



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**

Campus Presidente Prudente

BEATRIZ ALVES UMBELINO

**ANÁLISE LIMNOLÓGICA E PROCESSOS DE CONECTIVIDADE
NO SISTEMA CANAL FLUVIAL-BACIA HIDROGRÁFICA NA
UPH SANTO ANASTÁCIO - UGRHI 22, PONTAL DO
PARANAPANEMA, OESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO**

PRESIDENTE PRUDENTE - SP

2021

BEATRIZ ALVES UMBELINO

**ANÁLISE LIMNOLÓGICA E PROCESSOS DE CONECTIVIDADE
NO SISTEMA CANAL FLUVIAL-BACIA HIDROGRÁFICA NA
UPH SANTO ANASTÁCIO - UGRHI 22, PONTAL DO
PARANAPANEMA, OESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO**

Monografia apresentada ao Departamento de Geografia da Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", FCT/UNESP, campus de Presidente Prudente, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Rocha.

PRESIDENTE PRUDENTE - SP

2021

U48a

Umbelino, Beatriz Alves

Análise limnológica e processos de conectividade no sistema canal fluvial-bacia hidrográfica na UPH Santo Anastácio - UGRHI 22, Pontal do Paranapanema, oeste do Estado de São Paulo / Beatriz Alves Umbelino. -- Presidente Prudente, 2021

95 p. : tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Geografia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente

Orientador: Paulo Cesar Rocha

1. Limnologia. 2. Conectividade. 3. Geomorfologia fluvial. 4. Geotecnologias. 5. Rio Santo Anastácio. I. Título.

DEDICATÓRIA

À minha família

Que em todos os momentos me apoiou e incentivou a seguir meus sonhos e a trilhar meu próprio caminho.

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida, pelas oportunidades e a paz que nele encontro e por proteger e iluminar cada passo de meu caminho. “Entrega o teu caminho ao Senhor; confia nele, e o mais Ele fará” Salmos 37:5.

Sou imensamente grata à minha família, meu pai Dirceu Umbelino, minha mãe Eleomilda de Almeida Alves Umbelino e ao meu irmão Guilherme Alves Umbelino que me apoiaram em todos os momentos, seja pessoalmente ou pelas ligações telefônicas diárias, dando forças, conselhos e sempre acreditando em mim e em minha capacidade. Reconheço que vocês não mediram esforços para que fosse possível a realização e a conclusão de uma graduação longe de casa. Obrigada por tudo que fizeram e fazem por mim, vocês são minha fortaleza e meus exemplos!

A todos os professores que tive ao longo destes 5 anos, todas as discussões contribuíram para meu crescimento intelectual e pessoal. Em especial, ao Prof. Dr. Paulo Cesar Rocha por me orientar durante a graduação, tanto nas iniciações científicas quanto nesta monografia, obrigada pela disponibilidade e todos os aprendizados!

Ao Laboratório de Geologia, Geomorfologia e Recursos Hídricos da FCT/UNESP por todas as vivências e amizades que construí neste espaço. À Aline e Jhonatan pela amizade, paciência e ajuda na elaboração deste trabalho e por me motivarem sempre.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo apoio financeiro, concessão da bolsa de iniciação científica (PIBIC).

Ao grupo três espãs demais + primavera (Karla Letícia, Bruna e Thais), nossa amizade desde o primeiro dia de aula foi de extrema importância para meus dias em Prudente, afinal, sempre chegamos mais longe tendo amigos incríveis por perto e vocês meninas, são esse tipo de amizade. Adoro vocês e mesmo distante, estaremos sempre juntas!

À Janaina e Renata por serem as melhores veteranas e pessoas que eu poderia viver em república. Levarei todos ensinamentos e conversas comigo para sempre.

À turma LIX de Geografia da FCT/UNESP que me ensinaram que “Geo é amor”.
À todas as pessoas que me ajudaram neste percurso, direta e/ou indiretamente.

À FCT/UNESP pelo apoio institucional.

