



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE PALMAS
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL

JÉSSICA PAULA DE OLIVEIRA RODRIGUES

**MONITORAMENTO AMBIENTAL DOS CÓRREGOS URBANOS NO MUNICÍPIO
DE PALMAS - TO**

PALMAS - TO
2022

Jéssica Paula De Oliveira Rodrigues

Monitoramento ambiental dos córregos urbanos no município de Palmas - TO

Dissertação de mestrado apresentado à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof. Dra. Cláudia da Silva Aguiar Rezende
Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza

Palmas - TO

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- P324m Paula de Oliveira Rodrigues, Jéssica.
Monitoramento ambiental dos córregos urbanos no município de Palmas - TO. / Jéssica Paula de Oliveira Rodrigues. – Palmas, TO, 2022.
65 f.
- Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) Profissional em Engenharia Ambiental, 2022.
Orientador: Claudia Da Silva Rezende
Coorientador: Marcelo Mendes Pedroza
1. Qualidade da água. 2. Córregos urbanos. 3. Monitoramento ambiental.
4. Análise multitemporal. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

JÉSSICA PAULA DE OLIVEIRA RODRIGUES

MONITORAMENTO AMBIENTAL DOS CÓRREGOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE
PALMAS – TO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Nível Mestrado Profissional, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental. A presente dissertação foi aprovada pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo relacionados:

BANCA EXAMINADORA

Dra. Claudia da Silva Aguiar Rezende (Presidente)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins

Dra. Roberta Mara de Oliveira Vergara (Membro Titular Interno)
Universidade Federal do Tocantins

Dr. José Geraldo Delvaux Silva (Membro Titular Externo)
Secretaria do Trabalho e Desenvolvimento Social

Aprovada em: 05 de dezembro de 2022.

RESUMO

A urbanização é um evento de transformação de áreas rurais para áreas urbanas, normalmente ligado ao desenvolvimento da civilização e sequente migração populacional. Na implantação dos centros urbanos inicia-se o parcelamento do solo nativo por diversas unidades de terras fragmentadas, nesses processos as áreas naturais são ocupadas por superfícies impermeáveis. O Município de Palmas – TO apresenta problemas ambientais relacionados ao uso e ocupação irregular, como consequência, essa dinâmica exerce intensa pressão antrópica nas microbacias hidrográficas urbanas do município. Neste contexto, buscou-se disseminar o conhecimento sobre o controle de atividades antrópicas decorrentes da implantação dos centros urbanos. A presente pesquisa, analisou os padrões qualitativos e quantitativos dos corpos d'água e a dinâmica da evolução do uso e ocupação do solo das microbacias urbanas no período de 1988 a 2020. A área de estudo é composta por 8 microbacias hidrográficas urbanas do Município de Palmas – TO, sendo córrego Cachimbo, Sussuapara, Brejo Comprido, Prata, Machado, Santa Barbara, Taquari e Cipó. As análises da qualidade da água foram realizadas em 24 pontos específicos distribuídos pelos córregos, em dois períodos do ano de 2021 (seco e chuvoso). Foram analisados os parâmetros: temperatura, condutividade elétrica, turbidez, sólidos totais dissolvidos, pH, demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, amônia, nitrito, nitrato, fósforo total, *Clorofila a*, coliformes totais e *Escherichia coli*, de acordo com as condições e padrões de qualidade estabelecidos na Resolução CONAMA 357/05 para corpos hídricos de classe 2. Os aspectos hidrológicos foram avaliados pela medição das vazões em 8 pontos distribuídos pelos córregos, no período seco e chuvoso do ano de 2021. A dinâmica da evolução do uso e ocupação do solo foi realizada pela análise multitemporal das microbacias e suas APPs, nos anos de 1988, 1999, 2010 e 2020. Os resultados de qualidade da água mostram que os córregos urbanos possuem concentrações de *Escherichia coli* e coliformes totais acima dos limites permitidos para corpos d'água classe 2, conforme estabelece a Resolução CONAMA 357/05, no período seco grande parte dos córregos possuem proporções de oxigênio dissolvido abaixo dos padrões da Resolução. A avaliação dos aspectos hidrológicos demonstra que no período de estiagem os córregos possuem redução do fluxo hidrográfico. Os resultados da avaliação espaço-temporal do uso e ocupação do solo mostram que o avanço urbanístico provocou alterações nas microbacias do estudo. Após a implantação do município as áreas de formações florestais reduziram continuamente no decorrer dos anos, à medida em que a área urbana se expandiu. Os procedimentos empregados no estudo denotam que a expansão urbana se sobrepôs em áreas com grau de proteção do solo, este cenário pode comprometer a manutenção ecológica natural das microbacias hidrográficas, limitando a provisão dos seus serviços ecossistêmicos.

Palavras-chaves: Qualidade da água. Córregos urbanos. Monitoramento ambiental. Uso e ocupação do solo. Análise multitemporal.

ABSTRACT

Urbanization is an event of transformation from rural areas to urban areas, usually linked to the development of civilization and subsequent population migration. In the implementation of urban centers, the parceling of the native soil by several units of fragmented land begins, in these processes the natural areas are occupied by impermeable surfaces. The Municipality of Palmas - TO presents environmental problems related to the use and irregular occupation, as a consequence, this dynamic exerts intense anthropic pressure in the urban watersheds of the municipality. In this context, we sought to disseminate knowledge about the control of anthropic activities arising from the implementation of urban centers. This research analyzed the qualitative and quantitative patterns of water bodies and the dynamics of the evolution of land use and occupation in urban watersheds from 1988 to 2020. The study area is composed of 8 urban watersheds in the municipality of Palmas – TO, being Cachimbo stream, Sussuapara, Brejo Comprido, Prata, Machado, Santa Barbara, Taquari and Cipó. Water quality analyzes were carried out at 24 specific points distributed by streams, in two periods of the year 2021 (dry and rainy). The following parameters were analyzed: temperature, electrical conductivity, turbidity, total dissolved solids, pH, biochemical oxygen demand, dissolved oxygen, ammonia, nitrite, nitrate, total phosphorus, Chlorophyll a, total coliforms and Escherichia coli, according to the conditions and quality standards established in CONAMA Resolution 357/05 for class 2 water bodies. The hydrological aspects were evaluated by measuring the flows in 8 points distributed by the streams, in the dry and rainy period of the year 2021. The dynamics of the evolution of the use and Land occupation was carried out by multitemporal analysis of microbasins and their APPs, in the years 1988, 1999, 2010 and 2020. The water quality results show that urban streams have concentrations of Escherichia coli and total coliforms above the limits allowed for class 2 water bodies, as established by CONAMA Resolution 357/05, in the dry period most of the streams have proportions of dissolved oxygen below Resolution standards. The evaluation of the hydrological aspects demonstrates that in the dry season the streams have a reduction in hydrographic flow. The results of the spatio-temporal evaluation of land use and occupation show that urban advances caused changes in the studied watersheds. After the implantation of the municipality, the areas of forest formations continuously reduced over the years, as the urban area expanded. The procedures employed in the study denote that urban expansion overlapped areas with a degree of soil protection, this scenario may compromise the natural ecological maintenance of watersheds, limiting the provision of their ecosystem services.

Keywords: Water quality. Quantitative aspects of water. Urban streams. Environmental monitoring. Land use and occupation. Urban microbasins. Multitemporal analysis.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Classificação dos serviços ecossistêmicos..... | 19 |
| Figura 2 - Esquema representativo de métodos de urbanização..... | 25 |
| Figura 3 - Localização das Microbacias hidrográficas de estudo..... | 28 |
| Figura 4 - Representação esquemática do desenvolvimento da metodologia. | 29 |
| Figura 5 - Pontos de coleta de água..... | 30 |
| Figura 6 - Contribuição urbana..... | 31 |
| Figura 7 - Pontos de medição de vazões | 33 |
| Figura 8 - Equipamentos de medições de vazões..... | 34 |
| Figura 9 - Confusão dos classificadores imagem do Satélite <i>Landsat 5</i> (1988) | 47 |
| Figura 10 - Uso e ocupação do solo na Microbacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo (1988, 1999, 2010 e 2020) | 47 |
| Figura 11 - Uso e ocupação do solo na Microbacia Hidrográfica do Córrego Sussuapara (1988, 1999, 2010 e 2020)..... | 49 |
| Figura 12 - Uso e ocupação do solo na Microbacia Hidrográfica do Córrego Brejo Comprido (1988, 1999, 2010 e 2020)..... | 50 |
| Figura 13 - Uso e ocupação do solo na Microbacia Hidrográfica do Córrego do Prata (1988, 1999, 2010 e 2020) | 51 |
| Figura 14 - Uso e ocupação do solo na Microbacia Hidrográfica do Córrego Machado (1988, 1999, 2010 e 2020) | 52 |
| Figura 15 - Uso e ocupação do solo na Microbacia Hidrográfica do Córrego Santa Bárbara (1988, 1999, 2010 e 2020)..... | 53 |
| Figura 16 - Uso e ocupação do solo na Microbacia Hidrográfica do Córrego Taquarí (1988, 1999, 2010 e 2020) | 54 |
| Figura 17 - Uso e ocupação do solo na Microbacia Hidrográfica do Córrego Cipó (1988, 1999, 2010 e 2020) | 55 |
| Figura 18 - Uso e ocupação do solo nas APPs das microbacias no ano de 1988..... | 57 |
| Figura 19 - Uso e ocupação do solo nas APPs das microbacias no ano de 1999..... | 57 |
| Figura 20 - Uso e ocupação do solo nas APPs das microbacias no ano de 2010..... | 58 |
| Figura 21 - Uso e ocupação do solo nas APPs das microbacias no ano de 2020..... | 59 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1 - Uso e ocupação do solo na Microbacia do Córrego Cachimbo por Km ² | 48 |
| Gráfico 2 - Uso e ocupação do solo na Microbacia do Córrego Sussuapara por Km ² | 49 |
| Gráfico 3 - Uso e ocupação do solo na Microbacia do Córrego Brejo Comprido por Km ² | 51 |
| Gráfico 4 - Uso e ocupação do solo na Microbacia do Córrego do Prata por Km ² | 52 |
| Gráfico 5 - Uso e ocupação do solo na Microbacia do Córrego Machado por Km ² | 53 |
| Gráfico 6 - Uso e ocupação do solo na Microbacia do Córrego Santa Barbara por Km ² | 54 |
| Gráfico 7 - Uso e ocupação do solo na Microbacia do Córrego Taquarí por Km ² | 55 |
| Gráfico 8 - Uso e ocupação do solo na Microbacia do Córrego Cipó por Km ² | 56 |
| Gráfico 9 - Uso e ocupação do solo nas APP por Km ² | 59 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 – Métodos adotados e VMP para os parâmetros analisados..... | 32 |
| Quadro 2 – Classes de uso e ocupação do solo do campo de estudo. | 36 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Características das microbacias hidrográficas do estudo. | 29 |
| Tabela 2 - Qualidade da água do Córrego Cachimbo..... | 38 |
| Tabela 3 - Qualidade da água do Córrego Sussuapara | 39 |
| Tabela 4 - Qualidade da água do Córrego Brejo Comprido | 40 |
| Tabela 5 - Qualidade da água do Córrego do Prata..... | 41 |
| Tabela 6 - Qualidade da água do Córrego Machado | 42 |
| Tabela 7 - Qualidade da água do Córrego Santa Barbara..... | 42 |
| Tabela 8 - Qualidade da água do Córrego Taquarí..... | 43 |
| Tabela 9 - Qualidade da água do Córrego Cipó | 44 |
| Tabela 10 - Medição de vazões (Q)..... | 46 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| BGI | Blue Green Infrastructure |
| NBS | Nature-Based Solutions |
| ETARs | Estações de Tratamento de Águas Residuais |
| OMS | Organização Mundial da Saúde |
| UNICEF | Fundo das Nações Unidas para a Infância |
| ETEs | Estações de Tratamento de Esgoto |
| PHACS | Compostos com Atividade Farmacológica |
| APP | Área de Preservação Permanente |
| SIG | Sistemas de Informação Geográfica |
| GIS | Geographic Information System |
| MODIS | Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer |
| LANDSAT | Programa de Satélites de Observação da Terra |
| MA | Millennium Ecosystem Assessment |
| UNEP | United Nations Environment Programme |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Agropecuária |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| SEPLAN | Secretaria de Planejamento |
| SEMARH | Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos |
| SIRGAS-2000 | Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas |
| SRTM | Shuttle Radar Topography Mission |
| NATURATINS | Instituto de Natureza do Tocantins |
| GEOPALMAS | Sistema de Informações Geográficas de Palmas |
| MAPA | Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento |
| MMA | Ministério do Meio Ambiente |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 13 |
| 2 | OBJETIVOS | 16 |
| 3 | REVISÃO DA LITERATURA..... | 17 |
| 3.1 | Bacias hidrográficas..... | 17 |
| 3.1.1 | Serviços Ambientais em Bacias hidrográficas | 17 |
| 3.1.2 | Serviços Ecológicos | 18 |
| 3.2 | Qualidade da água | 19 |
| 3.2.1 | Temperatura..... | 21 |
| 3.2.2 | Condutividade..... | 21 |
| 3.2.3 | Turbidez..... | 21 |
| 3.2.4 | Sólidos totais dissolvidos | 21 |
| 3.2.5 | pH | 22 |
| 3.2.6 | Demanda bioquímica de oxigênio | 22 |
| 3.2.7 | Oxigênio dissolvido..... | 22 |
| 3.2.8 | Fósforo total..... | 22 |
| 3.2.9 | Clorofila-a..... | 22 |
| 3.2.10 | Coliformes totais | 23 |
| 3.3 | Comportamento hidrológico dos córregos urbanos | 23 |
| 3.4 | Uso e ocupação do solo | 24 |
| 3.5 | Monitoramento espaço-temporal | 25 |
| 4 | MATERIAIS E MÉTODOS | 28 |
| 4.1 | Localização e caracterização da área de estudo..... | 28 |
| 4.2 | Análise da qualidade da água | 30 |
| 4.2.1 | Análise <i>in situ</i> e <i>ex situ</i> | 32 |
| 4.3 | Aspectos hidrológicos dos córregos urbanos..... | 32 |
| 4.4 | Análise multitemporal da evolução do uso e ocupação do solo (1988 A 2020).... | 34 |
| 4.4.1 | Estruturação dos dados e esquematização cartográfica..... | 34 |
| 4.4.2 | Mapeamento | 35 |
| 4.4.3 | Análise Multitemporal da Evolução do Uso e Ocupação do Solo | 36 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 37 |
| 5.1 | Avaliação da Qualidade da Água | 37 |
| 5.1.1 | Córrego Cachimbo..... | 37 |
| 5.1.2 | Córrego Sussuapara | 38 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 5.1.3 | Córrego Brejo Comprido | 39 |
| 5.1.4 | Córrego do Prata | 40 |
| 5.1.5 | Córrego Machado | 41 |
| 5.1.6 | Córrego Santa Bárbara..... | 42 |
| 5.1.7 | Córrego Taquarí..... | 43 |
| 5.1.8 | Córrego Cipó | 43 |
| 5.1.9 | Condições e Padrões de qualidade da Resolução CONAMA n° 357/2005..... | 44 |
| 5.2 | Aspectos Hidrológicos | 45 |
| 5.3 | Análise multitemporal da evolução do uso e ocupação do solo (1988-2020) | 46 |
| 5.3.1 | Microbacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo | 47 |
| 5.3.2 | Microbacia Hidrográfica do Córrego Sussuapara | 48 |
| 5.3.3 | Microbacia Hidrográfica do Córrego Brejo Comprido | 50 |
| 5.3.4 | Microbacia Hidrográfica do Córrego do Prata | 51 |
| 5.3.5 | Microbacia Hidrográfica do Córrego Machado..... | 52 |
| 5.3.6 | Microbacia Hidrográfica do Córrego Santa Bárbara..... | 53 |
| 5.3.7 | Microbacia Hidrográfica do Córrego Taquarí | 54 |
| 5.3.8 | Microbacia Hidrográfica do Córrego Cipó..... | 55 |
| 5.3.9 | Áreas de Preservação Permanente – APP das Microbacias Hidrográficas | 56 |
| 5 | CONCLUSÕES..... | 60 |
| | REFERÊNCIAS | 61 |

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural de domínio público essencial para a sobrevivência e bem-estar populacional. Os recursos hídricos são os principais provedores de serviços ambientais fundamentais para o desenvolvimento econômico, preservação ambiental e qualidade de vida, seus diversos usos possibilitam diversas atividades, como: lazer, agricultura, consumo humano, transportes, abastecimento industrial, geração de energia, entre outras ações (UPRETY *et al.*, 2019). Neste sentido, o crescimento urbano associado ao desenvolvimento econômico populacional aumenta a demanda por recursos naturais.

O avanço populacional exerce um impacto direto na qualidade da água de mananciais existentes em áreas urbanas. Tais impactos são influenciados pelo aporte de poluentes aos corpos hídricos que acabam comprometendo o processo de autodepuração desses mananciais pela acumulação e propagação de resíduos líquidos e sólidos (WANG; KIM; LI, 2021). Neste aspecto, o processo de despoluição das bacias hidrográficas urbanas resulta em alto custo para a sociedade inviabilizando o uso dos mananciais para fins de lazer e recreação, dentre outros (LIQUETE *et al.*, 2011).

Os conflitos ambientais são desencadeados, na maioria das vezes, durante a interação de atividades humanas com o meio ambiente, onde o uso e ocupação do solo é o principal provedor de mudanças e impactos ambientais nos ecossistemas, muitas vezes até irreversíveis (HOSSAIN; MONIRUZZAMAN, 2021).

A implantação dos centros urbanos inicia-se a partir do parcelamento do solo, neste processo é realizada a alteração da superfície nativa por diversas unidades de terras fragmentadas, quando esse processo ocorre em ecossistemas com recursos hídricos superficiais, a possibilidade de degradação ambiental se torna inevitável, pois, na maioria das vezes, o manejo é realizado sem aplicação de práticas conservacionistas (TOLKKINEN *et al.*, 2020). A tendência crescente da urbanização aumenta a demanda pelo uso e ocupação do solo, onde são implantadas as áreas com superfícies impermeáveis, habituais das obras civis urbanas, como, asfaltos, estradas, edifícios, residências e redes de drenagem (ZUHAL, 2016; ALVES; VOJINOVIC; KAPELAN, 2020).

A cobertura vegetal exerce grande influência no comportamento hidrológico das microbacias hidrográficas, pois contribui para a infiltração da água no lençol freático, redução do escoamento superficial e processos erosivos, absorção da radiação solar, conservação da umidade no solo e equilíbrio climático (CORTELEZZI; BARRANQUERO; MARINELLI, 2019). Quando a vegetação da microbacia hidrográfica é alterada, os recursos hídricos se

tornam vulneráveis à ocorrência de impactos ambientais negativos, como processos erosivos, assoreamento, aumento do escoamento superficial, carreamento de sedimentos, que são intensificados durante os fenômenos climáticos naturais, especialmente, as chuvas torrenciais, podendo resultar em enchentes, deslizamentos, entre outros.

Com a necessidade de assegurar a proteção dos recursos hídricos de maneira sustentável foi instaurada Política Nacional de Recursos Hídricos como mecanismo de amparo pela Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, na qual refere-se em seu Art. 2º os objetivos desta lei:

I - assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; II - a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável; e III - a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais (BRASIL, 1997, *online*).

O Código Florestal Brasileiro define que as Áreas de Preservação Permanente – APP exercem a “função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (BRASIL, 2012, *online*).

O monitoramento dos recursos hídricos é parte integrada do manejo ambiental, uma vez que a qualidade da água não está ligada apenas a finalidade de abastecimento da população humana, como também é de essencial importância para o desenvolvimento econômico, sobrevivência e qualidade de vida (UPRETY *et al.*, 2019).

De acordo com Risal *et al.*, (2020) o conhecimento das tendências envolvidas na dinâmica de uso e ocupação do solo em áreas de preservação pode ser utilizado para estabelecer diretrizes para um desenvolvimento regional sustentável. A avaliação de cenários dinâmicos espaciais pode ser realizada por meio de dados de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas, esses modelos possibilitam análises quantitativas e qualitativas de modificações espaço-temporais do uso e ocupação do solo, alterações vegetacionais, e outros (RWANGA; NDAMBUKI, 2017).

Diante do exposto, o presente trabalho buscou estabelecer o marco referencial para as ações de monitoramento ambiental de qualidade e quantidade de água e avaliação das transformações espaço-temporais do uso e cobertura do solo das microbacias urbanas localizadas no Município de Palmas – TO, esta avaliação tem grande importância, haja visto que a cidade possui diversas áreas verdes distribuídas em sua extensão urbana e que apesar de ter sido projetada para ser uma cidade com desenvolvimento urbano ordenado e sustentável, o

avanço populacional acelerado do município tem desencadeado problemas ambientais negativos e exercendo intensa pressão antrópica nessas microbacias hidrográficas.

