

Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental

Amanda Oliveira Lima

**DINÂMICA DO USO E COBERTURA DO SOLO SOBRE A ÁREA DE PROTEÇÃO  
AMBIENTAL VARGEM DAS FLORES E ALTERAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA  
DO RESERVATÓRIO.**

Bambuí - MG

Agosto/2018

Amanda Oliveira Lima

**DINÂMICA DO USO E COBERTURA DO SOLO SOBRE A ÁREA DE PROTEÇÃO  
AMBIENTAL VARGEM DAS FLORES E ALTERAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA  
DO RESERVATÓRIO.**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - IFMG, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.

Área de concentração: Ciências Ambientais.

Linha de Pesquisa: Planejamento e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Jairo Rodrigues da Silva.

Coorientador: Prof. Dr. Hygor Aristides Victor Rossoni.

Bambuí - MG

Agosto/2018



## FICHA DE APROVAÇÃO


Dissertação de Mestrado, intitulada "*Avanço do Uso e Cobertura do Solo Sobre a Área de Proteção Ambiental Vargem das Flores e seus Reflexos Sobre a Qualidade da Água*", de autoria da mestranda em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental Amanda Oliveira Lima, aprovada pela Banca Examinadora de Defesa, em 18/08/2018, com a média de pontuação de 83,6.


Título do Trabalho – houve alteração (X) Sim ( ) Não

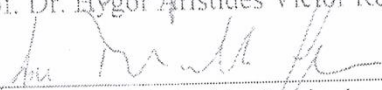
Se sim, qual o título Dinâmica do uso e cobertura do solo sobre a área de Proteção Ambiental Vargem das Flores e alterações na qualidade da água do Reservatório


Ouro Preto (MG), 18 de agosto de 2018.

  
Prof. Dr. Jairo Rodrigues Silva – Orientador (IFMG/Ouro Preto)

  
Prof.ª. Dra. Ariana Cristina Santos Almeida (IFMG/Ouro Preto)

  
Prof. Dr. Hygor Aristides Vieira Rossoni (UFV/Florestal)

  
Prof. Dr. José Marinaldo Gleriani - membro externo (UFV)

  
Prof.ª. Dra. Simone Magela Moreira (IFMG/Bambuí)  
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do IFMG – Campus Bambuí

## FICHA CATALOGRÁFICA

L732d Lima, Amanda Oliveira.

Dinâmica do uso e cobertura do solo sobre a área de proteção ambiental vargem das flores e alterações na qualidade da água do reservatório. / Amanda Oliveira Lima. – Ouro Preto, 2018.

83 f.; il.; color.

Orientador: Prof. Dr. Jairo Rodrigues da Silva.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Curso Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, 2018.

1. Índice de estado trófico. 2. Manancial de abastecimento. 3. Reservatório. I. Silva, Jairo Rodrigues da. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG. III. Título.

CDD 631.47

*Dedico este trabalho à minha família, especialmente  
as minhas filhas Beatriz e Gabriela. Amo vocês!*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por me conceder a vida e pela oportunidade de crescimento constante, seja através dos estudos ou pela convivência com as pessoas;

Aos meus pais, Marilda e Lima, pelo apoio incondicional e por sempre me incentivar com os estudos;

A minha irmã Paula, pela paciência e pelas horas de dedicação as sobrinhas. Sem você a conclusão deste trabalho não seria possível!

Ao meu orientador Professor Dr. Jairo Rodrigues Silva, pelo apoio e orientação;

Ao meu coorientador Professor Dr. Hygor Aristides Victor Rossoni, pela dedicação, pelo apoio e por todo esforço atribuído ao meu estudo. Suas revisões foram fundamentais!

Aos amigos da Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Betim, pelo incentivo, pelos empréstimos de livros e por me fazer acreditar que a conclusão deste trabalho seria possível, apesar das dificuldades;

Aos colegas do mestrado, pela troca de experiências, pela motivação, por diversas ajudas e por compartilhar momentos de alegria e tristeza durante as viagens a Bambuí e Ouro Preto;

A minha família Oliveira e Lima, pela união, confiança e apoio;

Aos grandes amigos, pelo apoio e pela amizade;

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para realização deste trabalho.

“Não sou do tamanho da minha altura,  
mas da estatura daquilo que posso ver ”

(Fernando Pessoa)

## RESUMO

O reservatório de Vargem das Flores, um dos principais mananciais de abastecimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte, está localizado na Área de Proteção Ambiental (APA) Vargem das Flores, na divisa dos municípios de Contagem e Betim/MG. Atualmente o reservatório recebe um aporte de nutrientes provenientes, principalmente, do lançamento de efluentes sanitários e industriais que são gerados em decorrência do processo de urbanização e do desenvolvimento de atividades industriais na bacia hidrográfica no qual está inserido. Diante dessa problemática, o presente estudo objetivou analisar a influência do uso e cobertura do solo sobre a qualidade da água no reservatório, a partir da aplicação do Índice de Estado Trófico (IET). Para isso, foram obtidas imagens dos satélites TM/Landsat 5 e OLI/Landsat 8, que passaram por processo de classificação supervisionada de modo a se obter mapas de uso e cobertura do solo dos anos de 1986, 1996, 2006 e 2016. A determinação do estado trófico do reservatório baseou-se em amostras coletadas pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) nos anos de 1991, 1993 e 2006 a 2016, em 4 estações de monitoramento. Os resultados indicaram que a urbanização foi a classe que teve maior crescimento dentro da APA, registrando um aumento de mais de 67% ao longo de quatro décadas e que o espelho d'água do reservatório registrou uma diminuição de mais de 30%. Após a aplicação do IET foi possível verificar uma predominância do estado “mesotrófico” ( $54,2 < \text{IET} < 58,8$ ) até o ano de 2014. No entanto, entre os anos de 2015 a 2016, houveram registros dos estados “eutrófico” ( $59,1 < \text{IET} < 62,7$ ) e “hipereutrófico” ( $\text{IET} = 63,8$ ). Esses dados indicam que o processo de eutrofização do reservatório vem se intensificando no decorrer dos anos devido a ações antrópicas que ocasionam alteração no uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica, pressionando os recursos ambientais e gerando impactos negativos sobre a qualidade da água. Desta forma, sugere-se que seja implementado em toda bacia de contribuição, sistemas de coleta e tratamento de efluentes, a fim de reduzir e/ou eliminar as fontes de nutrientes responsáveis pelo processo de eutrofização do reservatório. Além disso, leis e políticas públicas que disciplinam o ordenamento do uso e cobertura do solo dentro da APA se tornam imprescindíveis para manutenção da quantidade e da qualidade dos recursos hídricos disponíveis nesse importante manancial de abastecimento.

Palavras-Chave: Índice de estado trófico, manancial de abastecimento, reservatório, sensoriamento remoto.

## ABSTRACT

The reservoir of Vargem das Flores, one of the main sources of water supply in the Metropolitan Region of Belo Horizonte, is located in the Vargem das Flores Environmental Protection Area (EPA), on the border of the city of Contagem and Betim Minas Gerais State, Brazil. Currently, the reservoir receives a supply of nutrients mainly from the discharge of sanitary and industrial effluents that are generated as a result of the urbanization process and the development of industrial activities in the hydrographic basin in which it is inserted. This study aimed to analyze the influence of the use and groundcover on the quality of the water in the reservoir, based on the application of the Trophic State Index proposed by Carlson (1977) and modified by Lamparelli (2004). For this were used images of the satellites TM/Landsat 5 and OLI/Landsat 8, which underwent a supervised classification process in order to obtain maps of groundcover and cover maps from the years 1986, 1996, 2006 and 2016. The determination of the trophic state of the reservoir was based on samples collected by the Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) in 1991, 1993 and 2006 to 2016, in 4 monitoring stations. The results indicated that urbanization was the class that had the highest growth within the EPA, registering an increase of more than 67% over four decades. Besides the reflecting pool reservoir registered a decrease of more than 30%. After the application of the TSI, it was possible to verify a predominance of the "mesotrophic" state until the year 2014. However, between the years of 2015 and 2016, there were records of the "eutrophic" and "hypereutrophic" states. These data indicate that the process of eutrophication of the reservoir has been increasing over the years due to anthropic actions that cause alteration in the use and groundcover of the soil of the drainage system, pressing the environmental resources and generating negative impacts on the quality of the water. Therefore, it is suggested that the effluent collection and treatment systems be implemented in every drainage system of contribution, in order to reduce and / or eliminate the nutrient sources responsible for the eutrophication process of the reservoir. In addition, actions that discipline the way of using the land and the groundcover planning within the EPA are essential to maintain the quantity and quality of available water resources in this important source of supply.

**KEYWORDS:** Trophic state index, source of supply, water tank, remote sensing.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Evolução do processo de eutrofização de um corpo d'água.....	26
FIGURA 2 - Delimitação da Área de Proteção Ambiental Vargem das Flores, Betim / MG.....	35
FIGURA 3 - Mapa da vegetação nativa presente na APA Vargem das Flores.....	37
FIGURA 4 - Perfil esquemático da Floresta Estacional Semidecidual.....	38
FIGURA 5 - Blocos-diagramas das fisionomias ecológicas do Cerrado.....	39
FIGURA 6 - Tipos de solos presentes na APA Vargem das Flores, Betim / MG.....	40
FIGURA 7 - Bacia Hidrográfica de Vargem das Flores, Betim / MG.....	43
FIGURA 8- Localização das estações amostrais onde foram coletados os dados limnológicos.....	48
FIGURA 9 - Mosaicos obtidos do pré processamento de imagens dos anos de 1986, 1996, 2006 e 2016.....	50
FIGURA 10 - Mapa de uso e cobertura do solo na APA Vargem das Flores entre os anos de 1986, 1996, 2006 e 2016.....	52
FIGURA 11 - Distribuição das classes de uso e cobertura do solo, segundo sua área (%), na APA Vargem das Flores nos anos de 1986, 1996, 2006 e 2016.....	55
FIGURA 12 - Principais pontos de redução de água na represa Vargem das Flores, entres os anos de 2006 a 2016.....	57
FIGURA 13 - Diminuição da vegetação e aumento da urbanização, entre os anos de 1986 a 2016, na unidade de planejamento de Nova Contagem, Contagem / MG.....	59
FIGURA 14 - Diminuição da vegetação e aumento da urbanização, entre os anos de 1986 a 2016, nas unidadesde planejamento Petrolândia e Sede, Contagem / MG.....	59
FIGURA 15 - Processo de assoreamento do reservatório Vargem das Flores, próximo a foz do Córrego Água Suja, entre os anos de 1986 e 2016.....	60
FIGURA 16 - Processo de assoreamento do reservatório Vargem das Flores, próximo a foz do Ribeirão Betim, entre os anos de 1986 e 2016.....	61
FIGURA 17- Distribuição das classes de uso e cobertura do solo dentro da APA Vargem das Flores entre os anos de 1986 a 2016, conforme tamanho de sua área.....	62
FIGURA 18 -Gráficos “box plot” do parâmetro fósforo total (PTotal) nos períodos chuvoso e seco, estações E1 (421), E2 (362), E3(363) e E4(364); Vargem das Flores/MG.....	66

FIGURA 19 - Gráficos “box plot” do parâmetro Clorofila a (CL <sub>a</sub> ) nos períodos chuvoso e seco, estações E1 (421), E2 (362), E3(363) e E4(364); Vargem das Flores/MG.....	69
FIGURA 20 - Gráficos “box plot” do parâmetro Transparência(T), nos períodos chuvoso e seco, estações E1 (421), E2 (362), E3(363) e E4(364); Vargem das Flores/MG.....	72
FIGURA 21 - IET aplicado nas estações selecionadas para o trabalho, no período de 1991, 1993 e 2006 a 2016.....	74

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Classificação do grau de trofia de acordo com o IET (CARLSON, 1977).....	28
QUADRO 2 - Classificação do estado trófico de um ambiente aquático a partir do IET Carlson (1977) modificado por Toledo Jr. <i>et. al.</i> (1983).....	29
QUADRO 3 - Classificação do grau de trofia de acordo com o IET (LAMPARELLI, 2004).....	29
QUADRO 4 - Identificação das estações de amostragem selecionadas para o trabalho.....	48
QUADRO 5 - Classificação do grau de trofia de acordo com o IET (LAMPARELLI, 2004).....	49

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Dados morfométricos do reservatório Vargem das Flores.....	34
TABELA 2 - Índices de caracterização da Bacia Hidrográfica de Vargem das Flores.....	42
TABELA 3 – Áreas das classes de uso e cobertura do solo da APA Vargem das Flores nos anos de 1986, 1996, 2006 e 2016.....	53
TABELA 4 - Valores médios anuais do parâmetro Fósforo Total ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) coletado nas estações de monitoramento selecionadas para o trabalho, no período de 1991,1993 e 2006 a 2016.....	64
TABELA 5 – Valores médios anuais do parâmetro Clorofila a ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) coletados nas estações de monitoramento selecionadas para o trabalho, no período de 1991, 1993 e 2006 a 2016.....	67
TABELA 6 – Valores médios anuais do parâmetro Transparência (metros) coletados nas estações de monitoramento selecionadas para o trabalho, no período de 1991, 1993 e 2006 a 2016.....	70
TABELA 7 - Resultados de IET e porcentagens obtidas para cada estado trófico nos pontos amostrais estudados.....	75

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APA	Área de Proteção Ambiental
APE	Área de Preservação Especial
APP	Área de Preservação Permanente
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CL	Clorofila
CL <sub>a</sub>	Clorofila a
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
IEF	Instituto Estadual de Florestas
IET	Índice de Estado Trófico
MG	Minas Gerais
ND	Nível Digital
PMSBC	Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Contagem
P <sub>Total</sub>	Fósforo Total
PR	Paraná
PT	Fósforo
RMBH	Região Metropolitana de Belo Horizonte
S	Transparência
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SP	São Paulo
T <sub>água</sub>	Transparência da água
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transversa de Mercator

## LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
h	Hora
hab	Habitante
Km	Quilometro
Km <sup>2</sup>	Quilometro quadrado
Kg	Quilograma
L	Litros
M	Metro
µg	Micrograma
µg/l	Micrograma por Litro
mg	Miligrama
mg/l	Miligrama por Litro
ml	Mililitros
mm	Milímetros
%	Porcentagem

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>18</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>21</b>
<b>2.1.</b>	<b>Geral</b>	<b>21</b>
<b>2.2.</b>	<b>Específicos</b>	<b>21</b>
<b>3.</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>22</b>
<b>3.1.</b>	<b>Geotecnologias aplicadas ao estudo</b>	<b>22</b>
3.1.1.	<i>Sensoriamento Remoto</i>	22
3.1.2.	<i>Sistema de Informação Geográfica (SIG)</i>	23
3.1.3.	<i>Análise Espacial do Dados</i>	24
<b>3.2.</b>	<b>Fatores que influenciam na degradação da qualidade da água de reservatórios</b>	<b>24</b>
<b>3.3.</b>	<b>Processo de eutrofização em reservatórios</b>	<b>25</b>
3.3.1.	<i>Índice de Estado Trófico</i>	27
3.3.1.1	<i>Parâmetros analisados pelo índice de Estrado Trófico (IET)</i>	31
<b>3.4</b>	<b>Interferência do uso e cobertura do solo sobre a qualidade da água em reservatório</b>	<b>32</b>
<b>4.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>34</b>
<b>4.1.</b>	<b>Caracterização da área de estudo</b>	<b>34</b>
4.1.1	<i>Localização</i>	34
4.1.2	<i>Características geológicas</i>	36
4.1.3	<i>Características climáticas</i>	36
4.1.4	<i>Características da vegetação</i>	37
4.1.5	<i>Características Pedológicas</i>	39
4.1.6	<i>Características Hidrográficas</i>	42
<b>4.2.</b>	<b>Obtenção e tratamento de dados</b>	<b>44</b>
4.2.1	<i>Dados de sensoriamento remoto</i>	44
4.2.2.	<i>Dados limnológicos</i>	46
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>50</b>
<b>5.1</b>	<b>Dinâmica do uso e da cobertura da bacia de drenagem do reservatório Vargem das Flores / MG.</b>	<b>50</b>
<b>5.2</b>	<b>Classificação da paisagem da APA Vargem das Flores.</b>	<b>51</b>
<b>5.3</b>	<b>Análise do comportamento individual dos parâmetros Fósforo Total, Clorofila a e Transparência na superfície do reservatório.</b>	<b>64</b>
5.3.1	<i>Fósforo Total (<math>P_{total}</math>)</i>	64
5.3.2	<i>Clorofila a (<math>Cl_a</math>)</i>	67
5.3.3	<i>Transparência (Disco de Secchi)</i>	70

<b>5.4</b>	<b>Determinação do Estado Trófico e do Potencial de Eutrofização do Reservatório</b>	<b>73</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>76</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>78</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os ambientes urbanos têm concentrado um número cada vez maior de pessoas. De acordo com o relatório *Perspectivas da População Mundial*, elaborado pelas Nações Unidas em 2014, a população brasileira residente em área urbana ultrapassou 85% e a estimativa para 2050 é de 91% (UNITED NATIONS, 2014). Esse crescimento rápido e desordenado gera uma modificação nos fluxos de energia e material destes centros, provocando alterações ambientais que foram apontadas por 90% dos municípios brasileiros e que têm afetado a qualidade de vida da população. Entre elas, pode-se destacar o assoreamento de corpos d'água, poluição dos recursos hídricos e escassez de recursos hídricos, que foram apontados por 53%, 41% e 40% dos municípios, respectivamente (CARLO, 2006).

Para suprir esta escassez de água que assola grande parte dos municípios brasileiros, muitos mananciais, sejam eles superficiais ou subterrâneos, são utilizados como fonte de abastecimento de água. No caso dos mananciais superficiais, principalmente aqueles localizados próximos a grandes centros urbanos, é comum a construção de lagos e/ou represas para esta finalidade.

No entanto, o metabolismo das cidades interfere diretamente no funcionamento das águas urbanas. Segundo Pinto-Coelho e Havens (2016), alterações causadas pelo homem na ciclagem do fósforo, como lançamentos de esgotos e efluentes industriais, são as mais importantes. Isso porque, em muitos casos, o fósforo é o elemento limitante regulador de todo metabolismo de lagos e represas.

A concentração elevada de nutrientes em reservatório causa eutrofização, e pode ocasionar o aparecimento de extensas populações de plantas aquáticas (macrófitas) e algas, déficit de oxigenação das águas e morte frequente de peixes. Essas condições prejudicam o equilíbrio ambiental do reservatório e, por consequência, a qualidade da água, podendo comprometer o fornecimento deste recurso à população.

Eventos como esses foram registrados na represa de Billings, localizada na Região Metropolitana de São Paulo. Segundo Capobianco e Whately (2002), o processo de eutrofização na represa é agravado devido à presença de algas como a *Cylindrospermopsis baskinii*, que produz uma toxina que provoca danos no fígado e nos rins. Além disso, foram constatadas também na represa altas concentrações de metais pesados e a presença de microrganismos patogênicos.

Em Belo Horizonte, os mananciais Cercadinho e Pampulha já não são mais usados para abastecimento doméstico, uma vez que as formas de ocupação irregular e o lançamento

de efluentes *in natura* nos cursos d'água não são considerados compatíveis com a qualidade das águas necessária para o abastecimento público (JUNIOR *et. al.*, 2016).

No reservatório de Vargem das Flores, situado na Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH, esta realidade também não é diferente. De acordo com Morais (2012), as áreas adjacentes vêm sendo seriamente degradadas ao longo do tempo, devido a atividades antrópicas, como agricultura e pecuária; e também devido a expansão urbana proveniente de ocupações, em grande parte, irregulares.

A implantação do Bairro Nova Contagem, a partir da década 1980, pode ser considerada como maior impacto de ocupação urbana dentro da Bacia Hidrográfica de Vargem das Flores. Isso porque este bairro, segundo o Art. 16 do Plano Diretor Municipal de Contagem, deveria abrigar lotes de no mínimo 20.000 m<sup>2</sup>, uma vez que se localizava na zona rural do município (CONTAGEM, 2006). No entanto, a área, apontada como uma das regiões mais pobres do município, ficou caracterizada por possuir muitas ocorrências de invasões e por configurar uma ocupação desordenada; permitindo um adensamento populacional fora dos padrões ideais para uma região que concentra um manancial de abastecimento (CUNHA, 2010).

Visando regular o crescimento populacional e a utilização dos recursos hídricos, o governo do Estado de Minas Gerais publicou em Setembro de 1980 o Decreto nº 20.793, instituindo como Área de Preservação Especial (APE) todos os terrenos localizados na bacia hidrográfica do reservatório de Vargem das Flores, situados a montante da seção de barramento (MINAS GERAIS, 1980). Uma vez que esta medida não foi suficiente para controlar a expansão urbana dentro da APE e essa, de fato, não estava cumprindo seu papel de proteção do manancial; em 2006 foi criada, através da Lei nº 16.197, a Área de Proteção Ambiental (APA) Vargem das Flores. Além da proteção do manancial, a Lei tem como objetivo (MINAS GERAIS, 2006): i) favorecer a manutenção da diversidade biológica; ii) proteger e conservar os recursos ambientais, especialmente o lago formado pela barragem de Várzea das Flores e os córregos e drenagens que para ele afluem; iii) garantir a qualidade dos recursos hídricos existentes na APA para o abastecimento público de água da Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH; iv) contribuir para a ordenação do uso e da ocupação do solo, considerando a necessidade de preservação dos recursos ambientais; v) promover ações com vistas à recuperação de áreas degradadas.

Outro fato importante é que a Lei transferiu para o Instituto Estadual de Florestas (IEF) toda a responsabilidade de supervisionar, administrar e fiscalizar a área.

Apesar da criação de legislações mais restritivas, o que se notou ao longo dos anos foi uma omissão por parte do poder público estadual, uma vez que a expansão urbana dentro da APA continuou crescendo e pressionando cada vez mais os recursos naturais ali existentes.

De acordo com Sampaio (2007), o conflito decorrente da expansão urbana sobre a cobertura vegetal existente na região encontra-se em estado tão significativo, que aproximadamente 29% das atividades antrópicas estão sendo desenvolvidas em Áreas de Preservação Permanente (APP). Observa-se que a ocupação irregular dessas áreas tem provocado efeitos adversos sobre os recursos hídricos como deterioração da qualidade das águas, assoreamento, erosão, rebaixamentos de lençol freático, entre outros.

Pelo fato da região de Vargem das Flores abrigar um importante manancial de abastecimento de água da RMBHe uma vez que as APP's são fundamentais para a preservação dos recursos hídricos e por garantir a qualidade da água do reservatório, estudos que auxiliem no ordenamento territorial visando o uso sustentável dos recursos se tornam imprescindíveis.

A realização de estudo sobre o avanço do uso e cobertura do solo na APA e seus reflexos sobre a qualidade da água deste reservatório se faz necessário uma vez que servirá como subsídio para elaboração do Plano de Manejo desta Unidade de Conservação, atualmente em fase de elaboração; e para ações de cunho governamental que favoreçam a qualidade ambiental e a manutenção dos ecossistemas aquático e terrestre presentes no local.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Analisar espacial e temporalmente o avanço do uso e da cobertura do solo na Área de Proteção Ambiental Vargem das Flores e verificar seus reflexos sobre a qualidade da água do reservatório.

