

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP**  
**CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITOS NATURAIS E ANTRÓPICOS NA QUALIDADE  
DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO UBERABA-MG UTILIZANDO  
TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**

**Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva**

Engenheira Agrônoma

**2018**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP**

**CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITOS NATURAIS E ANTRÓPICOS NA QUALIDADE DAS  
ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
UBERABA-MG UTILIZANDO TÉCNICAS DE  
GEOPROCESSAMENTO**

**Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva**

**Orientador: Profa. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra**

**Coorientador: Prof. Dr. Renato Farias Valle Júnior**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias-Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

**2018**

S586e Silva, Maytê Maria Abreu Pires de Melo

Efeitos naturais e antrópicos na qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Uberaba-MG utilizando técnicas de geoprocessamento / Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva. -- Jaboticabal, 2018

72 p. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientadora: Teresa Cristina Tarlé Pissarra

Coorientador: Renato Farias do Valle Junior

1. recursos hídricos. 2. sistemas de informação geográfica. 3. uso do solo. I.

Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

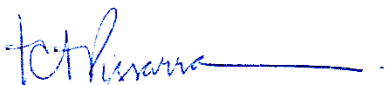
**TÍTULO DA TESE: EFEITOS NATURAIS E ANTRÓPICOS NA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UBERABA-MG UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**

**AUTORA: MAYTÊ MARIA ABREU PIRES DE MELO SILVA**

**ORIENTADORA: TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA**

**COORIENTADOR: RENATO FARIAS DO VALLE JUNIOR**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:



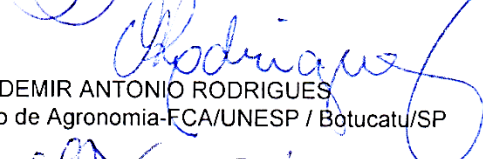
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA  
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal



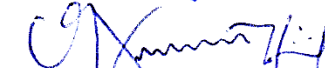
Profa. Dra. VERA LUCIA ABDALA  
Laboratório de Geoprocessamento / IFTM - Uberaba/MG



Prof. Dr. GENEZ TADEU PEREIRA  
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. VALDEMIR ANTONIO RODRIGUES  
Departamento de Agronomia-FCA/UNESP / Botucatu/SP



Prof. Dr. MARCÍLIO VIEIRA MARTINS FILHO  
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 07 de novembro de 2018

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

MAYTÊ MARIA ABREU PIRES DE MELO SILVA - nascida em Porteirinha no estado de Minas Gerais, no dia 12 de dezembro de 1988. Graduada em Agronomia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) em 2010 e, Engenharia Ambiental pelas Faculdades de Ciências Exatas e Tecnológicas Santo Agostinho em 2011. Concluiu o mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais em 2014, no Instituto de Geociências da UFMG. Trabalhou como professora substituta no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) e também na Universidade Federal de Minas Gerais, em Belo Horizonte. Desde 2014 é professora efetiva do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM), em Uberaba, onde atua nas áreas de Topografia e Geoprocessamento. Em 2015 iniciou o doutorado em Agronomia (Ciência do Solo), na Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus de Jaboticabal.

Aos meus filhos, Arthur e Beatriz,

**DEDICO.**

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por estar sempre presente na minha vida, proporcionando aprendizados diários e grandes realizações.

À Professora Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra, pela disponibilidade, atenção, carinho, conhecimento e competência profissional a qual admiro muito.

Ao colega e coorientador, o Prof. Dr. Renato Farias do Valle Junior, por sua visão e experiência na construção do conhecimento com orientações preciosas, sempre me encorajando e apontando soluções com otimismo e sabedoria.

Aos professores que gentilmente aceitaram participar da banca, contribuindo significativamente para melhorias deste trabalho: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vera Lúcia Abdala, Prof. Dr. Gener Tadeu Pereira, Prof. Dr. Valdemir Antonio Rodrigues e Prof. Dr. Marcílio Vieira Martins Filho.

Aos professores da Unesp Jaboticabal, demonstro minha admiração e respeito e agradeço-lhes pelos ensinamentos, que contribuíram para a minha formação.

Aos colegas de doutorado pelo apoio e companheirismo, no dia a dia, em sala de aula e no caminho à Jaboticabal, Carlos Valera, Carlão, Lucas, Hygor, Karoline e Renata: muito obrigada!

Aos colegas e amigos do Instituto Federal do Triângulo Mineiro, em especial Adley, Fausto e Fábio, que além de compartilharam a sala e o café, transmitiram força e incentivo em todos os momentos.

Ao colega Rogério, pelo incentivo e contribuições dadas ao trabalho.

Ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, por disponibilizar os dados do Projeto Águas de Minas.

Aos meus pais, pelo amor, educação, carinho, ensinamentos de vida e por sempre incentivarem a aquisição de conhecimento. À minha irmã, pelo amor e carinho. Ao meu esposo, Felipe, pelo companheiro, apoio e compreensão nos momentos de ausência.

Aos meus amados filhos, Arthur e Beatriz, verdadeiro significado do amor e dedicação, que me inspiram e motivam diariamente.

Agradeço ainda a todos que não estão aqui diretamente referidos, mas que me apoiaram e contribuíram de alguma forma com este trabalho e na minha formação pessoal e profissional: muito obrigado pela colaboração.



## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	iii
LISTA DE TABELAS .....	v
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS .....	vii
RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	ix
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
2.1 Objetivo geral .....	3
2.2 Objetivos específicos .....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
3.1 Bacias hidrográficas como unidade de gestão .....	4
3.2 Qualidade das águas superficiais .....	4
3.3 Geoprocessamento aplicado às análises dos recursos hídricos .....	8
3.3.1 Conflito ambiental .....	10
3.3.2 Índice de Transformação Antrópica .....	11
3.3.3 Vulnerabilidade dos solos e dos recursos hídricos .....	11
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	14
4.1 Caracterização da área de estudo .....	14
4.2 Procedimentos do trabalho .....	15
4.2.1 Caracterização física .....	16
4.2.2 Uso do solo .....	17
4.2.3 Conflito de uso do solo .....	18
4.2.4 Índice de Transformação Antrópica (ITA) .....	19
4.2.5 Vulnerabilidade dos solos e dos recursos hídricos .....	20
4.2.6 Qualidade da água .....	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	25
5.1 Caracterização Física da Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba .....	25
5.1.2 Mapa Geológico .....	25
5.1.3 Mapa de Solos .....	27
5.1.4 Mapa de Relevo .....	29

5.2	Mapa de Uso do Solo e Índice de Transformação Antrópica.....	31
5.3	Conflito do uso do solo .....	33
5.4	Vulnerabilidade na bacia hidrográfica.....	36
5.5	Qualidade da água.....	40
5.5.1	Análise sazonal .....	45
5.5.2	Análise espacial .....	49
5.5.3	Análise temporal.....	50
5.6	Ações e estratégias para minimizar a degradação do solo e da água em bacias hidrográficas rurais.....	57
6.	CONCLUSÕES .....	60
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
	REFERÊNCIAS .....	62

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localização da bacia hidrográfica do rio Uberaba. ....	14
<b>Figura 2.</b> Precipitação média mensal acumulada. ....	15
<b>Figura 3.</b> Fluxograma de desenvolvimento do trabalho. ....	16
<b>Figura 4.</b> Localização das estações de monitoramento do IGAM BG058 e BG059. ....	22
<b>Figura 5.</b> Mapa da geologia da bacia hidrográfica do rio Uberaba. ....	25
<b>Figura 6.</b> Mapa de Solos da bacia hidrográfica do rio Uberaba. ....	27
<b>Figura 7.</b> Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Uberaba. ....	29
<b>Figura 8.</b> Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Uberaba. ....	30
<b>Figura 9.</b> Mapa de declividade da área de contribuição do Ponto BG058 (a) e do Ponto BG059 (b). ....	30
<b>Figura 10.</b> Mapa de uso e cobertura do solo do ano de 2017 da área de contribuição do ponto BG058 (Figura a) e BG059 (Figura b). ....	31
<b>Figura 11.</b> Mapa de conflito da área de contribuição do Ponto BG058 (Figura a) e do Ponto BG059 (Figura b). ....	34
<b>Figura 12.</b> Mapas de vulnerabilidade para os fatores (a) declividade, (b) uso do solo, (c) solos, (d) geologia e (e) distância da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Uberaba. ....	37
<b>Figura 13.</b> Mapa de vulnerabilidade dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Uberaba. ....	38
<b>Figura 14.</b> Tendência sazonal dos parâmetros de qualidade nos pontos BG058 e BG059, entre os anos de 2000 e 2017. ....	48
<b>Figura 15.</b> Tendência temporal da Temperatura, nos pontos BG058 e BG059, entre os anos de 2000 e 2017. ....	51
<b>Figura 16.</b> Tendência temporal da Turbidez, nos pontos BG058 e BG059, entre os anos de 2000 e 2017. ....	52
<b>Figura 17.</b> Tendência temporal dos Sólidos Totais, nos pontos BG058 e BG059, entre os anos de 2000 e 2017. ....	52
<b>Figura 18.</b> Tendência temporal do pH, nos pontos BG058 e BG059, entre os anos de 2000 e 2017. ....	53

<b>Figura 19.</b> Tendência temporal do Oxigênio Dissolvido, nos pontos BG058 e BG059, entre os anos de 2000 e 2017. ....	53
<b>Figura 20.</b> Tendência temporal do Nitrato, nos pontos BG058 e BG059, entre os anos de 2000 e 2017. ....	54
<b>Figura 21.</b> Tendência temporal do Fósforo Total, nos pontos BG058 e BG059, entre os anos de 2000 e 2017.....	55
<b>Figura 22.</b> Tendência temporal dos Coliformes Termotolerantes nos pontos BG058 e BG059, entre os anos de 2000 e 2012. ....	57

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Exemplos de Análise Espacial. Fonte: INPE (2018) .....	9
<b>Tabela 2.</b> Intervalos de classes de declividade e formas de relevo correspondentes .....	17
<b>Tabela 3.</b> Classes de conflito ambiental .....	19
<b>Tabela 4.</b> Pesos atribuídos às classes de uso do solo .....	19
<b>Tabela 5.</b> Fatores adotados e pesos atribuídos em cada critério para o estudo da vulnerabilidade dos recursos hídricos superficiais da bacia do rio Uberaba. ....	20
<b>Tabela 6.</b> Classificação do grau de vulnerabilidade .....	21
<b>Tabela 7.</b> Valores de referência para alguns parâmetros de qualidade, segundo Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005.....	23
<b>Tabela 8.</b> Classes de solo presentes na bacia do rio Uberaba.....	28
<b>Tabela 9.</b> Área ocupada por cada classe de declividade nas áreas de contribuição dos pontos BG058 e BG059.....	31
<b>Tabela 10.</b> Áreas ocupadas em hectares, porcentagem e valores do Índice de Transformação Antrópica (ITA).....	32
<b>Tabela 11.</b> Área ocupada por cada classe de conflito do uso do solo das áreas de contribuição do Ponto BG058 e BG059.....	34
<b>Tabela 12.</b> Área ocupada por cada classe de vulnerabilidade das áreas de contribuição do Ponto BG058 e BG059.....	39
<b>Tabela 13.</b> Parâmetros de qualidade da água, do período seco e chuvoso, ao longo de 18 anos, no ponto de amostragem BG058 na bacia hidrográfica do rio Uberaba.....	41
<b>Tabela 14.</b> Parâmetros de qualidade da água, do período seco e chuvoso, ao longo de 18 anos, no ponto de amostragem BG059 na bacia hidrográfica do rio Uberaba.....	42
<b>Tabela 15.</b> Estatística descritiva dos parâmetros de qualidade da água, considerando dados das coletas de 2001 a 2017 da estação BG058 da bacia do rio Uberaba.....	45

<b>Tabela 16.</b> Estatística descritiva dos parâmetros de qualidade da água, considerando dados das coletas de 2001 a 2017 da estação BG059 da bacia do rio Uberaba.....	45
<b>Tabela 17.</b> Resultados das análises de variação sazonal de Wilcoxon- Mann-Whitney dos parâmetros de qualidade da água nas estações de monitoramento BG058 e BG059.....	46
<b>Tabela 18.</b> Resultados das análises da variação espacial (teste Wilcoxon- Mann-Whitney) dos parâmetros de qualidade da água nas estações de monitoramento BG058 e BG059.....	49
<b>Tabela 19.</b> Resultados das análises de tendência temporal de Mann-Kendall dos parâmetros de qualidade da água nas estações de monitoramento BG058 e BG059.....	50

**LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

ANA	Agência Nacional das Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
CODEMIG	Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ITA	Índice de Transformação Antrópica
MDE	Modelo Digital de Elevação
pH	potencial hidrogeniônico
RN	<i>Ruggedness Number</i>
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SIRGAS 2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator

## **EFEITOS NATURAIS E ANTRÓPICOS NA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UBERABA-MG UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**

**RESUMO** – Os recursos hídricos têm apresentado sua qualidade e disponibilidade muito afetada pelas atividades antrópicas devido às mudanças nos padrões de uso e cobertura dos solos nas bacias hidrográficas. A compreensão dos efeitos do uso do solo, associados às condições topográficas, geologia e tipo de solos, sobre a qualidade da água, é de grande importância para melhorar a predição da contaminação dos recursos hídricos em bacias hidrográficas não monitoradas e para fornecer diretrizes para o planejamento do uso do solo. Considerando o exposto, o principal objetivo do presente estudo foi estudar o efeito das características naturais da bacia (geologia, tipo de solos e relevo) e do uso do solo sobre a qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Uberaba. Para tanto, foram elaborados mapas com as características referentes à geologia, tipo de solos e relevo da bacia. Foram utilizados dados de monitoramento por satélite para extração das informações de uso do solo atual. Com o uso do Sistema de Informações Geográficas, as informações foram espacializadas e analisadas, permitindo a elaboração do mapa de conflito ambiental e o mapa de vulnerabilidade, assim como o Índice de Transformação Antrópica, para compreender os efeitos provocados pelas ações antrópicas no recurso hídrico em duas áreas da bacia. Para estudar a dinâmica dos recursos hídricos, foi realizada uma análise espaço temporal e sazonal de uma série histórica (2000 a 2017) de dados de monitoramento da qualidade da água. Os resultados mostraram que, em relação ao uso do solo, há predominância de áreas com pastagens e agricultura. Os conflitos ambientais, assim como as áreas mais vulneráveis à degradação do solo e água estão compreendidas predominantemente à montante da bacia, devido aos fatores condicionantes do relevo e conformação geológica. A análise dos dados de qualidade da água indicou que o fósforo total, a turbidez e os coliformes termotolerantes apresentaram concentrações acima do valor limite estabelecido pela legislação CONAMA em boa parte das campanhas amostrais. A análise temporal indicou tendência de aumento significativo dos sólidos totais e do nitrato. Por meio da análise conjunta dos dados de qualidade da água e uso do solo conclui-se que as ações antrópicas causam impacto no recurso hídrico. Além disso, as áreas que apresentam maior vulnerabilidade, esses impactos podem ser potencializados em função dos usos do solo. Portanto, estas áreas devem ser preservadas ou exploradas por sistemas agrícolas que apresentem baixo impacto ambiental, priorizando o uso de técnicas que prezem pela manutenção da água e da matéria orgânica no solo.

**Palavras-chave:** recursos hídricos, sistemas de informação geográfica, uso do solo.



## NATURAL AND MAN-MADE IMPACTS ON SURFACE WATER QUALITY IN THE UBERABA RIVER BASIN USING GEOPROCESSING TECHNIQUES

**ABSTRACT** – Water resources quality and availability have been badly impacted by man-made activities due to changes in river basins usage patterns and soil cover. It is imperative to understand soil use effects on water quality, associated with topographic conditions, geology, and types of soil since it improves the prediction of unmonitored river basins' water resources contamination and provides directives to plan soil use. Accordingly, the main object of this research was to study the impacts of basin's natural features (geology, types of soil and relief) and soil use on the quality of the Uberaba River river basin's surface water. For this purpose, maps with information about the river basin geology, types of soil and relief were drawn. The updated information on land use was obtained from satellite monitoring data. The use of Geographic Information System allowed to spatialize and analyze the data, resulting in the design of environmental conflicts and vulnerability maps, as well as the Anthropogenic Transformation Index in order to understand man-made impacts on water resources in two areas of the river basin. A spatial-temporal and seasonal analysis on monitoring water quality data from the year 2000 to 2017 was employed in order to study water resources dynamics. Results show that, with regard to soil use, pasture and agricultural areas prevail. Environmental conflicts, as well as areas more vulnerable to land and water degradation, are mainly restricted to the basin, due to relief and geology conditioning factors. The analysis on water quality data suggests that the concentration of total phosphorus, turbidity, and thermotolerant coliforms are, in the sampling campaigns, higher than the limit value established by the National Council for the Environment (Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA) legislation. The temporal analysis suggests a propensity to a significant increase of total solids and nitrate. The joint analysis of water quality and soil use leads to the conclusion that man-made actions impact on water resources. Besides that, these impacts can be strengthened due to soil use in areas that show higher vulnerability. Therefore, these areas must be preserved or farmed by agricultural systems which present low environmental impact, prioritizing the use of techniques that value water and organic matter conservation in the soil.

**Keywords:** water resources, geographic information system, soil use.

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento das atividades humanas aumentou consideravelmente a demanda por recursos naturais. A água, recurso fundamental à vida, tem apresentado sua qualidade e disponibilidade muito afetada por estas atividades e devido às mudanças nos padrões de uso e cobertura dos solos nas bacias hidrográficas. As alterações nas práticas de uso e ordenamento do solo são consideradas como um dos principais fatores que influenciam a alteração do sistema hidrológico, o que leva às mudanças de vazões, bem como na qualidade das águas.

A análise do uso e cobertura do solo em uma área é o primeiro passo para orientar uma gestão eficaz sobre os meios para o desenvolvimento de práticas de conservação, em comum com as práticas agrícolas, para o desenvolvimento econômico com menos impacto ao meio ambiente (Pissarra, 2013). A negligência da capacidade de uso do solo é a razão pela qual propriedades rurais tendem a ocupar solos pobres e propensos à erosão, onde os objetivos de produtividade são alcançados por meio de melhorias, às vezes excessiva, como a aplicação de fertilizantes facilmente lixiviáveis, que podem comprometer a qualidade dos recursos hídricos (Valle Junior et al., 2014).

Embora o impacto do uso e cobertura do solo na qualidade da água tenha sido bem documentado (Hurley e Mazumder, 2013; Yu et al., 2016; Kändler et al., 2017; Shi et al., 2017; Namugize et al., 2018; Simedo et al., 2018), a maioria destes estudos abordam a relação geral existente entre o uso do solo e qualidade da água, considerando, muitas vezes, um curto período de tempo para análises dos parâmetros de qualidade da água. No entanto, um entendimento completo da correlação não foi alcançado porque os usos do solo são reflexos de vários fatores, como por exemplo as características topográficas. O conflito de uso do solo é calculado levando em consideração o uso atual do solo e a sua capacidade potencial de uso, de acordo com suas características topográficas. As áreas com conflito ambiental apresentam maior vulnerabilidade à contaminação dos seus recursos hídricos, por serem ocupadas por atividades que não levam em consideração a capacidade de suporte de uso do solo. Índices que possibilitam mensurar a pressão das atividades antrópicas sobre a

paisagem, como o Índice de transformação antrópica (ITA), mostram-se eficientes para avaliar o grau de antropização em uma unidade ambiental analisada.

A compreensão dos efeitos do uso do solo, associados às condições topográficas e tipo de solos, sobre a qualidade da água, é de grande importância para melhorar a previsão da contaminação dos recursos hídricos em bacias hidrográficas não monitoradas e para fornecer diretrizes para o planejamento do uso da terra. As técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento utilizando os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm sido importantes ferramentas para a análise ambiental, sobretudo dos recursos hídricos, ao analisar múltiplos fatores espaço temporal, melhorando a gestão das bacias hidrográficas. Com a utilização dos SIG é possível analisar a dinâmica da cobertura vegetal e do uso do solo e, ainda associar essas transformações às condições físicas do meio e aos mecanismos de produção agropecuários. Desse modo, direciona-se o uso potencial do solo, para que a expansão da agricultura ou outras atividades ocupem áreas adequadas.

A bacia hidrográfica do rio Uberaba, objeto de estudo deste trabalho, possui importância em termos de recursos hídricos e aspectos econômicos ligados às atividades agrícolas. As alterações ambientais causadas em função do uso e ocupação do solo da bacia do rio Uberaba produzem efeitos modificadores nos sistemas ambientais, sobretudo na qualidade e quantidade dos recursos hídricos e na aceleração dos processos erosivos.

Considerando o exposto, fica evidente a importância de conhecer onde se localizam as áreas que reúnem características que podem degradar o solo e contribuir para os processos de assoreamento e poluição dos corpos d'água. A análise das áreas de conflito, das áreas mais vulneráveis, do índice de transformação antrópica, associados aos dados temporais de qualidade da água, permite identificar as áreas críticas, podendo servir de subsídio ao gerenciamento da bacia e adoção de práticas conservacionistas ao identificar áreas que devem ser protegidas, bem como subsídio para adoção de políticas públicas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Estudar o efeito das características geomorfológicas e das transformações antrópicas na qualidade dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Uberaba.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Levantamento de uso do solo atual na bacia;
- Identificar as classes de conflito de uso do solo e as classes de vulnerabilidade do solo da bacia hidrográfica do rio Uberaba;
- Calcular o Índice de Transformação Antrópica-ITA da bacia do rio Uberaba;
- Realizar uma análise espaço-temporal e sazonal da dinâmica da qualidade do recurso hídrico na bacia do rio Uberaba;
- Compreender os efeitos provocados pelas ações antrópicas no recurso hídrico em duas áreas da bacia;
- Propor ações e estratégias de gestão para minimizar a degradação dos recursos naturais.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Bacias hidrográficas como unidade de gestão**

Uma bacia hidrográfica é definida como uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. Compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (Tucci, 1997).

No Brasil, a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997), que institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos adota a bacia hidrográfica como unidade básica de gestão e planejamento, uma vez que é composta por um conjunto de terras topograficamente drenadas por um curso d'água e seus afluentes, sendo o rio um integralizador dos fenômenos ocorrentes em toda a bacia.

Para compreender a dinâmica dos processos é fundamental a delimitação da área de estudo. A definição da bacia hidrográfica como unidade de estudo vem sendo frequentemente empregado em pesquisas relacionadas com o manejo e conservação do solo e da água, em áreas agrícolas e florestais (Pissarra, 2002).

A bacia hidrográfica torna-se área ideal para o planejamento integrado do manejo dos recursos naturais no meio por ela definido, pois é considerada como principal unidade fisiográfica do terreno associada ao fluxo superficial da água (Christofolletti, 1978).

#### **3.2 Qualidade das águas superficiais**

O conceito de qualidade da água não é necessariamente um estado de pureza da água, mas sim as características relacionadas à sua qualidade, mantidas dentro de certos limites e classificados por indicadores que permitem sua utilização específica (Merten e Minella, 2002). No Brasil, a Política Nacional dos Recursos Hídricos, deliberada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução 357/2005 (BRASIL, 2005), dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as

condições e padrões de lançamento de efluentes. As águas superficiais são classificadas de acordo com a qualidade requerida para os seus usos preponderantes em cinco classes, a saber: classe especial, classe 1, classe 2, classe 3, classe 4. Essa Resolução diz que, enquanto não aprovadas os respectivos enquadramentos as águas doces serão consideradas de classe 2, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente conforme citado no Cap.VI, art. 42 da Resolução.

As substâncias incorporadas na água provenientes de causas naturais, em concentrações raramente elevadas, podem afetar o comportamento químico da água e seus usos mais relevantes. Entretanto, outras substâncias lançadas nos corpos d'água pela ação antrópica, em decorrência do uso intensivo do solo, resultam em problemas de qualidade da água. O conhecimento das substâncias incorporadas aos recursos hídricos, denominados parâmetros de qualidade da água, são usados para caracterizar as condições em que se encontram os recursos hídricos e para apontar a necessidade de eventuais investimentos para sua recuperação.

Os principais parâmetros físicos, químicos e biológicos que definem a qualidade da água, adotados neste trabalho são: temperatura, turbidez, sólidos totais, pH, oxigênio dissolvido, nitrato, nitrito, fósforo total e coliformes termotolerantes.

A **temperatura** da água é um parâmetro variável de acordo com a radiação solar, mas sofre influência da presença de efluentes. Além disso, a temperatura exerce interferência direta nos outros parâmetros de análise, afetando a atividade biológica, a velocidade de reações químicas, a solubilidade dos gases e as propriedades de odor e sabor (CETESB, 2008; Follador, 2010).

A **turbidez** é resultante da presença de partículas suspensas na água com tamanho variando de suspensões grosseiras até colóides, com diâmetros menores. A turbidez pode ser causada por uma grande variedade de materiais, incluindo partículas de areia fina, silte, argila e micro-organismos. A presença dessas partículas provoca a dispersão e a absorção da luz, dando à água uma aparência nebulosa, esteticamente indesejável e potencialmente perigosa (CETESB, 2008).

Os **sólidos totais** são todos os compostos presentes na água, à exceção dos gases dissolvidos, que contribuem para a carga de sólidos da água. A presença de sólidos agride sensivelmente a vida aquática, causa danos às desovas dos peixes,

provoca a sedimentação dos leitos e corrosões em sistemas de tratamento e distribuição de água, entre outros (CETESB, 2008). Segundo Von Sperling (2005), os sólidos presentes na água, podem ser classificados de acordo com seu estado e tamanho (em suspensão ou dissolvidos), com as características químicas (voláteis e fixos) e a decantabilidade (sedimentáveis e não sedimentáveis).