2 OBJETIVOS

Tendo em vista que os serviços ambientais oferecidos pelos córregos urbanos são essenciais para a sobrevivência e bem estar populacional, existe a necessidade de estudos aprofundados que visem controlar os impactos ambientais decorrentes das ações antrópicas nesses meios.

No intuito de disseminar o conhecimento sobre o controle de atividades antrópicas decorrentes da implantação dos centros urbanos, o presente estudo buscou realizar um monitoramento ambiental das microbacias hidrográficas urbanas do Município de Palmas – TO.

Os objetivos específicos foram definidos com base nas pressões antrópicas em que as microbacias localizadas em áreas urbanas são submetidas, partindo deste princípio, adotados os seguintes objetivos específicos:

- Diagnosticar a qualidade e quantidade dos recursos hídricos dos córregos urbanos do município;
- Realizar uma análise multitemporal da evolução do uso e ocupação do solo das microbacias hidrográficas do município.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Bacias Hidrográficas

As bacias hidrográficas são áreas de drenagem de um rio principal, seus afluentes e subafluentes. São delimitadas pelo relevo e geografia de uma unidade territorial e formadas pelos canais de escoamento natural da água dos corpos hídricos, água da chuva, nascentes, e lençol freático. Sendo assim, pode-se dizer que uma bacia hidrográfica é o conglomerado de todos os elementos de um rio e as áreas drenadas pelos cursos d'água.

As bacias hidrográficas são a principais fontes de serviços ecossistêmicos, visto que proporcionam benefícios inestimáveis para o bem-estar, saúde, subsistência e sobrevivência humana (PEREDA *et al.*, 2021). Elas podem ser definidas como áreas de absorção natural da água da chuva, que convergem o escoamento para um único ponto de saída, formando um conjunto de canais que se coligam com as redes de drenagem natural, que por fim são integrados em um leito singular (TUCCI, 1997).

Durante o uso e ocupação de terra alteram-se significativamente os processos de absorção e infiltração do solo, atenuando o escoamento superficial durante as precipitações pluviométricas, ocasionando no carreamento de sedimentos até as bacias hidrográficas receptoras, possibilitando a ocorrência de processos erosivos, assoreamento e alteração da atividade biológica natural desses ambientes (KEMERICH *et al.*, 2014).

Segundo Medeiros *et al.* (2009) estudos que abrangem o monitoramento de microbacias hidrológicas são de extrema importância, pois nesses ambientes tem se direcionado pouca atenção, a falta de monitoramento desses recursos está diretamente ligada à ocorrência de problemas ambientais em áreas urbanas, como a falta de água, além do mais, as microbacias oferecem contribuição aos grandes rios.

3.1.1 Serviços Ambientais em Bacias hidrográficas

As bacias hidrográficas oferecem de maneira natural pela distribuição geográfica diversos serviços ambientais, dentre eles, funções de ciclagem de nutrientes, produção de alimentos, disponibilidade de água doce, produção de madeira, carvão mineral, controle de inundações e espaços recreacionais de lazer (MARTIN, 2021).

Em termos práticos, as bacias hidrográficas podem ser definidas como um conjunto sistêmico, nos quais desempenham a distribuição de entrada de água das precipitações

pluviométricas e saída de água através do exultório, possibilitando a delimitação das bacias e sub-bacias, haja vista que as interligações se dão por meio dos sistemas hídricos, esses serviços ambientais são de extrema importância para os centros urbanos, pois influenciam no desenvolvimento econômico, social e populacional (KHAN *et al.*, 2021).

Os serviços ambientais são processos exercidos cotidianamente pela natureza por meio dos ecossistemas, o crescimento urbano desordenado tem sido uma ameaça recorrente sobre os serviços ambientais oferecidos pelas bacias hidrográficas urbanas (CHEN *et al.*, 2015).

Entre os instrumentos de gestão ambiental o termo do inglês “*Nature-Based Solutions - NBS*” indica um conjunto de práticas que consistem em ações de gerenciamento de forma sustentável voltados para a restauração dos ecossistemas naturais que foram modificados, onde o objetivo é deixar o próprio ambiente re-naturalizar, como exemplos, áreas verdes (jardins, pomares, corredores e parques); revegetação de matas ciliares, sistemas para controle de erosão, etc (CASTELLAR *et al.*, 2021).

3.1.2 Serviços Ecossistêmicos

Os serviços ecossistêmicos são contribuições da natureza para a qualidade de vida, esses serviços são formados por processos ecológicos que contribui para a paisagem urbana, regulação de temperatura, produção de oxigênio, conservação de energia, escoamento de águas pluviais e atenuação de inundações, autodepuração natural da água, habitat das espécies selvagem e benefícios para a saúde física humana (CERRA, 2017).

Segundo Alarsa *et al.* (2018) define-se os serviços ecossistêmicos com base na interação da sociedade com os recursos naturais, tais interações são a alavanca que impulsiona o desenvolvimento urbano em conjunto com a sustentabilidade ambiental, onde devem ser identificados os fatores de vulnerabilidade, prioridade, conflitos e alianças, capacidade de suporte dos estoques naturais em consonância com as necessidades e benefícios relativos ao ser humano e respectiva capacidade de recuperação e regeneração do sistema, aliando-se a força motriz social em consonância com as ações de manejo ambiental adequado.

Millennium Ecosystem Assessment – MA foi um trabalho internacional iniciado em junho de 2001, coordenado pela United Nations Environment Programme - UNEP, a iniciativa teve como objetivo avaliar as consequências das alterações ecossistêmicas decorrentes das ações humanas e estabelecer uma base científica de ações necessárias para a melhoria da conservação e uso sustentável dos ecossistemas, o programa foi conduzido por cerca de 1.360 especialistas de mais de 95 países, os relatórios resultantes da avaliação técnica do programa

foram publicados em meados de 2005, as principais conclusões dos resultados, indicam que nos 50 anos antecedentes, os ecossistemas foram alterados pela humanidade de forma mais ampla e acelerada do que em qualquer outro período da história (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005).

Na síntese de Millennium Ecosystem Assessment (2005), define-se os serviços ecossistêmicos como procedimentos do ecossistema que suportam diretamente ou indiretamente o bem-estar populacional, sendo constituídos por 04 (quatro) categoria: Provisão; Regulação; Culturais e Suporte. A Figura 1 detalha a classificação dos serviços ecossistêmicos (MEA, 2005).

Figura 1 - Classificação dos serviços ecossistêmicos

| Provisão | Regulação | Cultural | Suporte |
|--|--|--|--|
| Alimentos, matéria-prima, fibras, fármacos naturais, recursos genéticos e bioquímicos, plantas ornamentais, água | Purificação do ar, regulação do clima e ciclos da água, controle de enchentes; erosão; pragas; doenças, tratamento de resíduos | Diversidade cultural, valores espirituais; religiosos; educacionais; estéticos, relações sociais, recreação e turismo. | Ciclagem de nutrientes, produção primária, formação de solos, polinização, dispersão de sementes |

Fonte: Millennium Ecosystem Assessment (2005).

A consciência da necessidade de abordagens baseadas em processos de modelagem e interpretação dos serviços ecossistêmicos é crescente nos últimos anos (YANGA *et al.*, 2021).

Pathak *et al.* (2020) argumentam que a avaliação de serviços ecossistêmicos possibilita estimar a profundidade do escoamento superficial e capacidade de infiltração em áreas urbanas. A alteração do ciclo hidrológico natural afeta diretamente nos serviços naturais que esses ambientes oferecem, uma vez que a biodiversidade é fundamental para a manutenção ecológica regular do ciclo de água e nutrientes (NIKA *et al.*, 2020).

3.2 Qualidade da Água

Todos os seres vivos necessitam de água para sua sobrevivência e, para a população humana, a qualidade deste insumo é decisória no desenvolvimento social e econômico. A qualidade dos recursos hídricos vem sendo constantemente alterada ao longo dos anos, principalmente em córregos urbanos em decorrência das atividades humanas. Os cursos d'água são considerados importantes indicadores de qualidade ambiental, pois as ações antrópicas

praticadas em seu entorno refletem nitidamente na alteração de suas características físicas, químicas e biológicas (Tomazelli *et al.*, 2015).

O crescimento demográfico associado à deficiência no saneamento público vem comprometendo o funcionamento dos ecossistemas aquáticos. Muitos poluentes com misturas complexas e compostos biologicamente ativos são lançados nos corpos d'água sem o tratamento adequado, no qual contem grande quantidade de nutrientes, poluentes e desreguladores endócrinos (RICE; WESTERHOFF, 2017).

As Estações de Tratamento de Esgoto – ETEs tem a função de tratar efluentes domésticos e industriais gerados a partir de atividades humanas, onde os são removidos os poluentes da água mediante aplicação de processos físicos, químicos e biológicos (GIRI, 2021).

Apesar dessa finalidade, grande parte da poluição dos esgotos não são eliminadas completamente pelas ETEs, mesmo quando aplicadas as práticas terciárias, neste sentido, quando esses efluentes alcançam os corpos hídricos, ainda contêm uma ampla quantidade de substâncias químicas, incluindo nutrientes e matéria orgânica. Algumas dessas substâncias são tóxicas, como, metais pesados (DEYCARD *et al.*, 2014), pesticidas, produtos de higiene pessoal e compostos farmacologicamente ativos PHACs “*PHarmaceutically active compounds*”, que por sua vez, afetam a atividade biológica natural dos corpos hídricos (MANDARIC *et al.*, 2018).

O estresse hídrico é um problema decorrente das mudanças climáticas e das captações de água. Durante períodos de baixo fluxo de água também reduz radicalmente a capacidade de autodepuração natural dos corpos hídricos, podendo ser evidenciados quando os corpos hídricos estão submetidos a fatores simultâneos, como o aumento da temperatura ou mudanças das suas vazões hidrológicas (SABATER *et al.*, 2018).

Em cenários de mudanças globais, sabe-se que os efluentes das estações de tratamento de esgoto compõem uma proporção bem maior de fluxo de água do que em muitos corpos hídricos receptores, deste modo, o uso exorbitante dos recursos hídricos ameaça diretamente esses meios naturais, tanto com compostos químicos quanto com os estressores hidrológicos (SKOULIKIDIS *et al.*, 2017).

A avaliação dos parâmetros físico-químicos e biológicos e o enquadramento dos corpos hídricos de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) são ferramentas importantes para o diagnóstico ambiental possibilitando compreender os diferentes padrões de desenvolvimento urbano e a qualidade da água dos rios, direcionando o planejamento de ações de gerenciamento e controle da qualidade ambiental das águas superficiais. A seguir destaca-se os parâmetros avaliados no estudo.

3.2.1 Temperatura

No Brasil não existe na legislação um valor definido para o parâmetro de temperatura dos corpos hídricos, apenas para o lançamento de efluentes, onde o limite fixado pela Resolução CONAMA nº 430/2011 é de até 40°C. A temperatura dos corpos hídricos é um importante parâmetro físico indicador de qualidade da água, quando associada a outros parâmetros, sendo muitas vezes, um fator limitante à vida aquática (PERCEBON *et al.*, 2005).

3.2.2 Condutividade

A condutividade elétrica é um parâmetro capaz de demonstrar modificações na composição dos corpos hídricos, mas não especifica quantidades e componentes. Segundo Piratoba *et al.*, (2017) não existe na legislação um padrão de condutividade em corpos hídricos, no entanto, em águas naturais a condutividade apresenta proporções entre 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, já em corpos hídricos poluídos por esgotos domésticos ou industriais essas proporções podem chegar até 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

3.2.3 Turbidez

O parâmetro de turbidez é a medição da resistência da água em relação a passagem de luz e está associado a presença de partículas em suspensão na água. O valor máximo permitido de turbidez na água distribuída é de 100 NTU, de acordo com corpos de água doce classe 2, estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005).

3.2.4 Sólidos totais dissolvidos

O parâmetro Sólidos Totais Dissolvidos (STD) consistem na quantidade de sais inorgânicos e materiais dissolvidos na água, de acordo com corpos de água doce classe 2 estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2005 o valor máximo permitido consiste em 500mg/L.

3.2.5 pH

O parâmetro de pH é dado pela atividade do íon hidrogênio (H^+), sua escala indica se o meio é ácido, básico ou neutro.

3.2.6 Demanda bioquímica de oxigênio

O parâmetro demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é relacionado a eficiência da decomposição da matéria orgânica na água, no qual corresponde à quantidade de oxigênio consumido durante a oxidação da matéria orgânica. A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece o valor máximo permitido de DBO em até 5,0 mg/L para corpos d'água doce classe 2.

3.2.7 Oxigênio dissolvido

O parâmetro oxigênio dissolvido (OD) se refere a medida da saturação da quantidade de oxigênio dissolvido na água. O OD é essencial para a sobrevivência das espécies aquáticas, de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 esse parâmetro deve ser $> 5,0$ mg/L.

3.2.8 Fósforo total

O parâmetro fósforo total é um importante indicador de qualidade da água dos mananciais, pode ser encontrado em diversas formas, como ortofosfatos, polifosfatos e fósforo orgânico. O fósforo é composto de materiais sedimentáveis que chegam até os corpos d'água pela dissolução de rochas, escoamento de águas pluviais, despejo de esgotos e carreamento de sedimentos de terras agrícolas adubadas. Elevadas concentrações desse nutriente na água podem causar a proliferação exagerada de algas desencadeando processos de eutrofização.

3.2.9 Clorofila-a

O parâmetro *Clorofila a* indica as alterações da cor e dos pigmentos clorofilianos da água. A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece o valor máximo permitido de 30,0 $\mu\text{g/L}$ para corpos d'água doce classe 2.

3.2.10 Coliformes totais

Os coliformes termotolerantes são indicadores de contaminação por bactérias presentes na água. Essas bactérias estão presentes no intestino de animais de sangue quente e dos seres humanos, e são indicadores de contaminação por fezes na água.

A *Escherichia coli* é uma espécie de bactéria do grupo dos coliformes termotolerantes, sendo considerada a melhor indicadora de poluição fecal na água.

Falta indicar a fonte das informações acima.

3.3 Comportamento Hidrológico dos Córregos Urbanos

Os corpos hídricos são canais naturais de drenagem de água que instauram as bacias hidrográficas, caracterizam-se como sulcos naturais que formam um sistema hídrico indispensável para a manutenção das bacias, o seu comportamento oscila de acordo com o uso do solo, tamanho, geologia, topografia, condições climáticas e forma das áreas de drenagem (MELO *et al.*, 2020).

Na pesquisa de Dar, Shah e Bhat (2019) relata-se que as infraestruturas azul e verde, do termo BGI “*Blue Green Infrastructure*”, são um conjunto de sistemas naturais de uma cidade, que oferecem vários serviços de natureza intangível à população, que contribuem significativamente para o comportamento hidrológico das bacias hidrográficas, auxiliando na manutenção dos serviços ecossistêmicos, conforto e redução de ruído nas vias urbanas, melhoria da qualidade do ar, melhoria da saúde física e mental da população, redução na geração de gases de efeito estufa e melhoria da qualidade ambiental.

Para Oliveira *et al.* (2020) as atividades de supressão vegetal, uso e ocupação do solo, alterações geológicas e avanço demográfico desordenado, ou seja, sem a aplicação de práticas conservacionistas, estão totalmente relacionadas ao comportamento hidrológico desenvolvido pelos córregos urbanos.

Na implantação dos centros urbanos criam-se as superfícies impermeáveis, ocasionando na expansão das redes de drenagem superficial (GIRI, 2021). Essas áreas popularmente conhecidas como infraestruturas cinzas, podem desencadear diversos problemas ambientais em termos hidrológicos, haja vista que essas superfícies contribuem para o escoamento superficial, aumento a incidência de processos erosivos, danos a qualidade da água e risco de inundações (BEDLA *et al.*, 2021).

A vazão hidrológica de um corpo hídrico é mais estável e sustentável em bacias com maior cobertura vegetal, pois as matas ciliares favorecem a estabilidade dos solos nas áreas marginais, contribuindo para um comportamento hidrológico com maior infiltração e conseqüentemente, na redução do escoamento. Segundo Santos, Griebeler e Oliveira (2010), as mudanças de uso do solo e do clima exercem grande influência no comportamento hidrológico das bacias hidrográficas.

3.4 Uso e Ocupação do Solo

As mudanças de uso e ocupação do solo são eventos habituais na implantação e crescimento dos centros urbanos, essas práticas estão entre os principais impulsionadores de degradação ambiental de bacias hidrográficas urbanas (BRANCHET *et al.*, 2021).

O processo de uso e ocupação do solo em função da urbanização consiste na retirada da cobertura vegetal nativa para implantação das áreas com superfícies impermeáveis, essas atividades alteram consideravelmente a capacidade de absorção e infiltração do solo. A expansão demográfica associada ao desenvolvimento econômico, impõem uma influência cada vez maior sobre os recursos naturais. As áreas de preservação permanente – APP dos cursos d'água se tornam suscetíveis a intervenções humanas, através da supressão da vegetação nativa para uso e ocupação do solo, despejo de esgoto, canais de drenagem e manejo irracional (MATIELLO *et al.*, 2017).

O novo Código Florestal Brasileiro instituído pela Lei nº 12.651/12, art. 3º, inciso II, define Área de Preservação Permanente como:

Área de Preservação Permanente - APP: Área protegida, coberta ou não por vegetação, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

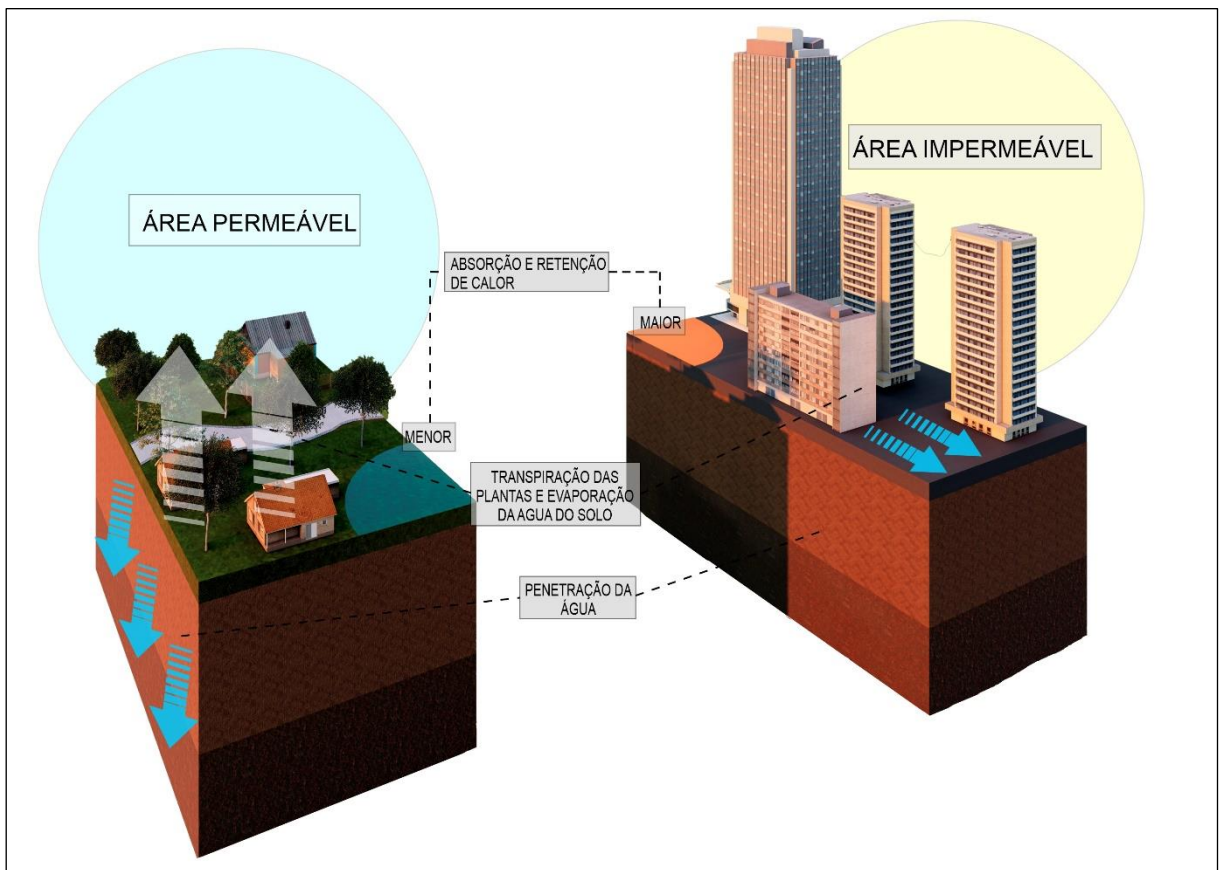
O Código Florestal considera Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:

- a. 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
- b. 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
- c. 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
- d. 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
- e. 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros de largura (BRASIL, 2020, *online*).

