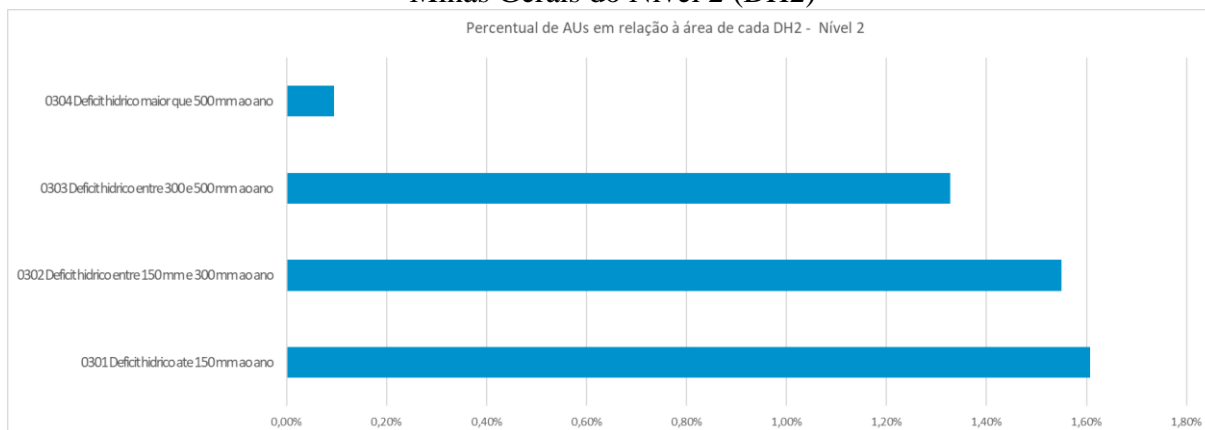
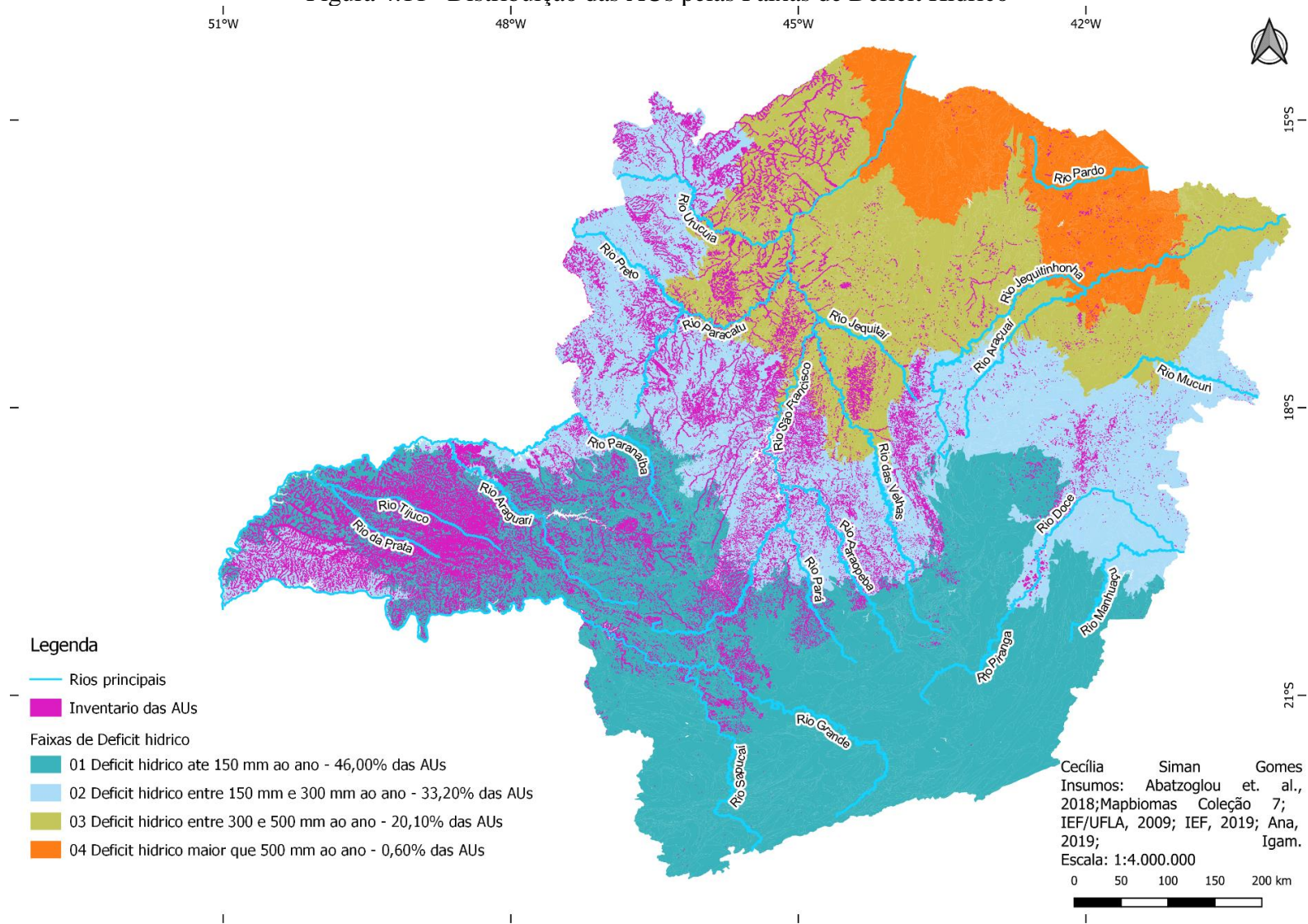


Figura 4.11 – Distribuição das AUs pelas Faixas de Déficit Hídrico



4.3.3 Relações entre os níveis 1 e 2 das AUs

A Tabela 4.15 apresenta a distribuição das AUs, considerando as faixas de pluviosidade (P1) e de déficit hídrico (DH2) (11 classes). Com base na tabela e no parâmetro climático, as AUs encontram-se, principalmente, na faixa pluviométrica de 1200 a 1500 mm ao ano (**0302**), em áreas com menor déficit hídrico (**01**) e, em sequência, com déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano (**02**). Estas áreas concentram-se nas regiões no Triângulo Mineiro e na bacia do São Francisco. Provavelmente, as AUs com déficit hídrico com até 150 mm/ano (**01**) são perenes e apresentam menor variação anual de umidade daquelas entre situadas 150 mm e 300 mm ao ano (**02**).

A terceira maior faixa de ocorrência de AUs ocorre entre 900 e 1200 mm de chuvas ao ano (**0303**), sobretudo, com déficit hídrico entre 300 e 500 mm/ ano (**03**). Estas áreas centram-se, na bacia do São Francisco, Jequitinhonha e Mucuri. Estas AUs possivelmente apresentam uma maior variabilidade de umidade ao longo ano.

Em áreas de pluviosidade acima de 1500 mm ao ano (**0301**), as AUs ocorrem em locais onde o déficit hídrico é mais baixo, com até 150 mm/ano (**01**), possivelmente são AUs com presença de umidade ao longo de todo o ano. Já na faixa pluviométrica abaixo de 900 mm ao ano (**0304**) os valores são inexpressivos, não sendo possível estabelecer correlações com as faixas de déficit hídrico.

Tabela 4.15 – Distribuição das AUs: Faixas pluviométricas e de déficit hídrico em Minas Gerais

Parâmetro Climático	% de ocorrência de AUs
0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	9,5%
01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	9,4%
02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0,1%
0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	63,9%
01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	36,6%
02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	27,1%
03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0,2%
0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	25,8%
02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	6,1%
03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	19,7%
0304 Pluviosidade abaixo de 900 mm ao ano	0,7%
03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0,1%
04 Déficit hídrico maior que 500 mm ao ano	0,6%
Total Geral	100,0%

4.4 Parâmetro Biológico

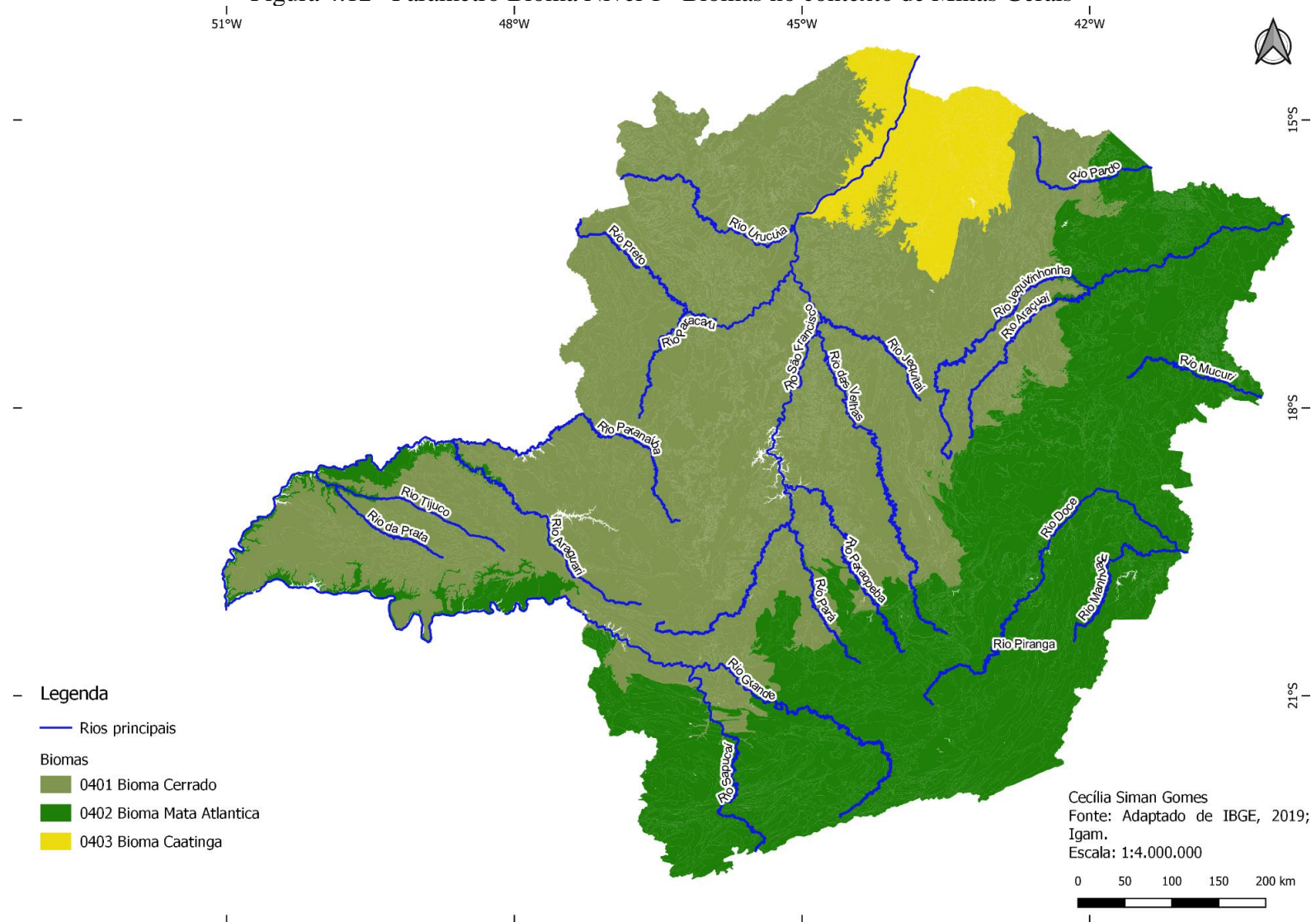
4.4.1 Nível 1: Biomas

Minas Gerais está inserido em três biomas - Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga – os quais conformam o parâmetro B1 (Nível 1 – Bioma). A Tabela 4.16 apresenta a área e o percentual aproximado de ocorrência de cada bioma e a Figura 4.12 a sua espacialização território.

Tabela 4.16 – Distribuição dos biomas em Minas Gerais

Biomias	km²	% Estado
0401 Bioma Cerrado	316.520,71	54,3%
0402 Mata Atlântica	234.368,90	40,2%
0403 Caatinga	32.018,57	5,5%
Total Geral	582.908,18	100,0%

Figura 4.12 –Parâmetro Bioma Nível 1– Biomas no contexto de Minas Gerais



A seguir são descritos os biomas considerando suas características principais, distribuição e fitofisionomias e/ou sistemas associados às AUs. Além disso, são apresentados os percentuais de ocorrência (Tabela 4.16) e comentada a sua distribuição no território, com base na Figura 4.12.

O Cerrado é o bioma predominante em Minas Gerais, ocupando mais de 50% da área e estando concentrado nas regiões central, leste e noroeste. É composto por formações florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), savânicas (Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado/Campo de Murundu, Palmeiral e Vereda) e campestres (Campo Sujo, Rupestre e Campo Limpo) e campo de Murundus, muitos dos quais apresentam subtipos (Ribeiro; Walter, 1998).

O bioma Cerrado é reconhecido como a Savana mais rica do mundo em biodiversidade, com a presença de diversas tipologias vegetais com mais de 10.000 espécies. Em termos da fauna, já foram catalogadas: 837 espécies de aves; 67 gêneros de mamíferos com 161 espécies, sendo que 19 delas só ocorrem nesse bioma; 150 espécies de anfíbios e 120 espécies de répteis (IBGE, 2018).

Ressalta-se que desde a década de 60, a cobertura vegetal natural do cerrado vem cedendo lugar à pecuária e à agricultura intensiva (IBGE, 2018). O último levantamento do estado, em 2009 (IEF, 2009), registrou apenas 20,5% da cobertura preservada (IEF).

A Mata Atlântica é o segundo maior bioma do estado, ocupando, em média, 40 % do território, prioritariamente sua porção leste. Atualmente, apresenta somente em torno de 9,5% da cobertura vegetal nativa preservada (IEF), que foi e continua sendo substituída.

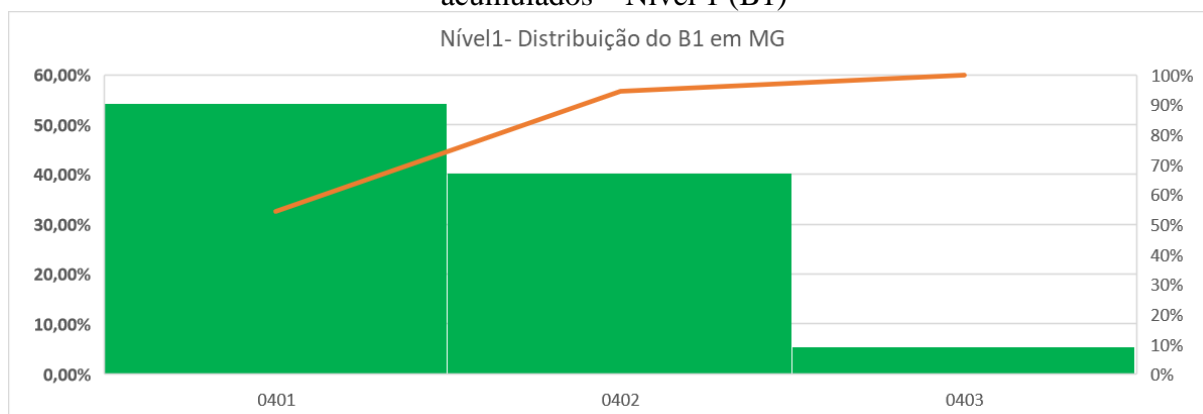
A Mata Atlântica é um bioma composto por Floresta Ombrófila, Floresta Estacional Semidecidual e Campos Rupestres (e ou de Altitude) e foi considerada como o quinto bioma com área mais ameaçada e rica em espécies endêmicas do mundo. Nela, foram registradas 1.361 espécies da fauna brasileira, com 261 espécies de mamíferos, 620 de aves, 200 de répteis e 280 de anfíbios, sendo que 567 espécies só ocorrem neste bioma. Ocorre de forma reduzida e fragmentada, com remanescentes florestais localizados especialmente em áreas de difícil acesso (IBGE, 2018). Na porção sul e sudeste do estado, o bioma da Mata Atlântica ocorre no domínio da Serra da Mantiqueira.

Em relação à Caatinga, este bioma ocupa a menor área do estado, perfazendo, em média, 5,5%. O clima predominante é o clima semiárido e, apesar disso, apresenta grande variedade de paisagens, relativa riqueza biológica e espécies específicas deste bioma. A forte sazonalidade e ocorrência de estiagens intensas é marcante e está associada aos regimes intermitentes dos

rios e à vegetação caducifólia, que volta a brotar e esverdear-se nos curtos períodos de chuva. Os tipos de vegetação da Caatinga encontram-se bastante alterados, com a substituição de espécies vegetais nativas por pastagens e agricultura, implementadas, sobretudo, através do desmatamento e das queimadas, que impactam na manutenção de animais silvestres, na qualidade da água e no equilíbrio do clima e do solo (IBGE, 2018). As AUs deste bioma são pouco expressivas, dadas as condições climáticas de baixa pluviosidade relativa e elevada evapotranspiração na maior parte do ano.

Considerando os valores acumulados (Gráfico 4.20), os biomas Cerrado e Mata Atlântica somam quase 95% do território.

Gráfico 4.20 - Distribuição percentual de cada Bioma em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 1 (B1)



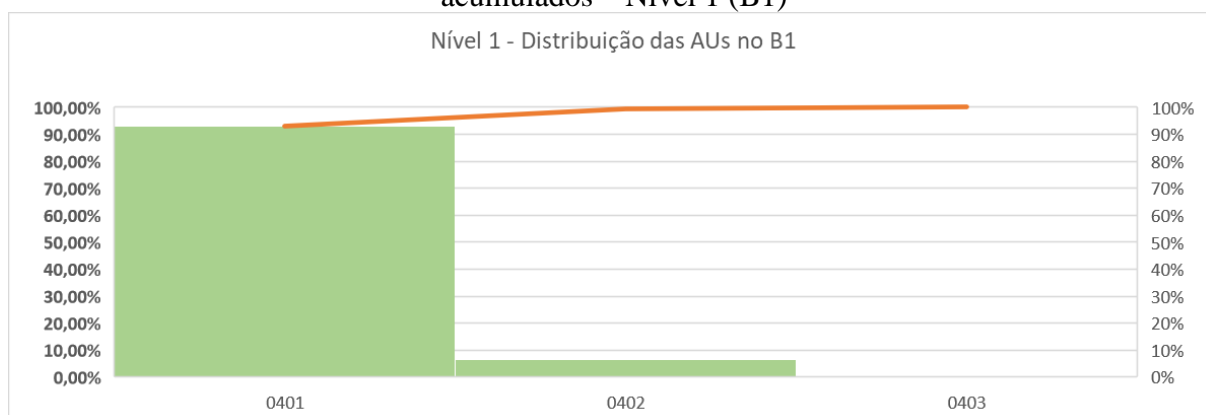
Legenda: **0401** Bioma Cerrado; **0402** Mata Atlântica; **0403** Caatinga

Em termos de **distribuição de AUs** do inventário em relação aos biomas, a Tabela 4.17 apresenta os quantitativos em área e percentual de ocorrência de AUs em cada faixa do nível 1 (B1) e seu percentual relativo em relação à área de cada bioma. O Gráfico 4.21 permite visualizar a distribuição percentual das AUs em cada bioma e os valores acumulados.

Tabela 4.17 – Distribuição das AUs pelos Biomas em Minas Gerais (Nível 1 – Parâmetro B1)

Bioma	AUs – área em km ²	% de ocorrência de AUs	Area em km ² de cada bioma	% de ocorrência AUs em relação à área de cada bioma
0401 Bioma Cerrado	7562,09	93,0%	316.520,71	2,4%
0402 Mata Atlântica	537,77	6,6%	234.368,90	0,2%
0403 Caatinga	33,90	0,4%	32.018,57	0,1%
Total Geral	8133,76	100,0%	582.908,18	

Gráfico 4.21 - Distribuição percentual das AUs nos Biomas em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 1 (B1)



Legenda: **0401** Bioma Cerrado; **0402** Mata Atlântica; **0403** Caatinga

Verifica-se que 93% das AUs mapeadas encontram-se no bioma Cerrado. As AUs são do tipo veredas e Campo de Murundus ou formam sistemas úmidos associados aos campos úmidos (ou hidromórficos) ou às matas galerias (ou florestas inundáveis). Os campos hidromórficos são formações essencialmente herbáceo-subarbusivas do cerrado, onde há saturação hídrica do solo, com presença geralmente de nascentes difusas. Os campos úmidos podem estar associados a corpos d'água e sua fisionomia pode variar de campo limpo à sujo (Ribeiro; Walter, 1998) e rupestre. Podem ocorrer, assim, em áreas de campos rupestres, de várzeas, no entorno de brejos, lagoas e veredas (Oliveira Filho *et al.*, 2006).

As matas galerias inundáveis são um tipo de vegetação florestal que ocorre ao longo de cursos d'água, onde o nível freático se mantém próximo ou na superfície do solo, mesmo na estação seca. Ocorrem em trechos longos e, sobretudo, em áreas topograficamente suavizadas (Ribeiro; Walter, 1998). Eiten (2001) relacionou às Áreas Úmidas do cerrado com as matas ou florestas de galeria, campos úmidos, campo de murundus e veredas.

Nas veredas, os solos hidromórficos são dominantes, permanecendo saturados na maior parte do tempo (Eiten, 1994). Ressalta-se que o bioma é sobressalente na paisagem nos domínios e de colinas, dos relevos de tabuleiros e terrenos planos e elevados (chapadas, chapadões e platôs), com presença de veredas e campos de murundus. Nos fundos de vale, presencia-se matas de galeria.

Em sequência, estão presentes as AUs do bioma Mata Atlântica, com 6,6% das AUs mapeadas. Ambos os biomas acumulam 99,6% das AUs levantadas. Apesar do inventário das AUs neste bioma ainda ser escasso, possivelmente em função do porte arbóreo da vegetação que dificulta mapear estas áreas, é comum a ocorrência de AUs formando sistemas

permanentemente encharcados, com presença de florestas paludosas. Este termo se refere as florestas permanentemente encharcadas ou inundadas, que apresentam baixa diversidade de espécies lenhosas em função da inundação permanente, como nas cabeceiras de drenagem com nascentes difusas em áreas de Mata Atlântica (Scolforo; Carvalho, 2006), nos remanescentes localizados acima dos 1000 metros, como no Parque Estadual do Itacolomi, nos municípios de Ouro Preto e Mariana (Pedreira; Sousa, 2011). Além disso, há a presença de AUs nos fundos de vale.

A Caatinga concentra a menor ocorrência de AUs, registrando apenas 0,4% do total do inventário. As AUs são geralmente temporárias e representam um conjunto de habitats frágeis, ricos em espécies de plantas raras e endêmicas. Constituem-se em áreas de refúgio para muitas espécies aquáticas e desempenham um papel fundamental na sobrevivência de diversas espécies da ictiofauna, avifauna e mastofauna, que completam seu ciclo de vida associados a esses ambientes. Por outro lado, as AUs são também utilizadas nas atividades da agropecuária local, tornando-se refúgios de animais de criação quando o período de seca se torna mais sobressalente (Giulietti *et al.*, 2004).

Observando a Tabela 4.17 e o Gráfico 4.22 (percentual de ocorrência de AUs em relação à área de ocorrência de cada bioma), verifica-se que tanto a Mata Atlântica quanto a Caatinga apresentam um percentual de AUs muito baixo no inventário. Conforme apontado, na Mata Atlântica tal fato se deve, possivelmente, à dificuldade de mapear AUs em áreas de vegetação mais densa. Na Caatinga, o baixo percentual se deve pelas próprias características físicas da área de ocorrência do bioma. A Figura 4.13 espacializa a distribuição das AUs pelos biomas.

Gráfico 4.22 – Percentual de AUs em relação à área de cada bioma do Nível 1 (B1)

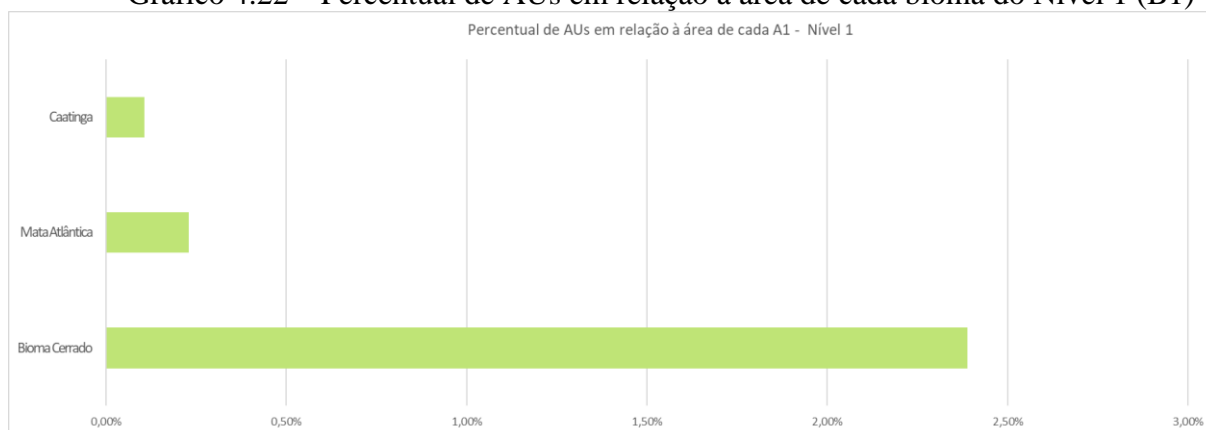
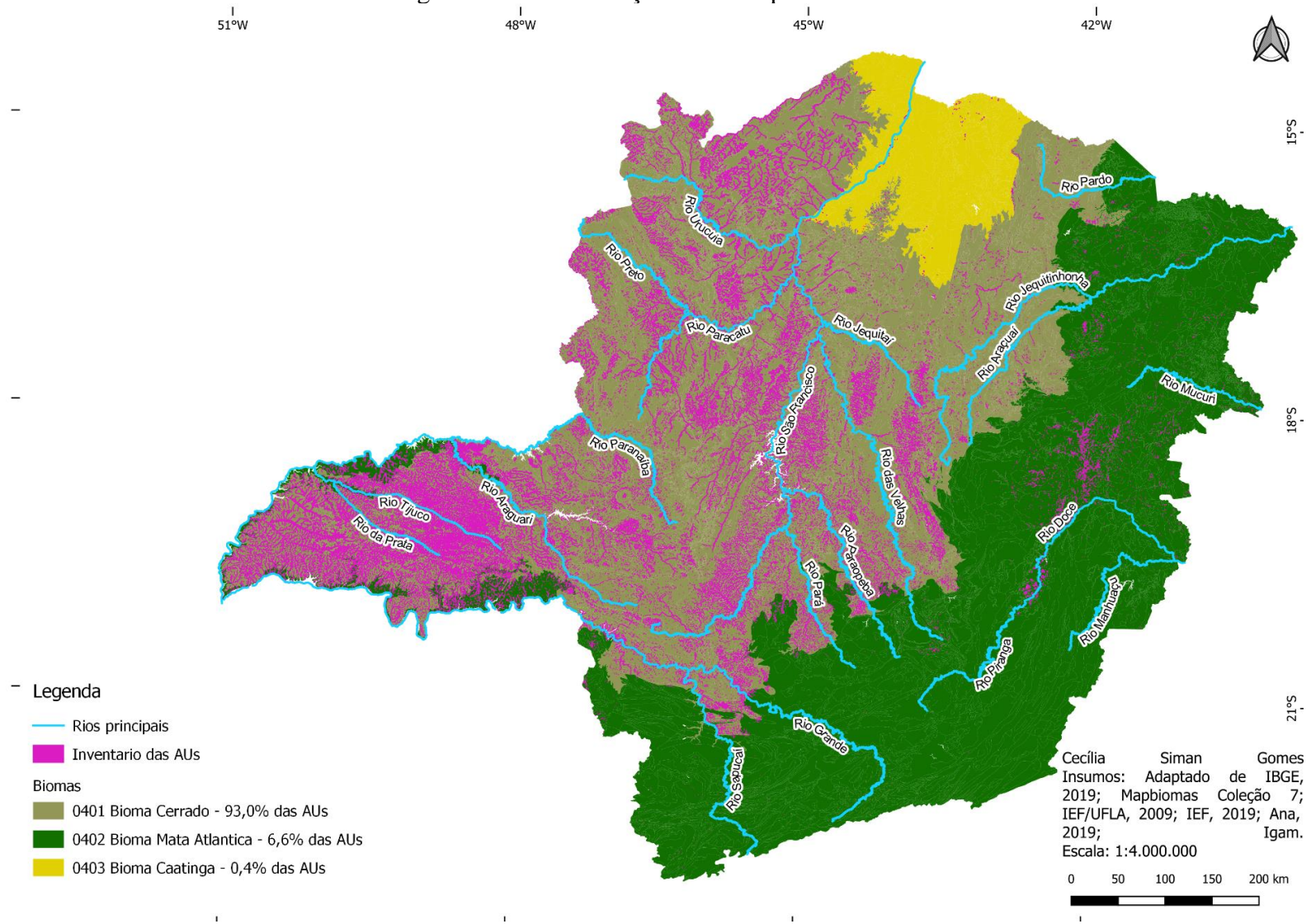


Figura 4.13 – Distribuição das AUs pelos Biomas



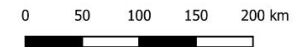
Legenda

- Rios principais
- Inventário das AUs

Biomas

- 0401 Bioma Cerrado - 93,0% das AUs
- 0402 Bioma Mata Atlântica - 6,6% das AUs
- 0403 Bioma Caatinga - 0,4% das AUs

Cecília Siman Gomes
 Insumos: Adaptado de IBGE, 2019; Mapbiomas Coleção 7; IEF/UFLA, 2009; IEF, 2019; Ana, 2019; Igam.
 Escala: 1:4.000.000



4.4.2 Nível 2: Ecorregiões

Foram definidas 09 nove ecorregiões para Minas Gerais, que conformam o parâmetro E2 (Nível 2 – Ecorregiões), a saber:

- 01 Bioma Cerrado
- 02 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca
- 03 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre
- 04 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca e Campo Rupestre
- 05 Bioma Mata Atlântica
- 06 Bioma Mata Atlântica com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca
- 07 Bioma Mata Atlântica com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre
- 08 Bioma Caatinga com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca
- 09 Bioma Caatinga com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca e Campo Rupestre

As ecorregiões são formadas pelos biomas (Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga) e a presença ou não de Campo Rupestre e/ou Mata Seca, conforme descrito no capítulo metodológico (Capítulo 3).

Os Campos Rupestres, incluindo os campos de altitude, caracterizam-se por uma cobertura vegetal de menor porte com uma grande variedade de espécies, com predomínio da vegetação herbácea, ocorrendo, especialmente, nas porções mais altas dos domínios serranos da Espinhaço, Quadrilátero Ferrífero, Canastra e Mantiqueira. São ecossistemas singulares e extremamente frágeis, formando diversas áreas úmidas e ambientes extremamente endêmicos.

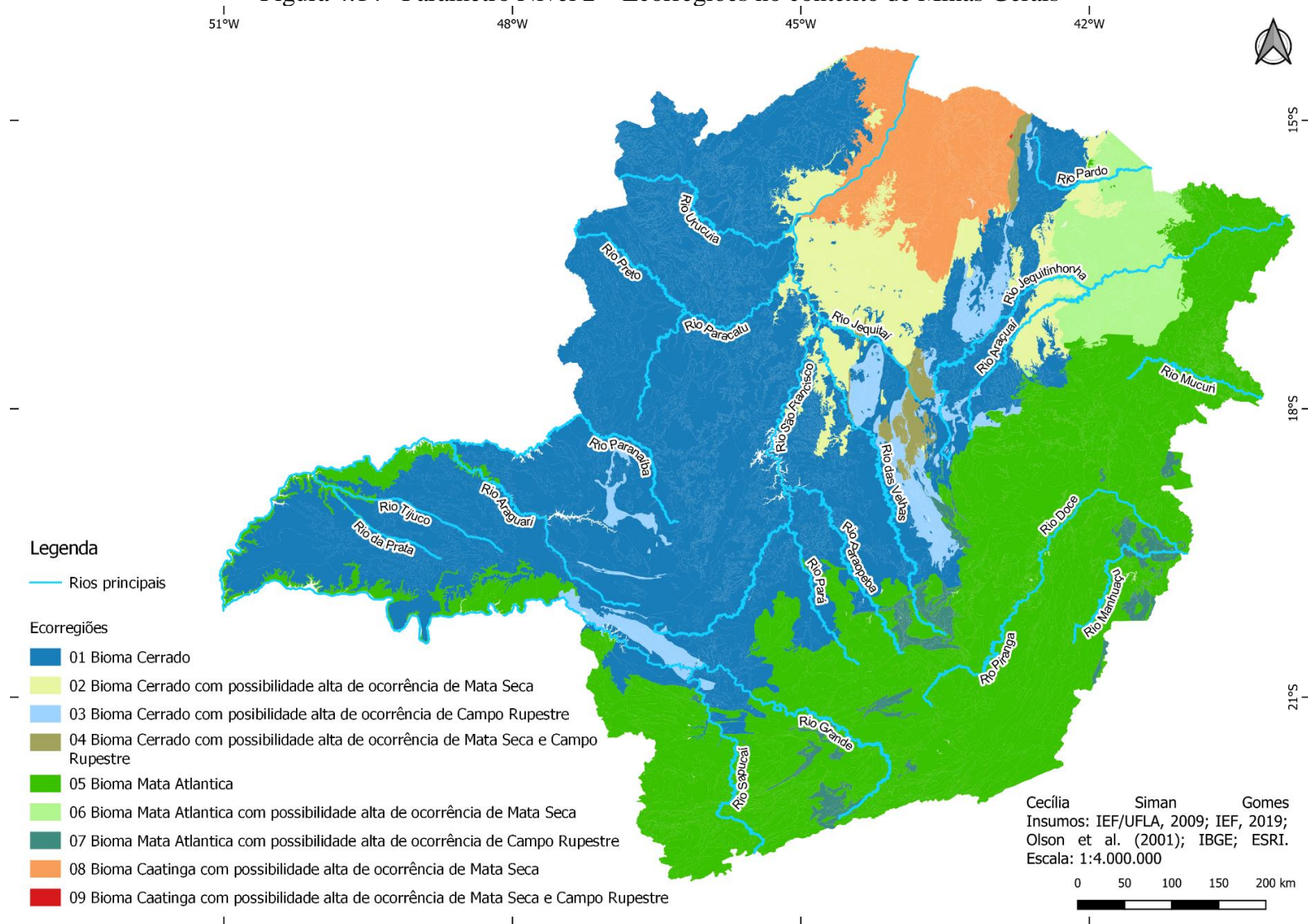
Já a Mata Seca é uma formação vegetal que ocorre no norte e nordeste do estado, sobretudo nas bacias do Jequitinhonha e São Francisco, e caracteriza-se pela perda das folhas na estação seca. No período de chuvas, a mata floresce intensamente, apresentando grandes folhagens, formando ecossistemas singulares. A Mata Seca é típica dos afloramentos calcários.

A Tabela 4.18 apresenta a área e o percentual aproximado de ocorrência de cada ecorregião no estado e a Figura 4.14 a sua espacialização território.

Tabela 4.18 – Distribuição das ecorregiões em Minas Gerais

Ecorregião	km²	% Estado
01 Bioma Cerrado	258.786,35	44,4%
02 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca	35.051,95	6,0%
03 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre	17.751,89	3,0%
04 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca e Campo Rupestre	4.930,52	0,8%
05 Bioma Mata Atlântica	199.329,49	34,2%
06 Bioma Mata Atlântica com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca	24.838,44	4,3%
07 Bioma Mata Atlântica com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre	10.200,98	1,8%
08 Bioma Caatinga com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca	32.007,45	5,5%
09 Bioma Caatinga com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca e Campo Rupestre	11,12	0,0%
Total Geral	582.908,18	100 %

Figura 4.14 –Parâmetro Nível 2 – Ecorregiões no contexto de Minas Gerais



Observa-se que o bioma cerrado (**01**) sem a presença de mata seca e/ou campo rupestre é o domínio mais representativo, perfazendo 44,4% do território. Em sequência, a Mata Atlântica (**02**) responde por 34,2%. Em termos cumulativos, ambos ocupam 78,6% do estado (Gráfico 4.23). Assim, as fitofisionomias de Mata Seca e Campo Rupestre ocorrem de localizada.

Com valores entre 6 e 4% verificam-se as ecorregiões com alta possibilidade de ocorrência de Mata Seca, na seguinte ordem decrescente: Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca (**02**), com 6%; Bioma Caatinga com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca (**08**), registrando 5,5%; e o Bioma Mata Atlântica com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca (**06**), com 4,3%. Em termos acumulados, somam 94,4 % da área.

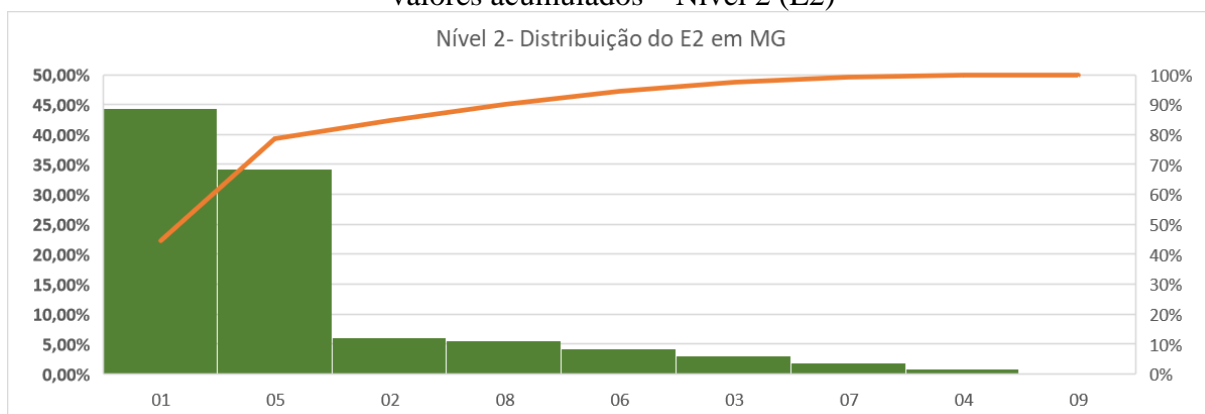
A Mata Seca ocorre, sobretudo no Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da depressão do São Francisco (**0101**) sobre aquíferos carbonáticos (**0207**), nos Relevos ondulados e dissecados das bacias do Jequitinhonha e do rio Pardo (**0114**) sobre aquíferos de rochas do embasamento cristalino (**0208**) e nas Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco (**0107**), em aquíferos granulares detríticos ou detrítico-lateríticos (**0202**).

Em sequência, seguem as ecorregiões com Campo Rupestre, na seguinte ordem: Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre (**03**), perfazendo 3,0%; Bioma Mata Atlântica com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre (**07**), com 1,8%; e o Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca e Campo Rupestre (**04**), com apenas 0,8%. O Bioma Caatinga com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca e Campo Rupestre (**09**) ocorre de maneira bastante isolada. Cabe destacar as seguintes relações:

- 03 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre: maior ocorrência no Domínio da Serra do Espinhaço (**0118**), nos aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas (**0205**) e, secundariamente, no Domínio de Relevos ondulados e dissecados das bacias do Jequitinhonha e do rio Pardo (**0114**), nos aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas (**0205**) e do embasamento cristalino (**0208**) e no Domínio da Serra da Canastra (**0119**), nos aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas; e, de forma menos expressiva, destacam-se nos modelados dissecados do São Francisco (**0112**). Os campos rupestres são, sobretudo, em rochas quartzíticas.

- 07 Bioma Mata Atlântica com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre: ocorrem, sobretudo, no Domínio da Serra da Mantiqueira (**0120**) sobre aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas (**0205**) e do embasamento cristalino (**0208**), e Domínio do Quadrilátero Ferrífero (**0117**) sobre aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas (**0205**), formando campos rupestres tanto ferruginosos quanto quartzíticos; secundariamente, nos Relevos Ondulados e Dissecados do Sul de Minas (**0106**) sobre aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas (**0205**) e do embasamento cristalino (**0208**), formando também campos de altitude;
- 04 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca e Campo Rupestre: ocorrem, sobretudo, no domínio da Serra do Espinhaço (**0118**) e, também, nos aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas (**0205**), formando campos rupestres em rochas quartzíticas.

Gráfico 4.23 - Distribuição percentual de cada Ecorregião em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 2 (E2)



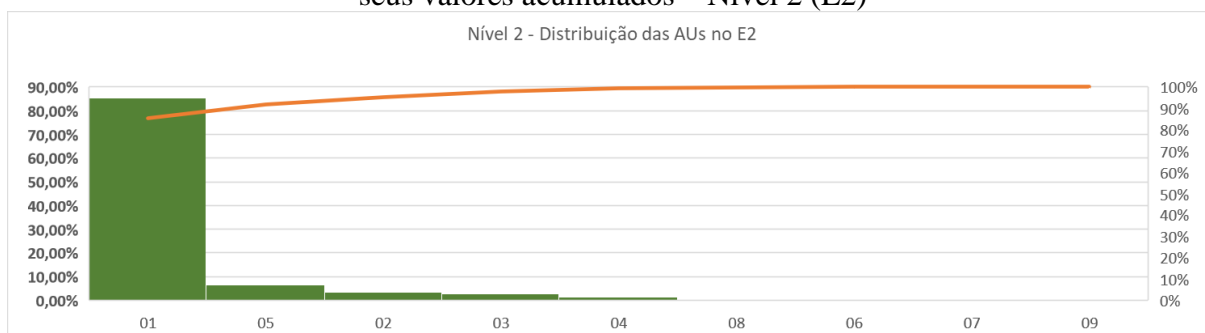
Legenda: **01** Bioma Cerrado; **02** Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca; **03** Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre; **04** Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca e Campo Rupestre; **05** Bioma Mata Atlântica; **06** Bioma Mata Atlântica com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca; **07** Bioma Mata Atlântica com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre; **08** Bioma Caatinga com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca; **09** Bioma Caatinga com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca e Campo Rupestre.