Muito Obrigada!

“...Tudo está ligado a tudo.”

COMMONER, B. The closing circle. New
York, NY: Bantam, 1971.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo realizar uma análise espacial e temporal das variáveis físicas e químicas da água do canal fluvial e correlacioná-las com as condicionantes ambientais (meio físico e uso e cobertura da terra) da bacia hidrográfica na perspectiva da conectividade entre os canais fluviais e a sua bacia hidrográfica. A área de estudos se refere à Bacia Hidrográfica do rio Santo Anastácio na UPH Santo Anastácio, pertencente à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 22, e pertence à área de atuação do Comitê das Bacias Hidrográficas do Pontal do Paranapanema (CBH-PP), localizada na região do Pontal do Paranapanema no Oeste Paulista (Brasil). Para se atingir o objetivo proposto, foram realizadas as etapas: tomadas de dados no campo em seções de amostragem em diferentes seções transversais no canal fluvial, análise de laboratório, análise do meio físico na bacia hidrográfica, de uso e cobertura da terra e utilização integrada de sistema de informação geográfica para identificação da conectividade entre as características da bacia hidrográfica e da água no canal fluvial, além de estudo comparado de outros períodos de análise. O estudo leva ao entendimento do estado ambiental da bacia hidrográfica e do perfil longitudinal do rio por meio das seis seções de amostragem que mostraram a diferenciação das seções 1 e 6 das demais devido a sua localização (nascente e foz do rio, respectivamente), enquanto as seções 2, 3, 4 e 5 parecem estar mais próximas em comportamento. Já em relação as variáveis, é possível observar 2 sub-grupos de boas correlações entre as variáveis do canal e a da bacia hidrográfica, um conta com o oxigênio dissolvido, média da velocidade média, os usos urbanos e de floresta, dissecação (Apf/Atf) e litologia (Kc) e o outro conta com a relação entre Pva e Dc , temperatura média da água e do ar, declividade (3-6% e 6-12%), pastagem e litologia ($Ka5$). O estudo possibilitou uma análise integrada por meio de análise de agrupamento entendendo a conectividade funcional (relações do meio físico para com o perfil longitudinal do rio que por sua vez se relaciona com a geometria hidráulica das seções de amostragem) e estrutural (as variáveis do meio físico, o uso e cobertura da terra, o perfil longitudinal do rio, a geometria hidráulica do canal fluvial e a limnologia das seções ao longo do rio) dos elementos que compõem a bacia hidrográfica.

Palavras-chave: Limnologia; conectividade; geomorfologia fluvial; geotecnologias; rio Santo Anastácio

ABSTRACT

This work aimed to perform a spatial and temporal analysis of the physical and chemical variables of the water in the river channel and correlate them with the environmental conditions (physical environment and land use) of the hydrographic basin in the perspective of the connectivity between the river channels and the its watershed. The study area refers to the Santo Anastácio River Basin at UPH Santo Anastácio, belonging to the Water Resources Management Unit (UGRHI) 22, and belongs to the area of operation of the Watershed Committee of Pontal do Paranapanema (CBH-PP), located in the Pontal do Paranapanema region in Western Paulista (Brazil). To achieve the proposed objective, the following steps were taken: data collection in the field in sampling sections in different cross sections in the river channel, laboratory analysis, analysis of the physical environment in the hydrographic basin, land use and coverage and integrated use of a geographic information system to identify the connectivity between the characteristics of the hydrographic basin and the water in the river channel, in addition to a comparative study of other periods of analysis. The study leads to the understanding of the environmental status of the hydrographic basin and the longitudinal profile of the river through the six sampling sections that showed the differentiation of sections 1 and 6 from the others due to their location (source and mouth of the river, respectively), while sections 2, 3, 4 and 5 appear to be closer in behavior. Regarding the variables, it is possible to observe 2 subgroups of good correlations between the variables of the channel and that of the hydrographic basin, one has dissolved oxygen, average mean speed, urban and forest uses, dissection (Apf / Atf) and lithology (Kc) and the other has the relationship between Pva and Dc, average water and air temperature, slope (3-6% and 6-12%), pasture and lithology (Ka5). The study made possible an integrated analysis by means of cluster analysis understanding the functional connectivity (relations of the physical environment to the longitudinal profile of the river which in turn is related to the hydraulic geometry of the sampling sections) and structural (the environment variables physical, land use and coverage, the longitudinal profile of the river, the hydraulic geometry of the river channel and the limnology of the sections along the river) of the elements that make up the hydrographic basin.