As matas ciliares adjacentes aos cursos d'água influenciam diretamente na qualidade da água doce disponíveis nos mananciais, ajudando a proteger o ecossistema das atividades antropogênicas que ocorrem nas bacias hidrográficas. Valera *et al.* (2019) apontam que, além da proteção, as matas ciliares fornecem vários serviços, como habitat para espécies, biodiversidade do solo, filtragem de sedimentos, controle de inundações, estabilidade do canal dos corpos hídricos e manutenção dos aquíferos.

A Figura 2 demonstra um esquema representativo dois métodos de urbanização, um com aplicação de práticas conservacionistas e outro a utilização de práticas de conservação.

Figura 2 - Esquema representativo de métodos de urbanização



Fonte: Autora (2022).

3.5 Monitoramento espaço-temporal

A aplicação do sensoriamento remoto é amplamente utilizada para se avaliar fatores ambientais, uma vez que as análises espaciais geograficamente referenciadas oferecem uma técnica altamente valiosa no monitoramento ambiental (KOTARIDIS; LAZARIDOU, 2018).

O sensoriamento remoto possibilita um melhor conhecimento e o manejo da vegetação das matas ciliares, fornecendo dados econômicos e espacialmente contínuos em uma ampla extensão, contribuindo para a capacidade de se adquirir dados em grandes extensões. Nas últimas décadas, no uso do sensoriamento por sensores, vetores e poder computacional, permitiu-se o desenvolvimento de aplicações em ciências ambientais. A utilidade das ferramentas de sensoriamento remoto em matas ciliares, já foram evidenciados desde 2010 (MÜLLER, 1993).

A plataforma MapBiomas é uma iniciativa multi-institucional que envolve ONGs, empresas de tecnologia e universidades. A plataforma desenvolve projetos de mapeamentos anuais por meio de processamento em nuvem e classificadores mecanizados que operam a partir da plataforma Google Earth Engine, gerando séries históricas de mapas anuais de uso e cobertura do solo do Brasil.

Para Kumar *et al.* (2021), concluem-se que o avanço nas tecnologias de sensoriamento remoto aerotransportado e acompanhamento por imagens de satélite, são um avanço no monitoramento sistemático do desempenho das soluções baseadas na natureza. No trabalho de Lu *et al.* (2004) descreve-se que na utilização de métodos de sensoriamento remoto existem várias abordagens na detecção de mudanças no uso e ocupação do solo, mudanças de vegetação, mudanças urbana e mudanças de cobertura florestal.

Para Khair *et al.* (2021) o monitoramento em conjunto com a participação da comunidade, incentiva a participação das partes interessadas, de forma a ampliar sua autonomia, envolvimento e consciência, possibilitando um melhor apoio e fortalecimento da sustentabilidade ambiental na região.

As abordagens e ferramentas disponibilizadas pelos dados de sensoriamento remoto permitem a caracterização de todos os tipos de vegetação de uma bacia hidrográfica, desde o conciso delineamento das áreas de preservação permanente, estruturas e fisiologia, sendo um dos principais avanços agregados ao monitoramento ambiental nas últimas décadas (DUFOR *et al.*, 2013).

Uma melhor adaptação dos processos de planejamento espacial integrado, maiores oportunidades para os tomadores de decisão e cooperação institucional mais rápida são elementos importantes que permitem que este desafio seja enfrentado (ÇETIN *et al.*, 2018).

Segundo Cui *et al.* (2019), o sensoriamento remoto é uma tecnologia que fornece dados com mais cobertura espacialmente homogênea e temporalmente completa. Com os recursos do sensoriamento remoto, grande parte das variações integrantes aos processos ambientais da água,

são observáveis em resolução e precisão de espaço-temporal, ou seja, é possível verificar com antecedência ocorrências como: armazenamento água, precipitação, neve e gelo.

Para Sepuru e Dube (2018) um dos principais benefícios do sensoriamento remoto são os índices de propagação da cobertura vegetal resultantes das imagens de satélite, sendo uma abordagem presente no mapeamento, que torna capaz a obtenção de informações sobre as refletâncias das superfícies da Terra.

Pra Cruz et al., (2021), as técnicas de sensoriamento remoto são os métodos mais frequente na análise do valor ecológico, as principais aplicações do uso desse desfecho foram no planejamento natural e urbano, conservação da biodiversidade e remuneração por serviços ecossistêmicos. Ghassemian (2016) discorre que quando os estudos com aplicação do sensoriamento remoto registraram características funcionais, dificilmente se usam dados de trabalho de campo, isso certamente se deve ao aumento nas habilidades e confiabilidade das imagens de satélite sequenciadas por meio das estratégias de sensoriamento remoto.

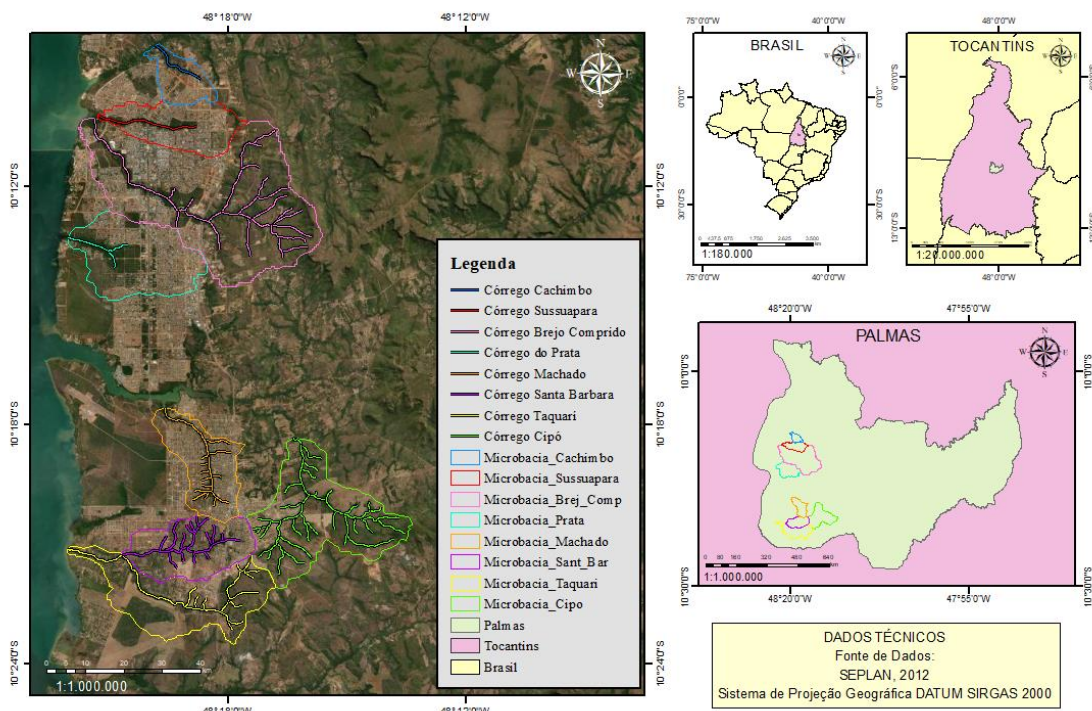
4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Localização e Caracterização da Área De Estudo

A área de estudo é distribuída pela região urbana do Município de Palmas – TO, composta por 8 microbacias hidrográficas denominadas, Córrego Cachimbo, Córrego Sussuapara, Córrego Brejo Comprido, Córrego do Prata, Córrego Machado, Córrego Santa Bárbara, Córrego Taquari e Córrego Cipó. As microbacias objetos deste estudo estão inseridos na Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins.

Criada em 20 de maio de 1989, a cidade de Palmas é estabelecida à margem direita do reservatório formado pela Usina Hidrelétrica Luís Eduardo Magalhães – UHE Lajeado, cuja área territorial do município é de cerca de 2.227 km² e população estimada 313.349 habitantes (IBGE, 2021). O clima predominante no Estado do Tocantins é o tropical, segundo a classificação de Köppen-Geiger ele apresenta estação chuvosa durante o verão, nos meses de novembro a abril, e estação seca no período de inverno, nos meses de maio a outubro, as temperaturas médias anuais variam entre 22°C e 27°C e a precipitação média anual varia entre 600 e 2.000 mm (MMA, 2007). A Figura 3 mostra a localização das microbacias hidrográficas do estudo em relação ao Município de Palmas, Estado do Tocantins e Brasil.

Figura 3 - Localização das Microbacias hidrográficas de estudo.



Fonte: Autora (2022).

As principais características das microbacias hidrográficas do estudo podem ser visualizadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características das microbacias hidrográficas do estudo.

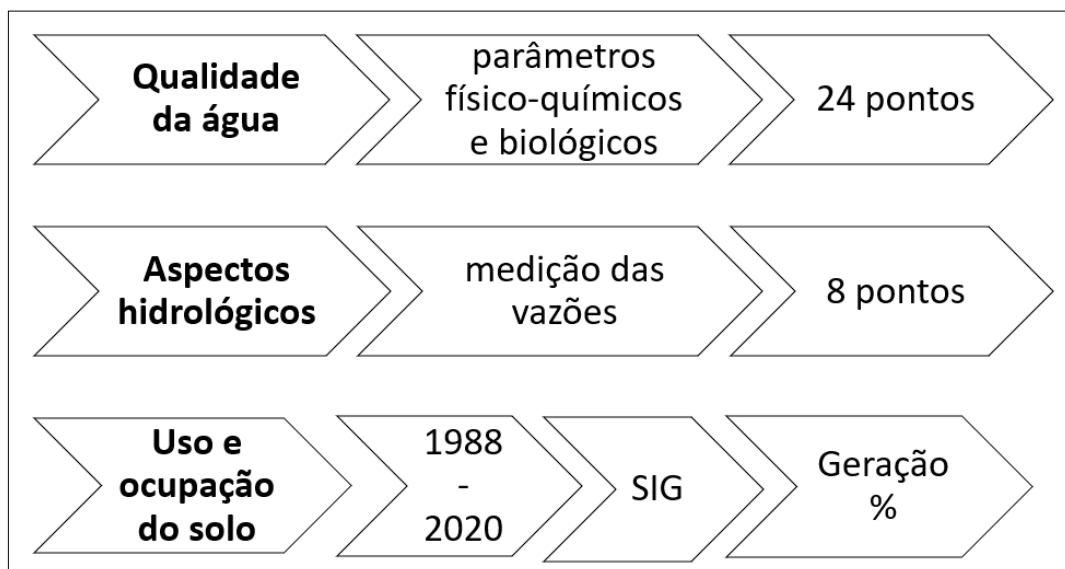
| Microbacia hidrográfica | Extensão (m) | Área (km ²) | APP (m) | Abrangência urbana |
|-------------------------|--------------|-------------------------|---------|--------------------|
| Córrego Cachimbo | 2770 | 5.12 | 42 m | Integral |
| Córrego Sussuapara | 4690 | 11.29 | 42 m | Integral |
| Córrego Brejo Comprido | 12580 | 48.88 | 42 m | Parcial |
| Córrego do Prata | 2828 | 17.46 | 42 m | Integral |
| Córrego Machado | 5900 | 11.78 | 42 m | Integral |
| Córrego Santa Bárbara | 5850 | 13.18 | 42 m | Integral |
| Córrego Taquari | 11300 | 20.41 | 42 m | Parcial |
| Córrego Cipó | 7800 | 25.45 | 42 m | Parcial |

Fonte: Autora (2022).

Para a escolha dos corpos hídricos do estudo utilizou-se critérios de inclusão, tendo como fator principal os córregos com maior abrangência territorial dentro do perímetro urbano do Município de Palmas. As microbacias dos Córregos Brejo Comprido, Taquari e Cipó possuem uma pequena parte de sua extensão territorial localizada em área rural, todavia, tal inclusão foi efetivada, haja vista a grande valia desses recursos hídricos para a sociedade, nos quais oferecem serviços ecossistêmicos e socioambientais essenciais para qualidade de vida e bem-estar populacional.

A Figura 4, apresenta um diagrama esquemático com os passos do desenvolvimento da metodologia.

Figura 4 - Representação esquemática do desenvolvimento da metodologia.



Fonte: Autora (2022).

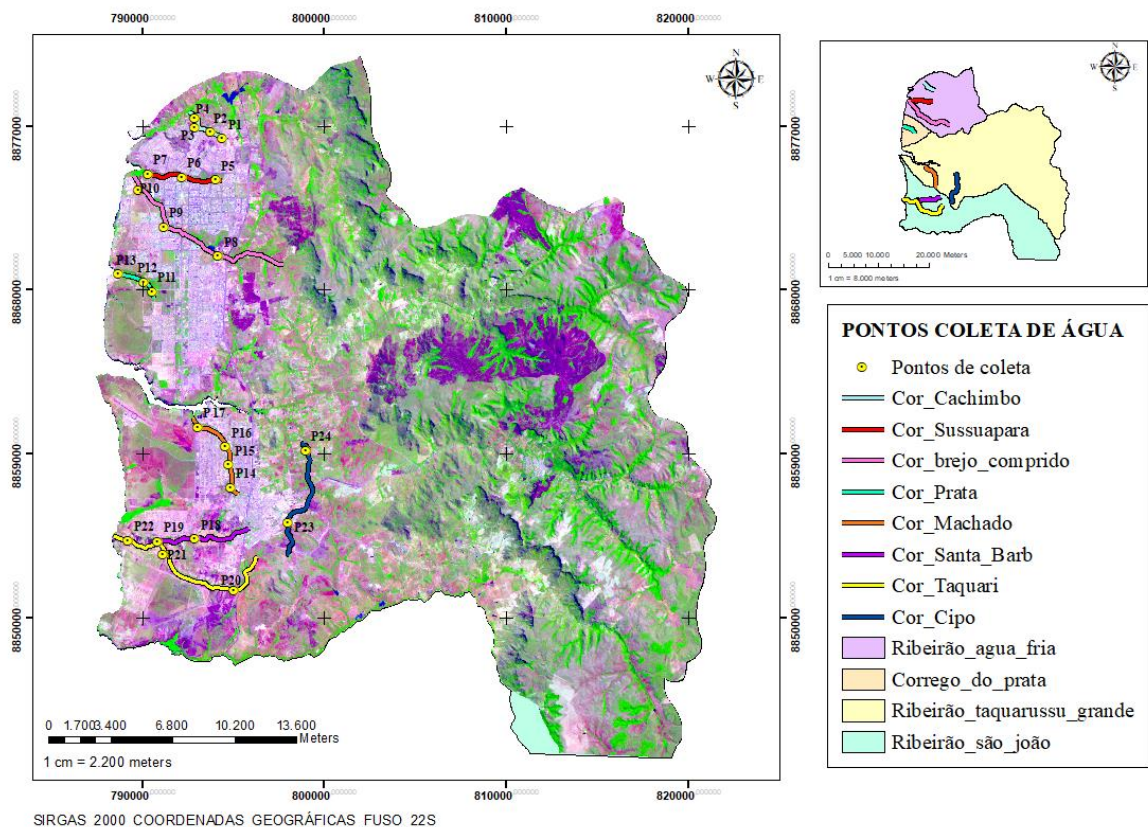
4.2 Análise da Qualidade da água

Para os procedimentos do estudo foram analisados os parâmetros físico-químicos e biológicos dos córregos urbanos conforme os padrões de qualidade aplicáveis a águas doces classe 2, estabelecidos na Resolução CONAMA n° 357/2005 (BRASIL, 2005).

Os parâmetros físicos, químicos e biológicos são importantes indicadores qualidade das ambiental, pois, possibilitam compreender a relação dos diferentes padrões de desenvolvimento urbano associados as condições das águas superficiais (PELUSO *et al.*, 2021).

As amostras de água foram coletadas em dois períodos climáticos, em 24 (vinte e quatro) pontos distribuídos pelos 08 (oito) córregos urbanos. Os pontos de coleta estão apresentados na Figura 05.

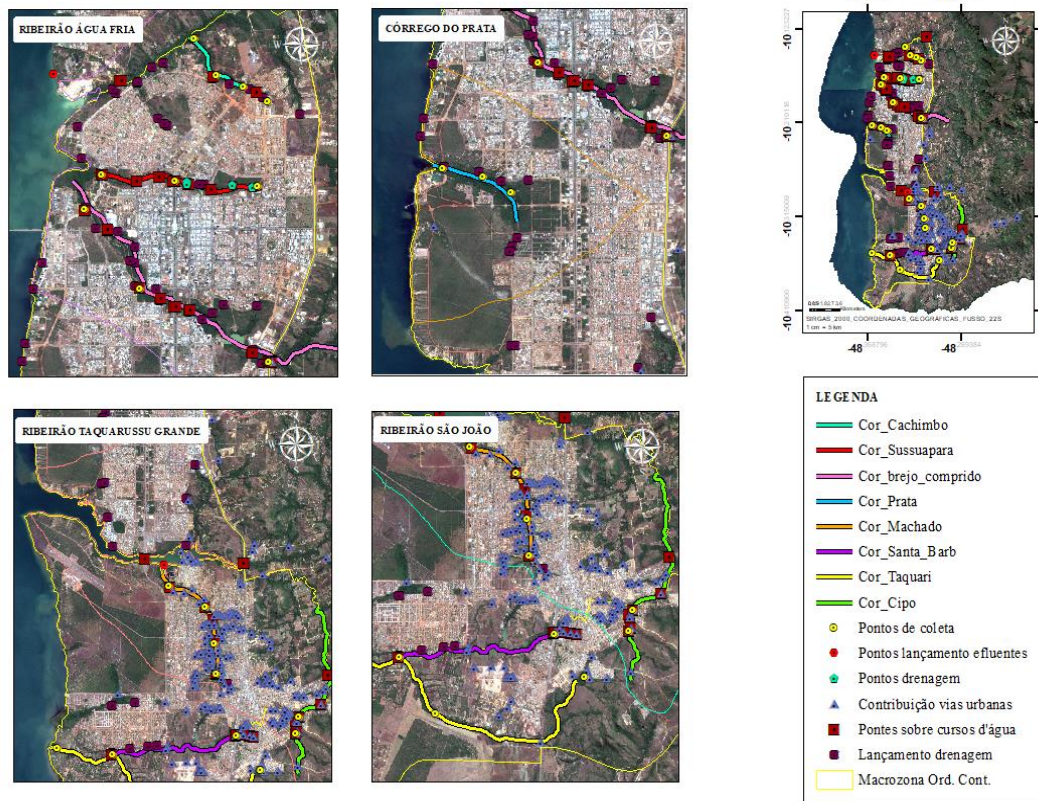
Figura 5 - Pontos de coleta de água.



Fonte: Autora (2022)

Os pontos de coleta de água foram determinados de acordo com os fatores antrópicos locais, como exemplo: contribuição de vias urbanas, lançamento de drenagem, pontos de drenagem, lançamento de efluentes e pontes sobre cursos d'água. A Figura 6 mostra a distribuição dos pontos de contribuições urbanas locais em relação aos corpos hídricos.

Figura 6 – Contribuição urbana



Fonte: Autora (2022).

As análises de qualidade da água foram realizadas em duas campanhas de monitoramento durante o ano de 2021. A primeira campanha foi executada no mês de abril durante o período chuvoso e a segunda foi realizada no mês outubro, na estação de seca.

As análises de qualidade da água foram realizadas pelo Laboratório de Pesquisa em Química Ambiental e Biocombustível – LAPEQ da Universidade Federal do Tocantins – UFT Câmpus de Palmas, os técnicos do laboratório realizaram a coleta das amostras acompanhados pela autora. Em cada local de colhimento foi registrado um ponto de coordenada geográfica utilizando o aparelho GPS (Modelo Garmim Etrex), bem como todos os dados foram subscritos em planilha de campo. Todos os parâmetros foram analisados de acordo com a metodologia proposta por *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005) (QUADRO 1).