Em termos de **distribuição de AUs** do inventário em relação às ecorregiões, a Tabela 4.19 apresenta os quantitativos em área e percentual de ocorrência de AUs em cada faixa do nível 2 (E2) e seu percentual relativo em relação à área de cada ecorregião no estado. O Gráfico 4.24 permite visualizar a distribuição percentual de ocorrência das AUs em cada ecorregião e os valores acumulados.

Tabela 4.19 – Distribuição das AUs pelas Ecorregiões em Minas Gerais (Nível 2 – Parâmetro E2)

Ecorregião	AUs – área em km ²	% de ocorrência de AUs	km ²	% de ocorrência AUs em cada ecorregião
01 Bioma Cerrado	6947,8	85,4%	258.786,35	2,7%
02 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca	280,1	3,4%	35.051,95	0,8%
03 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre	222,5	2,7%	17.751,89	1,3%
04 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca e Campo Rupestre	111,8	1,4%	4.930,52	2,3%
05 Bioma Mata Atlântica	514,7	6,3%	199.329,49	0,3%
06 Bioma Mata Atlântica com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca	20,5	0,3%	24.838,44	0,1%
07 Bioma Mata Atlântica com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre	2,6	0,0%	10.200,98	0,0%
08 Bioma Caatinga com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca	33,9	0,4%	32.007,45	0,1%
09 Bioma Caatinga com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca e Campo Rupestre	0,0	0,0%	11,12	0,0%
Total Geral	8.133,76	100%	582.908,18	

Gráfico 4.24 – Distribuição percentual das AUs nas Ecorregiões em Minas Gerais e seus valores acumulados – Nível 2 (E2)



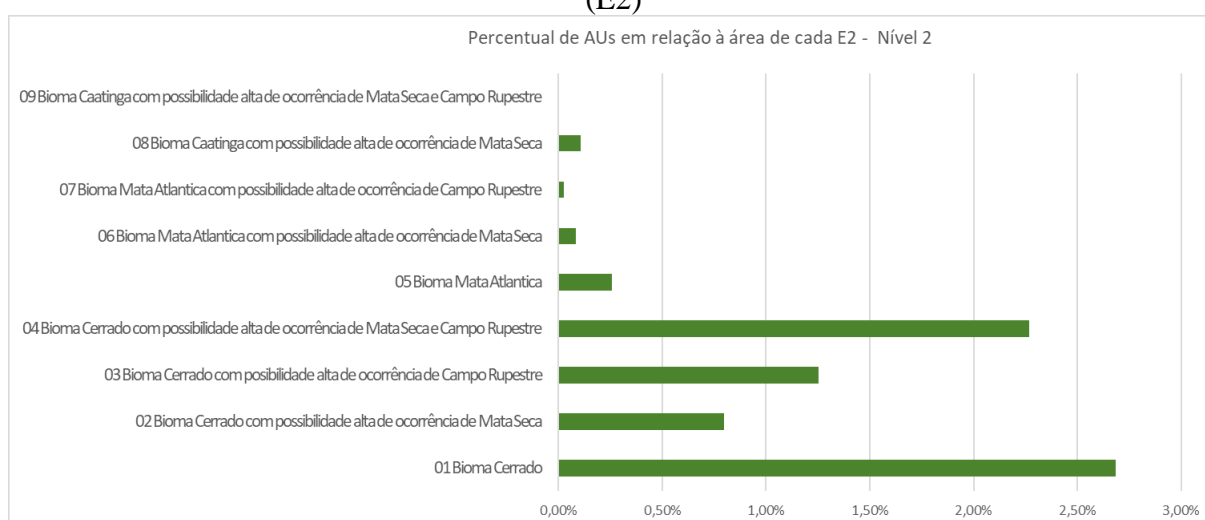
Legenda: **01** Bioma Cerrado; **02** Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca; **03** Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre; **04** Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca e Campo Rupestre; **05** Bioma Mata Atlântica; **06** Bioma Mata Atlântica com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca; **07** Bioma Mata Atlântica com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre; **08** Bioma Caatinga com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca; **09** Bioma Caatinga com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca e Campo Rupestre.

Verifica-se que 85,4% das AUs mapeadas encontram-se no bioma Cerrado (**01**), sendo seguido de longe pelo Bioma da Mata Atlântica com 6,3%. Em sequência e com valores próximos, tem-se o Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca (**02**),

apresentando 3,4%, e o Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre (**03**), com 2,7%. O Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca e Campo Rupestre (**04**), apresenta 1,4% do mapeamento. As outras ecorregiões apresentam valores abaixo de 1%, sendo que a ecorregião de Caatinga com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca e Campo Rupestre (09) não apresentou registros de AUs.

Em termos relativos, ou seja, o percentual de ocorrência de AUs em relação à área de cada ecorregiões, a região do Bioma Cerrado (**01**) e a do Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca e Campo Rupestre (**04**) são aquelas que apresentam os maiores registros relativos à área de cada Ecorregião, seguida da ecorregião do Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre (**03**) (Gráfico 4.24).

Gráfico 4.24 - Percentual de AUs em relação à área de cada Ecorregião do Nível 2 (E2)



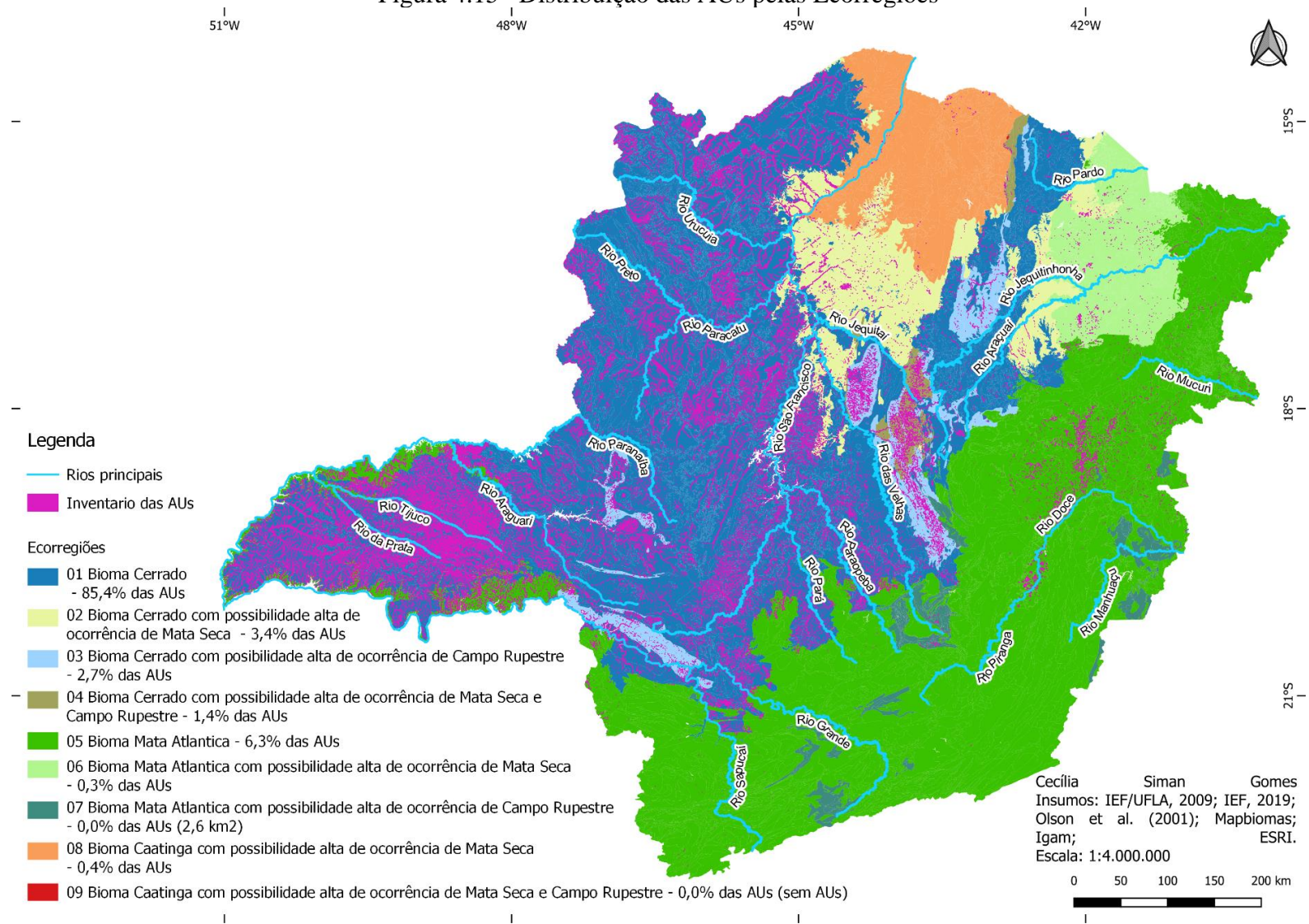
Cabe destacar que campos rupestres úmidos (também denominados de encharcados ou brejosos) ocorrem em crostas ferruginosas e, sobretudo, em quartzitos, no sistema dos aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas (**0205**). Além disso, ocorrem sobre rochas do embasamento cristalino, com destaque para a formação de campos de altitude úmidos. Geralmente, estão em áreas de transição entre biomas, sendo que a maior parte está no domínio no Serra do Espinhaço (**0118**). Cabe destacar que o mapeamento de AUs é carente no domínio do Quadrilátero Ferrífero (**0117**), onde destaca-se a ocorrência de AUs associadas à campos rupestres quartzíticos ou ferruginosos ou campos de altitude úmidos, diversas associadas à turfeiras. Reforça-se que o mapeamento de AUs é carente no bioma da Mata Atlântica como

todo (conforme dito no Nível 1 – Biomas), incluindo nas áreas potenciais com campo rupestre, com somente 2,6 km² de AUs mapeadas.

Cabe destacar que os campos rupestres brejosos podem ser permanentes e temporários e geralmente, ocorrem de forma descontínua em altitudes superiores a 900 metros, nas áreas cimeiras das serras, assim como em áreas mais deprimidas de contextos serranos. Os solos apresentam características hidromórficas e, por vezes, manchas de turfeiras também podem ser encontradas, especialmente onde o microclima é mais ameno. São ambientes únicos.

A Figura 4.15 espacializa a distribuição das AUs pelas ecorregiões.

Figura 4.15 – Distribuição das AUs pelas Ecorregiões



4.5 Principais classes do Nível 1 das AUs

A Tabela 4.20 apresenta as principais classes do Nível 1 (N1) das AUs, que teve como recorte as classes que abrangem ao menos 1.000 ha (10 km²) de AUs. Este recorte abrangeu 70 classes de N1, que corresponde à 96,6% do inventário das AUs, isto é, o equivalente à 7.856,23 km² do total do inventário (8.133,78 km²).

Tabela 4.20 – Principais classes do N1 – Nível 1 das AUs

Numeração	Grandes domínios	G1 (Geomorfologia)	A1 (Aquífero)	P1 (Pluviosidade)	B1 (Bioma)	N1 (Nível 1)	Km²	% de AUs	Hectares
1	Relevos ondulados e dissecados	0115 Relevos ondulados e dissecados das bacias dos rios Paranaíba e Grande	0203 Aquíferos areníticos	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0115 0203 0302 0401	1.319,39	16,22%	131.938,80
2	Superfícies elevadas e topos suaves	0110 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande	0203 Aquíferos areníticos	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0110 0203 0302 0401	553,46	6,80%	55.345,90
3	Depressões	0104 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	0203 Aquíferos areníticos	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0104 0203 0302 0401	473,22	5,82%	47.322,40
4	Depressões	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	0201 Aquíferos granulares aluvionares	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0101 0201 0303 0401	455,52	5,60%	45.552,10
5	Superfícies elevadas e topos suaves	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0107 0202 0302 0401	433,84	5,33%	43.383,50
6	Relevos ondulados e dissecados	0115 Relevos ondulados e dissecados das bacias dos rios Paranaíba e Grande	0204 Aquíferos de rochas vulcânicas	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0115 0204 0302 0401	303,79	3,73%	30.379,30
7	Relevos ondulados e dissecados	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvacas e calcários	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0112 0206 0302 0401	277,24	3,41%	27.724,10
8	Superfícies elevadas e topos suaves	0110 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande	0203 Aquíferos areníticos	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0110 0203 0301 0401	255,34	3,14%	25.534,40
9	Superfícies elevadas e topos suaves	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	0203 Aquíferos areníticos	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0107 0203 0303 0401	239,75	2,95%	23.974,90
10	Relevos ondulados e dissecados	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	0203 Aquíferos areníticos	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0112 0203 0303 0401	234,28	2,88%	23.427,80
11	Depressões	0104 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	0204 Aquíferos de rochas vulcânicas	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0402 Bioma Mata Atlântica	0104 0204 0302 0402	188,84	2,32%	18.883,80
12	Relevos Serranos	0118 Domínio da Serra do Espinhaço	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0118 0205 0303 0401	184,73	2,27%	18.472,60
13	Relevos ondulados e dissecados	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	0207 Aquíferos carbonáticos	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0112 0207 0302 0401	164,91	2,03%	16.490,90
14	Superfícies elevadas e topos suaves	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0107 0202 0303 0401	148,80	1,83%	14.879,70

15	Depressões	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvacas e calcários	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0101 0206 0303 0401	135,52	1,67%	13.551,60
16	Depressões	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	0203 Aquíferos areníticos	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0101 0203 0303 0401	130,38	1,60%	13.038,00
17	Superfícies elevadas e topos suaves	0110 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande	0204 Aquíferos de rochas vulcânicas	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0110 0204 0302 0401	128,30	1,58%	12.830,30
18	Superfícies elevadas e topos suaves	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvacas e calcários	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0107 0206 0303 0401	121,53	1,49%	12.152,70
19	Superfícies elevadas e topos suaves	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvacas e calcários	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0107 0206 0302 0401	118,09	1,45%	11.808,70
20	Superfícies elevadas e topos suaves	0110 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0110 0202 0302 0401	117,46	1,44%	11.745,50
21	Depressões	0104 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	0204 Aquíferos de rochas vulcânicas	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	0402 Bioma Mata Atlântica	0104 0204 0301 0402	113,51	1,40%	11.350,60
22	Depressões	0104 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0104 0205 0302 0401	111,64	1,37%	11.164,00
23	Depressões	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	0207 Aquíferos carbonáticos	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0101 0207 0302 0401	94,00	1,16%	9.399,50
24	Relevos ondulados e dissecados	0115 Relevos ondulados e dissecados das bacias dos rios Paranaíba e Grande	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0115 0205 0301 0401	92,91	1,14%	9.290,90
25	Relevos Serranos	0118 Domínio da Serra do Espinhaço	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0118 0205 0302 0401	92,68	1,14%	9.268,40
26	Depressões	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvacas e calcários	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0101 0206 0302 0401	89,09	1,10%	8.909,40
27	Depressões	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	0203 Aquíferos areníticos	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0101 0203 0302 0401	87,12	1,07%	8.711,60
28	Depressões	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	0207 Aquíferos carbonáticos	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0101 0207 0303 0401	72,99	0,90%	7.299,40
29	Relevos ondulados e dissecados	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	0208 Aquíferos de rochas do embasamento cristalino	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0112 0208 0302 0401	58,70	0,72%	5.869,50
30	Relevos ondulados e dissecados	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	0207 Aquíferos carbonáticos	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0112 0207 0303 0401	57,38	0,71%	5.738,00

31	Depressões	0104 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	0203 Aquíferos areníticos	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0104 0203 0301 0401	52,65	0,65%	5.265,20
32	Relevos Serranos	0119 Domínio da Serra da Canastra	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0119 0205 0301 0401	50,48	0,62%	5.047,90
33	Relevos ondulados e dissecados	0113 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio Doce	0208 Aquíferos de rochas do embasamento cristalino	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0402 Bioma Mata Atlântica	0113 0208 0302 0402	48,44	0,60%	4.844,00
34	Depressões	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	0201 Aquíferos granulares aluvionares	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0101 0201 0302 0401	45,83	0,56%	4.582,80
35	Relevos ondulados e dissecados	0115 Relevos ondulados e dissecados das bacias dos rios Paranaíba e Grande	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0115 0205 0302 0401	42,02	0,52%	4.201,60
36	Relevos ondulados e dissecados	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	0207 Aquíferos carbonáticos	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0112 0207 0301 0401	39,61	0,49%	3.960,80
37	Relevos ondulados e dissecados	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvas e calcários	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0112 0206 0303 0401	38,12	0,47%	3.811,70
38	Relevos ondulados e dissecados	0116 Relevos ondulados e dissecados do Sul de Minas	0208 Aquíferos de rochas do embasamento cristalino	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0116 0208 0302 0401	38,01	0,47%	3.800,60
39	Superfícies elevadas e topos suaves	0110 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0110 0205 0302 0401	36,32	0,45%	3.631,70
40	Superfícies elevadas e topos suaves	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	0203 Aquíferos areníticos	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0107 0203 0302 0401	36,26	0,45%	3.626,40
41	Depressões	0104 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	0207 Aquíferos carbonáticos	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0104 0207 0302 0401	35,44	0,44%	3.543,90
42	Superfícies elevadas e topos suaves	0109 Chapadas, Patamares e Platôs das Bacias do Leste e do rio Pardo	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0109 0202 0303 0401	33,55	0,41%	3.354,70
43	Depressões	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0101 0205 0302 0401	32,67	0,40%	3.266,80
44	Superfícies elevadas e topos suaves	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	0207 Aquíferos carbonáticos	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0107 0207 0303 0401	31,35	0,39%	3.134,60
45	Relevos ondulados e dissecados	0116 Relevos ondulados e dissecados do Sul de Minas	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0116 0205 0301 0401	28,24	0,35%	2.824,40
46	Depressões	0102 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do Rio Doce	0201 Aquíferos granulares aluvionares	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0402 Bioma Mata Atlântica	0102 0201 0302 0402	25,01	0,31%	2.500,90

47	Depressões	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0101 0202 0303 0401	24,07	0,30%	2.406,70
48	Depressões	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0101 0202 0302 0401	24,06	0,30%	2.406,20
49	Superfícies elevadas e topos suaves	0110 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande	0204 Aquíferos de rochas vulcânicas	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0110 0204 0301 0401	23,36	0,29%	2.336,00
50	Depressões	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	0208 Aquíferos de rochas do embasamento cristalino	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0101 0208 0303 0401	22,06	0,27%	2.205,80
51	Relevos ondulados e dissecados	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	0208 Aquíferos de rochas do embasamento cristalino	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0112 0208 0303 0401	19,61	0,24%	1.960,80
52	Depressões	0105 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias do Sul de Minas	0201 Aquíferos granulares aluvionares	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0105 0201 0302 0401	19,60	0,24%	1.960,40
53	Depressões	0104 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	0204 Aquíferos de rochas vulcânicas	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0104 0204 0302 0401	18,83	0,23%	1.882,50
54	Superfícies elevadas e topos suaves	0109 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacias do Leste e do rio Pardo	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0109 0205 0303 0401	18,71	0,23%	1.871,40
55	Relevos Serranos	0118 Domínio da Serra do Espinhaço	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0118 0202 0303 0401	18,45	0,23%	1.845,20
56	Superfícies elevadas e topos suaves	0109 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacias do Leste e do rio Pardo	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	0304 Pluviosidade abaixo de 900 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0109 0202 0304 0401	18,36	0,23%	1.836,40
57	Superfícies elevadas e topos suaves	0110 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0110 0205 0301 0401	17,73	0,22%	1.773,20
58	Relevos ondulados e dissecados	0113 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio Doce	0208 Aquíferos de rochas do embasamento cristalino	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	0402 Bioma Mata Atlântica	0113 0208 0303 0402	16,34	0,20%	1.634,20
59	Relevos ondulados e dissecados	0115 Relevos ondulados e dissecados das bacias dos rios Paranaíba e Grande	0203 Aquíferos areníticos	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0115 0203 0301 0401	15,36	0,19%	1.535,60
60	Superfícies elevadas e topos suaves	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	0207 Aquíferos carbonáticos	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0107 0207 0302 0401	14,35	0,18%	1.435,40
61	Relevos ondulados e dissecados	0113 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio Doce	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	0402 Bioma Mata Atlântica	0113 0205 0303 0402	13,76	0,17%	1.376,30
62	Superfícies elevadas e topos suaves	0110 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0402 Bioma Mata Atlântica	0110 0205 0302 0402	13,50	0,17%	1.350,20

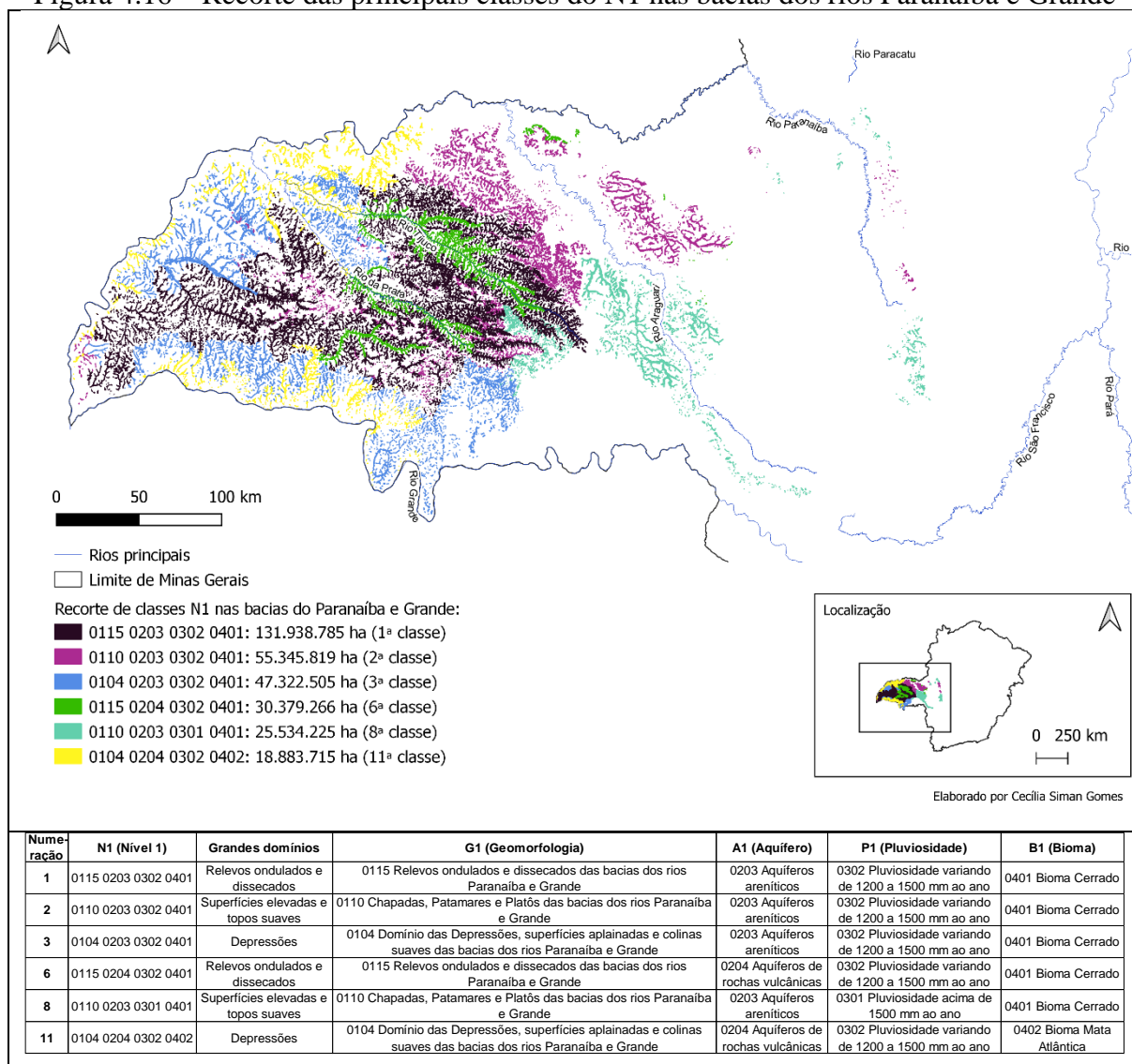
63	Relevos ondulados e dissecados	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0112 0205 0303 0401	13,33	0,16%	1.332,90
64	Depressões	0104 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0104 0205 0301 0401	13,01	0,16%	1.300,60
65	Relevos ondulados e dissecados	0114 Relevos ondulados e dissecados das bacias do Jequitinhonha e do rio Pardo	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0114 0205 0303 0401	11,37	0,14%	1.136,70
66	Relevos ondulados e dissecados	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	0207 Aquíferos carbonáticos	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	0403 Bioma Caatinga	0112 0207 0303 0403	10,78	0,13%	1.078,30
67	Relevos ondulados e dissecados	0114 Relevos ondulados e dissecados das bacias do Jequitinhonha e do rio Pardo	0208 Aquíferos de rochas do embasamento cristalino	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	0402 Bioma Mata Atlântica	0114 0208 0303 0402	10,67	0,13%	1.067,10
68	Depressões	0104 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	0203 Aquíferos areníticos	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	0402 Bioma Mata Atlântica	0104 0203 0301 0402	10,34	0,13%	1.033,80
69	Relevos ondulados e dissecados	0115 Relevos ondulados e dissecados das bacias dos rios Paranaíba e Grande	0204 Aquíferos de rochas vulcânicas	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	0402 Bioma Mata Atlântica	0115 0204 0302 0402	10,19	0,13%	1.018,60
70	Relevos ondulados e dissecados	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvacas e calcários	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	0112 0206 0301 0401	10,02	0,12%	1.002,40

Nota: 96,59% das AUs do inventário distribuem-se nestas 70 classes do Nível 1 (N1). O recorte foi feito considerando-se as classes que contém igual ou acima de 1.000 ha de AUs do inventário.

Observando a Tabela 4.20, pode-se destacar:

- 28,8% das AUs do inventário (somatória das três primeiras classes), ou seja, quase 30% do mapeamento, classificam-se nos domínios das bacias do Paranaíba e Grande, no Triângulo Mineiro, sobre aquíferos areníticos, na faixa pluviométrica entre 1200 e 1500 mm/ ano, no bioma do Cerrado. Deste total, 16% das AUs estão nos relevos ondulados e dissecados, nas bordas das chapadas. Ressalta-se que a 6ª maior classe (3,7% do inventário) das AUs também está nos relevos ondulados e dissecados das bacias do Paranaíba e Grande, porém em aquíferos vulcânicos. A 8ª e a 11ª classes com maior ocorrência das AUs também estão nestas bacias, sendo a 8ª classe nas chapadas (3,1%), sobre aquíferos areníticos, na faixa pluviométrica acima de 1500 mm ao ano e no bioma Cerrado, e a 11ª classe (2,3%) sobre o domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves, sobre rochas vulcânicas, com pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano e bioma da Mata Atlântica. A somatória de todas essas classes (1ª, 2ª, 3ª, 6ª, 8ª, e 11ª) equivale à classificação de 38% das AUs do inventário e estas classes estão representadas na Figura 4.16.

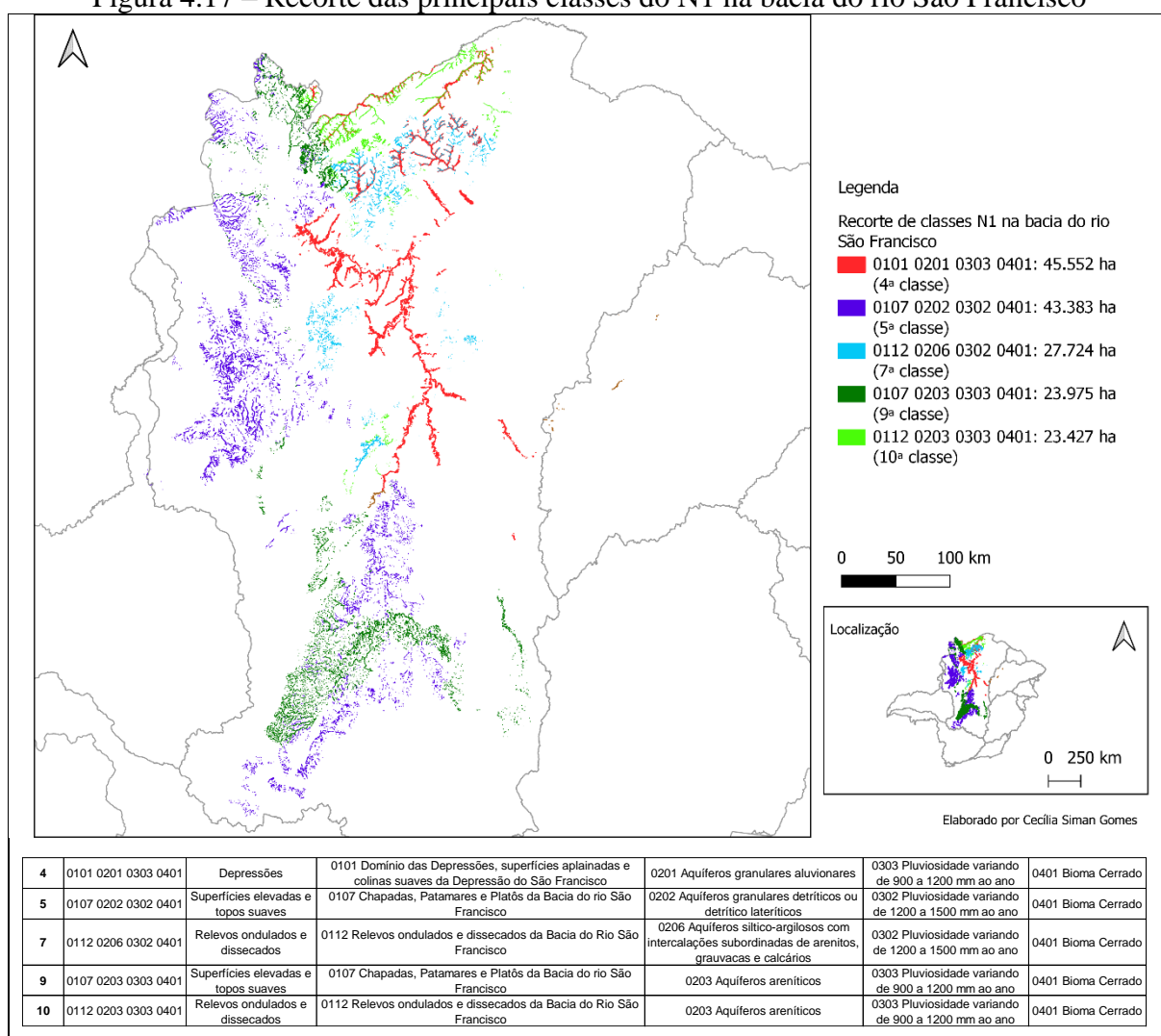
Figura 4.16 – Recorte das principais classes do N1 nas bacias dos rios Paranaíba e Grande



- As 4ª, 5ª e 7ª, 9ª e 10ª classes das AUs inserem-se nos modelados da bacia do rio Francisco, sendo que o maior percentual, a 4ª classe (5,6%), as AUs estão classificadas no domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves sobre aquíferos granulares, na faixa de pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano (estando, portanto, a maioria a jusante da represa Três Marias) e no bioma cerrado. As 5ª e 7ª classes, têm-se, respectivamente, as AUs sobre as chapadas, patamares e platôs sobre aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos (com destaque para as sub-bacias do Urucuia, Paracatu e rio Preto), com 5,3% das AUs, e as AUs sobre os relevos ondulados e dissecados nos aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvacas e calcários), com 3,4%, ambas classes na faixa pluviométrica

variando de 1200 a 1500 mm ao ano, no bioma do Cerrado. A 9ª e 10ª classes classificam as AUs sobre estes mesmos modelados, em aquíferos areníticos e na faixa de pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano (com destaque para as bacias do rio Pardo e Pandeiros), que somam 5,8% (2,9% cada). A 4ª, 5ª e 7ª, 9ª e 10ª posição somam 20,2% das AUs do inventário e estão representadas na Figura 4.17. Estas classes, com as classes supracitadas anteriormente nas bacias dos rios Grande e Paranaíba (1ª, 2ª, 3ª, 6ª, 8ª, e 11ª posição), somam 58,2% do inventário de AUs. Ou seja, quase 60% das AUs do inventário são classificadas nestes ambientes.

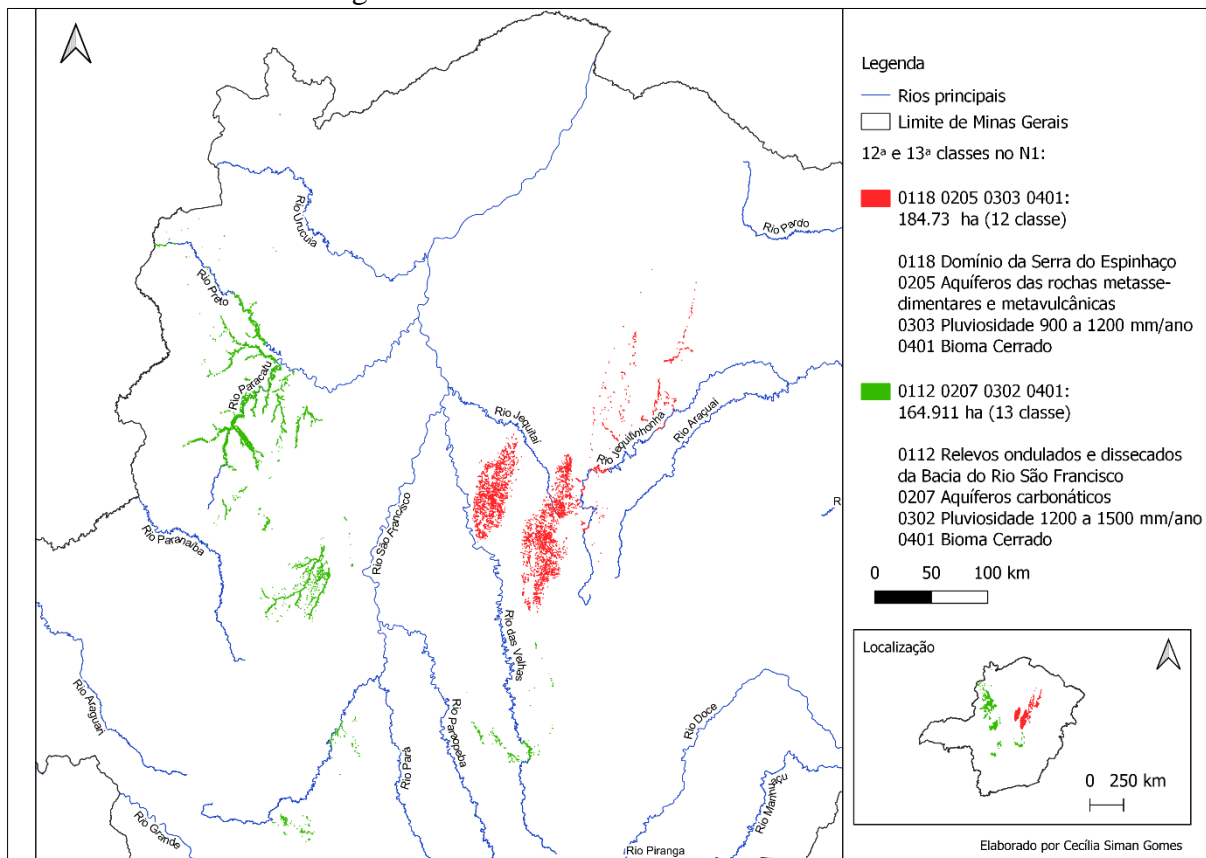
Figura 4.17 – Recorte das principais classes do N1 na bacia do rio São Francisco



Por fim, cabe destacar as 12ª e 13ª classes (Figura 4.18), que apresentam percentuais de AUs na faixa de 2%, sendo que a 12ª classe, com 2,3%, as AUs classificam-se no domínio da

Serra do Espinhaço sobre aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas, na faixa de pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano no bioma Cerrado. Com 2 %, na 13ª classe, as AUs classificam-se sobre os relevos ondulados e dissecados da bacia do rio São Francisco sobre aquíferos carbonáticos, na faixa de pluviosidade entre 1200 e 1500 mm ao ano e no bioma do Cerrado. Esta classe de AUs ocorre, sobretudo, na bacia do rio Paracatu e Abaeté.

Figura 4.18– Recorte 12ª e 13ª classes do N1



A somatória das classes 1 a 13ª apresentadas acima equivale à 62,5% das AUs do inventário.

4.6 Principais classes do Nível 2 das AUs

A Tabela 4.21 apresenta as principais classes do Nível 2 (N2) das AUs. Assim como foi feito para o N1, utilizou-se como recorte as classes que abrangem ao menos 1.000 ha (10 km²) de AUs. No N2 este recorte abrangeu 92,2% do inventário das AUs, o equivalente à 7.499,40 km² do total do inventário ($\cong 8.133,78$ km²) e 100 classes biohidrogeomorfológicas.