Keywords: Limnology; connectivity; fluvial geomorphology; geotecnology; Santo Anastácio river

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados de limnologia 17/12/2019.....	40
Tabela 2: Dados de limnologia 11/03/2020.....	40
Tabela 3: Dados da hidrologia do canal 17/12/2019.....	46
Tabela 4: Dados da hidrologia do canal 11/03/2020.....	47
Tabela 5: Dados pluviométricos referente a dezembro de 2019 e março de 2020.....	49
Tabela 6: Porcentagem de classes geológicas relacionadas a área da bacia hidrográfica.	53
Tabela 7: Porcentagem de classes geomorfológicas relacionadas a área da bacia hidrográfica.....	55
Tabela 8: Porcentagem de classes de declividade relacionadas a área da bacia hidrográfica.....	59
Tabela 9: Porcentagem de classes de pedologia relacionadas a área da bacia hidrográfica.....	61
Tabela 10: Porcentagem de classes de uso e cobertura da terra relacionadas a área da bacia hidrográfica	63
Tabela 11: Dados dominantes do meio físico na bacia hidrográfica Santo Anastácio nas seções fixas de amostragem.....	66
Tabela 12: Quantificação das correlações	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Seção de Amostragem 1.	30
Figura 2: Seção de Amostragem 2 – Represa da CICA e ladrão depois da represa.....	31
Figura 3: Seção de Amostragem 3.	31
Figura 4: Seção de Amostragem 4.	32
Figura 5: Seção de Amostragem 5.	32
Figura 6: Seção de Amostragem 6.	33
Figura 7: Gráfico da variação espacial e temporal do Oxigênio Dissolvido nas seções.	41
Figura 8: Gráfico da variação espacial e temporal da Condutividade elétrica nas seções.	42
Figura 9: Gráfico da variação espacial e temporal do Potencial Hidrogeniônico nas seções.....	43
Figura 10: Gráfico da variação espacial e temporal da Turbidez nas seções.	44
Figura 11: Gráfico da variação espacial e temporal de Sólidos suspensos totais nas seções.....	45
Figura 12: Gráfico da variação espacial e temporal da Temperatura da água e do ar nas seções.....	46
Figura 13: Gráfico da variação espacial e temporal da Velocidade média em m/s nas seções.....	47
Figura 14: Gráfico da variação espacial e temporal da Área em m ² nas seções.....	48
Figura 15: Gráfico da variação espacial e temporal da Vazão em m ³ /s nas seções.	49
Figura 16: Perfil longitudinal do rio Santo Anastácio e respectiva curva de equilíbrio (SUIZU, 2011).....	52
Figura 17: Análise de agrupamento das variáveis limnológicas e hidrológicas.....	64
Figura 18: Análise de agrupamento das seções de amostragem em dezembro de 2019 e março de 2020.	65
Figura 19: Gráficos das relações gerais das variáveis do meio físico da bacia hidrográfica Santo Anastácio.	66
Figura 20: Análise de agrupamento das variáveis físicas dominantes na Bacia Hidrográfica do rio Santo Anastácio.	67
Figura 21: Análise de agrupamento das variáveis físicas dominantes na Bacia Hidrográfica do rio Santo Anastácio por seção de amostragem.....	68