O **potencial hidrogeniônico (pH)** representa a concentração de íons de hidrogênio em escala antilogarítmica, fornecendo uma indicação a respeito das condições de acidez, neutralidade e alcalinidade da água. A escala do pH varia de 0 a 14, sendo que um pH igual a 7 corresponde a situação de neutralidade. Normalmente, a condição de pH que corresponde à formação de um ecossistema mais diversificado e a um tratamento mais estável é a de neutralidade, tanto em meios aeróbios como nos anaeróbios (CETESB, 2008).

O **oxigênio dissolvido (OD)** representa a quantidade de oxigênio presente na água e o seu monitoramento no ambiente aquático permite verificar a capacidade do corpo natural em manter a vida aquática e as possíveis contaminações por efluentes domésticos ou industriais. Segundo Von Sperling (2005) o oxigênio dissolvido é fundamental para a manutenção da vida aquática, sendo também essencial para a manutenção dos processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais. Os microorganismos, responsáveis pela estabilização da matéria orgânica presente na água, utilizam o oxigênio dissolvido nos seus processos respiratórios. A quantidade necessária à vida destes organismos varia de acordo com a espécie. Os peixes, por exemplo, necessitam de 4 mg/L, em média, para sua sobrevivência (Armas et al., 2007).

O **nitrito** é uma das formas do nitrogênio encontrado na natureza, composto por nitrogênio e oxigênio. A amônia originada no solo ou aplicada via fertilizante agrícola é convertida em amônio e esse, por sua vez, convertido em nitrito pelo processo microbiano da nitrificação. Segundo Resende (2002), o nitrito é a principal fonte de nitrogênio associada à contaminação da água pelas atividades agropecuárias, devido ao ânion nitrito, caracterizado por ser fracamente retido pelas cargas positivas dos colóides do solo, tende a permanecer mais em solução, o que torna muito propenso ao processo de lixiviação, sendo comumente encontrado em águas subterrâneas. Segundo Von Sperling (2005) quando descarregados em corpos

d'água, conjuntamente com outros nutrientes presentes, provocam o enriquecimento do meio, tornando-o mais fértil, promovendo uma aceleração do crescimento de seres vivos que o utilizam, especialmente as algas, sendo esse processo denominado eutrofização. Níveis elevados de nitrato na água para consumo humano aumentam o risco de câncer em adultos (Khademikia et al., 2013).

O **fósforo total** é um macronutriente essencial para os processos biológicos, e contribui com os processos de eutrofização das águas. Os fosfatos presentes na água podem ter origem natural, resultando da decomposição da matéria biológica e lixiviação de minerais; e ter origem antropogênica, resultante do excesso de fertilizantes aplicados em áreas agrícolas e de falhas no tratamento de águas residuais (CETESB, 2008). O fósforo pode se apresentar de três formas distintas: fosfatos orgânicos, ortofosfatos e polifosfatos (Mota, 2008; CETESB, 2008).

Os **coliformes termotolerantes** são coliformes que desenvolvem-se à temperatura elevada ( $44,5 \pm 0,2$  °C) e portanto, são indicadores de organismos originários predominantemente do trato intestinal humano e de outros animais. Esse grupo compreende a *Escherichia coli* e espécies dos gêneros *Klebsiella* e *Enterobacter*. O monitoramento da concentração dos coliformes em amostras de água é útil como indicador da possibilidade da existência de micro-organismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica (CETESB, 2008).

O aumento da concentração dos parâmetros de qualidade da água supracitados, podem ocasionar a poluição dos recursos hídricos, definida como a adição de substâncias ou fontes de energia que, direta ou indiretamente, alteram a natureza do corpo d'água de forma a prejudicar os legítimos usos que dele são feitos (VON SPERLING, 2005).

As atividades antrópicas apresentam grande potencial de induzir mudanças na quantidade e qualidade dos recursos hídricos. Quando desenvolvidas sem o devido planejamento são criadas situações que propiciam a poluição das águas, que, de forma direta, compromete os diversos usos desse recurso natural. As alterações antrópicas são decorrentes de diferentes fontes, tais como efluentes domésticos, efluentes industriais e escoamento superficial urbano e agrícola.

Os efluentes domésticos são constituídos basicamente por contaminantes orgânicos, nutrientes e micro-organismos, que podem ser patogênicos. A poluição



gerada pelos efluentes industriais é decorrente das matérias-primas e dos processos industriais utilizados e se diferenciam devido à natureza, concentração e volume dos resíduos produzidos. A poluição decorrente das atividades agrícolas é causada em grande parte pelo deflúvio superficial e pela lixiviação, que estão relacionados às propriedades do solo, como infiltração e a porosidade. Por meio do ciclo hidrológico, as chuvas precipitadas sobre as vertentes irão formar o deflúvio/escoamento superficial que irá carrear sedimentos e poluentes para a rede de drenagem (MERTEN e MINELLA, 2002).

Segundo Tucci (2005), as fontes de poluição das águas são: pontuais, difusas, mistas e atmosféricas. As fontes pontuais são caracterizadas por uma descarga concentrada, em um ponto bem específico. Na poluição difusa não existe um foco definido de poluição. As poluições mistas são aquelas que englobam características de cada uma das fontes anteriormente descritas.

### **3.3 Geoprocessamento aplicado às análises dos recursos hídricos**

O geoprocessamento é definido como um conjunto de tecnologias voltadas a coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico, sendo que as atividades envolvendo o geoprocessamento são executadas por sistemas específicos mais comumente chamados de Sistemas de Informação Geográfica – SIG (INPE, 2018).

O Geoprocessamento e o Sensoriamento remoto, constituem hoje, um importante conjunto de ferramentas aplicáveis à gestão e planejamento das bacias hidrográficas, por propiciar maior frequência na atualização de dados, agilidade no processamento e ser economicamente viável.

O uso de técnicas de geoprocessamento utilizando os SIG's tem contribuído para a análise integrada do meio ambiente, permitindo um melhor gerenciamento de grandes áreas com rapidez precisão e a custos bem mais baixos quando comparados a levantamento feitos *in loco*. Por meio da estruturação do banco de dados geográficos, diversas rotinas de apoio à decisão podem ser aplicadas para a geração de novos dados ou mapas. Além disso, a união da tecnologia e dos conceitos e teorias de sensoriamento remoto e geoprocessamento possibilitam a criação de sistemas de

informação mais detalhados, sofisticados e atualizados. Os resultados gerados poderão auxiliar no planejamento ambiental, pois pode propiciar maior eficiência e flexibilidade para o tratamento dos dados, com inúmeras aplicações em âmbito gerencial, operacional e estratégico.

Os SIG's são ferramentas que possibilitam a integração de várias informações e realização de análises espaciais, evidenciando as relações entre dados diversos, conforme exemplificado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Exemplos de Análise Espacial. Fonte: INPE (2018)

<b>Análise</b>	<b>Pergunta geral</b>	<b>Exemplo</b>
Condição	"O que está..."	"Qual a população desta cidade?"
Localização	"Onde está...?"	"Quais as áreas com declividade acima de 20%?"
Tendência	"O que mudou...?"	"Esta terra era produtiva há 5 anos atrás?"
Roteamento	"Por onde ir...?"	"Qual o melhor caminho para o metro?"
Padrões	"Qual o padrão...?"	"Qual a distribuição da dengue em Fortaleza?"
Modelos	"O que acontece se...?"	"Qual o impacto no clima se desmatarmos a Amazônia?"

São diversos os trabalhos que utilizam o geoprocessamento como ferramenta para estudos ambientais, direcionados ao gerenciamento dos recursos hídricos.

Candido (2008) utilizou técnicas integradas de SIG e sensoriamento remoto para avaliar a degradação ambiental da bacia do rio Uberaba. Foram utilizados os indicadores vegetação; topografia; solo/geologia; potencial natural de erosão; mecanização; área agrícola; densidade populacional; pecuarização e área de conflito, aos quais foram atribuídos pesos.

Hurley e Mazumder (2013); Yu et al. (2016); Kändler et al. (2017); Shi et al. (2017); Namugize et al. (2018) e Simedo et al. (2018) buscaram estabelecer relações entre o uso do solo e da qualidade da água em bacias hidrográficas utilizando as técnicas de geoprocessamento.

Silva et al. (2017) utilizaram o SIG na modelagem hidrológica e da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Piracicaba-MG e, através da simulação de cenários de desenvolvimento da bacia para determinados usos do solo, foi possível indicar quais ações deveriam ser tomadas para propiciar melhores condições na qualidade da água.

Os SIG's podem ser utilizados em variadas análises ambientais, como por exemplo a identificação das áreas de conflito ambiental, determinação das áreas vulneráveis à contaminação do solo e água, entre outros. Essas aplicações serão abordadas nos próximos tópicos.

### **3.3.1 Conflito ambiental**

O conflito do uso do solo é a divergência de um uso real e a sua capacidade potencial para o uso (Valle Junior, 2008).

Parte dos conflitos ambientais podem ocorrer devido à ação antrópica aos ecossistemas que, ao introduzir áreas agrícolas, áreas urbanas e outras atividades em áreas inadequadas, poderão comprometer a quantidade e qualidade dos recursos hídricos (Tundisi, 2005; Rocha, 1997). Segundo Rocha e Kurtz (2001), os conflitos de uso do solo são os maiores responsáveis pelas erosões, assoreamentos de rios e de barragens.

Abdala (2012) com o objetivo de diagnosticar o recurso hídrico na bacia hidrográfica do rio Uberaba como subsídio para a gestão das áreas de conflito ambiental, coletou amostras de água em vários pontos da bacia e, por meio da análise da qualidade da água, foi possível relacionar quais os parâmetros diferenciam as áreas de conflito de uso do solo.

Valle Junior (2008) realizou um estudo na bacia hidrográfica do rio Uberaba, com a finalidade de diagnosticar o uso potencial das terras, caracterizando as áreas potenciais à degradação e conflito ambiental. Os resultados indicaram que 17,07% da bacia encontra-se em conflito quanto ao uso e ocupação, necessitando de adequações que diminuam a degradação ambiental.

O diagnóstico dos conflitos ambientais em bacias hidrográficas permite identificar áreas cujas atividades desenvolvidas não estão de acordo com a capacidade de uso e, com isso, concentrar esforços para que nestas áreas ocorram mudanças das atividades desenvolvidas ou a adoção de práticas conservacionistas do solo e da água para causar menor impacto ao meio ambiente.

### 3.3.2 Índice de Transformação Antrópica

O uso das geotecnologias permite analisar o Índice de Transformação Antrópica (ITA), ou seja, quantificar a pressão das atividades humanas, através dos seus usos múltiplos, sobre a bacia hidrográfica. O ITA foi proposto por Lèmechev (1982) e modificado por Mateo (1991) com o objetivo de quantificar a pressão antrópica sobre algum componente do meio ambiente.

Por meio da análise do ITA é possível identificar a magnitude e o grau em que a bacia hidrográfica é modificada e, desse modo, avaliar a sua qualidade ambiental.

Gouveia et al. (2013) identificaram e quantificaram o uso do solo na bacia hidrográfica do Córrego do Bezerro Vermelho e verificaram o grau de antropização da bacia por meio do uso do ITA. Foi verificado um aumento das atividades entre os anos 1984 e 2011, ou seja, a área de estudo encontrava-se na classe regular e passou a ser degradada, fato esse decorrente, sobretudo, das atividades antrópicas, associadas à expansão da agricultura.

Rodrigues et al. (2014) realizaram uma análise multitemporal do uso do solo e a quantificação do grau de antropização por meio do ITA na bacia do rio Queima-Pé/Mato Grosso, para avaliar os desdobramentos das ações antrópicas na vegetação ciliar dos cursos hídricos. O ITA da bacia apresentou classificação como regular em 1991 e degradada em 2011. O autor atribui às mudanças ao aumento das áreas de pastagens e ao cultivo em larga escala da cana-de-açúcar.

### 3.3.3 Vulnerabilidade dos solos e dos recursos hídricos

A vulnerabilidade ambiental pode ser definida como o grau em que um sistema natural é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos das interações externas. Pode ser decorrente de características ambientais naturais ou de pressão causada por atividade antrópica (Aquino et al., 2017). Tais alterações refletem na quantidade e qualidade dos recursos hídricos, dependendo da pressão exercida pelas atividades antrópicas.

A Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a política Nacional do Meio Ambiente propõe o estabelecimento de critérios e padrões e qualidade

ambientais e de normas relativas ao uso e manejo dos recursos ambientais. (BRASIL, 1981). Portanto, a identificação das áreas mais vulneráveis para a qualidade dos recursos hídricos, permite melhor gestão das bacias hidrográficas, pois contribui para a definição de áreas prioritárias de conservação, além de direcionar áreas adequadas ao uso e a aplicação de técnicas e práticas conservacionistas com o intuito de reduzir os danos decorrentes do uso inadequado dos solos, e com isso garantir a manutenção dos padrões de qualidade fixado em lei.

A análise multicritério em ambiente SIG tem se mostrado um eficiente método para interpretação da vulnerabilidade ambiental do solo e da água. Segundo Garfi et al. (2011), na metodologia multicritérios, o modelo desenvolvido segue três fases: (1) seleção dos critérios (fatores e restrições) para a análise e criação de mapas raster; (2) atribuição de peso para cada critério; (3) combinação de mapas de critérios e criação do mapa final de adequação.

Vários estudos relacionados ao mapeamento da vulnerabilidade das águas superficiais são encontrados na literatura. Pires (1995) utilizou o SIG IDRISI para analisar o risco de deterioração da qualidade da água no município de Luiz Antônio, SP. Foram cruzadas informações do mapeamento hidrológico e do uso do solo da área, sendo as áreas propensas à erosão, áreas agrícolas, industriais, áreas de tratamentos de resíduos sólidos e líquidos e as estradas consideradas como áreas vulneráveis para a qualidade das águas superficiais.

Diamantino et al. (2005) utilizaram o modelo WRASTIC para avaliar a suscetibilidade a contaminação das águas superficiais da bacia do Rio Zhangji, na China. O WRASTIC foi desenvolvido pela American Water Works Association (AWWA) em 1991 e modificado em 2000 pelo New Mexico Environment Department/Drinking Water Bureau. O modelo leva em consideração os parâmetros: descargas de águas residuárias (W); impactos do uso recreativo da terra (R); impactos do uso agrícola da terra (A); tamanho da microbacia (S); malha viária (T); impactos do uso industrial da terra (I), e quantidade de cobertura vegetal (C). Quanto maior o índice, maior o risco de contaminação que por sua vez é classificado em três categorias: alta ( $WRASTIC > 50$ ), média ( $26 \leq WRASTIC \leq 50$ ) e baixa vulnerabilidade ( $WRASTIC < 26$ ). O Rio Zhangji foi classificado como vulnerável à contaminação, com índice igual a 58.

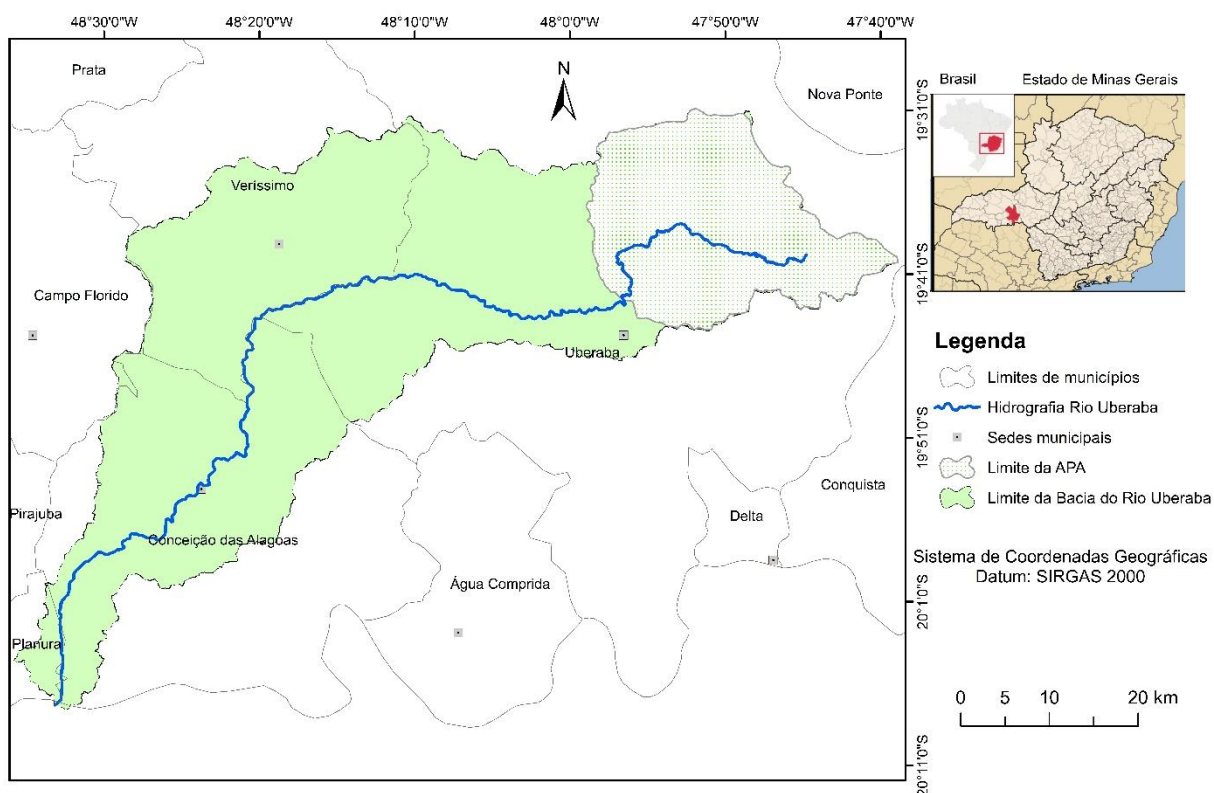
Rabelo (2009) mapeou as áreas vulneráveis para a qualidade das águas superficiais na bacia hidrográfica do Ribeirão Joao Leite (GO). Por meio da utilização de um SIG considerou os seguintes dados de vulnerabilidade: geomorfologia, geologia, solos, clima, vegetação/uso do solo e das áreas de risco a qualidade das águas. Quase 40% da área da bacia foi classificada como vulnerável. Estas áreas se encontram principalmente circundando as drenagens que não estão protegidas por vegetação ciliar.

Al-Adamat (2017) desenvolveu um índice para avaliar a susceptibilidade à poluição dos recursos hídricos superficiais na Jordânia. Foram considerados 6 fatores, sendo 3 deles naturais: inclinação do terreno, distância até a superfície da água e tipo de solos. Os fatores artificiais considerados foram: áreas urbanas, agrícolas e rodovias. Cada fator foi dado o peso adequado e classificações e, em seguida, o índice final foi calculado usando técnicas de GIS. A maior parte da bacia (66%) apresentou susceptibilidade à contaminação dos recursos hídricos moderada.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do Rio Uberaba, no estado de Minas Gerais, Brasil. Situa-se entre os paralelos  $19^{\circ} 30' 37''$  e  $20^{\circ} 07' 40''$  de latitude sul e os meridianos de  $47^{\circ} 39' 02''$  e  $48^{\circ} 34' 34''$  a oeste de Greenwich (Figura 1). Possui  $2.419 \text{ km}^2$  e está situada nos municípios de Uberaba, Veríssimo, Conceição das Alagoas, Planura e Campo Florido.



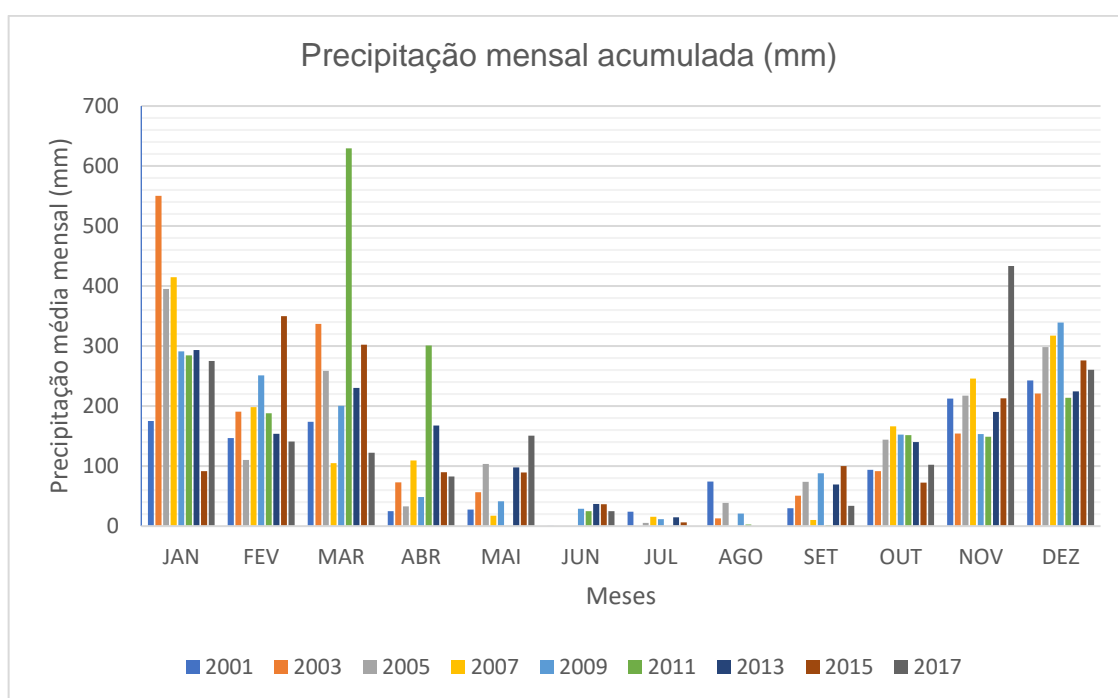
**Figura 1.** Localização da bacia hidrográfica do rio Uberaba.

É uma bacia com grande desenvolvimento das atividades agropecuárias e comprometida pela disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos. Atualmente, o rio Uberaba é a principal fonte para o abastecimento de água do município de Uberaba, sendo a captação realizada próximo à cabeceira, dentro da Área de

Proteção Ambiental (APA), (Figura 1). A bacia do rio Uberaba apresenta clima Aw, segundo a Classificação climática de Köppen-Geiger. O inverno, é frio e seco e, o verão, quente e chuvoso.

O regime pluviométrico da bacia caracteriza-se por um regime chuvoso de outubro a abril e, a estação seca, de maio a setembro, com precipitação média anual variando entre 1300 e 1700 mm (Abdala, 2012).

A Figura 2 apresenta os valores mensais médios de precipitação do município de Uberaba, sendo os dados obtidos da estação 83577 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).



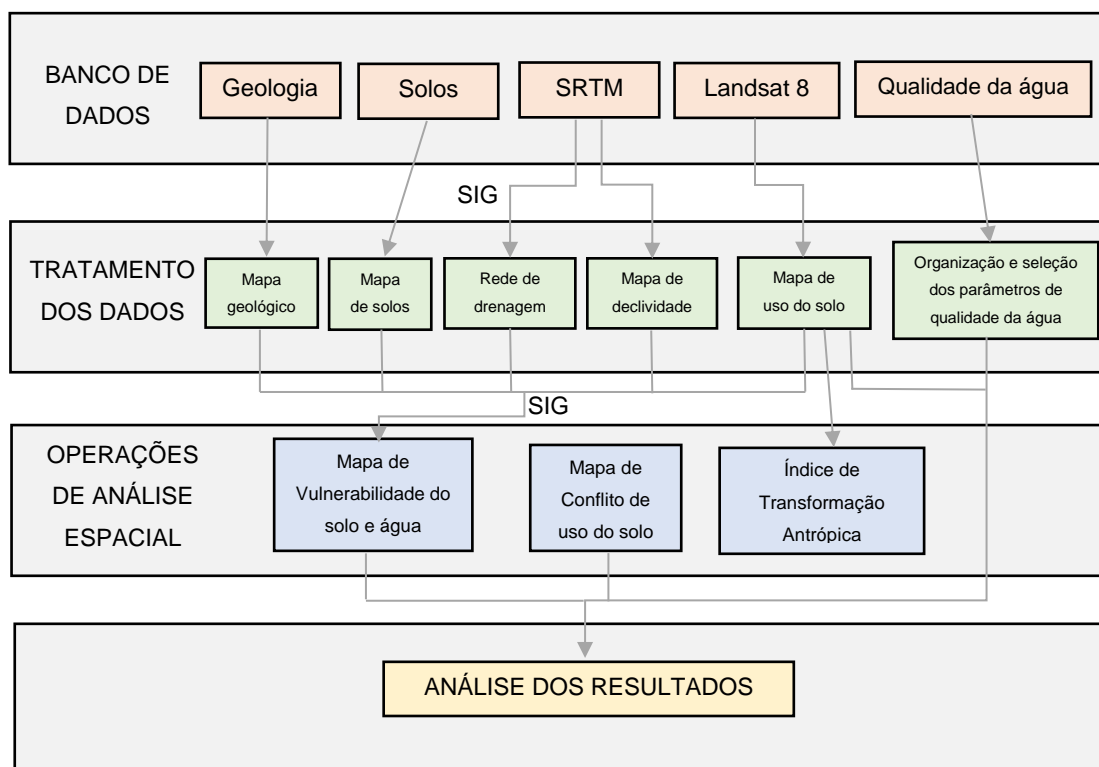
**Figura 2.** Precipitação média mensal acumulada.