Tabela 4.21 – Principais classes do N2 – Nível 2 das AUs

Numeração	G2 (Geomorfologia)	A2 (Aquífero)	DH2 (Déficit Hídrico)	E2 (Ecorregião)	N2 (Nível 2)	Km²	% do total de AUs	Hectares
1	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	05 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	06 05 01 01	1.047,84	12,9%	104.783,50
2	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	10 Granular/fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	08 10 01 01	762,66	9,4%	76.266,00
3	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	05 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	05 05 01 01	364,80	4,5%	36.479,50
4	01 Planícies Fluviais ou fluviolacustres- Zero - 0 a 3°	03 Granular; Não dobrada; Ausente; Poros. Alta - (>30%); Não se aplica	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	01 03 03 01	344,87	4,2%	34.486,80
5	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	20 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	06 20 01 01	295,13	3,6%	29.512,60
6	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	05 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	06 05 02 01	271,49	3,3%	27.149,30
7	10 Tabuleiros- 20 a 50 metros - 0 a 3°	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Indeterminado	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	10 02 02 01	269,93	3,3%	26.993,30
8	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	20 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	05 Bioma Mata Atlântica	05 20 01 05	182,89	2,2%	18.289,40
9	09 Chapadas e Platôs- 0 a 20 metros - 0 a 5°	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Indeterminado	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	09 02 02 01	182,55	2,2%	18.255,30
10	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	06 14 02 01	156,54	1,9%	15.654,00
11	17 Escarpas Serranas- 300 a 2.000 metros - 25 a 60°	17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	17 17 02 01	136,27	1,7%	13.627,10
12	11 Tabuleiros Dissecados- 20 a 50 metros - 0 a 3°	06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	11 06 03 01	128,72	1,6%	12.872,10
13	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	05 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	05 05 02 01	108,43	1,3%	10.842,90
14	12 Vales Encaixados- 100 a 300 metros - 10 a 25(>.45)	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	12 14 02 01	95,75	1,2%	9.575,00
15	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	06 06 02 01	92,21	1,1%	9.220,90
16	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	20 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	08 20 01 01	89,32	1,1%	8.931,80
17	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	05 06 02 01	85,28	1,0%	8.527,50
18	10 Tabuleiros- 20 a 50 metros - 0 a 3°	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Indeterminado	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	10 02 03 01	82,99	1,0%	8.299,10

19	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	06 06 03 01	82,72	1,0%	8.271,50
20	16 Montanhoso- 300 a 2.000 metros - 25 a 45°	12 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	04 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca e Campo Rupestre	16 12 02 04	81,82	1,0%	8.181,90
21	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	05 14 02 01	79,40	1,0%	7.939,80
22	01 Planícies Fluviais ou fluviolacustres- Zero - 0 a 3°	03 Granular; Não dobrada; Ausente; Poros. Alta - (>30%); Não se aplica	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	02 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca	01 03 03 02	73,92	0,9%	7.391,90
23	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	05 14 03 01	72,32	0,9%	7.232,20
24	04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°	20 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	05 Bioma Mata Atlântica	04 20 01 05	71,37	0,9%	7.136,50
25	01 Planícies Fluviais ou fluviolacustres- Zero - 0 a 3°	03 Granular; Não dobrada; Ausente; Poros. Alta - (>30%); Não se aplica	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	01 03 02 01	65,68	0,8%	6.567,90
26	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	13 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	05 13 02 01	61,94	0,8%	6.194,20
27	13 Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos- 50 a 200 metros - 10 a 25°	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	13 14 02 01	61,42	0,8%	6.141,90
28	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	15 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	06 15 01 01	58,69	0,7%	5.869,00
29	12 Vales Encaixados- 100 a 300 metros - 10 a 25(>.45)	20 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	12 20 01 01	58,03	0,7%	5.802,50
30	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	08 06 02 01	57,83	0,7%	5.783,40
31	09 Chapadas e Platôs- 0 a 20 metros - 0 a 5°	12 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	03 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre	09 12 03 03	57,76	0,7%	5.775,50
32	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Indeterminado	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	08 02 01 01	54,40	0,7%	5.440,40
33	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	31 Fissural; Intensamente dobrada; Zonas de cisalhamento; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	06 31 01 01	53,90	0,7%	5.389,80
34	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	05 17 01 01	53,11	0,7%	5.311,40

35	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	10 Granular/fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	05 10 01 01	52,65	0,6%	5.265,20
36	07 Morros e de Serras Baixas- 80 a 200 metros - 15 a 35°	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	07 14 02 01	51,75	0,6%	5.174,50
37	01 Planícies Fluviais ou fluvioacustres- Zero - 0 a 3°	03 Granular; Não dobrada; Ausente; Poros. Alta - (>30%); Não se aplica	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	01 03 01 01	49,89	0,6%	4.988,80
38	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	08 14 02 01	49,15	0,6%	4.914,60
39	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	20 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	05 Bioma Mata Atlântica	05 20 02 05	48,09	0,6%	4.808,50
40	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	08 14 03 01	46,77	0,6%	4.676,80
41	04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°	17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	02 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca	04 17 03 02	46,19	0,6%	4.618,90
42	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	05 06 03 01	45,98	0,6%	4.597,80
43	12 Vales Encaixados- 100 a 300 metros - 10 a 25(>.45)	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	12 14 03 01	45,52	0,6%	4.552,40
44	04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°	10 Granular/fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	04 10 03 01	43,03	0,5%	4.303,40
45	17 Escarpas Serranas- 300 a 2.000 metros - 25 a 60°	17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	17 17 03 01	42,52	0,5%	4.252,00
46	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	24 Fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	06 24 01 01	41,48	0,5%	4.147,90
47	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	31 Fissural; Intensamente dobrada; Zonas de cisalhamento; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	05 Bioma Mata Atlântica	06 31 02 05	39,76	0,5%	3.975,80
48	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	06 17 01 01	39,57	0,5%	3.956,60
49	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	24 Fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	06 24 02 01	38,23	0,5%	3.823,10
50	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	08 06 03 01	37,89	0,5%	3.789,00

51	16 Montanhoso- 300 a 2.000 metros - 25 a 45°	12 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	03 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre	16 12 02 03	36,60	0,4%	3.659,70
52	03 Superfícies Aplainadas Conservadas- 0 a 10 metros - 0 a 5°	17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	03 17 02 01	36,07	0,4%	3.606,90
53	13 Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos- 50 a 200 metros - 10 a 25°	06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	13 06 03 01	36,06	0,4%	3.606,10
54	04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°	17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	04 17 01 01	33,87	0,4%	3.386,70
55	04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°	06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	04 06 03 01	32,27	0,4%	3.227,30
56	04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	02 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca	04 14 03 02	32,02	0,4%	3.201,70
57	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Indeterminado	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	05 02 02 01	31,98	0,4%	3.197,70
58	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Indeterminado	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	08 02 03 01	31,64	0,4%	3.163,90
59	10 Tabuleiros- 20 a 50 metros - 0 a 3°	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Indeterminado	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	10 02 01 01	31,63	0,4%	3.162,50
60	11 Tabuleiros Dissecados- 20 a 50 metros - 0 a 3°	06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	11 06 02 01	31,27	0,4%	3.127,30
61	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	13 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	08 13 02 01	29,42	0,4%	2.941,60
62	12 Vales Encaixados- 100 a 300 metros - 10 a 25(>.45)	17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	12 17 03 01	26,76	0,3%	2.675,50
63	07 Morros e de Serras Baixas- 80 a 200 metros - 15 a 35°	13 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	07 13 01 01	26,15	0,3%	2.614,50
64	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Indeterminado	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	08 02 02 01	25,94	0,3%	2.594,30
65	01 Planícies Fluviais ou fluvioacustres- Zero - 0 a 3°	03 Granular; Não dobrada; Ausente; Poros. Alta - (>30%); Não se aplica	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	05 Bioma Mata Atlântica	01 03 02 05	24,87	0,3%	2.486,80
66	16 Montanhoso- 300 a 2.000 metros - 25 a 45°	12 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	16 12 02 01	23,55	0,3%	2.354,50
67	13 Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos- 50 a 200 metros - 10 a 25°	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	13 14 03 01	23,47	0,3%	2.346,80

68	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	31 Fissural; Intensamente dobrada; Zonas de cisalhamento; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-síltico-arenoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	06 31 02 01	22,95	0,3%	2.294,80
69	04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°	15 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-síltico-arenoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	04 15 02 01	22,89	0,3%	2.288,70
70	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	27 Fissural; Intensamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-síltico-arenoso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	06 27 01 01	22,06	0,3%	2.205,60
71	03 Superfícies Aplainadas Conservadas- 0 a 10 metros - 0 a 5°	31 Fissural; Intensamente dobrada; Zonas de cisalhamento; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-síltico-arenoso	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	03 31 03 01	21,98	0,3%	2.198,00
72	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	06 17 02 01	21,50	0,3%	2.149,50
73	09 Chapadas e Platôs- 0 a 20 metros - 0 a 5°	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Indeterminado	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	09 02 03 01	21,48	0,3%	2.147,60
74	10 Tabuleiros- 20 a 50 metros - 0 a 3°	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Indeterminado	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	02 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca	10 02 03 02	21,37	0,3%	2.137,20
75	04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°	13 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-síltico-arenoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	04 13 02 01	20,66	0,3%	2.066,30
76	13 Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos- 50 a 200 metros - 10 a 25°	06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	13 06 02 01	20,33	0,2%	2.032,80
77	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	20 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	05 20 01 01	18,83	0,2%	1.882,50
78	13 Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos- 50 a 200 metros - 10 a 25°	31 Fissural; Intensamente dobrada; Zonas de cisalhamento; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-síltico-arenoso	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	02 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca	13 31 03 02	17,83	0,2%	1.782,50
79	16 Montanhoso- 300 a 2.000 metros - 25 a 45°	13 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-síltico-arenoso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	03 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre	16 13 01 03	17,32	0,2%	1.731,90
80	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	24 Fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	05 24 01 01	16,59	0,2%	1.658,50
81	04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	04 14 03 01	15,80	0,2%	1.580,40
82	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	10 Granular/fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	06 10 01 01	15,55	0,2%	1.554,50

83	09 Chapadas e Platôs- 0 a 20 metros - 0 a 5°	11 Granular/fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	09 11 01 01	14,81	0,2%	1.481,30
84	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	11 Granular/fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	08 11 01 01	14,54	0,2%	1.453,60
85	07 Morros e de Serras Baixas- 80 a 200 metros - 15 a 35°	31 Fissural; Intensamente dobrada; Zonas de cisalhamento; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	05 Bioma Mata Atlântica	07 31 02 05	14,51	0,2%	1.450,80
86	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	05 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	08 05 01 01	13,78	0,2%	1.378,40
87	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	13 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	08 13 01 01	13,60	0,2%	1.359,70
88	12 Vales Encaixados- 100 a 300 metros - 10 a 25(>.45)	24 Fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	05 Bioma Mata Atlântica	12 24 02 05	13,50	0,2%	1.350,20
89	11 Tabuleiros Dissecados- 20 a 50 metros - 0 a 3°	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Indeterminado	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	11 02 03 01	13,43	0,2%	1.343,40
90	07 Morros e de Serras Baixas- 80 a 200 metros - 15 a 35°	15 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	07 15 01 01	13,38	0,2%	1.338,10
91	16 Montanhoso- 300 a 2.000 metros - 25 a 45°	13 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	04 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca e Campo Rupestre	16 13 02 04	13,21	0,2%	1.321,10
92	12 Vales Encaixados- 100 a 300 metros - 10 a 25(>.45)	17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	12 17 02 01	13,19	0,2%	1.319,20
93	04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	04 14 02 01	13,09	0,2%	1.308,80
94	04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Indeterminado	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	04 02 02 01	12,44	0,2%	1.243,90
95	09 Chapadas e Platôs- 0 a 20 metros - 0 a 5°	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Indeterminado	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	09 02 01 01	11,46	0,1%	1.145,50
96	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	05 17 02 01	11,19	0,1%	1.119,00
97	07 Morros e de Serras Baixas- 80 a 200 metros - 15 a 35°	24 Fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	01 Bioma Cerrado	07 24 01 01	10,91	0,1%	1.090,50
98	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	08 Bioma Caatinga com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca	06 17 03 08	10,78	0,1%	1.078,30

99	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	05 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	05 Bioma Mata Atlântica	05 05 01 05	10,34	0,1%	1.033,80
100	13 Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos- 50 a 200 metros - 10 a 25°	20 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	05 Bioma Mata Atlântica	13 20 01 05	10,19	0,1%	1.018,60

Nota: 92,2% das AUs do inventário distribuem-se nestas 100 classes do Nível 2 (N2). O recorte foi feito considerando-se as classes que contém igual ou acima de 1.000 ha de AUs do inventário.

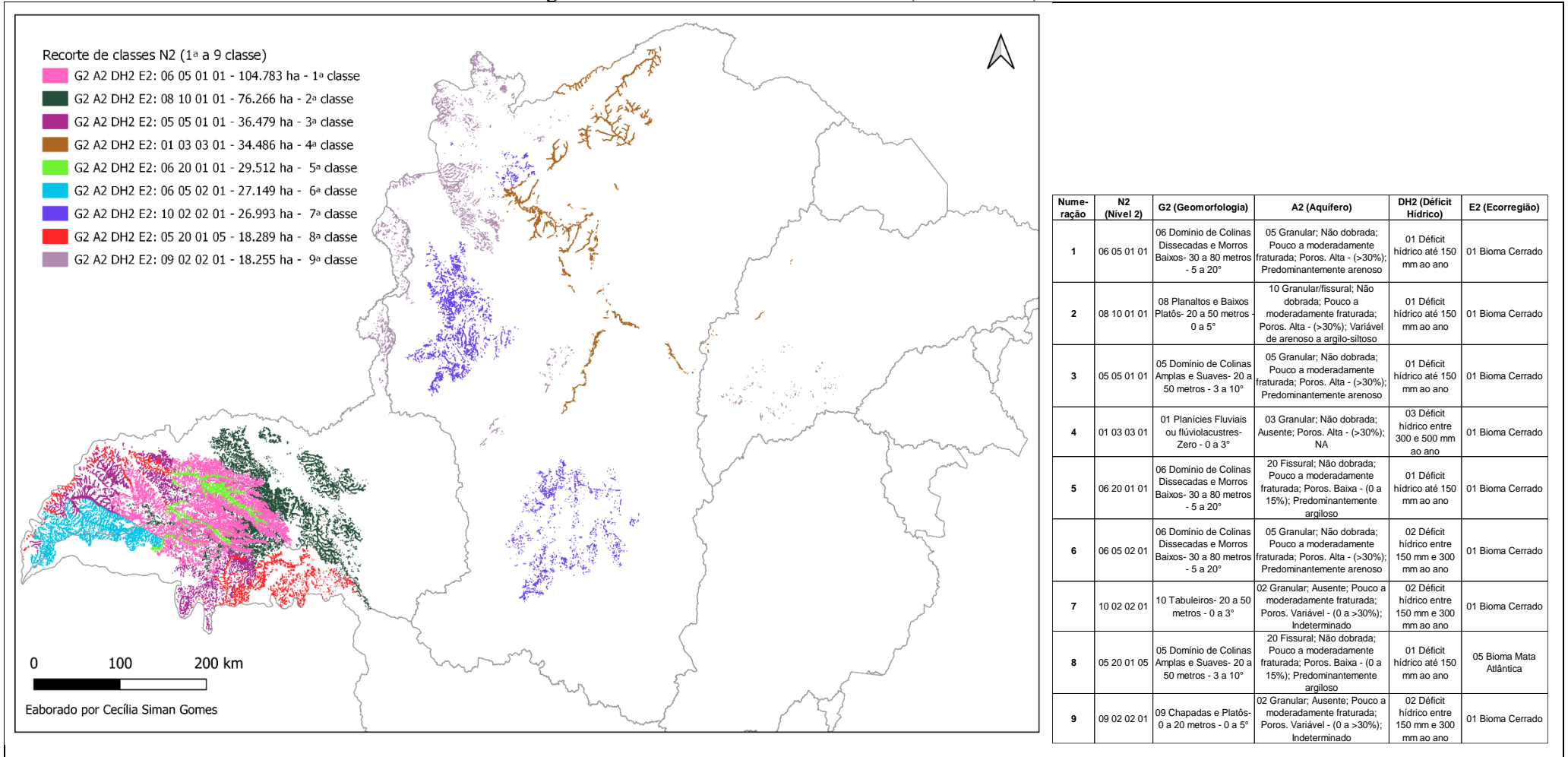
Sobre as principais classes do N2 das AUs cabe destacar as seguintes observações:

- 12,9% das AUs (1ª e única classe com mais de 10% das AUs) ocorrem em colinas dissecadas e morros baixos sobre aquíferos granulares, não dobrados, pouco a moderadamente fraturados, com porosidade alta e textura predominantemente arenosa. O déficit hídrico é o menos significativo (somente até 150 mm ao ano) e bioma Cerrado. Na 3ª classe, com 4,5% o contexto é muito semelhante, variando apenas o modelado das colinas, que são mais amplas e suaves. O total da 1ª e 3ª classe equivale à 17,4% das AUs.
- Na 2ª classe, com 9,38% das AUs, tem-se a classe de AUs formada em planaltos e baixos platôs sobre aquíferos granulares/fissurais, não dobrados, pouco a moderadamente fraturados; com porosidade alta e textura variável de arenosa a argilosiltosa. O déficit hídrico também é o menos significativo e o bioma Cerrado. As 1ª, 2ª e 3ª classes abrangem 26,7% das AUs do inventário.
- A 4ª classe, com 4,2% das AUs, tem-se a classe formada pelas planícies fluviais ou fluviolacustres, em aquíferos granulares com porosidade elevada, com déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano e no bioma Cerrado. Estas AUs são geralmente dependentes das inundações e/ou conexão com o nível freático que alimenta os rios de maior ordem.
- Verifica-se que o bioma Cerrado, nos modelados de colinas e planaltos e baixos platôs, onde o déficit hídrico é menor, ocorre um maior potencial para a formação de AUs no estado. Por sua vez, nas planícies fluviais ou fluviolacustres, também no bioma Cerrado, há um déficit hídrico mais expressivo (mas não tão típico como da Caatinga, que é predominantemente acima de 500 mm ao ano), o que indica que são AUs principalmente sazonais, dependentes das inundações e/ou da elevação do nível freático na estação chuvosa.
- As 5ª e 6ª classes situam-se nos modelados das colinas dissecadas em áreas com déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano e no bioma cerrado. O que difere é o tipo de aquífero, conforme pode ser visto na Tabela 4.21. Estas classes apresentam, respectivamente, 3,6% e 3,3% das AUs.
- Com 3,3% de AUs está a 7ª classe (um quantitativo um pouco abaixo da 6ª classe), onde as AUs situam-se nos tabuleiros, em aquífero granular, pouco a moderadamente fraturada e porosidade variável, e no mesmo contexto de déficit hídrico e bioma.

- A 8ª classe e a 9ª classe apresentam percentual de 2,2% das AUs, onde destaca-se o bioma da Mata Atlântica para a 8ª classe. A 8ª classe apresenta um modelado de colinas suaves e aquíferos fissurais e a 9ª classe está em chapadas e platôs em aquíferos granulares. O déficit hídrico é até 150 mm ao ano para a 8ª classe e entre 150 mm e 300 mm ao ano para a 9ª classe.

As outras posições apresentam percentuais abaixo de 2% e podem ser visualizadas na Tabela 4.21. A Figura 4.19 apresenta as nove primeiras classes do N2, que totalizam 45,8% das AUs do inventário.

Figura 4.19– Recorte de classes do N2 (1 a 9ª classe)



4.7 Principais classes resultantes da combinação dos níveis 1 e 2 das AUs

A Tabela 4.22 apresenta as áreas e percentuais de ocorrência do inventário das AUs resultantes da combinação dos níveis 1 e 2 (NIN2) da classificação, por meio dos seguintes recortes:

- Bacias dos rios Grande e Paranaíba: classes com mais 10.000 ha de AUs;
- Bacia do rio São Francisco: classes com mais 10.000 ha de AUs;
- Bacias do Leste e do rio Pardo: classes com mais 1.000 ha de AUs;
- Bacias do Sul de Minas: classes com mais 1.000 ha de AUs;
- Bacia do rio Doce: classes com mais 1.000 ha de AUs;
- Contexto Serrano: classes com mais 1.000 ha de AUs;

Considerando que as bacias dos rios São Francisco, Grande e Paranaíba apresentam os maiores percentuais de ocorrência de AUs e que o objetivo da Tabela 4.22 é fornecer um panorama mais regionalizado da distribuição das AUs no estado, foi apresentada para as bacias do rio São Francisco e rios Grande e Paranaíba a combinação dos níveis 1 e 2 que apresentam mais de 10.000 ha de AUs. Para as outras subdivisões, o recorte foi acima de 1.000 ha. A Tabela apresenta 55 % do percentual das AUs do inventário. Para mais informações, o Anexo 1 apresenta as classes resultantes da combinação dos níveis 1 e 2 das AUs com o mesmo recorte que os níveis 1 e 2 apresentados anteriormente (igual ou acima de 1.000 ha de AUs do inventário). Este recorte totalizou 111 classes abrangendo 90% das AUs do inventário.

Tabela 4.22 – Principais combinações das classes do Nível 1 com o Nível 2 (N1N2) das AUs

Contexto	Grandes domínios	Numeração	G1 (Geomorfologia)	G2 (Geomorfologia)	A1 (Aquífero)	A2 (Aquífero)	P1 (Pluviosidade)	DH2 (Déficit Hídrico)	B1 (Bioma)	E2 (Ecorregião)	N1 (Nível 1)	N2 (Nível 2)	Km ²	% do total de AUs	Hectares	Critério de seleção
Bacia do São Francisco	Depressões	4	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	01 Planícies Fluviais ou fluviolacustres-Zero - 0 a 3°	0201 Aquíferos granulares aluvionares	03 Granular; Não dobrada; Ausente; Poros. Alta - (>30%); Não se aplica	0303 Pluviosidad e variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0101 0201 0303 0401	01 03 03 01	341,49	4,2%	34.148,60	> 10.000 ha
	Superfícies elevadas e topos suaves	7	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	10 Tabuleiros- 20 a 50 metros - 0 a 3°	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Indeterminado	0302 Pluviosidad e variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0107 0202 0302 0401	10 02 02 01	268,45	3,3%	26.844,80	
	Relevos ondulados e dissecados	9	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvacas e calcários	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0302 Pluviosidad e variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0112 0206 0302 0401	06 14 02 01	155,33	1,9%	15.533,30	
	Relevos ondulados e dissecados	10	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	17 Escarpas Serranas- 300 a 2.000 metros - 25 a 60°	0207 Aquíferos carbonáticos	17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0302 Pluviosidad e variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0112 0207 0302 0401	17 17 02 01	136,27	1,7%	13.627,10	
	Superfícies elevadas e topos suaves	11	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	11 Tabuleiros Dissecados- 20 a 50 metros - 0 a 3°	0203 Aquíferos areníticos	06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0303 Pluviosidad e variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0107 0203 0303 0401	11 06 03 01	128,72	1,6%	12.872,10	

	Superfícies elevadas e topos suaves	14	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	09 Chapadas e Platôs- 0 a 20 metros - 0 a 5°	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Indeterminado	0302 Pluviosidad e variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0107 0202 0302 0401	09 02 02 01	100,96	1,2%	10.095,80	
Bacia dos rios Grande e Paranaíba	Grandes domínios	Numeração	G1 (Geomorfologia)	G2 (Geomorfologia)	A1 (Aquífero)	A2 (Aquífero)	P1 (Pluviosidade)	DH2 (Déficit Hídrico)	B1 (Bioma)	E2 (Ecorregião)	N1 (Nível 1)	N2 (Nível 2)	Km²	% do total de AUs	Hectares	Critério de seleção
	Relevos ondulados e dissecados	1	0115 Relevos ondulados e dissecados das bacias dos rios Paranaíba e Grande	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0203 Aquíferos areníticos	05 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	0302 Pluviosidad e variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0115 0203 0302 0401	06 05 01 01	1.047,84	12,9 %	104.783,50	
	Superfícies elevadas e topos suaves	2	0110 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	0203 Aquíferos areníticos	10 Granular/fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0302 Pluviosidad e variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0110 0203 0302 0401	08 10 01 01	524,34	6,4%	52.433,70	
	Depressões	3	0104 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	0203 Aquíferos areníticos	05 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	0302 Pluviosidad e variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0104 0203 0302 0401	05 05 01 01	364,80	4,5%	36.479,50	> 10.000 ha
	Relevos ondulados e dissecados	5	0115 Relevos ondulados e dissecados das bacias dos rios Paranaíba e Grande	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0204 Aquíferos de rochas vulcânicas	20 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0302 Pluviosidad e variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0115 0204 0302 0401	06 20 01 01	295,13	3,6%	29.512,60	
	Relevos ondulados e dissecados	6	0115 Relevos ondulados e dissecados das bacias dos rios Paranaíba e Grande	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0203 Aquíferos areníticos	05 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	0302 Pluviosidad e variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0115 0203 0302 0401	06 05 02 01	271,49	3,3%	27.149,30	

								mm ao ano								
	Superfícies elevadas e topos suaves	8	0110 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	0203 Aquíferos areníticos	10 Granular/fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0301 Pluviosidad e acima de 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0110 0203 0301 0401	08 10 01 01	236,82	2,9%	23.682,40	
	Depressões	12	0104 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	0204 Aquíferos de rochas vulcânicas	20 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0301 Pluviosidad e acima de 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0402 Bioma Mata Atlântica	05 Bioma Mata Atlântica	0104 0204 0301 0402	05 20 01 05	113,51	1,4%	11.350,60	
	Depressões	13	0104 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	0203 Aquíferos areníticos	05 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta (>30%); Predominantemente arenoso	0302 Pluviosidad e variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0104 0203 0302 0401	05 05 02 01	108,43	1,3%	10.842,90	
Bacias do Leste e do rio Pardo	Grandes domínios	Numeração	G1 (Geomorfologia)	G2 (Geomorfologia)	A1 (Aquífero)	A2 (Aquífero)	P1 (Pluviosidade)	DH2 (Déficit Hídrico)	B1 (Bioma)	E2 (Ecorregião)	N1 (Nível 1)	N2 (Nível 2)	Km²	% do total de AUs	Hectares	Critério de seleção
	Superfícies elevadas e topos suaves	86	0109 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacias do Leste e do rio Pardo	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	0202 Aquíferos granulares detriticos ou detritico lateriticos	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável na vertical	0303 Pluviosidad e variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0109 0202 0303 0401	08 02 03 01	16,35	0,2%	1.634,50	> 1.000 ha
Bacias do Sul de Minas	Grandes domínios	Numeração	G1 (Geomorfologia)	G2 (Geomorfologia)	A1 (Aquífero)	A2 (Aquífero)	P1 (Pluviosidade)	DH2 (Déficit Hídrico)	B1 (Bioma)	E2 (Ecorregião)	N1 (Nível 1)	N2 (Nível 2)	Km²	% do total de AUs	Hectares	Critério de seleção
	Relevos ondulados e dissecados	75	0116 Relevos ondulados e dissecados do Sul de Minas	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0208 Aquíferos de rochas do embasamento cristalino	27 Fissural; Intensamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros.	0302 Pluviosidad e variando de 1200 a	01 Déficit hídrico até 150	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0116 0208 0302 0401	06 27 01 01	20,85	0,3%	2.084,90	> 1.000 ha

						Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	1500 mm ao ano	mm ao ano								
	Depressões	79	0105 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias do Sul de Minas	01 Planícies Fluviais ou fluviolacustres- Zero - 0 a 3°	0201 Aquíferos granulares aluvionares	03 Granular; Não dobrada; Ausente; Poros. Alta - (>30%); Não se aplica	0302 Pluviosidad e variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0105 0201 0302 0401	01 03 01 01	19,60	0,2%	1.960,40	
	Relevos ondulados e dissecados	87	0116 Relevos ondulados e dissecados do Sul de Minas	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0208 Aquíferos de rochas do embasamento cristalino	31 Fissural; Intensamente dobrada; Zonas de cisalhamento; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	0302 Pluviosidad e variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0116 0208 0302 0401	06 31 01 01	16,19	0,2%	1.619,20	
	Relevos ondulados e dissecados	93	0116 Relevos ondulados e dissecados do Sul de Minas	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	24 Fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0301 Pluviosidad e acima de 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0116 0205 0301 0401	06 24 01 01	14,37	0,2%	1.437,30	
	Relevos ondulados e dissecados	111	0116 Relevos ondulados e dissecados do Sul de Minas	07 Morros e de Serras Baixas- 80 a 200 metros - 15 a 35°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	24 Fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0301 Pluviosidad e acima de 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0116 0205 0301 0401	07 24 01 01	10,14	0,1%	1.013,80	
Bacia do Doce	Grandes domínios	Numeração	G1 (Geomorfologia)	G2 (Geomorfologia)	A1 (Aquífero)	A2 (Aquífero)	P1 (Pluviosidade)	DH2 (Déficit Hídrico)	B1 (Bioma)	E2 (Ecorregião)	N1 (Nível 1)	N2 (Nível 2)	Km²	% do total de AUs	Hectares	Critério de seleção
	Relevos ondulados e dissecados	50	0113 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio Doce	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0208 Aquíferos de rochas do embasamento cristalino	31 Fissural; Intensamente dobrada; Zonas de cisalhamento; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	0302 Pluviosidad e variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0402 Bioma Mata Atlântica	05 Bioma Mata Atlântica	0113 0208 0302 0402	06 31 02 05	35,60	0,4%	3.560,30	> 1.000 ha

	Depressões	70	0102 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do Rio Doce	01 Planícies Fluviais ou fluviolacustres- Zero - 0 a 3°	0201 Aquíferos granulares aluvionares	03 Granular; Não dobrada; Ausente; Poros. Alta - (>30%); Não se aplica	0302 Pluviosidad e variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0402 Bioma Mata Atlântica	05 Bioma Mata Atlântica	0102 0201 0302 0402	01 03 02 05	22,10	0,3%	2.209,80	
Contexto Serrano	Grandes domínios	Numeração	G1 (Geomorfologia)	G2 (Geomorfologia)	A1 (Aquífero)	A2 (Aquífero)	P1 (Pluviosidade)	DH2 (Déficit Hídrico)	B1 (Bioma)	E2 (Ecorregião)	N1 (Nível 1)	N2 (Nível 2)	Km²	% do total de AUs	Hectares	Critério de seleção
	Relevos Serranos	20	0118 Domínio da Serra do Espinhaço	16 Montanhoso-300 a 2.000 metros - 25 a 45°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	12 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	0303 Pluviosidad e variando de 900 a 1200 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	04 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca e Campo Rupestre	0118 0205 0303 0401	16 12 02 04	79,27	1,0%	7.927,30	
	Relevos Serranos	30	0118 Domínio da Serra do Espinhaço	09 Chapadas e Platôs- 0 a 20 metros - 0 a 5°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	12 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	0303 Pluviosidad e variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	03 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre	0118 0205 0303 0401	09 12 03 03	57,76	0,7%	5.775,50	
	Relevos Serranos	57	0118 Domínio da Serra do Espinhaço	16 Montanhoso-300 a 2.000 metros - 25 a 45°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	12 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	0302 Pluviosidad e variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	03 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre	0118 0205 0302 0401	16 12 02 03	27,79	0,3%	2.778,50	
	Relevos Serranos	65	0118 Domínio da Serra do Espinhaço	16 Montanhoso-300 a 2.000 metros - 25 a 45°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	12 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	0302 Pluviosidad e variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0118 0205 0302 0401	16 12 02 01	23,55	0,3%	2.354,50	

> 1.000 ha

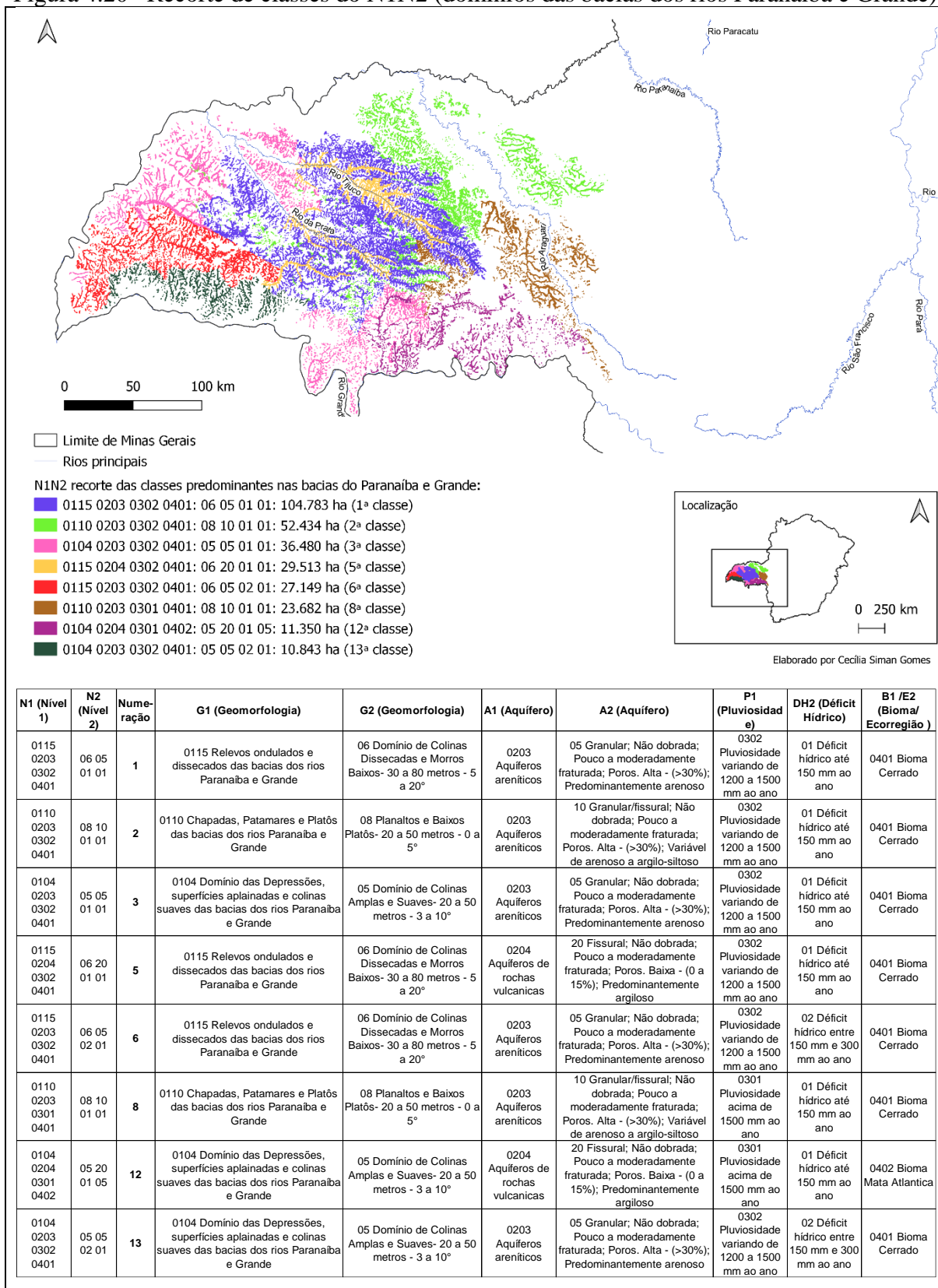
Relevos Serranos	68	0119 Domínio da Serra da Canastra	07 Morros e de Serras Baixas- 80 a 200 metros - 15 a 35°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	13 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	0301 Pluviosidad e acima de 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0119 0205 0301 0401	07 13 01 01	22,54	0,3%	2.254,30
Relevos Serranos	91	0118 Domínio da Serra do Espinhaço	16 Montanhoso-300 a 2.000 metros - 25 a 45°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	13 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	0302 Pluviosidad e variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	03 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre	0118 0205 0302 0401	16 13 01 03	15,17	0,2%	1.516,70
Relevos Serranos	95	0118 Domínio da Serra do Espinhaço	09 Chapadas e Platôs- 0 a 20 metros - 0 a 5°	0202 Aquíferos granulares detriticos ou detritico lateriticos	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável na vertical	0303 Pluviosidad e variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0118 0202 0303 0401	09 02 03 01	13,70	0,2%	1.369,50
Relevos Serranos	105	0118 Domínio da Serra do Espinhaço	16 Montanhoso-300 a 2.000 metros - 25 a 45°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	13 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	0303 Pluviosidad e variando de 900 a 1200 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	04 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca e Campo Rupestre	0118 0205 0303 0401	16 13 02 04	11,49	0,1%	1.149,00

Nas bacias dos rios Grande e Paranaíba, as AUs ocorrem com maior frequência nos relevos ondulados e dissecados, com colinas dissecadas e morros baixos, e sobre aquíferos areníticos, onde a pluviosidade varia de 1200 a 1500 mm ao ano e o déficit hídrico é somente até 150 mm ao ano, no bioma Cerrado (Figura 4.20). As AUs classificadas neste contexto totalizam 12,9% do inventário, formando a 1ª classe. Com base na Figura 4.20, verifica-se que as AUs desta classe se situam, sobretudo, nas cabeceiras e no alto médio curso dos afluentes que desaguam nos vales dos rios Tijuco e da Prata. A 6ª classe das AUs, com exceção do déficit hídrico (que está entre 150 e 300 mm/ano), também apresenta a mesma caracterização. Estão, principalmente, nas bacias do rio Arantes, ribeirão da Reserva e córrego da Formiga.

Por sua vez, as AUs das classes 5ª e 12ª são formadas sobre aquíferos vulcânicos, predominantemente argilosos e pouco fraturados. Na 5ª classe, as AUs são classificadas nas unidades das colinas dissecadas e localizam-se em porções expressivas do baixo curso dos afluentes que desaguam no vale do rio Tijuco e da Prata (Figura 4.20). A 12ª classe, as AUs ocorrem em ambientes de depressões formadas por colinas suaves, ocupando áreas das sub-bacias que drenam para o rio Grande. As AUs desta classe estão no bioma da Mata Atlântica, mas na interface com o bioma cerrado, podendo assumir características fitofisionômicas dos dois biomas, de um ou de outro. Quando do bioma Mata Atlântica são, principalmente, associadas a florestas inundáveis.

No contexto dos relevos das chapadas (2ª e 8 classes), as AUs também ocorrem em aquíferos areníticos, sobre planaltos e baixos platôs. Somente a faixa pluviométrica que varia entre estas classes. Ocorrem principalmente na bacia do rio Araguari e no curso da bacia do rio Tijuco (Figura 4.20). As AUs do Triângulo Mineiro são, sobretudo, do tipo veredas. Podem ocorrer também campos de murundus.

Figura 4.20– Recorte de classes do N1N2 (domínios das bacias dos rios Paranaíba e Grande)



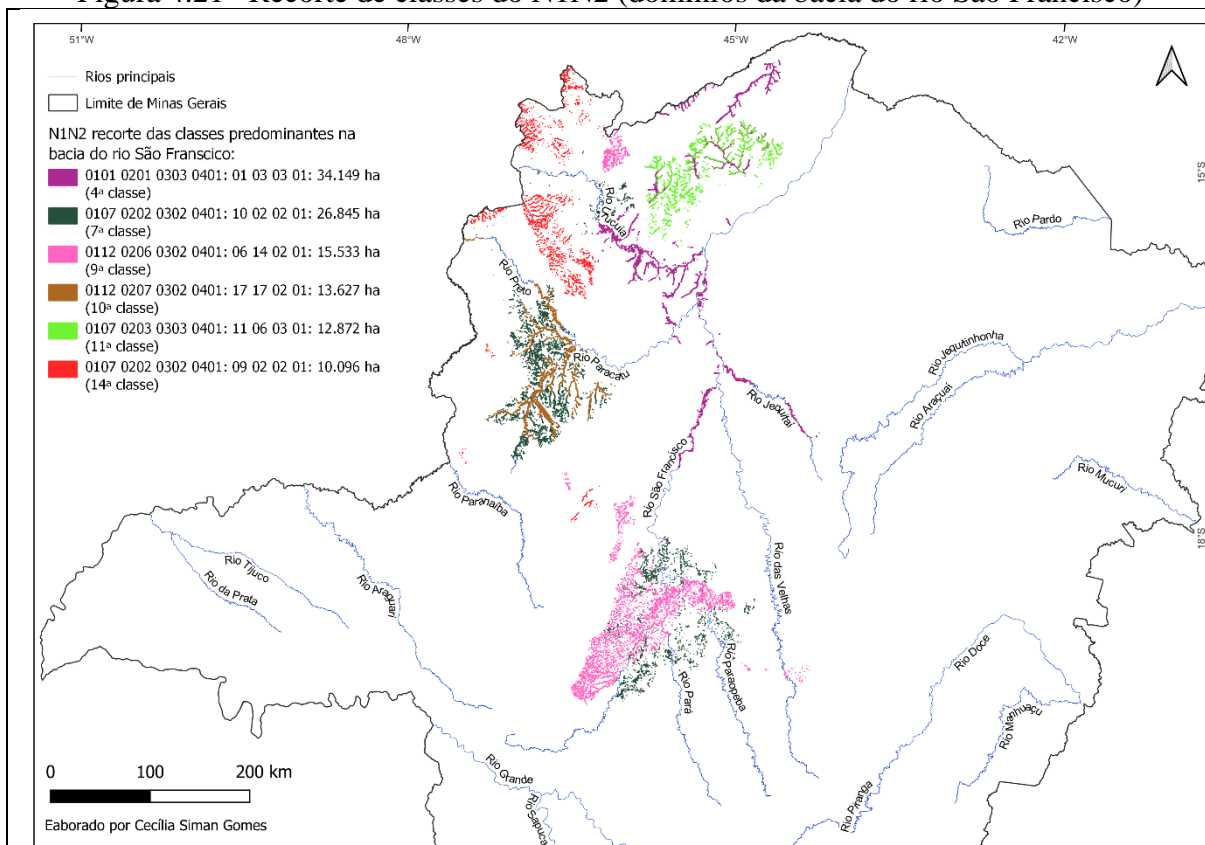
Na bacia do São Francisco, no contexto das áreas deprimidas (4ª classe), a classe que abriga a maior ocorrência de AUs do inventário está em planícies fluviais e fluviolacustres, no bioma do Cerrado e onde a pluviosidade varia de 900 a 1200 mm ao ano, com déficit hídrico do solo entre 300 e 500 mm ao ano (Figura 4.21). Com base na Figura 4.21, observa-se que sua ocorrência se concentra no médio curso do rio São Francisco, assim como nas margens de seu afluente Jequitáí (margem direita) e nas sub-bacias dos seguintes afluentes da sua margem esquerda: Paracatu, Urucuia, Pardo, Pandeiros, Cochá e Carinhanha. São AUs, portanto, do tipo lagoas transicionais marginais.

No contexto das superfícies elevadas e topos suaves da bacia (7ª, 11ª e 14ª classes), a maior ocorrência de AUs se dá em tabuleiros sobre sistemas aquíferos granulares detríticos ou detrítico-lateríticos, na faixa de pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano e déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano, no bioma cerrado, ocorrendo na bacia do rio Paracatu e, secundariamente, do rio Urucuia (7ª classe; Figura 4.21). A 14ª classe ocorre no mesmo contexto hidrogeológico, climático e ecológico, mas sobre chapadas e platôs (14ª classe; Figura 4.21), principalmente nas cabeceiras de afluentes do rio Urucuia.

Ainda no contexto das chapadas patamares e platôs, destaca-se a 11ª classe com a maior ocorrência de AUs. As AUs situam-se em tabuleiros dissecados sobre aquíferos areníticos, onde a pluviosidade varia de 900 a 1200 mm e déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano (11ª classe; Figura 4.21). Com base na Figura 4.21, observa-se que ocorre nas sub-bacias do Urucuia, Acari, Pardo, Pandeiros e riacho da Cruz. Assim, diversas AUs estão presentes nestas sub-bacias, seja em fundos de vale, associadas as planícies fluviais e ou fluviolacustres (4ª classe), seja nos patamares e ao longo das vertentes dos tabuleiros dissecados.

No contexto dos relevos ondulados e dissecados (9ª e 10ª classes), as AUs ocorrem nas colinas dissecadas e morros baixos (aquíferos síltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvacas e calcários) (9ª classe), sobretudo, no alto São Francisco, e nas escarpas serranas (rochas carbonáticas) (10ª classe), principalmente na bacia do Paracatu. Estas AUs classificam-se no contexto pluviométrico entre 1200 e 1500 mm e déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano, no bioma do Cerrado (Figura 4.21).