### **2.2 Específicos**

Para tanto, tornou-se necessário o estabelecimento dos seguintes objetivos específicos:

- i) Mapear e obter informações a respeito da dinâmica do uso e da cobertura da bacia de drenagem do reservatório Vargem das Flores/ MG, referentes aos anos de 1986, 1996, 2006 e 2016;
- ii) Classificar a paisagem da APA Vargem das Flores através de uma abordagem sistêmica, a partir de técnicas de geoprocessamento, visando o apoio à gestão dos recursos hídricos e do território;
- iii) Determinar o perfil de degradação e o potencial de eutrofização da água do reservatório a partir da elaboração de um banco de dados limnológicos, referente ao período de 1991, 1993, 2006 e 2016;
- iv) Efetuar a classificação do estado trófico do reservatório a partir da análise do comportamento individual dos parâmetros Fósforo Total, Clorofila a e Transparência, na superfície da água.

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 Geotecnologias aplicadas ao estudo**

##### *3.1.1 Sensoriamento Remoto*

Segundo Calijuri e Cunha (2013) o Sensoriamento Remoto pode ser definido como o conjunto de técnicas que utiliza os sensores na captação e no registro da energia refletida ou emitida (radiação eletromagnética) por elementos na superfície (ou subsuperfície) terrestre. Para se converter a energia gerada através da radiação eletromagnética em informação sobre o ambiente, utiliza-se o sistema sensor.

De acordo com Novo (1992), os sistemas sensores podem ser classificados em dois grandes grupos: sensores passivos, que detectam a radiação solar refletida ou a radiação emitida pelos objetos da superfície (por exemplo, os sistemas fotográficos); e os sensores ativos, que são aqueles que produzem sua própria radiação (por exemplo, imageadores e radares).

Existe uma série de vantagens e limitações entre os diferentes sistemas sensores. No caso dos sensores passivos, quando comparado aos demais, apresentam vantagens como: resolução geométrica (espacial) superior para uma mesma escala; seus produtos oferecem boa orientação espacial, requerendo pouco esforço na correção geométrica. Entre as limitações, podemos citar o fato de que a fotografia não pode ser transmitida a distância; os filmes disponíveis atuam em apenas nas regiões entre o ultravioleta e o infravermelho próximo; requerem boas condições de iluminação solar para sua operação e são mais sujeitos a interferência atmosférica.

No que tange aos sensores ativos, podemos destacar como vantagem principal a aquisição de dados em forma de sinais elétricos passíveis de transmissão a distância. Esses dados podem ser facilmente digitalizados e avaliados através de técnicas computacionais sofisticadas, permitindo a análise digital. Como desvantagem, sua operação é mais complexa.

Calijuri e Cunha (2013) caracteriza ainda os sensores a partir de quatro parâmetros principais, denominados resoluções. A espacial, que é a menor separação espacial captada pelo sensor entre dois objetos; a espectral, que é o número de bandas do sensor e a largura das faixas de cada uma delas; a radiométrica, que é o número de níveis de cinza usados pelo sensor; e por fim a resolução temporal, que é o intervalo de tempo entre dois imageamentos

sucessivos. Podemos citar como exemplo o sensor TM do Landsat 5, utilizado neste trabalho, que possui as seguintes resoluções: espectral: 7 bandas, espacial: 30 m, radiométrica: 256 níveis de cinza e temporal: 16 dias.

A geração de imagens coloridas é uma ferramenta que mais se destaca no tratamento de imagens produzidas através das técnicas de sensoriamento remoto. Nela, são atribuídas diferentes intensidades das cores primárias a cada um dos pixels registrados em tons de cinza nas bandas utilizadas nos imageamentos de sensores multiespectrais. Em trabalhos de análise do uso e cobertura do solo de determinada área, utiliza-se muito a composição falsa cor 5R4G3B (*red* – vermelho, *green* – verde e *blue* – azul).

### 3.1.2 Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Segundo Câmara *et. al.* (2001), o Sistema de Informação Geográfica (SIG) é uma aplicação utilizada em sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações levando-se em consideração suas características alfanuméricas e sua localização espacial.

Os primeiros Sistemas de Informação Geográfica surgiram no Canadá, na década de 60, como parte de um programa governamental para criar um inventário de recursos naturais. No entanto, a utilização destes sistemas era muito difícil, uma vez que não existiam monitores gráficos de alta resolução e os computadores necessários e a mão de obra especializada eram excessivamente onerosos. Além disso, os produtos não eram comercializáveis e cada interessado deveria desenvolver seus próprios programas e softwares, o que demandava muito tempo e dinheiro (LONGLEY *et al*, 2013).

Na década de 80, o surgimento e evolução dos computadores pessoais e dos sistemas gerenciadores de bancos de dados e a incorporação de funções de análise espacial contribuíram para a disseminação do SIG.

Atualmente, observa-se um grande crescimento do ritmo de penetração do SIG nas organizações, impulsionado pelos custos decrescentes de hardware e de software relacionados ao sistema. Segundo Longley *et al* (2013), o surgimento de alternativas menos dispendiosas para a construção de bases de dados geográficas permitiu uma maior aplicabilidade do sistema, fornecendo produtos a diversas áreas, tais como: governo e serviços públicos, planejamento de comércio e serviços, logística e transportes e meio ambiente.

Na área ambiental, uma das formas de se aplicar o SIG é através de monitoramento de mudanças no uso da terra por meio de técnicas de sensoriamento remoto. De acordo com

Longley *et al.* (2013), pesquisadores tem utilizado o sistema para investigar como a expansão urbana ocorre, através de padrões de crescimento histórico, juntamente com informações como a localização de estradas, encostas íngremes e impróprias para urbanização, terras protegidas do uso urbano e outros fatores que restringem ou estimulam o crescimento urbano. Esses e outros fatores podem ser utilizados durante o processo de análise espacial para auxiliar no correto planejamento do território e predizer consequências futuras.

### *3.1.3 Análise Espacial dos Dados*

Segundo Longley *et al.* (2013), análise espacial é o processo pelo qual transformamos dados brutos em informação útil na busca pela descoberta científica ou por uma tomada de decisão mais eficiente. Através de um banco de dados geográficos são feitas combinações e cruzamento de dados mediante operações geométricas e topológicas, no qual resulta na geração de novos dados (IBRAHIN, 2014).

As análises espaciais se constituem na chave para a resolução de problemas na gestão do ambiente, principalmente se o usuário puder sintetizar e exibir dados espaciais de muitas maneiras, bem como, combinar múltiplos temas para descobrir suas relações espaciais.

## **3.2 Fatores que influenciam na degradação da qualidade da água de reservatórios**

A questão dos recursos hídricos e a disponibilidade de água para atender a demanda da sociedade atual e das futuras gerações tem se tornado um dos assuntos mais relevantes, uma vez que este recurso se encontra cada vez mais escasso. O aumento da população, o êxodo rural e a falta de planejamento e gestão dos órgãos públicos são alguns dos fatores que mais contribuíram para que essa situação chegasse a níveis tão alarmantes.

De acordo com dados do IBGE (2007), a população brasileira em 1950 era de 51.944.397 milhões pessoas, sendo que 36% delas viviam nas cidades. Em 2010, o número subiu para 190.732.694 milhões de pessoas e mais de 84% delas estão morando nos centros urbanos (IBGE, 2011). Esse crescimento rápido e desordenado motivou uma série de problemas ambientais que tem afetado a saúde e a qualidade de vida da população. A degradação da qualidade da água é um exemplo claro disso.

A contínua interferência das atividades humanas provenientes de lançamentos de esgoto *in natura*, uso inadequado do solo, pratica agrícolas impróprias, mudança no regime de rios, uso indiscriminado de pesticidas, desmatamento, entre outros; produziu inúmeras alterações nos ecossistemas aquáticos com sérias consequências como assoreamento, perda da diversidade biológica, alterações no volume e no ciclo hidrológico, perda da capacidade tampão, expansão geográfica de doenças tropicais de veiculação hídrica, toxicidade e eutrofização (REBOUÇAS *et al.*, 2006).



Para Vieira *et al.* (1998), a eutrofização (aumento da fertilidade dos ambientes aquáticos), provocada pela entrada excessiva de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio; é um dos principais processos causadores da degradação da qualidade das águas em reservatórios. Eles estão vinculados aos lançamentos de efluentes domésticos e industriais e ao uso indiscriminado de fertilizantes ou de defensivos agrícolas, que terminam sendo carregados para os cursos d'água responsáveis pelo abastecimento do reservatório.

Os materiais carregados pelos cursos d'água são depositados gradualmente, reduzindo a capacidade de armazenamento do reservatório, podendo inviabilizar sua operação e, conseqüentemente, o fornecimento de água para a população.

### 3.3 - Processo de eutrofização em reservatórios

A palavra eutrofização deriva do grego, que significa bem nutrido. Portanto, ela não é sinônima de poluição; ela apenas denota o processo natural ou artificial de adição de nutrientes aos corpos de água e os efeitos resultantes dessa adição.

Segundo Nogueira (1991), a eutrofização é parte do processo natural de envelhecimento dos lagos que ocorreria independentemente das atividades antrópicas. Entretanto, quando o aporte de nutrientes é induzido por ação antrópica, a eutrofização passa a ser considerada como artificial.

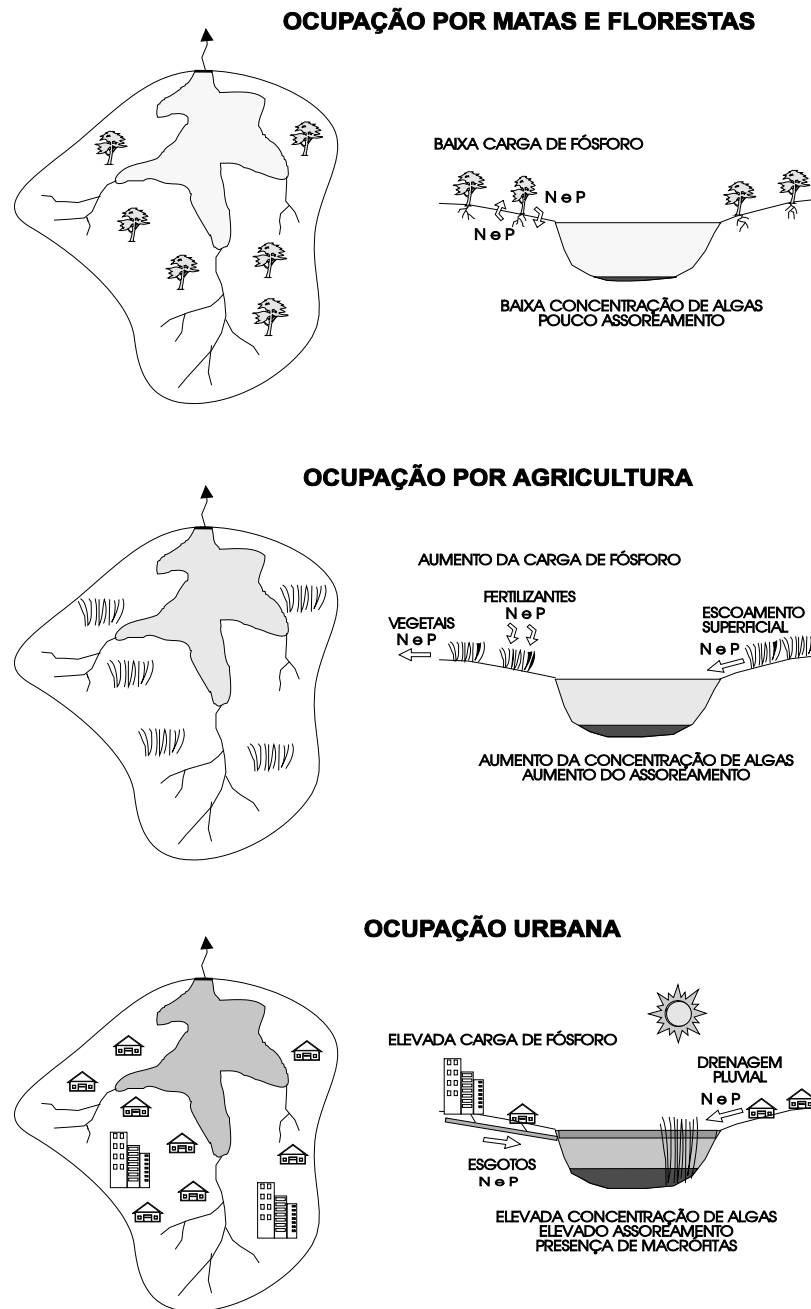
As principais causas da eutrofização artificial estão relacionadas com o aumento da população, a ocupação e uso do solo de forma desordenada, as entradas de águas residuárias domésticas e industriais, drenagem superficial e de fertilizantes utilizados na agricultura (TUNDISI *et al*, 2008; ESTEVES, 2011). A Figura 1 ilustra uma possível sequência da evolução do processo de eutrofização de um corpo d'água.

Muitos lagos e reservatórios ao redor do mundo encontram-se seriamente afetados em função da eutrofização, que têm provocado prejuízos sociais e econômicos, além de interferir diretamente em seus múltiplos usos ocasionando consequências drásticas sobre a concentração de nutrientes, sobre as comunidades fitoplanctônica e de macrófitas aquáticas, sobre o zooplâncton, bentos e peixes e sobre o hipólímnio.

O aumento da concentração de nutrientes provoca uma quebra relativa de estabilidade do ecossistema (homeostasia), fazendo com que o ambiente passe a produzir mais matéria orgânica do que é capaz de consumir e decompor, elevando os níveis de concentração de quase todos os elementos químicos essenciais a produtividade.

Uma elevada concentração de fosfato tem efeitos diretos sobre a densidade de organismos fitoplanctônicos, elevando o número de espécies e de indivíduos. Em ambientes com estágio adiantado de eutrofização artificial, observa-se nos meses mais quentes do ano, altas densidades populacionais de algas, formando floração; e um forte crescimento de algas filamentosas que reduzem a penetração de luz água, impedindo o crescimento de macrófitas submersas e favorecendo o crescimento de macrófitas flutuantes. No Brasil, os reservatórios construídos, principalmente para a geração de energia, estão entre os ecossistemas nos quais têm ocorrido intenso crescimento desses indivíduos.

**FIGURA 1 - Evolução do processo de eutrofização de um corpo d'água.**



**Fonte: Von Sperling (2014)**

Com relação a comunidade de peixes, observa-se que a “superoferta” de alimentos tem provocado um crescimento anormal dos indivíduos, facilitando sua pesca antes de atingirem a maturidade sexual (ESTEVES, 2011).

Para que ecossistemas aquáticos retorne a sua estabilidade ecológica natural é necessário um conjunto de medidas com o objetivo de eliminar o excesso de energia através

da redução da concentração de nutrientes e compostos orgânicos neles lançados. O controle das fontes geradoras de eutrofização na bacia de drenagem é a primeira medida que deve ser adotada. Existem ainda métodos físico, químico e biológico que são utilizados para controle da eutrofização e restauração desses ecossistemas.

A retirada seletiva de massas d'água com finalidade de eliminar nutrientes e aproveitá-lo na irrigação; aeração por meio da introdução de ar comprimido no hipolímnio ou aeração de toda coluna d'água; retirada de macrófitas aquáticas e de biomassa planctônica e aumento do fluxo de água, visando reduzir seu tempo de residência são alguns exemplos de métodos físicos empregados na restauração de ambientes aquáticos.

No que diz respeito aos métodos químicos, estes podem ser empregados através da oxidação do sedimento por meio de agentes químicos; emprego de herbicidas, como sulfato de cobre; floculação de compostos suspensos na água; inativação de nutrientes por precipitação através da adição de compostos, como o sulfato de alumínio e cobertura do sedimento por material com profundidades de adsorver nutrientes.

Por fim, temos os métodos de controle biológico, que são empregados através da atuação de herbívoros e agentes patogênicos. Dentre os organismos que têm significativo efeito na eliminação de biomassa vegetal destacam-se zooplâncton, moluscos e peixes, como a carpa e a tilápia.

No Brasil, os casos mais bem-sucedidos de restauração de ecossistemas aquáticos foram obtidos no Lago Batata, na região Amazônica; na Represa Paranoá, localizada no Distrito Federal e na Lagoa Rodrigo de Freitas, na cidade do Rio de Janeiro.

### *3.3.1 - Índice de Estado Trófico*

Uma forma de classificar os corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avaliar a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas, é através do Índice de Estado Trófico (IET). Este índice foi proposto por Carlson (1977) para ambientes temperados e é amplamente utilizado, já que utiliza parâmetros simples como o fósforo, clorofila a e transparência. Além disso, ele possui uma compreensão mais fácil do que um índice probabilístico (LAMPARELLI, 2004).

Para o cálculo deste índice são utilizadas as respectivas equações:

$$\text{IET (S)} = 10 \times (6 - \ln (S) / \ln 2)$$

$$\text{IET (PT)} = 10 \times (6 - ((\ln 48) / \text{PT}) / \ln 2)$$

$$\text{IET (CL)} = 10 \times (6 - ((2,04 - 0,68 \times (\ln \text{CL})) / \ln 2))$$

Onde:

S: transparência, medida por meio de disco de Secchi, em metros.

PT: concentração de fósforo total medida à superfície da água, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ;

CL: concentração de clorofila medida à superfície da água, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ;

ln: logaritmo natural.

Posteriormente, os resultados são classificados de acordo com o grau de trofia, seguindo o Quadro 1 abaixo:

**QUADRO1 – Classificação do grau de trofia de acordo com o IET (CARLSON, 1977).**

Índice	Classificação
<20	Ultraoligotrófico
20 – 40	Oligotrófico
40 – 50	Mesotrófico
50 – 60	Eutrófico
>60	Hipereutrófico

Uma vez que o metabolismo dos ecossistemas aquáticos temperados difere dos encontrados em ambientes tropicais, TOLEDO JR. *et al.* (1983) propôs uma modificação no IET de Carlson (1977) para que este pudesse ser aplicado à realidade dos ambientes aquáticos brasileiros. O Quadro 2 expõe o critério para classificação a partir destas modificações propostas.

**QUADRO2 – Classificação do estado trófico de um ambiente aquático a partir do IET Carlson (1977) modificado por Toledo Jr. *et al.* (1983).**

Índice	Classificação
$\text{IET} \leq 24$	Ultraoligotrófico
$24 < \text{IET} \leq 44$	Oligotrófico
$44 < \text{IET} \leq 54$	Mesotrófico
$54 < \text{IET} \leq 74$	Eutrófico
$\text{IET} > 74$	Hipereutrófico

Visando aprimorar e adaptar o sistema de classificação para realidade dos ecossistemas presentes em reservatórios, Lamparelli (2004) propôs uma nova classificação para avaliação de ambientes lênticos, a partir da utilização das seguintes equações:

$$IET (CL) = 10 \times (6 - ((0,92 - 0,34 \times (\ln CL)) / \ln 2))$$

$$IET (PT) = 10 \times (6 - (1,77 - 0,42 \times (\ln PT)) / \ln 2)$$

$$IET = (IET(PT) + IET(CL)) / 2$$

Onde:

PT: concentração de fósforo total medida à superfície da água, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ;

CL: concentração de clorofila a medida à superfície da água, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ;

ln: logaritmo natural.

Posteriormente, os resultados são classificados de acordo com o grau de trofia, seguindo o Quadro 3:

**QUADRO3 – Classificação do grau de trofia de acordo com o IET (LAMPARELLI, 2004).**

Índice	Classificação
IET < 47	Ultraoligotrófico
47 < IET < 52	Oligotrófico
52 < IET < 59	Mesotrófico
59 < IET < 63	Eutrófico
63 < IET < 67	Supereutrófico
IET > 67	Hipereutrófico

As cinco classes de trofia proposta pelo IET de Carlson (1977) modificado por Toledo Jr. *et al.*(1983); bem como a classe supereutrófico, adicionada na classificação de IET proposta por Lamparelli (2004), estão assim definidas:

**Ultraoligotrófico:** corpos de água limpos, com produtividade muito baixa. Apresenta concentrações de nutrientes insignificantes, não causando prejuízos aos usos múltiplos da água;

**Oligotrófico:** corpos de água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água;

**Mesotrófico:** corpos de água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis na maioria dos casos;

**Eutrófico:** corpos de água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral, afetados por atividades antrópicas, em que ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água e interferências nos seus múltiplos usos;

**Supereutrófico:** corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a ocorrência de episódios florações de algas, e interferências nos seus múltiplos usos;

**Hipereutrófico:** corpos de água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, podendo inclusive estar associados a episódios de florações de algas e de mortandade de peixes e causar consequências indesejáveis sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

### ***3.3.1.1 - Parâmetros analisados pelo índice de Estrado Trófico (IET)***

#### **- Fósforo**

O fósforo é um elemento de extrema importância considerando a eutrofização artificial dos corpos de água e sua relação com o sistema biológico. A disponibilidade de fósforo é considerada o fator mais importante na determinação da qualidade da água dos lagos. Vários estudos têm mostrado que altas cargas de fósforo levam a altas concentrações de fitoplâncton, aumento da turbidez e mudanças biológicas indesejadas. Essas últimas incluem a perda da biodiversidade, desaparecimento e submergência de macrófitas, mudanças nos estoques de peixes e o decréscimo do controle nas relações entre zooplâncton e fitoplâncton (LIBANIO, 2004; ESTEVES, 2011).

Em ecossistemas aquáticos ele encontra-se sob a forma de fosfato; assim, deve-se utilizar esta denominação para se referir as diferentes formas de fósforo no ambiente aquático. No caso dos ecossistemas aquáticos tropicais, devido à alta temperatura, o metabolismo dos

organismos aumenta consideravelmente, fazendo com que o fosfato seja ligeiramente assimilado e incorporado em sua biomassa. Este é um dos principais motivos pelo qual a concentração de fosfato é muito alta em lagos eutrofizados artificialmente (ESTEVEVES, 2011).

#### **- Transparência da água (Profundidade do Disco de Secchi)**

A região eufótica ou simplesmente fótica é definida como região do lago que vai da superfície até a profundidade na qual 99% da luz solar incidente desaparece. A porção iluminada da coluna de água pode variar desde alguns centímetros até dezenas de metros e sua extensão depende, principalmente, da capacidade do meio em atenuar a radiação subaquática.

A determinação da zona eufótica é feita por medições limnológicas com disco de Secchi. Esse disco de setores branco e preto, que variam de 20 a 30 cm de diâmetro, é colocado na água até uma profundidade em que não é mais observável. Após afundar mais um pouco, é levantado de volta, registrando-se a profundidade de seu reaparecimento. Os melhores resultados são obtidos quando se mergulha o disco de Secchi entre o período de 10h e 14h. A profundidade de desaparecimento do disco de Secchi, também denominada de transparência do disco de Secchi, é obtida através de metros, e é inversamente proporcional a quantidade de compostos orgânicos e inorgânicos no caminho ótico (ESTEVEVES, 2011).

#### **- Clorofila a (Cl<sub>a</sub>)**

As clorofilas são pigmentos esverdeados que contêm um anel de porfirina, um anel estável em torno do qual os elétrons são livres para migrar. Por este motivo, o anel ganha e perde elétrons facilmente e pode formar elétrons organizados e outras moléculas. Desta forma que a clorofila captura a energia da luz solar.