Fonte: INMET. (Elaborado pela autora)

## 4.2 Procedimentos do trabalho

As etapas desenvolvidas neste trabalho estão apresentadas esquematicamente no fluxograma da Figura 3. O detalhamento de cada etapa está apresentado nos tópicos subsequentes.





**Figura 3.** Fluxograma de desenvolvimento do trabalho.

#### 4.2.1 Caracterização física

A caracterização da bacia do rio Uberaba foi realizada por meio do mapa de geologia, mapa de solos, mapa de declividade e mapa hipsométrico.

Os mapas gerados neste estudo adotam o sistema Universal Transversa de Mercator (UTM), projetados no datum SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas).

As informações da geologia da bacia foram extraídas do mapeamento realizado pela Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG) e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), na escala de 1:1000.000 (Pinto e Silva, 2014).

Os dados referentes aos tipos de solos foram obtidos do Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais, disponibilizado na escala de 1:650.000, no formato raster (UFV/CETEC/UFLA/FEAM, 2010), para complementar a análise existente entre fatores físicos e a qualidade da água do recurso hídrico.

Para a delimitação da bacia hidrográfica, das sub-bacias de contribuição, assim como a extração das características topográficas, foi obtido do projeto TOPODATA do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), que apresenta refinamento no tamanho do pixel para 30 metros, a partir do processamento digital do Modelo Digital de Elevação (MDE) do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*).

Além disso, para estudar ainda mais o impacto das características topográficas sobre a relação entre tipo de uso do solo e a qualidade da água, seis classes de declive foram extraídas do MDE, segundo classificação da Embrapa (1999), apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Intervalos de classes de declividade e formas de relevo correspondentes

<b>Declividade (%)</b>	<b>Tipos de relevo</b>
0 - 3	Plano
3 – 8	Suavemente ondulado
8 – 20	Ondulado
20 – 45	Fortemente ondulado
45 – 75	Montanhoso
> 75	Escarpado

Fonte: EMBRAPA (1999).

#### **4.2.2 Uso do solo**

As informações sobre o uso e cobertura do solo foram obtidas a partir da classificação de imagem LANDSAT 8 OLIS/TIRS, do ano de 2017, com resolução espacial de 30 metros, obtidas do *U. S. Geological Survey* (USGS). O processamento das imagens foi realizado no software ArcGIS, versão 10.2, utilizando ferramentas de mosaico, recorte da área e classificação visual da cobertura do solo através da fotointerpretação. Para esta etapa também foram observadas as características de interpretação cor, tamanho, forma, sombra, textura, padrão e localização. Para a validação da classificação realizada por meio da fotointerpretação foram coletados coordenadas em pontos na área de abrangência da bacia do rio Uberaba, utilizando um receptor GPS. Após a classificação, foi realizado a inspeção visual e edição manual para realização de ajustes finos. O uso e cobertura do solo foi categorizado

em cinco classes: agricultura, pastagem, área urbana, vegetação nativa e corpo d'água.

#### 4.2.3 Conflito de uso do solo

O conflito do uso do solo é a divergência de um uso real e a sua capacidade potencial para o uso (Rocha, 1991). A capacidade de uso do solo foi avaliada através do Coeficiente de Rugosidade, também conhecido como *Ruggedness Number* (RN), é obtido pelo produto da densidade de drenagem da sub-bacia e declividade média da sub-bacia ( $RN = SI \times Dd$ ). O coeficiente de rugosidade é um parâmetro que direciona o uso potencial do solo com relação às suas características para agricultura, pecuária, florestamento, ou, ainda, preservação florestal de acordo com o uso potencial da terra. A abordagem usada para calcular o RN e, portanto, a capacidade do solo é descrita com mais detalhes nos estudos de Rocha e Kurtz (2001); Rodrigues e Carvalho (2004); Valle Junior (2008) e Siqueira et al. (2012).

As áreas da bacia hidrográfica com baixo valor de RN são consideradas apropriadas para o cultivo agrícola, pois correspondem às áreas planas ou suavemente onduladas. Quando o RN é alto, as áreas são adequadas para uma ocupação por florestas, devido inclinação dos terrenos. Áreas da bacia cujo RN apresenta valor intermediário são adequadas para pastagens ou florestas. De acordo com a amplitude dos valores de RN, são estabelecidas 4 classes, definidas como: 1 - Agricultura, 2 – Pastagens para produção pecuária, 3 - Pastagens para produção pecuária / Floresta e 4 – Floresta.

Para a geração do mapa de conflito, a capacidade de uso da terra é dividida em códigos ( $1 \leq N \leq 4$ ), assim como o uso real da terra ( $1 \leq A \leq 4$ ). Através da sobreposição dos mapas de uso potencial do solo (RN) com o mapa de uso e cobertura do solo, foi gerado o mapa de conflito, classificado em três classes, descritos na Tabela 3.

**Tabela 3.** Classes de conflito ambiental

<b>Classes de conflito</b>	<b>Recomendação</b>
Classe 1	Apresentam riscos ou limitações permanentes severas quando usadas para culturas anuais e pastagens. Seu uso deve ser norteado pela implementação de técnicas conjuntas de conservação do solo.
Classe 2	Terras impróprias para cultivos intensivos, mas ainda adaptadas para pastagem nativa, reflorestamento ou preservação ambiental.
Classe 3	Terras impróprias para cultivos intensivos e pastagens, mas ainda adaptadas para reflorestamento ou preservação ambiental.

Fonte: Valle Junior (2008).

#### 4.2.4 Índice de Transformação Antrópica (ITA)

O Índice de transformação antrópica (ITA) foi proposto por Lèmechev (1982) e modificado por Mateo (1991) com o objetivo de quantificar a pressão antrópica sobre algum componente do meio ambiente. O ITA é calculado a partir do mapa de uso e cobertura do solo (Equação 1).

$$ITA = \sum(\%USO * PESO)/100 \quad (1)$$

Em que:

uso = área em valores percentuais da classe de uso e cobertura,

peso = peso dado aos diferentes tipos de uso e cobertura quanto ao grau de alteração antrópica. Varia de 1 a 10; sendo que os maiores valores indicam as maiores pressões. Neste caso, considerando o tipo de uso do solo encontrado na bacia hidrográfica do rio Uberaba, estabeleceu-se o seguinte conjunto de pesos apresentado na Tabela 4.

**Tabela 4.** Pesos atribuídos às classes de uso do solo.

<b>Classes</b>	<b>Pesos</b>
Área urbana	10,0
Agricultura - solo exposto	8,0
Agricultura - cultivo	7,6
Pastagem	5,5
Vegetação nativa	1,0

O método de classificação baseou-se em Gouveia *et al.* (2013), que classificou as áreas a partir dos valores do ITA em: pouco degradada (0 - 2,5), regular (2,5 - 5), degradada (5 - 7,5) e muito degradada (7,5 - 10).

#### 4.2.5 Vulnerabilidade dos solos e dos recursos hídricos

A identificação das áreas vulneráveis quanto à conservação dos solos e águas superficiais do rio Uberaba foi realizada utilizando o *software* Arcgis, um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Foram utilizados dados de declividade, uso do solo, tipo de solos, geologia e distância da rede de drenagem para a realização de uma análise multicritério que, por meio da sobreposição dos mapas gerados e dos valores atribuídos para cada fator, foi gerado o mapa da vulnerabilidade potencial para a qualidade das águas do rio Uberaba (Tabela 5). Os valores atribuídos variaram em uma escala de 1 a 5, sendo que quanto maior o peso atribuído, maior a contribuição para a vulnerabilidade.

**Tabela 5.** Fatores adotados e pesos atribuídos em cada critério para o estudo da vulnerabilidade dos recursos hídricos superficiais da bacia do rio Uberaba.

Fatores	Critérios	Pesos
Declividade	0 - 5 %	1
	5 - 12 %	2
	12 - 30 %	3
	30 - 47 %	4
	> 47 %	5
Uso do solo	Vegetação nativa	1
	Pastagem	2
	Agricultura	3
	Área urbana	4
Solos	Latossolo vermelho	1
	Latossolo vermelho amarelo	2
	Gleissolo	3
	Argissolo vermelho	4
	Argissolo vermelho amarelo	5
Geologia	Formação Uberaba	5
	Formação Marília	4
	Formação Vale do Rio do Peixe	3
	Formação Serra Geral	2
Distância da rede de drenagem	30 metros	5
	50 metros	4
	100 metros	3
	200 metros	2
	500 metros	1

As variáveis foram ponderadas igualmente, ou seja, foi realizado uma média aritmética entre os fatores, conforme metodologia proposta por Crepani et al. (2001) e Rabelo (2009).

Para isso, os mapas do tipo vetor foram convertidos para o formato raster e submetidos ao processamento de reclassificação dos valores de “pixels”. A vulnerabilidade foi calculada pela Equação 2, implementada no SIG utilizando a ferramenta de álgebra de mapas.

$$\text{Vulnerabilidade} = (D + U + S + G + R) / 5 \quad (2)$$

Em que:

D = vulnerabilidade para o tema Declividade

U = vulnerabilidade para o tema Uso do solo

S = vulnerabilidade para o tema Solos

G = vulnerabilidade para o tema Geologia

R = vulnerabilidade para o tema Distância da rede de drenagem

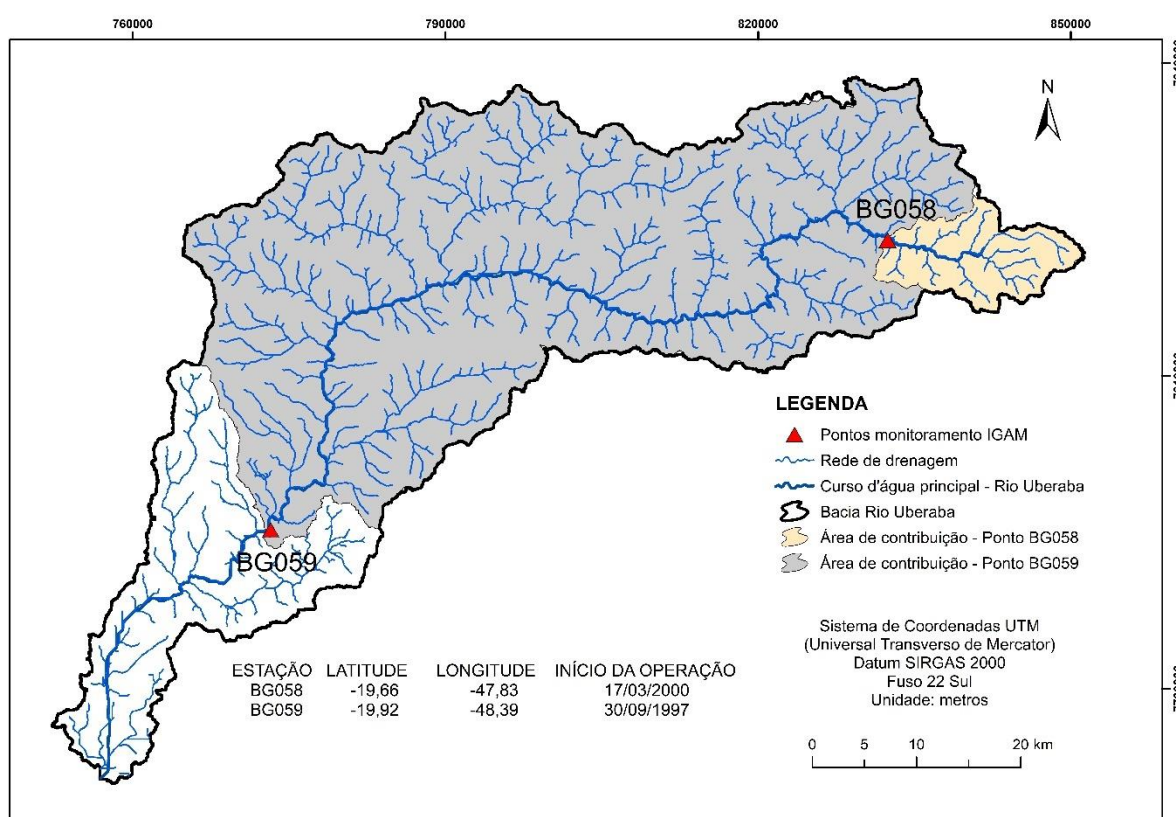
A vulnerabilidade foi dividida em cinco classes: muito pouco vulnerável, pouco vulnerável, vulnerável, muito vulnerável e extremamente vulnerável (Tabela 6), e suas respectivas áreas foram espacializadas e calculadas.

Tabela 6. Classificação do grau de vulnerabilidade

<b>Classes de vulnerabilidade</b>	<b>Valor</b>
Muito pouco vulnerável	1
Pouco vulnerável	2
Vulnerável	3
Muito vulnerável	4
Extremamente vulnerável	5

#### 4.2.6 Qualidade da água

Para a análise da qualidade da água da bacia do rio Uberaba, foram selecionados dois pontos de amostragem, BG058 e BG059 (Figura 4). O BG058 está situado no alto curso do rio Uberaba, inserido na Área de Proteção Ambiental, antes da captação de água do município de Uberaba. A estação de monitoramento BG059 situa-se no município de Conceição das Alagoas, à jusante da área urbana desta cidade.



**Figura 4.** Localização das estações de monitoramento do IGAM BG058 e BG059.

O Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), monitora trimestralmente 51 parâmetros físico-químicos e biológicos nestas estações. Neste estudo foram analisados os dados de oito parâmetros físico-químicos: temperatura, turbidez, sólidos totais, pH, oxigênio dissolvido (OD), nitrato (NO<sub>3</sub>-N), fósforo total e coliformes termotolerantes, do período de 2000 a 2017. A metodologia de coleta e análise dos

parâmetros seguiu o manual *Standard Methods for Examination of Water & Wastewater* (APHA, 1999).

Para definição do limites das concentrações dos parâmetros de qualidade de acordo com o enquadramento das águas superficiais, foi utilizado os valores de referência do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que por meio da Resolução 357/2005 (BRASIL, 2005) dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes (Tabela 7).

**Tabela 7.** Valores de referência para alguns parâmetros de qualidade da água, segundo Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005.

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Resolução CONAMA</b>
Temperatura	°C	não estabelecido
Turbidez	NTU	100
Sólidos totais	mg/L	500
pH	--	não estabelecido
Oxigênio dissolvido (OD)	mg/L	>5
Nitrato (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	10
Fósforo total	mg/L	0,1
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	1000

Para análise estatística dos dados de qualidade da água, foi realizada uma análise descritiva por estação, para cada uma das oito variáveis selecionadas. Foram calculados a média, o valor mínimo e máximo, o desvio padrão e o erro padrão.

Foram utilizados métodos estatísticos para avaliação da sazonalidade (período seco e chuvoso), da espacialidade (localização dos pontos de monitoramento) e das tendências temporais (de 2000 a 2017) dos oito parâmetros de qualidade da água selecionados.

Para caracterizar a sazonalidade do conjunto de dados, foi utilizado o teste não-paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney para verificar diferenças significativas entre os dados medidos nas diferentes estações do ano. Este teste permite comparar a distribuição de duas amostras independentes e verificar se há evidências que os valores de um grupo são superiores ao outro. Para apresentação dos dados, também foram utilizadas técnicas gráficas, por serem de mais fácil visualização e interpretação.



Para a análise espacial dos dados foi utilizado o teste Wilcoxon-Mann-Whitney, para verificar quais os parâmetros de qualidade da água apresentam diferenças significativas em função da localização das estações BG058 e BG059 na bacia hidrográfica.

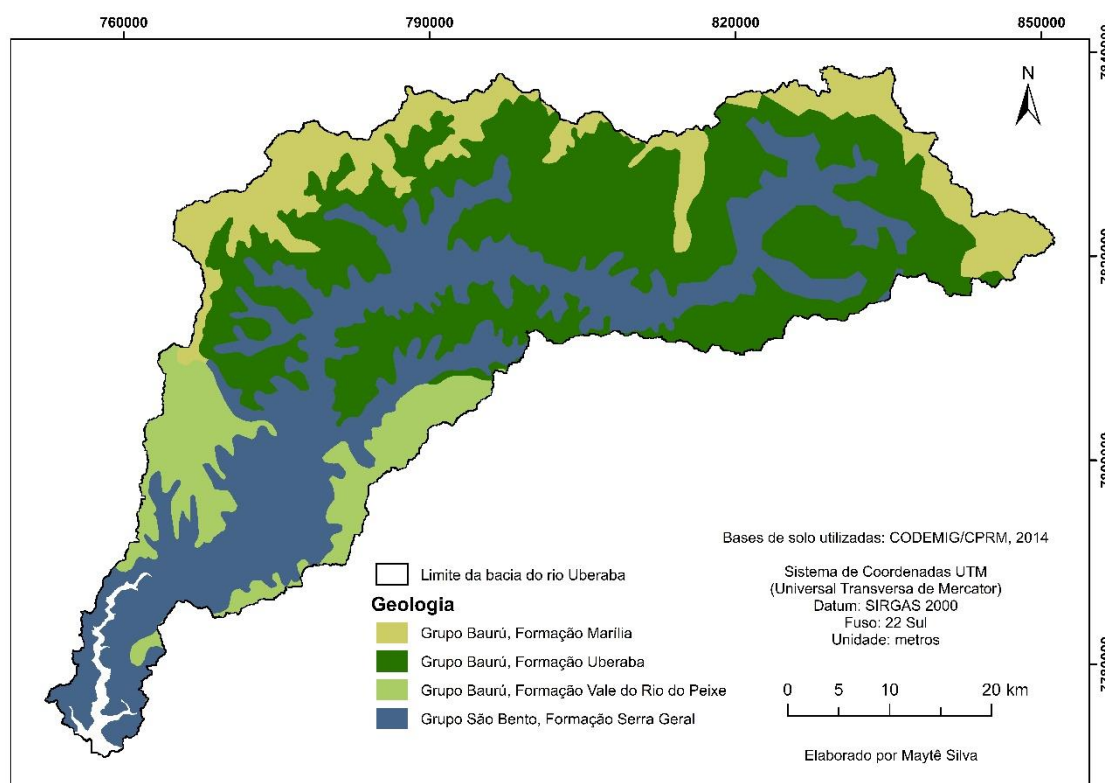
As análises de tendência temporal são úteis na predição da evolução da qualidade da água, por possibilitar a avaliação de longas séries de dados. Neste trabalho, foi utilizado o teste não-paramétrico de Mann-Kendall, para detectar a correlação entre a série de dados e o índice tempo, para determinar se as concentrações aumentaram ou diminuíram ao longo do tempo (Mann, 1945; Kendall, 1975). Este teste foi sugerido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para avaliação da tendência em séries temporais de dados ambientais. Os dados de qualidade da água não seguem uma distribuição normal, pois as amostragens são realizadas irregularmente, apresentam sazonalidade e são dependentes das vazões dos rios. Portanto, o teste de Mann Kendall, por tratar-se de um método não paramétrico, não requer distribuição normal dos dados, além de ser pouco influenciado por mudanças abruptas ou séries não homogêneas (Zhang et al., 2009).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Caracterização Física da Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba

#### 5.1.2 Mapa Geológico

O mapa geológico da bacia do rio Uberaba apresenta-se na Figura 5. A bacia está inserida na porção norte/nordeste da bacia sedimentar geotectônica denominada Bacia Sedimentar do Paraná, e é compreendida estratigraficamente por regiões do Grupo Bauru com as Formações Marília, Uberaba e Vale do Rio do Peixe e do Grupo São Bento com a Formação Serra Geral (Figura 5)



**Figura 5.** Mapa da geologia da bacia hidrográfica do rio Uberaba.

A região do Grupo Bauru, na Formação Marília é constituída de arenitos finos a grosseiros, muito imaturos e maciços apresentando frequentes nódulos calcários,

conforme verificado também em trabalhos de Valle Junior (2008). Ocorre em extensas áreas do triângulo mineiro, ocupando partes topograficamente mais elevadas dos interflúvios, com maior expressão entre as cidades de Uberaba e Prata, região rica em achados fossilíferos. A extensão da área da Formação Marília encontra-se na porção a montante, no divisor de águas localizado à porção norte da bacia.

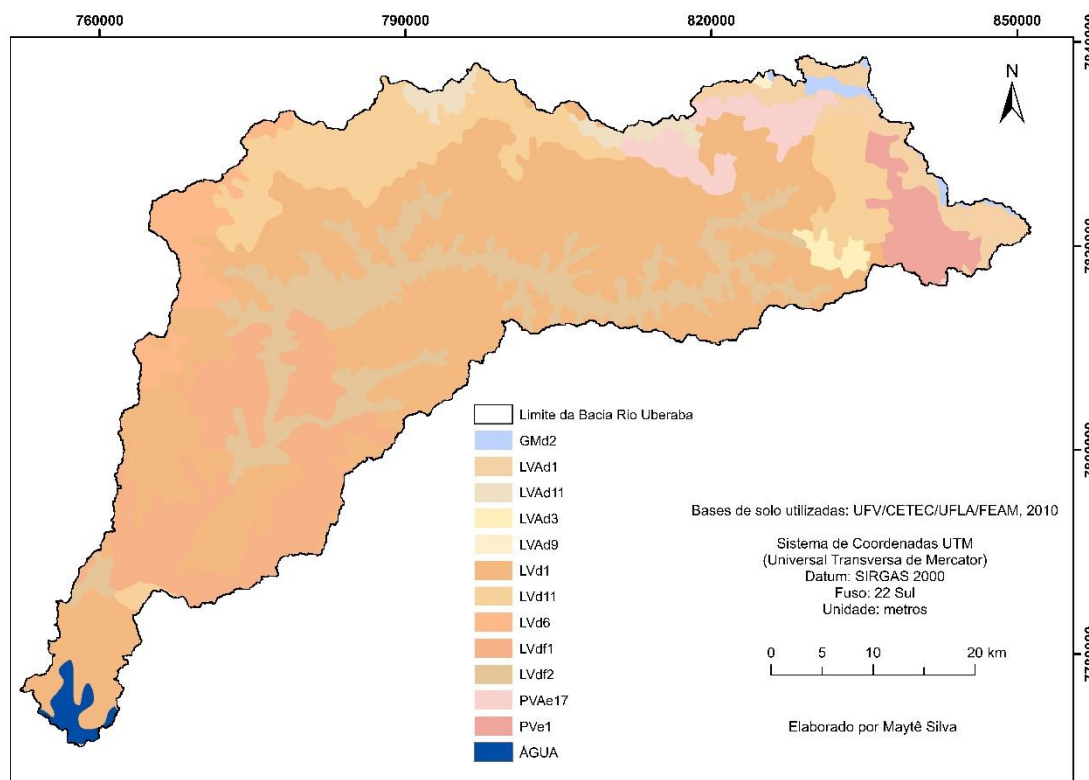
A Formação Uberaba, do grupo Bauru, é constituída por arenitos e, subordinadamente, por lamitos, siltitos e conglomerados (Batezelli, 2003). Está na parte intermediária da encosta da bacia hidrográfica. Essa formação está localizada no triângulo mineiro e, na bacia deste estudo, aparece em faixa que se estende do alto curso até o médio curso do rio, no município de Conceição das Alagoas. Ocorre um contato basal da Formação Uberaba com os basaltos da Formação Serra Geral do Grupo São Bento, que se dá de forma abrupta e erosiva.

A formação Vale do Rio do Peixe do Grupo Bauru, é a unidade de menor extensão na bacia do rio Uberaba e localiza-se na porção sudoeste no baixo curso do rio Uberaba, em direção a jusante. Este substrato se estende até parte da região oeste de São Paulo e do Triângulo Mineiro (Fernandes e Coimbra, 2000). É composto por estratos de espessura submétrica (geometria tabular típica), de arenitos intercalados com siltitos ou lamitos arenosos, de contatos pouco erosivos. Os arenitos são muito finos, de coloração marrom-claro rosado a alaranjado. Tem espessura preservada da ordem de 100 m, medida em perfurações de poços para águas subterrâneas. A Formação Vale do Rio do Peixe repousa diretamente sobre os basaltos da Formação Serra Geral (Grupo São Bento), sendo estes contatos sub-horizontal e não erosivo.

O grupo São Bento - Formação Serra Geral está presente nos vale da rede de drenagem da bacia. A geologia é composta por rochas basálticas do Grupo São Bento (basaltos da Formação Serra Geral). Esta porção está localizada nas áreas com menores elevações da bacia. Aflora em áreas relativamente limitadas ao longo da rede de drenagem principal e conforme Nishiyama (1998) é característico nos vales dos principais rios presentes na região. Possui arenitos marrom-avermelhado, cimentação carbonática e intercalações de arenitos argilosos e lentes de argilitos. À medida que se afasta do talvegue em direção ao divisor topográfico, essa formação encontra-se recoberta pelos sedimentos do Grupo Bauru (Uberaba, Marília e Vale do Rio do Peixe).

### 5.1.3 Mapa de Solos

A bacia do Rio Uberaba possui 12 tipos de solos (Figura 6) de acordo com o Mapeamento de Solos do Estado de Minas Gerais, disponibilizado na escala de 1:650.000 (UFV/CETEC/UFLA/FEAM, 2010).



**Figura 6.** Mapa de Solos da bacia hidrográfica do rio Uberaba

Os principais tipos de solos são: Gleissolo melânico (GMd2), Latossolo (LVA; LV) e Argissolo (PVA; PV). De uma forma geral os Latossolos apresentam diferentes graus de fertilidade, textura, estrutura e coloração, com predominância do Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo, que compreende as porções do vale da rede de drenagem e meia encosta da bacia hidrográfica do rio Uberaba. O Argissolo Vermelho Amarelo (PVA) e o Argissolo Vermelho (PV) encontram-se nas áreas à montante da bacia em regiões de maior altitude.