Figura 4.21– Recorte de classes do N1N2 (domínios da bacia do rio São Francisco)



N1 (Nível 1)	N2 (Nível 2)	Grandes domínios	Numeração	G1 (Geomorfologia)	G2 (Geomorfologia)	A1 (Aquífero)	A2 (Aquífero)	P1 (Pluviosidade)	DH2 (Déficit Hídrico)	B1/E2E2 (Bioma/Ecoregião)
0101 0201 0303 0401	01 03 03 01	1 - Depressões	4	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	01 Planícies Fluviais ou fluvioacustres - Zero - 0 a 3°	0201 Aquíferos granulares aluvionares	03 Granular; Não dobrada; Ausente; Poros. Alta - (>30%); Não se aplica	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado
0107 0202 0302 0401	10 02 02 01	2 - Superfícies elevadas e topos suaves	7	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	10 Tabuleiros - 20 a 50 metros - 0 a 3°	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável na vertical	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado
0112 0206 0302 0401	06 14 02 01	3 - Relevos ondulados e dissecados	9	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	06 Domínio de Colinas Dissecadas e Morros Baixos - 30 a 80 metros - 5 a 20°	0206 Aquíferos silto-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauwacas e calcários	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado
0112 0207 0302 0401	17 17 02 01	3 - Relevos ondulados e dissecados	10	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	17 Escarpas Serranas - 300 a 2.000 metros - 25 a 60°	0207 Aquíferos carbonáticos	17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado
0107 0203 0303 0401	11 06 03 01	2 - Superfícies elevadas e topos suaves	11	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	11 Tabuleiros Dissecados - 20 a 50 metros - 0 a 3°	0203 Aquíferos areníticos	06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado
0107 0202 0302 0401	09 02 02 01	2 - Superfícies elevadas e topos suaves	14	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	09 Chapadas e Platôs - 0 a 20 metros - 0 a 5°	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável na vertical	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado

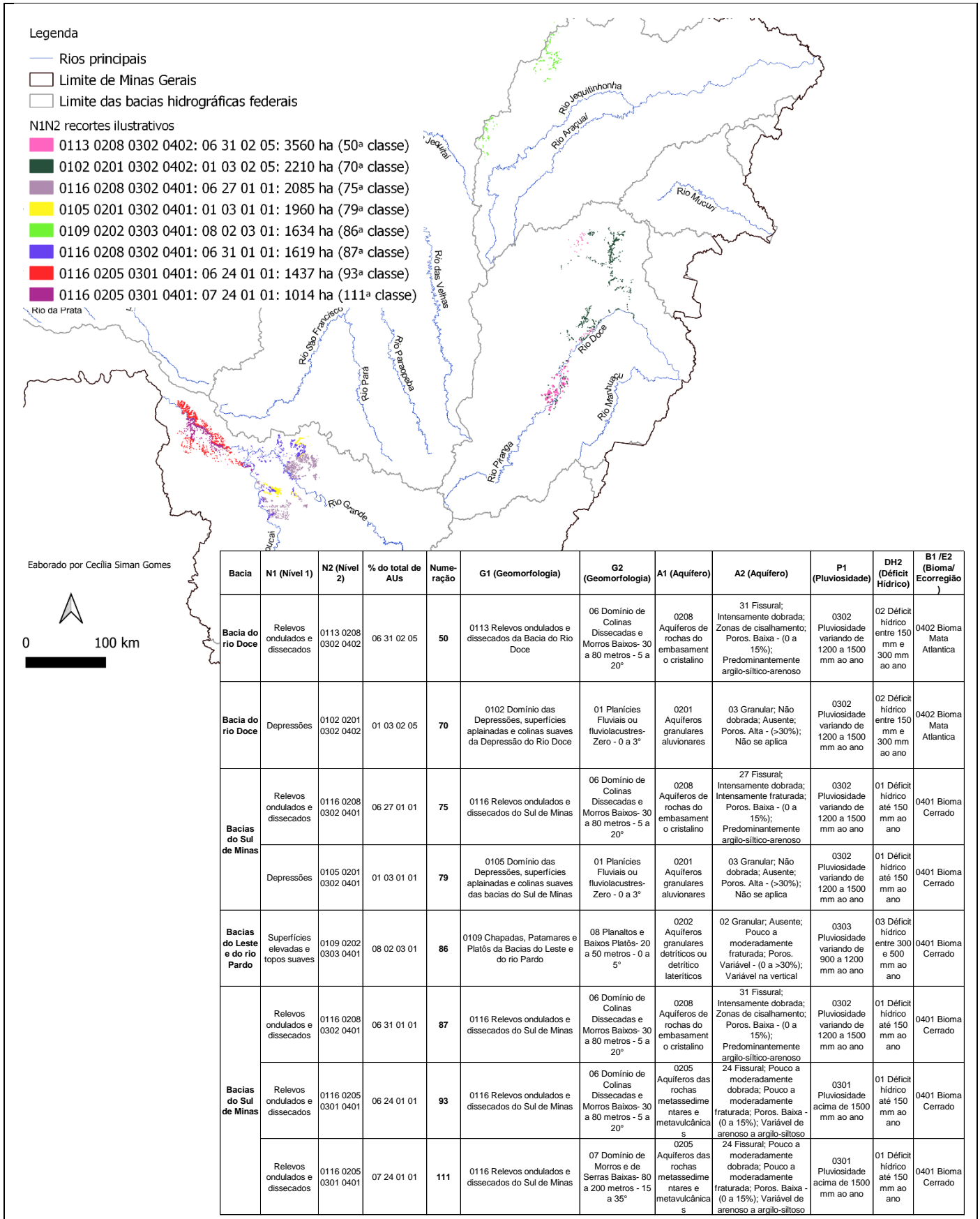
A Figura 4.22 apresenta um recorte ilustrando quais classes abrigam um maior percentual de AUs nas bacias dos rios Doce e Jequitinhonha, e no Sul de Minas, na bacia do rio Grande.

Na bacia do rio Doce observa-se que AUs são classificadas em dois contextos: sendo um, em relevos ondulados e dissecados sobre colinas dissecadas e morros baixos e rochas do embasamento, intensamente dobradas e em zonas de cisalhamento (50ª classe) e o outro contexto em áreas deprimidas sobre planícies fluviolacustres em aquíferos granulares aluvionares. Ambas as classes se situam no bioma da Mata Atlântica e apresentam o mesmo regime pluviométrico e de déficit hídrico. Em termos de ocorrência, destaca-se o médio Doce e o vale do rio Suaçuí Grande e do Urupuca.

Na bacia do Jequitinhonha, destacam-se as AUs classificadas sobre planaltos e baixos platôs, em bioma cerrado, aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos, com déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano e pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano. Destacam-se as cabeceiras dos cursos d'água: Vacaria, Extrema, Três Barras e Tabatinga.

Na bacia do rio Grande, o contexto geomorfológico e hidrogeológico é variado, ocorrendo AUs sobre aquíferos do embasamento cristalino intensamente dobradas e fraturadas (em colinas dissecadas e morros baixos), sobre rochas metassedimentares pouco a moderadamente dobradas e fraturadas (colinas dissecadas, morros e serras baixas) e, secundariamente, em aquíferos aluvionares, em planícies fluviais e fluviolacustres (Figura 4.22). As AUs ocorrem no bioma Cerrado, mas podem manifestar características fisionômicas do bioma da Mata Atlântica pela sua proximidade com este bioma. O déficit hídrico é somente de 150 mm ao ano. Conforme a Figura 4.22, estas AUs correm na bacia do Grande e rio Sapucaí, seu afluente da margem direita.

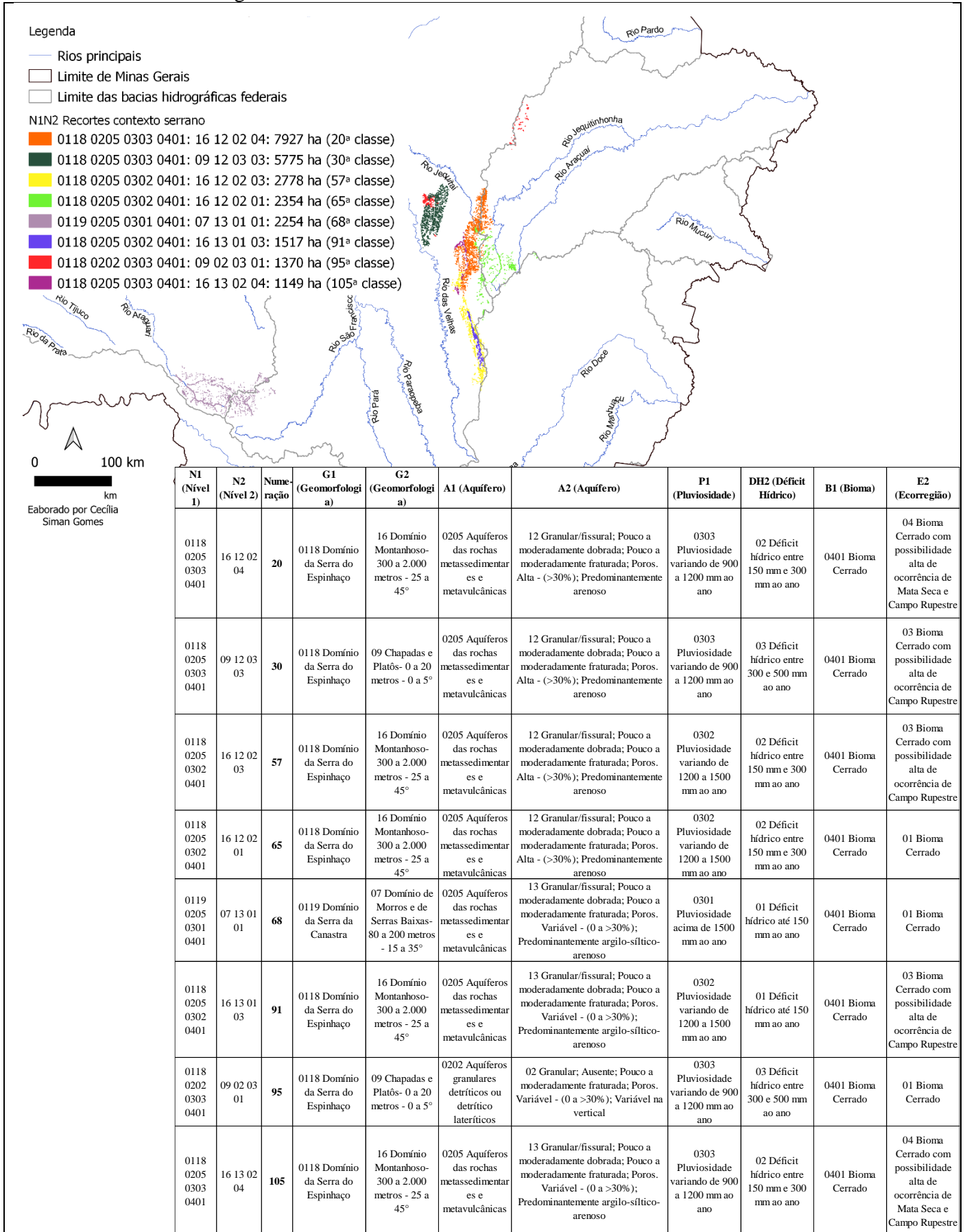
Figura 4.22– Recortes de classes do N1N2: bacias dos rios Doce e Jequitinhonha e no Sul de Minas, na bacia do rio Grande



Por fim, a Figura 4.23 apresenta o recorte ilustrando a classificação das AUs nos contextos serranos, considerando suas principais classes de ocorrência. Observa-se que a grande maioria está na Serra do Espinhaço e, secundariamente, na Serra da Canastra. Em todos os contextos, inserem-se no bioma do Cerrado, sendo que na Serra do Espinhaço, predominantemente associadas a Campos Rupestres úmidos.

As AUs ocorrem predominantemente, sobre aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas. No contexto da Serra do Espinhaço, as AUs ocorrem, sobretudo, nos relevos de montanhas e, secundariamente, em platôs; as AUs neste modelado são mais típicas na Serra do Cabral. O aquífero é predominantemente granular/fissural, pouco a moderadamente dobrado e fraturado e com textura arenosa, originados da decomposição do quartzito. Na Serra da Canastra, as AUs são mais típicas dos morros e de serras baixas sobre aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas, do tipo granular/fissural, pouco a moderadamente dobrada e fraturada e textura argilo-síltico-arenosa. A porção da Serra da Canastra com AUs associadas a Campos Rupestres não é a classe predominante. A Figura 4.23 espacializa as classes predominantes de ocorrência das AUs nos contextos serranos.

Figura 4.23– Recortes de classes do N1N2: contexto serrano



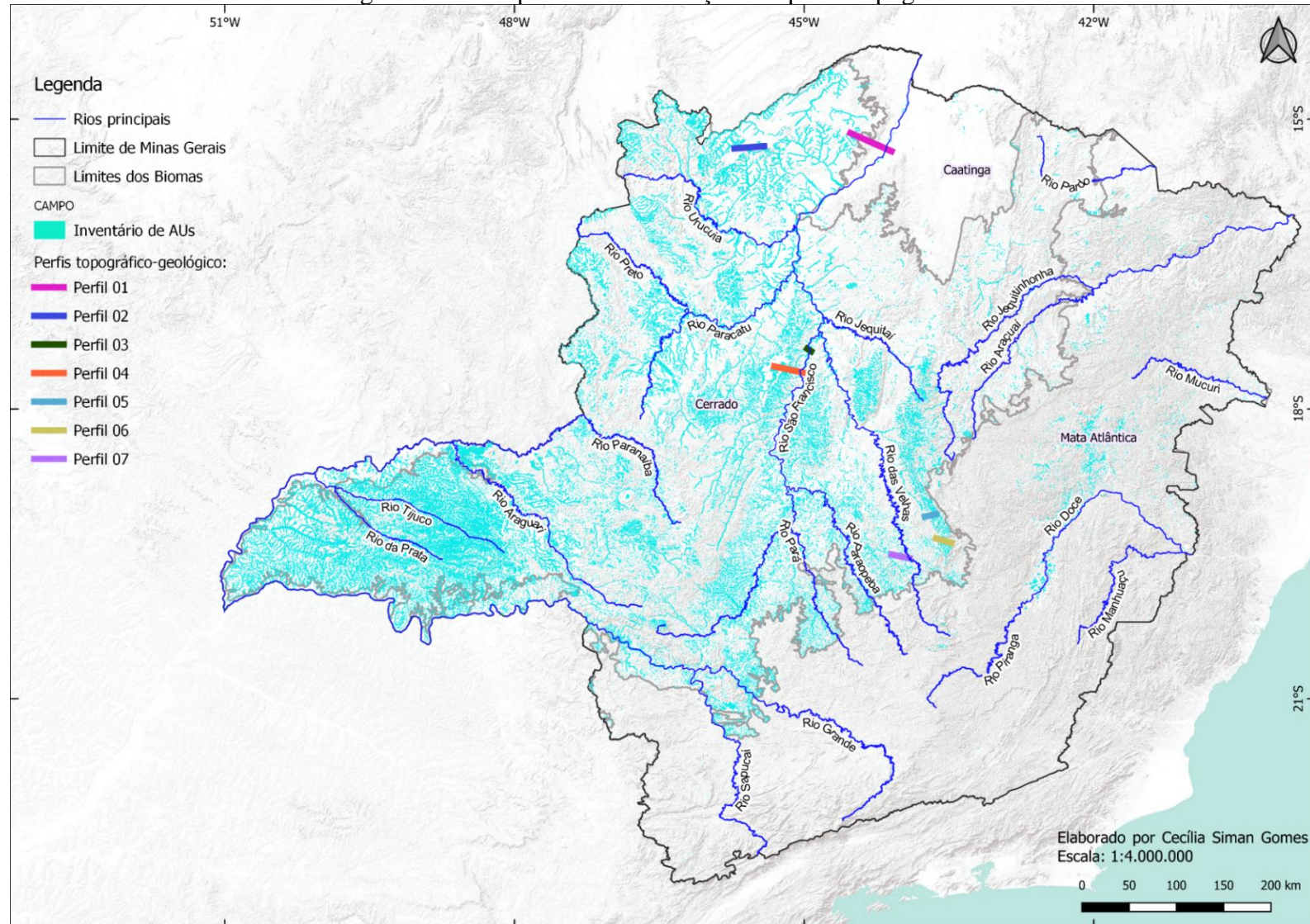
4.8 Aplicação da proposta de classificação das AUs nos multiníveis

Este subcapítulo tem como objetivo apresentar exemplos variados de aplicação da classificação biohidrogeomorfológica, principalmente com base em AUs percorridas em campo. Para determinados casos, mostra-se também como a sua aplicação deverá observar as áreas de transição, ou seja, as áreas de contato entre as diferentes unidades de classificação. Além disso, demonstra-se como a classificação pode auxiliar em uma interpretação do mecanismo de funcionamento das AUs e no levantamento preliminar de determinadas funções, serviços e ou fragilidades ambientais. Para determinados casos, mostra-se o potencial da metodologia para identificação de tipologias de AUs.

Conforme apresentado na metodologia (subcapítulo 3.5), foram estruturados sete exemplos ilustrativos e informativos, acompanhados de perfil topográfico-geológico e da classificação biohidrogeomorfológica das AUs numeradas nos exemplos, nos níveis 1, 2 e 3 da classificação. Cabe ressaltar que uma feição de AU pode estar subdividida em mais de critério de enquadramento, independentemente do nível da classificação. Além disso, conforme a metodologia, destaca-se que o Nível 3 (nível contexto local) necessita de uma avaliação inicial (em escritório e/ou em campo, dependendo da complexidade da área) para a sua classificação.

A Figura 4.24 apresenta a localização dos perfis traçados com os exemplos de AUs.

Figura 4.24 - Mapa com a localização dos perfis topográficos



Perfil 1 (Figura 4.25): Perfil traçado na direção noroeste- sudeste, localizado nos municípios de Januária, Pedras de Maria da Cruz e Itacarambi, no norte de Minas Gerais:

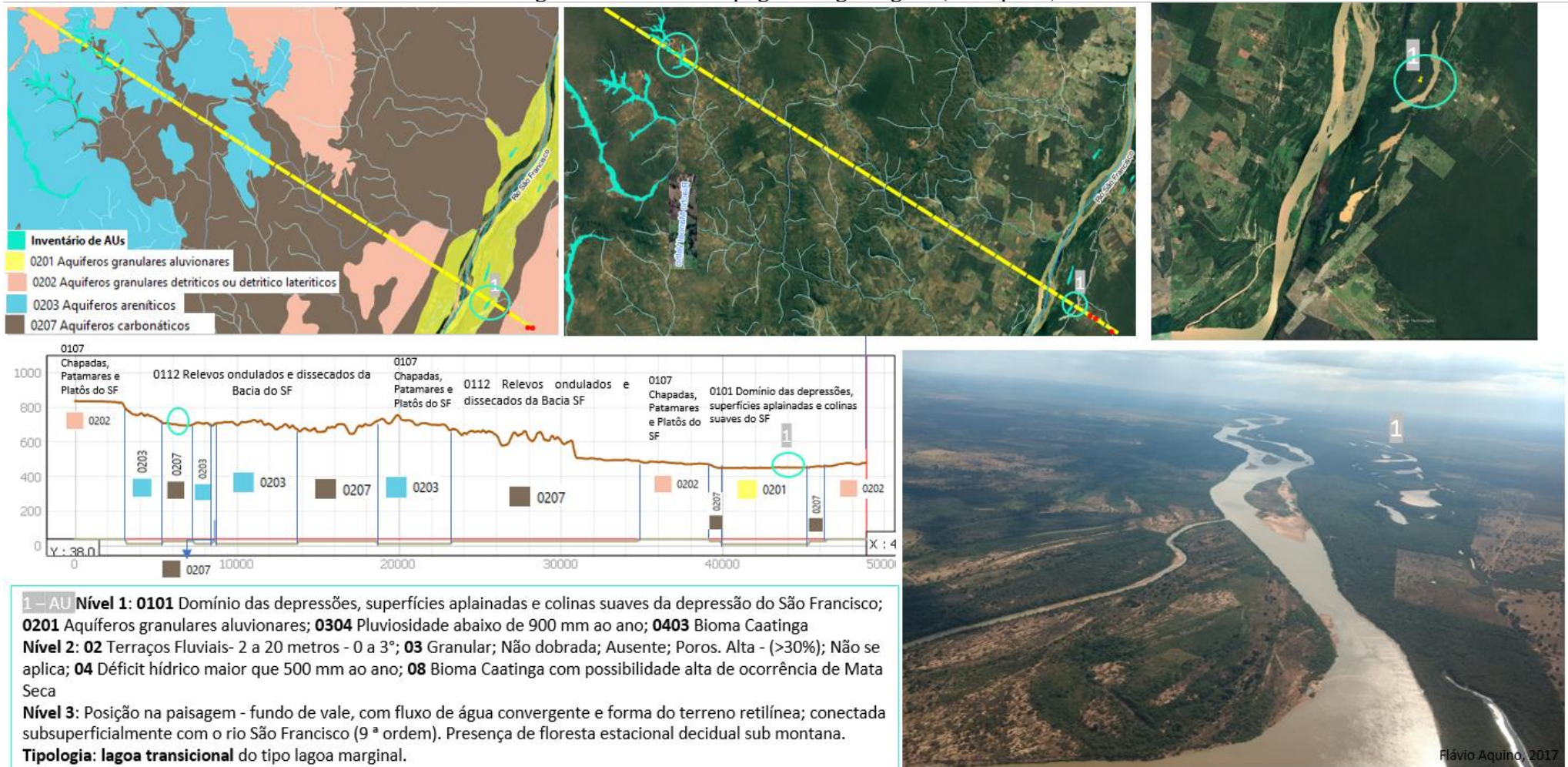
Destaca-se que, na classificação, a primeira AU que o perfil atravessa (direção oeste) é do tipo **vereda** e ocorre no domínio dos relevos ondulados e dissecados da bacia do rio São Francisco, em modelados de colinas e morros baixos sobre aquíferos carbonáticos (em transição com aquíferos areníticos). A AU localiza-se no bioma Cerrado, em área de transição com a Caatinga. Situa-se em fundo de vale, com forma do terreno côncava e fluxo convergente de água. A AU está associada ao riacho Manoel Velho (canal de 2ª ordem), que é afluente do riacho da Cruz, que, por sua vez, deságua na margem esquerda do São Francisco, um pouco mais de 1 km a montante do ponto da AU 1, no município de Januária. A vegetação do entorno da AU é principalmente do tipo cerrado.

A AU (1) é do tipo lagoa transicional (subtipo lagoa marginal) e situa-se no domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves do São Francisco, sobre aquífero granular aluvionar, no bioma da caatinga, com alta probabilidade de ocorrência de mata seca no entorno. A pluviosidade não ultrapassa 900 mm ao ano. Esta AU associa-se ao baixo terraço fluvial recente do rio São Francisco. O perfil atravessa uma elevação com cerca de 3 m entre o rio São Francisco e a AU, com registros de atividade agrícola em anos anteriores. Neste sentido, esta lagoa transicional está conectada subsuperficialmente com o nível freático que alimenta o rio São Francisco. Posiciona-se em fundo de vale, com forma retilínea e fluxo convergente de água. Há floresta estacional decidual sub-montana (mata seca) e cultivos agrícolas no entorno. Apresenta zero de declividade (Plana – 0 a 3%) e está na altitude de 452 metros (faixa altitudinal entre 401 e 600 metros).

Verifica-se que há outras AUs da mesma tipologia no entorno que apresentam extensões laterais e longitudinais variadas. Formam subsistemas deprimidos mais úmidos que o entorno direto. As variações hidrológicas desta classe de AUs são condicionadas pela pluviosidade, pelas variações dos pulsos de inundação, pelo nível freático e pelos contatos hidráulicos entre a planície e o corpo d'água, que podem contribuir de forma dominante ou secundária.

No caso ilustrado, é possível que atualmente não haja mais conexão superficial com o rio São Francisco (ou somente durante as grandes inundações) em função de uma redução da profundidade das águas do rio, devido tanto a impactos a montante (modificações na morfologia do canal), como da redução da recarga de água pela supressão da vegetação sobre os aquíferos onde situam-se os afluentes da margem esquerda do São Francisco. Sobre a classificação proposta, verificou-se que esta possibilitou uma caracterização adequada das AUs.

Figura 4.25 – Perfil topográfico-geológico (exemplo 1)



Observação: Como pode ser visto na foto e na imagem google, há outras AUs não identificadas pelo inventário nas margens do São Francisco. Cabe destacar que a outra AU indicada no perfil está no Domínio dos Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco, em modelados de colinas e morros baixos. Incide no sistema aquífero do tipo carbonático, pouco a moderadamente dobrado e intensamente fraturado, com porosidade baixa e textura predominantemente argilosa. A pluviosidade varia de 900 a 1200 mm/ano e o déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano. Situa-se no bioma do Cerrado, em transição com a Caatinga. Está em fundo de vale, com fluxo de água convergente e forma do terreno côncava. Sua tipologia é do **vereda**, associada ao riacho Manoel Velho (canal de 2ª ordem), afluente do riacho da Cruz, que, por sua vez, deságua na margem esquerda do São Francisco, no bioma da Caatinga e um pouco mais de 1 km a montante do ponto da AU, no município de Januária.

Elaborado por: Cecília Siman Gomes

Perfil 2 (Figura 4.26): Perfil traçado na direção oeste- leste, localizado nos municípios de Formoso, Chapada Gaúcha e Januária, no noroeste de Minas Gerais

As AUs **1 e 2** estão classificadas, no **Nível 1**, no mesmo contexto: estão situadas em relevos ondulados e dissecados da bacia do rio São Francisco sobre aquíferos areníticos, onde a pluviosidade varia de 900 a 1200 mm ao ano e o bioma é o Cerrado. No **Nível 2**, ambas AUs se diferem em termos de déficit hídrico e de forma de relevo. A AU **1**, mais a oeste, apresenta um déficit hídrico menos acentuado (entre 150 mm e 300 mm ao ano) e um modelado mais suave (colinas dissecadas e morros baixos) em relação à AU **2**. Esta, por sua vez, apresenta um déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano, nos degraus estruturais e rebordos erosivos. Contudo, está em transição para o modelado das superfícies aplainadas degradadas, sendo uma parte da área da AU classificada nesta unidade, conforme pode-se ver na Figura 4.26. No **Nível 3**, a AU **1** localiza-se em baixa vertente (quente), cuja forma é retilínea com fluxo convergente de água, associado ao córrego Vereda Três Irmãos, curso d'água de 2ª ordem. Apresenta declividade variando de plana (Plana – 0 a 3%) a suavemente ondulada (Plana – 3 a 8%) e altitude em média de 764 (faixa atitudinal entre 601 e 800 metros).

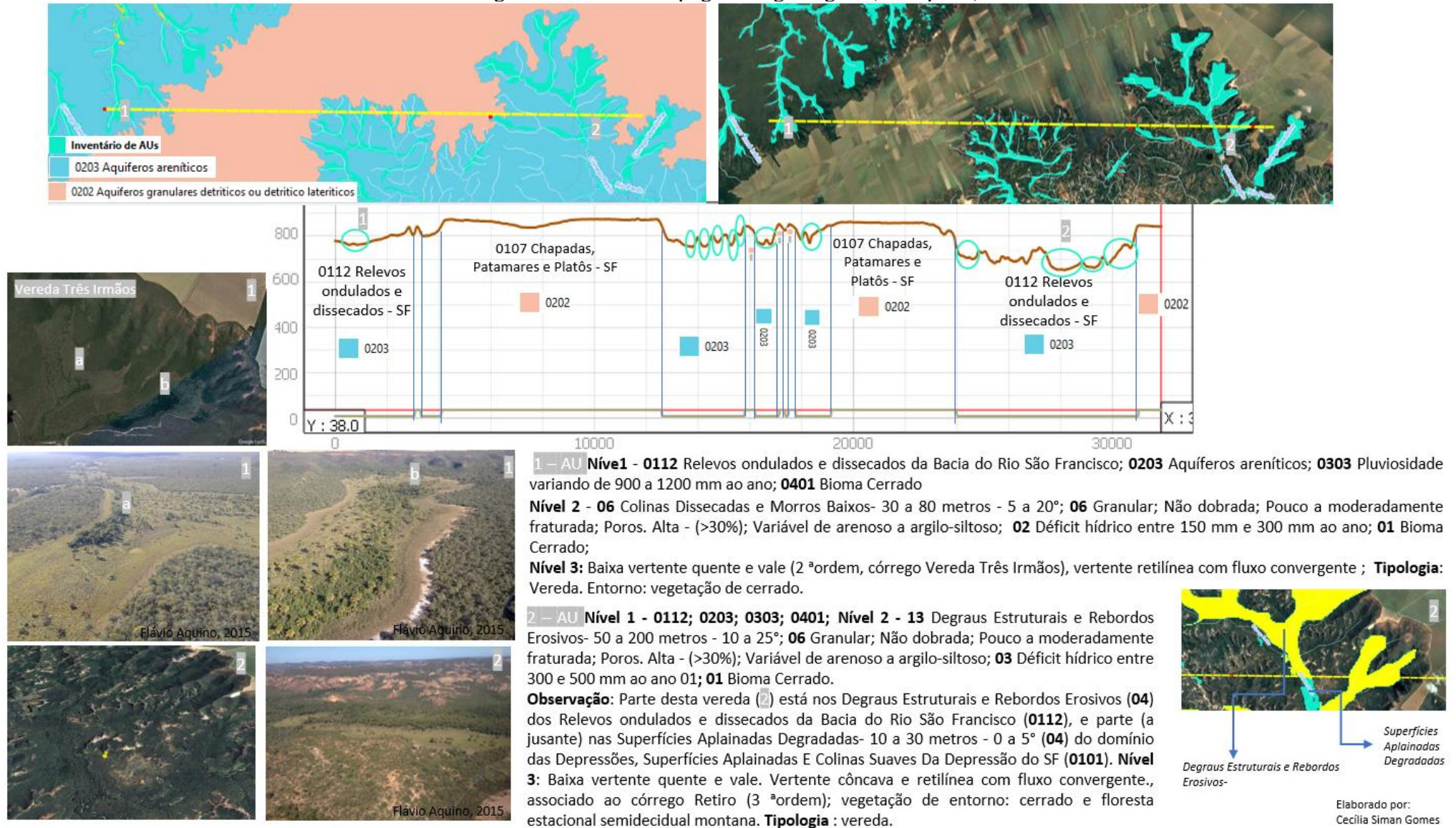
A AU **2** situa-se em área de transição geomorfológica no Nível 3, onde a área da AU situada nos degraus estruturais e rebordos erosivos apresenta-se em vale, com vertente côncava e fluxo de água convergente. Apresenta declividade variando de plana (Plana – 0 a 3%) a suavemente ondulada (Plana – 3 a 8%) e altitude em média de 653 (faixa atitudinal entre 601 e 800 metros). A área da AU situada nas superfícies aplainadas degradadas apresenta-se em baixa vertente quente, com vertente retilínea e fluxo de água convergente, associado ao córrego Retiro (3ª ordem). A vegetação no entorno das veredas **1 e 2** é predominantemente de cerrado, com ocorrência de floresta estacional semidecidual montana, principalmente no entorno da AU **2**. A borda onde encontra-se a AU **1** apresenta-se toda preservada.

Nota-se que o topo da chapada, onde situa-se o município Chapada Gaúcha (classificado como chapada e platôs na classificação e aquíferos detrítico e detrítico laterítico), é ocupado por atividades agrícolas. As AUs situadas nos degraus estruturais e rebordos erosivos e nas superfícies degradadas, cujas drenagens correm para o São Francisco, tendem a sofrer maior impacto em função da ocupação, dada a geomorfologia e às diversas porções com solo exposto. Assim, o processo natural de erosão natural remontante tende a ser mais acelerado.

Destaca-se que, considerando que as veredas ocupam as bordas das chapadas formando nascentes e cursos d'água no contato dos aquíferos, seu papel é de fundamental importância na recarga e manutenção hídrica dos cursos d'água e para as atividades da região. Destaca-se o

papel dos solos orgânicos das veredas neste processo, pois possuem um “efeito esponja”: armazenam a água da precipitação e a liberam lentamente no período seco, fundamental no balanço hídrico do bioma Cerrado (Horak-Terra; Terra, 2020). A classificação proposta possibilitou uma caracterização adequada das AUs.

Figura 4.26 – Perfil topográfico-geológico (exemplo 2)



Perfil 3 (Figura 4.27): Perfil traçado na direção noroeste- sudeste, localizado nos municípios Buritizeiro e Pirapora

Destacam-se três AUs (**numeração 1, 2 e 3**), sendo as duas primeiras do tipo vereda e a segunda do tipo lagoa transicional. Somente a vereda **1** (ou seja, **AU 1**) está mapeada no inventário. As AUs **1, 2 e 3** apresentam a mesma classificação nos níveis 1 e 2. Estão localizadas no domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da bacia do rio São Francisco sobre aquíferos aluvionares, no bioma Cerrado. A faixa de pluviosidade está entre 900 e 1200 mm e o déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano. Ocorrem nas planícies fluviais ou fluviolacustres.

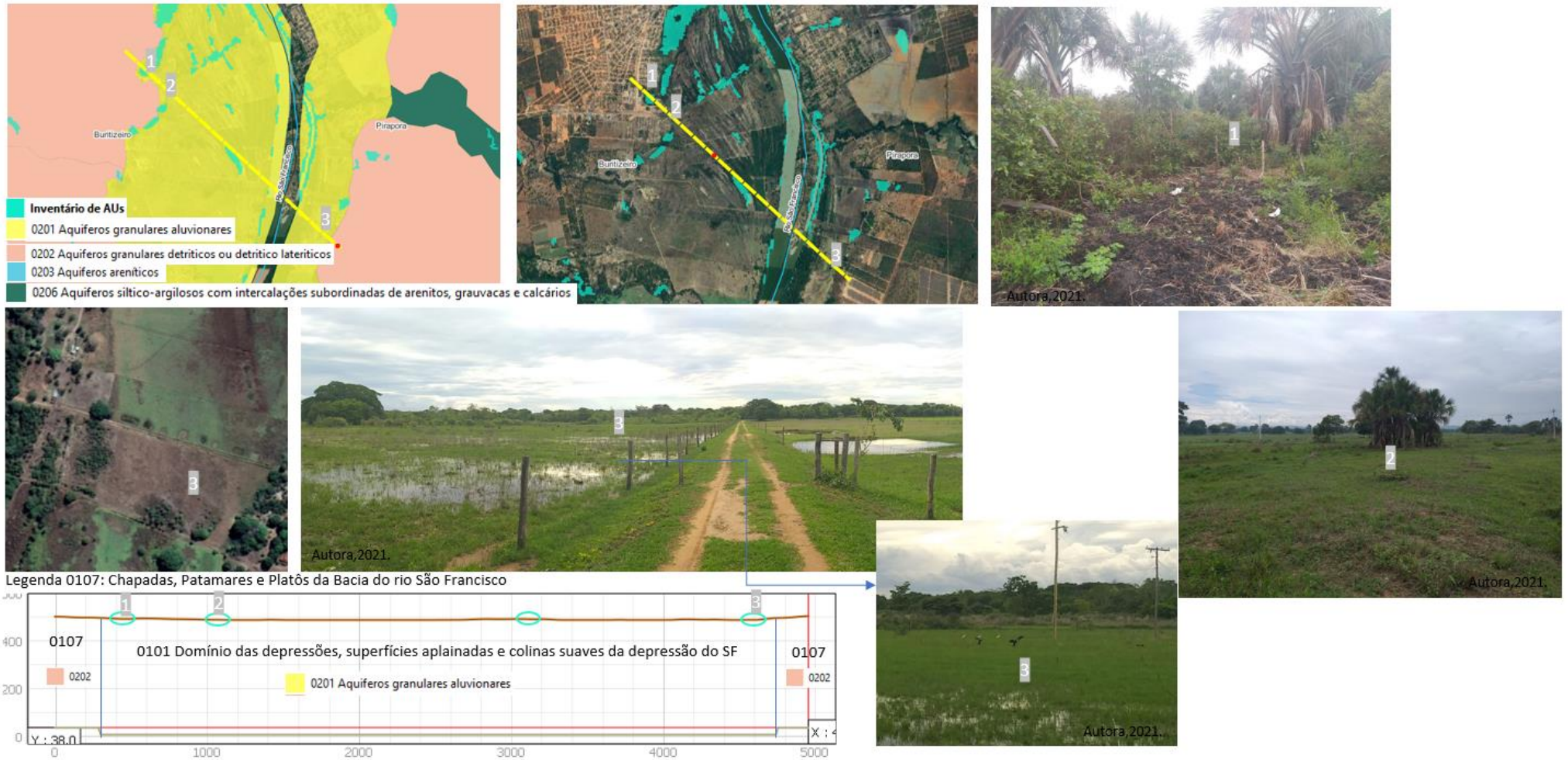
No **Nível 3**, as AUs **1 e 2** situam-se em baixa vertente plana (**1 e 2**), sendo que a vereda **1** está em vertente retilínea com fluxo convergente de água e a vereda **2** está em vertente retilínea com fluxos divergentes e planares. A vegetação no entorno, quando presente, é de cerrado. Estão na mesma microbacia do córrego da Lontra (canal 2ª ordem), afluente direto da margem esquerda do São Francisco. Apresentam declividade variando de plana (Plana – 0 a 3%) a suavemente ondulada (Plana – 3 a 8%) e altitude em média de 492 m (faixa atitudinal entre 601 e 800 metros). Verifica-se que as veredas se apresentam impactadas, sobretudo, a vereda **2** (não identificada pelo inventário), onde a área de ocorrência do entorno dos buritis está complementemente descaracterizada.

A **AU 3** situa-se, no **Nível 3**, em baixa vertente plana transitando para fundo de vale, em vertente retilínea com fluxo convergente, sem curso d'água associado. Apresenta zero de declividade (Plana – 0 a 3%) e está na altitude de 489 metros (faixa atitudinal entre 401 e 600 metros). Está conectada subsuperficialmente com o rio São Francisco e com presença de campos úmidos. A vegetação no entorno é do tipo cerrado e, próximo às margens do São Francisco, tem-se mata ciliar. Em campo, verificou-se que a AU que não foi drenada apresenta uma biodiversidade superior, com presença de inúmeras aves frequentando o espaço, ao contrário da AU drenada, conforme pode ser visto em umas das fotos da Figura 4.27.

Sobre a classificação proposta, verificou-se que esta possibilitou uma caracterização relativamente adequada das AUs. O que pode ser destacado é a classificação em planícies fluviais, no **Nível 2**, sobretudo, para as veredas (AUs **1 e 2**). Na imagem de satélite é possível ver há marcas claras da influência da inundação do rio São Francisco. Assim, verifica-se que as planícies fluviais podem ser interpretadas como atuais e subatuais, o que atualmente ocorre para as AUs **1, 2 e 3**. Além da biodiversidade, estas AUs atuam no amortecimento das cheias.

A sua drenagem ou retirada e/ou retirada da cobertura vegetal podem provocar danos, por exemplo, em infraestruturas municipais.

Figura 4.27 – Perfil topográfico-geológico (exemplo 3)



1, 2 e 3 – AUs **Nível 1: 0101** Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da depressão do São Francisco; **0201** Aquíferos granulares aluvionares; **0303** Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano **0401** Bioma Cerrado;

Nível 2: 01 Planícies Fluviais ou fluvioacustres- Zero - 0 a 3°; **03** Granular; Não dobrada; Ausente; Poros. Alta - (>30%); Não se aplica **03** Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano; **01** Bioma Cerrado

Nível 3: Baixa vertente plana – (1 e 2) ; Fundo de vale/Baixa vertente plana (3) ; Retilínea Convergente (1 e 3) Retilínea divergente e planar (2).

Tipologia: Veredas (1 e 2); lagoa transicional (conectada subsuperficialmente com o rio São Francisco) associada a campos úmidos (3);

Elaborado por:
Cecília Siman Gomes

Perfil 4 (Figura 4.28): perfil traçado na direção oeste- leste, localizado nos municípios Buritizeiro e Várzea da Palma

O perfil 4 atravessa diversas AUs, conforme indicado no perfil topográfico. Foram classificadas duas destas AUs, que foram visitadas em campo. Ambas se situam no mesmo regime pluviométrico (de 900 a 1200 mm ao ano) e no bioma do Cerrado, mas se diferem em termos hidrogeomorfológicos e de déficit hídrico.

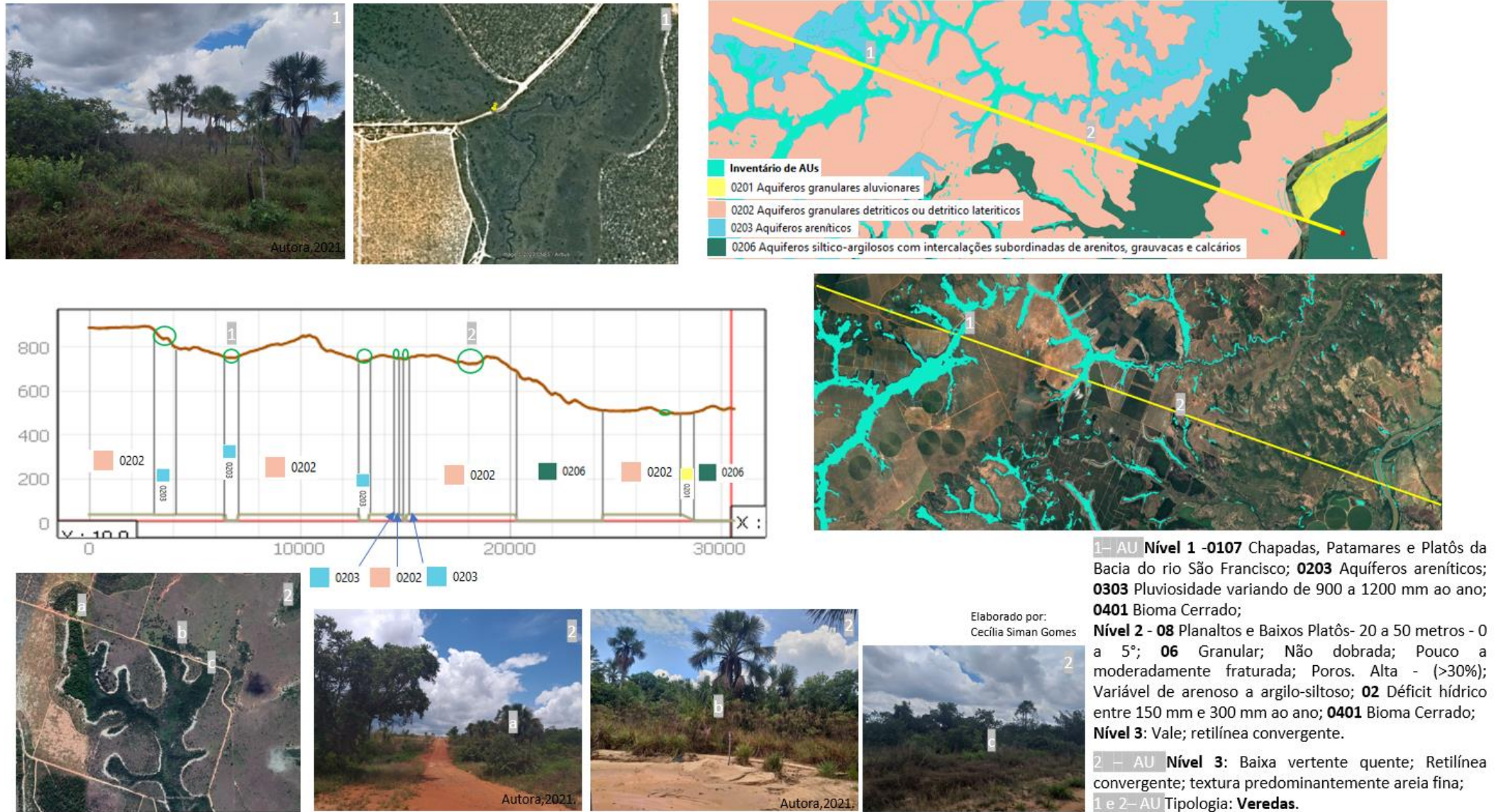
A AU **1**, identificada em campo e pelo inventário, é do tipo vereda, situa-se no domínio das chapadas, patamares e platôs da bacia do rio São Francisco sobre aquíferos areníticos do tipo granular, não dobrado, pouco a moderadamente fraturado, com porosidade alta e textura variando de arenosa a argilosiltosa. O contexto morfológico é de planaltos e baixos platôs. No Nível 3, situa-se em fundo de vale, com vertente retilínea e fluxo convergente de água, associado ao rio do Formoso (curso d'água de 4ª ordem), afluente da margem esquerda do São Francisco. A vegetação do entorno da AU varia de cerrado a campo cerrado e entremeia-se aos cultivos de eucalipto. Apresenta zero de declividade (Plana – 0 a 3%) e está na altitude de 753 metros (faixa atitudinal entre 601 e 800 metros).