Existem diversos tipos de clorofila, sendo que a mais importante é a clorofila a. Esta molécula transforma os elétrons energizados em moléculas responsáveis pela fabricação de açúcares e esta transformação denomina-se fotossíntese. A análise dessa variável em ecossistemas aquáticos continentais também representa de maneira indireta o grau de eutrofização de lagos e reservatórios, sendo inclusive, juntamente com a transparência da água e o Fósforo total, um dos parâmetros que compõem o Índice de Estado Trófico (IET), proposto por Carlson e modificado por Toledo Jr. et. al. (1983) e Lamparelli (2004).

### **3.4 - Interferência do uso e cobertura do solo sobre a qualidade da água em reservatórios**

Em uma bacia hidrográfica as alterações provenientes de atividades humanas podem ser bastante negativas para a garantia de água em quantidade e qualidade adequadas ao abastecimento público. A análise do uso do solo possibilita identificar de que forma estas atividades estão contribuindo positiva ou negativamente para a qualidade ambiental.

A urbanização e outras atividades humanas, ao serem implantadas em áreas impróprias ou sem planejamento, acabam prejudicando, muitas vezes de forma irreversível, a capacidade de um manancial de água. Isso porque estas atividades podem levar a desmatamentos, impermeabilização do solo, assoreamento de nascentes e contaminação dos recursos hídricos.

A intervenção antrópica no planejamento e desenvolvimento da ocupação do espaço Terra, requer cada vez mais uma visão ampla sobre as necessidades da população, os recursos terrestres e aquáticos disponíveis e o conhecimento sobre o comportamento dos processos naturais na bacia hidrográfica, para racionalmente compatibilizar necessidades crescentes com recursos limitados.

A manutenção da cobertura vegetal dentro da bacia é de extrema importância, uma vez que a maior parte da água da chuva fica retida nas folhas, reduzindo a velocidade das gotas, minimizando o impacto destas no solo e diminuindo o escoamento superficial.

Segundo Aneel (2000), manter a vegetação nas áreas de cabeceiras dos rios é de suma importância, já que esta região tem grande contribuição de escoamento e pequena proporção de carga sólida. Quando esta ação preventiva é desprezada pelos projetistas, nota-se um aumento da produção de sedimentos.

De acordo com Dill (2002), os levantamentos do uso da terra se tornam importantes na medida em que os efeitos de seu uso desordenado causam perturbações no meio ambiente. Deste modo, há necessidade de atualização constante dos registros do uso e cobertura do solo, para que suas tendências possam ser analisadas.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização da área de estudo

#### 4.1.1 Localização

O reservatório Vargem das Flores (Figura 2) está situado entre os municípios de Betim e Contagem, com 13% e 87% de sua área inserida em cada um deles, respectivamente. Foi inaugurado no ano de 1972 com a finalidade de abastecimento de municípios da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), sobretudo como resposta à grave crise de desabastecimento de água que atingia a região, principalmente por parte da cidade de Belo Horizonte (SOUZA, 2003). Essa obra resultou na formação de um lago com 520ha de espelho de água, responsável pela produção de 15% da água consumida pela RMBH, beneficiando cerca de 700 mil habitantes, além fornecer água para um grande número de escolas, hospitais, indústrias e estabelecimentos comerciais e de serviços. Na Tabela 1 estão descritos os dados morfométricos do reservatório.

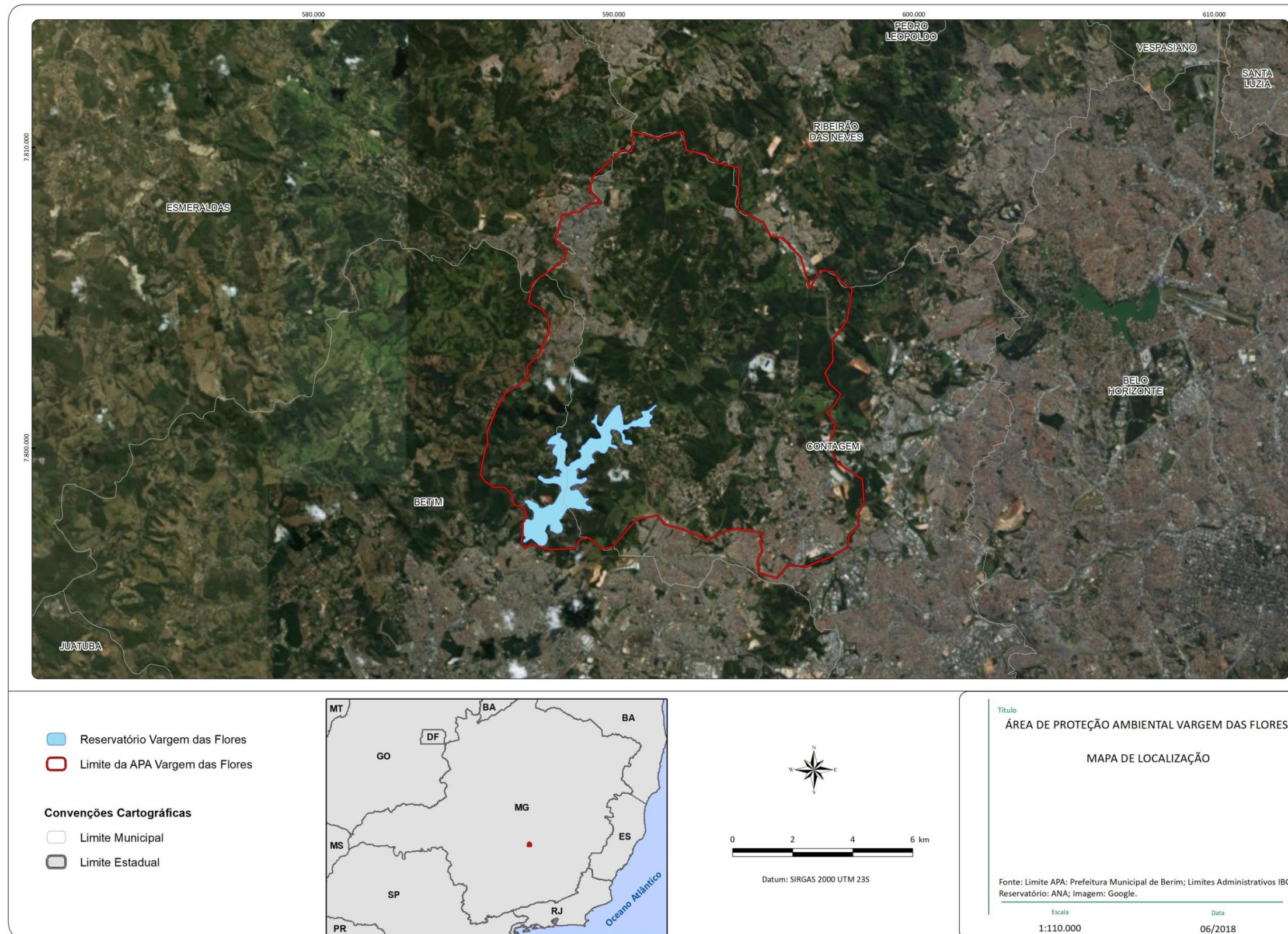
**Tabela 1 – Dados morfométricos do reservatório Vargem das Flores.**

Parâmetros Morfométricos	Valores (unidades)
Área	5,25 x 10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup>
Volume	44,0 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Profundidade máxima	25,02 m
Profundidade média	8,38 m
Perímetro	54,0 km
Comprimento máximo	7,2 km
Largura máxima	1,5 km
Altitude	841 m

Fonte: SOUZA, 2003.

Em Junho de 2006 foi criada a Área de Proteção Ambiental (APA) Vargem das Flores, com o objetivo de favorecer a manutenção da diversidade biológica; garantir a qualidade dos recursos hídricos para o abastecimento público de água da RMBH; contribuir para a ordenação do uso e da ocupação do solo e promover ações com vistas à recuperação de áreas degradadas. Sua área engloba toda a bacia de contribuição do reservatório, atingindo uma área de 12.263ha, conforme ilustra a Figura 2 (MINAS GERAIS, 2006).

**FIGURA 2 – Delimitação da Área de Proteção Ambiental Vargem das Flores, Betim / MG.**



Fonte: Adaptado de Google Earth (2018); Prefeitura Municipal de Betim (2018) E ANA (2018).

#### *4.1.2. Características geológicas*

A região do reservatório Vargem das Flores está inserida no Cráton do São Francisco, que compreende uma porção da crosta estabilizada a partir do ciclo Brasileiro, sendo que, no Paleoproterozóico, grande parte desse bloco pertencia ao Cráton Paramirim (ALMEIDA 1981).

Com relação ao embasamento litológico, a área de estudo encontra-se assentada sobre o Complexo Basal Indiferenciado, de idade Mesoarqueana, composto principalmente por ortognaisses bandados tipo TTG, com intercalações de anfibolito e metaultramáfica (CETEC, 1994; CPRM/CODEMIG, 2014).

Sobrepostas ao Complexo Basal Indiferenciado, estão as rochas dos grupos Nova Lima e Maquiné (Supergrupo Rio das Velhas). As ocorrências do Grupo Nova Lima estão representadas por rochas metabásicas e metaultrabásicas que transicionam lateral e verticalmente para as rochas sedimentares. O Grupo Maquiné está sobreposto disconformemente ao Grupo Nova Lima e é constituído por rochas metassedimentares, de idade proterozóica inferior, caracterizadas como quartzitos e quartzos xistos. (CETEC, 1994)

#### *4.1.3. Características climáticas*

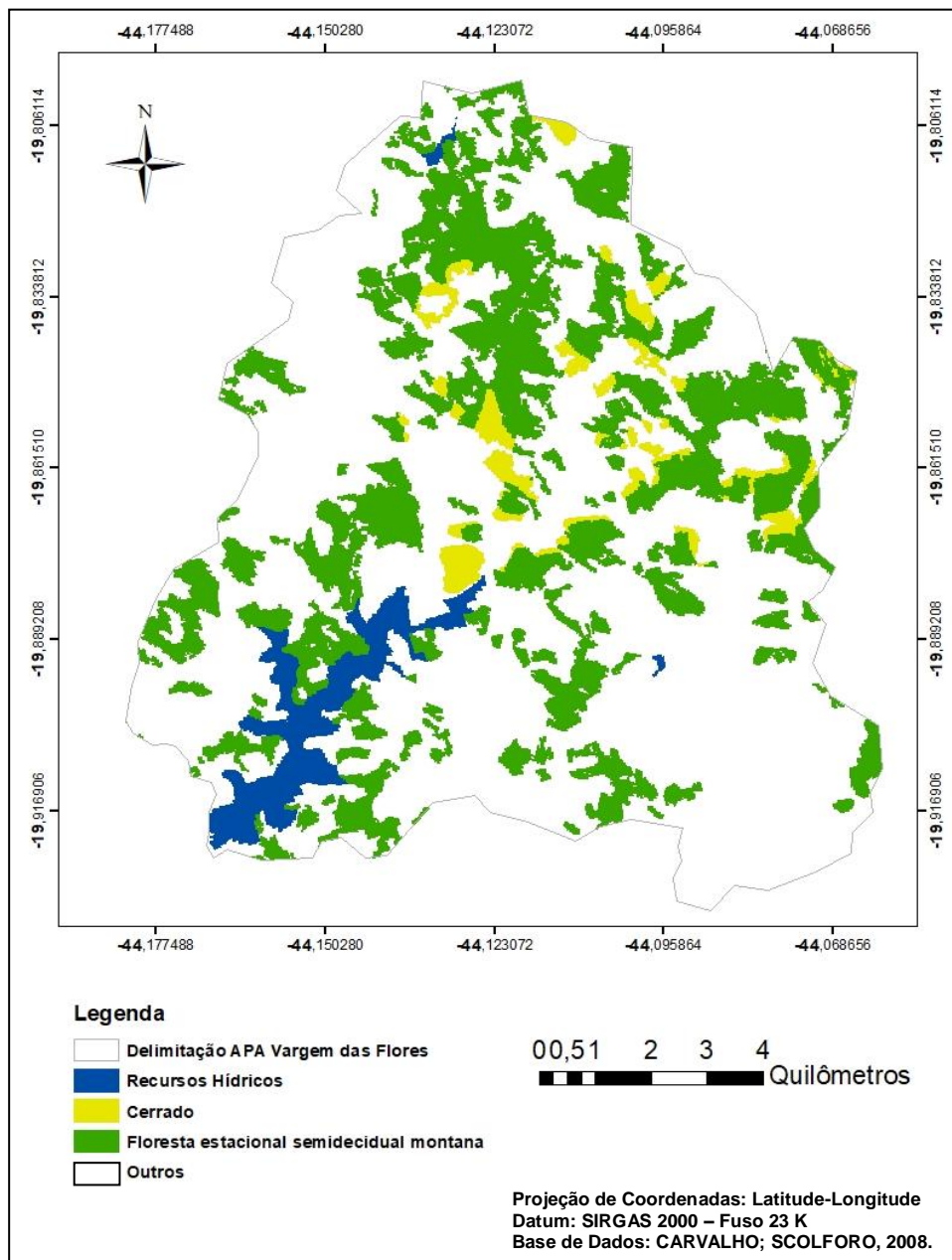
O clima da região apresenta-se como tropical/mesotérmico semi-úmido, com sazonalidade regularizada e definida e radiação solar forte e intensa (média anual de 2600 h/ano). As duas estações bem definidas compreendem o período chuvoso e quente de outubro a março e seco e frio de abril a setembro, sendo que abril, maio, setembro e outubro podem ser considerados meses de transição.

A precipitação média anual é de 1500 mm, com umidade relativa do ar variando de 65% (agosto e setembro) a 80% (dezembro). No verão (período chuvoso) a temperatura máxima média é de 28°C e temperatura mínima média de 17°C. Já no inverno (seco) as menores temperaturas são encontradas em junho e julho, com temperatura máxima média de 24°C e mínima média de 11°C (SOUZA, 2003).

#### 4.1.4. Características da vegetação

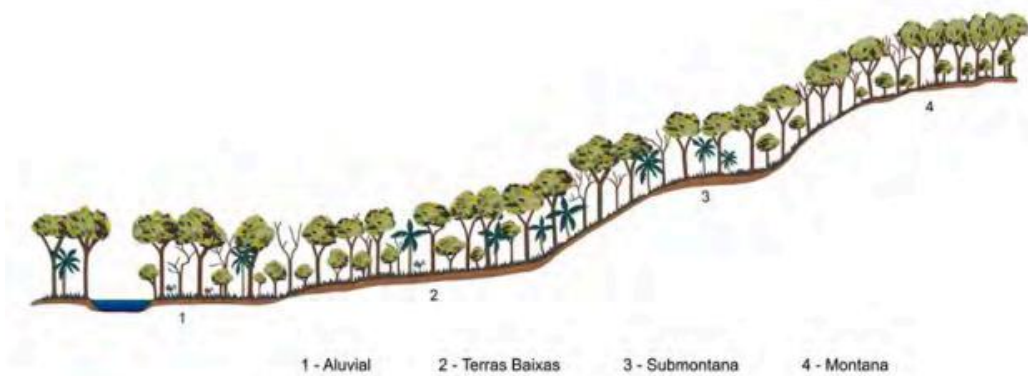
A partir do trabalho desenvolvido por Carvalho e Scolforo (2008), que buscou mapear e inventariar a flora nativa do Estado de Minas Gerais; foi possível identificar que a região de estudo possui fragmentos de floresta estacional semidecidual montana e cerrado, conforme ilustra a Figura 3.

**Figura 3 – Fragmentos de vegetação nativa presentes na APA Vargem das Flores, Betim / MG.**



Segundo IBGE (2012), o conceito ecológico de floresta estacional semidecidual é estabelecido em função da ocorrência de clima estacional que determina semideciduidade da folhagem da cobertura florestal. Na zona tropical, associa-se à região marcada por acentuada seca hiberna e por intensas chuvas de verão; na zona subtropical, correlaciona-se a clima sem período seco, porém com inverno bastante frio (temperaturas médias mensais inferiores a 15° C), que determina repouso fisiológico e queda parcial da folhagem (Figura 4). A formação Montana é quase sempre dominada pelo gênero *Anadenanthera* que às vezes constitui consorciações da *Anadenanthera peregrina* (L) Speg, de origem amazônica, localizada principalmente nos sills basálticos ainda conservados.

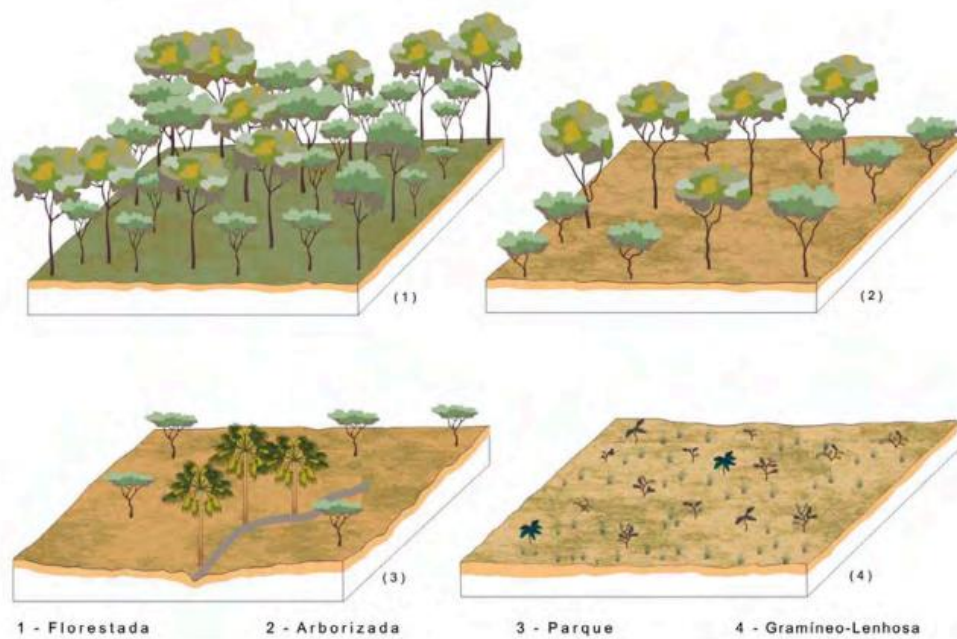
**FIGURA 4 – Perfil esquemático da Floresta Estacional Semidecidual.**



**Fonte: IBGE *apud* Veloso, Rangel Filho e Lima (1991).**

O cerrado ou savana é conceituado como uma vegetação xeromorfa, que ocorre sob distintos tipos de clima. Reveste solos lixiviados aluminizados, apresentando sinúcias de hemicriptófitos, geófitos, caméfitos e fanerófitosoligotróficos de pequeno porte, com ocorrência em toda a Zona Neotropical e, prioritariamente, no Brasil Central. Está subdividida em quatro subgrupos de formação: Florestada; Arborizada; Parque; e Gramíneo-Lenhosa, conforme ilustra a Figura 5 (IBGE, 2012).

**FIGURA 5 – Blocos-diagramas das fitofisionomias ecológicas do Cerrado.**



**Fonte: IBGE *apud* Veloso, Rangel Filho e Lima (1991).**

#### *4.1.5. Características Pedológicas*

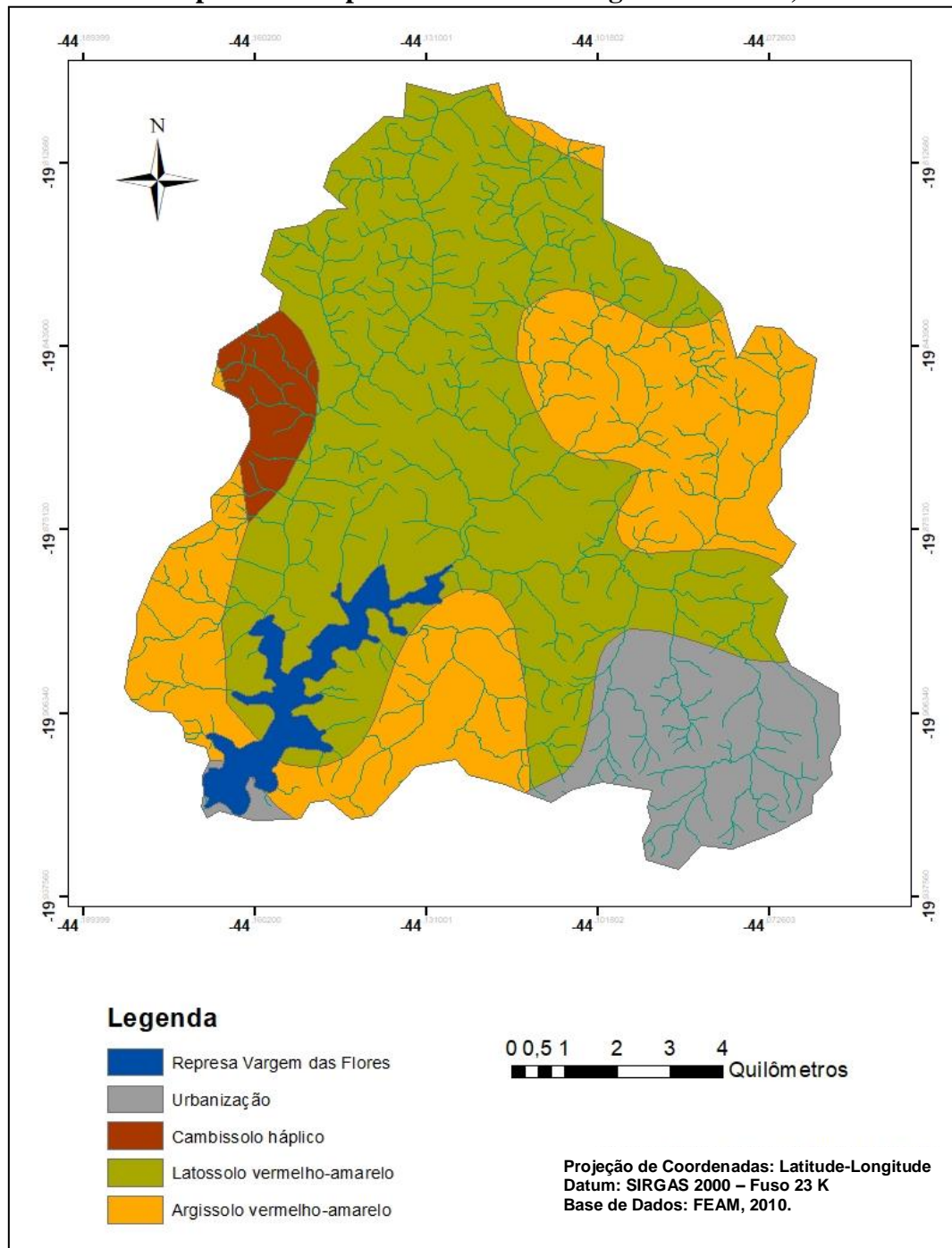
De acordo com FEAM (2010) são encontrados na região de estudo as seguintes classes de solos: latossolo vermelho-amarelo distrófico, argissolo vermelho-amarelo distrófico e cambissoloháplico Tb eutrófico, conforme pode ser visualizado na Figura 6.

Os latossolos vermelho-amarelo compõe a maior parte da bacia hidrográfica de Vargem das Flores, contemplando grande parte das sub bacias dos Córregos Água Suja, Morro Redondo e Ribeirão Betim. Além disso, está presente nas áreas adjacentes ao reservatório, desde a cabeceira até a parte central.