As principais características de cada tipo de solos estão apresentadas na Tabela 8.

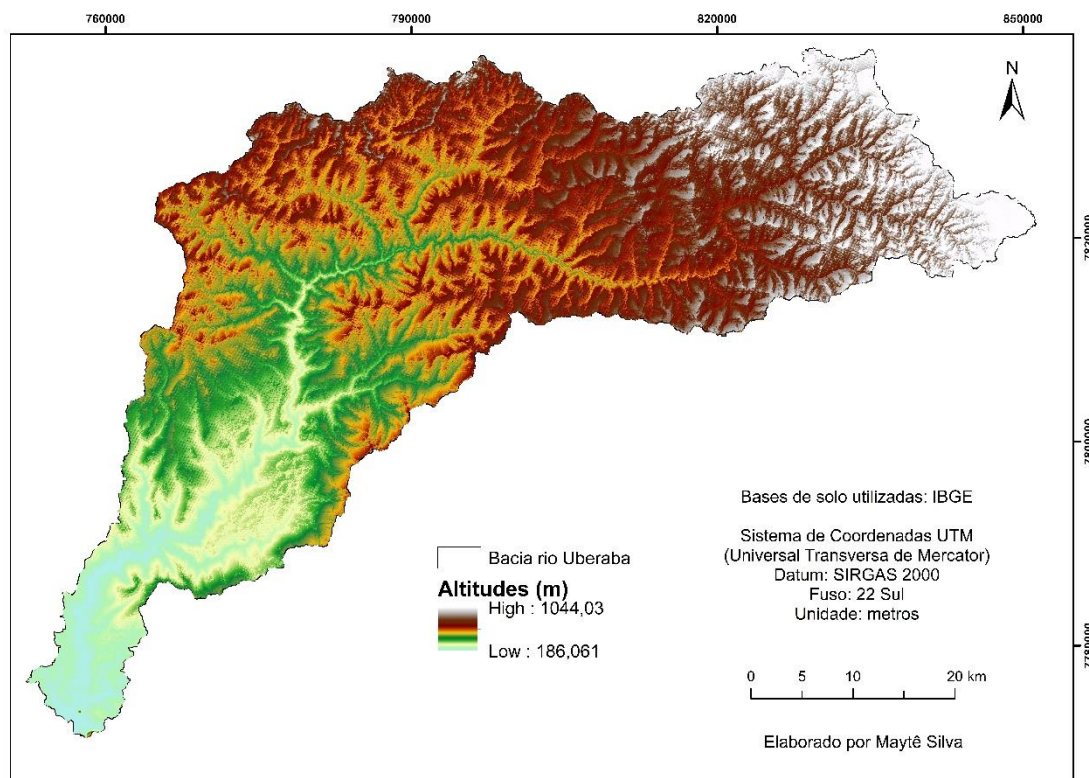
**Tabela 8.** Classes de solo presentes na bacia do rio Uberaba.

CLASSE DE SOLO	DESCRIÇÃO
GMd2	GLEISSOLO MELÂNICO distrófico típico A proeminente + ORGANOSSOLOS HÁPLICO sáprico típicos e terricos + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico A moderado, textura argilosa; todos fase campestre, relevo plano e suave ondulado.
LVA <sub>d1</sub>	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico A moderado, textura argilosa; fase cerrado, relevo plano e suave ondulado.
LVA <sub>d11</sub>	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico A moderado textura média/argilosa + CAMBISSOLO HÁPLICO distrófico típico A moderado textura siltosa/argilosa, cascalhento/ não cascalhento, pedregoso/não pedregoso; ambos fase cerrado, relevo suave ondulado e ondulado.
LVA <sub>d3</sub>	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico húmico, A húmico, textura muito argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado/montanhoso (20 %) + LATOSSOLO VERMELHO Distrófico húmico, A húmico, textura muito argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado/montanhoso (20 %) + CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico latossólico, A húmico, textura argilosa/muito argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado/montanhoso (30 %) + NEOSSOLO LITÓLICO Húmico típico, A húmico, textura argilosa, fase campo rupestre, relevo montanhoso (15 %) + AFLORAMENTO DE ROCHA (15 %).
LVA <sub>d9</sub>	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico A moderado, textura argilosa + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico plínticos argissólicos A moderado textura argilosa; ambos fase campestre e cerrado, relevo plano e suave ondulado.
LV <sub>d1</sub>	LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico A moderado textura média; fase floresta subcaducifólia, relevo plano e suave ondulado.
LV <sub>d11</sub>	LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico textura média A moderado + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO eutrófico típico A moderado/chernozêmico textura média + NEOSSOLO LITÓLICO típico chernossólico textura média; todos cerrado e floresta subcaducifólia e campo cerrado, relevo plano e suave ondulado e ondulado e forte ondulado.
LV <sub>d6</sub>	LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico A moderado textura argilosa + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico A moderado textura média/argilosa; ambos fase cerrado, relevo plano e suave ondulado.
LV <sub>df1</sub>	LATOSSOLO VERMELHO distroférico típico A moderado/proeminente textura argilosa; fase floresta subcaducifólia, relevo plano e suave ondulado.
LV <sub>df2</sub>	LATOSSOLO VERMELHO distroférico típico A moderado, textura argilosa + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO eutrófico típico A moderado textura média/argilosa + CAMBISSOLO HÁPLICO eutrófico típico A chernozêmico textura média/argilosa, fase pedregosa; todos fase cerrado e floresta caducifólia, relevo plano e suave ondulado e ondulado.
PVA <sub>e17</sub>	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO eutrófico típico A moderado/chernozêmico textura média/argilosa + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico A moderado, textura média + CAMBISSOLO HÁPLICO distrófico típico e léptico A moderado textura média/argilosa, cascalhento/não cascalhento; todos fase floresta caducifólia e cerrado e caatinga hipoxerófila, relevo plano e suave ondulado e ondulado.
PV <sub>e1</sub>	ARGISSOLO VERMELHO EUTRÓFICO típico A moderado, textura média/argilosa e argilosa/muito argilosa; fase floresta subcaducifólia, relevo ondulado.

Fonte: UFV/CETEC/UFLA/FEAM (2010).

### 5.1.4 Mapa de Relevô

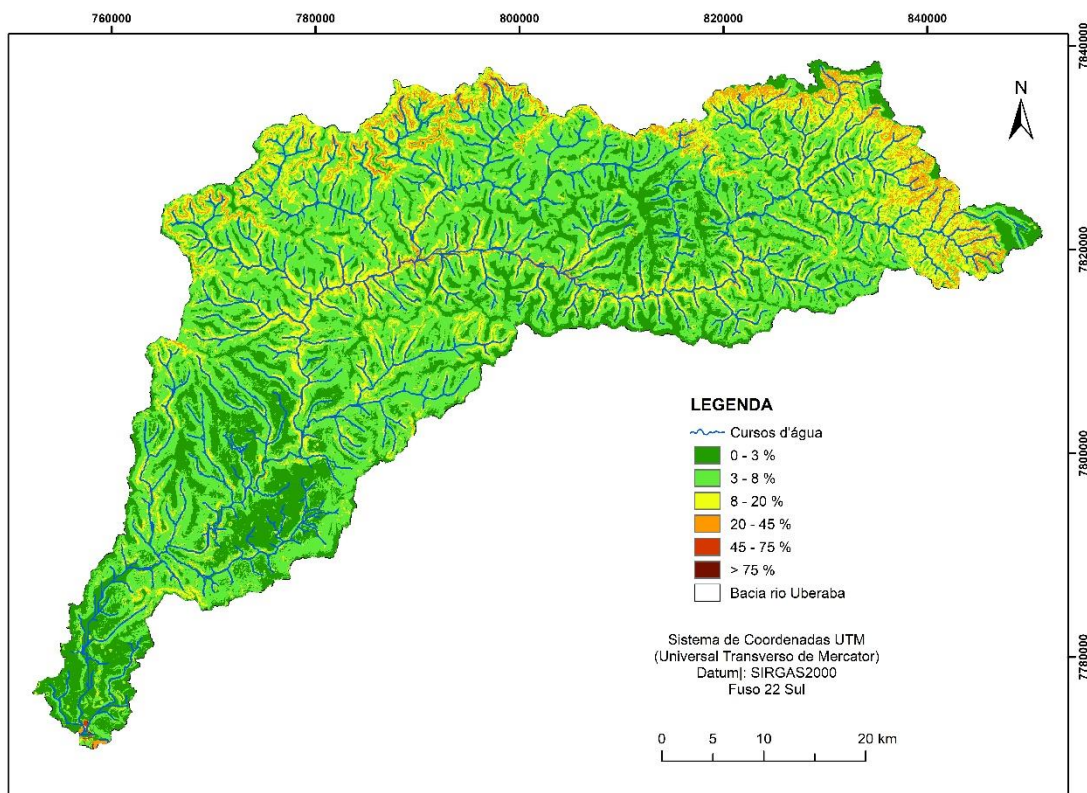
As altitudes variam de 186 m a 1044 m, com amplitude de 878 m, conforme observa-se no mapa hipsométrico (Figura 7).



**Figura 7.** Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Uberaba.

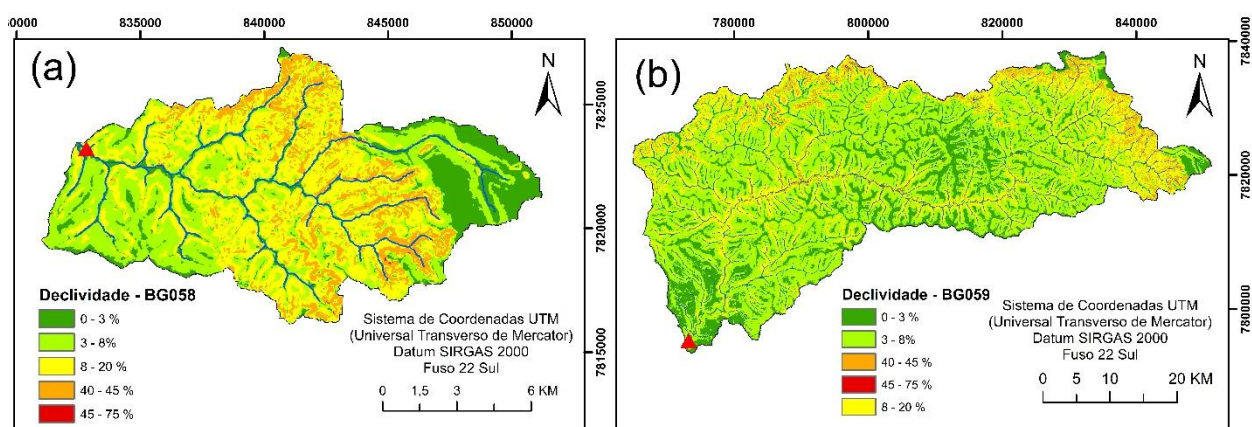
Na Figura 8, observa-se a espacialização da declividade, com predominância de 0 a 8%, e nas regiões à montante dos rios predominam as classes de 8 a 20%, 20 a 45% e 45 a 75%. As declividades foram classificadas de acordo a Embrapa (1999).





**Figura 8.** Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Uberaba

A Figura 9a e 9b apresentam as declividades das sub-bacias de contribuição, relativas aos pontos de monitoramento de qualidade da água (BG058 e BG059).



**Figura 9.** Mapa de declividade da área de contribuição do Ponto BG058 (a) e do Ponto BG059 (b).

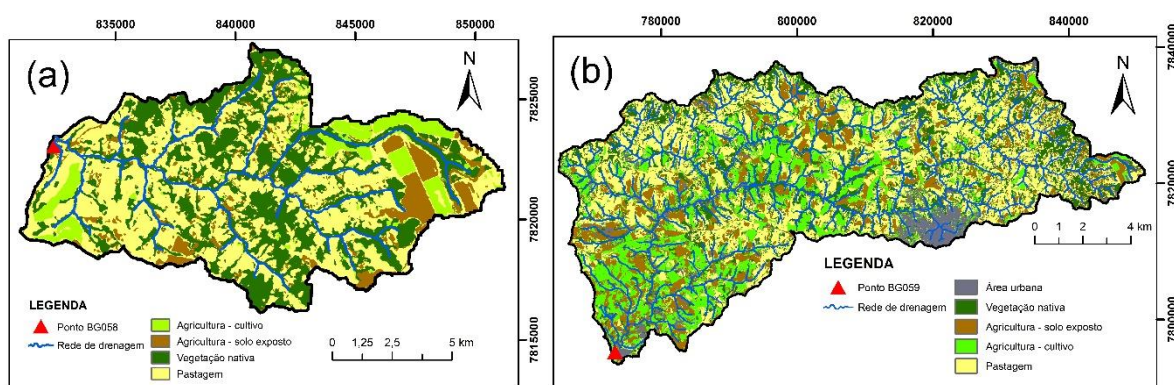
Na área de amostragem BG058, as declividades predominantes são 8 a 20% (39,34%) e 3 a 8% (32,84%) e na área BG059, declividades de 3 a 8% (52,51%). A área de contribuição do ponto BG058 apresenta declividades mais íngremes em comparação com a área de contribuição referente ao ponto BG059 (Tabela 9).

**Tabela 9.** Área ocupada por cada classe de declividade nas áreas de contribuição dos pontos BG058 e BG059.

Área de contribuição do Ponto BG058			Área de contribuição do Ponto BG059		
Classes de declividade	Área (ha)	Porcentagem (%)	Classes de declividade	Área (ha)	Porcentagem (%)
0 – 3 %	1902,92	15,43	0 – 3 %	40881,56	20,81
3 – 8 %	4050,12	32,84	3 – 8 %	103143,16	52,51
8 – 20 %	4852,28	39,34	8 – 20 %	43832,52	22,31
20 – 45 %	1522,08	12,34	20 – 45 %	8375,72	4,26
45 – 75 %	6,44	0,05	45 – 75 %	195,64	0,1

## 5.2 Mapa de Uso do Solo e Índice de Transformação Antrópica

As classes de uso nas sub-bacias de contribuição para o ponto BG058 e para o ponto BG059 constam na Figura 10a e 10b.



**Figura 10.** Mapa de uso e cobertura do solo do ano de 2017 da área de contribuição do ponto BG058 (Figura a) e BG059 (Figura b).

A área ocupada, em hectares e porcentagem e, o valor do índice de transformação antrópica estão apresentados na Tabela 10.



**Tabela 10.** Áreas ocupadas em hectares, porcentagem e valores do Índice de Transformação Antrópica (ITA)

Classes	Área (ha)		Superfície (%)		ITA	
	BG058	BG059	BG058	BG059	BG058	BG059
Agricultura - cultivo	1084,901	35838,14	8,80	18,24	0,704	1,459
Agricultura - solo exposto	1369,316	31667,598	11,10	16,12	0,844	1,225
Vegetação nativa	4282,613	41146,571	34,72	20,95	0,347	0,210
Pastagem	5597,009	71292,662	45,38	36,29	2,496	1,996
Área urbana	-	16484,509	-	8,39	-	0,839
TOTAL	12333,839	196429,480	100	100	4,391	5,729

O método de classificação do ITA baseou-se em Gouveia *et al.* (2013), que classificou a bacia em: pouco degradada (0 - 2,5), regular (2,5 - 5), degradada (5 - 7,5) e muito degradada (7,5 - 10).

De acordo com as Figuras 10a e 10b, pode-se observar que, a classe agricultura-cultivo e agricultura-solo exposto encontra-se em maior extensão na sub-bacia BG059 (18,24% e 16,12%), respectivamente, em área a jusante da bacia do rio Uberaba, em relação à sub-bacia BG058, que está localizada à montante. O uso do solo pela agricultura na sub-bacia BG059, ocorre devido as áreas mais planas, com declividade (0- 8%), juntamente com a presença de Latossolos (Figura 6, Figura 8).

A maior porção da área da sub-bacia BG058 apresenta-se em relevo mais acidentado (Figura 9a), o que dificulta o processo de mecanização agrícola e a implantação da agricultura. São áreas que apresentam limitações mais acentuadas para agricultura tecnificada. Além disso, esta área é compreendida em grande parte, pelos argissolos vermelhos, que apresentam limitações no que se refere a sua fragilidade ambiental. Conforme trabalhos de Cunha *et. al.* (2010), o comprimento de rampa e a conformação geomorfológica tornam estes solos mais suscetíveis à erosão.

Em relação à porcentagem de superfície ocupada, a pastagem ocupa a maior parte, próximo a metade da área total da sub-bacia BG058 (45,38%), ultrapassando a porcentagem de superfície ocupada pela vegetação nativa (34,72%).

As áreas urbanas, tanto do município de Uberaba, quanto de Conceição das Alagoas, estão localizadas na sub-bacia BG059, sendo essa, a classe de menor expressão de uso do solo.

O Índice de Transformação Antrópica – ITA (Tabela 10), indica as áreas e seus respectivos graus de classificação da pressão antrópica exercida pelas atividades humanas. As áreas, classificadas como degradadas, estão localizadas na sub-bacia BG059. Nessa área ocorre a presença de Latossolos em sua maior parte (Figura 6), com declividade mais suave. Essas condições favorecem a implantação da agricultura. Segundo Dias et al. (2015), nessas áreas para que ocorra o aumento da produtividade, é necessário o manejo do solo em relação às correções químicas, o que pode ocasionar uma poluição difusa.

Em relação as áreas classificadas, de acordo com ITA, com uma degradação regular, estão presentes predominantemente na BG058. Portanto, é uma área com menor desenvolvimento de atividades antrópicas com potencial de degradação. Isso ocorre, devido a presença de solos do tipo Gleissolo melânico e Argissolos (Figura 6), que são superfícies mais desgastadas e com possibilidade de processos erosivos mais intensos. Dentre as características do Gleissolo melânico, destaca-se a restrição à drenagem devido ao contato lítico na subsuperfície e a presença de plintita (EMBRAPA, 1999), não sendo apto para a agricultura. Assim, denota-se que a área está mais propensa ao desenvolvimento de atividades relacionadas à pecuária, o que ocasiona menor revolvimento do solo.

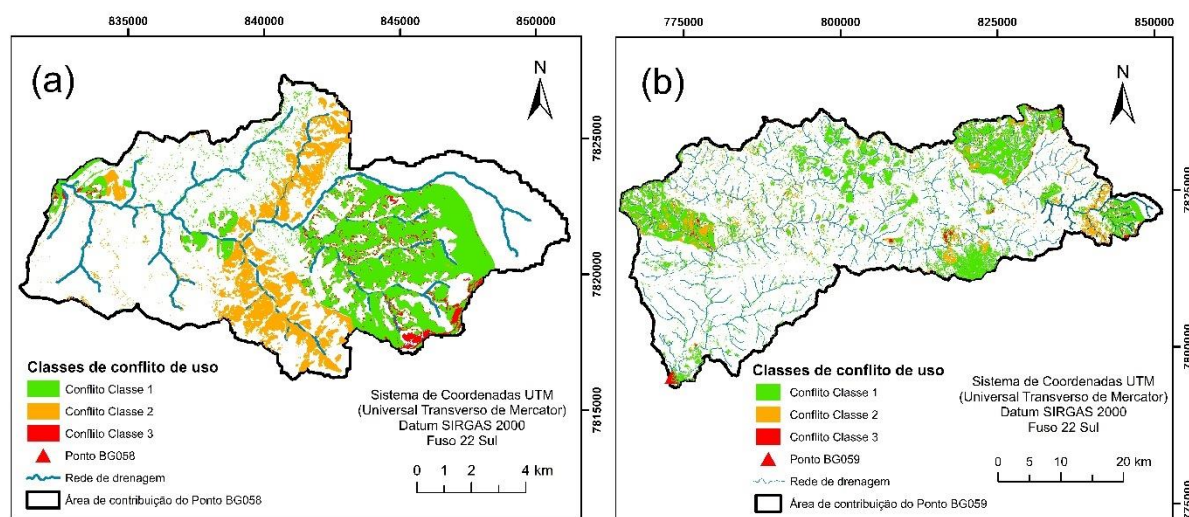
### **5.3 Conflito do uso do solo**

O conflito de uso do solo indica quando há a necessidade de escolha entre os sistemas de produção implantados que são determinados pelo uso do solo mapeado. Algumas áreas estão geograficamente ocupadas por situações que podem ser consideradas incompatíveis e que de algum modo perturbam o ecossistema natural em sua função ecológica ou o agroecossistema. As situações de conflito 1, 2 e 3 e a situação de áreas sem conflito são determinantes para a tomada de decisão por parte da pessoa ou de grupos.

Na área de estudo observa-se que na região à montante da bacia o uso do solo mapeado diverge, em maior extensão, da sua capacidade potencial para o uso, em comparação com as áreas a jusante da bacia hidrográfica. Como a capacidade de uso do solo é determinada pelo Coeficiente de Rugosidade (*Ruggedness Number-*

RN), que é obtido pelo produto da densidade de drenagem da sub-bacia e a declividade média da sub-bacia, pode-se afirmar que, o uso potencial do solo com relação às características do relevo é apto para agricultura, pecuária, florestamento, ou, ainda, preservação florestal, o que foi descrito em detalhe nos estudos de Valle Junior (2008) e Rocha e Kurtz (2001).

De acordo com a amplitude dos valores de RN, foram estabelecidas 4 classes, definidas como: 1 - Agricultura, 2 – Pastagens para produção pecuária, 3 - Pastagens para produção pecuária / Floresta e 4 – Floresta. Observando as Figuras 11a; 11b, e a Tabela 11, os conflitos de uso existentes nas áreas de contribuição do ponto de monitoramento BG058 e BG059 são geograficamente distribuídos em regiões mais extensas de conflito de classes 1 e 2 e pequenas áreas conflito 3.



**Figura 11.** Mapa de conflito da área de contribuição do Ponto BG058 (Figura a) e do Ponto BG059 (Figura b)

**Tabela 11.** Área ocupada por cada classe de conflito do uso do solo das áreas de contribuição do Ponto BG058 e BG059

Área de contribuição do Ponto BG058			Área de contribuição do Ponto BG059		
Classe de conflito de uso	Área (ha)	Porcentagem (%)	Classe de conflito de uso	Área (ha)	Porcentagem (%)
Classe 1	2333,474	18,90	Classe 1	32056,637	16,33
Classe 2	1268,542	10,28	Classe 2	6141,670	3,13
Classe 3	243,038	1,97	Classe 3	1186,211	0,60
Sem conflito	8498,885	68,85	Sem conflito	156965,378	79,94

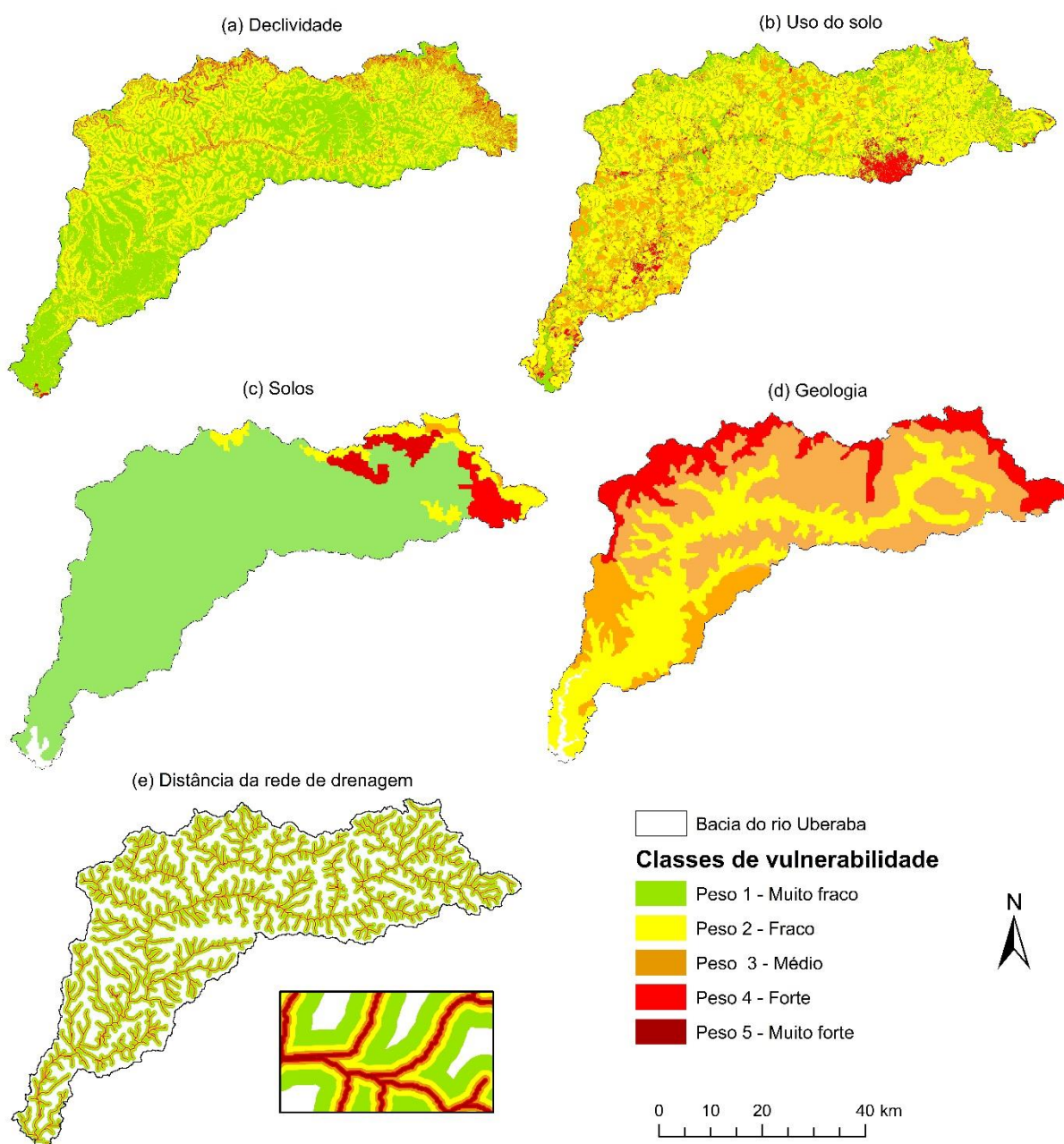
As áreas ocupadas por atividades antrópicas que não apresentam conflito de uso correspondem a 68,85% na sub-bacia BG058 e 79,94% na sub-bacia BG059, o que indica uma ocupação de atividades produtivas mais adequadas, devido aos fatores condicionantes do relevo e a conformação geomorfológica da sub-bacia (relação do comprimento da rede de drenagem pela área da sub-bacia e o relevo predominante). Apesar da maior parte da área não apresentar um conflito de uso, essa área, de acordo com o índice de transformação antrópica - ITA, está classificada como regular para a sub-bacia BG058 e degradada para sub-bacia BG059 (Tabela 10).