Figura 22: Análise de agrupamento das variáveis limnológicas e dominantes do meio físico.	70
Figura 23: Análise de agrupamento de todas as variáveis trabalhadas: médias e amplitude das variáveis limnológicas e hidrológicas e variáveis do meio físico.	71
Figura 24: Análise de agrupamento das variáveis por seção de amostragem	73

LISTA DE MAPAS

Mapa 1: Localização da Bacia Hidrográfica do rio Santo Anastácio.....	4
Mapa 2: Localização das seções de amostragem.	29
Mapa 3: Aspectos Litológicos da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio.....	52
Mapa 4: Apresentação das Unidades de Relevo da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio.	54
Mapa 5: Hipsometria da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio.....	56
Mapa 6: Declividade da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio.	58
Mapa 7: Distribuição dos principais tipos de solos da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio.	60
Mapa 8: Uso e Cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio.	62

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	1
1.1. Área de Estudo.....	3
1.3. Objetivo Geral.....	6
1.3.1. Objetivo Específicos	6
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	7
2.1. Bacia hidrográfica: unidade de estudo, rede de drenagem e canal fluvial	7
2.2. Teoria geral dos sistemas na análise ambiental, dos ecossistemas e da conectividade	10
2.3. Visão ecológica dos rios: limnologia e suas variáveis	14
2.3.1. Oxigênio dissolvido.....	17
2.3.2. Temperatura do ar e da água	18
2.3.3. Potencial hidrogeniônico – pH.....	19
2.3.4. Condutividade Elétrica	20
2.3.5. Turbidez	221
2.3.6. Sólidos suspensos totais	22
2.4. Uso e ocupação da terra: A bacia hidrográfica em perspectiva	23
2.5. Uso de Geotecnologias na análise ambiental de bacias hidrográficas	24
2.5.1. Geoprocessamento e Sistema de Informação Geográfico	25
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS: CAMINHOS PERCORRIDOS ...	28
3.1. Descrição das seções de amostragem	30
3.2. O Canal Fluvial: Análise dos Dados limnológicos e de hidrologia fluvial.....	33
3.2.1. Oxigênio e Temperatura do ar e da água.....	33
3.2.2. Potencial Hidrogeniônico	33
3.2.3. Condutividade Elétrica	34

3.2.4. Turbidez	SUMÁRIO	34
3.2.5. Sólidos suspensos totais		34
3.2.6. Hidrologia fluvial: Elementos do fluxo e geometria hidráulica		35
3.3. A análise da Bacia Hidrográfica: análise do meio físico, do uso e cobertura da terra e pluviometria		35
3.4. Correlações entre as características do canal e da bacia hidrográfica e processos de conectividade		37
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO		39
4.1. Características limnológicas e hidrológicas		39
4.2. Análise da Bacia Hidrográfica: O Meio Físico		50
4.3. Correlações limnológicas: no canal e por seção		63
4.4. Análise espacial integrada do meio físico e uso e cobertura da terra		65
4.5. Análise integrada de todas as variáveis		70
4.6. Elementos de conectividade		73
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS		76
REFERÊNCIAS		78

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A água constitui um dos compostos de maior distribuição e importância na crosta terrestre. Sua importância para a vida está no fato de que nenhum processo metabólico ocorre sem a sua ação direta ou indireta. Foram suas propriedades anômalas, comparando com outros compostos, que possibilitaram o surgimento e a manutenção da vida na Terra (ESTEVES, 1998).

O conhecimento das características fluviais é importante não somente no que concerne aos recursos hídricos, tanto do ponto de vista da hidráulica e do controle da erosão, como também do ponto de vista sedimentológico, geomorfológico e do planejamento regional (MOTA, 1995, p.25).

Ao se tratar de questões ambientais, observa-se uma crescente preocupação, consciência, sobre o tema a partir de 1970, devido à ampla cobertura de assuntos ambientais na imprensa popular. Tanto as comunidades científicas e governamentais, como a sociedade civil, passam a entender e prezar pela necessidade fundamental de se entender o meio em que se vive de forma a tentar recuperar e proteger a biodiversidade mundial, garantindo um meio ambiente saudável e sustentável às presentes e às futuras gerações.