Quadro 1 – Métodos adotados e VMP para os parâmetros analisados

| Parâmetros | CONAMA 357/2005 VMP ² | Técnica – Referência |
|---------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Temperatura (°C) | * | Medida Direta – APHA (2005) |
| Condutividade Elétrica (µS/cm) | * | Medida Direta – APHA (2005) |
| Turbidez (NTU) | 100 | Medida Direta – APHA (2005) |
| Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L) | 500 | Medida Direta – APHA (2005) |
| pH (Escala) | 6,0 a 9,0 | Medida Direta – APHA (2005) |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) | 5,0 | Diferenciação – APHA (2005)) |
| Oxigênio Dissolvido (mg/L) | > 5,0 | Medida Direta – APHA (2005) |
| Amônia (mg/L) | *** | Espectrofotometria – APHA (2005) |
| Nitrito (mg/L) | 1,0 | Espectrofotometria – APHA (2005) |
| Nitrato (mg/L) | 10,0 | Espectrofotometria – APHA (2005) |
| Fósforo total (mg/L) | 0,10 | Espectrofotometria – APHA (2005) |
| <i>Clorofila a</i> (µg/L) | 30,0 | Espectrofotometria – APHA (2005) |
| Coliformes totais (NMP/100 mL) | * | Colilert – APHA (2005) |
| <i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL) | 1.000 ⁽³⁾ | Colilert – APHA (2005) |

Fonte: Autora (2022).

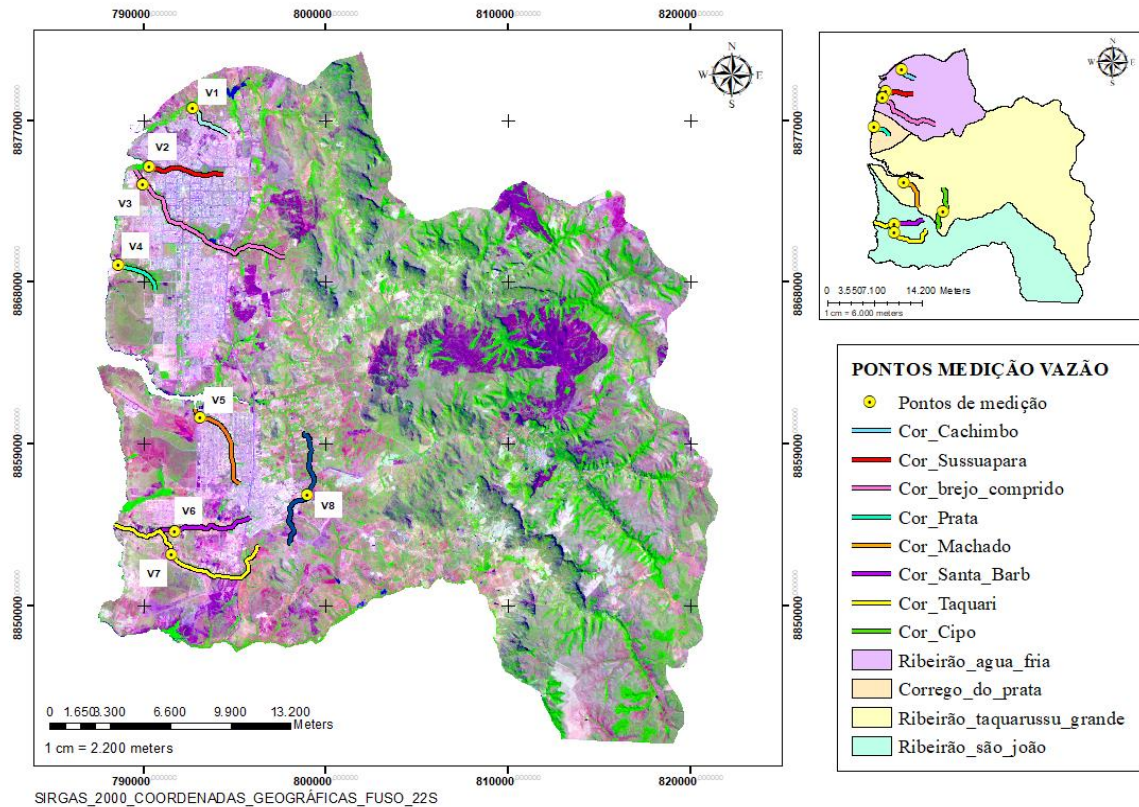
4.2.1 Análise *in situ* e *ex situ*

Os parâmetros de temperatura, condutividade elétrica, turbidez, sólidos totais dissolvidos, pH e oxigênio dissolvido foram avaliados *in loco* com aparelhos portáteis de medição, devido à suscetibilidade a alterações. Em seguida foram coletadas as amostras de água para análise *ex situ* dos parâmetros de demanda bioquímica de oxigênio, amônia, nitrito, nitrato, fósforo total, *Clorofila a*, coliformes totais e *Escherichia coli*. As amostras foram etiquetadas e armazenadas em recipientes esterilizados fornecidos pelo laboratório, em seguida acondicionadas em caixas térmicas e transportadas até o local de análise.

4.3 Aspectos Hidrológicos dos Córregos Urbanos

Afim de avaliar o comportamento hidrológico dos córregos urbanos em ambos os períodos climáticos do estado, foram realizadas duas campanhas de medições das vazões durante o ano de 2021. As medições foram realizadas em um único ponto definido na foz de cada córrego, devido a maior concentração do fluxo hidrográfico nestas zonas. Assim como as análises de qualidade da água, a avaliação dos aspectos hidrológicos foi realizada no mês de abril no período chuvoso e no mês outubro no período de estiagem. A Figura 7 demonstra os pontos de medições de vazões.

Figura 7 - Pontos de medição de vazões



Fonte: Autora (2022).

Utilizou-se o Equipamento FlowTracker serial P5001/ CPU Firmware Version 3.9 software version 2.30/Mounting Corretion 0.0%, para a medição da vazão dos Córregos: Cachimbo, Sussuapara, Brejo Comprido, Machado, Santa Barbara, Taquari e Cipó. Conforme especificações técnicas do equipamento, o mesmo é indicado para medição de vazão com até 1 metro de profundidade, fluxo linear homogêneo e de pouca turbulência.

A medição da vazão do Córrego do Prata foi realizada com o equipamento SonTek RiverSurveyor® S5 and M9 (U.S) (Patent 8, 125, 849), de acordo com especificações técnicas do equipamento, o mesmo é ideal para medição de corpos hídricos com profundidade acima de 01 metro, sendo uma característica identificado preliminarmente no Córrego do Prata em ambas as estações. Os equipamentos foram disponibilizados pela Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMARH do Estado do Tocantins. Na Figura 8 pode ser visualizado os equipamentos utilizados.

Figura 8 - Equipamentos de medições de vazões



a) Flowtracker serial P5001



b) Sontek riversurveyor M9

Fonte: Autora (2022)

4.4 Análise Multitemporal da Evolução do Uso e Ocupação do Solo (1988 a 2020)

A análise multitemporal consistiu em avaliar a evolução do uso e ocupação do solo das microbacias hidrográficas urbanas e suas áreas de preservação permanente – APP, entre os anos de 1988, 1999, 2010 e 2020.

Para os procedimentos da análise foram utilizados dados de sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas e o software ArcGis 10.7.

4.4.1 Estruturação dos dados e esquematização cartográfica

Para a caracterização da dinâmica de uso e ocupação do solo e determinação das taxas de transformações ocorridas por período avaliado, utilizou-se dados de sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas e o software ArcGis 10.7. A base de dados geoespaciais das imagens de satélite e vetores foram obtidos pelo Instituto de Natureza do Tocantins – NATURATINS, Secretaria do Planejamento e Orçamento – SEPLAN/TO, Sistema de Informações Geográficas de Palmas – GEOPALMAS e Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA. Os mapas de cobertura e uso da terra foram obtidos na Plataforma digital MapBiomas.

O banco de dados espaciais foi construído no software ArcGis 10.7 Desktop. O software possibilitou a produção dos elementos e esquematização cartográfica, foi utilizado o sistema de referência SIRGAS-2000 (*Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas*) no manuseio e projeção dos dados. Posteriormente, foi realizado o tratamento e ordenamento desses dados em forma de mapas nas escalas 1:2.000.000, 1:1.000.000, 1:100.000, 1:80.000, 1:60.000,

1:50.000 e 1:30.000. Os dados permitiram a qualificação e quantificação espaço-temporal das variações de uso e cobertura do solo das microbacias hidrográficas.

4.4.2 Mapeamento

Nessa etapa realizou-se a extração de drenagens e delimitação das bacias a partir do processamento de uma imagem de modelo digital de elevação (MDE) obtida a partir dos dados do SRTM do inglês “*Shuttle Radar Topography Mission*”, o mapeamento dos canais de drenagem foi realizado com auxílio do software ArcGis 10.7, na extensão do *ArcMap* > *Spatial Analyst Tools* > *Hydrology* > *Fill*. Posteriormente, foi gerado um arquivo em formato raster com a direção do fluxo no caminho *ArcToolbox*, extensão *Spatial Analyst Tools* > *Hydrology* > *Flow Direction*, em seguida, no arquivo raster direção gerou-se o fluxo acumulado na extensão *Spatial Analyst Tools* > *Hydrology* > *Flow Accumulation*.

Em seguida foi gerado um arquivo raster com as drenagens extraídas em *ArcToolbox* > *Spatial Analyst* > *Conditional* > *Con*. Sequentemente foi criado o arquivo shape das drenagens em *ArcToolbox* > *Spatial Analyst Tools* > *Hydrology* > *Stream to Feature*. Em seguida foram delimitadas as microbacias hidrográficas a partir de um *shape* de ponto aplicando a extensão *ArcToolbox* > *Spatial Analyst Tools* > *Hydrology* > *Watershed*. Feito isso, a microbacia delimitada foi transformada para o formato de polígono no caminho *ArcToolbox* extensão *Conversion Tools* > *From Raster* > *Raster to Polygon*. Esse procedimento foi realizado para delimitação de todas as microbacias.

As áreas de preservação permanente dos 08 córregos urbanos foram mapeadas utilizando a base de dados vetoriais disponibilizada no Sistema de Informações Geográficas de Palmas – GEOPALMAS, pois o município possui legislação específica para a delimitação das áreas de preservação permanente – APP dos cursos d’água na sua esfera de sua competência, instituída pela Lei Complementar Nº 400, de 2 de abril de 2018 (PALMAS, 2018).

Para a qualificação e quantificação dos índices de evolução do uso e ocupação do solo, foram obtidos 4 mapas da Plataforma digital MapBiomias com abrangência do Município de Palmas, os arquivos são imagens classificadas da coleção 6 do satélite *Landsat*, possuem formato matricial (raster) (pixel de 30x30m) e resolução espacial de 30 m (publicada em agosto de 2021, cobrindo o período de 1985 – 2020). As imagens utilizadas correspondem aos anos de 1988, 1999, 2010 e 2020.

Em seguida, realizou-se o recorte das imagens classificadas da plataforma MapBiomias de acordo com a geometria da área de estudo. Primeiramente foi feito o recorte das imagens em

relação a área de todas as microbacias, com auxílio do software ArcGis 10.7, no caminho *ArcToolbox*, na extensão > *Data Management Tools* > *Raster Processing* > *Clip*.

Logo após, foram reagrupadas as classes menos frequentes do recorte da área de estudo e reclassificadas para melhor interpretação, aplicando a extensão *ArcToolbox* > *Spatial Analyst Tools* > *Reclass* > *Reclassify*.

Feito isso, os mapas em formato raster foram convertidos para o formato de vetor, na extensão *ArcToolbox* > *Conversion Tools* > *From Raster* > *Raster to Polygon*. Seguidamente, realizou-se o recorte dos arquivos vetoriais em relação a cada microbacia em *ArcToolbox* > *Analysis Tools* > *Extract* > *Clip*. Sequentemente, calculou-se as áreas das microbacias, das classes uso e ocupação do solo e seus percentuais.

4.4.3 Análise Multitemporal da Evolução do Uso e Ocupação do Solo

As imagens classificadas da plataforma MapBiomias possibilitaram a extração das classes de uso e cobertura do solo da área de estudo, onde cada feição possui um identificador aliado a uma legenda.

O corte das 08 microbacias demonstrou 10 classes de uso e ocupação do solo, sendo: Formação Florestal (3); Formação Savânica (4); Campo Alagado e Área Pantanosa (11); Formação campestre (12); Pastagem (15); Mosaico de Agricultura e Pastagem (21); Área Urbanizada (24); Outras áreas não vegetadas (25); Mineração (30) e Corpos D'água (33). No entanto, as classes menos frequentes foram reorganizadas em 5 grupos, para melhor interpretação. O Quadro 2 demonstra a reorganização das classes.

Quadro 2 – Classes de uso e ocupação do solo do campo de estudo.

| Classes de uso e ocupação do solo | Aspectos e reorganização |
|--|--|
| Formação Florestal (3) | Formação Savânica (4), Campo Alagado e Área Pantanosa (11), Formação campestre (12). |
| Pastagem (15) | Mosaico de Agricultura e Pastagem (21). |
| Área Urbanizada (24) | Área urbanizada composta pelo município de Palmas, Mineração (30). |
| Área não Vegetada (25) | Predomínio de superfícies não vegetadas. |
| Corpos D'água (33) | Rios, lagos e reservatórios |

Fonte: MapBiomias (2021), adaptado pela Autora.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação da Qualidade da Água

Neste tópico serão demonstrados os resultados das análises de qualidade da água dos córregos urbanos do estudo conforme condições e padrões aplicáveis a águas doces classe 2, estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2005.

5.1.1 Córrego Cachimbo

O Córrego Cachimbo é localizado na região norte de Palmas -TO, as áreas entorno desse manancial possuem grande ocupação urbana e uso do solo desordenado, no ponto de coleta P1 verificou-se um aterramento do seu leito que impossibilitava o seguimento do fluxo natural da água.

Na Tabela 2 demonstra-se o resultado das análises laboratoriais no período chuvoso (C) e de seca (S). Os dados mostram que os parâmetros de turbidez, sólidos totais dissolvidos, demanda bioquímica de oxigênio, nitrito, nitrato e *Clorofila a* se mantiveram dentro dos padrões estipulados na Resolução CONAMA nº 357/2005 nas duas campanhas.

No período de estiagem não havia água no ponto P1, nos demais pontos (P2, P3 e P4) as concentrações de oxigênio dissolvido (OD) está abaixo dos padrões preconizados pela Resolução CONAMA 357/2005, este parâmetro é fundamental para sobrevivência dos seres aquáticos. Valores negativos de OD podem estar relacionados a elevada concentração de matéria orgânica na água, nesses pontos haviam várias canalizações saindo das habitações as margens da microbacia, nas quais faziam lançamentos de efluentes domésticos no leito do córrego.

O pH teve valores ligeiramente inferiores ao padrão para corpos d'água de classe 2 no período chuvoso nos pontos P2, P3 e P4. As análises do parâmetro coliformes totais apresentaram valores superiores a 1299,0 NMP/100 mL em todas as amostras e períodos. No Ponto P2 (S) a *Escherichia coli* teve concentrações acima de 1000 NMP/100 mL, sendo excedente ao limite da resolução.

Tabela 2 - Qualidade da água do Córrego Cachimbo

| Parâmetro | Unidades | P1 | | P2 | | P3 | | P4 | |
|-------------------------|------------|--------|-----|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | C | S | C | S | C | S | C | S |
| Temperatura | °C | 26.82 | S/a | 27.68 | 29.3 | 28.99 | 29.2 | 28.44 | 28.1 |
| Condutividade | µS/cm | 56 | S/a | 59 | 43.7 | 47 | 34.4 | 68 | 51.2 |
| Turbidez | NTU | 11.1 | S/a | 3.8 | 8.82 | 19.1 | 63.4 | 8.1 | 28.9 |
| STD | mg/L | 37 | S/a | 38 | 21.9 | 31 | 17.2 | 44 | 25.6 |
| pH | (-) | 6.03 | S/a | 5.35 | 6.54 | 5.68 | 6.18 | 5.52 | 6.18 |
| DBO | mg/L | 0.55 | S/a | 1.31 | 1.64 | 2.12 | 2.21 | 2.91 | 3.46 |
| OD | mg/L | 7.72 | S/a | 5.41 | 4.99 | 7.34 | 4.48 | 7.54 | 4.34 |
| Amônia | mg/L | 0.05 | S/a | 0.07 | 0.04 | 0.17 | 0.33 | 0.12 | 0.14 |
| Nitrito | mg/L | 0.007 | S/a | 0.008 | 0.005 | 0.007 | 0.004 | 0.007 | 0.006 |
| Nitrato | mg/L | 1.2 | S/a | 1.8 | 1.6 | 1.6 | 0.9 | 2.4 | 2.3 |
| Fósforo total | mg/L | 0.06 | S/a | 0.05 | 0.04 | 0.08 | 0.09 | 0.06 | 0.03 |
| Clorofila-a | µg/L | 0.29 | S/a | 0.22 | <0.002 | 0.8 | 0.01 | 0.63 | <0.002 |
| Coliformes totais | NMP/100 mL | 2419.6 | S/a | 1299.7 | >2419.6 | >2419.6 | >2419.6 | >2419.6 | >2419.6 |
| <i>Escherichia coli</i> | NMP/100 mL | 304.4 | S/a | 111.2 | 1413.6 | 378.4 | 344.8 | 365.4 | 235.9 |

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; OD: Oxigênio Dissolvido; C: período chuvoso; S: período de seca; S/a: sem água.

Fonte: Autores, 2022.

5.1.2 Córrego Sussuapara

O Córrego Sussuapara também se localiza na região norte de Palmas, os resultados de suas análises da qualidade água pode ser visto na Tabela 3. As análises mostram que os parâmetros de turbidez, sólidos totais dissolvidos, DBO, oxigênio dissolvido, nitrito, nitrato e *Clorofila a* estão dentro dos padrões da Resolução CONAMA 357/2005 em todas as amostras e nos dois períodos climáticos. O pH equivale ao potencial hidrogeniônico de uma solução, onde indica a concentração da acidez ou basicidade de uma solução aquosa, no período chuvoso o parâmetro apresentou valores abaixo dos padrões permitidos.

O fósforo total apresentou-se superior ao que se preconiza na legislação, nos pontos P5 e P6, valores superiores desse parâmetro podem estar associados ao recebimento de efluentes domésticos, indústrias e pelo carreamento de nutrientes. Nesta microbacia foram localizados três pontos de lançamentos de águas pluviais e vários pontos de lançamentos de efluentes domésticos sem tratamento. Níveis elevados de fósforo no ambiente aquático podem desencadear o crescimento desordenado de microalgas e potencializar o processo de eutrofização. Esta microbacia recebe grande contribuição de redes de drenagem de águas pluviais e tubos de dreno, o que pode estar ligado a alteração nos parâmetros coliformes totais e *Escherichia coli*.

Tabela 3 - Qualidade da água do Córrego Sussuapara

| Parâmetro | Unidades | P5 | | P6 | | P7 | |
|-------------------|------------|---------|-----|---------|---------|---------|--------|
| | | C | S | C | S | C | S |
| Temperatura | °C | 27.63 | S/a | 27.79 | 27.7 | 28.46 | 26.4 |
| Condutividade | µS/cm | 104 | S/a | 26 | 20.11 | 27 | 23.64 |
| Turbidez | NTU | 1.7 | S/a | 0.4 | 3.19 | 1.6 | 6.74 |
| STD | mg/L | 67 | S/a | 17 | 10.05 | 0.018 | 11.8 |
| pH | (-) | 5.61 | S/a | 5.66 | 6.33 | 5.86 | 6.69 |
| DBO | mg/L | 2.3 | S/a | 0.35 | 1.01 | 1.67 | 0.96 |
| OD | mg/L | 6.67 | S/a | 6.74 | 5.7 | 7.58 | 5.55 |
| Amônia | mg/L | 0.11 | S/a | 0.04 | 0.04 | <0.02 | 0.2 |
| Nitrito | mg/L | 0.007 | S/a | 0.006 | 0.004 | 0.06 | 0.006 |
| Nitrato | mg/L | 0.5 | S/a | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.8 |
| Fósforo total | mg/L | 0.15 | S/a | 0.14 | 0.07 | 0.06 | 0.1 |
| Clorofila-a | µg/L | 0.36 | S/a | 0.55 | <0.002 | 0.25 | <0.002 |
| Coliformes totais | NMP/100 mL | >2419.6 | S/a | >2419.6 | >2419.6 | >2419.6 | 125.9 |
| Escherichia coli | NMP/100 mL | 1553.1 | S/a | 64.4 | 178.9 | 613.1 | 56.7 |

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; OD: Oxigênio Dissolvido; C: período chuvoso; S: período de seca; S/a: sem água.

Fonte: Autores, 2022.

5.1.3 Córrego Brejo Comprido

Na Tabela 4 demonstra-se os indicadores de qualidade da água do Córrego Brejo Comprido. Os resultados mostram que o pH teve valores alterados em todas as amostras no período chuvoso, e no ponto P8 no período de seca, devido a diminuição do regime hidrográfico.