Já os argissolos vermelho-amarelo englobam grande parte das sub bacias dos Córregos Praia do Batatal e Bela Vista e uma pequena parte do Córrego Morro Redondo e Ribeirão Betim. Este tipo de solo compõe também as áreas adjacentes ao reservatório na porção sul, próximo ao barramento.

O cambissoloháplico abrange um pequeno trecho da sub bacia do Córrego Água Suja, na porção noroeste.

**FIGURA 6 – Tipos de solos presentes na APA Vargem das Flores, Betim / MG.**



### **- Cambissolo**

Cambissolos são solos pouco desenvolvidos, com horizonte B em formação (B câmbico). A grande espessura do horizonte C, com a predominância da fração silte

torna esses solos altamente instáveis. Sua mineralogia é fortemente influenciada pelo material de origem, podendo ser desde álicos a eutróficos. Essa instabilidade limita a mecanização. Contudo, os Cambissolos de espessura mediana e sem restrição de drenagem apresentam bom potencial agrícola.

Os Cambissolos háplicos, presente na região do estudo, são identificados normalmente em relevos forte ondulados ou montanhosos, que não apresentam horizonte superficial A Húmico. São solos de fertilidade natural variável. Apresentam como principais limitações para uso, o relevo com declives acentuados, a pequena profundidade e a ocorrência de pedregosidade na massa do solo (EMBRAPA, 2013).

#### **- Argissolo**

Os Argissolos são solos profundos, ocorrendo maior concentração de argila no horizonte B (B textural). São fortes a moderadamente ácidos, com saturação por bases alta, ou baixa, predominantemente cauliníticos. A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A. A classe dos Argissolos Vermelho-Amarelos, presente na área de estudo, está presente em todo o território nacional, do Amapá ao Rio Grande do Sul, constituindo a classe de solo das mais extensas no Brasil, ao lado dos Latossolos. Ocorrem em áreas de relevos mais acidentados e dissecados do que os relevos nas áreas de ocorrência dos Latossolos (EMBRAPA, 2013).

#### **- Latossolo**

Os Latossolos Vermelho-Amarelos são identificados em extensas áreas dispersas em todo o território nacional associados aos relevos, plano, suave ondulado ou ondulado. Ocorrem em ambientes bem drenados, sendo muito profundos e uniformes em características de cor, textura e estrutura em profundidade.

São muito utilizados para agropecuária apresentando limitações de ordem química em profundidade ao desenvolvimento do sistema radicular se forem álicos, distróficos ou ácidos. Em condições naturais, os teores de fósforo são baixos, sendo indicada a adubação fostatada. Outra limitação ao uso desta classe de solo é a baixa quantidade de água disponível às plantas (EMBRAPA, 2013).

#### 4.1.6. Características Hidrográficas

A área de drenagem do reservatório Vargem das Flores está inserida na Bacia do Rio Paraopeba, sub bacia do Ribeirão Betim. Cinco sub-bacias principais compõem a região hidrográfica na qual o escoamento global converge para o reservatório de Vargem das Flores, são elas: Ribeirão Betim, Córrego do Morro Redondo, Córrego Água Suja, Córrego Praia do Batatal e Córrego Bela Vista (Figura 7).

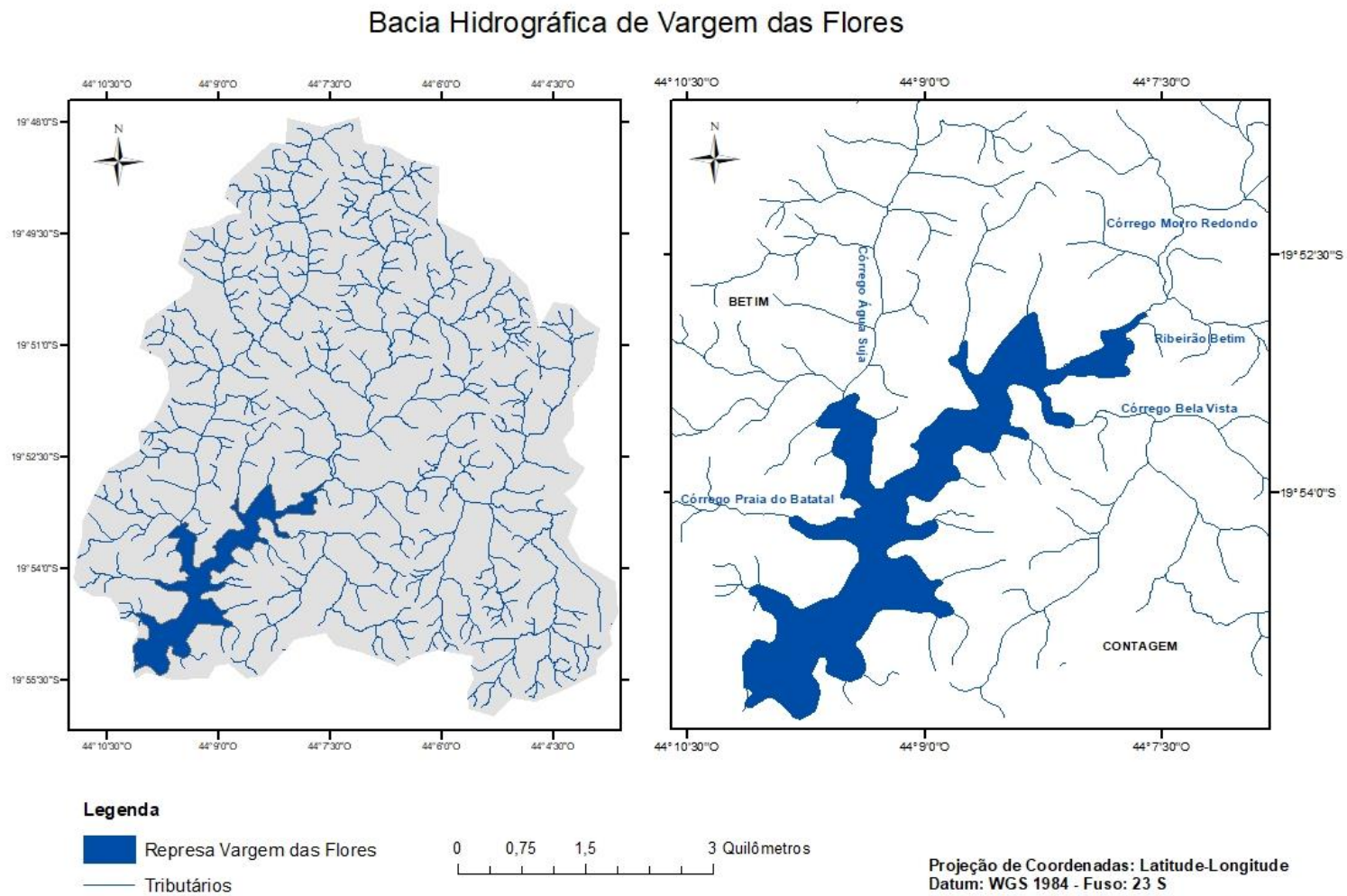
O Ribeirão Betim, principal tributário contribuinte do reservatório, apresenta uma maior área dentro da Bacia Hidrográfica. No entanto, a sub bacia do Córrego Água Suja, é a que apresenta maiores densidades hidrográfica e de drenagem, conforme descrito na Tabela 2. Esses dados sugerem uma pequena infiltração de água no solo e um maior escoamento superficial. Esses dois cursos d'água, além de concentrarem um maior contingente populacional, representam as áreas mais afetadas e são os principais contribuintes como fonte de nutrientes (nitrogênio e fósforo) da Bacia (SANTOS, 2012).

**TABELA 2 – Índices de caracterização da Bacia Hidrográfica de Vargem das Flores.**

Sub bacia	Área		Densidade Hidrográfica (km <sup>2</sup> )	Densidade de Drenagem (km <sup>2</sup> )
	(km <sup>2</sup> )	(%)		
<b>Ribeirão Betim</b>	35,19	28,71	2,15	1,98
<b>Água Suja</b>	29,65	24,17	7,06	4,78
<b>Morro Redondo</b>	29,39	23,97	2,47	1,92
<b>Bela Vista</b>	10,56	8,61	1,7	1,59
<b>Praia do Batatal</b>	1,6	1,30	4,13	2,58
<b>Contribuição direta</b>	10,99	8,96	6,14	1,50
<b>Área do reservatório</b>	5,25	4,28	-	-
<b>TOTAL</b>	122,63	100	-	-

Fonte: Adaptado de Morais (2012).

**FIGURA 7 – Bacia Hidrográfica de Vargem das Flores, Betim / MG.**



## **4.2 – Obtenção e tratamento de dados**

O trabalho foi desenvolvido a partir das seguintes informações: dados de sensoriamento remoto (através de imagens multiespectrais) e dados limnológicos (referente às propriedades físicas, químicas e biológicas do reservatório estudado).

O tratamento das diversas informações foi realizado através da utilização do software ArcGis10.2, além de programas como o Microsoft Office Excel 2007 e o Google Earth.

### *4.2.1 – Dados de sensoriamento remoto*

#### ***- Aquisição de amostras e obtenção de dados***

Através do catálogo digital do Serviço Geológico dos Estados Unidos – United States Geological Survey (USGS), foram selecionadas para compor as imagens três cenas do satélite Landsat 5/TM, órbita/ponto 218/74, datas 28/06/1986, 23/06/1996 e 03/06/2006 e uma cena do satélite Landsat 8/OLI, órbita/ponto 218/74, data 16/07/2016.

As imagens Landsat 5/TM possuem características como: resolução radiométrica de 8 bits (256 níveis de cinza), resolução espectral com três bandas, cobrindo a região do espectro visível (Bandas 1; 2 e 3), uma banda cobrindo o infravermelho próximo - IVP (Banda 4), duas bandas cobrindo o infravermelho médio - IVM (Bandas 5 e 7), todas com 30 m de resolução espacial, e uma banda termal (Banda 6), com 60 m de resolução espacial. Já as imagens do Landsat 8/OLI, possuem resolução radiométrica de 12 bits, uma banda ultra-azul, útil para estudos costeiros e aerossol (banda 1), três bandas, cobrindo a região do espectro visível (Bandas 2; 3 e 4), uma banda cobrindo o infravermelho próximo - IVP (Banda 5), duas bandas cobrindo o infravermelho médio - IVM (Bandas 6 e 7), uma banda cirrus, útil para a detecção de nuvens (Banda 9), todas com 30 m de resolução espacial, e uma banda pancromática (Banda 8), com 15m de resolução espacial.

#### ***- Correção geométrica***

As imagens obtidas por meio de satélites apresentam distorções e precisam de uma correção, pois necessitam de uma adequação a uma projeção específica, reduzindo o efeito de distorções geométricas assim como a relação de uma base de dados de um sistema de informações geográficas (SIG). Para realização de tal procedimentos, utilizou-se a ferramenta

*ArcToolbox/Composite*, que permite o empilhamento das bandas em um único arquivo.

Apesar das imagens retiradas do catálogo do USGS serem georretificadas e apresentarem uma zona UTM correta, as mesmas estão projetadas no hemisfério norte, que difere do hemisfério da área de estudo, que é o sul. Sendo assim, a imagem foi reprojetaada através da ferramenta *ArcToolbox/ProjectRaster*.

Através da coleta de alguns pontos de controle na área de estudo, procedeu-se o georreferenciamento da imagem a partir da ferramenta *Georeferencing*. Os pontos de controle foram distribuídos por toda a imagem e apresentaram um valor do erro RMS menor que 0,5.

#### **- *Composição de bandas***

Procedeu-se uma análise dos valores médios de nível digital (ND) das principais classes de uso e cobertura do solo e de seus desvios padrões. Para as três cenas do satélite TM/Landsat 5, as classes foram melhor distinguidas nas Bandas 5R4G3B. Já para a cena do sensor OLI/Landsat 8, as classes foram melhor distinguidas das Bandas 6R5G4B. Estas bandas então foram selecionadas para o processamento das imagens.

#### **- *Classificação e mapeamento do uso e cobertura do solo***

Primeiramente, procedeu-se uma classificação visual das imagens obtidas nos anos de 1986, 1996, 2006 e 2016 com o intuito de definir as classes predominantes de uso e cobertura da terra. Posteriormente realizou-se uma inspeção de campo com o objetivo de conferir a veracidade das informações obtidas preliminarmente. A partir daí foi possível chegar a uma conclusão sobre o respectivo uso da terra e definir as seguintes classes mais expressivas para a conclusão do trabalho, são elas:

- Recursos hídricos: Cursos d'água superficiais, represa, barramentos naturais e artificiais e reservatório.
- Urbanização: caracterizada pela presença de áreas urbanas consolidadas e não consolidadas, chacreamentos, sítios, loteamentos e estradas de acesso pavimentadas.
- Solo exposto: áreas de mineração, estradas de acesso não pavimentadas, áreas antropizadas, pastagem degradada, ravinamentos e voçorocas.

- Cobertura vegetal: Vegetação característica dos biomas Cerrado e Mata Atlântica.
- Pastagem: Área constituída por gramíneas do gênero *Brachiaria*, com ou sem a presença de gado, equinos, entre outros.

Uma vez que as classes foram delimitadas e as amostras selecionadas, utilizou-se a ferramenta de *ImageClassification / MaximumLikelihoodClassification*, na qual classifica os pixels de comportamento espectral semelhante aos das amostras selecionadas. Ao final do processo de classificação, realizou-se o cálculo da área de cada classe de cobertura do solo de acordo com os anos selecionados para o estudo (1986, 1996, 2006 e 2016).

#### 4.2.2 - *Dados limnológicos*

A obtenção de dados limnológicos se deu através de informações de monitoramento realizado no reservatório pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA). Foi disponibilizada uma série histórica de monitoramento do ano de 1974 até 2016. Porém, nesse período, diversos anos estiveram ausentes ou com insuficiência de dados para embasar a pesquisa. Diante disso, foram selecionadas apenas amostras coletadas nos anos de 1991, 1993 e 2006 a 2016; a uma profundidade de 0,5 metros; nas estações chuvosa e seca.

Embora se dispusesse de uma variedade de 17 parâmetros de qualidade coletados mensal ou eventualmente entre os pontos de monitoramento, nem todos tiveram regularidade de amostragem. Por este motivo, foram selecionados os seguintes parâmetros para a pesquisa: fósforo total, clorofila a e transparência (disco de Secchi). Estes mesmos parâmetros foram utilizados por Veiga (2010), a fim de compreender o processo de deposição e ressuspensão do fósforo no reservatório de Alagados (PR) e seus efeitos sobre o corpo hídrico.

Para extração da clorofila a, utilizou-se os métodos espectrofotométrico ou tricromático, proposto por Strickland & Parsons (1968); e o método monocromático, proposto por Lorenzen (1967). Para o fósforo total, utilizou-se o método colorimétrico, proposto por Murphy & Riley (1962) e titulométrico, respectivamente.

Esses parâmetros foram utilizados para o ordenamento de uma base de dados. Posteriormente, foram obtidas médias anuais por estação, considerando-se todos os meses do período, bem como médias dos períodos de seca (outubro a março) e de chuva (abril a setembro).

As médias foram usadas para efetuar o cálculo do Índice de Estado Trófico (IET) do

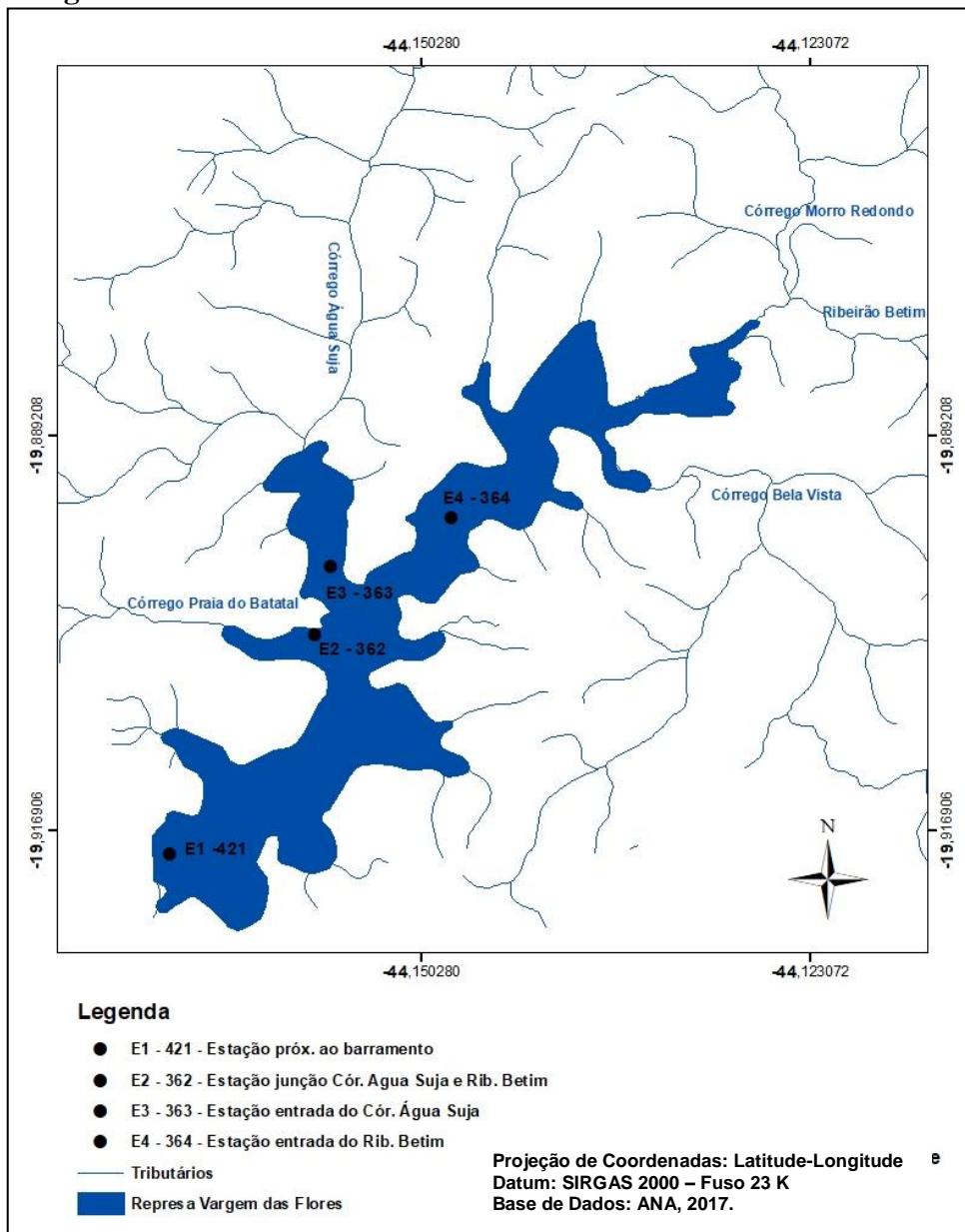
reservatório durante o período selecionado. Todos os valores foram obtidos através da utilização do programa Excel 2007.

#### **-Estações de amostragem**

Atualmente a COPASA opera um total de nove estações de monitoramento de água junto ao reservatório de Vargem das Flores, sendo que quatro delas estão presentes em manancial lântico e cinco em manancial lótico. Uma vez que as estações não dispõem de uma regularidade de monitoramento bem definida, muitas delas apresentam insuficiência de dados que inviabilizam a análise de uma série histórica.

Desta forma optou-se por trabalhar com quatro estações (Figura 08), que dispõe de dados mais substanciados e que podem fornecer informações mais relevantes ao trabalho por retratar, especificamente, a água do reservatório. Foram analisados os parâmetros Fósforo Total, Clorofila a e Transparência nos anos de 1991, 1993 e 2006 a 2016. A identificação e localização geográfica destas estações estão dispostas no Quadro 4.

**Figura 8 - Localização das estações amostrais onde foram coletados os dados limnológicos.**



**Quadro 4 – Identificação das estações de amostragem selecionadas para o trabalho.**

Estação	Coordenadas Geográficas – UTM
362	X= 588162, Y= 7799013
363	X= 588285, Y= 7799547
364	X= 589171, Y= 7799914
421	X= 587087, Y= 7797318

Fonte: COPASA, 2017.

A estação E1-421 está na região mais profunda da represa. Está na área de proteção da Copasa, próxima ao vertedouro, e não recebe influência direta dos tributários. Já a estação E2-362 encontra-se em uma posição mais central do espelho d'água, na junção de entrada do córrego Água Suja e ribeirão Betim. As estações E3-363 e E4-364 localizam-se na entrada dos tributários Água Suja e ribeirão Betim, respectivamente.

#### - Cálculo do Índice de Estado Trófico (IET)

O IET foi calculado por estação, a partir das médias anuais referente ao período de 1991, 1993 e de 2006 a 2016. Utilizou-se a metodologia proposta por Lamparelli (2004), que foi uma adaptação do índice adotado por Carlson (1977), para ambientes lênticos, a partir da aplicação das seguintes equações:

$$\text{IET (CL)} = 10 \times (6 - ((0,92 - 0,34 \times (\ln \text{CL})) / \ln 2))$$

$$\text{IET (PT)} = 10 \times (6 - (1,77 - 0,42 \times (\ln \text{PT}) / \ln 2))$$

$$\text{IET} = (\text{IET(PT)} + \text{IET(CL)}) / 2$$

onde:

PT: concentração de fósforo total medida à superfície da água, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ;

CL: concentração de clorofila a medida à superfície da água, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ;

ln: logaritmo natural.

Posteriormente, os resultados foram classificados de acordo com o grau de trofia, seguindo o Quadro 5.