Sobre o ciclo hidrológico, no contexto do estudo limnológico, Esteves (1998) argumenta que:

Em muitas regiões, o ciclo hidrológico tem sofrido grandes alterações, especialmente nas últimas décadas. Estas alterações resultam das diferentes formas de interferência humana sobre o ambiente como, por exemplo: construção de grandes cidades, dragagem de extensas áreas alagáveis, devastação de florestas e construção de grandes lagos artificiais (represas) (ESTEVES, 1998, p. 08).

Dessa forma, pode-se destacar que os impactos das atividades humanas sobre a degradação da qualidade e no ciclo da água é resultado de muito tempo, principalmente o grande avanço nesse sentido após a Revolução Industrial. Na área correspondente ao oeste do estado de São Paulo, Pontal do Paranapanema, não foi diferente.

Caracterizada por um processo de ocupação onde se predomina tanto a agricultura como a pecuária, os pioneiros possuíam uma necessidade imediata: o espaço físico. Isto faz do desmatamento a primeira consequência prejudicial ao ambiente. Com isto o solo desnudo fica exposto à lixiviação superficial (que leva consigo a deposição orgânica de vegetais e sua microfauna associada) e à lixiviação profunda (que promove uma lavagem

dos nutrientes nas camadas subsequentes). Tais processos resultam em empobrecimento do solo e conduzem o material para áreas mais baixas, que em geral convergem para rios e lagos, que pode acarretar aumento no uso de fertilizantes, desequilibrando o conteúdo de nutrientes no solo e expondo-o à contaminação química (CARVALHO et al., 2000).

Estudo recente como o de Rocha (2017) indica intensa transformação e evolução do processo apropriativo sobre as unidades hidrográficas e intensa pressão sobre a rede de drenagem, pressupondo intensa movimentação do solo e intenso manejo nestas áreas. Além disso, os dados da expansão da cana de açúcar ao longo dos anos de 2002 a 2013 mostram um aumento superior a 30 vezes no período, refletindo na apropriação da rede de drenagem com o meio físico (ROCHA, 2017).

A análise integrada aqui proposta, busca estudar como os humanos estão integrados nos ecossistemas e como essa integração é diversificada em função do espaço terrestre, englobando as demandas impostas pelos humanos nos ecossistemas dos quais eles participam, bem como no ambiente físico e as modificações humanas impostas, voluntariamente ou não, no ecossistema, incluindo o ambiente físico (ROSS, 2009). Além disso, a integração buscada nesse trabalho leva em conta a conectividade estrutural e funcional presente entre os diversos elementos que a compõe, afirmando assim a teoria geral dos sistemas.

Levando em consideração o estudo ambiental dos recursos hídricos, exaltando seus aspectos limnológicos e a conectividade presente entre os sistemas aquático e terrestre correlacionando-os com o meio físico e o uso e cobertura da terra, busca-se avaliar a atual situação ambiental da Bacia Hidrográfica do rio Santo Anastácio na UPH Santo Anastácio, pertencente à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 22, e à área de atuação do Comitê das Bacias Hidrográficas do Pontal do Paranapanema (CBH-PP), localizada na região do Pontal do Paranapanema no Oeste Paulista (Brasil).

Dessa maneira, esta pesquisa busca contribuir para que haja um melhor planejamento ambiental para com a área abordada, visto sua importância para a região do Pontal do Paranapanema, como fonte de abastecimento público e atividades agrícolas. Além disso, busca uma leitura comparativa com pesquisas feitas na década anterior, mostrando as diferenças presentes entre elas.