O oxigênio dissolvido apresentou valores abaixo dos níveis estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2005 no período de estiagem. Verificou-se valores alterados do parâmetro fósforo total nos pontos P9 e P10 no período de estiagem. Os coliformes totais tiveram acima de 1000 NMP/100 mL em todas as amostras durante o período chuvoso.

Esta microbacia é localizada na região central, acomoda um importante parque de lazer e recreação, em sua extensão existe um Lago artificial formado por intervenção antrópica, no qual funciona como bacia de contenção e recebe grande carga de lançamentos de drenagem de águas pluviais, carreamento de sedimentos e contribuição de vias urbanas. No local de coleta (P8) verificou-se várias habitações irregulares e lançamentos de efluentes domésticos clandestino as margens do córrego. Nesse sentido, verifica-se que as alterações nos parâmetros de qualidade da água estão relacionadas com as diversas atividades antrópicas desordenadas constatadas, embora a área conte com rede de esgoto e de águas pluviais ao longo de todo o trajeto do corpo d'água no perímetro urbano, além de contribuições à montante do Lago provenientes da área rural desassistida com a rede coletora de esgotamento sanitário.

Tabela 4 - Qualidade da água do Córrego Brejo Comprido

| Parâmetro | Unidades | P8 | | P9 | | P10 | |
|-------------------------|------------|---------|--------|---------|-------|---------|--------|
| | | C | S | C | S | C | S |
| Temperatura | °C | 26.76 | 27.9 | 28.18 | 27.7 | 28.53 | 28.9 |
| Condutividade | µS/cm | 25 | 14.11 | 28 | 20.55 | 30 | 28.24 |
| Turbidez | NTU | 6.2 | 13.7 | 92 | 32.7 | 7.7 | 23.1 |
| STD | mg/L | 0.016 | 7.02 | 0.018 | 10.26 | 20 | 14.12 |
| pH | (-) | 5.58 | 5.83 | 5.47 | 6.13 | 5.57 | 6.43 |
| DBO | mg/L | 1.5 | 0.73 | 1.64 | 0.57 | 0.33 | 0.48 |
| OD | mg/L | 8 | 3.15 | 7.54 | 3.65 | 5.73 | 4.5 |
| Amônia | mg/L | 0.13 | 0.09 | 0.16 | 1.73 | 0.16 | 0.13 |
| Nitrito | mg/L | 0.007 | 0.003 | 0.008 | 0.002 | 0.007 | 0.004 |
| Nitrato | mg/L | 0.6 | 0.4 | 0.8 | 0.5 | 0.9 | 0.5 |
| Fósforo total | mg/L | 0.09 | 0.09 | 0.08 | 0.28 | 0.09 | 0.65 |
| Clorofila-a | µg/L | 0.42 | <0.002 | 0.65 | 1.18 | 0.36 | <0.002 |
| Coliformes totais | NMP/100 mL | >2419.6 | 103.5 | >2419.6 | 135.3 | >2419.6 | 47.1 |
| <i>Escherichia coli</i> | NMP/100 mL | 517.2 | 60.5 | 686.7 | 49.6 | 579.4 | 36.9 |

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; OD: Oxigênio Dissolvido; C: período chuvoso; S: período de seca; S/a: sem água.
Fonte: Autores, 2022.

5.1.4 Córrego do Prata

O Córrego do Prata é localizado no Plano Diretor Sul de Palmas, em anos anteriores esta microbacia foi receptora de efluentes de uma estação de tratamento de esgoto.

Os resultados analíticos de qualidade da água podem ser visualizados na Tabela 5. As análises demonstram alterações do pH nos pontos P11 e P12 nos dois períodos climáticos, e no ponto P13 somente no período de estiagem, demonstrando concentração de acidez na água.

O Parâmetro de OD apresentou concentrações muito baixas no período de estiagem em todas as amostragens, chegando a 1,03 mg/L no Ponto P3, não alcançando os padrões estabelecidos na resolução. Foi observado alterações nos valores de fósforo total nos pontos P11 e P13 no período chuvoso. O parâmetro de coliformes totais apresentou níveis acima de 1500 NMP/100 mL em todas as amostragens e períodos. No ponto P13 o parâmetro *Escherichia coli* apresentou resultados acima dos limites permitidos nos dois períodos.

O Córrego do Prata recebe drenagem de águas pluviais em vários pontos da sua extensão, o que pode interferir na qualidade da água sobretudo no período de estiagem, onde autodepuração natural é reduzida devido a diminuição do fluxo hidrográfico. Os demais parâmetros mantiveram-se dentro dos valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 em ambas as estações.

Tabela 5 - Qualidade da água do Córrego do Prata

| Parâmetro | Unidades | P11 | | P12 | | P13 | |
|-------------------|------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| | | C | S | C | S | C | S |
| Temperatura | °C | 29.61 | 31.1 | 28.85 | 28.9 | 27.23 | 28.3 |
| Condutividade | µS/cm | 15 | 10.06 | 45 | 36.1 | 24 | 37.9 |
| Turbidez | NTU | 3.8 | 5.63 | 2.1 | 2.57 | 9.9 | 10.9 |
| STD | mg/L | 10 | 4.82 | 29 | 18 | 15 | 19 |
| pH | (-) | 4.51 | 5.03 | 4.79 | 5.56 | 4.88 | 6.32 |
| DBO | mg/L | 1.02 | 0.51 | 0.99 | 0.4 | 1.04 | 0.24 |
| OD | mg/L | 6.98 | 2.95 | 7.24 | 1.03 | 6.62 | 2.78 |
| Amônia | mg/L | <0.02 | 0.03 | 0.11 | 0.05 | 0.11 | 0.04 |
| Nitrito | mg/L | 0.007 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.005 | 0.003 |
| Nitrato | mg/L | 0.11 | 0.4 | 0.08 | 0.9 | 1 | 0.4 |
| Fósforo total | mg/L | 0.11 | 0.04 | 0.08 | 0.04 | 0.08 | 0.11 |
| Clorofila-a | µg/L | 0.28 | <0.002 | 0.26 | <0.002 | 0.08 | 0.2 |
| Coliformes totais | NMP/100 mL | 1553.1 | 1553.1 | >2419.6 | >2419.6 | >2419.6 | >2419.6 |
| Escherichia coli | NMP/100 mL | 140.3 | 52 | 436 | 436 | 1203.3 | 1413.6 |

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; OD: Oxigênio Dissolvido; C: período chuvoso; S: período de seca; S/a: sem água.
Fonte: Autores, 2022.

5.1.5 Córrego Machado

Na Tabela 6 pode ser visualizado os resultados analíticos realizados no Córrego Machado. Os dados apresentam as alterações nos parâmetros de qualidade da água: (a) oxigênio dissolvido, nos quatro pontos de coleta, no período de seca, quando há redução vazão; (b) fósforo total, no ponto P14, nas duas estações, e no ponto P16 na estação de seca; (c) Coliformes totais em todos os pontos, nos dois períodos analisados; e (d) *E. coli* no ponto P16, em ambas as estações, e no ponto P17 na estação de estiagem. As alterações na qualidade da água observadas nas análises estão relacionadas a presença de dejetos orgânicos que alteram as condições e padrões de qualidade da água em desconformidade com os requisitos para corpos d'água classe 2. Possivelmente essas alterações se devem a localização desta microbacia, que se encontra em uma região com alta taxa de ocupação e uso do solo, o que aumenta o nível de pressão antrópica provocada pelo desmatamento da mata ciliar e a deposição de resíduos sólidos e líquidos nas margens do corpo hídrico.

Os demais parâmetros se mantiveram dentro dos valores aceitáveis preconizados na Resolução CONAMA 357/2005 em ambos os períodos.

Tabela 6 - Qualidade da água do Córrego Machado

| Parâmetro | Unidades | P14 | | P15 | | P16 | | P17 | |
|----------------------------|------------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|
| | | C | S | C | S | C | S | C | S |
| Temperatura | °C | 27.1 | 32.2 | 25.96 | 28.8 | 26.19 | 28.3 | 26.66 | 28.08 |
| Condutividade | µS/cm | 97 | 63.9 | 100 | 78.9 | 91 | 75.5 | 88 | 72.8 |
| Turbidez | NTU | 2.4 | 12.7 | 3.4 | 41.9 | 4.2 | 30.5 | 18.6 | 22.3 |
| STD | PPM | 62 | 31.9 | 65 | 39.5 | 58 | 37.8 | 57 | 36.4 |
| pH | (-) | 6.86 | 6.49 | 6.82 | 6.33 | 6.69 | 6.52 | 6.4 | 6.82 |
| DBO | mg/L | 1.21 | 0.31 | 2.19 | 0.82 | 2.93 | 1.41 | 1.87 | 1.22 |
| OD | mg/L | 5.37 | 4.29 | 7.88 | 2.31 | 7.67 | 4.46 | 5.81 | 4.8 |
| Amônia | mg/L | 0.33 | 0.14 | 0.43 | 0.27 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.2 |
| Nitrito | mg/L | 0.006 | 0.009 | 0.006 | 0.007 | 0.006 | 0.069 | 0.004 | 0.0091 |
| Nitrato | mg/L | 2.6 | 1.3 | 1.7 | 0.7 | 1.8 | 0.9 | 2.1 | 0.9 |
| Fósforo total | mg/L | 0.12 | 0.13 | 0.008 | 0.03 | 0.06 | 0.15 | 0.08 | 0.3 |
| Clorofila-a | µg/L | 0.05 | 0.2 | 0.26 | 0.39 | 0.18 | <0.002 | 0.27 | <0.002 |
| Coliformes termotolerantes | NMP/100 mL | >2419.6 | >2419.6 | >2419.6 | 1413.6 | >2419.6 | >2419.6 | >2419.6 | >2419.6 |
| Escherichia coli | NMP/100 mL | 218.7 | 131.7 | 344.8 | 185 | 1046.2 | 686.7 | >2419.6 | 1119.9 |

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; OD: Oxigênio Dissolvido; C: período chuvoso; S: período de seca; S/a: sem água.
Fonte: Autores, 2022.

5.1.6 Córrego Santa Bárbara

A Tabela 7 mostra os resultados das análises de água do Córrego Santa Bárbara, onde foram observados a desconformidade com a Resolução CONAMA nº 357/2005 nos parâmetros: (a) pH, DBO e OD no ponto P19, próximo a sua foz, na estação de seca; (b) fósforo total nos pontos P18 e P19 no período de estiagem; e (c) Coliformes totais nos pontos P18 e P19, nas duas estações. As alterações na qualidade da água estão relacionadas à alta concentração de uso e ocupação do solo, expansão urbana e lançamentos de água da rede de drenagem urbana na área de cabeceira e anterior a sua foz. Os valores de coliformes totais indicam a presença de lançamentos de esgotos domésticos juntamente com a rede de drenagem.

Tabela 7 - Qualidade da água do Córrego Santa Barbara

| Parâmetro | Unidades | P18 | | P19 | |
|-------------------|------------|---------|---------|---------|---------|
| | | C | S | C | S |
| Temperatura | °C | 26.76 | 29.1 | 26.81 | 29.2 |
| Condutividade | µS/cm | 111 | 77.6 | 81 | 22.06 |
| Turbidez | NTU | 2.9 | 17.4 | 3.6 | 8.15 |
| STD | mg/L | 72 | 38.8 | 53 | 11.02 |
| pH | (-) | 6.91 | 6.65 | 6.88 | 5.76 |
| DBO | mg/L | 0.41 | 1.65 | 1.94 | 5.76 |
| OD | mg/L | 5.21 | 3.18 | 6.02 | 3.03 |
| Amônia | mg/L | 0.21 | 0.12 | 0.22 | 0.09 |
| Nitrito | mg/L | 0.006 | 0.004 | <0.002 | 0.005 |
| Nitrato | mg/L | 2.1 | 0.6 | 1.8 | 1 |
| Fósforo total | mg/L | 0.08 | 0.04 | 0.09 | 0.09 |
| Clorofila-a | µg/L | 0.26 | 0.59 | 0.25 | <0.002 |
| Coliformes totais | NMP/100 mL | >2419.6 | >2419.6 | >2419.6 | >2419.6 |
| Escherichia coli | NMP/100 mL | 488.4 | 488.4 | 435.2 | 108.1 |

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; OD: Oxigênio Dissolvido; C: período chuvoso; S: período de seca; S/a: sem água.
Fonte: Autores, 2022.

5.1.7 Córrego Taquarí

A Tabela 8 representa os resultados das análises de qualidade da água realizadas no Córrego Taquarí. Os dados demonstram que os parâmetros de turbidez, sólidos totais dissolvidos, nitrito, nitrato, fósforo total, *Clorofila a* e *E. coli* se mantiveram dentro dos valores permitidos na Resolução CONAMA 357/2005 em todos os pontos e períodos. Os parâmetros de DBO, OD e pH apresentaram resultados negativos no ponto P21 durante período de estiagem, neste ponto está localizado a foz do Córrego Santa Bárbara e, provavelmente, é responsável pelo aporte de nutrientes carregados pela rede de drenagem. No período seco o OD teve valor negativo no ponto P22.

O parâmetro coliforme total apresentou-se acima dos valores estabelecidos pela norma em todos os pontos nas duas estações do ano, indicando presença de desejos orgânicos provenientes do lançamento de esgoto doméstico.

Tabela 8 - Qualidade da água do Córrego Taquarí

| Parâmetro | Unidades | P20 | | P21 | | P22 | |
|-------------------------|------------|---------|-----|---------|---------|---------|---------|
| | | C | S | C | S | C | S |
| Temperatura | °C | 27.19 | S/A | 26.57 | 28.7 | 26.74 | 29.7 |
| Condutividade | µS/cm | 30 | S/A | 20 | 9.88 | 48 | 17.79 |
| Turbidez | NTU | 1.4 | S/A | 4.3 | 12.3 | 5 | 12.5 |
| STD | mg/L | 20 | S/A | 13 | 4.93 | 32 | 8.9 |
| pH | (-) | 6.75 | S/A | 6.65 | 5.27 | 6.97 | 6.12 |
| DBO | mg/L | 1.51 | S/A | 1.34 | 5.27 | 2.4 | 0.23 |
| OD | mg/L | 6.19 | S/A | 7.89 | 0.49 | 7.69 | 3.7 |
| Amônia | mg/L | 0.16 | S/A | 0.16 | <0.02 | 0.15 | 0.04 |
| Nitrito | mg/L | 0.006 | S/A | 0.003 | 0.014 | 0.005 | 0.004 |
| Nitrato | mg/L | 0.8 | S/A | 0.6 | 0.4 | 1.3 | 0.6 |
| Fósforo total | mg/L | 0.08 | S/A | 0.06 | 0.03 | 0.09 | 0.02 |
| Clorofila-a | µg/L | 0.4 | S/A | 0.21 | 0.2 | 0.1 | 0.002 |
| Coliformes totais | NMP/100 mL | >2419.6 | S/A | >2419.6 | >2419.6 | >2419.6 | >2419.6 |
| <i>Escherichia coli</i> | NMP/100 mL | 298.7 | S/A | 325.5 | 111.2 | 206.4 | 686.7 |

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; OD: Oxigênio Dissolvido; C: período chuvoso; S: período de seca; S/a: sem água.
Fonte: Autores, 2022.

5.1.8 Córrego Cipó

A Tabela 9 apresenta os resultados analíticos de qualidade da água do Córrego Cipó, onde pode ser observado que, dentre os parâmetros analisados, os coliformes totais encontram acima dos níveis preconizados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 no período chuvoso. Verificou-se a presença de *Escherichia coli* no ponto P24 no período chuvoso. Essas ocorrências indicam presença de dejetos orgânicos oriundos do lançamento de esgotos domésticos.

No período seco não havia fluxo hídrico nos pontos de análise, impossibilitando a coleta, pois o Córrego Cipó é um corpo d'água intermitente.

Tabela 9 - Qualidade da água do Córrego Cipó

| Parâmetro | Unidades | P23 | | P24 | |
|------------------|------------|---------|-----|---------|-----|
| | | C | S | C | S |
| Temperatura | °C | 27.72 | S/A | 26.94 | S/A |
| Condutividade | µS/cm | 39 | S/A | 45 | S/A |
| Turbidez | NTU | 0.6 | S/A | 3.9 | S/A |
| STD | mg/L | 26 | S/A | 30 | S/A |
| PH | Escala | 6.71 | S/A | 6.99 | S/A |
| DBO | mg/L | 1.61 | S/A | 1.71 | S/A |
| OD | mg/L | 5.22 | S/A | 7.72 | S/A |
| Amônia | mg/L | 0.15 | S/A | 0.16 | S/A |
| Nitrito | mg/L | 0.004 | S/A | <0.002 | S/A |
| Nitrato | mg/L | 0.8 | S/A | 0.9 | S/A |
| Fósforo total | mg/L | 0.06 | S/A | 0.08 | S/A |
| Clorofila-A | µg/L | 0.13 | S/A | 0.18 | S/A |
| Coliformes t. | NMP/100 mL | >2419.6 | S/A | >2419.6 | S/A |
| Escherichia coli | NMP/100 mL | 920.8 | S/A | 1046.2 | S/A |

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; OD: Oxigênio Dissolvido; C: período chuvoso; S: período de seca; S/a: sem água.
Fonte: Autores, 2022.

5.1.9 Condições e Padrões de qualidade da Resolução CONAMA nº 357/2005

Os resultados analíticos das análises laboratoriais realizadas em todos os córregos urbanos do estudo, mostram que em ambas as estações climáticas, os parâmetros de turbidez, sólidos totais dissolvidos, nitrito, nitrato e *Clorofila a*, foram positivos conforme os padrões estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces classe 2.

A turbidez teve aumento na maioria dos pontos analisados durante o período de estiagem, o nitrito e nitrato variaram em pequenas proporções entre as campanhas. Esses parâmetros são suscetíveis a variações ao longo do tempo, o que pode ser relacionado índices de precipitações e alterações naturais dos corpos d'água (Peluso *et. al.*, 2021).

O parâmetro sólidos totais dissolvidos é um indicador de qualidade que determina os níveis de substâncias filtráveis orgânicas e inorgânicas encontradas em corpos hídricos. O coeficiente de extinção luminosa (k) é uma função dos sólidos totais e da concentração da *Clorofila a*, que refletem a dispersão e adsorção por partícula (Kim *et. al.*, 2021). A *Clorofila a* é um parâmetro indicador de biomassa fitoplanctônica na água, no qual revela o crescimento de algas e cianobactérias devido ao fortalecimento por nutriente. Peluso *et. al.*, (2021) tiveram concentrações semelhantes de *Clorofila a*, no qual demonstraram uma boa qualidade de água do corpo hídrico.

Os Córregos Santa Barbara e Taquarí tiveram valores alterados de demanda bioquímica de oxigênio no período de seca, nos pontos P19 e P21. A DBO é um indicador de qualidade da água que demonstra o consumo de oxigênio por microrganismos durante a decomposição de matéria orgânica. Dalu *et. al.*, (2021) tiveram resultados semelhantes desse parâmetro nas análises de qualidade da água do Rio Sarawak, que mostraram uma tendência crescente para a jusante do corpo hídrico.

No Brasil não existe na legislação um padrão definido para a temperatura dos corpos hídricos, apenas para o lançamento de efluentes, onde o limite fixado pela Resolução CONAMA nº 430/2011 é de até 40°C. A temperatura dos corpos d'água é um parâmetro físico, quando associado a outros parâmetros pode indicar a qualidade da água, como um fator limitante à vida aquática (Percebon *et. al.*, 2005).

Segundo Piratoba *et. al.*, (2017) não existe um padrão de condutividade elétrica definido para os corpos hídricos, no entanto, em águas naturais a condutividade apresenta proporções entre 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, em águas poluídas por esgotos domésticos ou industriais, as proporções podem chegar até 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

No período chuvoso as concentrações de coliformes totais foram acima de 1.000 NMP/100 mL, em todos os pontos analisados. No período de seca este parâmetro apresentou concentrações abaixo de 1.000 NMP/100 mL apenas nos pontos P7, P8, P9 e P10. Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005 a concentração de coliformes totais para corpos d'água classe 2, não deve exceder um limite de 1.000 NMP/100 mL em 80% ou mais, de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral; a *Escherichia coli* pode ser utilizada no lugar do parâmetro de coliformes totais de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente. O lançamento de redes de drenagem de águas pluviais e despejo de esgotos nos corpos hídricos são fatores que contribuem para a entrada de microrganismos nesses ambientes (Ribeiro *et al.*, 2017).