Nas duas sub-bacias existem áreas expressivas em conflito ambiental, com 18,9% (BG058) e 16,33% (BG059), cujo conflito se enquadra na Classe 1, o que significa que estas áreas apresentam limitações significativas para o cultivo agrícola e atividades pastoris. O seu uso deve ser condicionado à implementação de técnicas apropriadas de conservação do solo, tais como o plantio em nível, a construção de terraços, cultivo mínimo do solo, entre outras. A Classe 2 de conflito está presente em maior proporção na sub-bacia de contribuição BG058, correspondente a 10,28% da área, indicando que estas terras são impróprias para os cultivos intensivos, devido a maior parte da área ter entre 8 a 20% de declividade (Figura 9a e 9b). Sendo assim, na área de classe 2, o uso deve ser adaptado para pastagem, reflorestamento ou preservação ambiental. A Classe 3 que ocupa pequena área em ambas sub-bacias, e se constitui em áreas impróprias para cultivos agrícolas e pastagens. Portanto, estas áreas devem ser destinadas apenas para o reflorestamento ou vegetações naturais, e ainda pode-se ressaltar que, devido a presença de Gleissolo melânico, conforme demonstra o mapa de solos (Figura 6), com possibilidade de processo erosivo mais intenso, essa mudança de uso se torna mais necessária.

Considerando as ações antrópicas nos ecossistemas das sub-bacias, o estudo do conflito de uso é um indicativo de mudança de atividade em regiões específicas, tendo em vista que algumas poderão comprometer a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos, conforme preconiza Tundisi (2005) e Rocha (1997). Segundo Rocha e Kurtz (2001), os conflitos de uso do solo são os maiores responsáveis pelas erosões, assoreamentos de rios e de barragens.

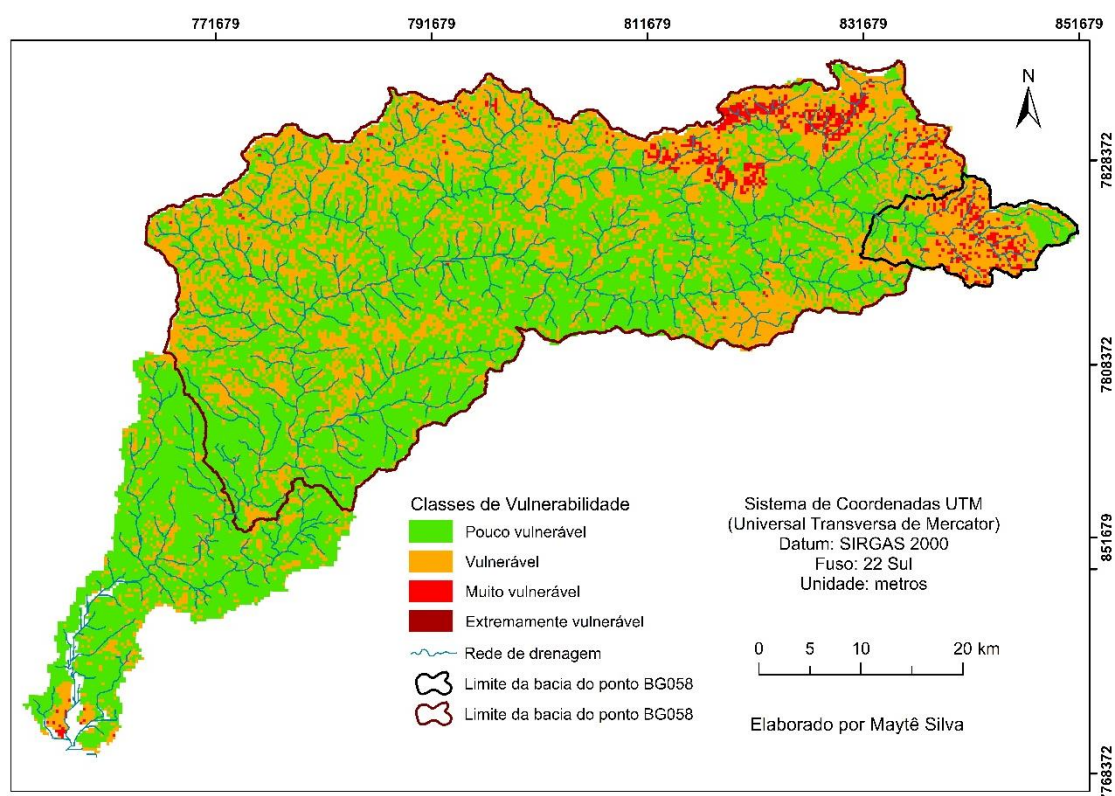
#### **5.4 Vulnerabilidade na bacia hidrográfica**

O mapa de vulnerabilidade para os fatores declividade, uso do solo, solos, geologia e distância da rede de drenagem está apresentado na Figura 12. As áreas vulneráveis são as regiões suscetíveis a serem expostas aos danos ambientais, tais como solo e água, devido à sua fragilidade, e é aplicada às regiões que não apresentam capacidade de resiliência e que apresentam menor possibilidade de retornar à forma original, e de prevenir e mitigar potenciais impactos, e que, por conseguinte, se encontram em situação de risco. Os pesos variaram de 1 a 5 e foram classificados em muito fraco, fraco, médio, forte e muito forte (Figura 12).



**Figura 12.** Mapas de vulnerabilidade para os fatores (a) declividade, (b) uso do solo, (c) solos, (d) geologia e (e) distância da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Uberaba.

A vulnerabilidade da bacia hidrográfica do rio Uberaba mostra a condição de risco em que a superfície se encontra, resultante do conjunto de situações mais, ou menos problemáticas, que são induzidas pelo uso/ocupação atual. Difere do conflito de uso devido aos fatores condicionantes do meio, definidos pela declividade, uso do solo, tipo de solo, geologia e a distância de superfície da rede de drenagem com atividades antrópicas e seus respectivos pesos ponderados, em decorrência da conformação geomorfológica da rede de drenagem, área da bacia e declividade, que indica ambientes conflitantes de acordo com o processo erosivo natural que ocorreu ao longo dos milhares de anos, isto é, áreas naturalmente erosivas. Assim, para a obtenção do mapa de vulnerabilidade dos solos e recursos hídricos (Figura 13), considerou-se a média aritmética dos fatores que exercem influência na vulnerabilidade, corroborando com trabalhos de Crepani et al. (2001) e Rabelo (2009).



**Figura 13.** Mapa de vulnerabilidade dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Uberaba.

A área ocupada por cada classe de vulnerabilidade nas sub-bacias de contribuição do ponto BG058 e BG059 estão apresentadas na Tabela 12.



**Tabela 12.** Área ocupada por cada classe de vulnerabilidade das áreas de contribuição do Ponto BG058 e BG059.

Área de contribuição do Ponto BG058			Área de contribuição do Ponto BG059		
Classe de vulnerabilidade	Área (hectares)	Porcentagem (%)	Classe de vulnerabilidade	Área (hectares)	Porcentagem (%)
Pouco vulnerável	3063,73	24,84	Pouco vulnerável	106955,85	54,45
Vulnerável	7498,97	60,80	Vulnerável	83109,31	42,31
Muito Vulnerável	1763,74	14,30	Muito Vulnerável	6305,39	3,21
Extremamente Vulnerável	7,40	0,06	Extremamente Vulnerável	58,93	0,03

As áreas classificadas como as mais vulneráveis (extremamente vulnerável, muito vulnerável e vulnerável) à degradação do solo e da água correspondem a 75,16% e 45,55% da área nas sub-bacias BG058 e BG059 respectivamente. Na sub-bacia BG058, as áreas vulneráveis são predominantemente regiões de nascentes, que contribuirão para o fornecimento de água para o município de Uberaba. Dessa forma, estas áreas devem ser preservadas ou exploradas por sistemas agrícolas que apresentem baixo impacto ambiental, priorizando o uso de técnicas que prezem pela manutenção da água e da matéria orgânica no solo. Segundo Merten e Minella (2002), um ambiente pode ser ecologicamente frágil, porém com nenhum ou baixo nível de degradação, determinado pelo sistema de exploração. Desse modo, os mapas de vulnerabilidade desenvolvidos nesse trabalho são úteis ao mapear as áreas com potencial de degradação, direcionando e facilitando as atividades de fiscalização em campo para checagem do real estado de conservação dos solos e da água nessas áreas. A constatação da degradação pode direcionar à aplicação das sanções previstas em lei. Segundo Valera (2017), na doutrina do direito o princípio do poluidor pagador, o uso dos recursos ambientais é avaliado e, se porventura identificados impactos, poluição ou degradação ambiental decorrentes das atividades produtivas, serão impostas responsabilidades ambientais aos proprietários das terras, considerando os custos ecológicos associados para compensação do dano ambiental à sociedade.

As atividades agrícolas desenvolvidas de forma intensiva, sem a adoção de técnicas conservacionistas, em áreas que apresentam alta vulnerabilidade ambiental, contribuem para o processo de erosão hídrica e a contaminação dos recursos



hídricos, através do carreamento de sedimentos e fertilizantes para a rede de drenagem. Com a erosão hídrica, a estrutura física e química do solo fica comprometida devido à perda de nutrientes e partículas de solo, diminuindo a capacidade produtiva dessas áreas. Para compensar o desequilíbrio produtivo do solo, geralmente se faz a aplicação intensiva de fertilizantes que além de aumentar os custos de produção, por sua vez, aumentam ainda mais os níveis de poluentes na rede de drenagem.

O uso adequado do solo deve ser o primeiro passo para a conservação do solo, utilizando-se cada parcela da propriedade de acordo com sua aptidão, capacidade de uso e produtividade econômica (Lerpsch et al., 1991). Aliado a isso, as práticas conservacionistas para o controle da erosão, tais como o plantio em nível, cultivo mínimo, adubação verde, terraceamento, entre outras, que buscam adequar o sistema de cultivo de modo a manter ou melhorar a fertilidade do solo, contribui significativamente para a redução do transporte de poluentes para a rede de drenagem ao prover uma superfície com maior cobertura e também maior infiltração de água no solo.

## **5.5 Qualidade da água**

A análise da série temporal, de 2000 a 2017 dos dados de qualidade da água, apontaram variações temporal e/ou espacial para alguns parâmetros. As Tabelas 13 e 14 resumem os dados temporais obtidos para oito parâmetros de qualidade da água, nos pontos BG058 e BG059, respectivamente.

A temperatura da água do rio, medida ao longo dos 18 anos, oscilou entre 20 e 27,8°C. As temperaturas se mantêm mais constantes e não variaram estatisticamente, entre os pontos de coleta. Entretanto, variaram em função da sazonalidade, sendo as maiores temperaturas observadas no período chuvoso, época do ano com registro de maiores temperaturas atmosféricas e no período de seca, que apresenta valores menores de temperatura.

**Tabela 13.** Valores médios anuais dos parâmetros de qualidade da água, do período seco e chuvoso, ao longo de 18 anos, no ponto de amostragem BG058 na bacia hidrográfica do rio Uberaba.

Período seco - Ponto de amostragem BG058																		
Parâmetros (unidade)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Temperatura (°C)	24	20	22,7	23,3	21,75	23,75	22,3	24,4	22,85	27,8	20,5	19,55	20,75	20,65	20,2	19,65	21	22,6
Turbidez (NTU)	5,44	5,675	4,16	1,835	2,535	7,23	8,535	8,02	7,915	6,22	8,745	4,875	4,49	5,215	2,385	3,91	3,125	1,82
Sólidos totais (mg/L)	48,5	55	55,5	61,5	59	63	56,5	57,5	64	53	71,5	59	44,5	58,5	51,5	67	81,5	70
pH	7,16	7,455	6,815	6,95	7,7	7,25	7,7	7,05	7	7,15	6,35	6,55	7,6	6,85	6,8	7	6,95	7
Oxigênio dissolvido (mg/L)	8,05	8,35	7,8	7,9	7,65	7,7	7,45	7,6	7,8	7,9	7,85	8,2	8,1	8,15	7,6	8,35	8,15	7,4
Nitrato (mg/L)	0,01	0,03	0,11	0,015	0,02	0,02	0,015	0,02	0,04	0,11	0,035	0,205	0,455	0,22	0,135	0,115	0,18	0,02
Fósforo total (m/L)	0,04	0,04	0,04	0,05	0,055	0,05	0,05	0,05	0,145	0,01	0,07	0,05	0,045	0,05	0,05	0,055	0,06	0,03
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	25850	400	500	1250	4000	185	43	1800	1000	235	6615	735	850	--	--	--	--	--
Período chuvoso - Ponto de amostragem BG058																		
Parâmetros (unidade)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Temperatura (°C)	25	27,1	27,05	23,7	25,75	24,15	24,9	25,95	26,6	26	25,55	25	23,2	27,5	22,3	23	24,6	22,6
Turbidez (NTU)	76,4	8	10,13	82,425	13	42,15	95,45	17,5	14,855	16,9	106,3	24,3	10,6	15,7	7,55	28	25,3	20,8
Sólidos totais (mg/L)	117,5	55,5	61,5	106,5	67	87,5	132	73,5	73	78	162	92,5	55,5	74	64	88	93,5	78
pH	6,905	7,59	7,235	6,85	7,5	7	7,1	7,15	6,65	6,9	6,3	6,95	6,55	7,2	6,8	6,85	6,6	6,65
Oxigênio dissolvido (mg/L)	6,9	7,75	7,35	7,2	7,45	7,45	6,8	6,9	7,15	7,25	6,45	7,15	7,95	7,9	7,95	7,45	7,25	7,75
Nitrato (mg/L)	0,01	0,02	0,02	0,025	0,05	0,045	0,035	0,01	0,055	0,02	0,11	0,05	0,42	0,16	0,23	0,35	0,15	0,2
Fósforo total (m/L)	0,2	0,09	0,06	0,195	0,065	0,09	0,21	0,135	0,055	0,06	0,15	0,19	0,05	0,1	0,07	0,1	0,11	0,09
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	6650	650	81150	5500	1200	2515	1404,5	1950	1700	6500	25700	900	350	--	--	--	--	--

**Tabela 14.** Valores médios anuais dos parâmetros de qualidade da água, do período seco e chuvoso, ao longo de 18 anos, no ponto de amostragem BG059 na bacia hidrográfica do rio Uberaba.

Período seco - Ponto de amostragem BG059																		
Parâmetros (unidade)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Temperatura (°C)	24	22,1	22	22,85	20,7	23,3	21,8	22,65	20,1	20	18,7	24,65	24,55	24,55	25,5	22,2	21,7	26
Turbidez (NTU)	16,75	9,685	13,2	4,155	7,055	23,13	6,625	9,95	6,715	9,36	8,83	10,33	21,115	11,36	3,645	7,15	8,54	12,2
Sólidos totais (mg/L)	58,5	64,5	65,5	59,5	58,5	191,5	59,5	62	69,5	61,5	75	67	82,5	64,5	72,5	70	110,5	129
pH	6,78	7,03	6,44	6,7	7,3	6,85	7,45	7,45	6,75	6,75	6,2	6,55	8,3	6,65	6,7	7,15	6,35	8,9
Oxigênio dissolvido (mg/L)	8,1	7,8	7,85	7,65	7,05	7,3	6,8	7,4	7,7	8,15	8,4	7,75	9,8	7,7	7,05	8,05	7,55	10,1
Nitrato (mg/L)	0,325	0,76	1,02	0,38	0,515	0,725	0,28	0,24	0,285	0,615	0,57	0,975	1,125	1,485	2,26	1,13	1,2	1,6
Fósforo total (m/L)	0,09	0,095	0,115	0,1	0,12	0,21	0,13	0,105	0,215	0,05	0,07	0,055	0,12	0,075	0,155	0,09	0,125	0,37
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	15015	13000	27000	23000	8000	40000	16200	105000	17500	10500	5000	33500	47500	--	--	--	--	--
Período chuvoso - Ponto de amostragem BG059																		
Parâmetros (unidade)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Temperatura (°C)	26,5	26,5	27,05	25,25	25	24,5	25,25	25,5	25,85	23,95	26,8	28,35	29	27,75	25,9	24,6	25,15	26,8
Turbidez (NTU)	249,05	101,6	41,8	165,95	234,3	69,4	145,25	54,4	81,875	163,5	124,1	79,2	13,98	78,95	23,55	78,95	180,8	72,04
Sólidos totais (mg/L)	255	112,5	91,5	196,5	212,5	92,5	184,5	134	153,5	200	109,5	108,5	82,5	122,5	106,5	136	239,5	121
pH	6,935	7,105	6,965	6,7	7,25	7,25	7,25	6,9	6,7	7	6,35	6,85	7,2	6,65	6,75	6,9	6,65	6,75
Oxigênio dissolvido (mg/L)	7,05	7,25	6,95	6,85	6,9	7,2	6,5	6,4	6,8	7,65	6,7	6,95	7,3	7,55	7,5	7,5	7,35	7,35
Nitrato (mg/L)	0,06	0,18	0,24	0,19	0,36	0,32	0,09	0,09	0,145	0,075	0,445	0,46	0,29	2,42	1,585	0,82	0,475	0,565
Fósforo total (m/L)	0,235	0,1	0,095	0,265	0,265	0,145	0,235	0,225	0,125	0,12	0,105	0,15	0,1	0,105	0,155	0,165	0,175	0,18
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	6850	15150	11650	40000	23500	28000	86500	40000	20500	32500	30500	70000	95000	--	--	--	--	--

No ponto BG058, a turbidez apresentou valores em conformidade com a resolução CONAMA. Entretanto o ponto BG059 apresentou valores acima do recomendado, podendo estar associada ao carreamento por escoamento superficial, de sedimentos, nutrientes e contaminantes para a rede de drenagem. Estes sedimentos são constituídos principalmente de argilas, areias, matéria orgânica, material mineral, detritos e plânctons. A turbidez favorece a proliferação de cianobactérias produtoras de toxinas e reduzir a quantidade de oxigênio dissolvido, provocando assim a morte dos peixes (Fay & Silva, 2006).

A presença de sólidos dissolvidos totais está de acordo com o limite estabelecido pela legislação. Entretanto, observa-se um aumento da concentração do ponto à montante (BG058) em direção à jusante (BG059), indicativo de erosão do solo na bacia do rio Uberaba. Valle Junior et al. (2010), ao analisarem qualitativamente as áreas suscetíveis a erosão laminar na bacia do Rio Uberaba verificaram que 37% da área total da bacia sofrem perdas de solos acima do limite de tolerância. Segundo Vanzela et al. (2010), a concentração dos sólidos na água do manancial tem origem nas áreas agricultadas, áreas habitadas e matas degradadas.

O nitrogênio, na forma de nitrato, é muito utilizado nos cultivos agrícolas como fertilizante para o crescimento das plantas. Este nutriente também é associado à descarga de efluentes domésticos e industriais, sendo que a prevalência do nitrito e nitrato denota que as descargas de esgotos se encontram distantes das localidades de amostragens, pois já sofreram transformação (CETESB, 2008). Neste estudo, a concentração de nitrato, nos dois pontos de amostragem, apresentou valores abaixo do valor definido pela legislação CONAMA.

Apesar do ponto BG058 estar situado dentro da Área de Proteção Ambiental (APA) do rio Uberaba, área em que a proteção e preservação dos recursos hídricos é fundamental para garantir um desenvolvimento sustentável, o fósforo total apresentou altas concentrações, principalmente no período chuvoso, sendo os valores médios superiores ao valor limite permitido pelo CONAMA. O fósforo encontrado em níveis elevados pode ser resultante da erosão do solo das áreas agrícolas. Segundo Pacheco et al. (2014) e Valle Junior et al. (2014) a presença desse poluente nos cursos d'água pode ser devido às mudanças de uso da terra que correspondem aos

conflitos de uso da terra. O excesso de fósforo pode causar a eutrofização de rios e reservatórios, comprometendo a oxigenação e vida aquática.

É indiscutível a necessidade de adubação fosfatada para implantação e manutenção das culturas em solos com baixa fertilidade, contudo, o seu uso deve estar condicionado ao estabelecimento de critérios para sua aplicação. Segundo Correa et al. (2004) estima-se que apenas 15 a 25% do fósforo aplicado é absorvido pelas plantas, o que explica o alto teor de fósforo encontrado nas fórmulas de NPK. Portanto, é importante determinar os níveis requeridos pela planta com base em uma avaliação nutricional dos solos e da planta, para que o excesso não seja transportado para a rede de drenagem por processos erosivos. Elevadas concentrações de fósforo observados nas águas superficiais englobam sérias implicações para a gestão dos recursos hídricos nas bacias, principalmente no período chuvoso (Santos, 2015).

O parâmetro biológico - coliformes termotolerantes - é um indicador da presença de organismos originários predominantemente do trato intestinal humano e de animais, oriundo de despejos de efluentes sanitários ou dejetos de animais depositados na rede de drenagem. O monitoramento deste parâmetro é útil como indicador da possibilidade da existência de microrganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica (CETESB, 2015). Analisando os dados coletados no período de 2000 a 2012, percebe-se um teor elevado das contagens de coliformes termotolerantes, principalmente no período chuvoso, muito acima do limite legal. Os altos valores de coliformes termotolerantes encontrados no ponto BG058 deve estar associado a dejetos de animais das áreas de pastagem, carregados para a rede de drenagem pelo escoamento superficial na ocorrência das chuvas, justificando o aumento deste parâmetro no período chuvoso. No entanto, os coliformes do ponto BG059 podem também estar associados ao lançamento de efluentes sanitários, por este ponto estar situado à jusante da cidade de Uberaba.

Os dados de qualidade da água foram avaliados estatisticamente. Nas Tabelas 15 e 16 são apresentadas as estatísticas descritivas dos dados, por ponto de monitoramento. Para cada sub-bacia foram calculados a média, o erro padrão, o desvio padrão, os valores mínimos e máximos, para cada parâmetro.

**Tabela 15.** Estatística descritiva dos parâmetros de qualidade da água, considerando dados das coletas de 2001 a 2017 da estação BG058 da bacia do rio Uberaba.

Parâmetros	Média		Erro padrão		Mediana		Mínimo		Máximo	
	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso
Temperatura (°C)	22,10	24,98	0,50	0,38	22,03	24,98	19,55	22,25	27,80	27,50
Turbidez (NTU)	5,12	34,18	0,54	7,63	5,05	19,14	1,82	7,55	8,75	106,30
Sólidos totais (mg/L)	59,83	86,64	2,09	6,59	58,75	78	44,50	55,50	81,50	162,00
pH	7,07	6,93	0,09	0,08	7,00	6,90	6,35	6,30	7,70	7,59
Oxigênio dissolvido (mg/L)	7,89	7,34	0,07	0,10	7,88	7,30	7,40	6,45	8,35	7,95
Nitrato (mg/L)	0,0975	0,1083	0,0268	0,0286	0,04	0,05	0,0100	0,0100	0,4550	0,4200
Fósforo total (m/L)	0,0522	0,1114	0,0062	0,0130	0,05	0,09	0,0100	0,0450	0,1450	0,2100
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	3343	10475	1945	6178	850	1950	43	350	25850	81150

**Tabela 16.** Estatística descritiva dos parâmetros de qualidade da água, considerando dados das coletas de 2001 a 2017 da estação BG059 da bacia do rio Uberaba.

Parâmetros	Média		Erro padrão		Mediana		Mínimo		Máximo	
	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso
Temperatura (°C)	22,63	26,09	0,47	0,32	22,43	25,88	18,70	23,95	26,00	29,00
Turbidez (NTU)	10,54	108,82	1,24	16,01	9,52	80,54	23,13	13,98	189,80	249,05
Sólidos totais (mg/L)	78,97	147,69	7,95	12,62	66,25	128,25	58,50	82,50	191,50	255,00
pH	7,02	6,90	0,16	0,06	6,76	6,90	6,20	6,35	8,90	7,25
Oxigênio dissolvido (mg/L)	7,90	7,10	0,20	0,09	7,72	7,13	6,80	6,40	10,10	7,65
Nitrato (mg/L)	0,8606	0,4894	0,1285	0,1420	0,7425	0,305	0,2400	0,0600	2,2600	2,4200
Fósforo total (m/L)	0,1272	0,1636	0,0178	0,0138	0,1100	0,1525	0,0500	0,0950	0,3700	0,2650
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	27786	38473	7332	7812	17500	30500	5000	6850	105000	95000

### 5.5.1 Análise sazonal

A sazonalidade do conjunto de dados foi verificada pelo teste de Wilcoxon-Mann-Whitney para verificar diferenças significativas entre os dados medidos nas diferentes estações do ano (Tabela 17).