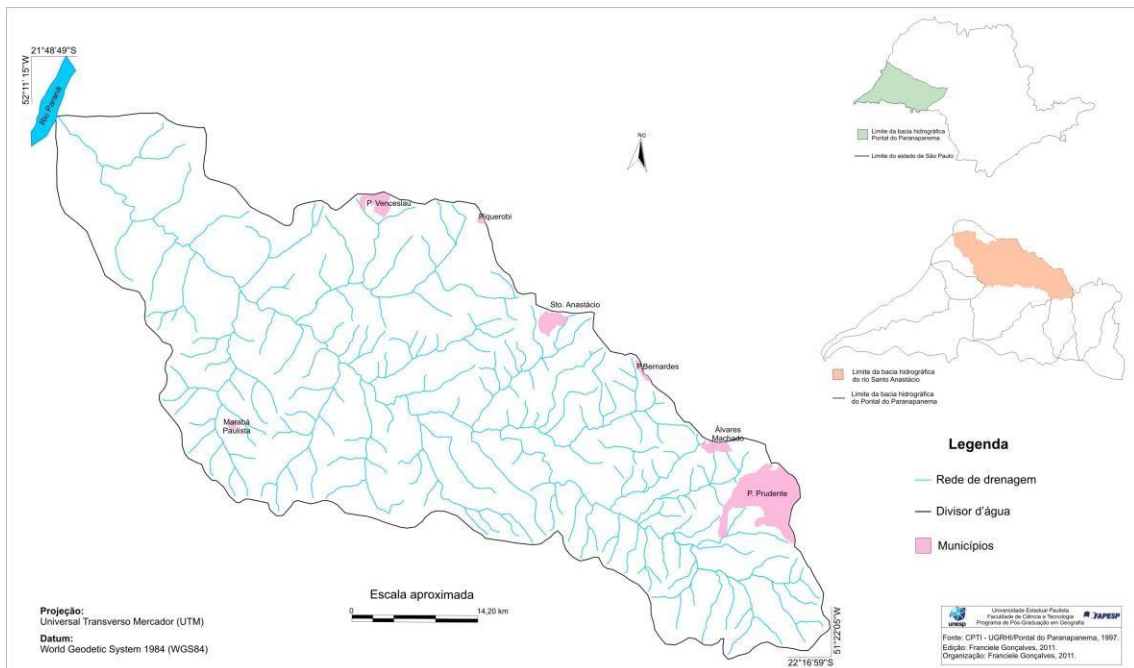
É válido ressaltar que este estudo leva em consideração estudos prévios realizados por Gonçalves (2011), Matos (2014) e Fernandes *et al.* (2018) que estudaram a Bacia Hidrográfica do Rio Santo Anastácio sob diferentes perspectivas e metodologias, além de outros trabalhos que foram influencias importantes para a realização e aporte teórico deste estudo. Estes estudos anteriores mostram a relação presente entre as práticas agrícolas com a limnologia encontrada no canal fluvial e a intensa pressão sobre a rede de drenagem, sendo de fundamental importância a continuação e execução de tal de estudo, afim de observar e acompanhar as relações presentes encontradas.

1.1. Área de Estudo

A área de estudos se refere à Bacia Hidrográfica do rio Santo Anastácio na Unidade de Planejamento Hídrico (UPH) Santo Anastácio, pertencente à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 22, área de atuação do Comitê das Bacias Hidrográficas do Pontal do Paranapanema (CBH-PP), localizada na região do Pontal do Paranapanema no Oeste Paulista (Brasil), abrangendo 26 municípios totalizando uma área de 11.838 Km² (ROCHA, 2017)

A área que compreende a bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio, está contida na porção oeste do Estado de São Paulo, e situa-se geograficamente entre as coordenadas 21° 48' 49'' a 22° 16' 59'' de latitude Sul e 51° 22' 05'' a 52° 11' 15'' de longitude Oeste, sendo afluente da margem esquerda do rio Paraná, demonstrada no mapa 1.

Mapa 1: Localização da Bacia Hidrográfica do rio Santo Anastácio.



Fonte: Gonçalves, 2011.

A bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio está contida na região do Pontal do Paranapanema, que apresenta como substrato geológico, rochas sedimentares cretáceas dos grupos Caiuá e Bauru, recobertas por espessos mantos regolíticos e por sedimentos cenozóicos inconsolidados, que incluem terraços fluviais, colúvios e depósitos aluviais recentes. Ao sudeste da área, afloram basaltos da Formação Serra Geral, que constituem o substrato das bacias sedimentares Caiuá e Bauru.

Em termos geomorfológicos gerais, na região dominam os topos tabulares e convexos, no geral com baixos a médios índices de dissecação. Na região dominam os Latossolos e Argissolos com alta suscetibilidade natural a processos erosivos. Nos vales, solos hidromórficos e neossolos flúvicos (ROCHA, 2017).

Em relação a sua rede de drenagem, composta por características geológicas e geomorfológicas, é possível observar padrão dendrítico, baseado em sua geometria e drenagem hierarquizada (CHRISTOFOLETTI, 1980). Apresenta também características exorréicas, nascente em regiões interioranas dirigindo-se ao mar.

Em relação ao clima, possui basicamente duas estações bem definidas: verão quente e chuvoso e inverno ameno e seco. Frequentemente atuam na região as massas Tropical Continental, Tropical Atlântica, Polar Atlântica e Equatorial Continental, além do Cavado, da Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) e da Zona de Convergência

do Atlântico Sul (ZCAS). Em decorrência de ter fatores físicos do relevo significantes, como a latitude e a continentalidade ocorre uma maior variedade térmica e pluviométrica (MENDONÇA, 2007).

A região é caracterizada pelo bioma de Mata Atlântica, o oeste paulista contava inicialmente com vasta floresta de terra roxa que atraía os cafeicultores, sendo esse o maior surto ocupacional dos pioneiros. Não podendo deixar de considerar as regiões de características de cerrado, onde a criação de gado já havia se instalado antes mesmo do café, sendo assim como o cerrado, os solos exauridos, destinados à pastagem. Outras culturas que contribuíram para o desmatamento foi a cana, o algodão e o fumo (LEONIDIO, 2009).

Sabe-se que, a história do processo de ocupação do território brasileiro tem demonstrado que a terra sempre foi utilizada de modo intensivo e numa visão imediatista, até o limite de sua potencialidade (CASSETI, 1991).

Segundo Rocha *et al.* (2019) e Rocha (2020), houve intensa evolução da implantação da cultura canavieira na região Pontal do Paranapanema, com intenso uso de Agrotóxicos e Fertilizantes, com alto potencial para contaminação dos canais fluviais.

1.3. Objetivo Geral

Efetuar a análise espacial e temporal de variáveis físicas e químicas da água do canal fluvial e correlacioná-las com as condicionantes ambientais (meio físico e uso e cobertura da terra) da bacia hidrográfica na perspectiva da conectividade entre o canal fluvial e a sua bacia hidrográfica.

1.3.1. Objetivo Específicos

Os objetivos específicos que subsidiam o objetivo geral basearam-se em:

- Avaliar o estado da água, a partir de levantamentos limnológicos em seções fixas transversais no canal fluvial do rio Santo Anastácio, na área da UPH Santo Anastácio, UGRHI 22;
- Analisar as características do meio físico e do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica escolhida, nas dimensões espacial e temporal;
- Correlacionar as características limnológicas com as do meio físico e os tipos de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica;
- Identificar os tipos de alterações ambientais mais presentes na bacia hidrográfica; identificar a estrutura e função dos elementos de conectividade que integram o sistema canal fluvial e bacia hidrográfica.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Bacia hidrográfica: unidade de estudo, rede de drenagem e canal fluvial

A bacia hidrográfica é a unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos segundo a Lei Federal 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Nela, além de adotar a bacia hidrográfica como unidade de estudo da interação entre a rede de drenagem e as populações locais, envolve o uso desses recursos e os impactos das atividades humanas para os usos múltiplos atuais e futuros da água, constituindo uma nova fase para os recursos hídricos brasileiros, integrando o Poder Público, os usuários e as comunidades na gestão deste recurso.