**QUADRO 5 – Classificação do grau de trofia de acordo com o IET (LAMPARELLI, 2004).**

Índice	Classificação
IET < 47	Ultraoligotrófico
47 < IET < 52	Oligotrófico
52 < IET < 59	Mesotrófico
59 < IET < 63	Eutrófico
63 < IET < 67	Supereutrófico
IET > 67	Hipereutrófico

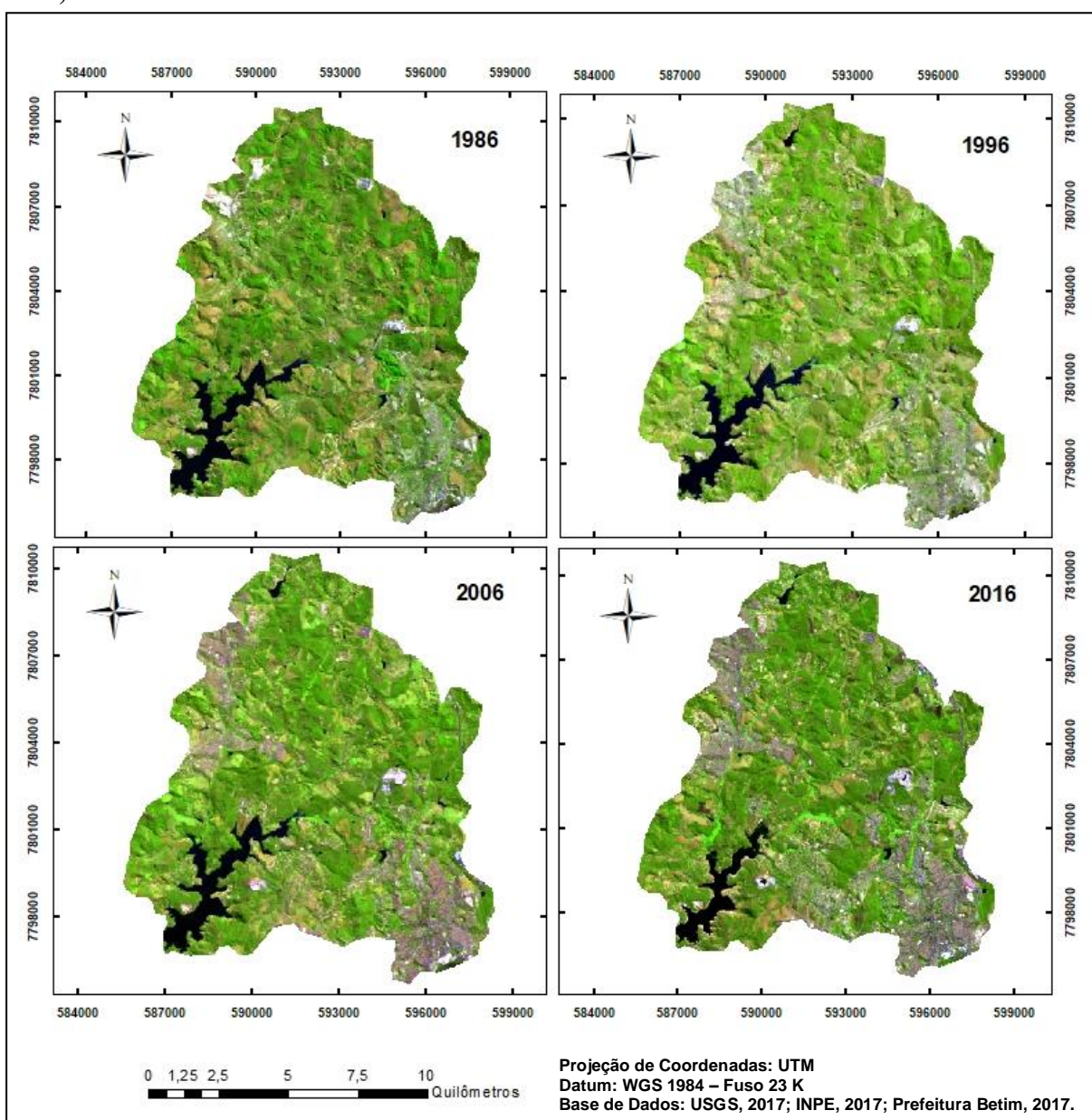
Fonte: Adaptado de Lamparelli (2004).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 – Dinâmica do uso e da cobertura da bacia de drenagem do reservatório Vargem das Flores / MG.

A partir da fase de pré-processamento das imagens obteve-se quatro recortes, um para cada ano, utilizando uma composição colorida 5R4G3B para os anos de 1986, 1996 e 2006 e 6R5G4B para o ano de 2016 (Figura 9).

**FIGURA 9 - Recorte obtidos do pré-processamento de imagens dos anos de 1986, 1996, 2006 e 2016.**



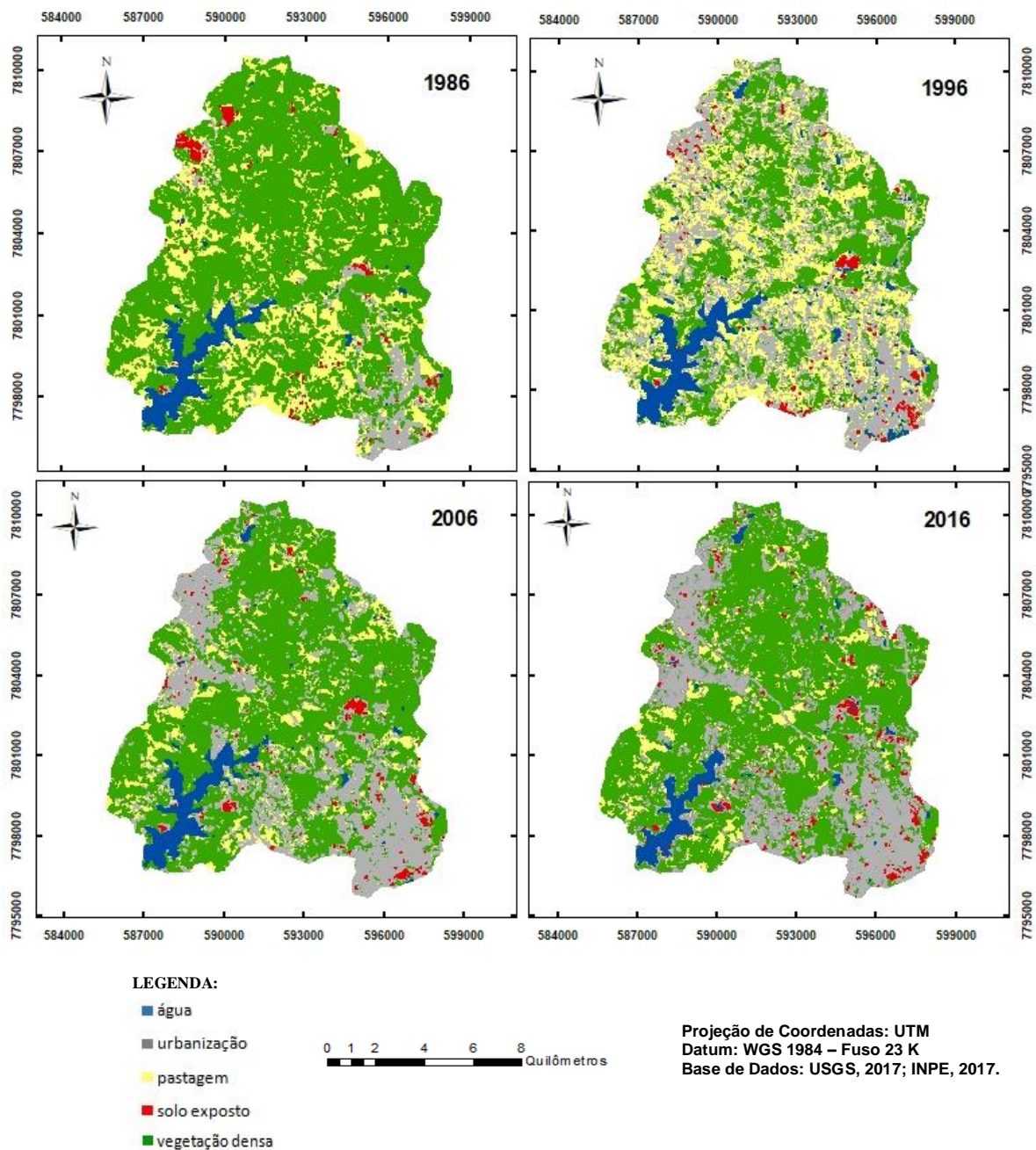
A partir da interpretação das imagens e ao realizar uma comparação visual das mesmas (Figura 9) é possível perceber mudança no uso do solo e cobertura da terra, principalmente entre os anos de 1986 e 1996. A mistura e a fragmentação de algumas classes dificultam o trabalho do intérprete, principalmente devido as características da resolução espacial das imagens dos satélites Landsat. Durante a classificação das imagens, foi possível observar que as classes urbanização e estrada de acesso apresentavam resposta espectral semelhantes, por este motivo elas foram unificadas na classe urbanização. Segundo Novo (1992), a classificação do uso do solo através de técnicas digitais esbarra no fato de que a variância interna das classes é muito grande devido a sua própria natureza, ou seja, áreas urbanas, comerciais e residenciais são formadas pelos mesmos objetos (concreto, asfalto, entre outros); porém possuem distribuição diferente.

As imagens obtidas através do sensor TM/Landsat 5 e OLI/Landsat 8, permitem diferenciar e quantificar as classes de uso e cobertura do solo em áreas extensas, mas com limitações devido a resolução espacial da imagem ser de 30m. A área de estudo apresenta objetos fragmentados e misturas. O ideal seria a utilização de fotos aéreas provenientes de drones ou imagens de satélite de alta resolução espacial. Porém estes recursos ainda possuem custos elevados, o que impede sua utilização em pequenos projetos e dissertações. No presente estudo se identificou e mapeou as principais classes de uso e cobertura dos solos na bacia hidrográfica de Vargem das Flores realizando-se análise multitemporal para compreender as alterações ao longo dos anos.

## **5.2 – Classificação da paisagem da APA Vargem das Flores.**

A partir da classificação supervisionada e da edição de imagens do TM/Landsat 5, referente aos anos de 1986, 1996 e 2006 e do OLI/Landsat 8, referente ao ano de 2016; foram obtidos mapas de uso e cobertura do solo da área de estudo, conforme são apresentadas nas imagens inseridas na Figura 10.

**FIGURA 10– Mapa de uso e cobertura do solo na APA Vargem das Flores entre os anos de 1986, 1996, 2006 e 2016.**



Uma vez finalizado o processo de classificação do uso do solo, realizou-se o cálculo da área de cada tipologia de cobertura do solo para cada ano, conforme ilustra a Tabela 3.

**TABELA 3 – Áreas das classes de uso e cobertura do solo da APA Vargem das Flores nos anos de 1986, 1996, 2006 e 2016.**

CLASSES	Ano								Diferença**
	1986		1996		2006		2016		1986 a 2016
	Área/ km <sup>2</sup>	%*	Área/km <sup>2</sup>	%*	Área /km <sup>2</sup>	%*	Área/ km <sup>2</sup>	%*	Área/km <sup>2</sup>
	(%)								
<b>Água / Drenagem superficial</b>	455,12	3,72	569,50	4,65	468,84	3,82	317,60	2,59	- 137,52 (30,21%)
<b>Urbanização</b>	2367,28	19,30	2428,31	19,80	2755,30	22,47	3961,46	32,30	+ 1594,18 (67,34%)
<b>Solo Exposto</b>	88,19	0,72	76,52	0,62	91,91	0,75	101,74	0,83	+ 13,55 (15,36%)
<b>Vegetação Densa</b>	6160,03	50,23	4338,44	35,38	5871,21	47,88	5080,66	41,44	- 1079,37 (17,52%)
<b>Pastagem</b>	3192,38	26,03	4850,23	39,55	3075,74	25,08	2801,54	22,84	- 390,84 (12,24)
<b>TOTAL</b>	12.263,00	100	12.263,00	100	12.263,00	100	12.263,00	100	-

Nota:\* Calculo de proporção (%) das áreas realizado entre as classes de uso e cobertura do solo em um determinado ano (colunas); \*\* Calculo de proporção (%) das alterações das áreas de uma mesma classe de uso e ocupação do solo (linhas) ao longo do período compreendido entre 1986 a 2016.

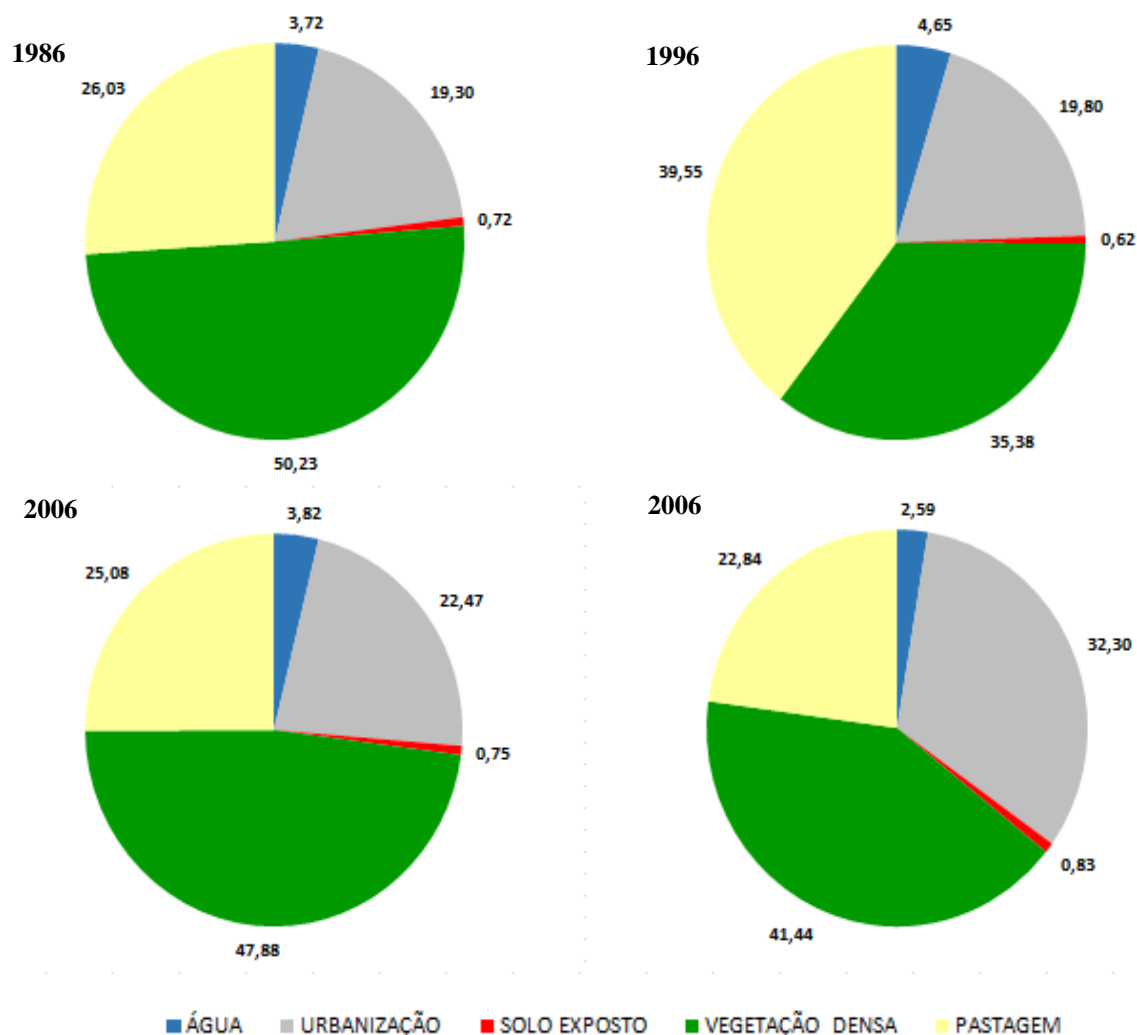
## - Urbanização

Como se observa na Tabela 3 trata-se de uma bacia hidrográfica bastante antropizada em decorrência, principalmente, da expansão urbana. É possível observar que a classe urbanização foi a que registrou maior expansão de sua área, uma vez que apresentou um aumento de mais de 67% ao longo dessas quatro décadas. Sua área, que ocupava 19% no ano de 1986, passou a ocupar 32% no ano de 2016, conforme ilustra a Figura 11. Nota-se que este aumento ocorreu principalmente nas Regiões de Nova Contagem e Petrolândia, ambas inseridas no município de Contagem que, ao longo dos anos, desenvolveu poucas ações que pudessem disciplinar o processo de ocupação desordenada e irregular no local e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais.

De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Contagem (PMSBC) (CONTAGEM, 2013), a população residente na Região Administrativa de Vargem das Flores cresceu 14% entre 2000 e 2010, passando de 48.472 para 55.238 habitantes, respectivamente.

Recentemente, a Câmara Municipal de Contagem aprovou a Lei Complementar nº 248 de 11 de Janeiro de 2018, que altera o Plano Diretor do município e, conseqüentemente, o macrozoneamento do entorno da APA. Entre as mudanças, cabe destacar a alteração de áreas rurais para áreas urbanas, modificando o parcelamento do solo e podendo acarretar um maior adensamento populacional, uma vez que em algumas regiões lotes de 20.000 m<sup>2</sup> foram substituídos por lotes de 360m<sup>2</sup>.

**FIGURA 11 - Distribuição das classes de uso e cobertura do solo, segundo sua área (%), na APA Vargem das Flores nos anos de 1986, 1996, 2006 e 2016.**



Situação semelhante foi registrada na APA da Região Metropolitana de Belém e nas áreas adjacentes ao reservatório de Barra Bonita (SP). Segundo Gutierrez *et. al.* (2017), a classe área urbana/construída teve um aumento de 110,8% entre os anos de 1984 e 2015 na APA da RM de Belém. Já no reservatório de Barra Bonita (SP), Prado (2004) constatou que entre os anos de 1990 a 2002 a área urbana localizada próximo ao reservatório aumentou mais de 29%. Neste último caso, o crescimento relacionou-se com a implantação de loteamentos em áreas inadequadas, de forma não planejada e sem a infraestrutura necessária, acarretando problemas ambientais e de outras ordens.

A pressão antrópica no entorno de mananciais em decorrência da expansão urbana ocasiona várias implicações diretas ao ambiente e a própria sociedade. A primeira refere-se aos impactos negativos causados aos cursos d'água afluentes do reservatório, como por

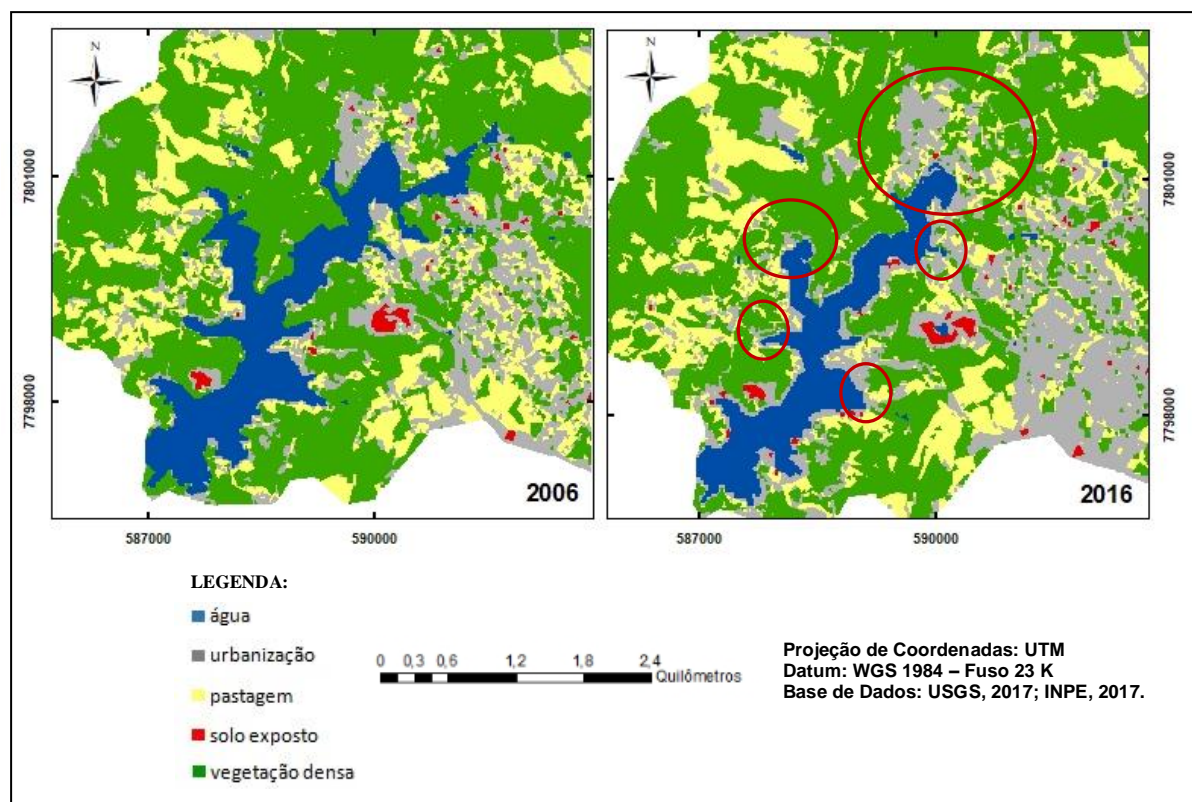
exemplo, lançamento de efluentes domésticos e industriais; aumento do escoamento superficial em decorrência da impermeabilização do solo; rebaixamento do nível do lençol freático devido a redução de água infiltrada no solo; aumento na produção de sedimento devido ao desmatamento, às construções e a produção de resíduos; e redução da evapotranspiração devido a substituição da cobertura vegetal (TUNDISI, 2006). A segunda relaciona-se aos impactos negativos registrados diretamente sobre a água do reservatório, como por exemplo, eutrofização, em decorrência do aporte de sedimentos; floração de algas; e diminuição das concentrações de oxigênio, podendo acarretar na morte de milhares de peixes. Alteração na quantidade e qualidade dos recursos hídricos podem ocasionar o aparecimento de diversas doenças e, dependendo do grau de comprometimento, o fornecimento de água a população pode ser interrompido, causando transtornos a comunidade.

Esteves (2011) relata ainda que o processo de eutrofização artificial resultante do lançamento de esgoto *in natura* gera também implicações de ordem econômica e social, tais como: aumento dos gastos com saúde pública; redução da biodiversidade aquática e do estoque pesqueiro; desvalorização imobiliária; redução ou mesmo extinção do lazer e do turismo; e redução da qualidade de vida humana.

### **- Água / Drenagem Superficial**

Em segundo lugar, a classe água foi a que apresentou maior alteração. Grande parte desta classe está representada pelo reservatório de Vargem das Flores, responsável pelo abastecimento de 15% da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). Foi possível observar que a classe sofreu uma redução de área demais de 30% ao longo de quatro décadas (Tabela 3). Essa diminuição pode ser observada nitidamente na área da represa, principalmente entre os anos de 2006 e 2016, conforme ilustra a Figura 12.

**FIGURA 12 – Principais pontos de redução de água na represa Vargem das Flores, entre os anos de 2006 a 2016.**



De acordo com os dados pluviométricos disponibilizados pela COPASA, os níveis de precipitação média da região, avaliado entre os anos de 2000 e 2015, foi de 111,92 mm mensal. Ocorre que nos anos de 2014 e 2015 foram registrados apenas 64,3 mm e 94,43 mm de chuva, respectivamente; o que pode ter contribuído para a diminuição de água do reservatório. Esse fato corrobora a informação da Agência Nacional das Águas (ANA, 2015), que destaca uma anormalidade das chuvas na Região Sudeste no ano de 2014. Ainda de acordo com a Agência, neste mesmo ano, as bacias de contribuição dos principais reservatórios de abastecimento urbano da região Sudeste contaram com precipitações próximas as mais baixas já registradas pelas séries históricas, com período de retorno superior a 100 anos. Este evento raro impediu a recuperação dos níveis dos reservatórios.

Galvão e Bermann (2015) afirmam que além das questões climáticas, podem-se considerar, ainda, outros fatores contribuintes para a diminuição na disponibilidade dos recursos hídricos, como ampliação na necessidade de abastecimento devido ao aumento populacional, consequente aumento na ocupação do solo, responsável pela mudança nos níveis de infiltração e escoamento de águas, aumento nas atividades produtivas e consequente aumento na poluição das águas.