5.2 Aspectos Hidrológicos

Neste item serão demonstradas as variações dos aspectos hidrológicos dos córregos do estudo, durante o período chuvoso e de estiagem.

A Tabela 10 mostra os resultados das medições de vazões. Os seguimentos demonstram que durante o período chuvoso havia fluxo hidrográfico em todos os pontos de medições de vazões, entretanto, no período de estiagem houve redução significativa dos volumes hidrológicos sobretudo no Córrego Cipó. Segundo relatos dos moradores locais há mais de 20

anos o córrego seca completamente nesse período. Esses aspectos caracterizam o curso d'água como intermitente, ou seja, apresenta fluxo de água apenas no período chuvoso.

Tabela 10 - Medição de vazões (Q).

| Corpo hídrico | Período Chuvoso (m ³ /s) | Período de Seca (m ³ /s) |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Córrego Cachimbo | 0.1392 | 0.0200 |
| Córrego Sussuapara | 0.1854 | 0.0353 |
| Córrego Brejo Comprido | 0.7065 | 0.1194 |
| Córrego do Prata | 0.2770 | 0.0880 |
| Córrego Machado | 0.2211 | 0.0435 |
| Córrego Santa Barbara | 0.1857 | 0.0145 |
| Córrego Taquarí | 0.2169 | 0.0001 |
| Córrego Cipó | 0.5286 | S/F |

S/F: sem fluxo.

Fonte: Autores (2022)

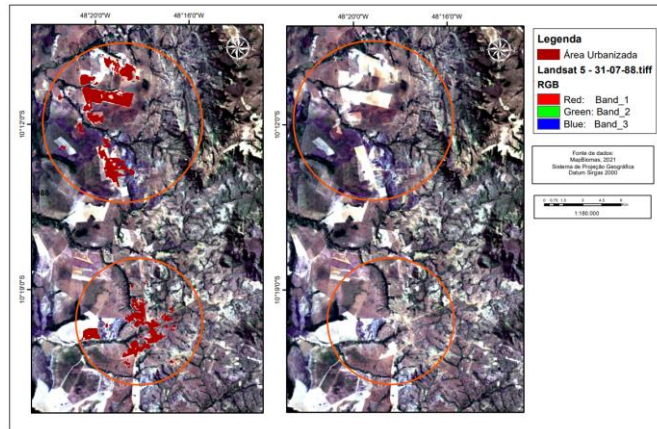
A tendência de redução das vazões dos corpos hídricos pode estar correlacionada, em partes, pela redução do regime chuvoso. Entretanto, existe a possibilidade de que as vazões mínimas dos corpos hídricos correntes reflitam as condições de recarga dos aquíferos durante o período de estiagem, desta forma, o regime de chuvas, as condições de infiltrabilidade, o uso e ocupação do solo e as características fisiológicas da cobertura vegetal, influenciam diretamente nos aspectos hidrológicos dos corpos d'água (Santos *et al.*, 2010).

5.3 Análise Multitemporal da Evolução do Uso e Ocupação do Solo (1988-2020)

Neste tópico serão apresentados os resultados da análise espaço-temporal das transformações de uso e cobertura do solo das microbacias hidrográficas do estudo, nos períodos de 1988, 1999, 2010 e 2020.

Cabe destacar a seguinte circunstância para as imagens classificadas da Plataforma MapBiomas referente ao ano de 1988, neste período as imagens do Satélite *Landsat 5* possuíam menor número de bandas espectrais e resolução espacial menos detalhista, o que pode provocar inconsistência na classificação de algumas áreas. Segundo Prado *et al.* (2009) esta confusão dos catalogadores é resultado da similaridade espectral existente entre algumas áreas, foi possível averiguar que os erros mais frequentes estavam contidos no comportamento espectral dos pixels ao atribuir a cobertura temática “Área não Vegetada” como pertencentes à classe “Área Urbanizada”, conforme demonstrado na Figura 9.

Figura 9 – Confusão dos classificadores imagem do Satélite *Landsat 5* (1988)

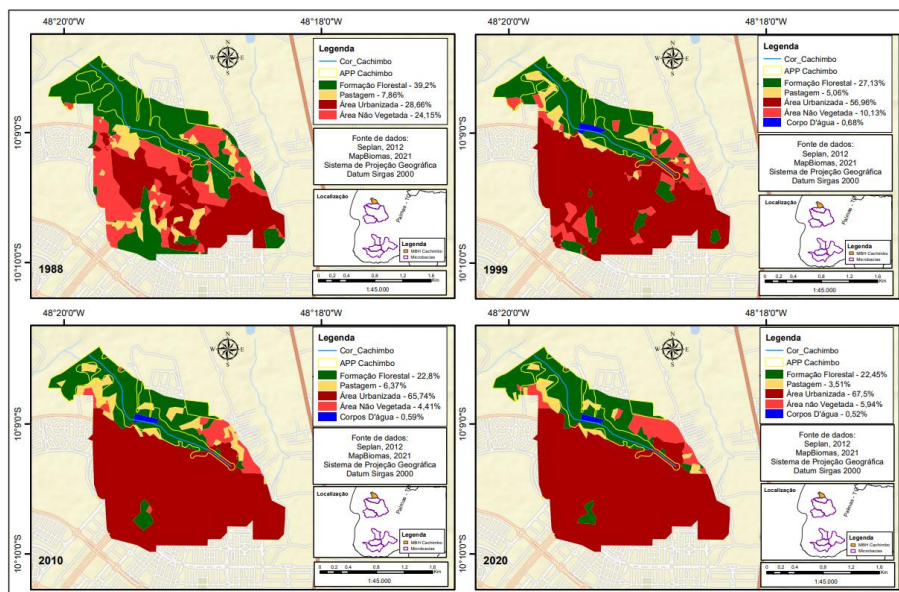


Fonte: Autora (2022).

5.3.1 Microbacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo

Na Figura 10 é possível observar as mudanças de cobertura e uso do solo na Microbacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo. No ano de 1988 a classe “Formação Florestal” correspondia a 39,20%, “Pastagem” 7,86%, “Área Urbanizada” 28,68% e “Área não Vegetada” 28,68% da área total da microbacia. Em 1999 as classes “Formação Florestal e Pastagem” tiveram redução de seus percentuais. Em 2020 a área urbana passou a abranger 67,50% da área total, enquanto as formações florestais reduzem a 22,45%.

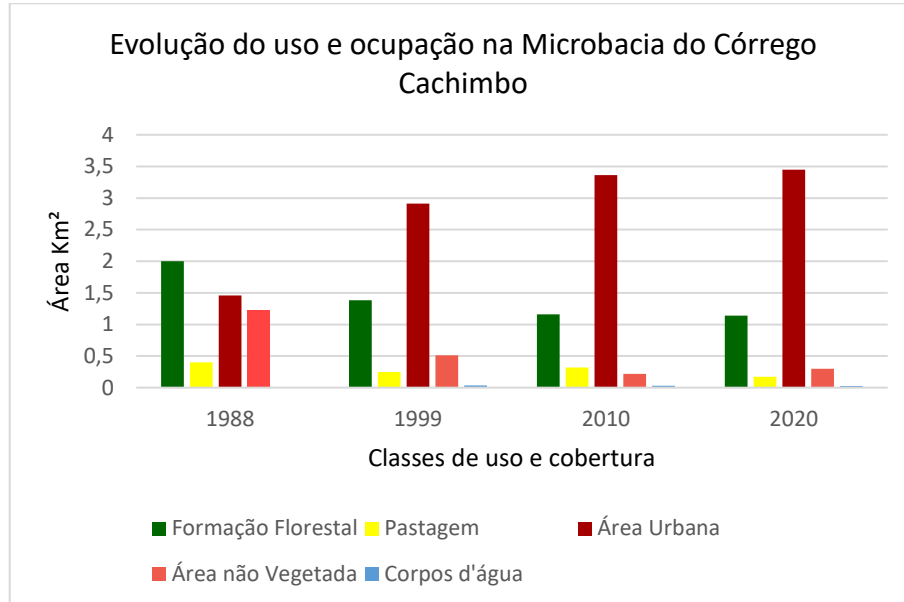
Figura 10 - Uso e ocupação do solo na Microbacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo (1988, 1999, 2010 e 2020)



Fonte: Autora (2022).

No Gráfico 1 é demonstrado de forma dinâmica as variações do uso e ocupação do solo da microbacia ao longo dos anos. Podendo ser observado que à medida que a classe “Formação Florestal” reduziu, a classe “Área Urbanizada” teve aumento significativo.

Gráfico 1 - Uso e ocupação do solo na Microbacia do Córrego Cachimbo por Km²

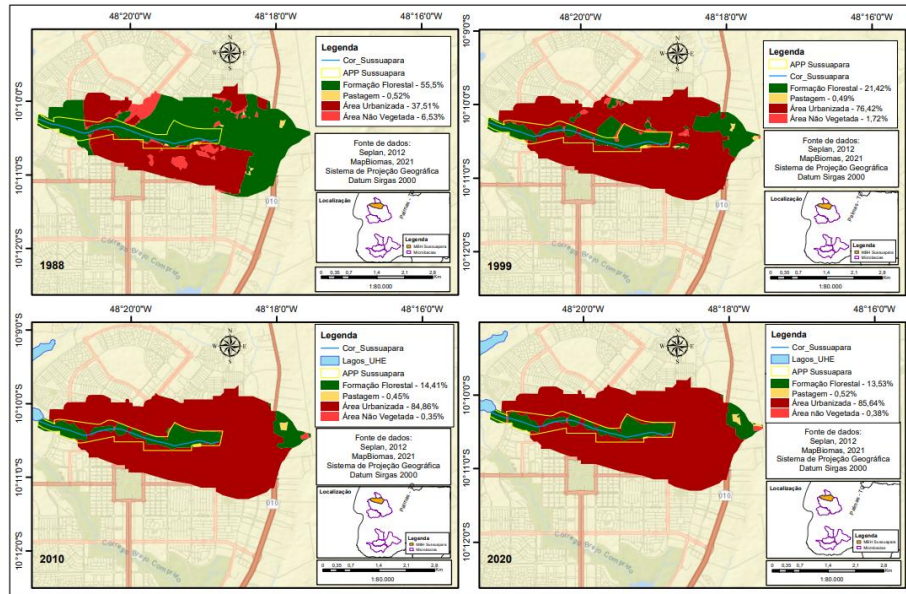


Fonte: Autora (2022)

5.3.2 Microbacia Hidrográfica do Córrego Sussuapara

Na Figura 11 é possível observar a evolução do uso e cobertura do solo na Microbacia Hidrográfica do Córrego Sussuapara. No ano de 1988 mais da metade da microbacia era compreendida pela classe “Formação Florestal”, em 1999 a classe passou a corresponder a 21,42% e a área urbana a 76,42%. A classe “Área Urbanizada” teve comportamento crescente no decorrer dos anos, abrangendo 84,86% em 2010 e 85,64% em 2020.

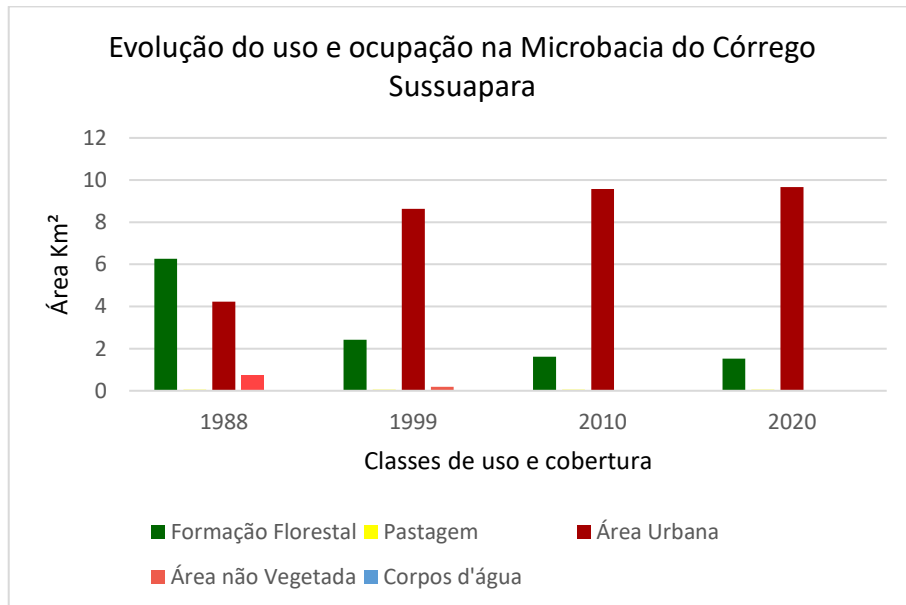
Figura 11 - Uso e ocupação do solo na Microbacia Hidrográfica do Córrego Sussuapara (1988, 1999, 2010 e 2020)



Fonte: Autora (2022).

O Gráfico 2 demonstra as faixas de variações do uso e ocupação do solo na microbacia nos períodos de análise. As classes “Pastagem e Área não Vegetada” não apresentam mudanças significativas nos períodos avaliados.

Gráfico 2 - Uso e ocupação do solo na Microbacia do Córrego Sussuapara por Km²

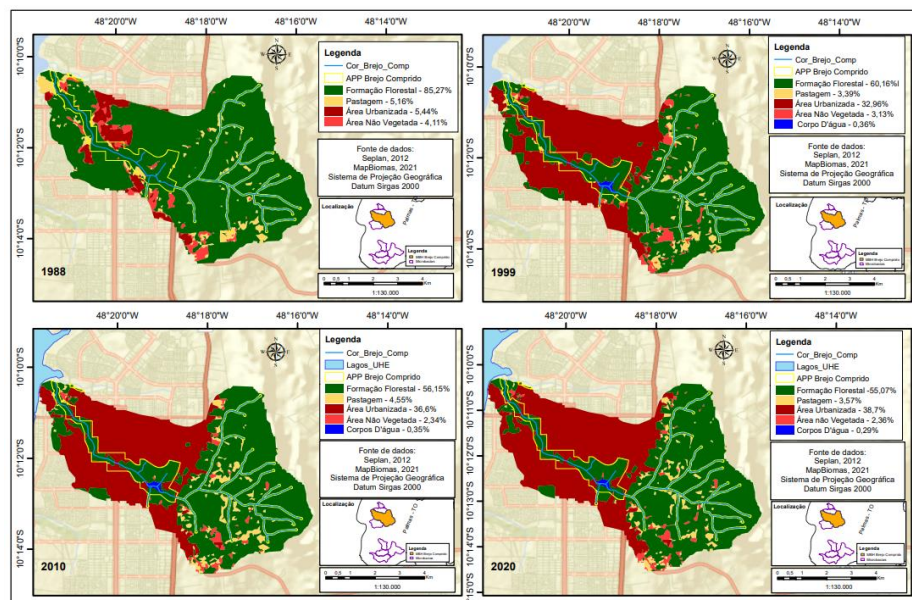


Fonte: Autora (2022).

5.3.3 Microbacia Hidrográfica do Córrego Brejo Comprido

As mudanças de cobertura e uso do solo na Microbacia Hidrográfica do Córrego Brejo Comprido no decorrer dos anos de 1988, 1999, 2010 e 2020 pode ser observada na Figura 12. Em 1988 grande parte da área da microbacia possuía vegetação nativa. Em 1999 teve maior variação nas classes “Formação Florestal e Área Urbanizada” que passaram a corresponder a 60.16% e 32.96% respectivamente, e houve o surgimento da classe “Corpos D’água” com 0.36%.

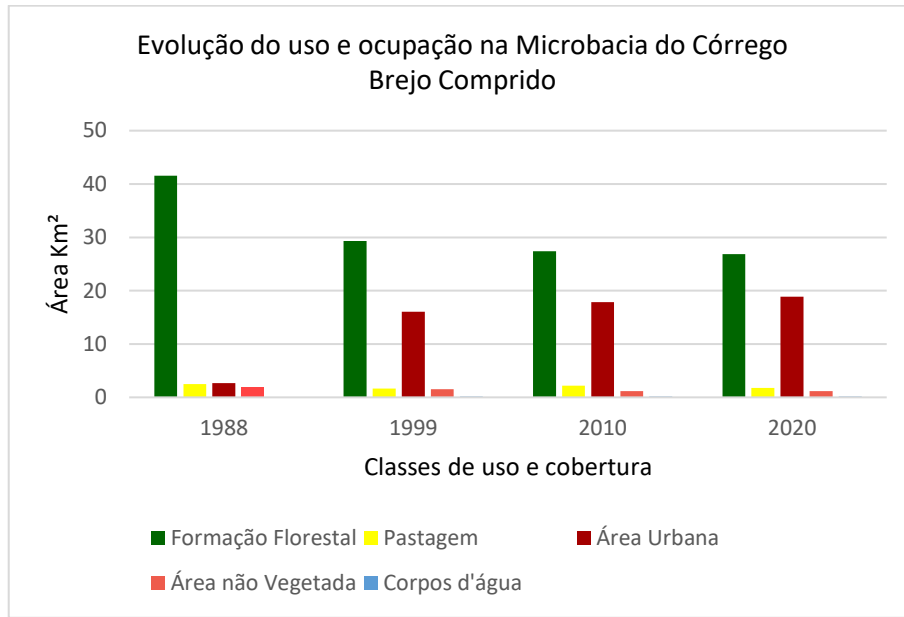
Figura 12 - Uso e ocupação do solo na Microbacia Hidrográfica do Córrego Brejo Comprido (1988, 1999, 2010 e 2020)



Fonte: Autora (2022).

Em 2010 as classes apresentaram pequenas alterações. Pode se constatar que na Microbacia do Córrego Brejo as variações maiores foram entre as classes “Formação Florestal e Área Urbanizada”, que passaram a corresponder em 2020 a 55,07% e 38,70% na área total, conforme Gráfico 3.

Gráfico 3 - Uso e ocupação do solo na Microbacia do Córrego Brejo Comprido por Km²

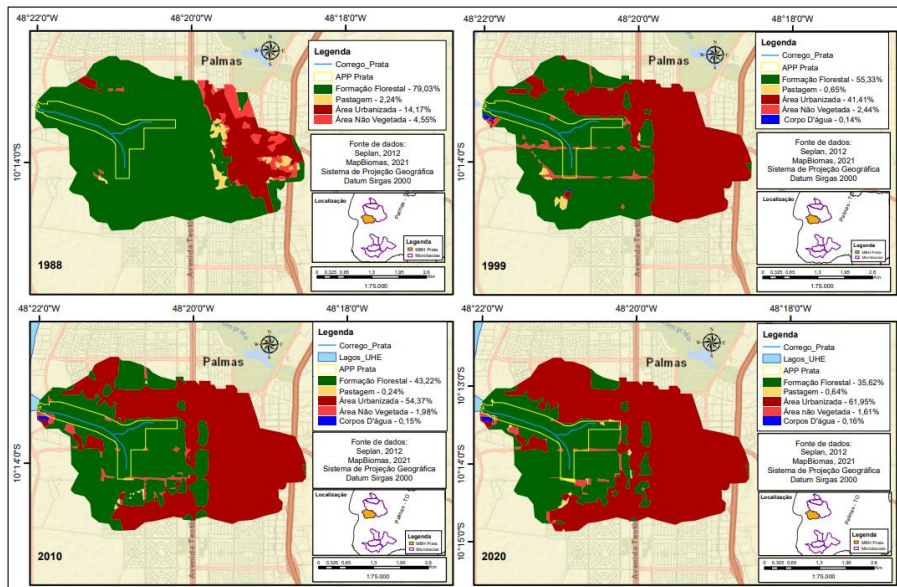


Fonte: Autora (2022).

5.3.4 Microbacia Hidrográfica do Córrego do Prata

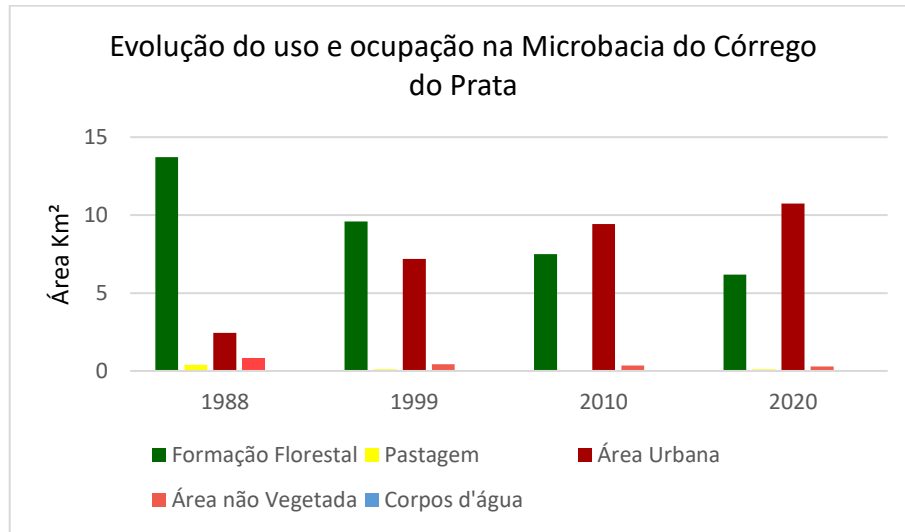
A evolução do uso e cobertura do solo na Microbacia Hidrográfica do Córrego do Prata pode ser visualizada na Figura 13. Os resultados mostram que entre os anos de 1988 e 1999 as classes com mais variações foram “Formação Florestal e Área Urbanizada”. Em 2020 a classe “Área Urbanizada” passou a corresponder 61,95% da área total, e a classe “Formação Florestal” 35,62%.