A AU **2** é formada por duas cabeceiras de drenagem, formando, a jusante, um canal de 1ª ordem. Esta vereda situa-se em colinas amplas e suaves, já em transição para o domínio das depressões do São Francisco, sobre aquíferos granulares detríticos ou detrítico-lateríticos, pouco a moderadamente fraturados e com porosidade variável. No Nível 3, associa-se ao modelado de baixa vertente quente (variando para fundo de vale a jusante), com vertente retilínea e fluxo convergente (variando para vertente côncava a jusante), e textura predominantemente composta por areia fina dos arenitos, proveniente dos impactos decorrentes da abertura da estrada e do manejo do solo a montante. Apresenta declividade em torno de 4% (Suavemente Ondulado – 3 e 8 %) e está na altitude de 731 metros (faixa atitudinal entre 601 e 800 metros).

Conforme já descrito no perfil 2, as veredas do Cerrado atuam na recarga das nascentes e do nível freático, sendo de fundamental importância na formação de nascentes e na regularização da vazão dos cursos d'água que alimentam o rio São Francisco. Além disso, atuam na retenção de carbono. Estão associadas, sobretudo, ao aquífero Urucuaia e do Bambuí, com a exfiltração das águas no contato entre as diferentes camadas, em níveis mais superficiais, como do aquífero detrítico laterítico com o arenítico. O uso intensivo agropecuário das chapadas pode levar a redução das taxas de recarga, um aumento da evaporação, do carreamento de sedimentos pelo escoamento pluvial e um maior risco de contaminação das águas

superficiais e subsuperficiais, comprometendo a qualidade e a disponibilidade hídrica. A classificação proposta possibilitou uma caracterização adequada das AUs.

Figura 4.28 – Perfil topográfico-geológico (exemplo 4)



Perfil 5 (Figura 4.29): perfil traçado na direção oeste-leste, localizado nos municípios Santana do Riacho, Jaboticatubas e Itambé do Mato Dentro

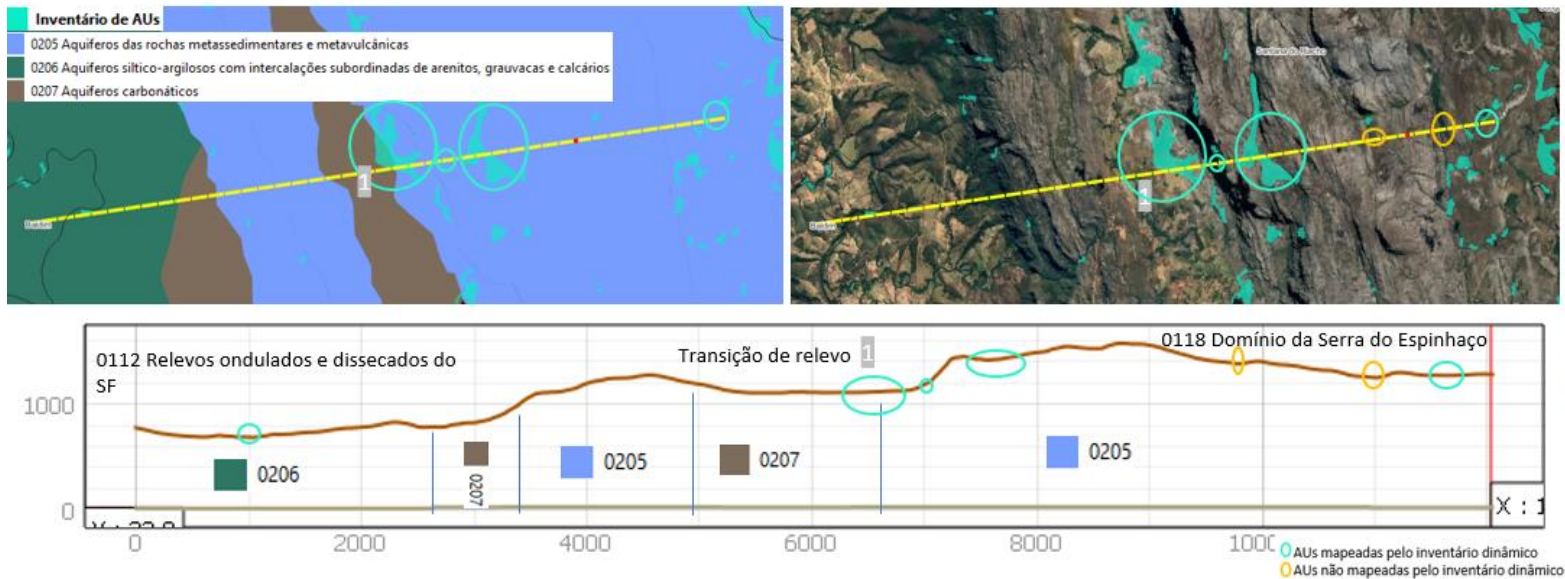
O perfil 5 atravessa quatro AUs, conforme indicado no perfil topográfico. A AU 1 identificada em campo e, também, pelo inventário, situa-se na transição dos relevos dissecados para a Serra do Espinhaço, com mudança dos aquíferos carbonáticos para os metassedimentares (direção oeste-leste), em área montanhosa. A transição do tipo de rocha reflete-se no modelado. A pluviosidade varia de 1200 a 1500 mm ao ano e o bioma é o cerrado, com alta probabilidade de ocorrência de campo rupestre. As AUs interceptadas pelo perfil no domínio da Serra do Espinhaço apresentam-se nos aquíferos metassedimentares e com as características indicadas acima. Além disso, estão associados a campos rupestres brejosos.

No Nível 3, a AU situa-se em baixa vertente e a jusante em fundo de vale. Sua forma é retilínea e o fluxo de água convergente, associando-se a canais de 1ª e 2ª ordens que alimentam o córrego Lapinha. Apresenta declividade em torno de 4% (Suavemente Ondulado – 3 e 8 %) e está na altitude na faixa de 1118 metros (faixa altitudinal entre 1001 e 1200 metros) e há campo úmido e rupestre no entorno.

Os solos destas AUs apresentam material orgânico significativo, atuando na retenção de carbono. Diversas dessas AUs no sopé da Serra do Espinhaço configuram-se como turfeiras e atuam na recarga, na formação nascentes difusas e na manutenção hídrica dos cursos d'água, com a liberação lenta de água para os canais fluviais.

Assim, essas AUs apresentam diversas funções, atuando principalmente na recarga e/ou descarga do nível freático e de corpos d'água. Quando conectadas à rede de drenagem superficial e/ou subterrânea a sua proteção é essencial para a manutenção das nascentes, a recarga dos aquíferos e a conservação da qualidade das águas subterrâneas. Nos relevos serranos, geralmente ocorrem associadas aos campos úmidos de altitude e aos campos rupestres úmidos, diferenciando-se do seu entorno em função do alto grau de endemismo da flora e da fauna. Com o delineamento das áreas potenciais com campo rupestre no Nível 2 (Ecorregião), o tipo de aquífero associado (Nível 1), a geomorfologia (Nível 1 e 2) e a altitude (Nível 3), as AUs mapeadas (ou em potencial) tendem a abrigar estes ambientes. Neste sentido, a classificação proposta possibilitou uma caracterização adequada das AUs.

Figura 4.29 – Perfil topográfico-geológico (exemplo 5)

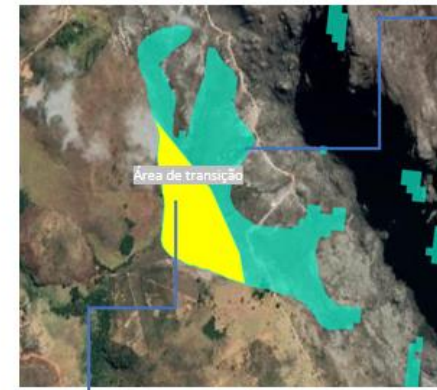


Nível 1: 0118 Domínio da Serra do Espinhaço; 0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas; 0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano; 0401 Bioma Cerrado 03 Perfil 0118 Domínio da Serra do Espinhaço



Nível 1: 0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco; 0207 Aquíferos carbonáticos; 0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano; 0401 Bioma Cerrado

Nível 2: 03 16 Montanhoso- 300 a 2.000 metros - 25 a 45°; 17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso; 02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano 03 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre



Nível 2: 16 Montanhoso- 300 a 2.000 metros - 25 a 45°; 12 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso; 02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano; 03 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre;

Nível 3: Baixa vertente e vale a jusante; altitude 1110 metros, forma retilínea e fluxo de água convergente; Campos hidromórficos; Campo úmido e rupestre no entorno.

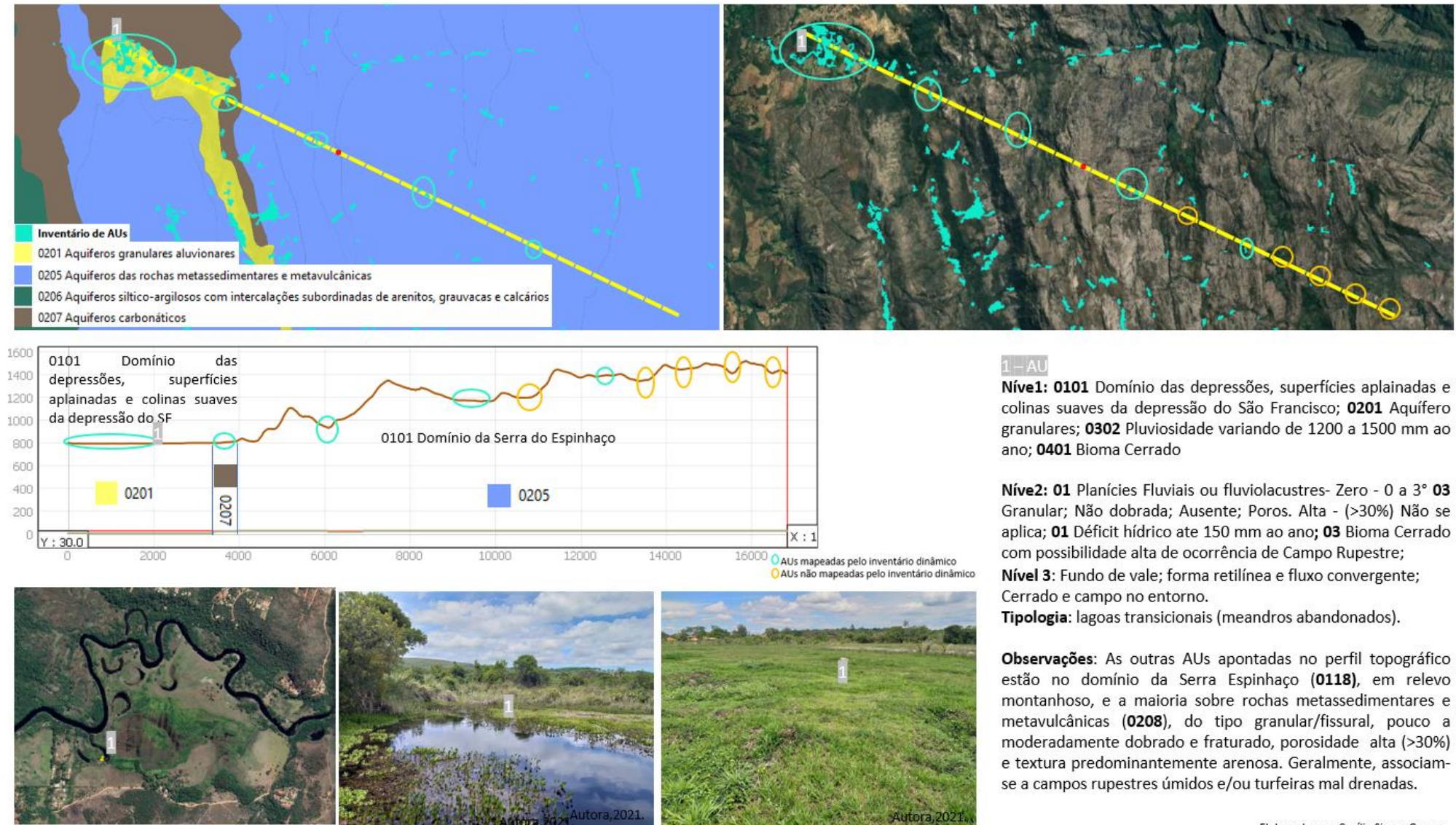
Perfil 6 (Figura 4.30): perfil traçado na direção noroeste- sudeste, localizado nos municípios Santana do Riacho e Jaboticatubas

O perfil 6 atravessa diversas AUs mapeadas pelo inventário, conforme indicado no perfil topográfico. A AU com a numeração **1** foi identificada em campo. Esta AU situa-se no domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da depressão do São Francisco, na interface com o domínio da Serra Espinhaço. O aquífero é granular, com porosidade alta. A AU situa-se na faixa pluviométrica variando de 1200 a 1500 mm ao ano, no bioma do Cerrado, em região com possibilidade alta de ocorrência de campo rupestre. O ambiente de ocorrência é de planícies fluviais ou fluviolacustres. No Nível 3, apresenta-se em fundo de vale, com forma retilínea e fluxo convergente. Apresenta zero de declividade (Plana – 0 e 3 %) e está na altitude na faixa de 796 metros (faixa atitudinal entre 601 e 800 metros) No entorno, há presença de cerrado e campo, sendo verificado espécies exóticas em campo. No mapeamento, não há tipologia associada, mas pela classificação, é possível classificá-la como lagoa transicional em meandro abandonado, possibilitando um avanço da classificação tipológica através da proposta.

Em relação às outras AUs apontadas no perfil topográfico-geológico, sua classificação está no domínio da Serra Espinhaço, em área montanhosa e a maioria sobre rochas metassedimentares e metavulcânicas (do tipo granular/fissural, pouco a moderadamente dobrado e fraturado, porosidade alta e predominantemente arenoso), com possibilidade alta de ocorrência de campo rupestre, cuja importância já foi descrita no perfil anterior (perfil 5).

A classificação proposta possibilitou uma caracterização adequada das AUs.

Figura 4.30 – Perfil topográfico-geológico (exemplo 6)



Perfil 7 (Figura 4.31): perfil traçado na direção noroeste- sudeste, localizado nos municípios Matozinhos, Pedro Leopoldo e Lagoa Santa

O perfil 7 atravessa três AUs mapeadas pelo inventário, conforme indicado no perfil topográfico. As AUs com as numerações **1 e 2** foram identificadas em campo, sendo que a AU **2** se refere à Lagoa do Sumidouro, localizada no Parque Estadual do Sumidouro, no Sítio *Lund Warming* da APA Carste Lagoa Santa, que é um sítio Ramsar no estado. Ambas AUs apresentam a mesma classificação: no Nível 1, situam-se no domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da depressão do São Francisco, sobre aquíferos carbonáticos, em faixa pluviométrica variando de 1200 a 1500 mm ao ano e bioma do Cerrado. No Nível 2, inserem-se em modelado de colinas amplas e suaves sobre aquífero cárstico, intensamente fraturado e textura argilosa, e déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano. No Nível 3, situam-se em fundo de vale, sendo que a AU **1** possui forma côncava e fluxos convergentes e a AU **2** (Lagoa do Sumidouro) apresenta porções com formas côncavas e retilíneas, ambas com fluxo convergente de água. Estão associadas a cursos d'água de 1ª (AU **1**) e 3ª ordem (AU **2**), neste caso o córrego Samambaia. As AUs apresentam zero de declividade (Plana – 0 e 3 %), sendo que a AU **1** está na altitude de 673 m e a AU **2** na altitude de 685 metros (faixa atitudinal entre 601 e 800 metros).

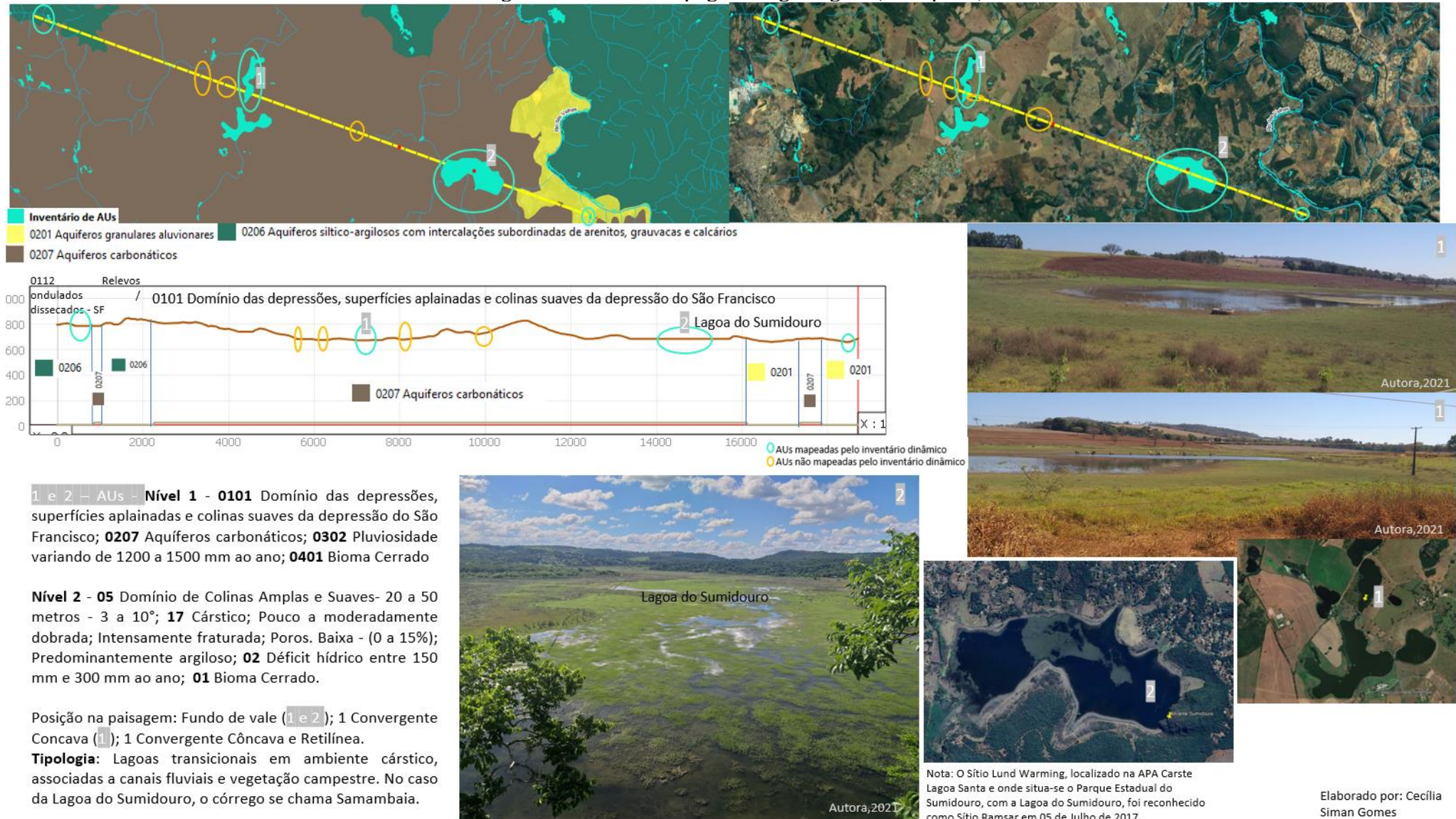
A vegetação mapeada pelo inventário é do tipo campo cerrado e cerrado. Em campo, verificou-se que a AU **1** apresenta vegetação de gramínea exótica e é utilizada para dessedentação animal. Já a Lagoa do Sumidouro apresenta também ocorrência de floresta estacional semidecidual e floresta estacional decidual (verificados em campo), condicionadas pelos afloramentos calcários.

Estas AUs são do tipo lagoas transicionais de ambiente cárstico, onde há convergência de água (áreas deprimidas, como as dolinas, uvalas e poljes). Estão conectadas com o aquífero e as águas superficiais, atuando na recarga e/ou descarga do nível freático e de corpos d'água. Contudo, conforme pode-se ver na Figura 4.31, nem todas AUs estão associadas a cursos d'água, podendo configurar-se, portanto, como AUs endorreicas. Além disso, observa-se que a drenagem superficial é pouco expressiva na área do recorte ilustrado, o que demonstra que as AUs pluviais infiltram de forma mais rápida, formando poucos cursos d'água. Nesse sentido, pode-se dizer que as AUs em ambiente cárstico de Cerrado são extremamente dinâmicas em termos espaçotemporais em função do regime pluviométrico deste bioma, com estação seca e chuvosa bem marcada. Em função da sua conexão com o nível freático, através dos lineamentos nas rochas, podem contaminar o nível freático de forma mais expressiva, dependendo do uso

do solo do entorno. O fundo da AU é predominante argiloso, o que permite a retenção de água por mais tempo, possibilitando a formação de AUs.

A classificação proposta possibilitou uma caracterização adequada das AUs.

Figura 4.31 – Perfil topográfico-geológico (exemplo 7)



5 POTENCIALIDADES DE PROTEÇÃO DAS AUs

5.1 Contexto dos instrumentos ambientais de gestão territorial e das UCs de Proteção Integral e distribuição das AUs

Neste subcapítulo 5.1 são apresentados e discutidos os resultados contexto dos instrumentos ambientais de gestão territorial e de política pública (denominados instrumentos de gestão) e das Unidades de Conservação (UCs) de Proteção Integral, legalmente instituídos, para avaliação das AUs em Minas Gerais.

Em relação aos instrumentos de gestão, conforme apresentado e justificado na metodologia¹¹, foi feita uma somatória de seis instrumentos, sendo que quanto maior o número destes instrumentos incidindo sobre o território, maior potencial ou tendência destas áreas apresentarem maior relevância ambiental e ecológica, dentro de uma visão regionalizada. Os instrumentos selecionados foram:

- Áreas prioritárias para conservação – Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2018)
- Áreas prioritárias para conservação – (Drummond *et al.*, 2005)
- Áreas prioritárias para criação de UCs (IDE-Sisema - IEF)
- Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA, 2018)
- Reserva da Biosfera da Caatinga (RBCA, 2015)
- Reserva da Biosfera do Espinhaço (RBSE, 2018)

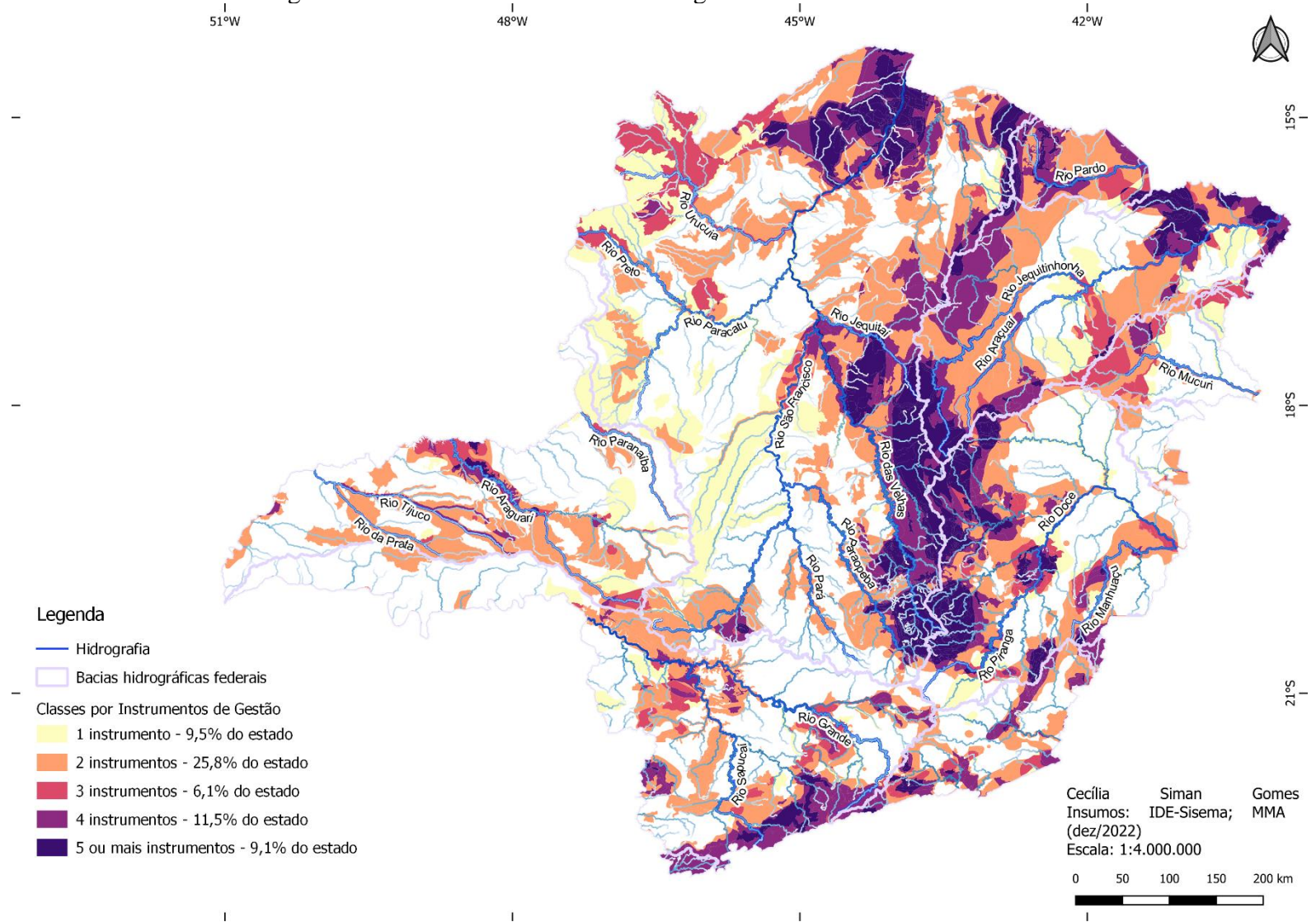
A Tabela 5.1 apresenta a classificação por número de instrumentos de gestão em termos de área e percentual no estado e a Figura 5.1 espacializa o resultado no território.

¹¹ No Capítulo 3 – Metodologia, é apresentada a justificativa de escolha dos instrumentos e seus objetivos, com a representação visual de cada um.

Tabela 5.1 –Classificação de número de instrumentos de gestão ambiental territorial por área e percentual no estado

Quantidade de instrumentos	Km²	% de cada classe de instrumento em relação à área do Estado
1 instrumento	55.305,72	9,5%
2 instrumentos	150.111,82	25,8%
3 instrumentos	35.748,5	6,1%
4 instrumentos	67.077,1	11,5%
5 ou mais instrumentos	53.278,5	9,1%
<i>Somatória da área abrangida pelos instrumentos</i>	<i>361.521,64</i>	<i>62,0%</i>
<i>Área sem instrumentos</i>	<i>221.386,5</i>	<i>38,0%</i>
Total do estado	582.908,9	100,0%

Figura 5.1 - Instrumentos ambientais de gestão territorial em Minas Gerais



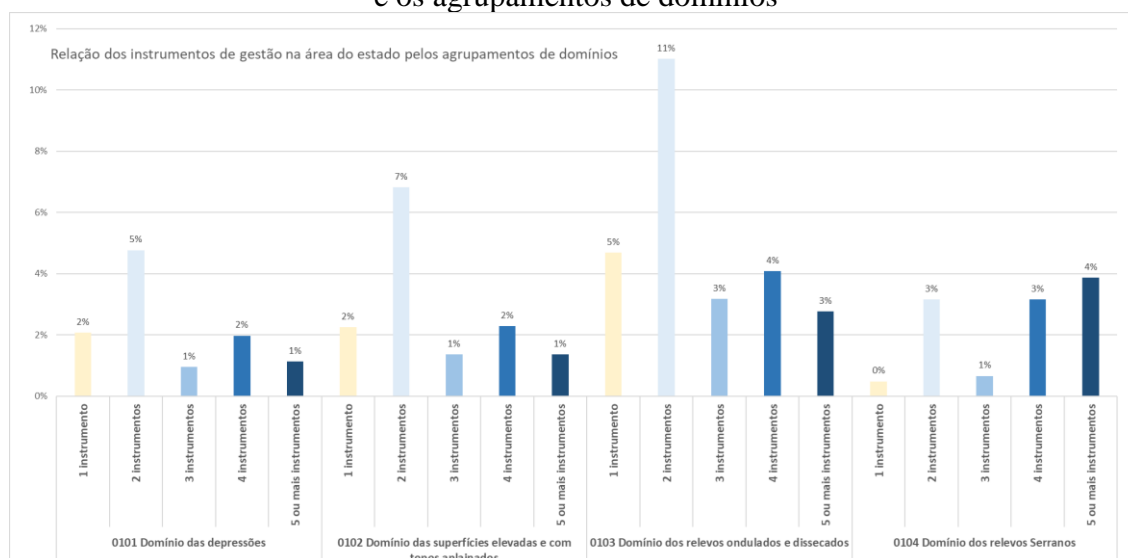
Observa-se que 62% do território apresenta algum instrumento de gestão. Deste total, destacam-se as áreas que apresentam 2 instrumentos, que totalizam quase 26% do estado e estão relativamente bem distribuídas pelo território. As áreas com 3 instrumentos são aquelas que apresentam menor cobertura, com 6% e estão bem distribuídas por todo o estado, com exceção do Alto São Francisco. As áreas com 1 instrumento e com 5 ou mais instrumentos apresentam percentuais semelhantes, na faixa de 9% de cobertura cada.

Observando a Figura 5.1 e o Gráfico 5.1 (percentual de ocorrência dos instrumentos de gestão em relação à área do estado e os agrupamentos de domínios), observa-se que a maior parte das áreas com 5 ou mais instrumentos localiza-se nos relevos serranos, com destaque para os domínios do Espinhaço, Quadrilátero Ferrífero e Serra da Mantiqueira. A Reserva da Biosfera do Espinhaço, que inclui a Serra do Espinhaço e o Quadrilátero Ferrífero, abriga espécies de fauna e flora endêmicas e uma das maiores formações de campos rupestres do Brasil, sendo considerada uma das regiões mais diversas do mundo. A Serra da Mantiqueira, presente na Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, preserva fragmentos naturais nas altitudes elevadas, abrigando uma rica biodiversidade, sendo o bioma com menos áreas protegidas no estado. Cabe destacar que os relevos serranos cobrem em média 13% do estado, sendo o menor agrupamento dos domínios.

Em sequência, destacam-se as superfícies elevadas da bacia do rio São Francisco (afluentes da margem esquerda), os relevos ondulados e dissecados da bacia do rio Doce e, na bacia do Jequitinhonha (afluentes da margem esquerda), nestes dois domínios de modelados.

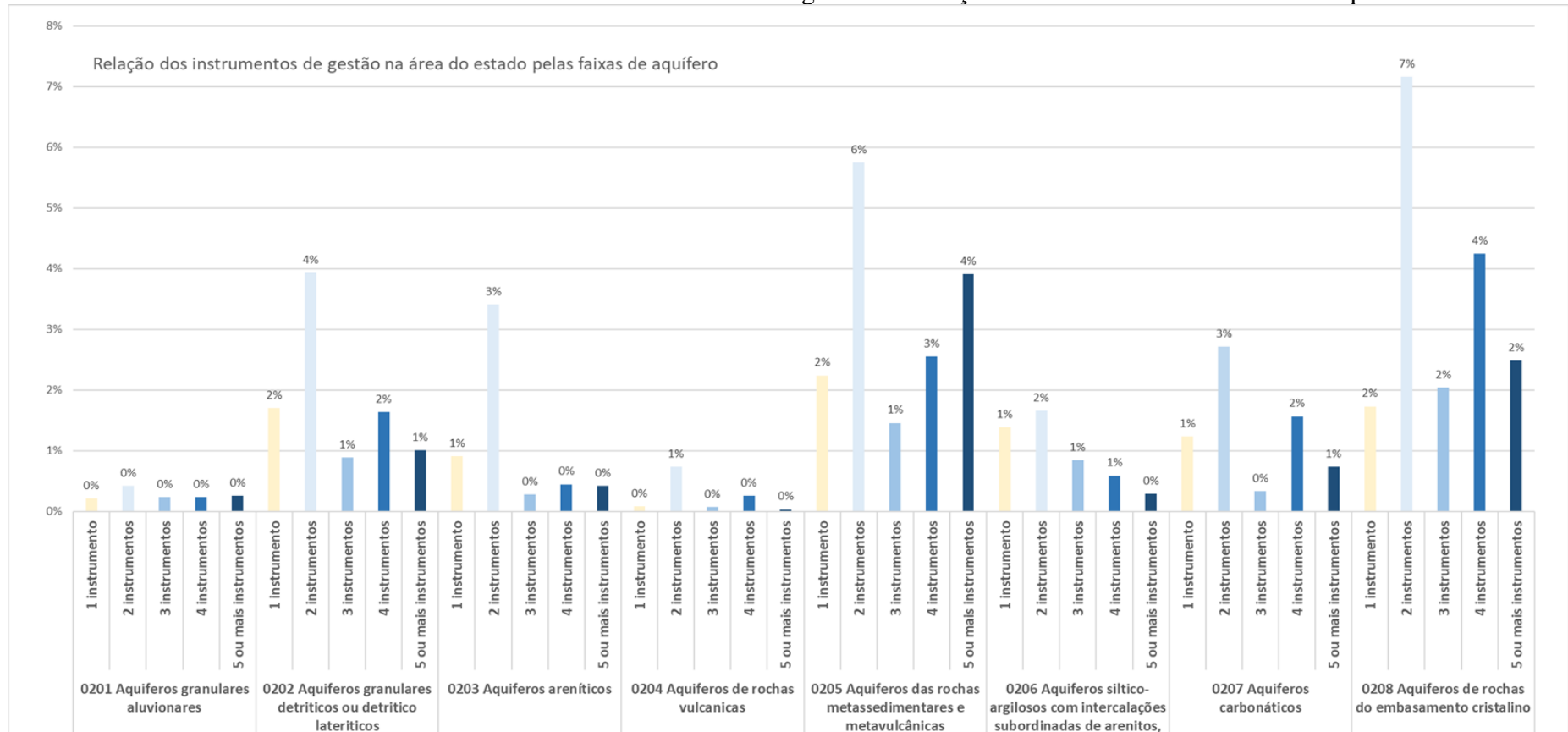
As áreas com 4 instrumentos ocorrem em maior proporção nos modelados dissecados, seguido dos relevos serranos, e as áreas com 3 instrumentos ocorrem também em maior proporção nos modelados dissecados, mas seguidos das superfícies elevadas e depressões. As áreas com 2 instrumentos estão, sobretudo, nos modelados ondulados e dissecados.

Gráfico 5.1- Percentual de ocorrência dos instrumentos de gestão em relação à área do estado e os agrupamentos de domínios



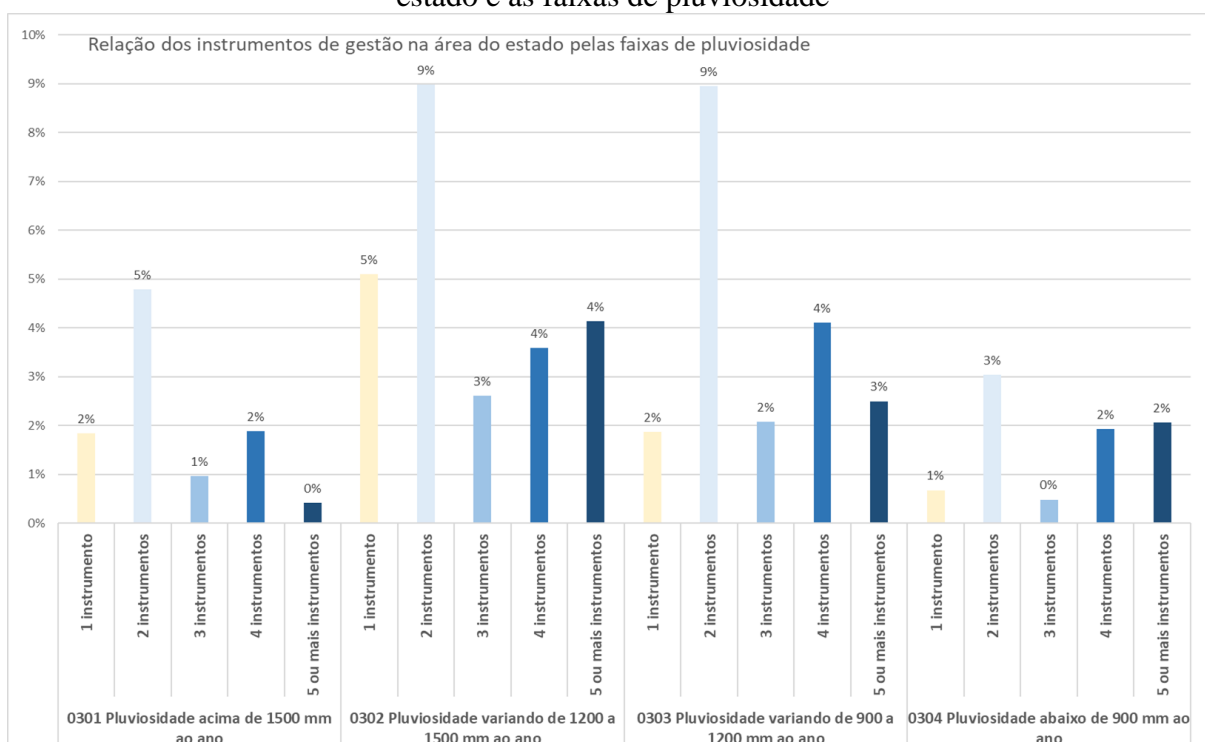
Em termos de percentual de ocorrência dos instrumentos de gestão em relação à área do estado e os sistemas aquíferos (Gráfico 5.2), cabe destacar que os instrumentos com 4 ou mais instrumentos estão, principalmente, nos aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas e do embasamento cristalino, que são os aquíferos com maiores percentuais do estado e que abrigam os relevos serranos. Os aquíferos carbonáticos e detríticos e detrítico-lateríticos apresentam mesmos percentuais de 4 ou mais instrumentos. Por outro lado, os aquíferos aluvionares seguidos dos vulcânicos, são aqueles com menor quantidade de instrumentos incidindo e, também, são aqueles que cobrem uma menor área do estado.

Gráfico 5.2- Percentual de ocorrência dos instrumentos de gestão em relação à área do estado e os sistemas aquíferos



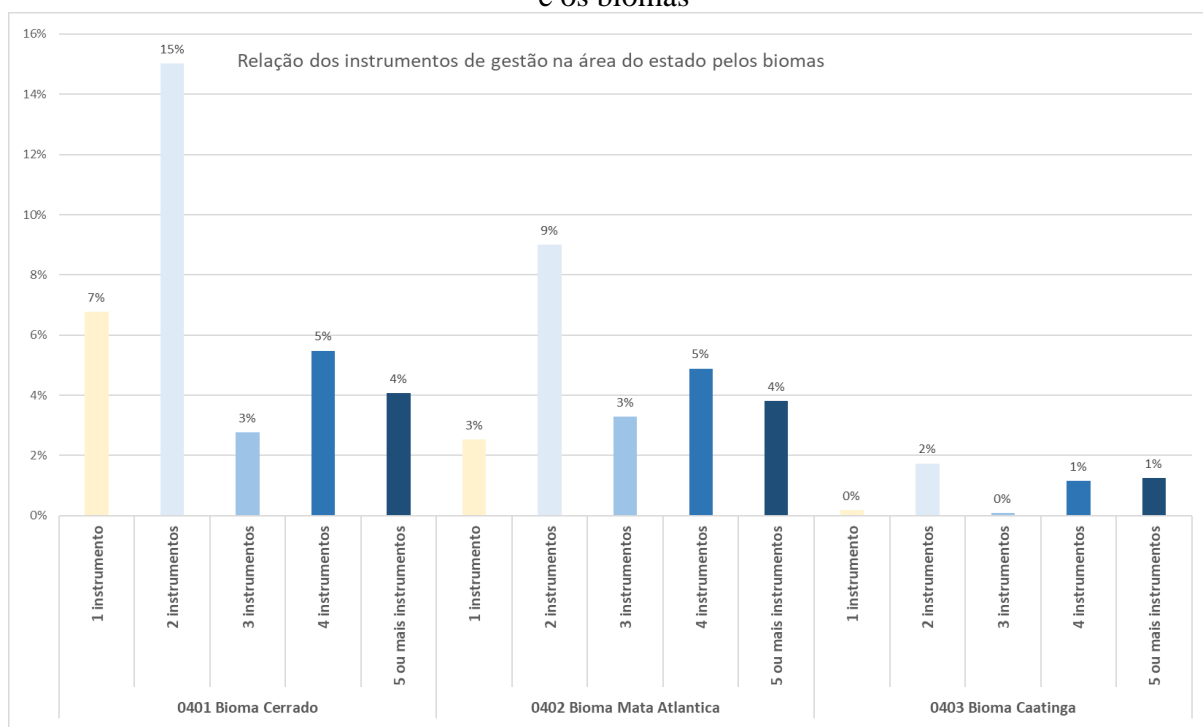
Considerando as faixas de pluviosidade e percentual de ocorrência dos instrumentos de gestão em relação à área do estado (Gráfico 5.3), cabe destacar que as faixas de maior ocorrência no estado abrigam a maior parte dos instrumentos de gestão (entre 1200 e 1500 mm ao ano e 900 e 1200 mm ao ano). Contudo, observa-se que abaixo de 900 mm ao ano, menor faixa de pluviosidade do estado, há uma ocorrência mais expressiva de 5 a mais instrumentos em relação à faixa com pluviosidade acima de 1500 mm, onde destacam-se as áreas com 2 instrumentos. Os 4 instrumentos apresentam mesmo percentual, de 2%.