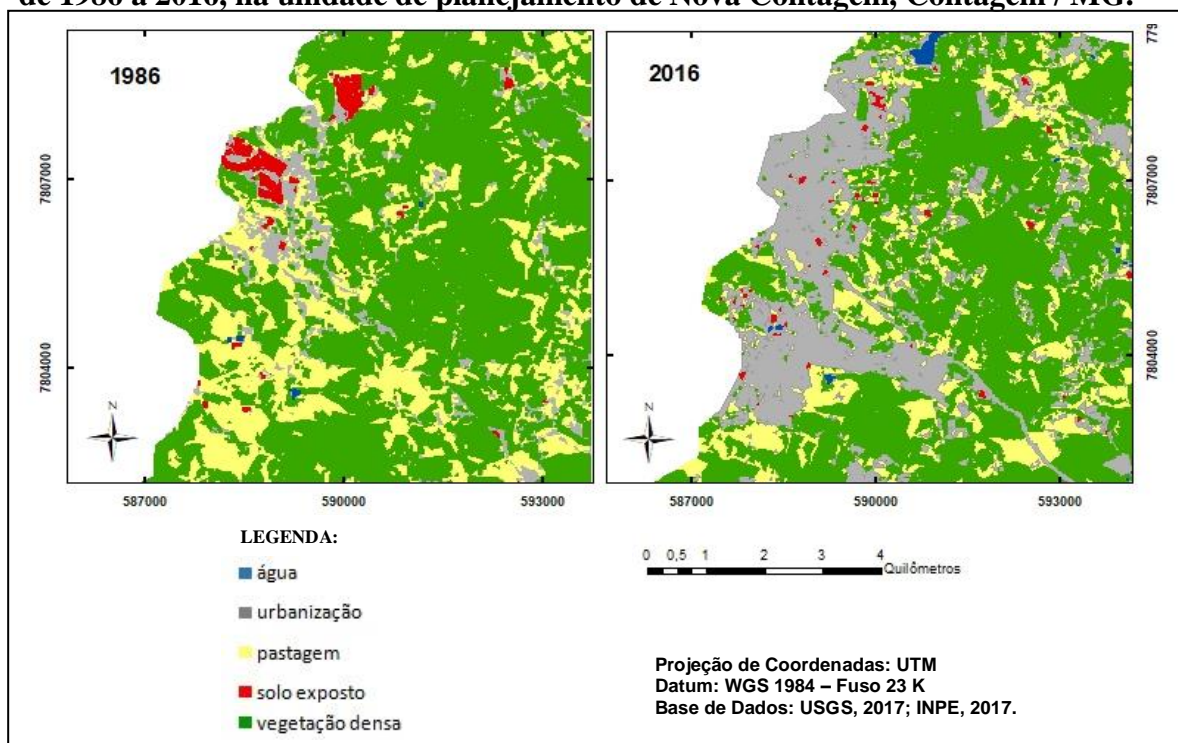
Segundo Fiorio *et al.*(2000), a alta suscetibilidade dos solos da microbacia hidrográfica do Ceveiro, em Piracicaba(SP), favoreceu o assoreamento e contribuiu para a diminuição de 50% da área da represa entre os anos de 1978 a 1995. Atualmente a represa encontra-se desativada e não fornece mais água para a comunidade.

#### **- Vegetação Densa**

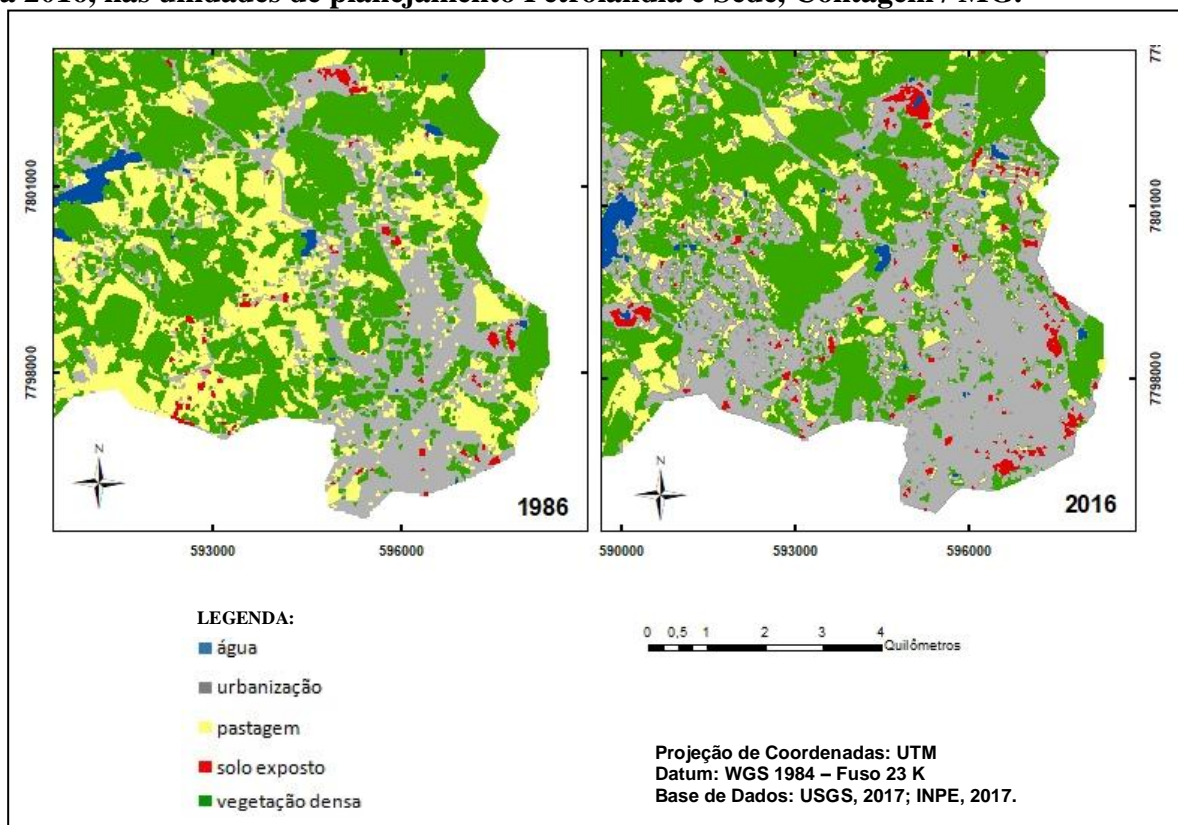
A classe vegetação densa apresentou uma redução de área de 17,5% entre 1986 a 2016 (Tabela 3).A unidade de planejamento Nova Contagem, localizada na região Noroeste, e as unidades de planejamento Petrolândia e Sede, localizadas na região sudeste, foram as que mais perderam vegetação para dar lugar à urbanização, conforme ilustra as Figuras 13 e 14.

Situação semelhante ocorre também na Bacia Hidrográfica de Billings, onde foi possível identificar uma substituição da cobertura florestal nativa (Mata Atlântica),fundamental para a produção de água em quantidade e qualidade adequadas ao abastecimento público; por áreas ocupadas por atividades humanas, principalmente aquelas ligadas a usos urbanos, como surgimento de novas ocupações, consolidação da ocupação existente e transformação de áreas rurais em áreas urbanas (CAPOBIANCO, WHATELY; 2002).

**FIGURA 13 – Diminuição da vegetação e aumento da urbanização, entre os anos de 1986 a 2016, na unidade de planejamento de Nova Contagem, Contagem / MG.**



**FIGURA 14 – Diminuição da vegetação e aumento da urbanização, entre os anos de 1986 a 2016, nas unidades de planejamento Petrolândia e Sede, Contagem / MG.**

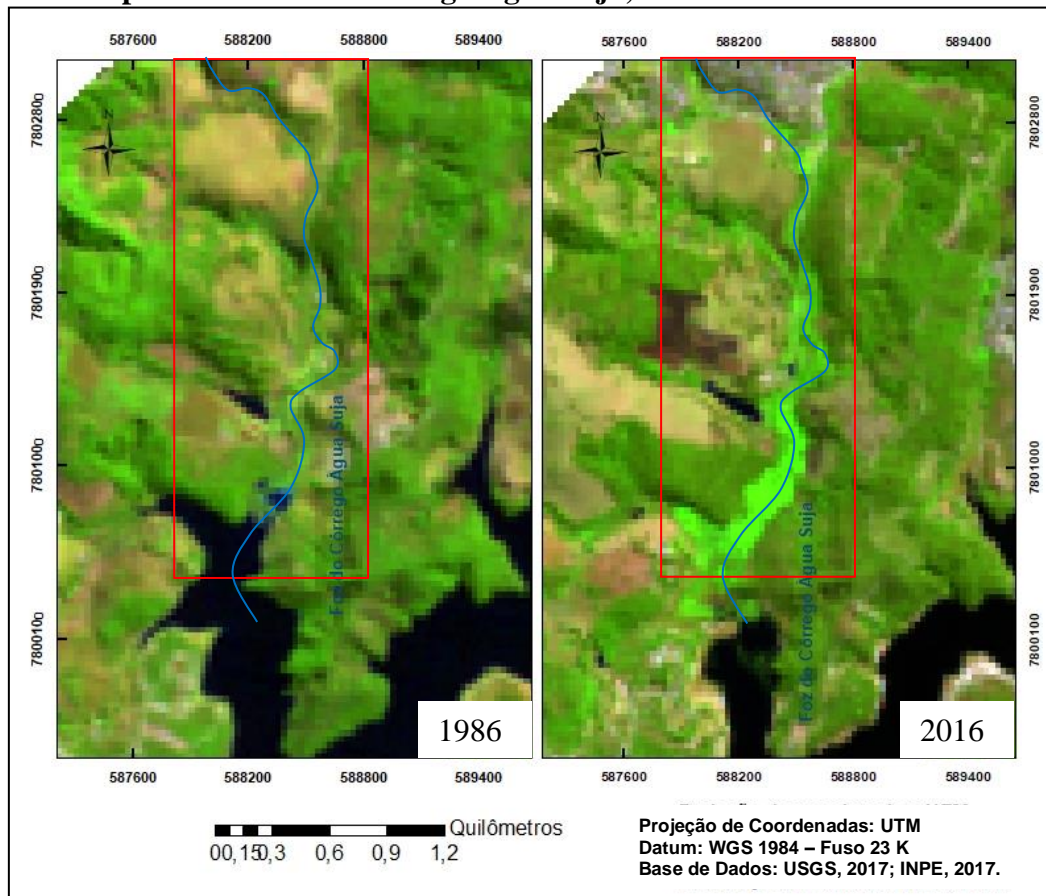


Queiroz e Imai (2007) registraram redução da área vegetada no entorno dos afluentes e no reservatório de Ituparanga (SP). Essas áreas foram substituídas por pastagens, culturas agrícolas e áreas urbanizadas. Lanza (2011) também registrou uma diminuição de 2,52% desta classe entre os anos de 2000 a 2008 nas microbacias contribuintes da represa de Ibirité (MG).

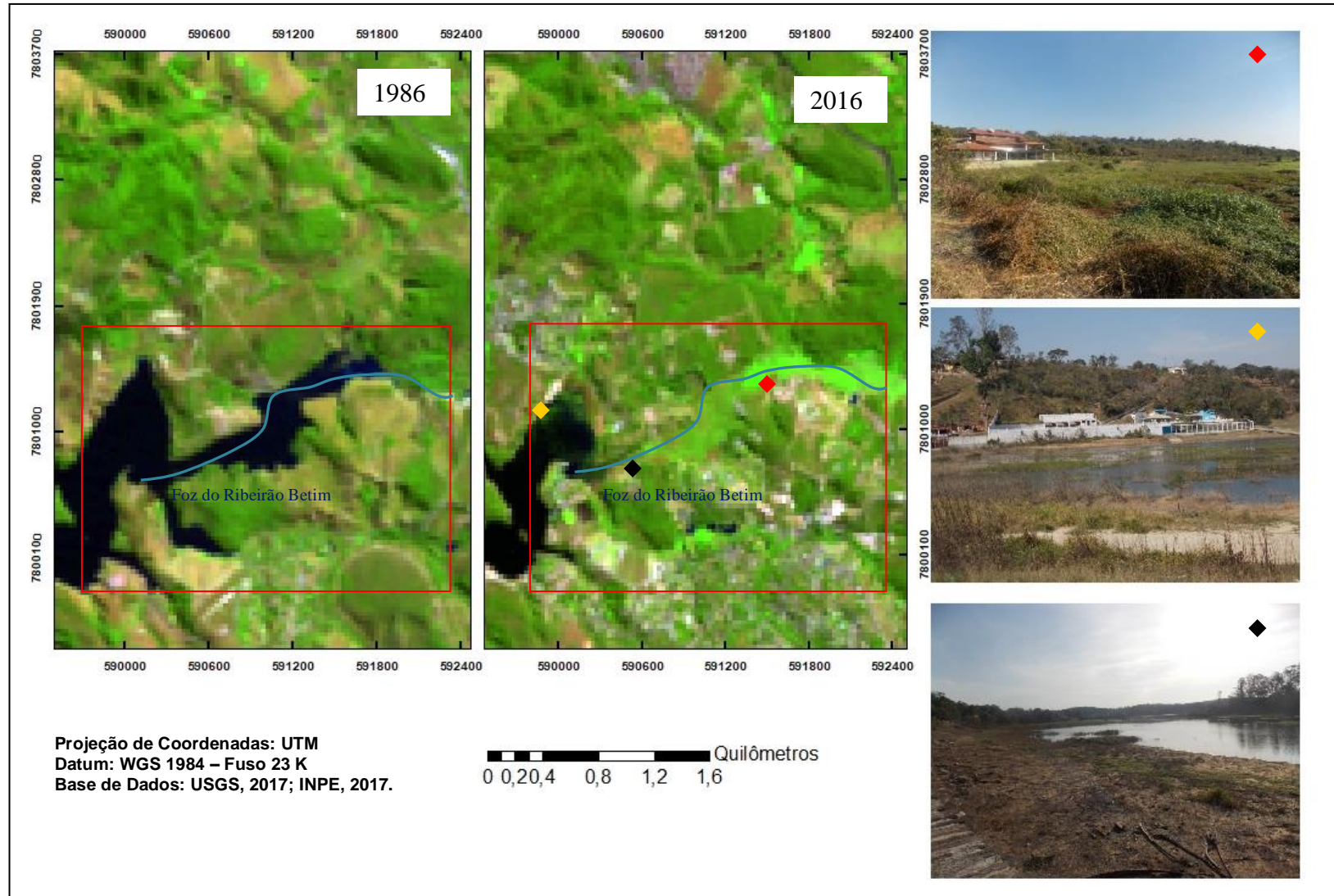
Segundo Rebolças *et al.* (2006), a substituição da cobertura vegetal pela urbanização provoca efeitos que alteram os componentes do ciclo hidrológico. A alteração da cobertura da bacia para pavimentos impermeáveis com inserção de condutos provoca alterações como: redução da infiltração no solo; aumento do escoamento superficial; diminuição do nível do lençol freático, reduzindo o escoamento subterrâneo e, conseqüentemente, a evapotranspiração.

A substituição da cobertura vegetal na bacia de Vargem das Flores por áreas urbanizadas e de pastagens aumentou o carreamento de sedimentos para o reservatório. Isso pode ter contribuído para o processo de assoreamento, principalmente na foz do Córrego Água Suja (Figura 15) e do Ribeirão Betim (Figura 16), ocasionando a redução do espelho d'água.

**FIGURA 15 – Processo de assoreamento do reservatório Vargem das Flores, próximo a foz do Córrego Água Suja, entre os anos de 1986 e 2016.**



**FIGURA 16 – Processo de assoreamento do reservatório Vargem das Flores, próximo a foz do Ribeirão Betim, entre os anos de 1986 e 2016.**



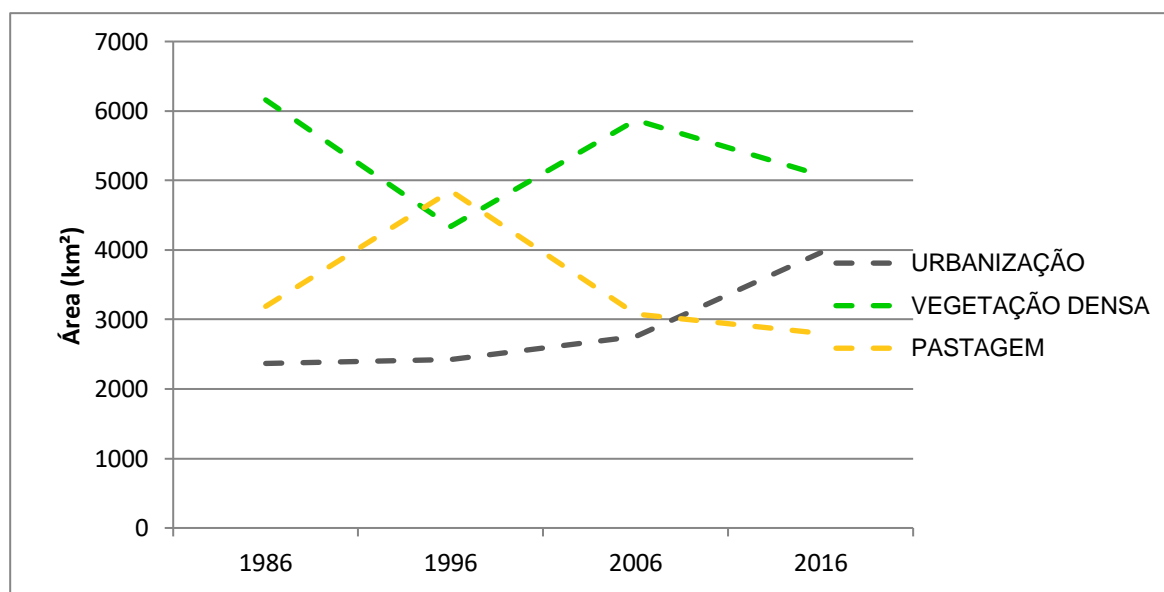
### - Solo exposto

A classe solo exposto registrou um aumento de pouco mais de 15% entre 1986 e 2016 (Tabela 3). É possível verificar que no ano inicial, grande parte desta classe estava concentrada na Região de Nova Contagem, uma vez que loteamentos estavam sendo implantados, deixando o solo descoberto. Nos demais anos, a classe mostrou comportamento semelhante, concentrando-se em alguns pontos de área urbanizada, nos locais de implantação de atividade mineraria e em alguns trechos de pastagens degradadas, conforme retratado na Figura 10.

### - Pastagem

A classe pastagem foi a apresentou menor alteração de sua área, quando comparada as demais classes de uso e cobertura do solo identificadas na APA Vargem das Flores. Em quatro décadas a classe reduziu sua área em 12%. Ao analisar a Tabela 3 e Figura 17 é possível observar que as áreas de pastagem tiveram um aumento de aproximadamente 52% entre 1986 e 1996, e as áreas vegetação uma redução de 29,5%. Posteriormente, entre 1996 e 2006, nota-se que ocorreu exatamente o contrário dos anos anteriores, ou seja, áreas de pastagem tiveram uma redução de 36,5%, enquanto as áreas de vegetação densa subiram 35,3%.

**FIGURA 17- Distribuição das classes de uso e cobertura do solo dentro da APA Vargem das Flores entre os anos de 1986 a 2016, conforme tamanho de sua área.**



A alteração de áreas de pastagem por áreas urbanizadas e de vegetação densa relaciona-se com a alteração da base econômica do município de Contagem. Na década de 70, quando iniciou o processo de industrialização, a densidade demográfica do município era de 569,86 hab/km<sup>2</sup> e a região de Vargem das Flores era praticamente inabitada. Na década de 80 a densidade demográfica mais que dobrou, passando para 1.436,87 hab/km<sup>2</sup>. Neste período inicia-se o processo de ocupação da Bacia de Vargem das Flores por áreas de fazendas que, basicamente, desenvolviam atividades agropecuárias. A expansão das atividades industriais e a valorização das áreas centrais ocasionaram o processo de ocupação irregular na bacia e a substituição de fazendas por áreas de sítios e chácaras para ocupação temporária, principalmente nos finais de semana (MORAIS, 2012).

Segundo Moraes (2012), após a década de 1980, várias famílias que ocupavam irregularmente às margens dos córregos e de encostas na região centro sul do município tiveram que ser removidas. Para atender estas famílias, o poder executivo implantou na região noroeste da bacia Vargem das Flores, na divisa com o município de Esmeraldas/MG, um novo bairro, inicialmente planejado para receber parte da população que ficou desabrigada a partir da construção das principais avenidas sanitárias do município.

A substituição no uso e cobertura do solo da região facilitou o processo de regeneração natural de diversas pastagens, ocasionando um aumento na área de vegetação densa ao longo dos anos.

### 5.3 - Análise do comportamento individual dos parâmetros Fósforo Total, Clorofila a e Transparência na superfície do reservatório.

A partir dos valores obtidos através das coletas realizadas nas estações de monitoramento selecionadas, nos períodos seco e chuvoso, obteve-se as médias anuais dos parâmetros fósforo total ( $P_{Total}$ ), clorofila a ( $Cl_a$ ) e transparência da água ( $T_{água}$ ).

#### 5.3.1 Fósforo Total ( $P_{total}$ )

Os valores médios aplicados ao parâmetro  $P_{Total}$  no período seco variaram entre 10 e 72  $\mu\text{g.L}^{-1}$ , e no período chuvoso entre 5,1 e 95  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ; conforme pode ser observado na Tabela 4.

**TABELA 4– Valores médios anuais do parâmetro Fósforo Total ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) coletado nas estações de monitoramento selecionadas para o trabalho, no período de 1991,1993 e 2006 a 2016.**

	Fósforo Total ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )							
	421 - E1		362-E2		363-E3		364-E4	
	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
<b>1991</b>	24,5	20	20	33*	20	65*	20	41*
<b>1993</b>	ND	5,1	20	20	24,5	86*	20	20
<b>2006</b>	20	20	20	20	20	20	20	20
<b>2007</b>	20	15	20	13	20	13	20	13
<b>2008</b>	10	19	10	10	10	10	10	10
<b>2009</b>	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>2010</b>	10	42*	10	34*	10	10	10	10
<b>2011</b>	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>2012</b>	10	10	ND	10	ND	10	ND	10
<b>2013</b>	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>2014</b>	10	34*	10	32*	10	17	10	25
<b>2015</b>	72*	36*	57*	28	36*	76*	56*	95*
<b>2016</b>	14,5	27	45*	10	10	10	10	10
<b>Q1</b>	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>Md</b>	10	19	15	13	10	10	10	10
<b>Q3</b>	20	27	20	28	20	20	20	20

**Nota:** Em que ND = não disponível; \* acima do limite máximo (0,03  $\text{mg.L}^{-1}$  ou 30  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e pela Deliberação Normativa COPAM/CERH Nº 01/2008; Md = Mediana; Q1 = Primeiro Quartil; Q3 = Terceiro Quartil; E1 = (Próximo ao barramento); E2 = Ponto de encontro dos dois braços principais da represa; E3 = Ponto de afluência do córrego Água Suja e E4 = Ponto de afluência do ribeirão Betim.