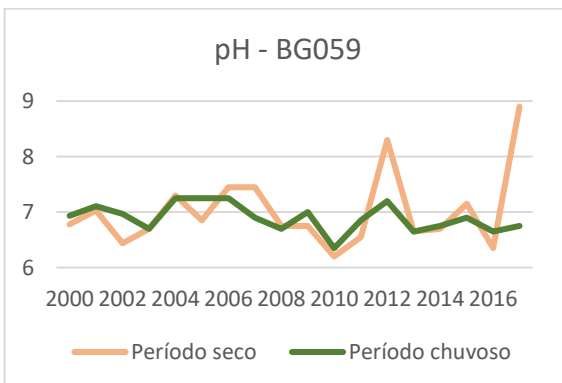
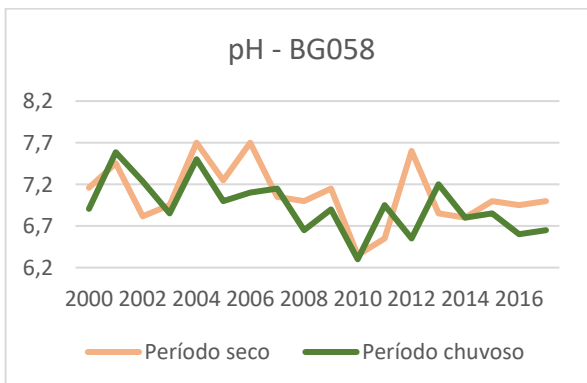
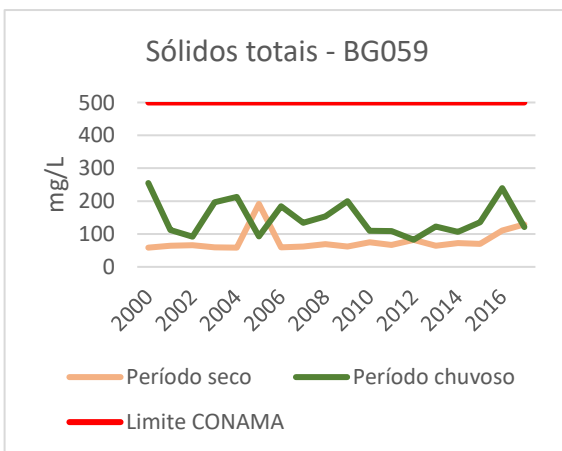
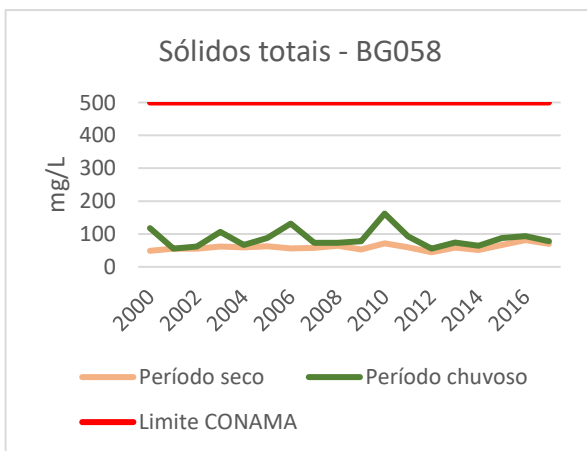
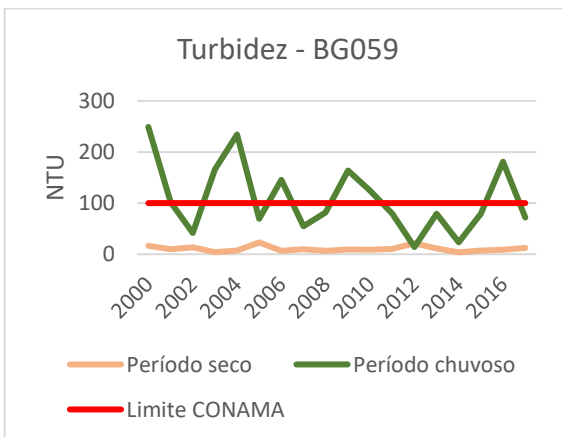
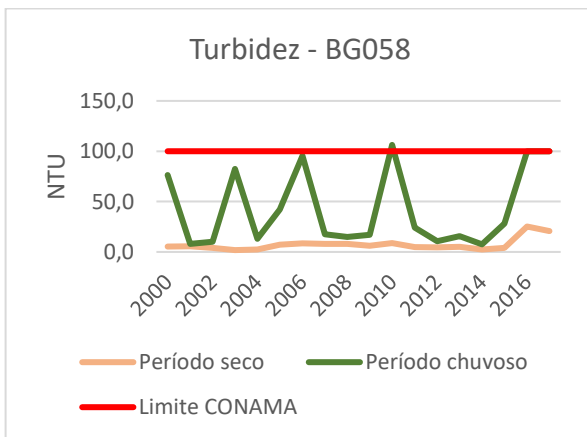
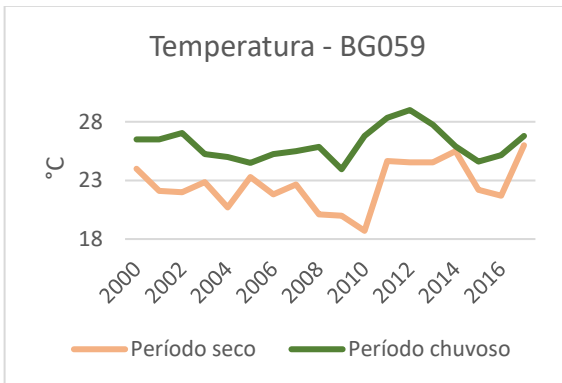
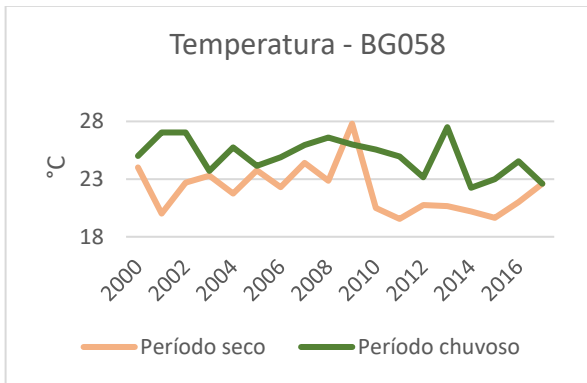
**Tabela 17.** Resultados das análises de variação sazonal de Wilcoxon- Mann-Whitney das medianas dos parâmetros de qualidade da água nas estações de monitoramento BG058 e BG059.

Parâmetros	p-valor <sup>1</sup> BG058	p-valor <sup>1</sup> BG059
Temperatura (°C)	<b>0,0002</b>	<b>0,0000</b>
Turbidez (NTU)	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>
Sólidos totais (mg/L)	<b>0,0002</b>	<b>0,0000</b>
pH	0,2107	0,8616
Oxigênio dissolvido (mg/L)	<b>0,0003</b>	<b>0,0003</b>
Nitrato (mg/L)	0,6564	<b>0,0065</b>
Fósforo total (m/L)	<b>0,0000</b>	<b>0,0226</b>
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	0,0723	0,2379

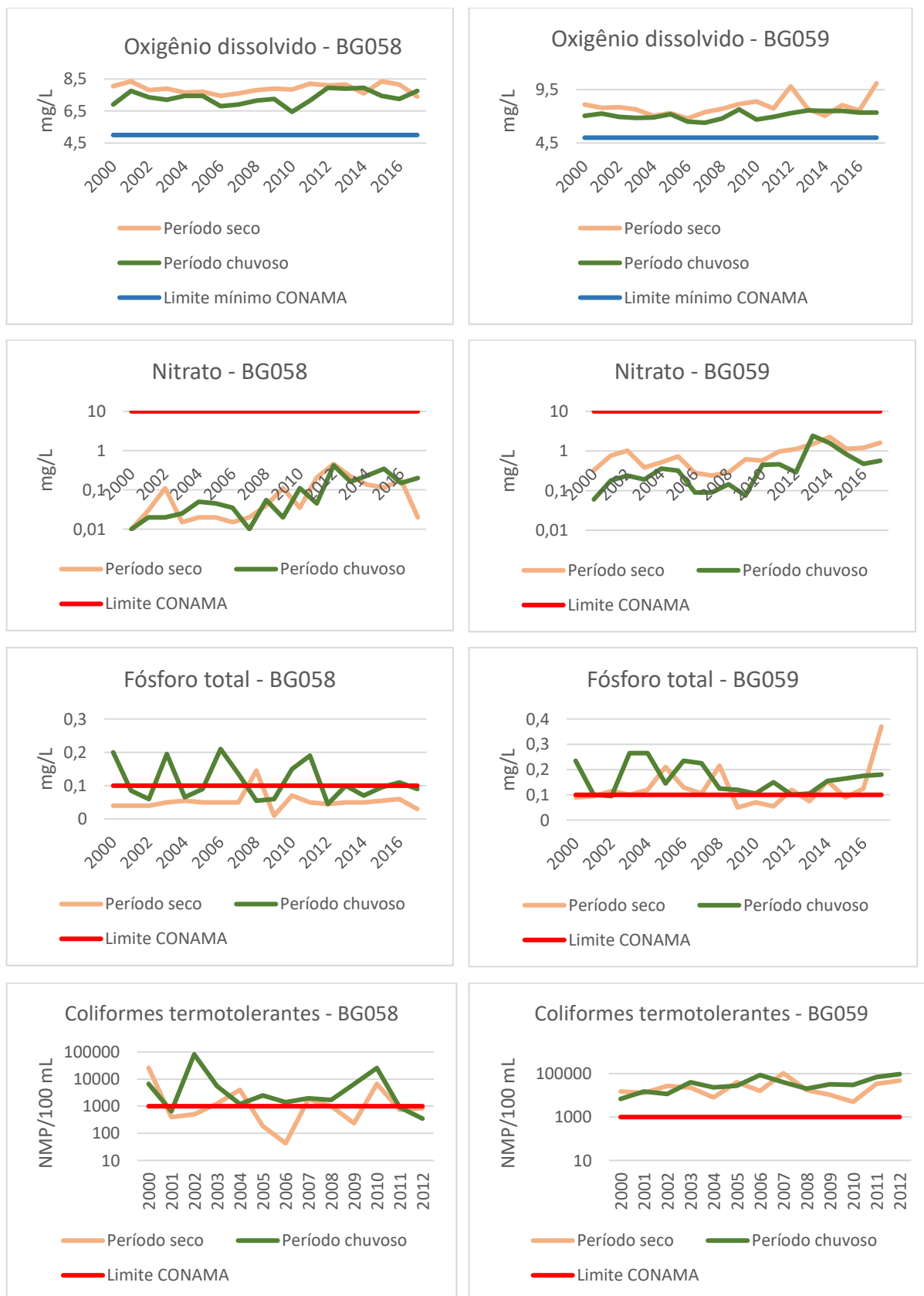
<sup>1</sup> Valor-p relacionado à estatística do teste. Valores em negrito são estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ ), ou seja, há diferença significativa entre o período seco e chuvoso.

As análises dos dados coletados apresentaram variações significativas entre os períodos secos e chuvosos para a maioria dos parâmetros de qualidade da água (temperatura, turbidez, sólidos totais, oxigênio dissolvido e fósforo total) em ambas estações de monitoramento. O pH e os coliformes termotolerantes não diferiram estatisticamente entre os períodos secos e chuvosos. A sazonalidade não influenciou na concentração de nitrato no ponto BG058, entretanto, no ponto BG059 a diferença entre as estações seca e chuvosa foram significativas.

A sazonalidade dos dados também foi caracterizada por meio de técnicas gráficas (Figura 14), por serem de mais fácil visualização e interpretação.







**Figura 14.** Tendência sazonal dos parâmetros de qualidade nos pontos BG058 e BG059, entre os anos de 2000 e 2017.

Por meio da análise gráfica dos parâmetros de qualidade da água, nos períodos secos e chuvosos, observa-se que os valores apresentados são maiores no período chuvoso para os parâmetros temperatura, turbidez, sólidos totais, fósforo total e coliformes termotolerantes.

### 5.5.2 Análise espacial

Os dados de qualidade da água foram comparados estatisticamente entre as estações de monitoramento, comparando valores médios anuais e levando em consideração os períodos secos e chuvosos (Tabela 18).

**Tabela 18.** Resultados das análises da variação espacial (teste Wilcoxon- Mann-Whitney) das medianas dos parâmetros de qualidade da água nas estações de monitoramento BG058 e BG059.

Parâmetros	Anual p-valor <sup>1</sup>	Período seco p-valor <sup>1</sup>	Período chuvoso p-valor <sup>1</sup>
Temperatura (°C)	0,0534	0,3344	0,0712
Turbidez (NTU)	<b>0,0000</b>	<b>0,0087</b>	<b>0,0031</b>
Sólidos totais (mg/L)	<b>0,0000</b>	<b>0,0032</b>	<b>0,0001</b>
pH	0,1589	0,1810	0,9874
Oxigênio dissolvido (mg/L)	0,0534	0,3419	0,1406
Nitrato (mg/L)	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0004</b>
Fósforo total (m/L)	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0062</b>
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0005</b>

<sup>1</sup> Valor-p relacionado à estatística do teste. Valores em negrito são estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ ), ou seja, há diferença significativa entre as estações de monitoramento BG058 e BG059.

Os resultados apontaram que há diferença estatística nos valores de turbidez, sólidos totais, nitrato, fósforo total e coliformes termotolerantes entre as duas estações de monitoramento, BG058 e BG059.

A variação entre as estações se deve às contribuições ao longo do curso d'água, decorrentes das atividades antrópicas que caracterizam o uso do solo, sendo predominante contribuições decorrentes de processos erosivos em áreas agricultadas e de pastagem, assim como contribuições de efluentes domésticos do município de

Conceição das Alagoas, que atualmente não dispõe de uma Estação de Tratamento de Efluentes, o que contribui e interfere na qualidade das águas superficiais.

### 5.5.3 Análise temporal

A análise de tendência temporal foi realizada para cada parâmetro em cada estação. Os resultados do teste estatístico de Mann-Kendall, proposto na metodologia, estão apresentados na Tabela 19. A série de dados dos parâmetros de qualidade da água que possuem uma tendência temporal de alteração estatisticamente significativa são aqueles que apresentam p-valor menor que 0,05 ( $p < 0,05$ ). O sinal da estatística S indica que a tendência é de aumento (sinal positivo) ou de diminuição (sinal negativo) ao longo do tempo. Os gráficos de tendência temporal estão apresentados no Apêndice.

**Tabela 19.** Resultados das análises de tendência temporal de Mann-Kendall dos parâmetros de qualidade da água nas estações de monitoramento BG058 e BG059.

Parâmetros	BG058		BG059	
	estatística S <sup>2</sup>	p-valor <sup>1</sup>	estatística S <sup>2</sup>	p-valor <sup>1</sup>
Temperatura (°C)	-0,178	<b>0,031</b>	0,097	0,239
Turbidez (NTU)	-0,016	0,851	-0,064	0,431
Sólidos totais (mg/L)	0,198	<b>0,017</b>	0,148	<b>0,071</b>
pH	-0,248	<b>0,003</b>	-0,124	0,139
Oxigênio dissolvido (mg/L)	0,057	0,496	0,073	0,382
Nitrato (mg/L)	0,494	<b>0,000</b>	0,356	<b>0,000</b>
Fósforo total (m/L)	0,025	0,775	0,071	0,399
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	-0,074	0,454	0,258	<b>0,010</b>

<sup>1</sup> Valor-p relacionado à estatística do teste. Valores em negrito são estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ ), ou seja, há existência significativa de tendência.

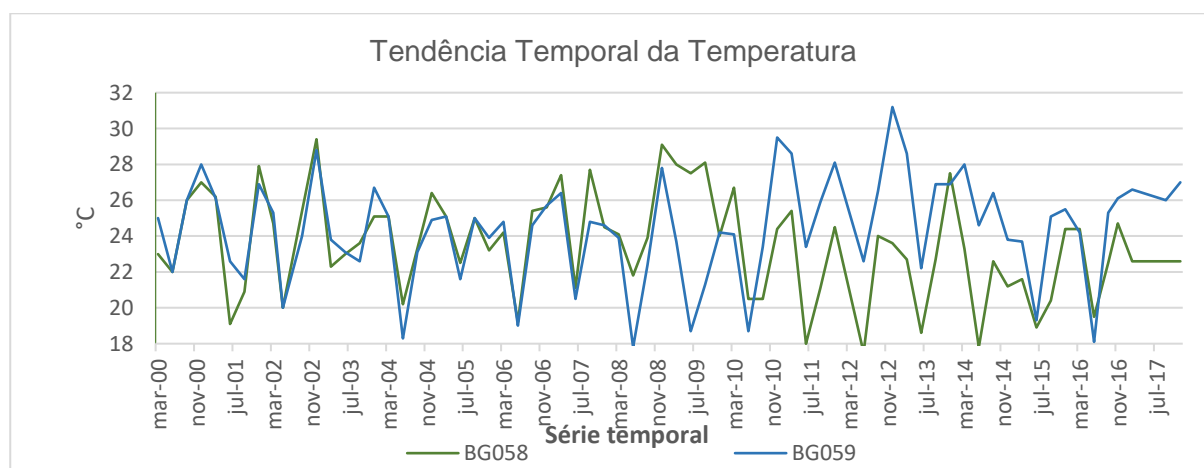
<sup>2</sup> O sinal da estatística S indica que a tendência é positiva ( $S > 0$ ) ou negativa ( $S < 0$ ).

A análise dos resultados nos pontos de amostragem BG058 e BG059, apresentaram tendências significativas tanto positivas quanto negativas, para alguns parâmetros. Nos dois pontos, houve tendência de aumento significativo de sólidos totais e nitrato.

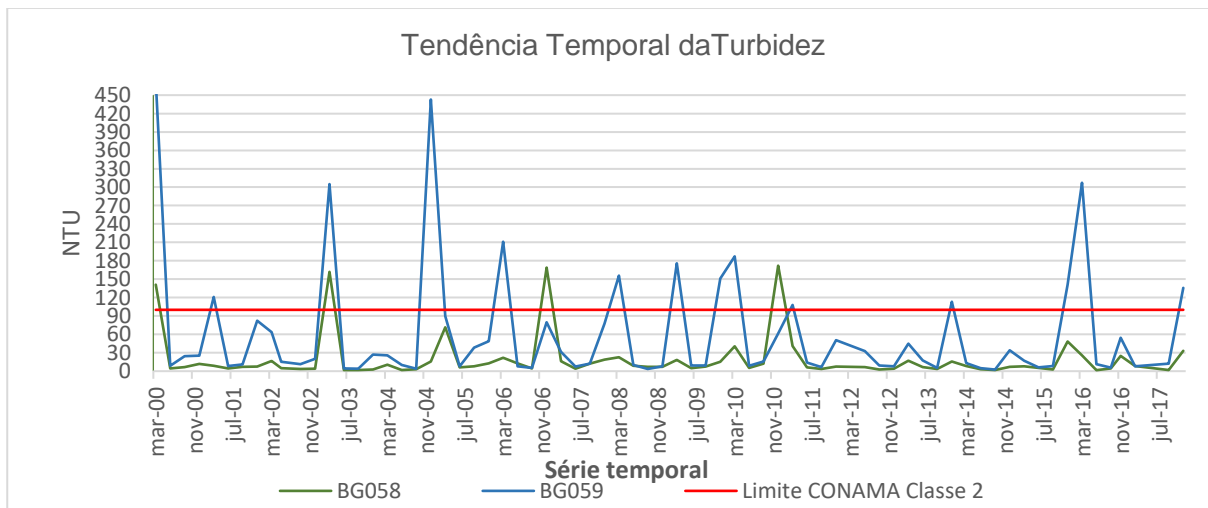
Observa-se que as concentrações em ambas estações ultrapassaram os limites legais estabelecidos pelo CONAMA em algumas coletas nos parâmetros turbidez, fósforo total e coliformes termotolerantes.

As concentrações de poluentes são maiores no ponto BG059, localizado à jusante da bacia, devido às contribuições de descargas difusas e pontuais que o rio Uberaba recebe ao longo do seu curso.

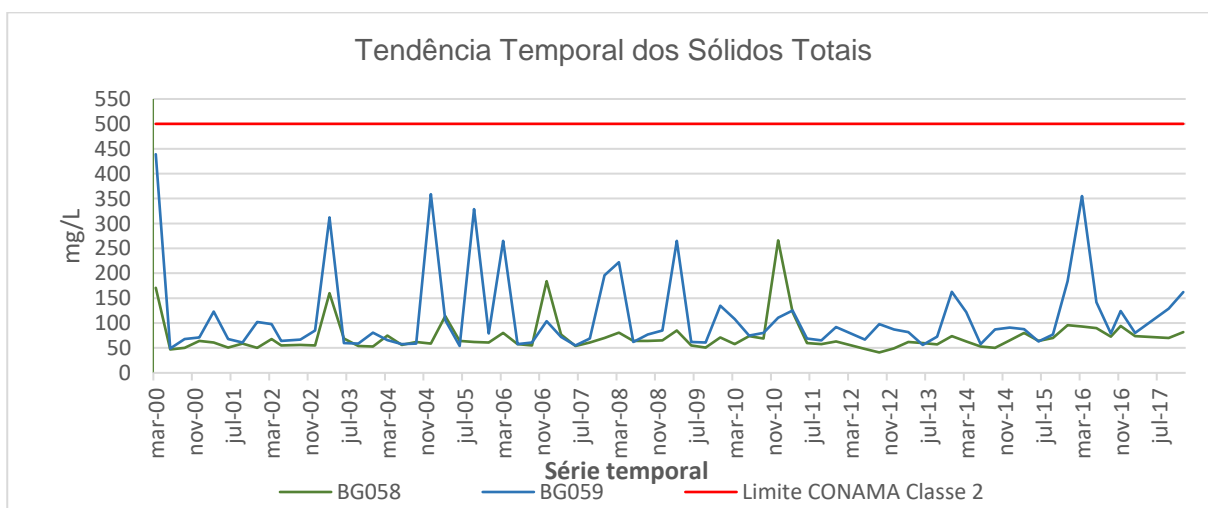
As Figuras 15 a 22 apresentam as tendências das duas estações (BG058 e BG059) ao longo do tempo para os parâmetros de qualidade da água: temperatura, turbidez, sólidos totais, pH, oxigênio dissolvido, nitrato, fósforo total e coliformes termotolerantes.