Figura 13 - Uso e ocupação do solo na Microbacia Hidrográfica do Córrego do Prata (1988, 1999, 2010 e 2020)



Fonte: Autora (2022).

Gráfico 4 - Uso e ocupação do solo na Microbacia do Córrego do Prata por Km²



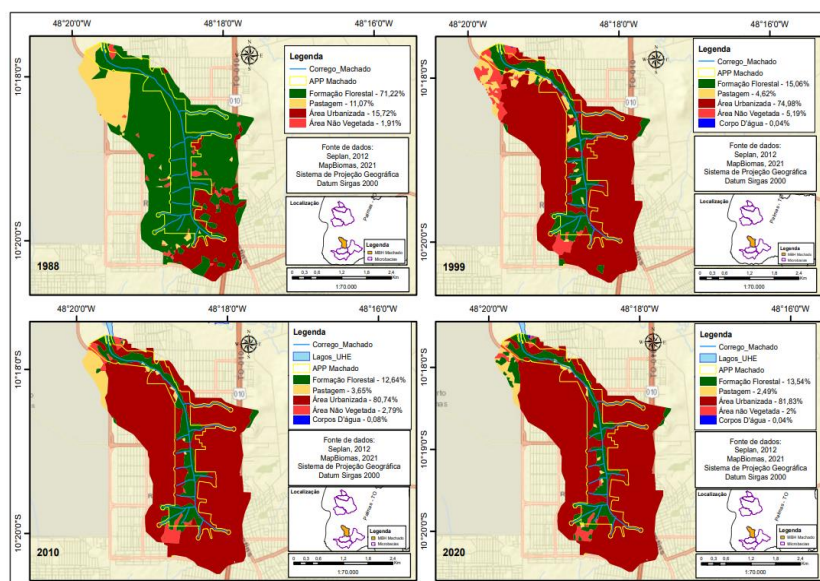
Fonte: Autora (2022).

5.3.5 Microbacia Hidrográfica do Córrego Machado

Na Figura 14 é possível observar o avanço do uso e ocupação do solo na Microbacia Hidrográfica do Córrego Machado. Em 1998 a microbacia dispunha 71,22% da classe “Formação Florestal”, 11,07% da classe “Pastagem”, 15,72% da classe “Área Urbanizada” e classe 1,91% “Área não Vegetada”.

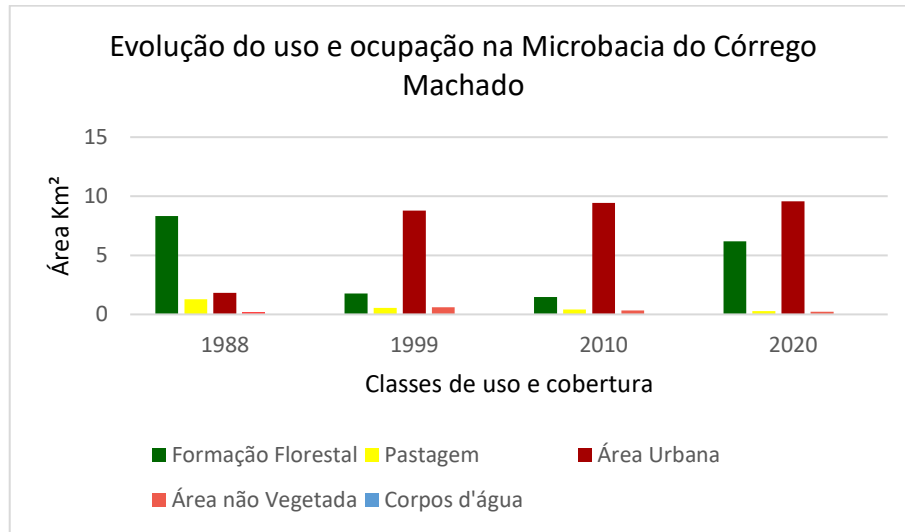
Em 1999 grande parte das formações florestais foram transformadas em área urbana, e essa tendência se manteve até o ano 2020 conforme Gráfico 5.

Figura 14 - Uso e ocupação do solo na Microbacia Hidrográfica do Córrego Machado (1988, 1999, 2010 e 2020)



Fonte: Autora (2022).

Gráfico 5 - Uso e ocupação do solo na Microbacia do Córrego Machado por Km²

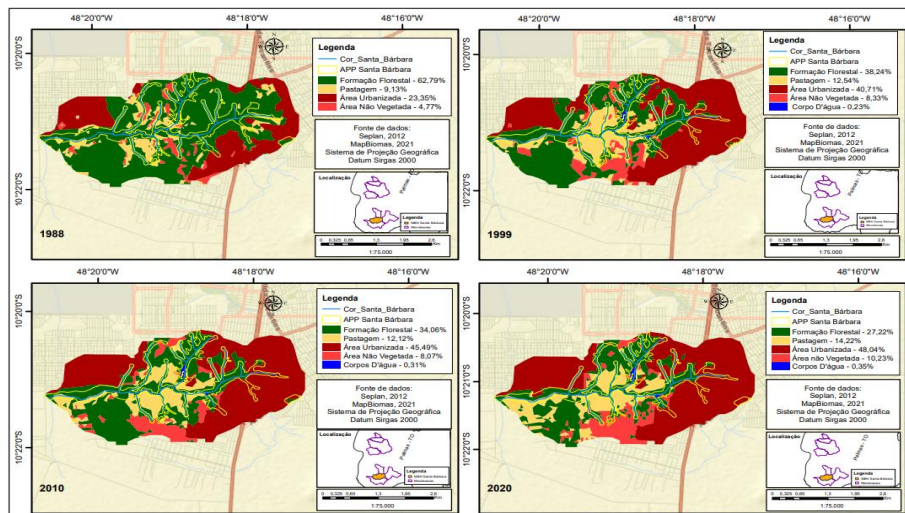


Fonte: Autora (2022).

5.3.6 Microbacia Hidrográfica do Córrego Santa Bárbara

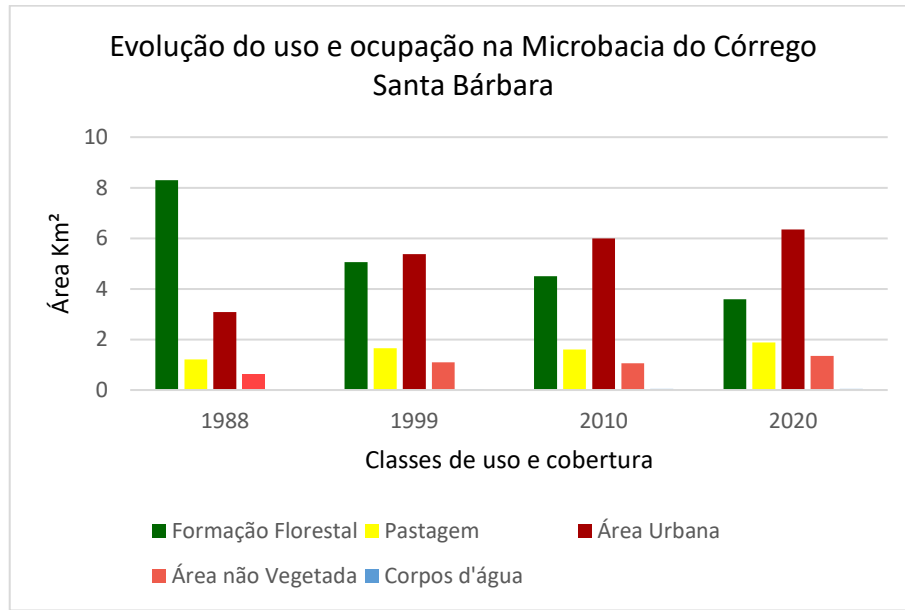
A evolução do uso e cobertura na Microbacia Santa Barbara pode ser visualizada na Figura 15. A classe “Formação Florestal” abrangia 62,79% da área em 1988, porém, teve tendências de redução correspondendo a 38,24% (1999), 34,06% (2010) e 27,22% (2020). A área urbana correspondia a 23,35% em 1988, ela teve tendencia crescente nos períodos analisados, correspondendo a 48,04% da área total em 2020. As classes “Pastagem e Corpos D’água” abrangeram pequenas áreas nos períodos de análise e tiveram pouca influência nas transições.

Figura 15 - Uso e ocupação do solo na Microbacia Hidrográfica do Córrego Santa Bárbara (1988, 1999, 2010 e 2020)



Fonte: Autora (2022).

Gráfico 6 - Uso e ocupação do solo na Microbacia do Córrego Santa Barbara por Km²

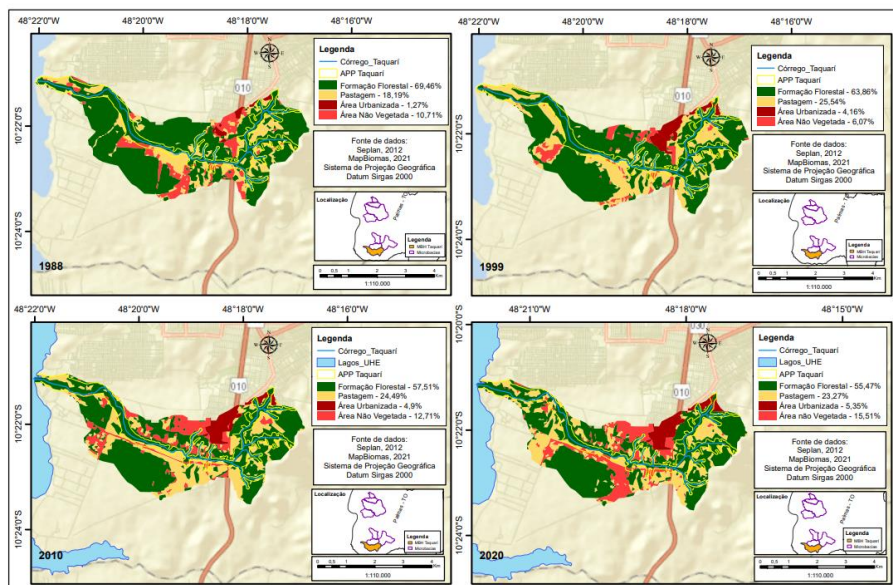


Fonte: Autora (2022).

5.3.7 Microbacia Hidrográfica do Córrego Taquarí

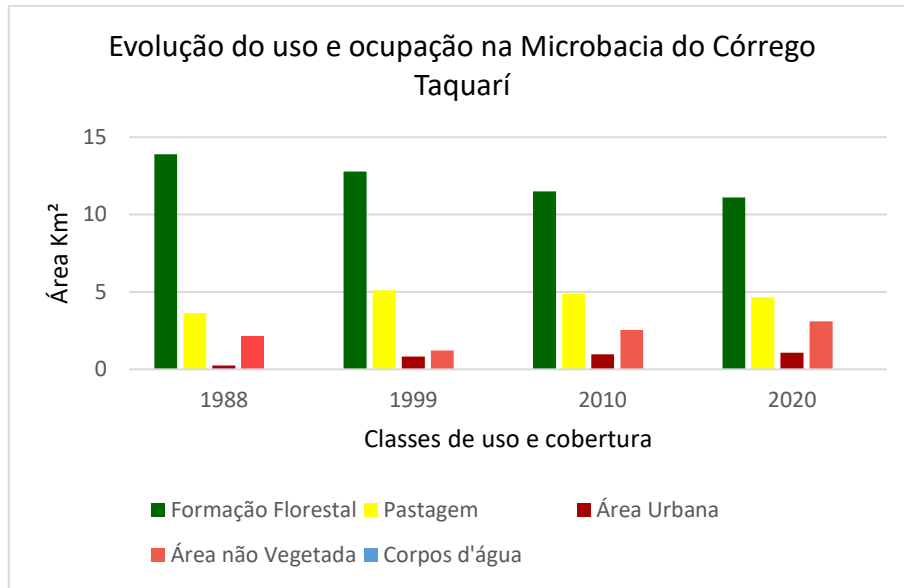
As variações de uso e ocupação do solo na Microbacia do Córrego Taquari são demonstradas na Figura 16 e Gráfico 7. Em 1988 a classe “Formação Florestal” correspondia a 69.46%, durante os anos teve redução contínua de sua área. Em 2020 a área urbana abrangeu 5,35%, da microbacia, e áreas não vegetadas 15,51%. A classe “Pastagem” teve pequenas variações. Não houve aparição de lagos.

Figura 16 - Uso e ocupação do solo na Microbacia Hidrográfica do Córrego Taquarí (1988, 1999, 2010 e 2020)



Fonte: Autora (2022).

Gráfico 7 - Uso e ocupação do solo na Microbacia do Córrego Taquarí por Km²

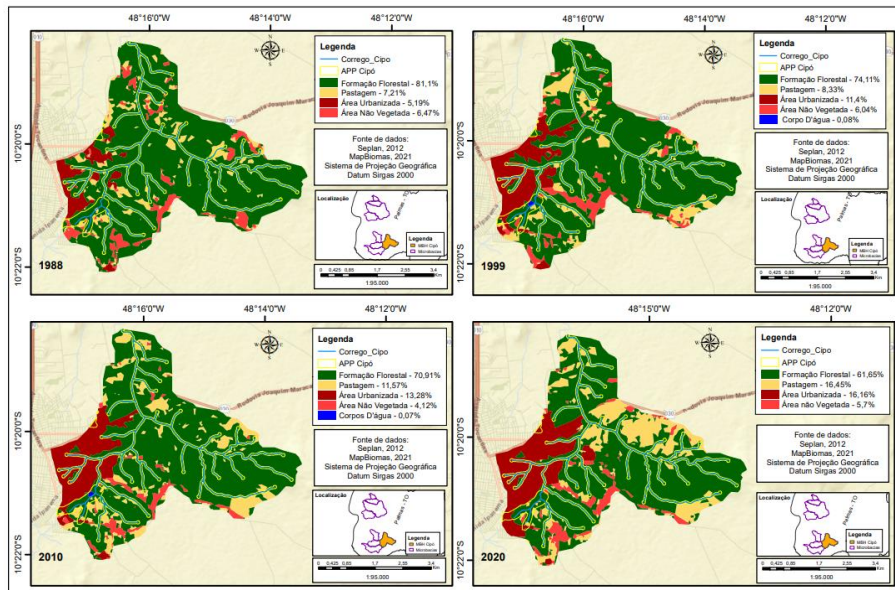


Fonte: Autora (2022).

5.3.8 Microbacia Hidrográfica do Córrego Cipó

Na Figura 17 é possível observar as variações de uso e cobertura na Microbacia do Córrego Cipó entre 1988 a 2020. A classe “Formação Florestal” teve tendência reductiva, porém, permaneceu predominante, abrangendo mais de ½ da área durante todos os anos. A classe “Pastagem” teve variações moderadas. A área urbana correspondeu a 16,16% em 2020 e superfícies não vegetadas abrangeu 5,7% da área total.

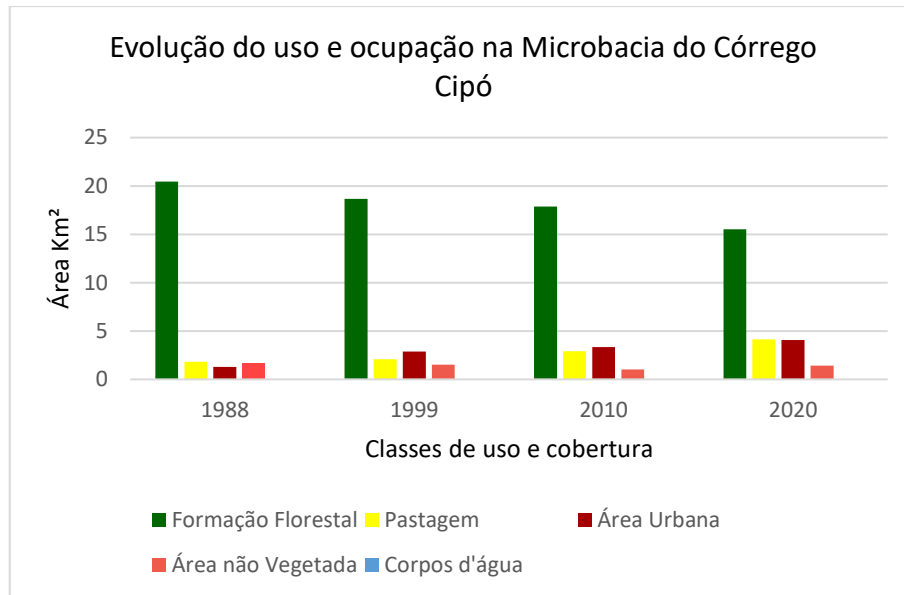
Figura 17 - Uso e ocupação do solo na Microbacia Hidrográfica do Córrego Cipó (1988, 1999, 2010 e 2020)



Fonte: Autora (2022).

A classe “Corpos D’água” teve variação ínfima, não alcançando 0,1% da área, não sendo destacada, conforme Gráfico 8.

Gráfico 8 - Uso e ocupação do solo na Microbacia do Córrego Cipó por Km²



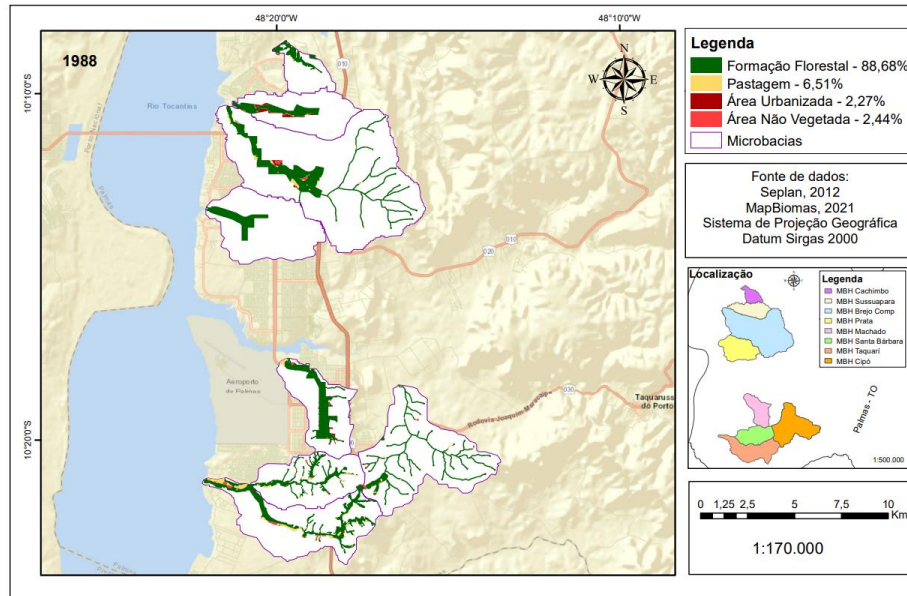
Fonte: Autora (2022).

5.3.9 Áreas de Preservação Permanente – APP das Microbacias Hidrográficas

Neste subitem serão apresentados os resultados da análise espaço-temporal da dinâmica da evolução de uso e cobertura do solo nas Áreas De Preservação Permanentes – APP das microbacias hidrográficas do estudo, nos períodos de 1988, 1999, 2010 e 2020. A soma de todas as APPs corresponde a uma área total 22,81 km².

Na Figura 18 demonstra-se o uso e cobertura do solo nas Áreas De Preservação Permanentes – APP das microbacias referente ao ano de 1988. Nessa época a classe “Formação Florestal” abrangia 88,68% das áreas de preservação permanente – APP das microbacias, seguida pela classe “Pastagem” com 6,51 %, “Área Urbanizada” com 2,27 % e “Área não Vegetada” com 2,44 %.