Os valores máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e pela Deliberação Normativa COPAM/CERH Nº 01/2008 para o parâmetro fósforo total, em

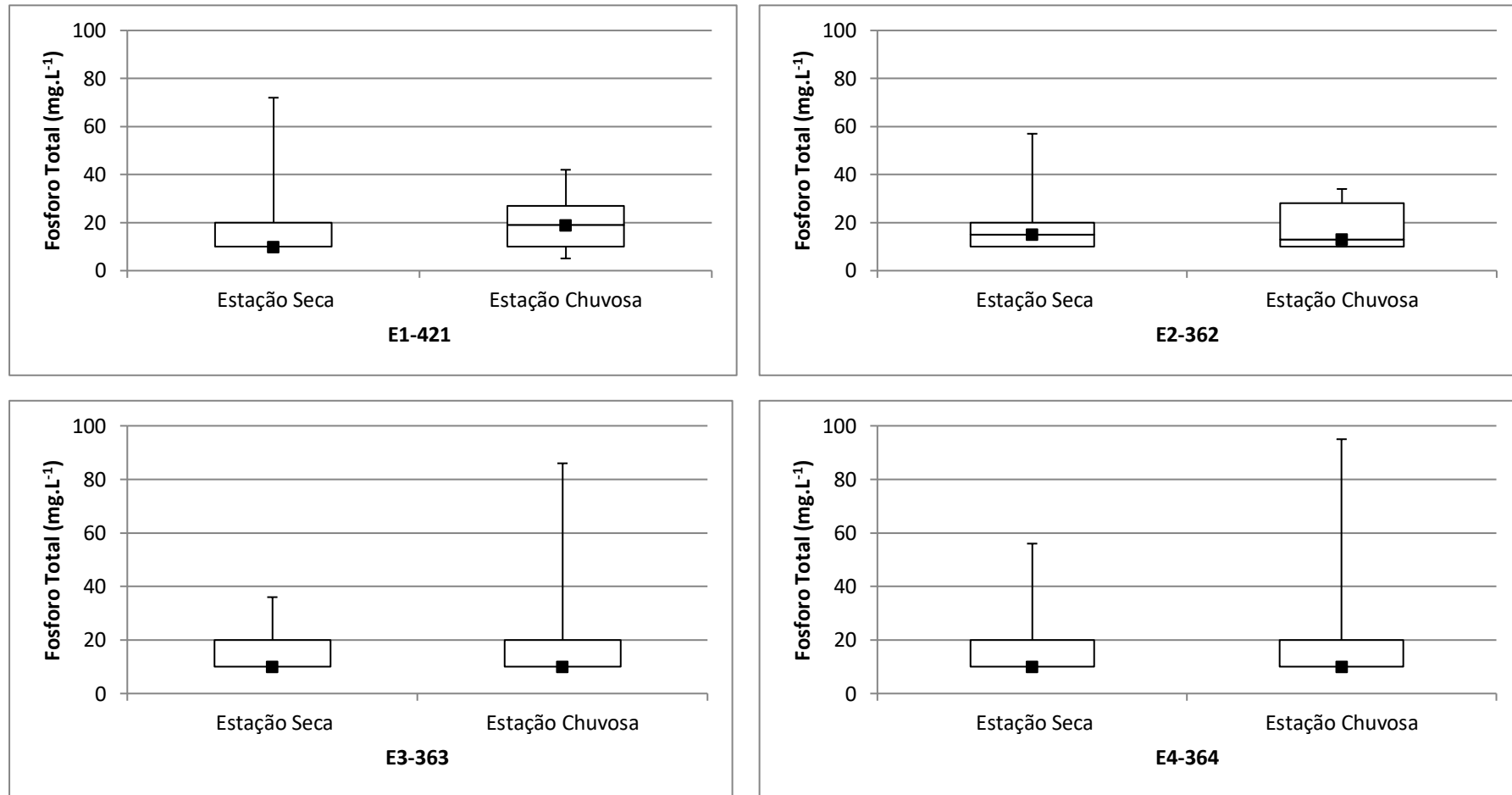
ambientes lênticos, é de 0,03 mg.L<sup>-1</sup> ou 30 µg.L<sup>-1</sup>. Após análise da Tabela 4, nota-se que esse parâmetro se apresentou fora dos limites estabelecidos nos anos de 1991 (estações E2-362, E3-363 e E4-364), 1993 (estações E3-363), 2010 (estações E1-421 e E2-362), 2014 (estações E1-421 e E2-362), 2015 (estações E1-421, E2-362, E3-363 e E4-364) e 2016 (estação E2-362).

As alterações no uso e cobertura do solo apontadas na Figura 10 entre os anos de 1986 e 1996 pode ser um dos fatores que contribuíram para o aumento dos níveis de fósforo total entre 1991 e 1993 (Tabela 4); uma vez que as áreas de pastagem tiveram maior crescimento neste período. Sabe-se que o Fósforo é amplamente utilizado nessas áreas, seja através da utilização de adubos fosfatado, como por exemplo o NPK, ou através de alimento para o gado. Sendo assim, parte desses compostos são lançados em cursos d'água via escoamento superficial. Segundo Mansor (2005), nos Estados Unidos a concentração de P<sub>(Total)</sub> no escoamento superficial de pastos é de 7 mg.l<sup>-1</sup>.

De 2010 a 2016, nota-se que o fósforo total apresentou aumentos significativos, principalmente no período chuvoso. Estes eventos podem estar relacionados ao lançamento de efluentes sanitário e industrial nos tributários que compõe a bacia hidrográfica, uma vez que a área urbanizada registrou um maior aumento entre os anos de 2006 e 2016, conforme ilustra a Figura 10.

Ao analisar o comportamento do P<sub>(Total)</sub> no período de estiagem, é possível observar que os valores máximos foram registrados na estação E1-421 (Figura 18). Já no período chuvoso, os valores máximos foram registrados na estação E4-364 (Figura 18), ponto de afluência do Ribeirão Betim na represa. Neste caso, a menor profundidade dessa estação, pode levar à alterações mais frequentes na dinâmica da coluna d'água tanto pela ação dos ventos quanto pela chegada do Ribeirão Betim nesse ponto, responsável por carrear grande parte da matéria orgânica que chega ao reservatório. Por esse motivo, os níveis de fósforo total no período chuvoso se mostraram mais elevados neste ponto, se comparado as demais estações de monitoramento.

**FIGURA 18 -Gráficos “box plot” do parâmetro fósforo total (PTotal) nos períodos chuvoso e seco, estações E1 (421), E2 (362), E3(363) e E4(364); Vargem das Flores/MG.**



**Nota:** E1- 421: Estação de coleta próxima ao vertedouro; E2- 362: Parte central do reservatório, próximo a junção de entrada do córrego Água Suja e ribeirão Betim; E3 – 363: Ponto de entrada do Córrego Água Suja no reservatório; E4 – 364: Ponto de entrada do Ribeirão Betim no reservatório.

### 5.3.2 Clorofila a ( $Cl_a$ )

Os valores médios aplicados ao parâmetro  $Cl_a$  no período seco variaram entre 0,74 e 35,47  $\mu\text{g.L}^{-1}$ , e no período chuvoso entre 2,96 e 27,81  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ; conforme pode ser observado na Tabela 5.

**TABELA 5 – Valores médios anuais do parâmetro Clorofila a ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) coletados nas estações de monitoramento selecionadas para o trabalho, no período de 1991, 1993 e 2006 a 2016.**

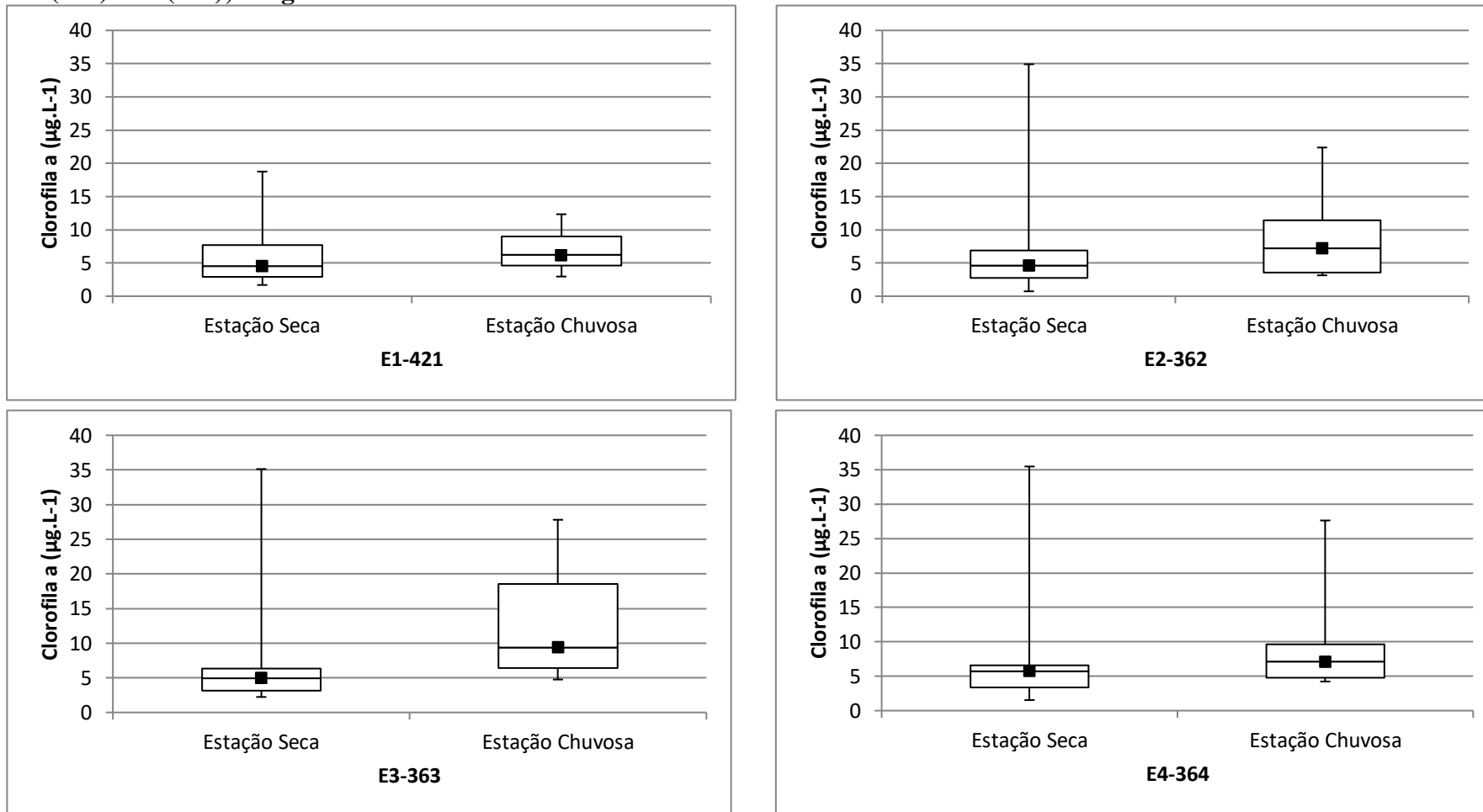
	Clorofila a ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )							
	421 - E1		362-E2		363-E3		364-E4	
	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
<b>1991</b>	2,92	3,00	1,89	3,15	2,23	4,75	2,23	4,75
<b>1993</b>	ND	8,32	ND	7,40	ND	9,39	ND	9,65
<b>2006</b>	2,18	4,93	6,57	10,85	6,82	6,36	6,47	7,13
<b>2007</b>	5,57	12,34	0,74	11,39	3,12	12,13	1,54	9,50
<b>2008</b>	3,14	5,04	2,79	3,38	5,51	10,87	5,75	8,52
<b>2009</b>	5,65	3,53	7,27	3,60	4,96	8,08	5,28	4,23
<b>2010</b>	1,69	2,96	2,65	3,16	2,32	5,50	2,31	4,64
<b>2011</b>	8,88	4,58	5,14	3,52	3,14	7,08	7,00	6,01
<b>2012</b>	7,31	6,38	ND	5,39	ND	6,38	ND	4,53
<b>2013</b>	2,81	8,99	3,81	17,74	3,59	22,45	4,38	27,63
<b>2014</b>	3,55	12,32	4,65	14,17	7,51	22,39	6,72	12,84
<b>2015</b>	9,39	6,2	7,98	7,22	5,89	27,81	5,77	14,78
<b>2016</b>	18,76	11,99	34,91*	22,38	35,13*	18,52	35,47*	5,23
<b>Q1</b>	2,89	4,58	2,72	3,52	3,13	6,38	3,34	4,75
<b>Md</b>	6,29	6,20	4,65	7,22	4,96	9,39	5,75	7,13
<b>Q2</b>	7,70	8,99	6,92	11,39	6,35	18,52	6,59	9,65

**Nota:** Em que ND = não disponível; \* acima do limite máximo (30 ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )) estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e pela Deliberação Normativa COPAM/CERH Nº 01/2008; Md = Mediana; Q1 = Primeiro Quartil; Q3 = Terceiro Quartil; E1 = (Próximo ao barramento); E2 = Ponto de encontro dos dois braços principais da represa; E3 = Ponto de afluência do córrego Água Suja e E4 = Ponto de afluência do ribeirão Betim.

Observa-se que durante o ano de 2016, no período seco, as estações E2-362, E3-363 e E4-364 apresentaram valores acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e pela Deliberação Normativa COPAM/CERH Nº 01/2008, que é de 30( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ). Ao analisar o comportamento da  $Cl_a$  nos dois períodos (seco e chuvoso), observa-se mais uma vez que as estações E2-362, E3-363 e E4-364 apresentaram comportamento bem similares com valores que variaram de 34,91 a 35,47  $\mu\text{g.L}^{-1}$  no período de estiagem e de 22,38 a

27,81 $\mu\text{g.L}^{-1}$  no período chuvoso (Figura 19). O aumento da disponibilidade de nutrientes carreados pelo Córrego Água Suja e pelo Ribeirão Betim e a elevação da temperatura nesta época podem ter favorecido o aumento da disponibilidade de clorofila a nestas estações. Mesmo fato foi observado por Gomes (2008), que constatou que a concentração de clorofila a manteve um padrão de distribuição tanto entre as profundidades quanto entre os dois períodos, não apresentando diferenças significativas.

**FIGURA 19 - Gráficos “box plot” do parâmetro Clorofila a (CL<sub>a</sub>) nos períodos chuvoso e seco, estações E1 (421), E2 (362), E3(363) e E4(364); Vargem das Flores/MG.**



**Nota: E1- 421: Estação de coleta próxima ao vertedouro; E2- 362: Parte central do reservatório, próximo a junção de entrada do córrego Água Suja e ribeirão Betim; E3 – 363: Ponto de entrada do Córrego Água Suja no reservatório; E4 – 364: Ponto de entrada do Ribeirão Betim no reservatório.**

### 5.3.3 Transparência (Disco de Secchi)

Os valores médios aplicados ao parâmetro transparência no período seco variaram entre 0,8 e 6,5 metros, e no período chuvoso entre 0,8 e 2,0 metros; conforme pode ser observado na Tabela 6.

**TABELA 6 – Valores médios anuais do parâmetro Transparência (metros) coletados nas estações de monitoramento selecionadas para o trabalho, no período de 1991,1993 e 2006 a 2016.**

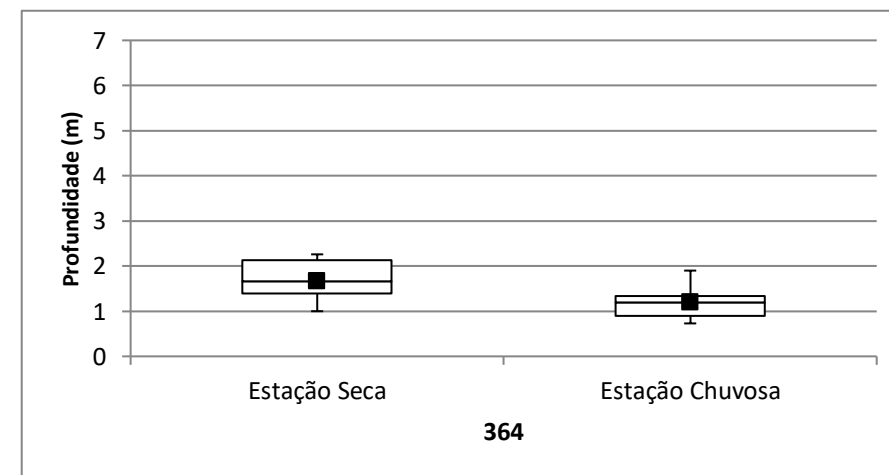
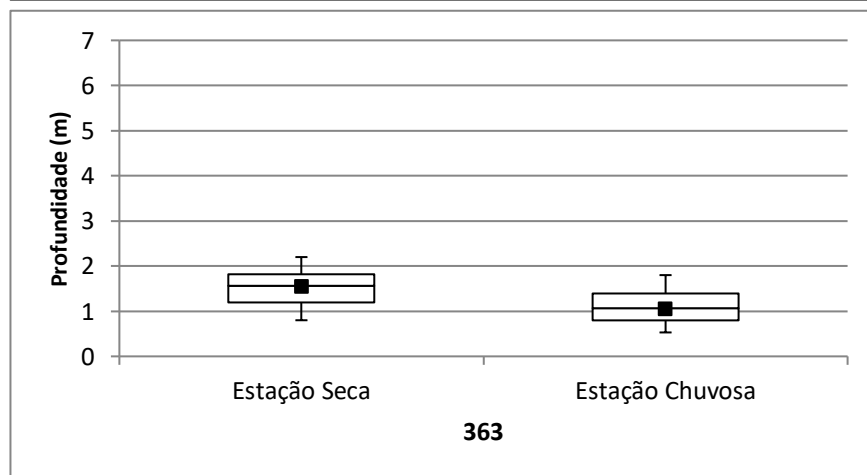
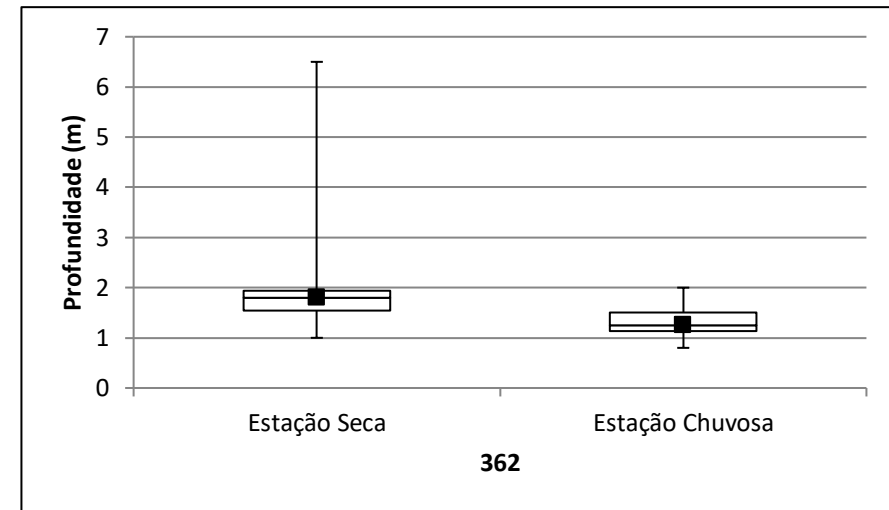
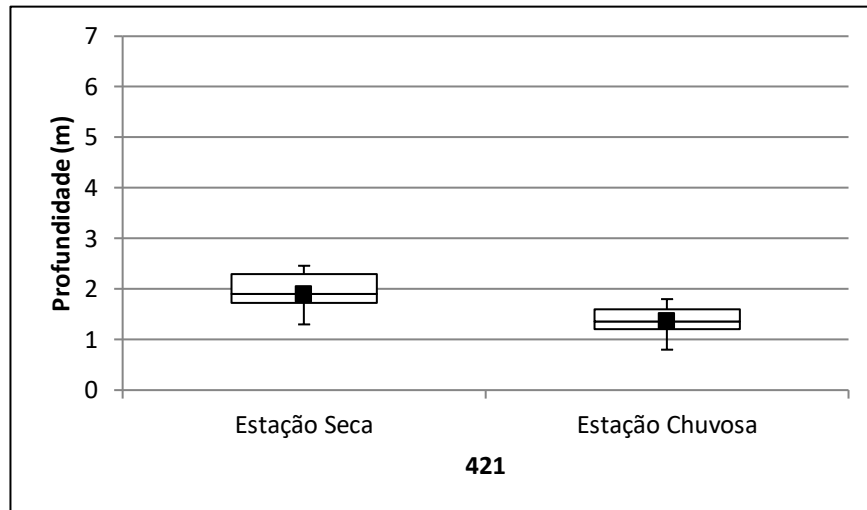
	Transparência (metros)							
	421 - E1		362-E2		363-E3		364-E4	
	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
<b>1991</b>	1,66	1,42	1,35	1,25	1,20	0,80	1,40	0,90
<b>1993</b>	2,08	1,68	1,85	1,50	1,80	1,50	1,45	1,25
<b>2006</b>	1,76	1,26	1,73	1,20	1,20	0,90	1,40	0,90
<b>2007</b>	1,88	1,06	1,80	0,80	1,40	0,70	1,60	0,73
<b>2008</b>	2,30	1,36	2,30	2,00	1,70	1,80	2,10	1,90
<b>2009</b>	1,90	1,60	1,83	1,36	1,66	1,33	4,73	1,33
<b>2010</b>	2,46	1,60	2,20	1,53	2,20	1,53	2,20	1,53
<b>2011</b>	1,60	1,80	1,60	1,80	2,20	1,40	1,80	1,60
<b>2012</b>	2,33	1,45	ND	1,30	ND	1,20	ND	1,20
<b>2013</b>	2,46	1,33	6,50	1,13	1,86	1,06	2,26	1,23
<b>2014</b>	2,13	0,80	1,80	0,80	1,46	0,73	1,73	0,80
<b>2015</b>	1,73	1,20	1,20	1,06	0,80	0,53	1,00	0,93
<b>2016</b>	1,30	1,00	1,00	1,20	1,00	0,90	1,00	1,00
<b>Q1</b>	1,73	1,2	1,53	1,13	1,2	0,8	1,4	0,9
<b>Md</b>	1,9	1,36	1,8	1,25	1,56	1,06	1,66	1,2
<b>Q3</b>	2,3	1,6	1,93	1,5	1,815	1,4	2,12	1,33

**Nota:** Em que ND = não disponível; Md = Mediana; Q1 = Primeiro Quartil; Q3 = Terceiro Quartil; E1 = (Próximo ao barramento); E2 = Ponto de encontro dos dois braços principais da represa; E3 = Ponto de afluência do córrego Água Suja e E4 = Ponto de afluência do ribeirão Betim.

Em grande parte dos anos estudados, observou-se um aumento da transparência da água, da cabeceira (Estações E3-363 e E4-364) para a barragem (Estação E1-421), na época de estiagem(Figura 20), o que significou que a baixa vazão decorrente do período seco provavelmente favoreceu a diminuição do transporte de material particulado e o seu depósito, por sedimentação, no fundo do reservatório. O banco de dados fornecido pela COPASA não apresentou dados do período de seca, no ano de 2012, referente as estações E2-362, E3-363 e E4-364.

Em contrapartida, na época das chuvas, a transparência apresentou uma queda, provavelmente em decorrência da turbulência causada pelas precipitações, assim como o carreamento de material em suspensão (Figura 20). Segundo Gomes (2008), a instabilidade do ambiente aquático neste período, provocada pela variação da turbidez, transparência e no regime de chuvas acarreta uma menor concentração de zooplâncton, podendo ocasionar a floração de cianobactérias.