**Figura 15.** Tendência temporal da Temperatura, nos pontos BG058 e BG059, entre os anos de 2000 e 2017.

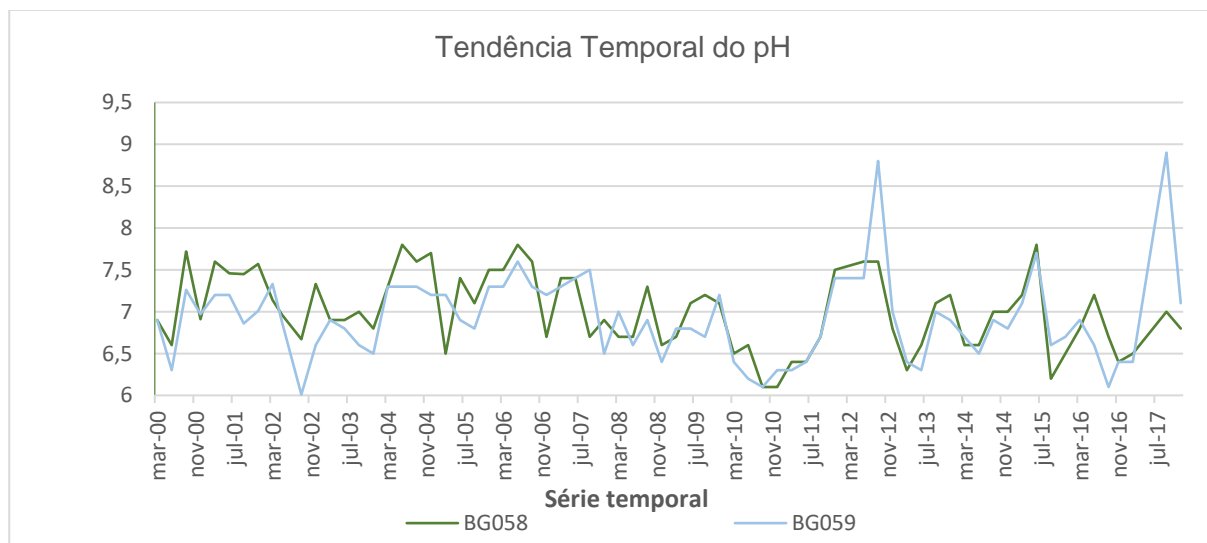


**Figura 16.** Tendência temporal da Turbidez, nos pontos BG058 e BG059, entre os anos de 2000 e 2017.

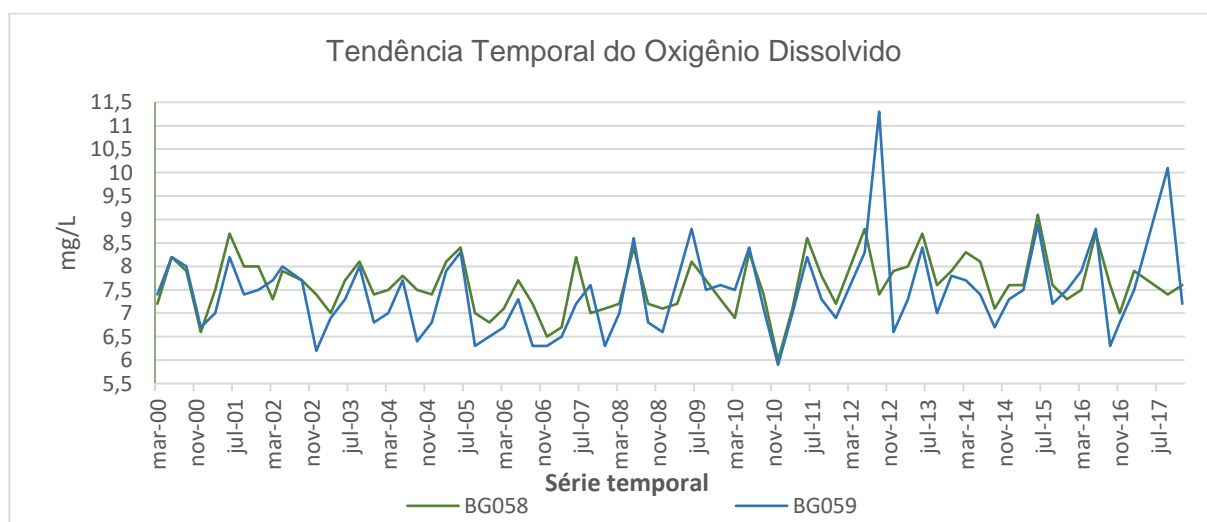


**Figura 17.** Tendência temporal dos Sólidos Totais, nos pontos BG058 e BG059, entre os anos de 2000 e 2017.

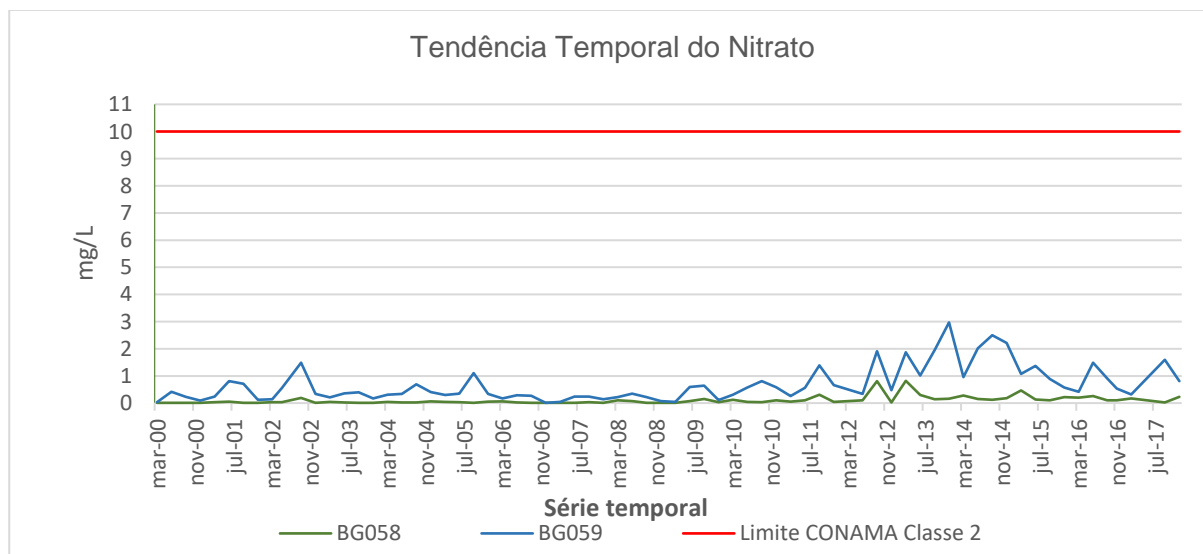
O aumento nas concentrações de sólidos totais na água pode estar associada à erosão do solo, o que corrobora com o estudo de Valle Junior et al. (2010), que ao analisarem qualitativamente as áreas suscetíveis a erosão laminar na bacia do Rio Uberaba verificaram que 37% da área total da bacia sofrem perdas de solos acima do limite de tolerância.



**Figura 18.** Tendência temporal do pH, nos pontos BG058 e BG059, entre os anos de 2000 e 2017.



**Figura 19.** Tendência temporal do Oxigênio Dissolvido, nos pontos BG058 e BG059, entre os anos de 2000 e 2017.

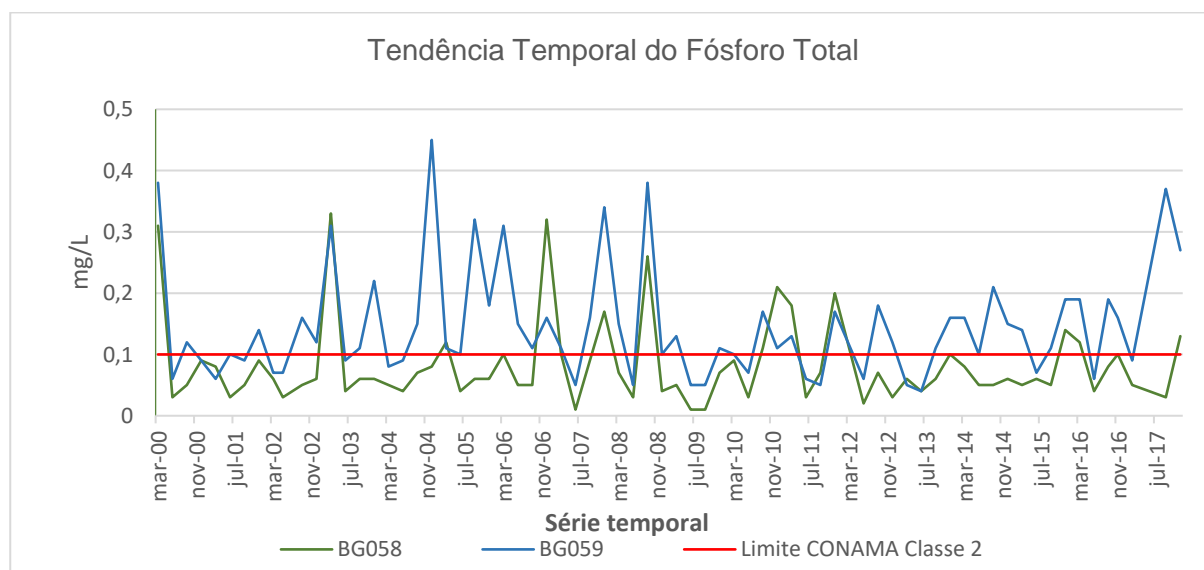


**Figura 20.** Tendência temporal do Nitrato, nos pontos BG058 e BG059, entre os anos de 2000 e 2017.

Segundo a legislação CONAMA, os rios enquadrados na Classe 2 devem apresentar concentração máxima de nitrato correspondente a 10 mg/L. Ambos os pontos apresentaram, ao longo do tempo, valores inferiores ao determinado pela legislação CONAMA. Contudo, a análise temporal dos dados evidenciou que o nitrato foi o parâmetro mais influenciado pelo tempo (Tabela 19), ou seja, há uma tendência temporal de aumento desse contaminante. Esses resultados indicam a necessidade de monitoramento e acompanhamento dos níveis de nitrato nas águas superficiais na bacia, pois segundo Hermes e Silva (2004) concentrações de nitrato acima de 0,2 mg/L já desencadeiam o processo de proliferação de plantas e, concentrações acima de 5 mg/L, normalmente indicam poluição por fertilizantes usados na agricultura, ou dejetos humanos e animais. Portanto, para evitar que este contaminante atinja níveis elevados, até mesmo superiores ao recomendando pela legislação, é importante o monitoramento das águas e a identificação das atividades causadoras deste aumento, pois o excesso de nitrato nas águas superficiais contribui para o processo de eutrofização, o que favorece a proliferação exagerada de algas e plantas aquáticas e como consequência, a diminuição na incidência de luz, comprometendo a vida dos animais aquáticos.

As culturas agrícolas, em geral, demandam altas quantidade de nitrogênio, sendo esse fertilizante associado aos maiores ganhos de produtividade. Diante disso,

muitas vezes, o agricultor acaba aplicando quantidades excessivos ou inadequados de nitrogênio, o que provoca um desbalanço entre as taxas de suprimento de nitrogênio mineral do solo e a capacidade da cultura em absorver o nutriente, aumentando o risco de lixiviação e a chegada no nitrato nos mananciais subterrâneos de água, assim como o seu carreamento por escoamento superficial para as águas superficiais, desencadeado por processos erosivos.



**Figura 21.** Tendência temporal do Fósforo Total, nos pontos BG058 e BG059, entre os anos de 2000 e 2017.

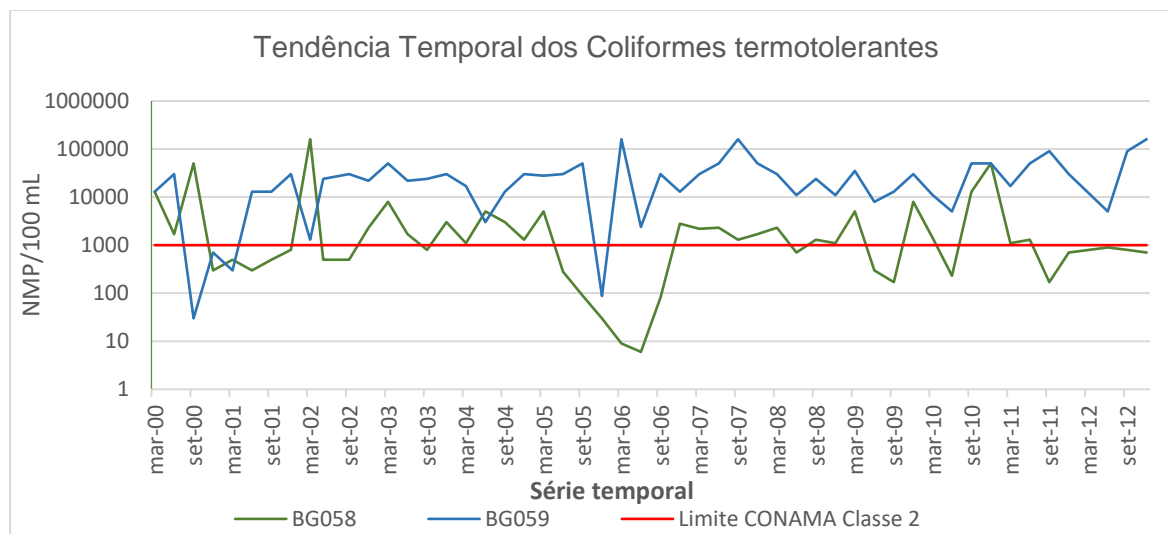
Apesar de não apresentar tendência de aumento ao longo dos anos, o fósforo total apresentou valores acima dos limites estabelecidos pela legislação CONAMA nos dois pontos de monitoramento. Segundo CETESB (2005) fósforo está presente tanto nas descargas de efluentes como no escoamento superficial de terras cultivadas.

Na agricultura, as principais fontes minerais de fósforo são o fosfato monoamônico ou MAP, fosfato diamônico ou DAP, superfosfato, superfosfato triplo termofosfato (Raij et al., 1996). Devido à imobilidade do fósforo (P) no solo, a adubação fosfatada representa pouca ou nenhuma ameaça para a qualidade das águas subterrâneas, mesmo quando aplicadas em grandes quantidades de fósforo. Entretanto, o fósforo pode ser carreado para a rede de drenagem pelo escoamento superficial, uma vez que esse elemento fica adsorvido nas argilas e matérias orgânicas.



A concentração elevada de fósforo na água contribui para o processo de eutrofização do corpo hídrico, promovendo o crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas e causando a desoxigenação da água, o que pode trazer prejuízos de ordem econômica. A melhor maneira de se controlar a eutrofização dos cursos d'água é o controle da erosão, evitando assim o transporte do fósforo para a rede de drenagem por meio do escoamento superficial.

Por meio da análise visual da Figura 18, observa-se uma diminuição da concentração de fósforo total no ponto BG059 a partir do ano de 2009. Esse fato se deu em virtude da instalação da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) Francisco Velludo, a “ETE Rio Uberaba”, que passou a tratar boa parte dos efluentes domésticos da cidade. Com isso, houve uma redução do fósforo, já que a ETE devolve ao rio efluente doméstico tratado, dentro dos padrões exigidos pela legislação. Contudo, apesar da redução desse poluente, ele ainda se apresenta acima da concentração limite estabelecida pela legislação CONAMA, que é 0,1mg/L. Os altos valores podem estar associados ao fósforo provenientes das áreas agricultadas, que por meio do escoamento superficial são transportados para a rede de drenagem. A análise conjunta da Figura 11, que trata das diferenças sazonais, evidencia ainda mais essa afirmação, pois houve uma diferença significativa entre as concentrações de fósforo e sólidos totais no período chuvoso em relação ao período seco, o que significa que a contribuição do fósforo pode estar associada à processos erosivos, no qual ocorre o transporte de argila e matéria orgânica através do escoamento superficial, resultando em um sedimento rico em fosfato. A região localizada próxima ao ponto BG059 é caracterizada por grandes áreas com cultivos agrícolas (Figura 10b), portanto, práticas conservacionistas de uso do solo são recomendáveis nestas áreas, como forma de minimizar os impactos dessas atividades nos recursos hídricos.



**Figura 22.** Tendência temporal dos Coliformes Termotolerantes nos pontos BG058 e BG059, entre os anos de 2000 e 2012.

No ponto BG059 houve uma tendência significativa de aumento dos coliformes termotolerantes, o que provavelmente está associado à descarga de efluentes domésticos e industriais e/ou dejetos da pecuária. Apesar de ter sido inaugurada a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) em 2009 no município de Uberaba, não houve redução da presença de coliformes no rio Uberaba. A estação BG059 situa-se próximo à cidade de Conceição das Alagoas e, este aumento dos coliformes termotolerantes pode estar relacionado à inexistência de uma ETE neste município.

## 5.6 Ações e estratégias para minimizar a degradação do solo e da água em bacias hidrográficas rurais

Como apresentado nesse trabalho, a qualidade dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Uberaba está comprometida pelas atividades antrópicas, que contribuem para o aceleramento dos processos erosivos e assoreamento dos cursos d'água. Para evitar o agravamento dessas consequências e até mesmo reverter o atual cenário para uma melhor condição, propõem-se estratégias e ações específicas, com o foco nas áreas rurais, para minimizar a degradação do solo e da água. As técnicas apresentadas neste trabalho, indicam sistemas a serem implementadas nas

áreas agrícolas, para a redução do deflúvio superficial que, baseado na melhoria da estrutura do solo, possibilita um aumento das taxas de infiltração e com isso diminuição do volume de água escoado e conseqüentemente diminuição da contaminação das águas superficiais devido aos sedimentos e excesso de nutrientes.

O **plantio em nível** é uma prática de conservação do solo na qual, como o nome indica, as linhas de plantio são feitas seguindo curvas de nível, ou seja, locais com mesma altitude. As linhas de plantio atuam como obstáculo para reduzir a velocidade do deflúvio superficial e aumentar o tempo de infiltração da água no solo. Desse modo, ocorre uma redução do risco de erosão do solo e menor escoamento de sedimentos e fertilizantes para a rede de drenagem.

O **cultivo mínimo do solo** é um sistema cujo uso das máquinas agrícolas sobre o solo é reduzido, com menor número de operações possível, assim, há o revolvimento mínimo do solo. A menor quantidade de passadas do trator revolve menos o solo, desfazendo, em menor proporção, a estrutura do mesmo e mantendo-o coberto pelos resíduos da cultura que antes estava instalada na área. Segundo Galeti (1984) essa técnica também contempla o preparo do solo apenas na linha de plantio de modo que só as linhas em que haverá o plantio terão o solo revolvido. As entrelinhas, permanecem com o solo sem a passagem de máquinas e implementos o que favorece a manutenção da estrutura do solo, favorecendo a infiltração de água que, por sua vez, diminuirá a ação de processos erosivos. É indicado principalmente, para áreas mais declivosas, onde os riscos de erosão são maiores.

Com a **rotação de culturas** ocorre a alternância de culturas em uma área agrícola. Com isso, há um melhor aproveitamento da fertilidade do solo pelo aprofundamento diferenciado das raízes, além de melhorar a drenagem da água no solo, diminuindo os riscos de erosão.

A **adubação verde** consiste na incorporação de plantas especialmente cultivadas para este fim (milheto, sorgo, mucuna-preta, feijão-caupi, leucena, entre outras) ou restos de plantas forrageiras e ervas daninhas ao solo, repondo a matéria orgânica do solo. Esta técnica melhora as características físicas do solo, proporcionando maior infiltração e retenção de água do solo.

O **terraceamento agrícola** se baseia na construção de estruturas físicas no sentido transversal ao declive do terreno, denominadas terraços, visando o controle

do escoamento superficial das águas de chuvas. Os terraços possibilitam maior infiltração de água no solo e menor deflúvio superficial, diminuindo os processos erosivos.

A **florestamento** ou **reflorestamento** é recomendável nas áreas com solos de baixa fertilidade e áreas com declividade muito acentuada, devido à alta susceptibilidade à erosão. Uma vegetação densa e permanente além de proteger o solo da erosão, torna-se abrigo para a fauna silvestre.

A **recuperação de pastagens degradadas** é importante para garantir proteção ao solo. As pastagens quando mal manejadas, apresentam-se escassas e degradadas, dessa forma podem causar um aumento dos processos erosivos, ocasionando a perda de matéria orgânica e de nutrientes, comprometendo também a qualidade dos recursos hídricos, com aumento da turbidez e a intensificação dos processos de assoreamento. A degradação das pastagens pode ser resolvida com práticas simples de manejo, como a rotatividade dos animais ou diminuição do número de animais nas forrageiras, melhoria na adubação e ressemeadura quando necessário. Essas ações garantem a manutenção da pastagem com boa densidade de cobertura, que irá assegurar boa proteção do solo contra a erosão.

O **manejo adequado dos dejetos** provenientes dos sistemas de confinamento animal é importante para assegurar a capacidade de assimilação pelo meio ambiente, sem comprometer a qualidade dos recursos hídricos. Algumas técnicas e equipamentos podem ser empregadas para alcançar este objetivo, como por exemplo o tratamento ou correta disposição dos resíduos, como o uso de esterqueiras, biodigestores, entre outros.

A **agricultura de precisão** compreende um conjunto de técnicas que permitem o uso racional e eficiente dos fertilizantes, corretivos e defensivos agrícolas, o que além de gerar ganho econômicos para o produtor, proporciona redução dos impactos ambientais decorrentes das atividades agrícolas.

## **6. CONCLUSÕES**

O levantamento do uso do solo na bacia permitiu identificar que há predominância de áreas de pastagens e áreas agricultadas. O Índice de Transformação Antrópica classificou a bacia BG058 com uma degradação regular e a bacia BG059 como degradada, indicando que nessa segunda o desenvolvimento das atividades agrícolas e o crescimento urbano é maior.

Os conflitos de uso do solo predominantes estão enquadrados na Classe 1, o que significa que estas áreas apresentam limitações significativas para o cultivo agrícola e atividades pastoris.

As áreas classificadas como as mais vulneráveis (extremamente vulnerável, muito vulnerável e vulnerável) à degradação do solo e da água estão compreendidas predominantemente nas regiões de nascentes, que contribuirão para o fornecimento de água para o município de Uberaba.

O fósforo total, a turbidez e os coliformes termotolerantes apresentaram concentrações acima do valor limite estabelecido pela legislação CONAMA em boa parte das campanhas amostrais. A análise temporal indicou tendência de aumento significativo dos sólidos totais e do nitrato. A comparação entre período seco e chuvoso apontou variações sazonais significativas para a maioria dos parâmetros de qualidade da água. A análise espacial apontou que há diferenças entre as estações monitoradas para os valores de turbidez, sólidos totais, nitrato, fósforo total e coliformes termotolerantes, em função das contribuições ao longo do curso hídrico.

## **7. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A identificação das áreas de conflito e áreas mais vulneráveis podem direcionar e facilitar as atividades de fiscalização para chegar o real estado de conservação dos solos e da água nessas áreas. A constatação da degradação, além de direcionar à aplicação das sanções previstas em lei, pode estabelecer as medidas e técnicas aplicáveis para a compensação do dano ambiental causado.

Por meio da análise conjunta dos dados de qualidade da água e uso do solo conclui-se que as ações antrópicas causam impacto no recurso hídrico. Portanto, as áreas que apresentam maior vulnerabilidade, esses impactos são potencializados em função dos usos do solo. Recomenda-se que estas áreas devem ser preservadas ou exploradas por sistemas agrícolas que apresentem baixo impacto ambiental, priorizando o uso de técnicas que prezem pela manutenção da água e da matéria orgânica no solo. Tais ações e estratégias serão eficientes para minimizar a degradação do solo e dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Uberaba.

## REFERÊNCIAS

Abdala VL (2012) **Diagnóstico hídrico do Rio Uberaba-MG como subsídio para a gestão das áreas de conflito ambiental**. 64 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Unesp, Jaboticabal.

Al-Adamat R (2017) Modelling Surface Water Susceptibility to Pollution Using GIS. **Journal of Geographic Information System**. 9: 293-308. <https://doi.org/10.4236/jgis.2017.93018>

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (1999) **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th ed. Washington: APHA. 521 p.

Armas EDD, Monteiro RTR, Antunes PM, Santos MAPF, Camargo PBD, Abakerli RB (2007) Diagnóstico espaço-temporal da ocorrência de herbicidas nas águas superficiais e sedimentos do Rio Corumbataí e principais afluentes. **Química Nova** 30:1119-1127.

Aquino AR, Paletta FC, Almeida JR (2017) Vulnerabilidade ambiental. São Paulo: Blucher. 112 p.

Batezelli A (2003) **Análise da sedimentação cretácica e sua correlação com áreas adjacentes**. 183 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Unesp, Rio Claro.

BRASIL (1981) Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, p. 16.509, seção 1.

BRASIL (1997) Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, p. 470, seção 1.

BRASIL (2005) Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Resolução 357, de 17 de março de 2005. Brasília, 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 2005, págs. 58-63, seção 053.

Câmara G, Davis C, Monteiro AMV (2001) **Introdução à ciência da geoinformação**. São José Dos Campos: INPE, 2001. 345 p.

Candido HG (2008) **Degradação ambiental da bacia hidrográfica do Rio Uberaba-MG**. 107 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Unesp, Jaboticabal.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (2008). Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. São Paulo: CETESB.

Christofoletti A. (1978) **Morfologia de bacias de drenagem**. Notícia Geomorfológica, Campinas, p.130-138.

CODEMIG - COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS (2014) **Mapa Geológico de Minas Gerais**. Escala 1:500.000. Belo Horizonte, MG.

Correa JC, Mauad M, Rosolem CA (2004) Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39: 1231-1237.

Crepani E, Medeiros JS, Hernandez Filho P, Florenzano TG, Duarte V, Barbosa CCF (2001) **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. Sao Jose dos Campos: Inpe. 124p.

Cunha TJF, Petreire VG, Silva DJ, Mendes MAS, Melo RF, Oliveira Neto MB, Silva MS, Alvarez IA (2010) **Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo**. Petrolina: Embrapa Semiárido, p. 50 – 87.

Diamantino C, Henriques MJ; OLIVEIRA MM, FERREIRA JPL (2005) Methodologies for pollution risk assessment of water resources systems. In: FOURTH INTER-CELTIC COLLOQUIUM ON HYDROLOGY. Guimaraes, Portugal.

Dias, MJ, Alves SMF, Reis EF, Oliveira DG (2015) Probabilidade de ocorrência dos atributos químicos em um latossolo sob plantio direto. **Revista Caatinga** 28:181- 189.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRI (1999) **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa – Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 412 p.

Fay EF.; Silva CMMS (2006) **Índice de uso sustentável da água (ISA – Água) na região do sub - médio São Francisco**. 1. ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 157p.

Fernandes LA; Coimbra AM (2000) Revisão Estratigráfica da parte oriental da bacia Bauru (Neocretáceo). **Revista Brasileira de Geociências** 30:717-728



Follador FAC (2010) **Controle estatístico de processo aplicado à qualidade de águas superficiais**. 132 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Unioeste Cascavel.

Galeti PA (1984) **Práticas de controle à erosão. Campinas**: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 154p.

Garfi M, Ferrer-Martí L, Bonoli A, Tondelli S (2011) Multi-criteria analysis for improving strategic environmental assessment of water programmes. A case study in semi-arid region of Brazil. **Journal of Environmental Management** 92:665-675.

Gouveia RGL; Galvanin EAS; Neves, SMAS (2013). Aplicação do índice de transformação antrópica na análise multitemporal da bacia do córrego do Bezerro Vermelho em Tangará da Serra-MT. **Árvore** 37:1045-1054.

Hermes LC, Silva AS (2004) **Avaliação da qualidade das águas: manual prático**. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 55p.

Hurley T, Mazumder A (2013) Spatial scale of land-use impacts on riverine drinking source water quality. **Water Resources**. 49:1591–1601.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2018). **Tutorial de Geoprocessamento**. Disponível em: [http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao\\_geo.html](http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html)

Kandler M, Blechinger K, Seidler C, Pavlu, V, Sanda M, Dostal T, Krasa J, Vitvar T, Stich M (2017) Impact of land use on water quality in the upper Nisa catchment in the Czech Republic and in Germany. **Science of the Total Environment** 586:1316–1325.