Gráfico 5.3- Percentual de ocorrência dos instrumentos de gestão em relação à área do estado e as faixas de pluviosidade



Já em termos de biomas, verifica-se que o percentual de distribuição das classes com 3, 4 e 5 ou mais instrumentos é o mesmo para o bioma do cerrado e o da mata atlântica. A caatinga apresenta uma distribuição equilibrada entre os instrumentos 4 e 5 e, por abranger uma menor área no Estado, apresenta percentuais relativos à sua área de ocorrência maiores.

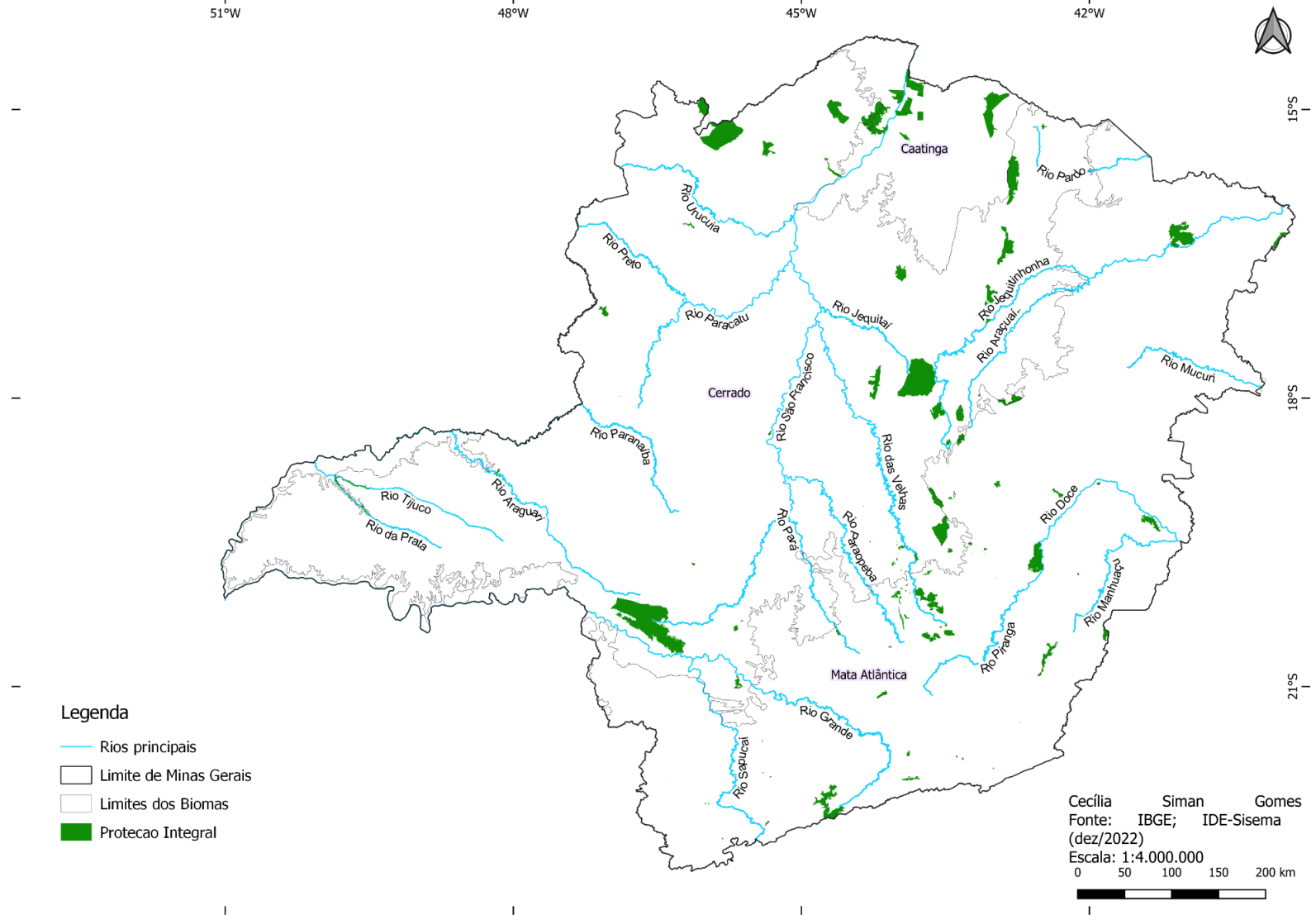
Gráfico 5.3- Percentual de ocorrência dos instrumentos de gestão em relação à área do estado e os biomas



Considerando a espacialização dos instrumentos no estado e os parâmetros do Nível 1, verifica-se que os instrumentos abrangem uma diversidade de ambientes, sendo que os ambientes serranos e porções do médio São Francisco e do Jequitinhonha são aqueles que abrigam áreas de maior relevância ambiental. Há porções no Doce, na bacia do Araguari e na Mantiqueira com alta relevância também.

Em termos de **UCs de Proteção Integral**, apenas 2,19% (em média 12.742,66 km²) do território mineiro (582.908,18 Km²) encontra-se nesta categoria de UCs. A Figura 5.2 a seguir apresenta sua espacialização no território.

Figura 5.2 – Localização das Unidades de Conservação de Proteção Integral no estado



De forma geral, observa-se que as UCs de Proteção Integral se encontram fragmentadas no espaço, mas que com potencial de formar corredores ecológicos conectando diversas UCs de Proteção Integral. Observa-se que a maior parte desta categoria no estado encontra-se em relevos serranos, nos domínios do Espinhaço, Quadrilátero Ferrífero, Canastra e Mantiqueira. As outras áreas situam-se, sobretudo, na bacia do rio São Francisco, Doce e Jequitinhonha. Com exceção do Jequitinhonha, as bacias do leste não apresentam UCs de Proteção Integral. A região do Triângulo Mineiro apresenta áreas de proteção integral inexpressivas.

Em termos de distribuição das UCs em relação aos agrupamentos e aos dos domínios em Minas Gerais (parâmetro Geomorfológico G1 – Nível 1), verifica-se que, conforme a Tabela 5.2, 59% das UCs de Proteção Integral encontram-se nos modelados serranos. A maioria está na Serra do Espinhaço e, em sequência, na Serra da Canastra, ocupando, em termos relativos às áreas de ocorrência de cada domínio, percentuais semelhantes (em torno de 19%). Em termos relativos, as UCs de Proteção Integral ocupam quase 10% da área dos domínios serranos (9,6%). Ainda em relação aos modelados serranos, a região da Serra da Mantiqueira tem o menor percentual de UCs de Proteção Integral e a região do Quadrilátero Ferrífero tem ocorrência localizada, ocupando somente 1% do território mineiro.

Em sequência, tem-se os modelados ondulados e dissecados, com 20% das UCs de Proteção Integral, havendo pequena distribuição nas bacias do Paranaíba e Grande e na região do Sul de Minas. Em relação às superfícies elevadas e topos suaves, as bacias do Paranaíba e Grande que menos se destacam com UCs de Proteção Integral, sobretudo quando se compara as bacias do leste e do rio Pardo, já que os domínios das chapadas, patamares e platôs ocupam valores aproximados (4 a 5 % do estado). Já no agrupamento do domínio das depressões, a maioria se concentra na bacia do São Francisco, mas, em termos proporcionais, a bacia do rio Doce apresenta os maiores percentuais.

Tabela 5.2 – Distribuição das UCs em relação aos agrupamentos dos domínios geomorfológicos em Minas Gerais

Agrupamento dos domínios geomorfológicos	km ² de UCs de Proteção Integral	% em relação a área total das UCs de Proteção Integral	Área em km ² de cada domínio do G1 no estado	% da área de cada domínio do G1 no estado	% de UC de Proteção Integral em cada domínio do G1
Domínio das depressões	907,26	7%	122.271,49	21%	0,7%
0101 Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da depressão do São Francisco	703,15	6%	70108,24	12%	1,0%
0102 Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da depressão do Rio Doce	86,64	1%	2976,37	1%	2,9%
0103 Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da depressão das bacias do Leste e do Rio Pardo	15,46	0%	7320,77	1%	0,2%
0104 Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	100,81	1%	34009,45	6%	0,3%
0105 Domínio das depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias do Sul de Minas	0,49	0%	1551,81	0%	0,0%
0106 depressão da Bacia do Rio Paraíba do Sul	0,71	0%	6304,85	1%	0,0%
Domínio das superfícies elevadas e com topos aplainados	1692,85	13%	130.197,66	22%	1,3%
0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	1075,58	8%	74645,18	13%	1,4%
0108 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio Doce			66,41	0%	0,0%
0109 Chapadas, Patamares e Platôs das Bacias do Leste e do rio Pardo	457,75	4%	31005,81	5%	1,5%
0110 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande	159,52	1%	23472,05	4%	0,7%
0111 Chapadas, Patamares e Platôs do Sul de Minas			1008,22	0%	0,0%
Domínio dos relevos ondulados e dissecados	2604,29	20%	252.138,07	43%	1,0%
0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	1597,50	13%	71692,30	12%	2,2%
0113 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio Doce	441,41	3%	50806,39	9%	0,9%
0114 Relevos ondulados e dissecados das bacias do Jequitinhonha e do rio Pardo	446,53	4%	56654,86	10%	0,8%
0115 Relevos ondulados e dissecados das bacias dos rios Paranaíba e Grande	41,97	0%	26199,49	4%	0,2%
0116 Relevos ondulados e dissecados do Sul de Minas	76,88	1%	46785,03	8%	0,2%
Domínio dos relevos Serranos	7538,26	59%	78.305,54	13%	9,6%
0117 Domínio do Quadrilátero Ferrífero	603,48	5%	4595,21	1%	13,1%
0118 Domínio da Serra do Espinhaço	4154,93	33%	21512,01	4%	19,3%
0119 Domínio da Serra da Canastra	1907,21	15%	10007,95	2%	19,1%
0120 Domínio da Serra da Mantiqueira	872,64	7%	42190,37	7%	2,1%
Total Geral	12742,66	100%	582.912,76	100%	2,19%

Em termos de aquíferos (Tabela 5.3), 57,7% das UCs de Proteção Integral encontram-se nos sistemas das rochas metassedimentares e metavulcânicas, sendo o maior percentual também em termos relativos, ou seja, em relação à área de ocorrência de cada aquífero. Este sistema de aquíferos é o segundo maior do estado e abriga grande parte dos modelados serranos. O sistema aquífero do embasamento aquífero, maior do estado e que abriga as regiões de mares de morro e mata atlântica, apresenta somente 0,8% do seu território ocupado por UCs de Proteção de Integral.

Tabela 5.3– Distribuição das UCs em relação aos agrupamentos dos sistemas aquíferos em Minas Gerais

Agrupamento dos sistemas de aquíferos	km ² de UCs de Proteção Integral	% em relação à área total das UCs de Proteção Integral	Área em km ² de cada sistema aquífero A1 no estado	% da área de cada sistema aquífero A1 no estado	% de UC de Proteção Integral em cada sistema aquífero A1
0201 Aquíferos granulares aluvionares	325,26	2,6%	10749,55	1,80%	3,0%
0202 Aquíferos granulares detriticos ou detritico lateriticos	1.342,49	10,5%	81306,01	13,90%	1,7%
0203 Aquíferos areníticos	1.255,80	9,9%	76355,93	13,10%	1,6%
0204 Aquíferos de rochas vulcanicas	94,37	0,7%	16140,03	2,80%	0,6%
0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	7.356,77	57,7%	126557,39	21,70%	5,8%
0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvacas e calcários	134,23	1,1%	43945,92	7,50%	0,3%
0207 Aquíferos carbonáticos	849,71	6,7%	51737,2	8,90%	1,6%
0208 Aquíferos de rochas do embasamento cristalino	1.384,02	10,9%	176120,73	30,20%	0,8%
Total Geral	12.742,66	100,0%	582.912,77	100	2,2%

Considerando-se as faixas de pluviosidade (Tabela 5.4), verifica-se que a maioria das UCs de Proteção Integral encontra-se na faixa de 900 e 1200 m, mas, em termos relativos à área ocupada por UCs de Proteção Integral em relação à área de cada faixa pluviométrica, é a faixa com pluviosidade abaixo de 900 mm ao ano que apresenta os maiores valores percentuais de UCs de Proteção Integral.

Tabela 5.4– Distribuição das UCs em relação às faixas de pluviosidade em Minas Gerais

Agrupamento das faixas de pluviosidade	km ² de UCs de Proteção Integral	% em relação à área total das UCs de Proteção Integral	Área em km ² de cada faixa de pluviosidade no estado	% da área de cada faixa de pluviosidade no estado	% de UCs de Proteção Integral em cada faixa de pluviosidade no estado
0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	2.638,56	20,71%	93.569,47	16,10%	2,8%
0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	3.292,46	25,84%	261.910,34	44,90%	1,3%
0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	4.414,98	34,65%	167.478,37	28,70%	2,6%
0304 Pluviosidade abaixo de 900 mm ao ano	2.396,66	18,81%	59.954,57	10,30%	4,0%
Total Geral	12.743	100,0%	582.912,75	100,00%	2,2%

Em termos de sua distribuição pelos biomas no estado (Tabela 5.5), os três apresentam UCs de Proteção Integral, contudo, em termos quantitativos, o percentual é bastante desigual. O bioma da Mata Atlântica, que é o segundo maior bioma do estado (ocupando, em média, 40,2% do território), apresenta somente 22% das UCs de Proteção Integral. Observa-se que este total é, em média, um terço da área das UCs de Proteção Integral no bioma Cerrado, o qual possui 65% das UCs de Proteção de Integral e uma área de abrangência de 54,3% do estado e menos do dobro da área de ocorrência de UCs de Proteção Integral ocorrente no bioma da Caatinga, que apresenta 13% das UCs de Proteção Integral e ocupa somente 5,5% do estado. Nesse sentido, além do quantitativo de UCs de Proteção Integral ser pouco expressivo no estado, sua distribuição pelos biomas se dá de forma desigual.

Tabela 5.5 – Distribuição das UCs em relação aos biomas em Minas Gerais

Biomias	km ² de UCs de Proteção Integral	% em relação à área das UCs de Proteção Integral	Área em km ² aproximada de cada bioma no estado	% da área de cada bioma no estado	% de UC de Proteção Integral em cada bioma do estado
0401 Bioma Cerrado	8.290,05	65%	316.520,71	54,30%	2,62%
0402 Bioma Mata Atlântica	2.805,33	22%	234.368,90	40,20%	1,20%
0403 Bioma Caatinga	1.647,28	13%	32.018,57	5,50%	5,14%
Total Geral	12.742,66	100%	582.908,18	100,00%	2,19%

Considerando os instrumentos de gestão e às UCs de Proteção Integral, a Tabela 5.6 apresenta as áreas e percentuais desta relação.

Tabela 5.6 –Relação dos instrumentos de gestão ambiental territorial e a distribuição das UCs de Proteção Integral por área e percentual no Estado

Instrumentos			Proteção Integral		
Classes por quantidade de instrumentos	Km ²	% de cada classe de instrumento em relação à área do Estado	Proteção Integral	% de ocorrência de UCs de Proteção Integral	% de ocorrência de UCs de Proteção Integral em cada classe de instrumento
1 instrumento	55.305,7	9,5%	334,73	2,7%	0,6%
2 instrumentos	150.111,8	25,8%	4.071,25	32,7%	2,7%
3 instrumentos	35.748,5	6,1%	263,10	2,1%	0,7%
4 instrumentos	67.077,1	11,5%	3.434,09	27,5%	5,1%
5 ou mais instrumentos	53.278,5	9,1%	4.149,73	33,3%	7,8%
<i>Sem instrumentos</i>	221.386,5	38,0%	214,4	1,7%	0,1%
Total	582.908,2	100,0%	12.467,3	100,00%	-

Com base na Tabela 5.6 verifica-se que:

- Em termos percentuais de ocorrência de UCs de Proteção Integral, a maior parte encontra-se, em sequência, onde há 5 ou mais instrumentos (33,3%), 2 instrumentos (32,7%) e 4 instrumentos (27,5%), totalizando 93,5% das áreas de UCs de Proteção Integral do estado. As áreas com 1 ou 3 instrumentos apresentam percentuais muito baixos e relativamente semelhantes: 2,7% e 2,1% do total, respectivamente. UCs de Proteção Integral sem instrumentos ocupam somente 1,7% do total.
- Em termos relativos, ou seja, em relação ao percentual de distribuição das UCs de Proteção Integral em relação à área abrangida por cada classe de instrumentos de gestão, destacam-se as áreas onde há 5 ou mais instrumentos, com maior valor registrado

(7,8%). Em sequência, está a classe com 4 instrumentos, cujas UCs Proteção Integral ocupam 5,1% da sua área. A classe com 2 instrumentos, a maior ocorrente no estado (25,8%) e a segunda com maior ocorrência das UCs, apresenta um percentual entre 2 e 3% quando se observa o percentual de distribuição das UCs de Proteção Integral em relação à sua área abrangida. As outras classes apresentam valores abaixo de 1%, sendo inexpressivos.

Neste sentido, a somatória de instrumentos mostra as áreas que apresentam maior relevância em termos biológicos, de geodiversidade e beleza cênica, visto que a classe com maior ocorrência das UCs de Proteção Integral é a de 5 ou mais instrumentos, e a terceira maior classe é a de 4 instrumentos, totalizando juntas, 60,8% desta categoria de UCs. Além disso, em termos relativos, são as duas classes (4 e 5 ou mais instrumentos) que registram também os maiores valores, que são muito superiores às demais classes.

A Figura 5.3 apresenta a distribuição espacial das UCs de Proteção Integral por classe de instrumento. Conforme esperado, verifica-se que as UCs de Proteção Integral com 5 ou mais instrumentos de gestão situam-se, predominantemente, nas serras do Quadrilátero Ferrífero e do Espinhaço e no médio São Francisco, com destaque para o Peruaçu as áreas de Mata Seca. De forma mais localizada, destaque-se as áreas de relevo cárstico, no vale da margem esquerda do rio das Velhas, e na Mantiqueira.

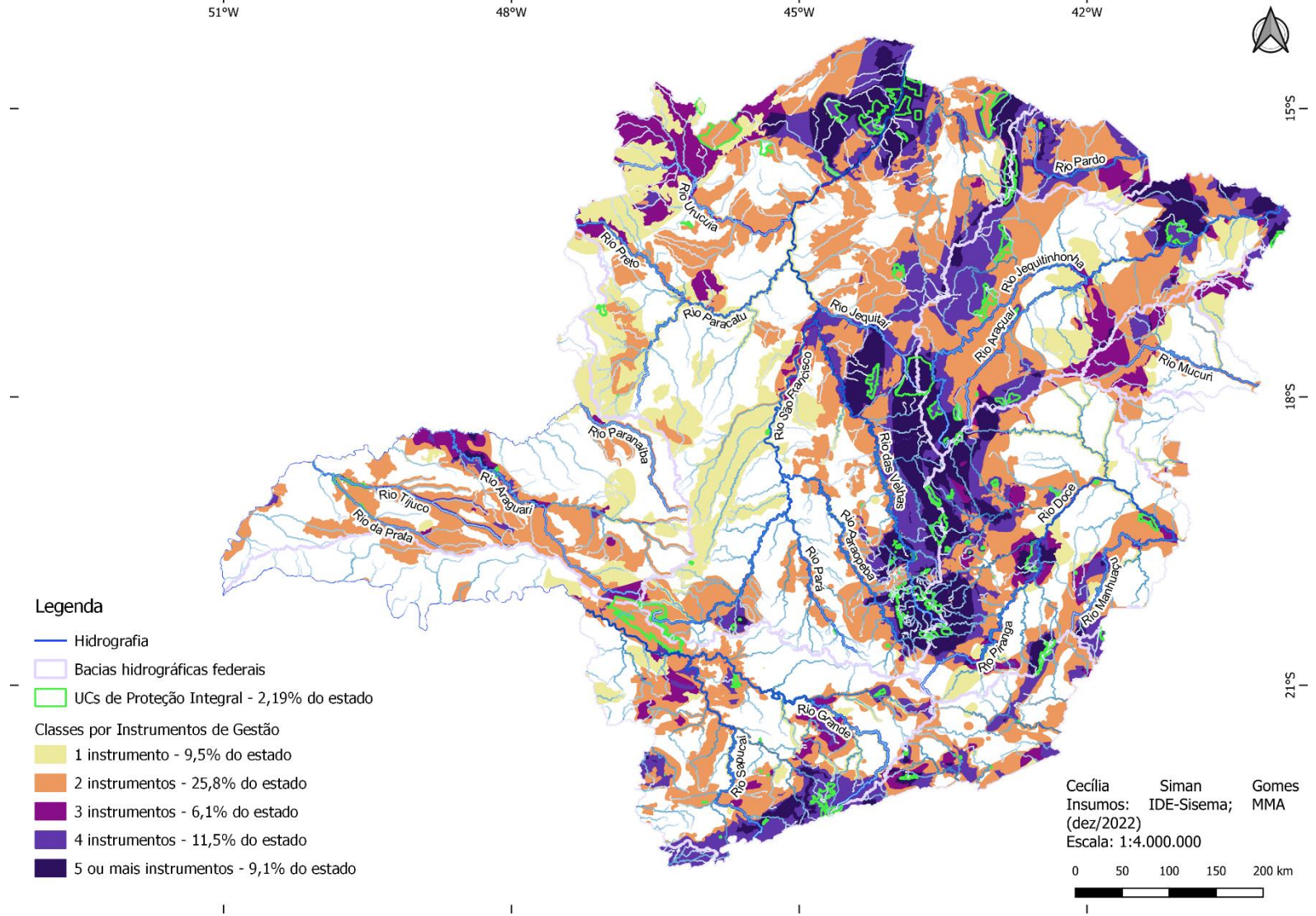
Pode-se concluir que uma necessidade de ampliar UCs de Proteção Integral em todas as classes de instrumentos, visto que as UCs ocupam apenas 2,1% do território.

Algumas regiões do estado, como a do leste de Minas (Triângulo Mineiro, na bacia do Paranaíba), as cabeceiras dos rios Paracatu, do rio Preto e Urucua e, no nordeste do estado, nas bacias do leste, como nas cabeceiras de afluentes do rio Mucuri, são áreas onde não há UCs de Proteção Integral ou são inexpressivas, mas que apresentam instrumentos de gestão. Nestas regiões, destacam-se as classes de 1 e 3 instrumentos de gestão, com percentuais absolutos e relativos mais baixos de UCs de Proteção Integral (Tabela 5.6). Estas regiões carecem de estudos para a implementação de UCs de Proteção Integral, os quais deveriam observar os instrumentos, as áreas preservadas existentes, o mapeamento das suas funções socioambientais e a espacialização das UCs de Proteção Integral (quando existentes), de modo a conectar porções preservadas mais extensas.

Por outro lado, as classes de 4 ou 5 mais instrumentos de gestão no território, dada a sua geodiversidade e relevância ambiental, hídrica e ecológica (regiões com forte endemismo,

grande biodiversidade, importantes áreas de recarga hídrica e de nascentes dos principais rios do estado e de elevada beleza cênica), verifica-se a necessidade de expandir as áreas de UCs de Proteção Integral formando corredores ecológicos, permitindo a conexão de fragmentos preservados e a locomoção das espécies. Conforme Brito (2012), os corredores ecológicos têm uma importância fundamental ao estabelecer conectividade entre áreas fragmentadas com áreas de entorno das UCs, uma vez que é possível expandir escalas para integrar várias áreas protegidas.

Figura 5.3 – Distribuição das UCs de Proteção Integral em relação às classes de instrumentos de gestão



Em termos de **distribuição das AUs** do inventário em relação às classes de instrumentos de gestão e às UCs de Proteção Integral, cabe destacar, primeiramente, os seguintes dados de áreas e percentuais:

- O mapeamento do inventário das AUs possui um total de 8133,76 km², o que equivale a **1,4% da área do estado de Minas** (582.908,18 Km²);
- Do total de 8133,76 km², **4.471,93 km²** das AUs estão em área de instrumentos de gestão, o que equivale a **55% da área do inventário de AUs** e a 1,2% da área dos instrumentos de gestão;
- Do total de 8133,76 km², **226,09 km²** das AUs estão em UCs de Proteção Integral, o que equivale a:
 - **2,8% da área do inventário de AUs;**
 - **1,8% das áreas de UCs de Proteção Integral.**
- Do total de 8133,76 km², **218,8 km²** das AUs estão tanto em UCs de Proteção Integral quanto em alguma classe de instrumentos de gestão, o que equivale a **2,7% da área do inventário de AUs.**

A Tabela 5.7 apresenta a área ocupada por AUs do inventário em cada classe de instrumentos de gestão e, para cada classe, a área de AUs que está dentro de UCs de Proteção Integral. Também foi calculada a relação entre estas classes.

Tabela 5.7 - Distribuição das AUs por instrumentos de gestão e UCs de Proteção Integral

Instrumentos	AUs		
	Km ² de AUs por classe de instrumento	Km ² de AUs em áreas de Proteção Integral	% de AUs em Proteção Integral por classe de instrumento
1 instrumento	661,55	12,3	1,86%
2 instrumentos	2.329,74	111,8	4,80%
3 instrumentos	489,92	0,2	0,00%
4 instrumentos	402,52	23,4	5,80%
5 ou mais instrumentos	588,19	71,2	12,10%
<i>Sem instrumentos</i>	3.661,83	7,2	0,20%
Total	8133,76	226,09	2,80%

Com base na Tabela 5.7, verifica-se que do total de AUs do inventário, a incidência de 2 instrumentos é a classe que abrange uma maior área de AUs, com 2.329,74 km² (232.974 hectares), sendo, também, a classe de instrumentos com maior área de ocorrência no estado. As outras classes de instrumentos abrigam entre 400 e 700 km².

Em relação à **distribuição de AUs em UCs de Proteção Integral por classe de instrumento**, verifica-se que a maior parte das AUs se encontra na classe de 2 instrumentos, perfazendo uma área de 111,8 km² (11.180 ha). A segunda classe com maior ocorrência AUs em UCs de Proteção Integral é a de 5 ou mais instrumentos, com 71,7 km² (7.170 ha), seguida da de 4 instrumentos, com 23,4 km² (2.340 ha). A classe com menor expressividade é a de 3 instrumentos, com somente 0,2 km² de AUs (20 ha).

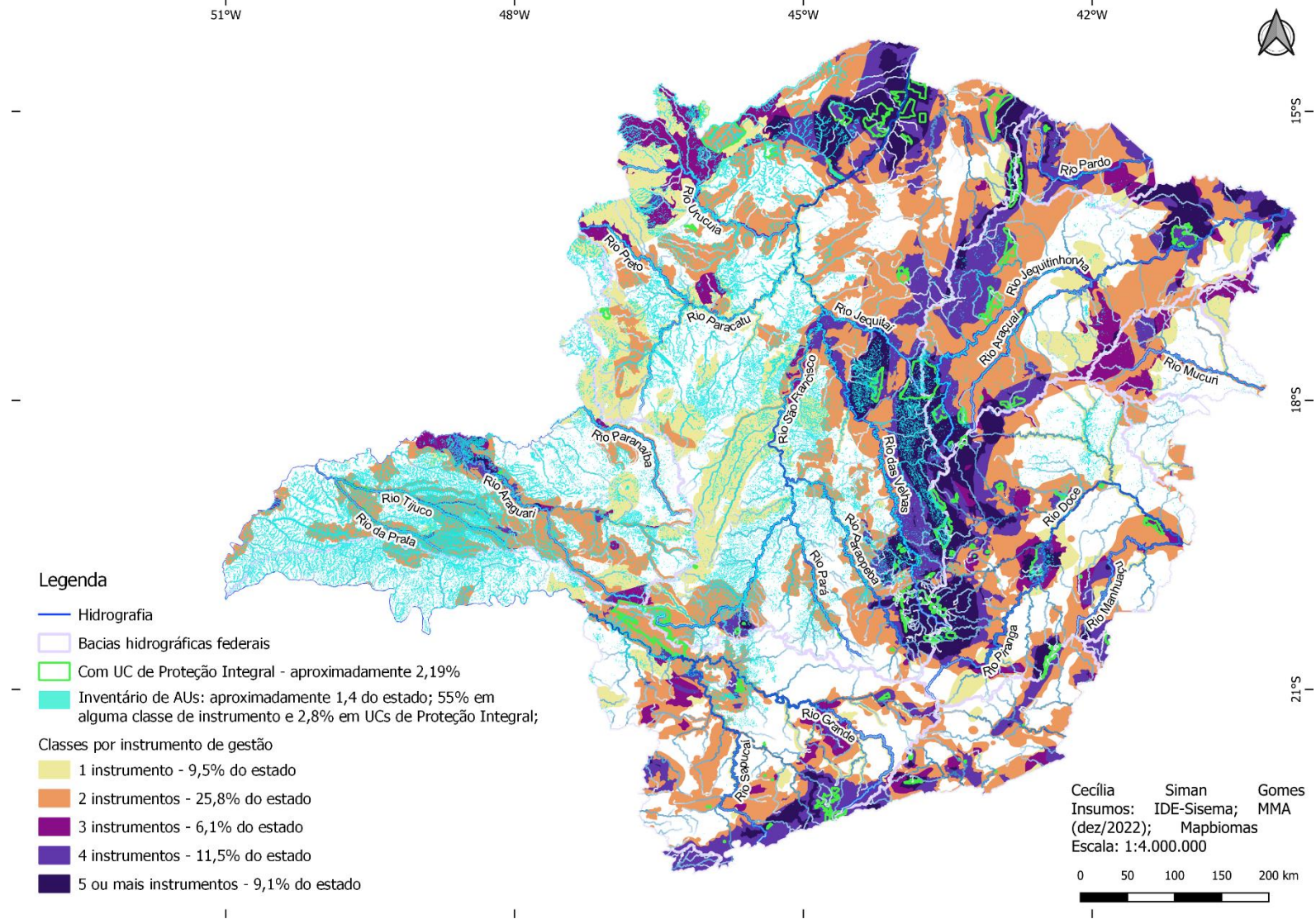
Já em termos relativos (**percentual de AUs em Proteção Integral por classe de instrumento**), verifica-se que as AUs com 5 ou mais instrumentos são aquelas que apresentam maior valor em UCs Proteção Integral em relação à sua área de ocorrência naquela classe, registrando 12,1%. A segunda maior ocorrência relativa ocorre na classe com 4 instrumentos, 5,8%. Por outro lado, a classe 3 é aquela que apresenta menor ocorrência em UCs de proteção integral em termos de sua área de ocorrência na unidade, registrando valores abaixo de 0,0% (0,04%). A classe de 1 instrumento também é pouco relevante, com somente 1,9% das AUs em UCs de proteção integral, considerando a sua área de ocorrência (das AUs) nesta classe.

A Figura 5.4 espacializa as AUs em relação às **classes de instrumentos de gestão e as UCs** em Minas Gerais. Na Figura, cabe destacar as seguintes observações em relação às AUs:

- As AUs que estão em ambiente com 5 ou mais instrumentos concentram-se, sobretudo, na Serra do Espinhaço e na bacia do rio São Francisco;
- As AUs nas áreas com 4 instrumentos, concentram-se, sobretudo, na Serra do Espinhaço, nas bacias do rio São Francisco, Paranaíba, Jequitinhonha, rio Pardo e de forma pontual no Doce;
- As AUs nas áreas com 2 instrumentos estão, principalmente, nas áreas nos modelados das bacias dos rios Paranaíba e do São Francisco;
- As AUs que estão em ambiente com 4 ou 5 ou mais instrumentos e em área de **UCs de Proteção Integral**, estão, principalmente, em ambientes serranos, especialmente na Serra do Espinhaço; em menor grau, no norte de Minas, no médio São Francisco, nos seus afluentes da margem esquerda.

- As AUs que estão em ambiente com 2 instrumentos e em área de **UCs de Proteção Integral** ocorrem, sobretudo, em modelados da bacia do rio São Francisco e, de forma menos expressiva, na Serra da Canastra.

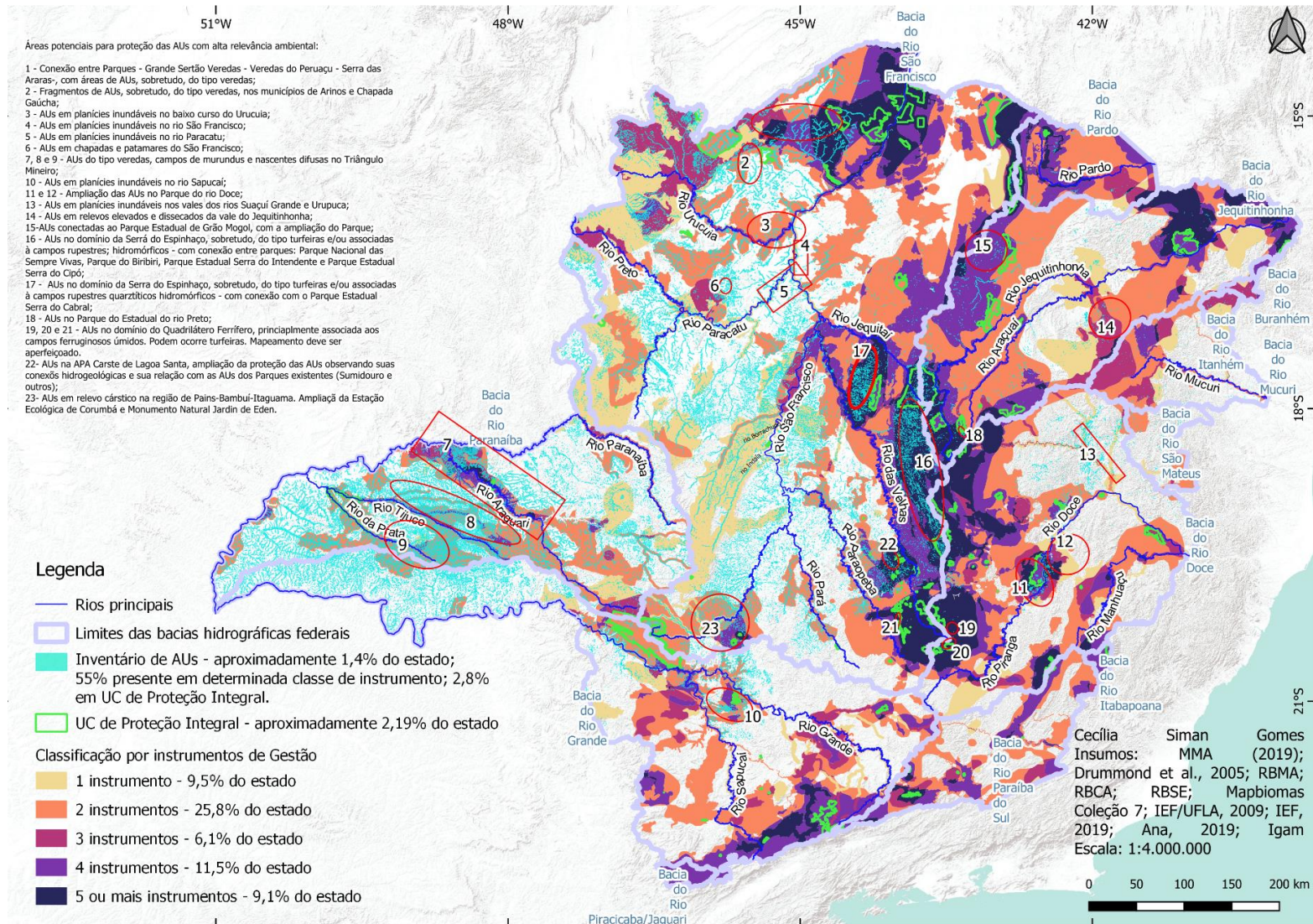
Figura 5.4 – Distribuição das AUs em relação às classes de instrumentos de gestão e as UCs em Minas Gerais



5.2 Áreas potenciais de maior relevância de AUs para preservação ou manejo sustentável

Com base na Figura 5.4, a Figura 5.5 a seguir apresenta áreas potenciais para delimitação e/ou expansão de novas UCs sob a ótica da diversidade, relevância e preservação ou uso sustentável das AUs, considerando suas tipologias e seus serviços ecossistêmicos, a fim de garantir a sua permanência e a manutenção e de suas funções socioambientais.

Figura 5.5 – Áreas potenciais com AUs de maior relevância ambiental



As UCs no domínio da Serra do Espinhaço estão bastante fragmentadas, mas com possibilidade de conectá-las, incluindo as AUs de maior relevância ambiental e hidrologia, formando importantes nascentes de cursos d'água que drenam para os rios São Francisco, Doce e Jequitinhonha. As AUs nestes ambientes elevados ocorrem geralmente associadas aos campos úmidos ou alagados, geralmente formando turfeiras e/ou campos rupestres (principalmente quartzíticos) úmidos. Estão situadas nas cabeceiras dos cursos d'água, associadas a nascentes difusas e, em áreas deprimidas, apresentam drenagem deficiente. Nas áreas mais elevadas e onde a drenagem é deficiente associam-se geralmente aos campos rupestres com a formação de uma fina camada de matéria orgânica, já nas áreas deprimidas úmidas, a ocorrência de turfeiras é mais expressiva. Os campos rupestres, dependendo do tipo de litologia e das características físico-química dos solos, apresentam singularidades bióticas específicas (Vasconcelos, 2014), tornando-se elementos chaves para a diferenciação da biodiversidade interna aos Campos Rupestres (Nunes, 2009), inclusive daqueles que ocorrem associados às AUs.

As turfeiras da Serra do Espinhaço apresentam serviços ecossistêmicos de grande relevância, entre os quais destacam-se o armazenamento e a disponibilidade de água, com a retenção de água pelos organossolos e sua liberação continuada aos cursos d'água, atuando na sua manutenção hídrica. Também atuam na qualidade da água dos cursos d'água, com a retenção de matéria orgânica e compostos químicos no solo. Além disso, fornecem suporte a biodiversidade, ao abrigar espécies exclusivas destes ambientes (Gonçalves *et al.*, 2022) e são fontes de retenção de carbono. Os campos úmidos rupestres (úmidos ou não) ocorrem sobre os afloramentos rochosos, abrigando grande diversidade e endemismo de espécies e compõem serras de beleza ímpar, compondo um patrimônio geológico e ecológico único.

A possibilidade de conectar as áreas protegidas no Espinhaço, considerando as AUs com alta relevância ambiental, está indicada na Figura 5.5 (áreas 15, 16, 17 e 18). Estas AUs que também tem o papel de formar nascentes de afluentes do São Francisco e Jequitinhonha. No Espinhaço, as atividades de garimpo, mineração ornamental, o fogo descontrolado, as atividades agropecuárias e a inserção de espécies exóticas são aquelas que mais fragilizam estes ecossistemas.

No Quadrilátero Ferrífero, há oportunidade de implementar corredores ecológicos com as UCs existentes, como entre os parques Itacolomi e Gandarela (área 19 - Figura 5.5), nas cabeceiras do rio das Velhas, na região da APA Estadual Cachoeira das Andorinhas, em Ouro Preto; entre o Parque Itacolomi e o Monumento Natural Estadual de Itatiaia (área 20 - Figura 5.5); e nas cabeceiras da Serra da Moeda, na APA Sul da RMBH, em Brumadinho (área 21 -

Figura 5.5). Nestas áreas há AUs do tipo turfeiras e associadas a campos úmidos de altitude, campos rupestres quartzíticos e, sobretudo, ferruginosos úmidos, mas ainda não mapeados no inventário. As AUs nesses ambientes também são marcadas pelo elevado endemismo e atuam na recarga e no fornecimento de água para os cursos d'água que abastecem o rio das Velhas e o rio Paraopeba. Atualmente, os impactos das atividades minerárias e sua expansão e, secundariamente, da ocupação imobiliária, que fragilizam estes ecossistemas e suas funções e serviços ecossistêmicos.

Em ambiente cárstico, destacam-se as regiões da APA Carste de Lagoa Santa (área 22 – Figura 5.5) e de Pains-Bambuí-Itaguama (área 23 – Figura 5.5). As AUs são formadas em dolinas, uvalas ou poljes, por processos de subsidência e/ou abatimento.

A região da APA Carste de Lagoa Santa, que compreende parte dos municípios de Lagoa Santa, Pedro Leopoldo, Matozinhos, Funilândia e Confins, é uma das mais importantes em termos de paisagem cárstica carbonática no Brasil (Berbert-Born, 2002), sendo uma parte designada como Sítio Ramsar. Além disso, possui diversas AUs distribuídas ao longo de toda sua área, as quais são bastante dinâmicas em termos espaçotemporais em função do regime pluvial associado ao nível freático do aquífero cárstico (Nóbrega, 2015). Conforme esta autora, estas AUs possibilitam a ocorrência de diversas espécies de aves aquáticas migratórias, como no Parque Estadual do Sumidouro. Contudo, são extremamente sensíveis a contaminação e a perfuração de poços de água subterrânea na região, dada a conexão direta existente entre as águas superficiais e subterrâneas, por meio dos sumidouros, canais e dolinas. O manejo sustentável das AUs perpassa por uma gestão sustentável da cobertura natural e um gerenciamento aprofundado dos usos e outorgas dos recursos hídricos subterrâneos e que seja compatível com a manutenção dos serviços ecológicos fornecidos pelas AUs.

Na região de Pains, destaca-se a ocorrência de AUs em dolinas de subsidência, com afloramento de água subterrânea em regiões com cotas altimétricas menores (Timo, 2019). Há AUs de elevada relevância que podem ter sua proteção ampliada ou um manejo sustentável, visto que as AUs sofrem impactos, sobretudo, da mineração de calcário. Esta região se insere no alto da bacia do rio São Francisco, na região de transição entre do bioma Cerrado para o da Mata Atlântica, apresentando fisionomias dos dois biomas. Além disso, a região apresenta um patrimônio natural diverso, que incluiu não somente as unidades espeleológicas, mas também suas lagoas transicionais.