**FIGURA 20 -Gráficos “box plot” do parâmetro Transparência(T), nos períodos chuvoso e seco, estações E1 (421), E2 (362), E3(363) e E4(364); Vargem das Flores/MG.**

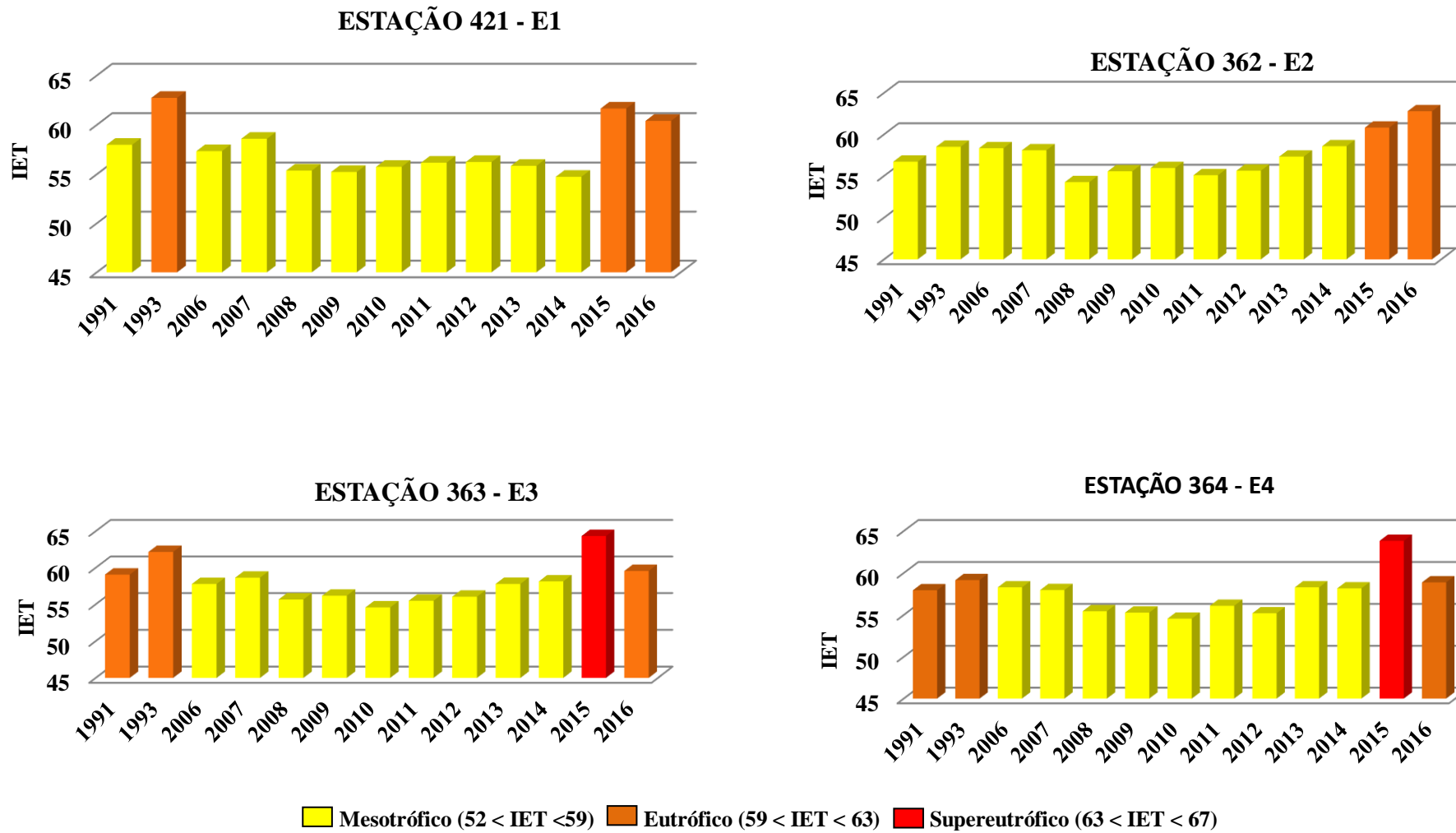


Nota: E1- 421: Estação de coleta próxima ao vertedouro; E2- 362: Parte central do reservatório, próximo a junção de entrada do córrego Água Suja e ribeirão Betim; E3 – 363: Ponto de entrada do Córrego Água Suja no reservatório; E4 – 364: Ponto de entrada do Ribeirão Betim no reservatório.

#### **5.4 - Determinação do Estado Trófico e do Potencial de Eutrofização do Reservatório**

Os valores obtidos a partir das médias aritméticas simples anuais foram aplicados na equação do Índice de Estado Trófico de Carlson modificado por Lamparelli (2004) para medir o potencial de eutrofização do reservatório e classificá-lo conforme o seu grau de trofia no período das análises. Os resultados obtidos a partir da aplicação na fórmula do IET podem ser visualizados na Figura 21.

FIGURA 21 –IET aplicado nas estações selecionadas para o trabalho, no período de 1991, 1993 e 2006 a 2016.



Verificou-se que o grau de trofia da represa variou de “mesotrófico” a “supereutrófico”. Porém, observou-se predominância do estado “mesotrófico”, indicando produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade e o uso da água.

As tendências maiores de eutrofização puderam ser evidenciadas no ano de 2015 nas estações E3-363 e E4-364 (Figura 21), demonstrando alta produtividade do ecossistema em relação às suas condições naturais. A escassez de chuva registrada no ano de 2014 na região pode ter favorecido os picos de  $P_{(Total)}$  observados em 2015, com valores acima da média para todos os pontos do reservatório. Esse fato justifica a classificação “supereutrófico” verificada nas estações E-363 e E-364.

Observou-se que as médias do IET foram praticamente iguais nos três pontos da represa; com exceção da estação E3-363, que apresentou valores pouco maiores que as demais estações (Tabela 7). Portanto, a tendência geral de apresentar características eutróficas na cabeceira do reservatório, e oligotróficas na zona próxima ao barramento (Lamparelli, 2004; Pagioro *et. al.*, 2005) não foi observada na represa Vargem das Flores.

**TABELA 7 - Resultados de IET e porcentagens obtidas para cada estado trófico nos pontos amostrais estudados.**

Estação	Variação do IET	Média IET	Desvio Padrão	Estado Trófico		
				M <sup>1</sup>	E <sup>2</sup>	S <sup>3</sup>
E1-421	54,7 a 62,7	57,5	2,5	76,93%	23,07%	-----
E2-362	54,2 a 62,7	57,5	2,3	84,61%	15,139%	-----
E3-363	54,5 a 64,3	58,1	2,7	69,23%	23,07%	7,7%
E4-364	54,5 a 63,8	57,6	2,4	69,23%	23,07%	7,7%

Nota: <sup>1</sup>Mesotrófico; <sup>2</sup>Eutrófico; <sup>3</sup>Supereutrófico.

## 6. CONCLUSÕES

O uso de técnicas de sensoriamento remoto através dos sistemas de informação geográfica é uma ferramenta poderosa que pode ser utilizada para o monitoramento de ecossistemas terrestres e aquáticos e para tomada de decisão na gestão ambiental. Através dela, foi possível verificar que a classe urbanização foi a que registrou maior expansão de sua área dentro da Área de Proteção Ambiental de Vargem das Flores, apresentando um aumento de mais de 67% ao longo dessas quatro décadas (1986 a 2016). Em contrapartida, a classe água/drenagem superficial, que está representada em grande parte pelo reservatório de Vargem das Flores, apresentou uma diminuição de mais de 30% no mesmo período.

A análise de alguns parâmetros limnológicos, coletados entre os anos de 1991, 1993 e 2006 a 2016; em quatro estações de monitoramento localizadas dentro do reservatório, revelou um aumento do parâmetro Fósforo Total nos anos de 1991 e 1993, provavelmente em decorrência da expansão de atividades agropecuárias dentro da APA e, posteriormente, nos anos de 2014 a 2016, devido ao aumento da expansão urbana. Este aumento foi importante para justificar o possível incremento nos lançamentos de efluentes nos cursos d'água que compõe a bacia hidrográfica e o carreamento de substâncias a base de fósforo através do escoamento superficial.

Os valores obtidos com a aplicação do IET de Carlson (1977), modificado por Lamparelli (2004), demonstraram que o processo de eutrofização vem se intensificando no decorrer dos anos devido a ações antrópicas que ocasionam alteração no uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica, pressionando os recursos ambientais e gerando impactos negativos sobre a qualidade da água do reservatório.

Apesar de existir uma Lei (Lei Nº 16.197/2006 - Cria a APA Vargem das Flores) que visa, entre outros aspectos, contribuir para a ordenação do uso e ocupação do solo dentro da bacia hidrográfica; o que se observa é um processo acelerado de ocupação irregular. Estas invasões, apesar de identificadas pelo poder público, não têm sido eficientemente contidas, gerando uma sensação de impunidade que, por sua vez, estimula a ocorrência de novas agressões.

Outro fator agravante é a substituição de áreas rurais por áreas urbanas. A Lei Complementar Nº 248/18, que alterou o Plano Diretor do município de Contagem, alterou mais 1.300.000 m<sup>2</sup> de áreas rurais situadas entre os bairros Icaivera e Retiro, cujo parcelamento mínimo era de 20.000 m<sup>2</sup>; para áreas de expansão urbana, que permite a divisão de lotes de 360 m<sup>2</sup> e 500 m<sup>2</sup>. Este fato contribuiu para expansão do crescimento populacional

dentro da APA e, conseqüentemente, pela demanda por serviços públicos como saúde, educação, segurança, coleta de lixo e redes de água e de esgoto; pressionando ainda mais os recursos ambientais ali existentes.

Uma vez que o reservatório de Vargem das Flores tem uma contribuição expressiva para o abastecimento de água de uma parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte, sugere-se que seja adotada em toda bacia de contribuição, as seguintes ações:

- Interceptar todo o efluente gerado na bacia até a estação de tratamento de esgoto mais próxima e recuperar áreas degradadas, a fim de reduzir e/ou eliminar as fontes de nutrientes responsáveis pelo processo de eutrofização do reservatório;
- Desenvolver ações de fiscalização, tanto no âmbito municipal quanto estadual, afim de coibir ocupações irregulares e loteamentos clandestinos dentro da APA;
- Desenvolver ações de educação ambiental com a comunidade já consolidada dentro da APA, com o objetivo de conscientizar sobre a importância do manancial para abastecimento da população e propor ações de combate a disposição inadequada de resíduos sólidos;
- Que os governos possam oferecer serviços básicos a população já consolidada dentro da APA, como saneamento básico, a fim de diminuir os impactos negativos sobre o reservatório em função da falta de tratamento de esgoto.

O desenvolvimento destas ações auxilia o ordenamento do uso e cobertura do solo dentro da APA e se tornam imprescindíveis para manutenção da quantidade e da qualidade dos recursos hídricos disponíveis nesse importante manancial de abastecimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Além disso, estas ações desenvolvidas em conjunto podem aumentar a vida útil do reservatório e dilatar o prazo de disponibilização de água à população.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Nacional de Águas -ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil - Informe 2014**. Brasília, 20.3.2015b.

Agencia Nacional de Águas -ANA.**Base Hidrográfica Ottocodificada da Bacia do Rio São Francisco**. Mapa Digital. Brasília, 2017.

Agencia Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **Guia de Avaliação Assoreamento de Reservatórios**. Brasília, 2000, 140p.

ALMEIDA F. F. M. **O Cráton do Paramirim e suas relações com o do São Francisco**.In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTRON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXASMARGINAIS. Salvador. **Anais...**, Salvador, p. 1-10, 1981.

BRAGA, Cláudia Zuccari Fernandes. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da concentração de clorofila-a, transparência e profundidade da água na Lagoa de Araruama, RJ**. 1999. 210 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Fluminense, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Rio de Janeiro.1999.

BRASIL. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, 28 mai. 2012.

CALIJURI, M. do Carmo; CUNHA, Davi Gasparini Fernandes. **Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. 787p.

CÂMARA, Gilberto. et al. **Introdução a ciência da Geoinformação**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos, 2001.

CAPOBIANCO, J. P. R.; WHATELY, M. **Billings 2000: ameaças e perspectivas para o maior reservatório de água da região metropolitana de São Paulo: relatório do diagnóstico socioambiental participativo da bacia hidrográfica da Billings no período 1989-99**. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2002.

CARLO, Sandra De. **Gestão ambiental nos municípios brasileiros: impasse e heterogeneidade**. **Centro de desenvolvimento sustentável**. 2006. 329f. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Brasília, 2006.

CARLSON, R. E. **A trophicstate index for lakes**. *Limnology and Oceanography*, n. 22, p. 361-369, 1977.

CARVALHO, L.M.T; SCOLFORO, J. R. S. **Mapeamento e inventário da flora nativa e dos reflorestamentos em Minas Gerais**. Lavras: UFLA, 2006. 288 p.

CONTAGEM. Prefeitura Municipal de Contagem. Lei Complementar nº 033, de 26 de

dezembro de 2006. **Institui o Plano Diretor do Município de Contagem e dá outras providências.**

CONTAGEM. Prefeitura Municipal de Contagem. Plano Municipal de Saneamento Básico de Contagem. Dezembro, 2013. Disponível em: [http<http://www.contagem.mg.gov.br/arquivos/legislacao/pmsb-28-02-2013.pdf>](http://www.contagem.mg.gov.br/arquivos/legislacao/pmsb-28-02-2013.pdf). Acesso em jul. 2018.

CONTAGEM. Prefeitura Municipal de Contagem. Lei Complementar nº 248, de 11 de janeiro de 2018. **Institui o Plano Diretor do Município de Contagem e dá outras providências.**

CPRM/CODEMIG, 2014. **Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais.** CPRM/CODEMIG.

CUNHA, Pedro Schetini. **Histórico de democratização e urbanização de Contagem.** 2010.

DEPARTAMENTO DE SOLOS. **MAPA SOLOS.** UFV. Disponível em [http://www.dps.ufv.br/?page\\_id=742](http://www.dps.ufv.br/?page_id=742)>. Acesso em 14 de julho de 2018.

DILL, Paulo Roberto Jaques. **Assoreamento do reservatório do Vacacá-Mirim e sua relação com a deterioração da Bacia Hidrográfica contribuinte.** 2002. 125f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Santa Maria. 2002.

FREIRE, A.P; CASTRO, E. C. **Análise da correlação do uso e ocupação do solo e da qualidade da água.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 10, Nº1. Jan-Mar 2014.41-49.

EMBRAPA -Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Brasília, 2013. 353 p. 3ª edição.

ESTEVES, Francisco de Assis. **Fundamentos de Limnologia.** 3. Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.

FEAM. **Mapa de solos do estado de Minas Gerais.** 2010. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente.

FIORIO, Peterson Ricardo. et. al. **Cronologia e impacto ambiental do uso da terra na microbacia hidrográfica do Ceveiro, em Piracicaba (SP).** Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília. V.35, n.4, p. 671-679,abr. 2000.

FRANCO, Roberto Messias. Principais problemas ambientais municipais e perspectivas de solução. In: PHILIPPI JR., Arlindo. et al. **Municípios e meio ambiente: perspectivas para a municipalização da gestão ambiental no Brasil.** São Paulo, 1999, Cap. 1, p.19-31.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS – CETEC. **Estudos básicos para diagnóstico ambiental do município de Betim, MG. Relatório Técnico,**1: 1-214, 1994.

GALVÃO, J; BERMANN, C. **Crise hídrica e energia: conflitos no uso múltiplo das águas.** Estudos Avançados. v.29 n° 84 São Paulo May/Aug. 2015.

GOMES, Lenora Nunes Ludolf. **Estudo da associação entre parâmetros bióticos e abióticos e a ocorrência de florações de cianobactérias no reservatório de Vargem das Flores – MG.** 2008. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Belo Horizonte, 2008.

GUTIERREZ, Carlos Benedito Barreiros. *et. al.* **Análise espaço-temporal do uso e cobertura do solo no interior da APA Belém e correlação com os parâmetros de água dos seus mananciais.** Revista Brasileira de Geografia Física. v.10, n.01, p. 521-534. 2017.

IBRAHIM, Francini Imene Dias. **Introdução ao geoprocessamento ambiental.** 1 ed. São Paulo. Érica, 2014.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira.** 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE; 2012.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo demográfico 2010: características da população e dos domicílios - resultados do universo.** Rio de Janeiro: IBGE; 2012.

INSTITUTO PRÍSTINO: **ATLAS DIGITAL GEOAMBIENTAL.** Sistema Web Gis de livre acesso ao banco de dados ambiental.

JUNIOR, Antonio Pereira Magalhães. *et. al.* **Contradições e desafios para a proteção de mananciais hídricos em Minas Gerais – Os casos das Áreas de Proteção especial Vargem das Flores e Serra Azul – Região Metropolitana de Belo Horizonte.** Revista Caminhos de Geografia. Uberlândia, v.17, n. 60, p.89-104, 2016.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento.** São Paulo : USP/ Departamento de Ecologia, 2004. 235 f. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 2004.

LANZA, Daniel Santana. *et. al.* **Mapeamento temporal do Uso e Cobertura do Solo das microbacias contribuintes com a represa de Ibitité-MG utilizando imagens de alta resolução.** Anais XV. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.6270.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** Campinas: Editora Átomo, 2016. 4 ed.

LONGLEY, Paul A. *et. al.* **Sistemas e ciência da informação geográfica.** 3ª Ed. Bookman. 2013. 527 p.

LORENZEN C. J. **Determination of chlorophyll in pheopigments: spectro photometric equations.** Limnol. Oceanogr., Baltimore, v. 12, p. 990-992, 1967.

MANSOR, Maria Teresa Castilho. **Potencial de poluição de águas superficiais por fontes**

**não pontuais de fósforo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Pinhal, Limeira (SP).** 2005. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2005.

MINAS GERAIS. Decreto nº 20.793 de 8 de setembro de 1980. **Define como de interesse especial, para proteção de mananciais, terrenos situados na bacia hidrográfica do reservatório de Vargem das Flores.** *Diário do Executivo*, Belo Horizonte, 09 set. 1980.

MINAS GERAIS. Lei nº 16.197 de 26 de junho de 2006. **Cria a Área de Proteção Ambiental de Vargem das Flores, situada nos Municípios de Betim e Contagem, e dá outras providências.** *Diário do Executivo*, Belo Horizonte, 27 jun. 2006.

MORAIS, Tércio de Sales. **Análise da influência do uso e ocupação do solo na represa de Vargem das Flores e seus reflexos no assoreamento do reservatório.** 2012. Dissertação (Mestrado). Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Tratamento da Informação Espacial, Belo Horizonte, 2012.

MURPHY J & RILEY, JP (1962). **A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters.** *Analytica Chimica Acta*, 27, 31–36.

NOGUEIRA, Vicente P. Q. **Qualidade da água em Lagos e Reservatórios** In: PORTO, R. L. L.; BRANCO, S. M.; CLEARY, R. W. et al. **Hidrologia ambiental.** v.3. São Paulo: Edusp: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1991.

NOVO, Evelyn M. L. de Moraes. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações.** 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1992. 308 p.

NUNES, Juliana Farias; ROIG, Henrique Llacer. **Análise e mapeamento do uso e ocupação do solo da Bacia do Alto Descoberto, DF/GO, por meio de classificação automática baseada em regras e lógica nebulosa.** *Revista Árvore*, Viçosa, v. 39, n. 01, p. 25-36, 2015.

PAGIORO, T.A. *et. al.* **Zonação longitudinal das variáveis limnológicas abióticas em reservatórios.** In: L. Rodrigues, S.M. Thomaz, A.A. Agostinho & L.C. Gomes (eds.). *Biocenoses em reservatórios: padrões espaciais e temporais.* RiMa, São Carlos, 2005.p. 39-46.

PARANÁ (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Monitoramento da qualidade das águas dos reservatórios do estado do Paraná, no período de 2005 a 2008.** Curitiba: Instituto Ambiental do Paraná, 2009. 124 p.

PINTO, Lilian Vilela Andrade. et al. **Estudo da vegetação como subsídios para propostas de recuperação das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz.** *Revista Árvore*, Viçosa, v.29, n. 5, 2005.

PINTO-COELHO, Ricardo Motta; HAVENS, Karl. **Gestão de recursos hídricos em tempos de crise.** Porto Alegre: Artmed, 2016. 223p.

PRADO, Rachel Bardy. **Geotecnologias aplicadas à análise espaço temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de barra bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos.** Tese Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2004. 197p.

PROJETO FRONTEIRAS DE MINAS CODEMIG – **MAPA GEOLOGICO**. Disponível em <<http://www.portalgeologia.com.br/index.php/sobre-o-projeto/>>. Acesso em 13 de maio de 2018.

QUEIROZ, Reinaldo Pereira de; IMAI, Nilton Nobuhiro. **Mapeamento das atividades antrópicas na área de entorno do reservatório de Itupararanga – SP: uma abordagem baseada na diminuição gradativa do grau de complexidade da cena interpretada**. Anais XIII. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis. Brasil. Abr. 2007. INPE. p. 1039-1045.

REBOUÇAS, A. C. et. al. **Águas Doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. Ed. – São Paulo: Escrituras Editora, 2006.

SAMPAIO, Daniel Martins. **Análise ambiental do conflito das Áreas de Preservação Permanente e uso do solo na Bacia Hidrográfica de Vargem das Flores utilizando ambientes de geoprocessamento**. 2007. 53 f. Monografia - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Belo Horizonte.

SOUZA, Amilton Diniz. **Variações espaciais e temporais de parâmetros de qualidade de água em um reservatório tropical (Represa de Vargem das Flores – Contagem – MG) e suas implicações com aspectos limnológicos**. 2003. 153 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Belo Horizonte, 2003.

STRICKLAND, J. D. H, PARSONS, T. R. **A practical handbook of sea water analysis**. Bull. Fish. Res. Board. Can., Ottawa, v. 167, p. 311, 1968.

TOLEDO JUNIOR, AP., TALARTICO, M., CHINEZ, SJ. E AGUDO, EG., 1983. **A aplicação de modelos simplificados para uma avaliação do processo de eutrofização em lagos e reservatórios trópicos**. Em *Anais do 12º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 1983. Camburiú. P. 34.

TUCCI, Carlos E. M. **Águas Urbanas**. *Estudos Avançados*. v.22, n.63, São Paulo, 2008.

TUNDISI, José Galizia. Recursos Hídricos no Futuro: problemas e soluções. *Estudos Avançados*, v. 22, n.63, 2008

UNITED NATIONS. **World urbanization prospects: the 2014 revision**. 2014. New York: Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2014. Disponível em: <<http://esa.un.org/unpd/wup/FinalReport/WUP2014-Report.pdf>>. Acesso em 06 julho de 2018.

VEIGA, Bruno Vitor. **Fatores intervenientes na dinâmica do fósforo em ambientes lênticos: investigação sobre o reservatório de Alagados no estado do Paraná**. Tese Doutorado. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. USP. São Paulo, 2010. 112 p.

VIEIRA, J.M.P.; PINHO, J.L.S.; DUARTE, A.A.L.S. **Eutrophication vulnerability analysis: a case study**. *Water Science and Thechnolog*, v. 37, n. 3, p. 121-128, 1998.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. Ed. Belo Horizonte: UFMG, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2014. 470 p.