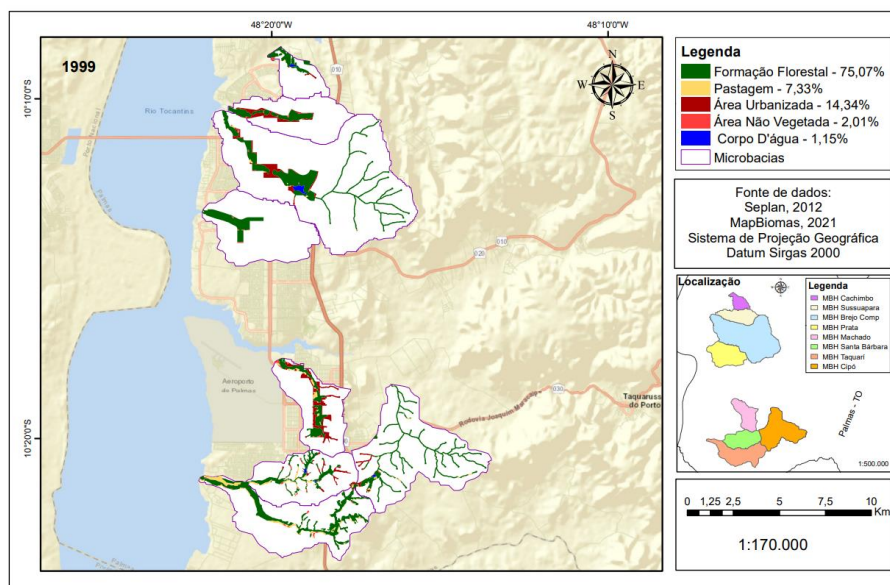
Figura 18 - Uso e ocupação do solo nas APPs das microbacias no ano de 1988



Fonte: Autora (2022).

A evolução do uso e ocupação do solo nas APPs em 1999 pode ser visualizada na Figura 19. Nesse período ocorreu o surgimento de superfícies alagadas, tais como, rios, lagos e reservatórios, correspondendo a 1,15%, sendo caracterizada pela classe “Corpos D’água”. Houve redução das classes “Formação Florestal” e “Área não Vegetada”, que passaram a corresponder 75,07% e 2,01% respectivamente. As classes “Área Urbanizada” e “Pastagem” tiveram tendência crescente nesse período, correspondendo a 14,34% e 7,33%, nessa ordem.

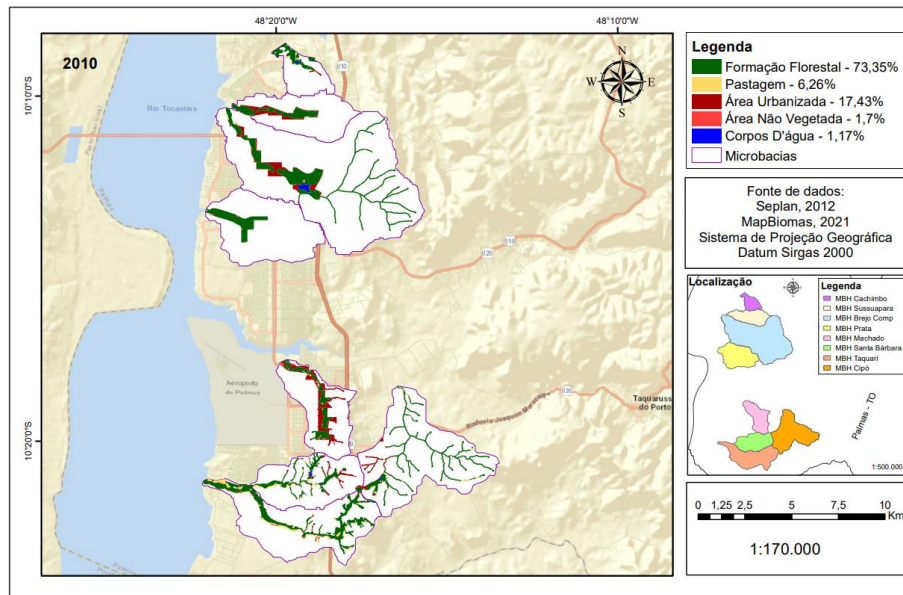
Figura 19 - Uso e ocupação do solo nas APPs das microbacias no ano de 1999



Fonte: Autora (2022).

A Figura 20 mostra a dinâmica da evolução do uso e ocupação do solo nas APPs no período de 2010. A classe “Área Urbanizada” manteve comportamento progressivo, correspondente a 17,43 %, diferente da classe “Formação Florestal” que reduziu para 73,35%. As demais classes tiveram pequenas variações.

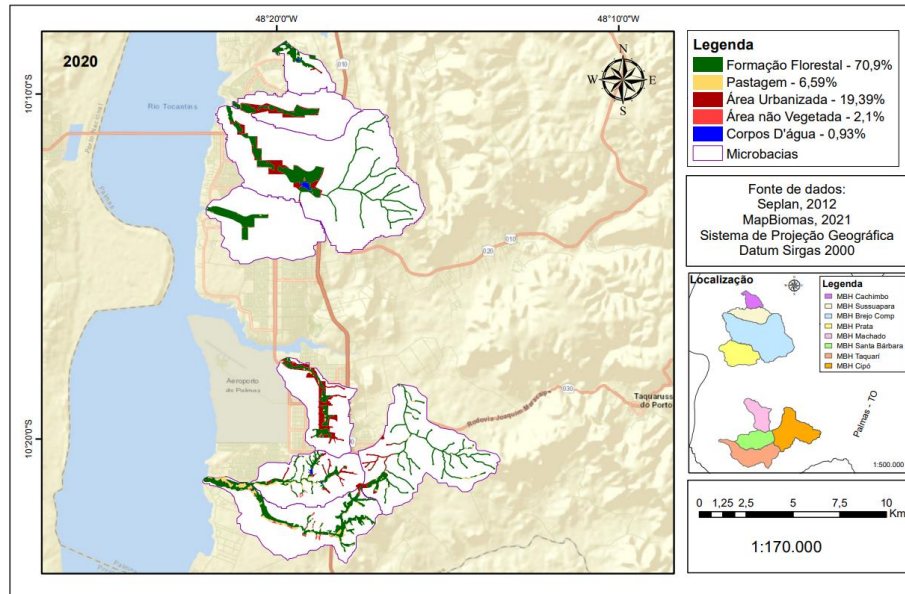
Figura 20 - Uso e ocupação do solo nas APPs das microbacias no ano de 2010



Fonte: Autora (2022).

No ano de 2020 a vegetação nativa das APPs das microbacias hidrográficas continuou a sofrer regressão de sua área, onde a classe “Formação Florestal” abrangeu 70,90%. Verificou-se que a classe “Área Urbanizada” manteve a conduta expansiva, ocupando 19,39%. As classes “Pastagem” e “Área não Vegetada” apresentaram pequenas alterações, contemplando 6,59% e 2,1% da APP. Nesse período a classe “Corpos D’água” compreendeu 0,93%. A evolução do uso e cobertura em 2020 esta demonstrada na Figura 21.

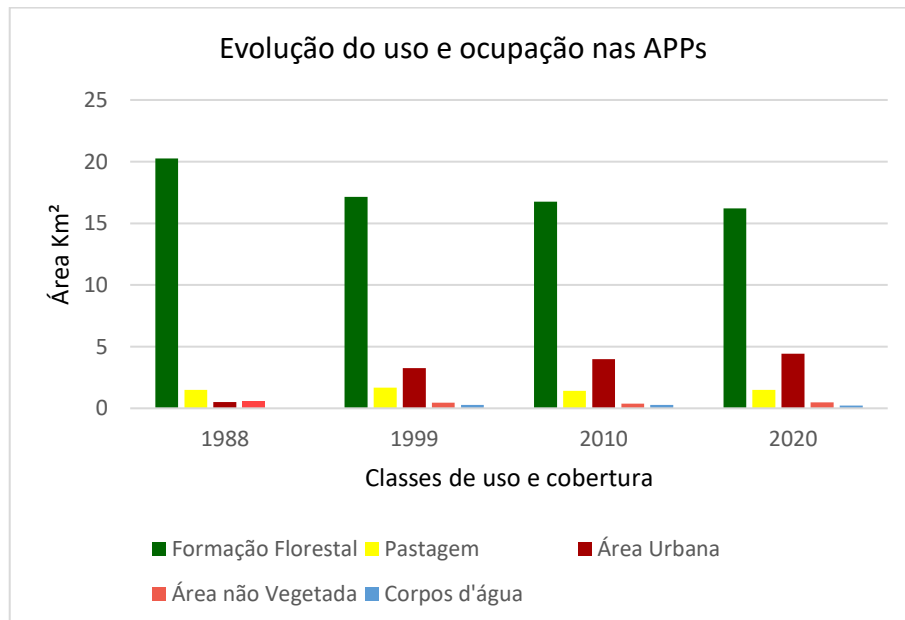
Figura 21 - Uso e ocupação do solo nas APPs das microbacias no ano de 2020



Fonte: Autora (2022).

O Gráfico 9 demonstra a proporção das mudanças do uso e ocupação do solo nas Áreas De Preservação Permanentes – APP nas microbacias hidrográficas em km²/classe, no período de 1988-2020.

Gráfico 9 - Uso e ocupação do solo nas APP por Km²



Fonte: Autora (2022).

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados, os córregos urbanos possuem concentrações de *Escherichia coli* e coliformes totais acima dos limites permitidos para corpos d'água classe 2, conforme estabelece a Resolução CONAMA 357/05. No período de estiagem demonstram o oxigênio dissolvido apresentou valores negativos na maioria dos córregos.

Os resultados do monitoramento dos aspectos hidrológicos mostram que a variação sazonal exerce grande influência no fluxo de água dos corpos hídricos durante o período de estiagem. No entanto, além das variações climáticas, o uso e ocupação do solo impactam no ciclo hidrológico e na qualidade da água, pois o escoamento superficial, evapotranspiração, infiltração, propagação de sedimentos, recarga, drenagem e descarga de esgoto são condições que alcançam e intervêm nas bacias hidrográficas. Os efeitos combinados da poluição urbana e do desempenho hidrológico, demonstram que os serviços dos ecossistemas aquáticos, como absorção de nutrientes ou decomposição de matéria orgânica, são prejudicados por entradas de esgoto, especialmente no caso de esgoto não tratado, levando ao empobrecimento da biota dentro desses ecossistemas, por fim, constata-se que o estresse hidrológico aumenta o impacto da poluição urbana. As variações hidrológicas desencadeiam efeitos na estrutura e funcionamento dos sistemas fluviais, na diminuição do fluxo aumenta-se a exposição dos raios ultravioleta, maior variação da temperatura da água, maiores concentrações de nutrientes, poluentes e disseminação de espécies não nativas, com efeitos em cascata sobre a biodiversidade aquática, terrestre e no funcionamento do ecossistema.

Os resultados da avaliação da evolução espaço-temporal do uso e ocupação do solo nas microbacias hidrográficas urbanas demonstraram que os percentuais vegetacionais da classe “Formação Florestal” sofreram maiores variações com taxas negativas, a classe teve redução de áreas continuamente no decorrer dos anos, após a implantação do Município de Palmas – TO. A classe “Área Urbanizada” apresentou as maiores taxas de expansão de ocupação do solo.

A expansão urbana se sobrepôs em áreas com alto grau de proteção do solo. A ocupação urbana desordenada nas áreas de preservação ambiental - APP pode comprometer a capacidade de suporte ambiental oferecida pelas microbacias hidrográficas urbanas.

REFERÊNCIAS

ALARSA, C.; FURLAN, S.A.; COLÂNGELO, A.C. Aspectos do Meio Físico no Cenário dos Serviços Ecossistêmicos. **Revista do departamento de geografia**, (spe), p.184-195, 2018. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/145793>. Acesso em: 26 Nov. 2022.

ALVES, A.; VOJINOVIC, Z.; KAPELAN, Z. Exploring trade-offs among the multiple benefits of green-blue-grey infrastructure for urban flood mitigation. **Science of The Total Environment**, v.703, n.10, p.34980, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134980>. Acesso em: 14 Jun. 2022.

AMARAL, C.L.C.; SARON, A. Aprendizagem de índice de qualidade da água a partir da aplicação de uma unidade de ensino potencialmente significativa. **EOL**, v.8, n.25, p.87–101, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.36556/eol.vi25.278>. Acesso em: 16 ago. 2020.

BOLLMANN, H.A.; MARQUES, D.M.L. da M. Influência da densidade populacional nas relações entre matéria orgânica carbonácea, nitrogênio e fósforo em rios urbanos situados em áreas com baixa cobertura sanitária. **Doutorado em Engenharia Ambiental (Imperial College)**, v.11, n.4, p.343–352, 2006. Acesso em 16 de agosto de 2020, disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522006000400007>

BOOTH, K. (Ed.). **Critical Security Studies and World Politics**. Boulder: Lynne Rienner Publishers. 2005, p. 215-235.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428. 2012.

BRASIL. **Lei 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. Brasília, Brasil, D.O.U de 09/01/1997, 470 pp. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 05 jun. 2020.

CASTELLAR, J. A. C.; et al. Nature-based solutions in the urban context: terminology, classification and scoring for urban challenges and ecosystem services. **Science of The Total Environment**, v. 779, p. 1-13, jul. 2021.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357**. 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. Publicação Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília - DF, 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 10 Out. 2022.

CORTELEZZI, A.; BARRANQUERO, R. S.; MARINELLI, C. B. Environmental diagnosis of an urban basin from a social–ecological perspective. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 678, p. 267-277, 2019.

CRUZ, G.G.; et al. Influence of vegetation type on the ecosystem services provided by urban green areas in an arid zone of northern Mexico. **Urban Forestry & Urban Greening**, v.62, p.127135, 2021.

DAR, M. U. D.; SHAH, A. I.; BHAT, S. B. Blue Green infrastructure as a tool for sustainable urban development. **Journal of Cleaner Production**, v.367, n.20, 2021.

DAR, M.U.D.; et al. Blue Green infrastructure as a tool for sustainable urban development. **Journal of Cleaner Production**, v.367, n.2, p.133002, 2022.

FERREIRA FILHO, D. F.; BEZERRA, P. E. A.; PESSOA, F. C. L. A Dinâmica da vegetação e suas influências hidroclimáticas no município de Paragominas-PA. **Revista Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo y Práctica**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 46, 6 abr. 2021.

GIRI, S. Water quality prospective in Twenty First Century: Status of water quality in major river basins, contemporary strategies and impediments: A review. **Environmental Pollution**. v.271, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116332>. Acesso em: 14 Dez.2022.

HOSSAIN, F.; MONIRUZZAMAN, M. D. Environmental Change Detection Through Remote Sensing Technique: A Study of Rohingya Refugee Camp Area (Ukhia and Teknaf Sub-district), Cox's Bazar, Bangladesh. **Environmental Challenges**, v.2, n.10, 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística. **Cidades@**. 2021. Disponível em: www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1. Acesso em: 29 set. 2022.

KEMERICH, P.D.C.; et al. Water infiltration and runoff under different land uses and occupancy in a hydrographic basin. **Revistas UFRJ**, v.37, n.2, 2014.

KHAN, I.; et al. Do residential localities matter? Revisiting preference heterogeneity and ranking of ecological attributes of an inland river basin. **Science of The Total Environment**, v.763, p.142970, 2021.

LIQUETE, C.; et al. Securing water as a resource for society: an ecosystem services perspective. **Ecohydrology & Hydrobiology**, v.11, n.3-4, p.247-259, 2021.

MANDARIC, L.; et al. Impact of urban chemical pollution on water quality in small, rural and effluent-dominated Mediterranean streams and rivers. **Science of The Total Environment**, v. 10, p.763–772, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.128>. Acesso em: 16 Ago. 2020.

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomias** – Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, 2021. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org>. Acesso em: 02 Jun. 2022

MARTIN, C. B.; PARADA, R. S.; RIVERA, D. C. **Spatio-temporal analysis of the hydrological response to land cover changes in the sub-basin of the Chicú river**. Colombia: Heliyon, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07358>. Acesso em: 16 Ago. 2022

MEDEIROS, G.A.; et al. Diagnóstico da qualidade da água na microbacia do córrego recanto, em americana, no estado de São Paulo. **Geociências**, v. 28, n.2, p.181-191, 2009.

MELO, S.G.; et al. Qualidade da água de córregos sob influência da ocupação antrópica: o caso das águas urbanas e periurbanas de Santarém-PA. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 7, 2020.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Biodiversidade do Cerrado e Pantanal: áreas e ações prioritárias para conservação**. 2007. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/5127>. Acesso em: 16 ago. 2022.

NIKA, C.E.; et al. Water Cycle and Circular Economy: Developing a Circularity Assessment Framework for Complex Water Systems. **Water Research**. 2020. Disponível em: <https://europepmc.org/article/med/32979579>. Acesso em: 26 Nov. 2022.

OLIVEIRA, F. R. d.; et al. Caracterização hidroambiental como indicador de qualidade de água em nascentes. **Caminhos de Geografia**, v.21, n.74, 2020 .

PALMAS. **Lei Complementar 155, de 28 de dezembro De 2007**. Dispõe sobre a política urbana do município de palmas, conforme estabelece a constituição federal/88, em seus arts. 182 e 183, e o estatuto da cidade, lei federal nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Disponível em: <https://goo.gl/x4q3tx>. Acesso em: 27 Jul. 2022.

PALMAS. **Lei Complementar 400, de 2 de abril De 2018**. Plano Diretor Participativo do Município de Palmas-TO. Disponível em: <http://leismunicipa.is/jbvsu>. Acesso em: 27 Jul. 2022.

PATHAK, S.; et al. Social, economic and environmental assessment of urban sub-catchment flood risks using a multi-criteria approach: A case study in Mumbai City, India. **Journal of Hydrology**, v.591, n.2, 2020.

PELUSO, J.; et al. Comprehensive assessment of water quality through different approaches: Physicochemical and ecotoxicological parameters. **Science of The Total Environment**, v.800, n.12, p.149510, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149510>. Acesso em 16 Jan. 2022.

PELUSO, J.; PÉREZ COLL, C.S.; ARONZON, C.M. In situ exposure of amphibian larvae (*Rhinella fernandezae*) to assess water quality by means of oxidative stress biomarkers in water bodies with different anthropic influences. **Chemosphere**, v.271, n.10, p.129598, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129598>. Acesso em: 12 fev. 2022

PEREDA, O.; et al. Combined effects of urban pollution and hydrological stress on ecosystem functions of Mediterranean streams. **Science of The Total Environment**, v.753, p.141971, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141971>. Acesso em: 12 Fev. 2022.

PRADO, B.R.; et al. Processamento de imagens digitais Landsat 5/TM para mapeamento de classes de cobertura da terra no município de Corumbiara-RO. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, INPE, p. 6101-6108, 2009.

RANTA, E.; et al. Urban stream assessment system (UsAs): An integrative tool to assess biodiversity, ecosystem functions and services. **Ecological Indicators**, v.121,n.20, p.106980, 2021.

RISAL, A.; et al. Sensitivity of hydrology and water quality to variation in land use and land cover data. **Agricultural Water Management**, [S.L.], v. 241, p. 106366, 2020.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade empírica dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Depto de Geografia da USP**, São Paulo, v.10, n.8, 1994.

RWANGA, S. S.; NDAMBUKI, J. M. Accuracy Assessment of Land Use/Land Cover Classification Using Remote Sensing and GIS. **International Journal Of Geosciences**, [S.L.], v. 08, n. 04, p. 611-622, 2017.

SANTOS, E.H.M.; GRIEBELER, N.P.; OLIVEIRA, L.F.C. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite, **Rev. bras. eng. agríc. Ambiente**, v.14, n.8, p.826–834, 2010.

TOLKKINEN, M. O.; et al. Streams and riparian forests depend on each other: a review with a special focus on microbes. **Forest Ecology And Management**, [S.L.], v. 462, p. 117962, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2020.117962>. Acesso em: 12 Jul. 2022.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto alegre: aBRH/editora da UFRG, 1997.

UPRETY, M.; et al. Improving water resources management using participatory monitoring in a remote mountainous region of Nepal, **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v.23, p. 100604, 2019.

WANG, R.; KIM, J.; LI, M. Predicting stream water quality under different urban development pattern scenarios with an interpretable machine learning approach. **Science of**

the Total Environment, v.761, n.2, p.144057, 2021. disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144057>. Acesso em: 20 Out. 2021

YANGA, S.; BERTUZZO, E.; BÜTTNER, O. Emergent spatial patterns of competing benthic and pelagic algae in a river network: A parsimonious basin-scale modeling analysis. **Water Research**, v.193, n.3, 2021.

ZUHAL, k. The concept of urban sprawl and its causes. **Journal of International Social Research**, v.9, n.45, p.815-815, 2016.