Em termos de AUs em ambientes marginais de cursos d'água, há potencial de expansão da proteção das lagoas no entorno do Parque Estadual do rio Doce (áreas 11 e 12 – Figura 5.5),

no bioma da Mata Atlântica. A proteção das florestas inundáveis contribui para a estabilização de margens e na retenção de sedimentos, minimizando a erosão das margens, a velocidade do escoamento pluvial e o aumento da turbidez dos corpos d'água; além disso, as lagoas abrigam uma grande diversidade de peixes. Ressalta-se que o Parque Estadual do Rio Doce abriga o maior remanescente contínuo do bioma no estado e boa parte dos lagos que compõem o sistema lacustre do médio rio Doce, terceiro maior do país (Peixoto, 2012). Contudo, conforme esta autora, a alta fragmentação dos habitats e o isolamento das áreas preservadas no médio vale do rio Doce, coloca as espécies em um processo severo de redução de biodiversidade e aumenta os elevados níveis de endemismo. Na região, a floresta se intercala com a silvicultura e a pastagem, sendo possível, ainda, proteger parte das lagoas marginais e matas inundáveis e recuperar áreas de solo exposto. Na área dos rios Suaçuí Grande e Urupuca, na bacia do rio Doce, há potencial para recuperação e proteção de ambientes com AUs conectadas aos cursos d'água, em aquíferos granulares e bioma de mata atlântica (área 13 – Figura 5.5).

Ainda em relação às AUs em ambientes marginais de cursos d'água, cabe destacar as lagoas marginais no alto e médio vale do rio São Francisco (áreas 4a e 4b – Figura 5.5) e no baixo curso dos afluentes Paracatu e Urucuia, que desaguam na sua margem da esquerda (áreas 3 e 5 – Figura 5.5). Estas áreas situam-se em áreas deprimidas sobre aquíferos granulares no bioma do Cerrado, em áreas com pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano. Formam também ambientes de alta relevância socioambiental e que podem ter corredores ecológicos de proteção ou manejo sustentável implementados. As planícies fluviais e fluviolacustres são sazonalmente alagadas pelo extravasamento dos rios durante os picos de cheia, formando ambientes de alimentação para peixes adultos e juvenis nesse período do ano. São, portanto, altamente relevantes para a conservação da biodiversidade aquática e reposição de estoques pesqueiros, uma vez que funcionam como habitats de desenvolvimento de juvenis (Junk; Wantzen, 2004). As lagoas marginais conectadas ao rio principal durante a época de cheia recebem os estágios iniciais do ciclo de vida dos peixes, como ovos, larvas e juvenis. Esses estágios se beneficiam no ambiente de águas lânticas e abastecidas de nutrientes desses corpos hídricos, ao encontrar abrigo e alimento necessários para o desenvolvimento. No próximo ciclo de cheias, há novo aporte de fases iniciais e saída dos juvenis para o rio, fazendo deste um sistema altamente dinâmico e dependente da conexão. Assim, esses sistemas possuem grande importância para a manutenção da ictiofauna, especialmente espécies migradoras e de interesse para a pesca (Godinho; Pompeu 2003).

Conforme Santos; Luz (2009), a construção de barragens tem afetado diretamente as comunidades de peixes das calhas fluviais e das planícies de inundação, visto que altera o nível de flutuação da água dos cursos d'água, modificando o ciclo sazonal de inundações e dificultado a conexão entre o rio e as áreas inundáveis, interrompendo o ciclo de vida de diversas espécies. Além disso, a presença significativa de atividades agrícolas no alto e médio curso do São Francisco impacta estas lagoas, com o arraste e deposição de sedimentos, poluição da água e/ou sua drenagem.

No São Francisco, cabe ainda destacar as veredas nas bacias dos rios Pandeiros (área 1 - Figura 5.5) e Urucuia (área 2 - Figura 5.5), sobretudo, nos aquíferos areníticos, presentes, principalmente nos modelados das superfícies elevadas com topos suaves (área 1) e dos relevos ondulados e dissecados (área 2), ocupando faixas preservadas no bioma Cerrado, onde as chuvas não ultrapassam pluviosidade 1200 mm. Estas AUs podem ser conectadas aos parques já existentes e incorporam veredas situadas em diferentes estágios de evolução. As veredas constituem-se em uma tipologia de AUs fundamental para a manutenção da vida no bioma Cerrado, principalmente, pela sua relação com a disponibilidade de água e para a manutenção da biodiversidade. São ecossistemas relacionados com o afloramento do lençol freático, a presença de solos hidromórficos, com drenagem deficiente e saturação por água na maior parte do tempo e a ocorrência de buritis (Boaventura, 1978). O armazenamento de água e sua liberação controlada para os sistemas hídricos faz das veredas como importantes ecossistemas na manutenção do equilíbrio hidrológico, ao atuar perenizando os cursos d'água do cerrado (Carvalho, 1991; Ramos *et al.*, 2006).

As veredas também ocorrem nas superfícies elevadas com topos suaves e nos relevos dissecados, próximo ao Parque Estadual de Grão Mogol, nas cabeceiras dos rios Extrema e Vacaria (área 15 – Figura 5.5), que são áreas de relevância ambiental e hidrológica muito alta. Estas veredas geralmente associam-se a lagoas transitórias.

O Triângulo Mineiro vem apresentando nas últimas três décadas um acelerado processo de expansão agropecuária e de extração de recursos minerais. Na região ocorrem diversas AUs em áreas de relevância ambiental (áreas 7, 8 e 9 – Figura 5.5), que podem ter UCs expandidas com a formação de corredores ecológicos, sobretudo, nos vales dos rios Araguari, Tijuco e da Prata e seus afluentes.

Na região do Triângulo Mineiro, as AUs são, sobretudo, do tipo veredas e ocupam, sobretudo, os relevos dissecados (vale do rio Araguari e seu afluente rio Uberabinha) e as porções de relevos elevados e topos suaves (principalmente nos vales dos rios Tijuco e da

Prata). Suas veredas desempenham um papel fundamental ao atuar na recarga hídrica de cursos d'água, na manutenção de mananciais e na retenção de sedimentos e compostos químicos provenientes das atividades desempenhadas na região, funcionando como filtros naturais.

Contudo, as veredas são ecossistemas pouco resilientes e podem sofrer impactos significativos com as atividades humanas e comprometer os seus serviços ecossistêmicos prestados (Soares, 2016). A compactação do solo, o rebaixamento de nível freático e a invasão biológica, em função das atividades humanas no entorno, sobretudo agrossilvopastoris, são desafios importantes na manutenção desses ecossistemas (Meirelles *et al.*, 2004). As veredas no Triângulo Mineiro vêm sendo bastante impactadas pela retirada da cobertura natural e pela construção de reservatórios (Maranesi, 2002). Conforme este autor, a perda de cobertura vegetal associada à formação de reservatórios favorece o aumento da evaporação d'água, com a consequente diminuição dos potenciais hídricos da região. No período seco (maio a setembro), devido à diminuição dos recursos hídricos disponíveis, as barragens instaladas dentro dos vales com vereda não permitem um fluxo de água regular a jusante do reservatório, provocando sérios impactos à vegetação e à fauna do cerrado (Maranesi, 2002).

Pereira; Figueiredo (2018) consideram que o extrativismo sustentável do buriti das veredas, visando a produção de alimentos e fibras por agricultores familiares do Triângulo Mineiro, pode se tornar uma fonte de geração de renda. Tal atividade, ainda incipiente na região e mais presente no Norte de Minas, carece de mais estudos e estímulos como tentativa de disseminar a importância socioambiental destes ecossistemas na região.

Os Campos de Murundus (covoais), também ocorrentes na região e na bacia do São Francisco, também envolvem importantes sistemas de AUs que atuam na perenização de nascentes e de cursos d'água, na filtragem e retenção de sedimentos e contaminantes e na formação de ambientes de atividade biológica intensa (Pires Júnior, 2017), e não possuem uma legislação para sua proteção (Rosolen *et al.*, 2015). Diferentemente das veredas, possuem grandes variações sazonais do nível d'água em função da sua interdependência com o regime climático (Diniz de Araújo Neto *et al.*, 1986; Oliveira Filho; Furley, 1990; Castro Júnior, 2002). Conforme Oliveira *et al.* (2008) e Rosolen; De Oliveira; Bueno (2016), são ecossistemas frágeis e sob ameaça pela expansão da agropecuária, em função, principalmente, da irrigação de monoculturas e /ou da descaracterização do solo, degradando e afetando os ciclos hidrológicos e a manutenção dos ecossistemas e seus serviços prestados. A presença de canais escavados ao longo dos terrenos para uso agrícola pode causar danos irreparáveis, levando a escassez hídrica

e impactando a fauna e flora dependentes, que abriga espécies ameaçadas de extinção (Castro Junior, 2002).

Por fim, cabe destacar, em trecho mais disperso, o potencial de AUs na bacia do Grande (área 10 – Figura 5.5), sobretudo nas depressões do Sul de Minas. A bacia do rio Sapucaí concentra, neste sentido, importantes sistemas de AUs em sua extensa planície de inundação e nos braços da represa de Furnas. Muitas das AUs ao longo da bacia coincidem com meandros abandonados e lagoas marginais.

O presente subcapítulo indicou áreas potenciais com AUs de maior relevância ambiental. Cabe ressaltar que as áreas indicadas formam um panorama regional, sendo que as AUs devem ser mapeadas e inventariadas na escala local para um maior detalhamento. Sabe-se, também, que a implementação de UCs de Proteção Integral é um processo complexo e que envolve múltiplos atores e fatores sociais e econômicos associados à dinâmica de uso e ocupação do território na escala das propriedades rurais. O objetivo aqui foi indicar áreas potenciais de AUs para preservação, recuperação ou manejo sustentável, no âmbito da disposição dos instrumentos de gestão e das UCs de Proteção Integral atualmente existentes.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese consiste na elaboração de uma proposta de classificação biohidrogeomorfológica geoespacial das Áreas Úmidas de Minas Gerais, organizada em níveis escalares regionais, incluindo a análise de sua distribuição no território, a interpretação dos seus tipos e características, bem como a identificação de áreas potenciais de maior relevância para sua proteção ambiental.

Para tanto, foi feito um levantamento e análise de diversas bases geoespaciais que contivessem AUs mapeadas (com ou sem tipologia de AU associada). A partir de diferentes processamentos, foi proposto um mapeamento, definido como um inventário inicial de AUs, com uma área de aproximadamente 8.133,76 km², o equivalente à 813.300 ha, para o cruzamento com a proposta de classificação, elaborada no âmbito desta pesquisa.

A proposta de classificação das AUs do estado foi elaborada com os seguintes parâmetros biohidrogeomorfológicos, organizados em níveis 1 (Nível 1- N1) e 2 (Nível 2- N2): *Geomorfologia*, parâmetro que apresenta um papel determinante na formação e/ou configuração das AUs, sendo definido pelos domínios geomorfológicos (G1) no N1 e as unidades geomorfológicas (G2) no N2; *Hidrogeologia*, parâmetro que representa as características do meio subterrâneo, que pode ser determinante ou influenciar a manutenção das AUs, sendo definido pelos sistemas aquíferos (A1) no N1 e tipos de aquíferos (A2) no N2; *Clima*, parâmetro que representa a pluviosidade e a retenção de água no solo, que auxilia na interpretação, junto com a hidrogeologia, das fontes de entrada de água e a manutenção hidrológica das AUs, sendo definido pela pluviosidade (P1) no N1 e o déficit hídrico (DH2) no N2; e *Biologia*, parâmetro que reflete contextos biogeográficos, sendo representado pelos biomas (B1) no N1 e ecorregiões (E2) no N2. Essas características se refletem também nas possíveis funções ambientais das AUs, que atuam no provimento de serviços ecossistêmicos e na diversidade de ambientes de AUs que são esperados.

O primeiro nível da proposta (N1) foi estruturado com vinte Domínios Geomorfológicos (parâmetro G1), oito Sistemas Aquíferos (parâmetro A1); quatro Faixas de Pluviosidade (parâmetro P1); e os três biomas do estado (parâmetro B1). Cada unidade de cada um dos parâmetros recebeu uma codificação específica, a fim de facilitar a interpretação e visualização dos resultados. O segundo nível da proposta (N2) foi estruturado com dezessete Unidades Geomorfológicas (parâmetro G2), trinta e dois Tipos de Aquíferos (parâmetro A2), quatro

Faixas de Déficit Hídrico (parâmetro DH2) e nove Ecorregiões (parâmetro E2), que também receberam codificações.

As análises foram feitas para cada parâmetro nos níveis N1 e N2, caracterizando suas unidades e sua distribuição geoespacial no estado. Em seguida, as AUs do inventário foram classificadas e analisadas em área e percentual de ocorrência em cada unidade, quando existente, e seu percentual relativo em relação à área ocupada por cada unidade dos parâmetros nos níveis I e II. Essa análise foi acompanhada da interpretação das características de formação e/ou atributos das AUs e/ou tipos associados, o seu contexto e localização no território, assim como possíveis funções e modos de alimentação da AUs. Quando verificadas fortes interações entre unidades de diferentes parâmetros na formação e/ou atributos das AUs e/ou seus tipos, estas relações foram incorporadas nos resultados, sendo mais clara a interação da geomorfologia e a hidrogeologia, seja em um mesmo nível ou entre níveis.

Foram analisadas, também, as principais classes biohidrogeomorfológicas das AUs do inventário, resultantes do cruzamento das variáveis dos parâmetros do N1 (G1-A1-P1-B1) e do N2 (G2-A2-DH2-E2), onde foi verificado que 96,6% da área do inventário das AUs ocorre em 70 classes do N1 e 92,2% do inventário das AUs ocorre em 100 classes do N2. O recorte estabelecido foi o de classes que contivessem igual ou acima de 10 km² (1.000 ha) de AUs do inventário. Além disso, foi apresentado um estrato do cruzamento das classes N1N2 das AUs para diferentes contextos do estado (bacias do Grande e Paranaíba; São Francisco; Leste e do rio Pardo; Sul de Minas; Doce; e o Contexto Serrano), a fim analisar e fornecer um panorama mais regionalizado da classificação, distribuição e diversidade de contextos das AUs no estado.

Assim, a partir da classificação das AUs, foi feita uma análise de sua distribuição nas unidades de cada parâmetro para o N1 e N2, nas unidades combinadas entre um mesmo parâmetro e por classes, interpretando também suas características. Esses resultados da classificação e análise de distribuição das AUs são apresentados e discutidos ao longo do Capítulo 4, sendo acompanhados de mapas, gráficos, tabelas e sínteses de resultados.

Ainda no Capítulo 4, o Nível 3, por ser um nível no contexto local e que demanda uma análise mais detalhada do meio onde a AU se situa, considerando critérios como posição no relevo, altitude, declividade, fitofisionomia, direção de fluxos de água e a ordem de curso associada a AU (quando aplicável), as características e interpretação das AUs, seus tipos e funções com base no seu meio de ocorrência foram apresentadas por meio de exemplos ilustrativos de aplicação e validação da metodologia de classificação, juntamente com os níveis

N1 e N2. Estes exemplos são acompanhados de fotos e perfis topográficos, ilustrando a aplicação da classificação das AUs nos três níveis propostos.

No Capítulo 5, são apresentadas as potencialidades de proteção das AUs com base nas análises desenvolvidas e na proposta de classificação por instrumentos de gestão selecionados, que abrigam áreas de alto potencial de relevância ambiental e ecológica para a proteção dos ecossistemas, onde as AUs desempenham um papel fundamental ou de elevada importância na manutenção da diversidade biológica, das águas, do patrimônio natural e socioambiental e/ou dos seus serviços ecossistêmicos através dos seus valores funcionais fornecidos.

A análise das AUs sobre as classes de instrumentos de gestão também considera a disposição das UCs de Proteção Integral, resultando na identificação de áreas potenciais para proteção das AUs dentro de um panorama regional do estado. Estas áreas potenciais para delimitação e/ou expansão de novas UCs foram avaliadas sob a ótica da diversidade de tipos de AUs, sua relevância em termos de suas funções ou valores funcionais, os principais impactos atualmente ocorrentes nestes ecossistemas e a importância da preservação ou manejo sustentável das AUs no contexto atual regional.

Nesse sentido, considera-se que a classificação e análise biohidrogeomorfológica das AUs desenvolvida por esta pesquisa apresenta contribuições teóricas e práticas sobre as AUs do estado de Minas Gerais.

No que tange às contribuições teóricas, esta pesquisa possibilita conhecer de forma sistematizada os tipos de ambientes com maior ocorrência e/ou maior potencial de dar origem as AUs mapeadas no estado de Minas Gerais; como estes ambientes determinam ou influenciam na sua formação e/ou suas características, considerando o seu contexto geomorfológico, o tipo de material, a influência das águas superficiais e/ou subsuperficiais na sua formação e manutenção hidrológica, assim como o tipo de bioma e ecorregião na qual a AU está inserida, com a interpretação das possíveis fitofisionomias presentes; e, ainda, os tipos de AUs formados e/ou funções desempenhadas, em um contexto regional e sub-regional. O fator multiescalar e geoespacial da classificação contribui para unir informações espaciais essenciais para a interpretação e caracterização das AUs, compreender a sua distribuição no território, avaliar como seus contextos biohidrogeomorfológicos de ocorrência influenciam na sua diversidade biológica, de tipos e funções, de forma organizada, sistematizada e visual.

Além disso, a pesquisa contribui com a indicação de áreas potenciais de maior relevância ambiental e ecológica para a proteção de AUs dentro de um panorama regional do estado, ao incorporar classes de instrumentos de gestão como parte da classificação. São

indicadas áreas potenciais para proteção considerando sua distribuição no estado, seus principais tipos, características, impactos, funções e/ou valores funcionais, considerando as classes de instrumentos de gestão e a disposição das UCs de Proteção Integral.

Em termos de contribuições práticas, destaca-se o fornecimento de subsídios para a classificação e a análise biohidrogeomorfológica das AUs brasileiras, já que a pesquisa foi estruturada com dados geoespaciais. Assim, pode-se avançar na caracterização das AUs brasileiras de forma sistematizada, geoespacial e multiescalar, permitindo avaliar a sua distribuição e diversidade no território e sua relação com instrumentos de gestão e a disposição das UCs, incorporando uma visão territorial das AUs nas políticas ambientais.

Ainda como contribuição prática, a proposta fornece diversos subsídios para que pesquisadores e/ou órgãos ambientais desenvolvam um manual de classificação, caracterização e monitoramento das AUs, agregando registros fotográficos e informações e dados específicos de AUs, provenientes de outros ou futuros trabalhos. Esta contribuição pode refinar a seleção de áreas prioritárias para fomentar pesquisas, mapeamentos e/ou implementar UCs com, por exemplo, lagoas marginais, veredas, campos de murundus, turfeiras e campos rupestres úmidos.

Nesta linha, a tese demonstra que as veredas carecem de um novo mapeamento e mais detalhado, visto que as veredas mapeadas nos inventários do estado, quando foram avaliadas com o campo alagado e áreas pantanosas do Mapbiomas (Coleção 7), tiveram uma ampliação em torno de 547,24 Km² (5.472.400 ha) da sua área de ocorrência. Do inventário de AUs, foi verificado que as veredas do Triângulo Mineiro se destacam no mapeamento, mas é uma região carente de UCs de Proteção Integral, sendo identificadas áreas potenciais nas bacias dos rios Araguari, Tijuco e Prata para delimitação de áreas protegidas. Também foram identificadas potencialidade para a proteção de AUs em planícies inundáveis, como ao longo dos rios Suaçuí Grande e Urupuca, São Francisco e seus afluentes da margem esquerda; na região do Espinhaço e Quadrilátero Ferrífero, onde ocorrem turfeiras e campos rupestres úmidos; na região da APA Carste e região de Pains, com a formação de AUs em rochas carbonáticas, assim como outras áreas potenciais. A tese, portanto, fornece subsídios para o desenvolvimento de instrumentos e normativas que visam abarcar, por exemplo, áreas prioritárias para a preservação e o manejo sustentável das AUs do estado, a identificação de áreas potenciais para a implementação de UCs ou mesmo sítios Ramsar e a elaboração de planos, projetos e zoneamentos direcionados às AUs e a manutenção de seus valores funcionais.

Em termos de limitações da pesquisa, destacam-se as bases geoespaciais. Não há, por exemplo, um mapeamento detalhado das lagoas marginais do estado e não existem

mapeamentos dos campos de murundus e campos úmidos. O mapeamento das AUs no bioma da Mata Atlântica, onde predomina as rochas do embasamento cristalino, é bastante deficiente, sendo registrado um baixo percentual de AUs em fundos de vales e em áreas potenciais com turfeiras úmidas e/ou campos rupestres úmidos. O mapeamento destas tipologias também é inexpressivo no Quadrilátero Ferrífero. Além disso, diversas lagoas transicionais na APA Carste de Lagoa Santa, onde situa-se um dos sítios Ramsar do estado, não estão mapeadas.

No decorrer da pesquisa identificou-se alguns erros no mapeamento de AUs, tais como áreas de cava de mineração ou corpos d'água identificados como AUs ou áreas de veredas mapeadas pelos inventários florestais que não são veredas. Considerando que todo mapeamento tem um percentual de erro, recomenda-se que o inventário seja dinâmico, ou seja, continuamente atualizado e aperfeiçoado. O Mapbiomas lança anualmente uma coleção de uso e cobertura da terra, mas o inventário florestal estadual, que abrange todo o território de Minas, não foi atualizado desde 2008. Além da necessidade de atualização, este mapeamento poderia incorporar fitofisionomias que são elementos de diagnóstico de AUs, como campos de murundus, campos úmidos e florestas inundáveis, sendo necessário o desenvolvimento de um inventário mais detalhado. Além disso, a base geoespacial de massas d'água, que apresenta AUs, também necessita ser continuamente aperfeiçoada, pois seu mapeamento ainda delimita poucas feições que são AUs, como AUs em meandros abandonados. Além disso, não há mapeamentos das turfeiras e que apresentam diversos valores funcionais.

Como sugestões futuras, a classificação proposta é uma metodologia que permite adicionar informações em nível nacional, regional, de paisagem e/ou local. Ou seja, pode agregar outras informações (técnica-científicas e/ou de instrumentos de gestão) importantes para caracterizar e monitorar as AUs e orientar as políticas destinadas à sua proteção. É, portanto, uma classificação multiuso para novos dados e, também, demais níveis.

Sugere-se, ainda, como recomendação futura, que o Nível 3 possa ser desenvolvido com a inserção de novas variáveis, com método de sistematização da informação. Para áreas de maior potencial de relevância ambiental, é recomendável que se selecione AUs para uma classificação em níveis inferiores, considerando as fisionomias, tipos de solos, a litologia, as espécies de fauna e flora ocorrentes, que permitirão uma caracterização mais detalhada da AU e uma avaliação da sua importância local e na paisagem. Sobre os dados de potencialidades de ocorrência da fauna, estes poderão ocupar, por exemplo, também o Nível 3, com a inserção de registros de espécies no local, por exemplo. Esta caracterização poderá ser detalhada por meio

de fichas com fotos acopladas à classificação. Ressalta-se que o próprio Nível 3 poderá levar a um refinamento dos níveis superiores e de um novo nível de paisagem.

Também recomenda-se avançar no inventário das diferentes tipologias (ou tipos) e os subtipos de AUs. As veredas, por exemplo, formam a única classe expressiva de inventário no estado e, também, não apresentam subtipos vinculados, como de posição geomorfológica. Estes subtipos auxiliam no levantamento das funções hidrogeomorfológicas das AUs e na adoção de ações para a conservação desses ecossistemas, prevenindo ou mitigando impactos ambientais atuais e futuros. As lagoas transicionais e seus subtipos associados também necessitam que seu mapeamento seja mais detalhado. As lagoas marginais, um subtipo das lagoas transicionais, ao formarem elementos de conexão entre o rio e as áreas inundáveis, nem sempre são áreas abrangidas pelo Código Florestal e, dependendo do tipo e intensidade dos impactos nos sistemas hídricos, podem interromper o ciclo de vida de diversas espécies e atividades humanas. Nesse sentido, é necessária a realização de pesquisas específicas para a elaboração de uma proposta de classificação por tipologias de AUs com seus subtipos associados (quando aplicável).

Além disso, recomenda-se monitorar hidrológicamente AUs de maior relevância e bem preservadas, para compreender e garantir a sua manutenção hidrológica, a biodiversidade que depende dela e os serviços ecossistêmicos por essas ofertados ou oferecidos. As formas de alimentação das AUs muitas vezes derivam dos ambientes adjacentes, como em contextos de rochas carbonáticas, demandando pesquisas e uma gestão das águas subterrâneas com dados de monitoramento mais detalhados sobre a dinâmica hidrológica. Certamente, as informações do monitoramento devem compor o inventário das AUs, servindo também como auxílio para diagnosticar, recuperar e classificar AUs semelhantes dentro do mesmo contexto. Ou seja, as classificações e inventários devem ser instrumentos integrados e continuamente aperfeiçoados e atualizados, adequando-se ao avanço tecnológico e científico e aos objetivos institucionais.

Considerando o exposto, espera-se que esta pesquisa possa estimular o avanço do conhecimento sobre as AUs do estado, fornecendo subsídios para aperfeiçoar e detalhar a classificação e o inventário de AUs, assim como selecionar AUs de referência para caracterização, avaliação e monitoramento. No campo das políticas públicas, espera-se que a tese possa embasar o desenvolvimento de novos instrumentos territoriais ambientais, acompanhados de diretrizes e ações correspondentes, que considerem as AUs como ecossistemas ou unidades funcionais a serem avaliados de forma integrada ao ambiente nas diversas escalas espaciais de planejamento e gestão territorial, visando a sua manutenção ecossistêmica.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A.N. 1977. Os domínios morfoclimáticos da América do Sul. *Geomorfologia* 52:1-21. p. 1-22, 1977.
- AB' SÁBER, A. N. Os Domínios de Natureza do Brasil: Potencialidades Paisagísticas. 3ª ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- ABATZOGLOU, J.T.; DOBROWSKI, S.Z.; PARKS, S.A.; HEGEWISCH, K.C. Terraclimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015. *Scientific Data*, v. 5, 170191, 2018. doi:10.1038/sdata.2017.191.
- AQUATIC ECOSYSTEMS TASK GROUP. 2012. Aquatic Ecosystems Toolkit. Module 2. Interim Australian National Aquatic Ecosystem Classification Framework. Australian Government Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities, Canberra.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Hidrogeologia dos ambientes cársticos da Bacia do São Francisco para a Gestão de Recursos Hídricos. Relatório Final – VOLUME II - HIDROGEOLOGIA / Agência Nacional de Águas; Elaboração e Execução: Consórcio TPF - Techne. Brasília: ANA, 2018.
- ÁLVAREZ, S. (2002). Descomposición de materia orgánica en lagunas someras del Manto Eólico Litoral de Doñana. Tesis doctoral. Fac. Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid: 1–518
- ARAÚJO, G.M., BARBOSA, A.A.A., ARANTES, A.A. & AMARAL, A.F. 2002. Composição florística de veredas no município de Uberlândia, M.G. *Revista Brasileira de Botânica* 25(4):475-493.
- BAILEY, R. G. Identifying ecoregions boundaries. *Environmental management*, v. 34, supl. 1, p. S14-S26, 2005.
- BAILEY, R.J. *Ecosystem Geography. From Ecoregions to Sites*. 2ª ed. Springer. NY, Dordrecht, Heidelberg, London, 2009.
- BARBIER, E. B.; ACREMAN, M.C.; KNOWLER, D. Economic valuation of wetlands: A guide for policy makers and planners. 1ª ed. Switzerland: Ramsar Convention Bureau, 1997.
- BEIRIGO, R.M. Formação e degradação de feições redoximórficas em solos do Pantanal – MT. 2013. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Unidade da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.
- BENZAQUEN, L.; BLANCO, D.E.; BO, R.; KANDUS, P.; LINGUA, G.; MINOTTI, P.; QUINTANA, R. (editores). *Regiones de Humedales de la Argentina*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Fundación Humedales/Wetlands International, Universidad Nacional de San Martín y Universidad de Buenos Aires, 2017.

BERLANGA-ROBLES, C.A *et al.* 2008. Esquema de clasificación de los humedales de México. *Investigaciones Geográficas*, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM., n. 66, p. 25-46, 2008.

BERBERT-BORN, M. L. Carste de Lagoa Santa, MG - Berço da paleontologia e da espeleologia brasileira. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. L. C. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. 1. ed. Brasília: DNPM/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), v. 01. 415-430, 2002.

BOAVENTURA, R. S. *Contribuição ao estudo sobre a evolução das veredas*. CETEC Informe Técnico 1. Belo Horizonte: CETEC, 1978. 12p.

BOAVENTURA, R. S. *Preservação das veredas*. In: 2º Encontro Latino Americano. Relação Ser Humano-Ambiente. Belo Horizonte, p. 109-118, 1988.

BOAVENTURA, R. S. Vereda berço das águas. *Ecodinâmica*. Belo Horizonte: 264p, 2007.

BOGGIONE ET al., 2009. *Definição da escala em imagens de sensoriamento remoto: uma abordagem alternativa*. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 1739-1746.

BOMFIM, L.F.C. Mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil em ambiente SIG: concepção e metodologia. In: *XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços*, 2010.

BORJA, C.; CAMACHO, A.; FLORÍN, M. Lagos y humedales en la evaluación de los ecosistemas del milenio en España. *Ambienta*, nº98, p. 82-90, 2012.

BOZELLI, R.L et al. 2018. Pequenas áreas úmidas: importância para conservação e gestão da biodiversidade brasileira. *Diversidade e Gestão*, v. 2, n. 2, p. 122-138, 2018. Volume Especial: Conservação in situ e ex situ da Biodiversidade Brasileira e-ISSN: 2527-0044.

BRASIL. Decreto nº 1.905, de 16 de maio de 1996. Promulga a Convenção sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional, especialmente como Habitat de Aves Aquáticas, conhecida como Convenção de Ramsar, de 02 de fevereiro de 1971. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 maio 1996.

BRASIL. Decreto nº 10.141, de 28 de novembro de 2019. Institui o Comitê Nacional das Zonas Úmidas. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 28 de novembro de 2019; 198º da Independência e 131º da República.

BRASIL. LEI No 9.985, DE 18 DE JULHO DE 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial da União - Seção 1 - 19/7/2000, Página 1.

BRASIL. Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002. Regulamenta artigos da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da

Natureza - SNUC, e dá outras providências. Diário Oficial da União - Seção 1 - 23/8/2002, Página 9

BRASIL. Lei Federal nº 14.119 de 13 de janeiro de 2021. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais; e altera as Leis 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973, para adequá-las à nova política. Diário Oficial da União - Seção 1 de 14/01/2021

BRASIL. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 28 maio 2012.

BRINSON, M. M. A hydrogeomorphic classification for wetlands. Technical Report WRP-DE-4, U.S. Army Corps of Engineers Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 1993.

BRITO, Francisco. *Corredores ecológicos: uma estratégia integradora na gestão de ecossistemas*. 2. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2012. 268

CALHOUN, A.J.K.; MUSHET D.M, BELL, K.P, BOIX D, FITZSIMONS, J.A.; ISSELIN-NONDEDEU, F. 2017. Temporary wetlands: challenges and solutions to conserving a “disappearing” ecosystem. *Biological Conservation* 211: 3–11. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.11.024>.

CAMPOS, J.R.R. *Relações entre Morfoestratigrafia e Hidrologia na formação das turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional (MG)* / José Ricardo da Rocha Campos. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2014. 98 p: il.

CARDONI, D.A., FÁVERO, M., ISACCH, J.P. 2008. Recreational activities affecting the habitat use by birds in Pampa's wetlands, Argentina: Implications for waterbird conservation. *Biological conservation*, 141, 797-806.

CARRERA G., E.; DE LA FUENTE L.G. 2003. Inventario y Clasificación de Humedales en México, Parte 1. Ducks Unlimited de México A.C. México. 237 pp.

CARVALHO, P. G. S. As veredas e sua importância no domínio dos cerrados. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.15, n.168, p.54-56, 1991.

CASTRO JÚNIOR, PR. *Dinâmica da água em campos de murundus do Planalto dos Parecis*. [tese] São Paulo: Universidade de São Paulo, Departamento de Geografia; 2002.

CIOLETE, Tarso Natividade; DA SILVA VASCONCELLOS, Angélica; REZENDE, Juliana de Lima Passos. Estado de conservação dos rivulídeos no estado de Minas Gerais—revisão de literatura. *Sinapse Múltipla*, v. 7, n. 1, p. 8-26, 2018.

CLARKSON, B; AUSSEIL, A.G; GERBEAUX, P. 2014. Wetland ecosystem services. In: Dymond JR ed. *Ecosystem services in New Zealand – conditions and trends*. Manaaki Whenua Press, Lincoln, New Zealand.

CMA (CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE) (2002): Plan Andaluz de Humedales. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Sevilla, 253 p.

CNZU. Recomendação nº05 do CNZU, de 25 de junho de 2012, que dispõe sobre critérios para designação de Sítios Ramsar e elenca Áreas Protegidas a serem indicadas como potenciais Sítios de Importância Internacional - Sítios Ramsar.

CNZU. Recomendação nº07 do CNZU, de 11 de junho de 2015, que dispõe sobre a definição de úmidas brasileiras e sobre sistemas de classificação destas áreas.

CONAGUA, Comisión Nacional del Agua. Lineamientos para la clasificación de los humedales. 2017. Disponível em <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/165385/Clasificaci_n.pdf>. Acessado em 01 de janeiro de 2021.

COSTANZA, R., *et al.* 2014. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26, 152-158.

COSTANZA, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, *et al.* 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387.

COUTINHO, L.M. O conceito de bioma. *Acta Bot. Bras.* 20 (1). Mar 2006 <<https://doi.org/10.1590/S0102-33062006000100002>>

COWARDIN, L. M., F. C. GOLET. 1995. US Fish and Wildlife Service 1979 wetland classification: A review. *Vegetatio* 118: 139-152.

COWARDIN, L. M., V. CARTER, F. C. GOLET, E. T. LAROE. 1979. Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. U. S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Washington, D.C. Jamestown, ND: Northern Prairie Wildlife Research Center Home Page. <http://www.npwrc.usgs.gov/resource/1998/classwet/classwet.htm>

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL Mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil. 2007.

CUNHA, C. N.; PIEDADE, M. T. F.; JUNK, W. J. Classificação e Delineamento das Áreas Úmidas Brasileiras e de seus Macrohabitats. Cuiabá: EdUFMT. 2015. p.165.

CUSTODIO, E. 2001. Aguas subterráneas y humedales. *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, Asociación Española de Hidrología Subterránea, Madrid, XXIV: 3–30.

DAVIDSON, N. C. 2014. How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, 65(10), 934-941. <http://dx.doi>.

DAWSON, T.P; BERRY, P.M; KAMPA, E. Climate change impacts on freshwater wetland habitats. *Journal for Nature Conservation*. Volume 11, Issue 1, 2003, Pages 25-30.

DE GROOT R, *et al.* 2012. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosyst Serv.* 1:50–61. doi:10.1016/j.ecoser.2012.07.005

DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND SCIENCE, Queensland. 2015. Wetland classification and types, WetlandInfo website. Available at: <https://wetlandinfo.des.qld.gov.au/wetlands/what-are-wetlands/definitions-classification/classification-systems-background>

DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND SCIENCE, Queensland. 2019. Queensland wetland classification method, WetlandInfo website. Available at: <https://wetlandinfo.des.qld.gov.au/wetlands/what-are-wetlands/definitions-classification/classification-systems-background/typology.html>

DEPARTMENT OF ENVIRONMENT, LAND, WATER AND PLANNING. 2016. *The Victorian wetland classification framework 2014*. Department of Environment, Land, Water and Planning, East Melbourne.

DINIZ DE ARAÚJO NETO, M.; FURLEY, P. A.; HARIDASAN, M. & JOHNSON, C. E. 1986. The murundus of the cerrado region of Central Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 2: 17-35.

DINIZ, J.A.O. 2014. *Manual de cartografia hidrogeológica*. / João Alberto Oliveira Diniz, Adson Brito Monteiro, Robson de Carlo da Silva, Thiago Luiz Feijó de Paula. - Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2014.119p.

DINIZ,L.G. 2006. *O Flúor nas águas subterrâneas do Estado de Minas Gerais*. Dissertação (mestrado). Geologia. Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. 2006. 205f.

DINNERSTEIN, E., OLSON, D.M., GRAHAM, D.J., WEBSTER, A.L., PRIMM, S.A., BOOK BINDER, M.P. *Conservation assessment of the terrestrial ecorregions of Latin America and the Caribbean*. Washington: World Bank. 1995, 237 p.

DRUMMOND, G.M *et al.* *Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação*. 2 Ed - Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005. 222 p. Disponível em <http://www.biodiversitas.org.br/atlas/default.asp>

DRUMMOND *et al.* *Biota Minas: diagnóstico do conhecimento sobre a biodiversidade no Estado de Minas Gerais – subsídio ao Programa Biota Minas*. – Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2009.

EEM. Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. (2005). *Los ecosistemas y el bienestar humano: humedales y agua*. Informe de síntesis. World Resources Institute, Washington.

EITEN, G. *Vegetação Natural do Distrito Federal*. Universidade de Brasília/SEBRAE,2001. 162p.

EITEN, G. Vegetação do Cerrado. In: Pinto, M. N. (Ed.). *Cerrado*. SEMATEC, Brasília/DF. 1994. p. 17-76.

EMBRAPA PANTANAL. 2007. *Efecto de los cambios globales sobre los humedales*. Organizado por Suzana *et al.* Corumbá, MS.

EMBRAPA. 2006. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

ESTEVEZ, F. A. 1998. Considerations on the ecology of wetlands, with emphasis on brazilian floodplain ecosystems. In: SCARANO, F. R.; FRANCO, A. C. (eds.). Ecophysiological strategies of xerophytic and amphibious plants in the neotropics. v.4, Series Oecologia Brasiliensis. Rio de Janeiro, p. 111-135, 1998.

ESTEVEZ, FA., 2011. Fundamentos de Limnologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência. 826 p.

FELIPPE, M. F. Caracterização e tipologia de nascentes em Unidades de conservação de Belo Horizonte – MG com base em variáveis geomorfológicas, hidrológicas e ambientais. 2009. 275 f. Dissertação (mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais. 2009.

FERREIRA, I. M, 2005. *Bioma cerrado um estudo das paisagens do cerrado*. Tese de Doutorado. UNESP – Campus de Rio Claro. 2005.

FERREIRA, J.N; RIBEIRO, J.F. 2001. Ecologia da inundação em matas de galeria. In Cerrado: caracterização e recuperação de matas de galeria (J.F. Ribeiro, C.E.L. Fonseca & J.C. Souza-Silva, eds.) Embrapa/CPAC, Planaltina, DF. p. 425-444.

FINLAYSON, C.M.; VAN DER VALK, A.G. 1995. Wetland classification and inventory: A summary. *Vegetatio* 118:103-124.

FINLAYSON, CM, BEGG GW, HOWES J, DAVIES J, TAGI K & LOWRY J. 2002. A Manual for an Inventory of Asian Wetlands: Version 1.0. *Wetlands International Global Series* 10, Kuala Lumpur, Malaysia.

FRANÇA, A.M.S. *Função de pedotransferência para estimativa de estoques de carbono em solo de áreas de campo limpo úmido do Distrito Federal*. 2011. 144 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade de Brasília, Brasília. 2011.

GIULIETTI, A.M et al. 2004. *Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Disponível em https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/18267/1/Biodiversidade_Caatinga_parte_2.pdf

GODINHO, A. L.; POMPEU, P. S. A importância dos ribeirões para os peixes de piracema. In: GODINHO, H. P.; GODINHO, A. L. (Org.). *Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais*. Belo Horizonte: PUC Minas, 2003. p. 361-372

GOMES, C.S. *Bases teórico-conceituais e subsídios para a classificação hidrogeomorfológica das áreas úmidas em Minas Gerais*. 2017. 212f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

- GOMES, C.S; MAGALHÃES JR, A. Aparato conceitual sobre Áreas Úmidas (wetlands) no Brasil: desafios e opiniões de especialistas. *Boletim Goiano de Geografia*. 37. 484, 2017. 10.5216/bgg.v37i3.50767.
- GOMES, C.S; MAGALHÃES JR. 2020. Classes hidrogeomorfológicas de áreas úmidas em Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. v (21), n 2. 313-327. 10.20502/rbg.v21i2.1794, 2020.
- GONÇALVES, T.; SILVA, A.; COSTA, C.; TERRA, I.; BARRAL, U. 2002. Uma década de pesquisas nas turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional. *Revista Mineira de Recursos Hídricos*, v. 3, 29 jul. 2022.
- GROOT, R; WILSON, M; BOUMANS, R. 2002. A Typology for the Classification Description and Valuation of Ecosystem Functions, Goods and Services. *Ecol Econ*. 41. 10.1016/S0921-8009(02)00089-7.
- GUTIÉRREZ, A. (2012). *Metodología para la elaboración del mapa hidrogeomorfológico de la cuenca del río Asunción*. Tesis Maestría en Ciencias-Geología.
- HEIN, L; VAN KOPPEN, K; DE GROOT, R.S.; VAN IERLAND, E., 2006. Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. *Ecological Economics*, Elsevier, vol. 57(2), pages 209-228, May.
- HERMANN, A., SCHLEIFER, S., WRBKA, T. 2011. The concept of ecosystem services regarding landscape research: a review. *Living Rev. Landscape Res*. 5. Disponível em: <http://www.livingreviews.org/lrlr-2011-1>.
- Hibbeler, R. C. Resistência dos Materiais. 5a. Ed., Ed. Prentice Hall, São Paulo, Brasil. 2004.
- HORAK-TERRA, I.; TERRA, F.S. Solos de veredas: funções e potencialidades. *IRRIGANEWS - Boletim Informativo da Irriganor*, Unaí, p. 6, 21 nov. 2020.
- IBGE. 2004. *Vocabulário Básico de Recursos Naturais e Meio Ambiente* 2ª ed. Rio de Janeiro, Instituto brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv4730.pdf>
- IBGE. 2009. Manual técnico de geomorfologia. 2. ed. - Rio de Janeiro. IBGE, 2009. 182 p.
- IBGE. 2017. Unidades de relevo. In: IBGE, Atlas Nacional Digital do Brasil. Rio de Janeiro, IBGE. Disponível em https://www.ibge.gov.br/apps/atlas_nacional/
- IBGE. 2018. Biomas Continentais do Brasil. Disponível em https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/estudos_ambientais/biomas/documentos/Sintese_Descricao_Biomas.pdf
- IEF. 2019. Cobertura Vegetal do bioma Mata Atlântica. Disponível em <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/31b2fe8e-95b2-4804-a909-320e37a38c3b> .
- IEF. INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS. 2021. *Áreas prioritárias: estratégias para a conservação da biodiversidade e dos ecossistemas de Minas Gerais* / Realização, Instituto

Estadual de Florestas; Execução, Universidade Federal de Minas Gerais, WWF Brasil, Fundação Biodiversitas; Colaboração, Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável; Fundação Estadual do Meio Ambiente, Instituto Mineiro de Gestão das Águas. – Belo Horizonte: IEF, 2021. 162 p.; il

INGLETT, P. & REDDY, KONDA & CORSTANJE, RON. (2005). Anaerobic soils. *Encyclopedia of Soils in the Environment*. 72-78. 10.1016/B0-12-348530-4/00178-8.