Kendall MG (1975) **Rank Correlation Methods**. Charles Griffin, London.

Khademikia S, Rafiee Z, Amin MM, Poursafa P, Mansourian M, Modaberi A (2013). Association of nitrate, nitrite, and total organic carbon (TOC) in drinking water and gastrointestinal disease. **J. Environ Public Health**. Article ID 603468.

Lémechev T (1982) On hydrological heterogeneity catchment morphology and catchment response. **Journal of Hydrology** 100: 357- 375.

Lerpsch IF, Bellinazi Junior R, Bertolini D; Espíndola CR (1991) **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação do solo de terras no sistema de capacidade de uso**. 4ª aproximação. 2. ed. Campinas, SP: Sociedade Brasileira de Ciência do solo. 175 p.

Mann HB (1945) **Nonparametric tests against trend**. *Econometrica* 13: 245-259.

Mateo J (1991) Apuntes de Geografia de Los Paisajes. La Habana: Universitaria. 194p.

Merten GH, Minella JP (2002). Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**. Porto Alegre, 3: 33-38.

Mota S (2008) **Gestão ambiental dos recursos hídricos**. 3ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2008. 343 p.

Namugize JN, Jewitt G, Graham, M (2018) Effects of land use and land cover changes on water quality in the uMngeni river catchment, South Africa. **Physics and Chemistry of the Earth**, <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.03.013>

Nishiyama L (1998) **Procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análises e avaliações ambientais do meio físico, em escala 1:100.000**: aplicação no município de Uberlândia - MG. 180 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo.

Pacheco FAL.; Varandas SGP.; Sanches Fernandes LF.; Valle Junior RF (2014) Soil losses in rural watersheds with environmental land use conflicts. **Sci. Total Environ** 485: 110–120.

Pinto CP, Silva MA (2014) **Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais**. CODEMIG/CPRM. Disponível em: <[www.portaldageologia.com.br](http://www.portaldageologia.com.br)>. Acesso em: 3 jul 2018.

Pires JSR (1995) **Análise ambiental voltada ao planejamento e gerenciamento do ambiente rural**: abordagem metodológica aplicada ao município de Luiz Antônio - SP. 1995. 166f. Tese (Doutorado em Ciências: Ecologia e Recursos Naturais). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

Pissarra TCT (2002) **Análise da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico na sub-região de Jaboticabal, SP**: Comparação entre imagens TM-LANDSAT 5 e Fotografias aéreas verticais. 136 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Unesp Jaboticabal.

Pissarra TCT, Marcussi AB, Leão GR, Galbiatti JA, Borges MJ, Campos S (2013) Environmental adaptation of the source of the subbasin of Rico Stream, Monte Alto - SP, Brazil. **Engenharia Agrícola** 33:303-311.

Rabelo, CG (2009) **Mapeamento de áreas vulneráveis para a qualidade das águas superficiais na bacia hidrográfica do Ribeirão Joao Leite (GO) utilizando técnicas de geoprocessamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente). Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

Raij BV, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC (1996) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed.Campinas: Instituto Agronômico. (IAC. Boletim Técnico, 100).

Resende AV (2002) **Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato**. Embrapa Cerrados. Planaltina, DF. 29 p.

Rocha JSM (1991) Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas. Santa Maria: UFSM.181p.

Rocha JSM (1997) **Manual de projetos ambientais**. Santa Maria: Imprensa Universitária.

Rocha JSM, Kurtz SMJM (2001) **Manual de Manejo Integrado de bacias Hidrográficas**. Santa Maria: Editora da UFSM. 282 p.

Rodrigues LC, Neves SMAS, Neves RJ, Galvanin EAS, Silva JSV (2014) Avaliação do grau de transformação antrópica da paisagem da bacia do rio Queima-Pé, Mato Grosso, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**. 32:52-64.

Rodrigues VA, Carvalho WA (2004). Análise morfométrica da microbacia hidrográfica do Córrego Água Limpa. In: **Livro Workshop e Manejo de Bacias Hidrográficas**. Botucatu, FCA – Unesp, p.144-163.

Santos RMB, Sanches Fernandes LF, Pereira MG, Cortes RMV, Pacheco FAL. (2015) A framework model for investigating the export of phosphorus to surface waters in forested watersheds: Implications to management. **Science of the Total Environment** 536:295–305.

Shi P, Zhi Y, Li Z, Xu G (2017) Influence of land use and land cover patterns on seasonal water quality at multi-spatial scales. **Catena** 151:182–190.

Siqueira HE, Tibery LR, Guidolini JF, Valle Junior RF, Rodrigues VA (2012) Análise morfométrica e definição do potencial de uso do solo da microbacia do rio Veríssimo, Veríssimo - MG. **Enciclopédia Biosfera**, 8: 2237.

Silva MMAPM, Faria SD, Moura PM (2017) Modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba (MG). **Eng. Sanit. Ambiental** 22:133-143.

Simedo MBL, Martins ALM, Pissarra TCT, Lopes MC, Costa, RCA, Valle Junior RF, Campanelli LC, Rojas NET, Finoto, EL. (2018) Effect of watershed land use on water quality: a case study in Córrego da Olaria Basin, São Paulo State, Brazil. **Brazilian Journal of Biology** 78:625-635

Tucci CEM (1997) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS.

Tucci CEM (2005) **Modelos hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS. 678 p

Tundisi JG (2005) Gerenciamento integrado de bacias hidrográficas e reservatórios – Estudos de caso e perspectivas. In: Nogueira MG, Henry R, Jorcin A. (Org.) **Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata**. São Carlos: Rima.

UFV - Universidade Federal de Viçosa/ CETEC - Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/ UFLA - Universidade Federal de Lavras / FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente (2010). **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais>> Acesso em: 27 mar. 2018.

Valera CA, Pissarra TCT, Martins Filho MV, Valle Junior RF, Fernandes LFS, Pacheco FAL (2017) A legal framework with scientific basis for applying the polluter pays principle to soil conservation in rural watersheds in Brazil. **Land use Policy** 66:61-71

Valle Junior RF (2008) **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba**. 222 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Unesp Jaboticabal.

Valle Junior RF, Galbiatti JA; Martins Filho MV; Pissarra TCT (2010) Potencial de erosão da bacia do Rio Uberaba. **Engenharia Agrícola** 30:897-908.

Valle Junior RF, Varandas, SGP., Sanches Fernandes, LF., Pacheco, FAL (2014a) Environmental land use conflicts: a threat to soil conservation. **Land Use Policy** 41:172–185.

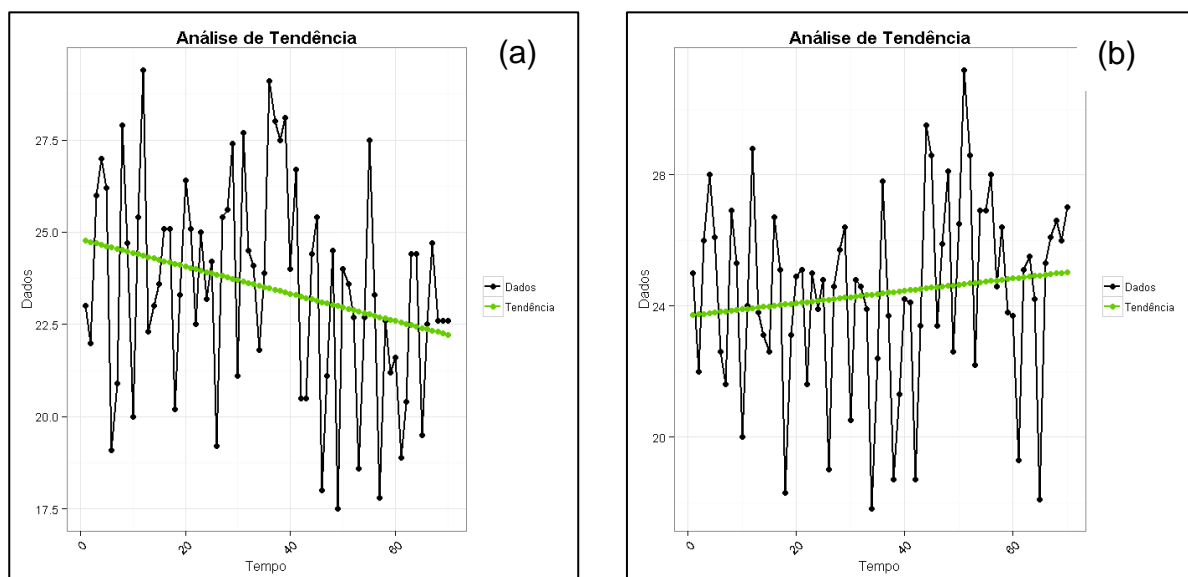
Vanzela LS, Hernandez FBT, Franco RAM (2010) Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 14:55-64.

Von Sperling M (2005) Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais-DESA-UFMG.452 p.

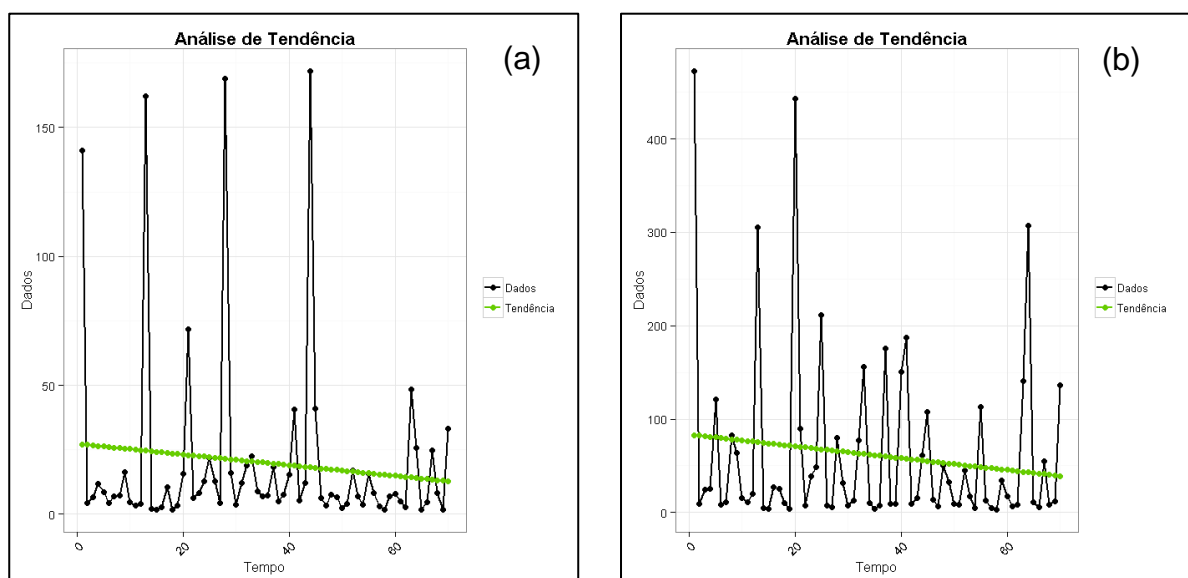
Yu S, Xu Z, Wu W, Zuo D (2016) Effect of land use types on stream water quality under seasonal variation and topographic characteristics in the Wei River basin, China. **Ecological Indicators** 60:202–212.

Zhang W; Yan Y; Zheng J; Li L; Dong X; Cai H (2009) Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China. **Global and Planetary Change** 69:35-47.

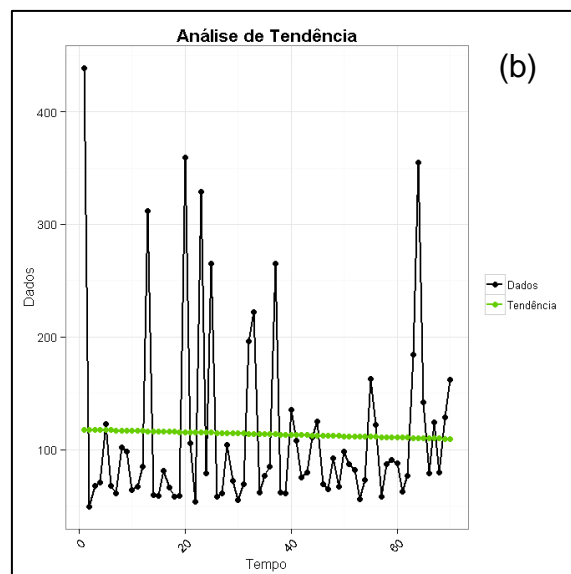
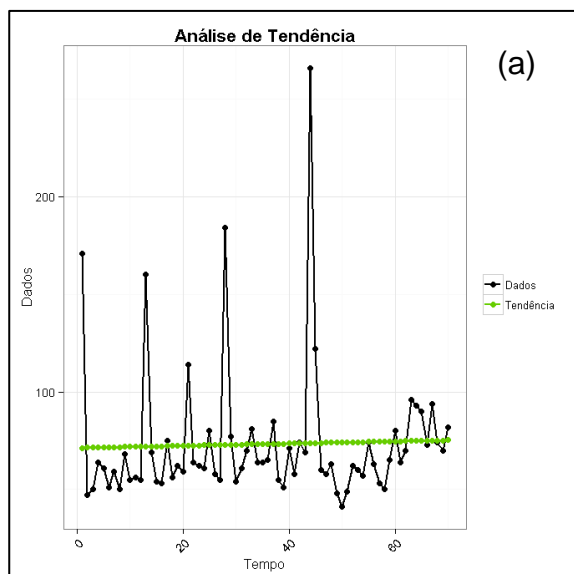
## APÊNDICES



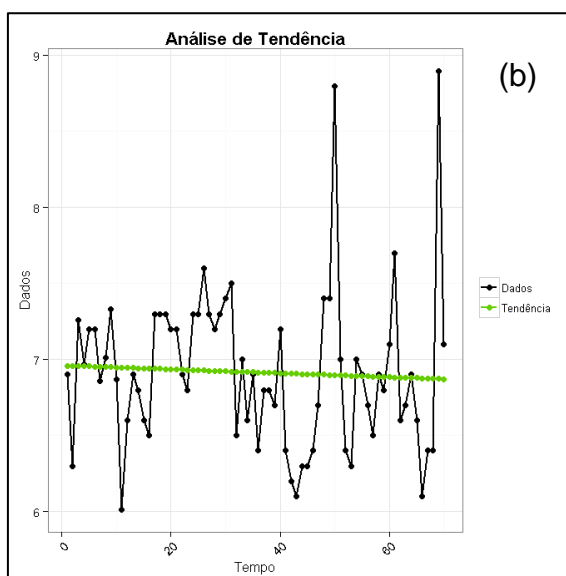
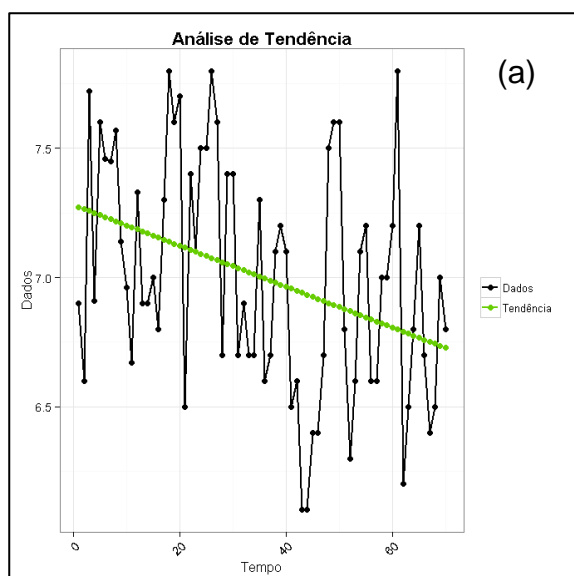
**Apêndice A** – Análise de tendência (teste Mann-Kendall) da Temperatura, nos pontos BG058 (a) e BG059 (b), entre os anos de 2000 e 2017.



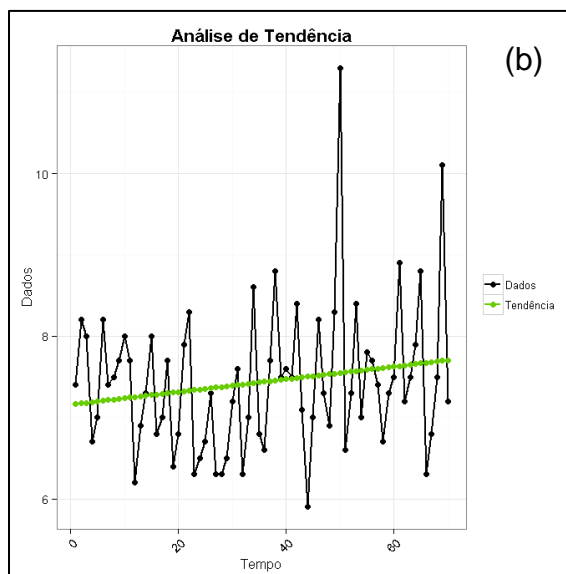
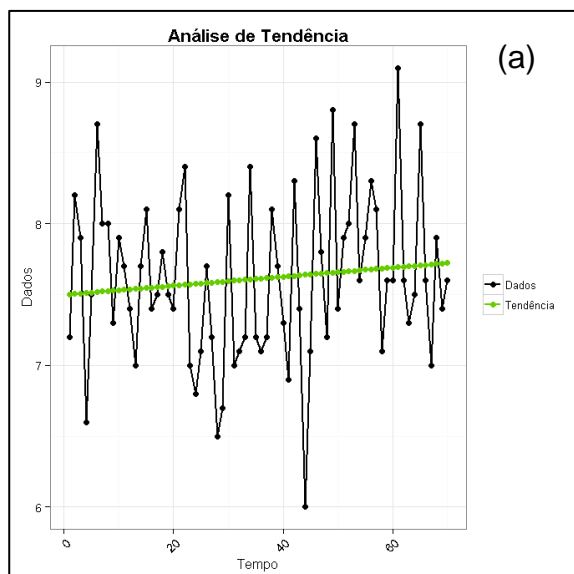
**Apêndice B** – Análise de tendência (teste Mann-Kendall) da Turbidez, nos pontos BG058 (a) e BG059 (b), entre os anos de 2000 e 2017.



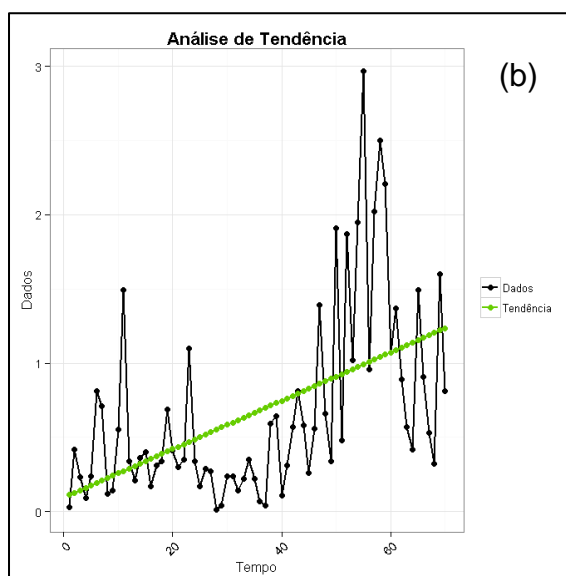
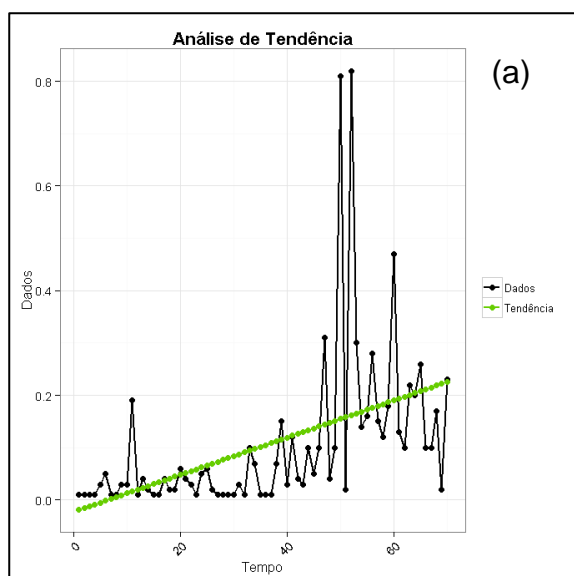
**Apêndice C** – Análise de tendência (teste Mann-Kendall) dos Sólidos Totais, nos pontos BG058 (a) e BG059 (b), entre os anos de 2000 e 2017.



**Apêndice D** – Análise de tendência (teste Mann-Kendall) do pH, nos pontos BG058 (a) e BG059 (b), entre os anos de 2000 e 2017.

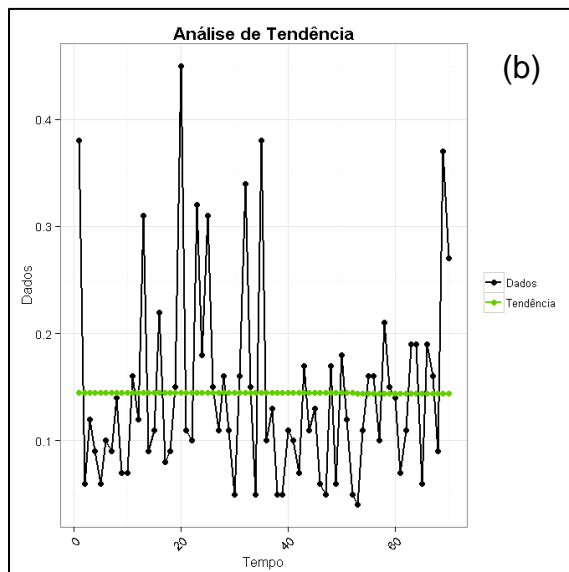
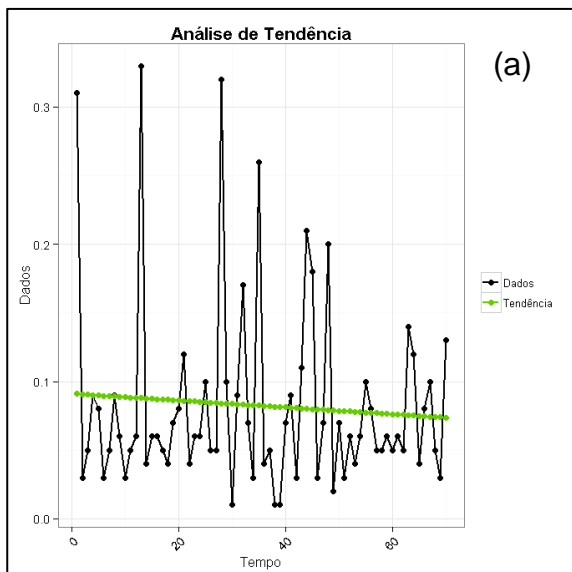


**Apêndice E** – Análise de tendência (teste Mann-Kendall) do Oxigênio dissolvido, nos pontos BG058 (a) e BG059 (b), entre os anos de 2000 e 2017.

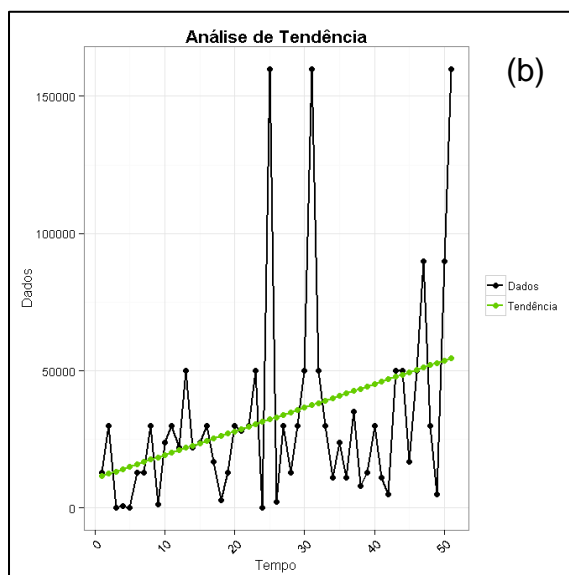
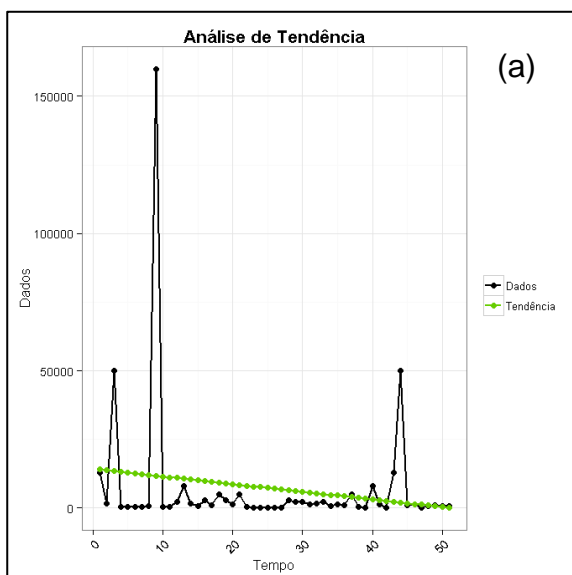


**Apêndice F** – Análise de tendência (teste Mann-Kendall) do Nitrato, nos pontos BG058 (a) e BG059 (b), entre os anos de 2000 e 2017.





**Apêndice G** – Análise de tendência (teste Mann-Kendall) do Fósforo Total, nos pontos BG058 (a) e BG059 (b), entre os anos de 2000 e 2017.



**Apêndice H** – Análise de tendência (teste Mann-Kendall) de Coliformes Termotolerantes, nos pontos BG058 (a) e BG059 (b), entre os anos de 2000 e 2012.