IRGANG, B. E.; PEDRALLI, G.; WAECHTER, J. I. Macrófitas aquáticas da Estação Ecológica do Taim. *Roessleria*, v. 6, p.395-404, 1984.

JUNK, W.J, WANTZEN. K.M. The flood pulse concept: new aspects, approaches and applications - an update. In: WELCOMME, R. & PETR T, editor. Proc Second Int Symp Manag Large Rivers Fish. 2004. Bangkok: Food and Agriculture Organization and Mekong River Commission, FAO Regional Office for Asia and the Pacific; p. 117–149.

JUNK, W.J.; et al. (2013). Brazilian wetlands: Definition, delineation and classification for research, sustainable management and protection. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Environments*, 24(1): 5-22

KANDUS, P. Y MINOTTI, P. 2018. Propuesta de un marco conceptual y lineamientos metodológicos para el Inventario Nacional de Humedales. Informe final elaborado por solicitud del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. 3iA-UNSAM, 124 pp.

KARRA, K, *et al.* 2021. Global land use/land cover with Sentinel-2 and deep learning. IGARSS 2021-2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE, 2021.

LEITE, Laís Mascarenhas Sacchetto Nunes. *Implementação e efetividade da Convenção de Ramsar como ferramenta de conservação ambiental no mundo e no Brasil*. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre. Belo Horizonte, 2018.

LIMA, S. C. A preservação das Veredas para manutenção do equilíbrio hidrológico dos cursos d'água. In: *Encontro nacional de estudos sobre o meio ambiente*, 3., 1991, Londrina. *Anais*. Londrina: UEL/NEMA, 1991. p. 204-218

LOISELLE, S.A., BASTIANONI, S., BRACCHINI, L. ROSSI, C. 2004. Neotropical wetlands: new instruments in ecosystem management. *Wetlands Ecology and Management* 12, 587-596.

LUSETT, M.A.R; BARTORILA, M.A. Aportaciones de la forestación a la sostenibilidad urbana en ciudades tropicales. *Nova Scientia*. Nº 19, Vol. 9 (2), 2017. ISSN 2007 –0705, pp.: 528-550

MACHADO, M.F. *Geodiversidade do estado de Minas Gerais / Organização Marcelly Ferreira Machado [e] Sandra Fernandes da Silva*. — Belo Horizonte: CPRM, 2010. 131 p.

MARANESI, D.A. *Avaliação geoambiental em áreas de Cerrado no Triângulo Mineiro para implantação de pequenos reservatórios superficiais de água: aplicação na folha de Tupaciguara, MG (1:100.000) / Davi Alfredo Maranesi. – Rio Claro : [s.n.], 2002 141 f*

MARTINEZ, A.A. A.; RODRIGUEZ, J.M. 2015. Clasificación de humedales con enfoque de paisajes y su aplicación en el caso de la Provincia de Matanzas, Cuba. *Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas/MS – nº 22 – Ano 12, Novembro 2015.*

MARTINEZ, A.A. A.; RODRIGUEZ, J.M; HERNANDEZ, A.C. 2014. Los paisajes de humedales, marco conceptual y aspectos metodológicos para su estudio y ordenamiento. *Mercator*, Fortaleza, v. 13, n. 2, p. 169-191, mai./ago. 2014. DOI: 10.4215/RM2014.1302.0012. 2014.

MATTEUCCI, S. 1998. *La cuantificación de la estructura del paisaje*. En Matteucci SD (Ed), *Sistemas ambientales complejos: herramientas de análisis espacial*. Eudeba. Buenos Aires, Argentina, 271-291.

MAYDS, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. *Documento Marco para el desarrollo del Inventario Nacional de Humedales de Argentina*. 2020.

MAZZONI, E.; VÁZQUEZ, M 2004. Ecosistemas de mallines y paisajes de la Patagonia austral (provincia de santa cruz). Ediciones INTA. 64p.

MEIRELLES, M. L.; GUIMARÃES, A. J. M.; OLIVEIRA, R. C.; ARAÚJO, G. M.; RIBEIRO, J. F. 2004. Impactos sobre o estrato herbáceo de áreas úmidas do Cerrado. In: Aguiar, L. M. S.; Camargo, A. J. A., Ed., *Cerrado: Ecologia e Caracterização*, Planaltina, 41-69.

MINAS GERAIS (Estado). Lei Florestal Mineira nº 20.922, de 17 de outubro de 2013. Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado. *Publicação – Diário do Executivo – Minas Gerais 17 out. 2013.*

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Copam nº 217, de 06 de dezembro de 2017. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, bem como os critérios locacionais a serem utilizados para definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais no Estado de Minas Gerais e dá outras providências. *Publicação - Diário do Executivo - "Minas Gerais" – 08/12/2017.*

MITSCH WJ, GOSELINK JG. 2000. The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. *Ecol Econom.* 35:25–33. doi:10.1016/S0921-8009(00)00165-8

MITSCH WJ, GOSELINK JG. 2015. *Wetlands*. 5th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.

MITSCH, W. J.; GOSELINK, J. G. 2007. *Wetlands*. 4. ed. John Wiley e Sons. US. 582p.

MITSCH, W; BERNAL, B; HERNANDEZ, M.E. 2015. Ecosystem services of wetlands. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*. 11. 10.1080/21513732.2015.1006250.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Áreas Prioritárias para a Conservação, ou Áreas Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição dos Benefícios da Biodiversidade 2ª Atualização. 2019. Disponível em <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/conservacao-1/areas-prioritarias/2a-atualizacao-das-areas-prioritarias-para-conservacao-da-biodiversidade-2018>

MONTES, C.; BORJA, F.; BRAVO, M. A. Y MOREIRA, J. M. (1998). *Reconocimiento Biofísico de Espacios Naturales Protegidos. Doñana: Una Aproximación Ecosistémica*; CMA. Junta de Andalucía; Sevilla

MORAES, A. R. *Indicadores para a Caracterização de Serviços Ambientais de Áreas Úmidas. Estudo de Caso: a Área de Proteção Ambiental das Ilhas e Várzeas do Rio Paraná*. Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2011, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 180p.

NIVET, C. AND S. FRAZIER, 2004. CD edition: A Review of European Wetland Inventory Information, Taylor, A.R.D. and van Eerden, M. (eds.). Wetlands International.

NÓBREGA, P.F. *Aves aquáticas da área de proteção ambiental carste de lagoa santa: ecologia e conservação*. Tese de doutorado. UFMG. Belo Horizonte, 2015

NRC, National Research Council. *Wetlands: Characteristics and Boundaries*. National Academy Press: Washington, DC, 1995. 306 p.

NUNES, J.A. *Florística, Estrutura e Relações Solo- Vegetação em Gradiente Fitofisionômico sobre Canga, na Serra Sul, Flona Carajás - Pará*. 2009. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Botânica, Biologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa, MG, 2009.

OLIVEIRA FILHO, A. T.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; CARVALHO, L. M. T. (Coords.). 2006. Definição e delimitação de domínios e subdomínios das paisagens naturais do Estado de Minas Gerais. In: Scolforo, J. R. S. & Carvalho, L. M. T. (Eds.) *Mapeamento e inventário da flora*. 2006.

OLIVEIRA FILHO, A. T.; FURLEY, P. A. 1990. Monchão, cocuruto, murundu. *Ciência Hoje*. 11: 30-37.

OLIVEIRA, D.A. PIETRAFESA, J.P; DA SILVA BARBALHO, M.G. Manutenção da biodiversidade e o hotspot cerrado. *Caminhos de Geografia*, v. 9, n. 26, 2008.

OLIVEIRA, L.F.A. *Flora vascular dos campos rupestres: composição florística, esforço amostral e riqueza de espécies*. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal. 2017.

OLSON, D. M., et al. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth. *Bioscience* 51(11):933-938.

OMERNIK, J. M. Ecoregions of the Conterminous United States. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 77, n. 1, p. 118-125, 1987

PEDREIRA, G. & SOUSA, H.C. 2011. Comunidade arbórea de uma mancha florestal permanentemente alagada e de sua vegetação adjacente em Ouro Preto-MG, Brasil. *Cienc. Florest.* 21:663-675.

PEIXOTO, L.E. *Caracterização e perspectivas do Parque Estadual do Rio Doce – mg: uma abordagem a partir de imagens de sensoriamento remoto e fotografias hemisféricas de dossel*. Universidade Federal de Minas Gerais Instituto de Geociências Programa de Pós-Graduação Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais. Belo Horizonte 2012.

PEREIRA, A.F.S. *Florística, Fitossociologia e Relação Solo-Vegetação em Campo Rupestre Ferruginoso do Quadrilátero Ferrífero*, MG. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Botânica, Biologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa, MG, 97 f., 2010.

PEREIRA; T.T.C; FIGUEIREDO, L.P.S. 2018. Veredas do Triângulo Mineiro: estudos de solos e significância socioambiental. *Revista Geografia Acadêmica*. v. 12 n. 2.

PINTO, C.P; MARTINS-NETO, M.A. *Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais – SBG/MG*, Belo Horizonte, v.1, p. 9-30, 2001

PINTO, E. J. de A.; AZAMBUJA, A. M. S. de; FARIAS, J. A. M.; SALGUEIRO, J. P. de B.; PICKBRENNER, K. (Coords.). *Atlas pluviométrico do Brasil: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos*. Brasília: CPRM, 2011. Escala 1.5:000.000. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/publique///Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html> >

PIRES JÚNIOR, A.T. *Campos de murundus: bioturbação e evolução dos solos lateríticos aluminosos e da vegetação no Cerrado*. 2017. 36 f. Trabalho de conclusão de curso (Ecologia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Biociências (Campus de Rio Claro), 2017. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/156526>>.

PROJETO MAPBIOMAS – Coleção [7] da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil, acessado através do link: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR

POTT, V.J. & POTT, A. 2000. *Plantas aquáticas do Pantanal* 1ed. Corumbá, EMBRAPA.

RAMOS, M.L.S; PAIXÃO, M.M.O.M. 2015. *Disponibilidade hídrica de águas subterrâneas – produtividade de poços e reservas explotáveis dos principais sistemas aquíferos*. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio São Francisco.

RAMOS, M. V. V. et al. Veredas do Triângulo Mineiro: solos, água e uso. *Cienc Agrotec*, [s. l.], v. 30, p. 283-293, 2006.

RAMSAR, 1971. Convention on Wetlands of International Importance Especially as Waterfowl Habitat. Ramsar, 2.2.1971. Disponível em <
https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/scan_certified_e.pdf>

RAMSAR.,1990. La Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971) 4a. Reunión de la Conferencia de las Partes Contratantes Montreux, Suiza 27 de junio al 4 de julio de 1990. Recomendación 4.2: Criterios para la identificación de humedales de importancia internacional. Disponível em <
https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/key_rec_4.02s.pdf >

RAMSAR. 2000. Notas informativas sobre los valores y las funciones de los humedales. Mitigación del cambio climático. Hoja informativa n°5 2000.

RAMSAR. 2015. Estado de los humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas: una recopilación de análisis recientes. Nota Informativa Ramsar 7.

RAMSAR. 2018. Convención de Ramsar sobre los Humedales. (2018). Perspectiva mundial sobre los humedales: Estado de los humedales del mundo y sus servicios a las personas. Gland (Suiza). Secretaría de la Convención de Ramsar. 2022 update.

RAMSAR. 2021. Perspectiva mundial sobre los humedales: Edición especial de 2021. Gland (Suiza): Secretaría de la Convención sobre los Humedales.

RAMSAR. 2022. Strategic Framework and guidelines for the future development of the List of Wetlands of International Importance of the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran, 1971). 2022 update.

RAMSAR.2018. Ampliar la conservación, el uso racional y la restauración de los humedales para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible. 2018. Disponível em:
 <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/wetlands_sdgs_s.pdf>. Acesso em: 23/11/2021.

REDDY, K. R; DELAUNE, R.D. *Biogeochemistry of Wetlands: Science and Applications*. CRP PRESS. 2008. 800p.

RESENDE, I.L.M.; ARAÚJO, G.M.; OLIVEIRA. A.P.A.; OLIVEIRA, A.P.; JÚNIOR, R.S.A. A comunidade vegetal e as características abióticas de um campo de murundu em Uberlândia, MG. *Acta bot. bras.* v.18, n.1, p.9-17. 2004.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. 2008.As principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, Sueli Matiko; ALMEIDA, Semíramis Pedrosa de; RIBEIRO, José Felipe (Org.). *Cerrado: ecologia e flora*. Brasília: Embrapa, 2008. Cap. 6, p. 151-212.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. 1998. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S. M.; Almeida, S. P. *Cerrado: ambiente e flora*. Planaltina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - CPAC, 1998. p. 89-166.

- ROSOLEN, Vania; DE OLIVEIRA, Diego Alves; BUENO, Guilherme Taitson. Vereda and Murundu wetlands and changes in Brazilian environmental laws: challenges to conservation. *Wetlands ecology and management*, v. 23, n. 2, p. 285-292, 2015.
- SANSONE, E. CÉSAR. 2014. Porosidade das Rochas. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
- SANTOS, E.V *et al.*, 2021. Análise da legislação ambiental brasileira para proteção das veredas. *Revista de Geografia (Recife)*. v. 38, n. 1. 2021.
- SANTOS, P.F; LUZ, L.D. Lagoas marginais e sua importância para conservação da biodiversidade – relação com alterações hidrológicas. *XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. 2009. Disponível em <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=3&ID=110&SUMARIO=1923>
- M. SCHEFFER, et al. Small habitat size and isolation can promote species richness: second-order effects on biodiversity in shallow lakes and ponds. *Advancing Ecology*. Volume 112, Issue 1. January 2006
- SCHNEIDER, M. O.; SILVA, D. B. Estrutura Pedológica e Dinâmica Hídrica do “Covoal” do Córrego da Fortaleza. Uberlândia. *Revista Sociedade & Natureza*, Ano 3 – n. 56, p. 75-89. 1991.
- SCOLFORO, J.R.S; CARVALHO, L.M.T. 2006. *Mapeamento e inventário da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais*. Lavras: UFLA, 2006. 288 p.
- SCOLFORO, J.R.S; CARVALHO, L.M.T; OLIVEIRA, A.D.(Ed.). 2008. *Inventário florestal de Minas Gerais: monitoramento dos reflorestamentos e tendências da produção em volume, peso de matéria seca e carbono, 2005 -2007*. Lavras, MG: Ed. UFLA, 2008. 150 p.
- SCOTT, D. A.; JONES T. A. Classification and inventory of wetlands: A global overview. *Vegetatio*, v.118, n.1-2, p 3-16, 1995. <https://doi.org/10.1007/BF00045186>.
- SEMENIUK, C.A.; SEMENIUK, V. A geomorphic approach to global classification for inland wetlands. *Vegetatio* 118: 103–124. 1995.
- SETUBAL, R.B. *et al.*, 2018. Uma poça de diversidade. *Acervo Revistas Ciência Hoje*. Janeiro/Fevereiro 2016 [CH 333]. <https://cienciahoje.org.br/artigo/uma-poca-de-diversidade/>
- SILVA, A.C. et al. *Florestas inundáveis: ecologia, florística e adaptações das espécies* / Ana Carolina da Silva ... [et al.]. Lavras: Ed. UFLA, 2012.
- SOARES, D.M., 2016. *Regeneração natural, relações ambientais e invasão biológica em duas veredas do Triângulo Mineiro* / Danúbia Magalhães Soares. - 2016. 93 f.
- SOPHOCLEOUS, M. (2002) Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. *Hydrogeology Journal* (2002) 10: 52–67. DOI 10.1007/s10040-001- 0170-8
- SOPHOCLEOUS, M. (2009) Relationships between Groundwater and Surface Water in the Prairie Wetlands of North America. IAH-Spanish Chapter, Zaragoza, Spain, October 2009

SOUZA et al. 2020. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine - *Remote Sensing*, Volume 12, Issue 17, 10.3390/rs12172735.

SOUZA, Sergio Menin Teixeira de (Ed) – Disponibilidades Hídricas Subterrâneas no Estado de Minas Gerais/Sergio Menin Teixeira de Souza. - Belo Horizonte: Hidrosistemas, 1995. 525 p.

STENERT, C. Proteção da biodiversidade. 2013. Novos cenários. IHU online. *Revista do Instituto Humanitas Unisinos*. Edição 433. 02 dezembro. 2013. Disponível em <<https://www.ihuonline.unisinos.br/artigo/5292-cristina-stenert> >

TANNUS, J.L.S. 2007. Estudo da vegetação dos campos úmidos de cerrado: aspectos florísticos e ecológicos / João Luis Sanches Tannus. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro. Rio Claro: [s.d.], 138f. 2007.

TERROR, V.L. *et al.*, 2011. Produção, decomposição e qualidade nutricional da serapilheira foliar em uma floresta paludosa de altitude. *Artigos Acta Bot. Bras.* 25 (1). Mar 2011 <https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000100014>.

THEOBALD, D. M., HARRISON-ATLAS, D., MONAHAN, W. B., & ALBANO, C. M. (2015). Ecologically-relevant maps of landforms and physiographic diversity for climate adaptation planning. *PloS one*, 10(12), e0143619

TIMO, M.B. *Identificação, caracterização e zoneamento do patrimônio geomorfológico da região cárstica Arcos-Pains, Minas Gerais*. Tese (doutorado em Geografia) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

TINER, R.W. 2017. Wetlands Indicators. A Guide to Wetland formation, identification. CRC Press. 219 p.

TINER, R.W. Wetland Indicators: A Guide to Wetland Identification, Delineation, Classification, and Mapping. Boca Raton: CRC Press LLC. 1999. 418 p.

TRICK, Th. 1998. *Impacto de las extracciones de agua subterrenea en Doñana: aplicación de un modelo numérico con consideración de la variabilidad de la recarga*. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. Tesis Doctoral.

VALERIANO, M.M. TOPODATA. Guia de utilização de dados geomorfométricos locais. INPE, Sao José dos Campos. 2008.

VAN BEEK, C.L., HEINEN, M. & CLEVERING, O.A. Reduced nitrate concentrations in shallow ground water under a non-fertilised grass buffer strip. *Nutr Cycl Agroecosyst* 79, 81–91 (2007). <https://doi.org/10.1007/s10705-007-9098-2>

VASCONCELOS, V. V. Campos de Altitude, Campos Rupestres e aplicação da lei da mata atlântica: Estudo Prospectivo para o estado de Minas Gerais In: *Bol. de Geografia*, vol. 32, n. 2, p. 110-133, Maringá, mai. -ago. 2014.

WAHLROOS, O et al. 2015. Urban wetland parks in Finland: improving water quality and creating endangered habitats, *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 11:1, 46-60, DOI: 10.1080/21513732.2015.1006681

WATTAGE, P., MARDLE, S. 2007. “otal economic value of wetland conservation in Sri Lanka identifying use and non-use values. *Wetlands Ecology and Management* DOI 10.1007/s11273 -007-9073-3

XIMENES, A.C.; AMARAL, S.; VALERIANO, D.M. 2011.O conceito de ecorregião e os métodos utilizados para o seu mapeamento. *Geografia*. v. 35 n. 1 (2010).

XU, X; CHEN, M; YANG, G; JIANG,B; ZHANG,J.. Wetland ecosystem services research: A critical review. *Global Ecology and Conservation*. Volume 22, June 2020, e01027. Disponível em < <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01027>>

ZARDO, D.C. *Qualidade da água e estrutura taxonômica e funcional de macroinvertebrados em áreas úmidas com colônias de nidificação de aves aquáticas no sul do Brasil* / Daniela Cristina Zardo. – 2019. Tese (doutorado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Biologia, 2019.

**APÊNDICE – Principais classes resultantes da combinação dos níveis 1 e 2 (N1N2) das
AUs**

Nume- ração	G1 (Geomorfologia)	G2 (Geomorfologia)	A1 (Aquífero)	A2 (Aquífero)	P1 (Pluviosidade)	DH2 (Déficit Hídrico)	B1 (Bioma)	E2 (Ecorregião)	N1 (Nível 1)	N2 (Nível 2)	% do total de AUs
1	0115 Relevos ondulados e dissecados das bacias dos rios Paranaíba e Grande	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0203 Aquíferos areníticos	05 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0115 0203 0302 0401	06 05 01 01	12,9%
2	0110 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	0203 Aquíferos areníticos	10 Granular/fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0110 0203 0302 0401	08 10 01 01	6,4%
3	0104 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	0203 Aquíferos areníticos	05 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0104 0203 0302 0401	05 05 01 01	4,5%
4	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	01 Planícies Fluviais ou fluviolacustres- Zero - 0 a 3°	0201 Aquíferos granulares aluvionares	03 Granular; Não dobrada; Ausente; Poros. Alta - (>30%); Não se aplica	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0101 0201 0303 0401	01 03 03 01	4,2%
5	0115 Relevos ondulados e dissecados das bacias dos rios Paranaíba e Grande	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0204 Aquíferos de rochas vulcânicas	20 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0115 0204 0302 0401	06 20 01 01	3,6%
6	0115 Relevos ondulados e dissecados das bacias dos rios Paranaíba e Grande	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0203 Aquíferos areníticos	05 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0115 0203 0302 0401	06 05 02 01	3,3%
7	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	10 Tabuleiros- 20 a 50 metros - 0 a 3°	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável na vertical	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0107 0202 0302 0401	10 02 02 01	3,3%

8	0110 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	0203 Aquíferos areníticos	10 Granular/fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0110 0203 0301 0401	08 10 01 01	2,9%
9	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvacas e calcários	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0112 0206 0302 0401	06 14 02 01	1,9%
10	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	17 Escarpas Serranas- 300 a 2.000 metros - 25 a 60°	0207 Aquíferos carbonáticos	17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0112 0207 0302 0401	17 17 02 01	1,7%
11	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	11 Tabuleiros Dissecados- 20 a 50 metros - 0 a 3°	0203 Aquíferos areníticos	06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0107 0203 0303 0401	11 06 03 01	1,6%
12	0104 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	0204 Aquíferos de rochas vulcânicas	20 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0402 Bioma Mata Atlântica	05 Bioma Mata Atlântica	0104 0204 0301 0402	05 20 01 05	1,4%
13	0104 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	0203 Aquíferos areníticos	05 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0104 0203 0302 0401	05 05 02 01	1,3%
14	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	09 Chapadas e Platôs- 0 a 20 metros - 0 a 5°	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável na vertical	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0107 0202 0302 0401	09 02 02 01	1,2%
15	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	12 Vales Encaixados- 100 a 300 metros - 10 a 25(>.45)	0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0107 0206 0302 0401	12 14 02 01	1,1%

			arenitos, grauvacas e calcários	fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso		mm e 300 mm ao ano					
16	0110 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	0204 Aquíferos de rochas vulcânicas	20 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0110 0204 0302 0401	08 20 01 01	1,1%
17	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0203 Aquíferos areníticos	06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0112 0203 0303 0401	06 06 02 01	1,1%
18	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	0203 Aquíferos areníticos	06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0101 0203 0302 0401	05 06 02 01	1,0%
19	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0203 Aquíferos areníticos	06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0112 0203 0303 0401	06 06 03 01	1,0%
20	0118 Domínio da Serra do Espinhaço	16 Montanhoso- 300 a 2.000 metros - 25 a 45°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	12 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	04 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca e Campo Rupestre	0118 0205 0303 0401	16 12 02 04	1,0%
21	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	01 Planícies Fluviais ou fluviolacustres- Zero - 0 a 3°	0201 Aquíferos granulares aluvionares	03 Granular; Não dobrada; Ausente; Poros. Alta - (>30%); Não se aplica	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	02 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca	0101 0201 0303 0401	01 03 03 02	0,9%
22	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	10 Tabuleiros- 20 a 50 metros - 0 a 3°	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável na vertical	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0107 0202 0303 0401	10 02 03 01	0,9%

23	0104 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°	0204 Aquíferos de rochas vulcânicas	20 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0402 Bioma Mata Atlântica	05 Bioma Mata Atlântica	0104 0204 0302 0402	04 20 01 05	0,9%
24	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvas e calcários	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0101 0206 0303 0401	05 14 03 01	0,9%
25	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvas e calcários	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0101 0206 0302 0401	05 14 02 01	0,9%
26	0104 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	0204 Aquíferos de rochas vulcânicas	20 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0402 Bioma Mata Atlântica	05 Bioma Mata Atlântica	0104 0204 0302 0402	05 20 01 05	0,9%
27	0104 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	13 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0104 0205 0302 0401	05 13 02 01	0,8%
28	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	13 Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos- 50 a 200 metros - 10 a 25°	0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvas e calcários	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0112 0206 0302 0401	13 14 02 01	0,7%
29	0110 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande	09 Chapadas e Platôs- 0 a 20 metros - 0 a 5°	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável na vertical	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0110 0202 0302 0401	09 02 02 01	0,7%

30	0118 Domínio da Serra do Espinhaço	09 Chapadas e Platôs- 0 a 20 metros - 0 a 5°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	12 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	03 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre	0118 0205 0303 0401	09 12 03 03	0,7%
31	0110 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável na vertical	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0110 0202 0302 0401	08 02 01 01	0,7%
32	0104 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	0203 Aquíferos areníticos	10 Granular/fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0104 0203 0301 0401	05 10 01 01	0,6%
33	0115 Relevos ondulados e dissecados das bacias dos rios Paranaíba e Grande	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	15 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0115 0205 0301 0401	06 15 01 01	0,6%
34	0104 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	0204 Aquíferos de rochas vulcânicas	20 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0402 Bioma Mata Atlântica	05 Bioma Mata Atlântica	0104 0204 0302 0402	05 20 02 05	0,6%
35	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	07 Morros e de Serras Baixas- 80 a 200 metros - 15 a 35°	0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvacas e calcários	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0112 0206 0302 0401	07 14 02 01	0,6%
36	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvacas e calcários	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0107 0206 0303 0401	08 14 03 01	0,6%

37	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°	0207 Aquíferos carbonáticos	17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	02 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca	0101 0207 0303 0401	04 17 03 02	0,6%
38	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	0203 Aquíferos areníticos	06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0101 0203 0303 0401	05 06 03 01	0,6%
39	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	12 Vales Encaixados- 100 a 300 metros - 10 a 25(>.45)	0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvacas e calcários	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0107 0206 0303 0401	12 14 03 01	0,6%
40	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°	0203 Aquíferos areníticos	10 Granular/fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0101 0203 0303 0401	04 10 03 01	0,5%
41	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	17 Escarpas Serranas- 300 a 2.000 metros - 25 a 60°	0207 Aquíferos carbonáticos	17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0112 0207 0303 0401	17 17 03 01	0,5%
42	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	0207 Aquíferos carbonáticos	17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0101 0207 0302 0401	05 17 01 01	0,5%
43	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	01 Planícies Fluviais ou fluviolacustres- Zero - 0 a 3°	0201 Aquíferos granulares aluvionares	03 Granular; Não dobrada; Ausente; Poros. Alta - (>30%); Não se aplica	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0101 0201 0303 0401	01 03 02 01	0,5%
44	0115 Relevos ondulados e dissecados das bacias dos rios Paranaíba e Grande	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	24 Fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa -	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0115 0205 0302 0401	06 24 02 01	0,5%

				(0 a 15%); Variável de arenoso a argilo-siltoso							
45	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	0203 Aquíferos areníticos	06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0107 0203 0303 0401	08 06 03 01	0,5%
46	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0208 Aquíferos de rochas do embasamento cristalino	31 Fissural; Intensamente dobrada; Zonas de cisalhamento; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0112 0208 0302 0401	06 31 01 01	0,5%
47	0110 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande	12 Vales Encaixados- 100 a 300 metros - 10 a 25(>.45)	0204 Aquíferos de rochas vulcânicas	20 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0110 0204 0302 0401	12 20 01 01	0,5%
48	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	13 Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos- 50 a 200 metros - 10 a 25°	0203 Aquíferos areníticos	06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0112 0203 0303 0401	13 06 03 01	0,4%
49	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	03 Superfícies Aplainadas Conservadas- 0 a 10 metros - 0 a 5°	0207 Aquíferos carbonáticos	17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0101 0207 0302 0401	03 17 02 01	0,4%
50	0113 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio Doce	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0208 Aquíferos de rochas do embasamento cristalino	31 Fissural; Intensamente dobrada; Zonas de cisalhamento; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0402 Bioma Mata Atlântica	05 Bioma Mata Atlântica	0113 0208 0302 0402	06 31 02 05	0,4%
51	0104 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°	0207 Aquíferos carbonáticos	17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0104 0207 0302 0401	04 17 01 01	0,4%
52	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0207 Aquíferos carbonáticos	17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada;	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0112 0207 0301 0401	06 17 01 01	0,4%

				Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso		150 mm ao ano					
53	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°	0203 Aquíferos areníticos	06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0101 0203 0303 0401	04 06 03 01	0,4%
54	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°	0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvacas e calcários	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	02 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca	0101 0206 0303 0401	04 14 03 02	0,4%
55	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	0203 Aquíferos areníticos	06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0107 0203 0303 0401	08 06 02 01	0,4%
56	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	11 Tabuleiros Dissecados- 20 a 50 metros - 0 a 3°	0203 Aquíferos areníticos	06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0107 0203 0303 0401	11 06 02 01	0,4%
57	0118 Domínio da Serra do Espinhaço	16 Montanhoso- 300 a 2.000 metros - 25 a 45°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	12 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	03 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre	0118 0205 0302 0401	16 12 02 03	0,3%
58	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	12 Vales Encaixados- 100 a 300 metros - 10 a 25(>.45)	0207 Aquíferos carbonáticos	17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0107 0207 0303 0401	12 17 03 01	0,3%
59	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0107 0206 0303 0401	08 14 02 01	0,3%

			arenitos, grauvacas e calcários	- (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso							
60	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	0203 Aquíferos areníticos	06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0107 0203 0302 0401	08 06 02 01	0,3%
61	0110 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	13 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0110 0205 0302 0401	08 13 02 01	0,3%
62	0115 Relevos ondulados e dissecados das bacias dos rios Paranaíba e Grande	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	24 Fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0115 0205 0301 0401	06 24 01 01	0,3%
63	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	01 Planícies Fluviais ou fluviolacustres- Zero - 0 a 3°	0201 Aquíferos granulares aluvionares	03 Granular; Não dobrada; Ausente; Poros. Alta - (>30%); Não se aplica	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0101 0201 0302 0401	01 03 01 01	0,3%
64	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	10 Tabuleiros- 20 a 50 metros - 0 a 3°	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável na vertical	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0107 0202 0302 0401	10 02 01 01	0,3%
65	0118 Domínio da Serra do Espinhaço	16 Montanhoso- 300 a 2.000 metros - 25 a 45°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	12 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0118 0205 0302 0401	16 12 02 01	0,3%
66	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	13 Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos- 50 a 200 metros - 10 a 25°	0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvacas e calcários	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0112 0206 0303 0401	13 14 03 01	0,3%

67	0104 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	15 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0104 0205 0302 0401	04 15 02 01	0,3%
68	0119 Domínio da Serra da Canastra	07 Morros e de Serras Baixas- 80 a 200 metros - 15 a 35°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	13 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0119 0205 0301 0401	07 13 01 01	0,3%
69	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauwacas e calcários	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0107 0206 0302 0401	08 14 02 01	0,3%
70	0102 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do Rio Doce	01 Planícies Fluviais ou fluviolacustres- Zero - 0 a 3°	0201 Aquíferos granulares aluvionares	03 Granular; Não dobrada; Ausente; Poros. Alta - (>30%); Não se aplica	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0402 Bioma Mata Atlântica	05 Bioma Mata Atlântica	0102 0201 0302 0402	01 03 02 05	0,3%
71	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	03 Superfícies Aplainadas Conservadas- 0 a 10 metros - 0 a 5°	0208 Aquíferos de rochas do embasamento cristalino	31 Fissural; Intensamente dobrada; Zonas de cisalhamento; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0101 0208 0303 0401	03 31 03 01	0,3%
72	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável na vertical	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0107 0202 0302 0401	08 02 02 01	0,3%
73	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	10 Tabuleiros- 20 a 50 metros - 0 a 3°	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável na vertical	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	02 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca	0107 0202 0303 0401	10 02 03 02	0,3%
74	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0207 Aquíferos carbonáticos	17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%);	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0112 0207 0302 0401	06 17 02 01	0,3%

				Predominantemente argiloso		mm e 300 mm ao ano					
75	0116 Relevos ondulados e dissecados do Sul de Minas	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0208 Aquíferos de rochas do embasamento cristalino	27 Fissural; Intensamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0116 0208 0302 0401	06 27 01 01	0,3%
76	0110 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande	12 Vales Encaixados- 100 a 300 metros - 10 a 25(>.45)	0204 Aquíferos de rochas vulcânicas	20 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0110 0204 0301 0401	12 20 01 01	0,3%
77	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	13 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0101 0205 0302 0401	04 13 02 01	0,3%
78	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável na vertical	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0101 0202 0303 0401	05 02 02 01	0,3%
79	0105 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias do Sul de Minas	01 Planícies Fluviais ou fluviolacustres- Zero - 0 a 3°	0201 Aquíferos granulares aluvionares	03 Granular; Não dobrada; Ausente; Poros. Alta - (>30%); Não se aplica	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0105 0201 0302 0401	01 03 01 01	0,2%
80	0104 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	0204 Aquíferos de rochas vulcânicas	20 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0104 0204 0302 0401	05 20 01 01	0,2%
81	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	13 Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos- 50 a 200 metros - 10 a 25°	0203 Aquíferos areníticos	06 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0112 0203 0303 0401	13 06 02 01	0,2%
82	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves	01 Planícies Fluviais ou fluviolacustres- Zero - 0 a 3°	0201 Aquíferos granulares aluvionares	03 Granular; Não dobrada; Ausente; Poros. Alta - (>30%); Não se aplica	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0101 0201 0302 0401	01 03 02 01	0,2%

	da Depressão do São Francisco					mm e 300 mm ao ano					
83	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	13 Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos- 50 a 200 metros - 10 a 25°	0208 Aquíferos de rochas do embasamento cristalino	31 Fissural; Intensamente dobrada; Zonas de cisalhamento; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	02 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca	0112 0208 0303 0401	13 31 03 02	0,2%
84	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0208 Aquíferos de rochas do embasamento cristalino	31 Fissural; Intensamente dobrada; Zonas de cisalhamento; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0112 0208 0302 0401	06 31 02 01	0,2%
85	0104 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	24 Fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0104 0205 0302 0401	05 24 01 01	0,2%
86	0109 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacias do Leste e do rio Pardo	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável na vertical	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0109 0202 0303 0401	08 02 03 01	0,2%
87	0116 Relevos ondulados e dissecados do Sul de Minas	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0208 Aquíferos de rochas do embasamento cristalino	31 Fissural; Intensamente dobrada; Zonas de cisalhamento; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0116 0208 0302 0401	06 31 01 01	0,2%
88	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°	0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvacas e calcários	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0101 0206 0303 0401	04 14 03 01	0,2%
89	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	09 Chapadas e Platôs- 0 a 20 metros - 0 a 5°	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável na vertical	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0107 0202 0303 0401	09 02 02 01	0,2%
90	0115 Relevos ondulados e dissecados das bacias dos rios Paranaíba e Grande	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0203 Aquíferos areníticos	10 Granular/fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta -	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0115 0203 0301 0401	06 10 01 01	0,2%

				(>30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso							
91	0118 Domínio da Serra do Espinhaço	16 Montanhoso- 300 a 2.000 metros - 25 a 45°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	13 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	03 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Campo Rupestre	0118 0205 0302 0401	16 13 01 03	0,2%
92	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável na vertical	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0107 0202 0303 0401	08 02 03 01	0,2%
93	0116 Relevos ondulados e dissecados do Sul de Minas	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	24 Fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0116 0205 0301 0401	06 24 01 01	0,2%
94	0110 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	0203 Aquíferos areníticos	05 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0110 0203 0302 0401	08 05 01 01	0,2%
95	0118 Domínio da Serra do Espinhaço	09 Chapadas e Platôs- 0 a 20 metros - 0 a 5°	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável na vertical	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0118 0202 0303 0401	09 02 03 01	0,2%
96	0110 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande	12 Vales Encaixados- 100 a 300 metros - 10 a 25(>.45)	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	24 Fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0402 Bioma Mata Atlântica	05 Bioma Mata Atlântica	0110 0205 0302 0402	12 24 02 05	0,2%
97	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	11 Tabuleiros Dissecados- 20 a 50 metros - 0 a 3°	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável na vertical	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0107 0202 0303 0401	11 02 03 01	0,2%
98	0110 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande	08 Planaltos e Baixos Platôs- 20 a 50 metros - 0 a 5°	0205 Aquíferos das rochas	13 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0110 0205 0301 0401	08 13 01 01	0,2%

			metassedimentares e metavulcânicas	moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso		150 mm ao ano						
99	0115 Relevos ondulados e dissecados das bacias dos rios Paranaíba e Grande	07 Morros e de Serras Baixas- 80 a 200 metros - 15 a 35°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	15 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Predominantemente argilo-siltico-arenoso	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0115 0205 0301 0401	07 15 01 01	0,2%	
100	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	12 Vales Encaixados- 100 a 300 metros - 10 a 25(>.45)	0207 Aquíferos carbonáticos	17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0107 0207 0302 0401	12 17 02 01	0,2%	
101	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°	0206 Aquíferos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de arenitos, grauvacas e calcários	14 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0101 0206 0302 0401	04 14 02 01	0,2%	
102	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	04 Superfícies Aplainadas Degradadas- 10 a 30 metros - 0 a 5°	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável na vertical	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0101 0202 0302 0401	04 02 02 01	0,2%	
103	0110 Chapadas, Patamares e Platôs das bacias dos rios Paranaíba e Grande	09 Chapadas e Platôs- 0 a 20 metros - 0 a 5°	0203 Aquíferos areníticos	11 Granular/fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0110 0203 0301 0401	09 11 01 01	0,1%	
104	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável na vertical	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0101 0202 0302 0401	05 02 02 01	0,1%	
105	0118 Domínio da Serra do Espinhaço	16 Montanhoso- 300 a 2.000 metros - 25 a 45°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	13 Granular/fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%);	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	04 Bioma Cerrado com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca e Campo Rupestre	0118 0205 0303 0401	16 13 02 04	0,1%	

				Predominantemente argilo-siltico-arenoso							
106	0107 Chapadas, Patamares e Platôs da Bacia do rio São Francisco	10 Tabuleiros- 20 a 50 metros - 0 a 3°	0202 Aquíferos granulares detríticos ou detrítico lateríticos	02 Granular; Ausente; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Variável - (0 a >30%); Variável na vertical	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0107 0202 0302 0401	10 02 03 01	0,1%
107	0112 Relevos ondulados e dissecados da Bacia do Rio São Francisco	06 Colinas Dissecadas e Morros Baixos- 30 a 80 metros - 5 a 20°	0207 Aquíferos carbonáticos	17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0303 Pluviosidade variando de 900 a 1200 mm ao ano	03 Déficit hídrico entre 300 e 500 mm ao ano	0403 Bioma Caatinga	08 Bioma Caatinga com possibilidade alta de ocorrência de Mata Seca	0112 0207 0303 0403	06 17 03 08	0,1%
108	0101 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves da Depressão do São Francisco	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	0207 Aquíferos carbonáticos	17 Cárstico; Pouco a moderadamente dobrada; Intensamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	02 Déficit hídrico entre 150 mm e 300 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0101 0207 0302 0401	05 17 02 01	0,1%
109	0104 Domínio das Depressões, superfícies aplainadas e colinas suaves das bacias dos rios Paranaíba e Grande	05 Colinas Amplas e Suaves- 20 a 50 metros - 3 a 10°	0203 Aquíferos areníticos	05 Granular; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Alta - (>30%); Predominantemente arenoso	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0402 Bioma Mata Atlântica	05 Bioma Mata Atlântica	0104 0203 0301 0402	05 05 01 05	0,1%
110	0115 Relevos ondulados e dissecados das bacias dos rios Paranaíba e Grande	13 Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos- 50 a 200 metros - 10 a 25°	0204 Aquíferos de rochas vulcânicas	20 Fissural; Não dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Predominantemente argiloso	0302 Pluviosidade variando de 1200 a 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0402 Bioma Mata Atlântica	05 Bioma Mata Atlântica	0115 0204 0302 0402	13 20 01 05	0,1%
111	0116 Relevos ondulados e dissecados do Sul de Minas	07 Morros e de Serras Baixas- 80 a 200 metros - 15 a 35°	0205 Aquíferos das rochas metassedimentares e metavulcânicas	24 Fissural; Pouco a moderadamente dobrada; Pouco a moderadamente fraturada; Poros. Baixa - (0 a 15%); Variável de arenoso a argilo-siltoso	0301 Pluviosidade acima de 1500 mm ao ano	01 Déficit hídrico até 150 mm ao ano	0401 Bioma Cerrado	01 Bioma Cerrado	0116 0205 0301 0401	07 24 01 01	0,1%