Mota (1995) alerta que nem sempre é fácil exercer o controle a nível de bacias hidrográficas, devido aos aspectos políticos e administrativos envolvidos com a questão. Muitas vezes, a bacia hidrográfica de determinado recurso hídrico abrange áreas de vários municípios, estados, ou mesmo países, o que dificulta o controle dos usos do solo e da água na mesma.

Segundo Tundisi (2003), a bacia hidrográfica tem certas características essenciais que a torna uma unidade muito bem caracterizada e permite a integração multidisciplinar entre diferentes sistemas de gerenciamento, estudos e atividade ambiental, quebrando com a abordagem tradicional compartimentada e não integrada. O autor contribui para o pensamento deste avanço, considerando três processos:

[...] os avanços no sistema de planejamento e gerenciamento das águas devem considerar processos conceituais (a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gerenciamento e a integração econômica e social), processos tecnológicos (o uso adequado de tecnologias de proteção, conservação, recuperação e tratamento) e processos institucionais (a integração institucional em uma unidade fisiográfica, a bacia hidrográfica, é fundamental) (TUNDISI, 2003, p.107).

Objetivando um estudo integrado entre elementos e a relação entre homem e meio ambiente, a bacia hidrográfica como unidade de estudo é certa, pois a qualidade da água de determinado recurso hídrico resulta das atividades desenvolvidas na sua bacia hidrográfica contribuinte.

A utilização da bacia hidrográfica como unidade de estudo permite o planejamento dos recursos hídricos, pois nesta pode-se levantar dados como de clima, relevo, geologia, hidrologia, uso e cobertura da terra e a qualidade da água, possibilitando assim a caracterização, classificação, os diagnósticos, prognósticos e o zoneamento ambiental do sistema (MORAES, 2001. p.5).

Por bacia hidrográfica entende-se: região compreendida por um território e por diversos cursos d'água. Da chuva que cai no interior da bacia hidrográfica, parte escoar pela superfície e parte infiltra no solo. A água superficial escoar até um curso d'água (rio principal) ou um sistema conectado de cursos d'água afluentes; essas águas, normalmente, são descarregadas por meio de uma única foz (ou exutório) localizada no ponto mais baixo da região. Da parte infiltrada, uma parcela escoar para os leitos dos rios, outra parcela é evaporada por meio da transpiração da vegetação e outra é armazenada no subsolo compondo os aquíferos subterrâneos. (Caderno de Capacitação em Recursos Hídricos, vol.1, p.11).

Considerando a definição de Bacia hidrográfica descrita anteriormente, é necessário elencar os elementos que influenciam sobre a mesma: a forma da bacia hidrográfica é importante porque influi no tempo de distribuição da água de escoamento, favorecendo mais a infiltração; a altitude e orientação da bacia hidrográfica; o relevo, forma e declividade da bacia de drenagem; a estrutura geológica, tipos de rocha e manto de intemperismo contribuem para o melhor entendimento e estudo integrado da bacia hidrográfica estudada. Relacionando em sua área elementos físicos, biológicos e sócio-econômicos (TUNDISI, 2003).

[...] paulatinamente as bacias hidrográficas vêm sendo redefinidas como unidades hidrográficas, bacias ambientais, unidades ambientais, bacias sociais, dentre outras denominações que buscam expressá-las, valorizando-as como unidades que possuem características naturais, sociais, econômicas, políticas, culturais, dentre outras, que as particularizam e permitem sua análise integrada, planejamento e gestão, ora com traços comuns, ora com diferenciações importantes e específicas com áreas contíguas, cada vez mais interconectadas, em diferentes escalas, com outros recortes administrativos, legais, etc (LEAL, 2019, p.13).

A bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema biofísico e socioeconômico, integrado e interdependente, no qual são estabelecidas diversas atividades. É considerada uma unidade funcional, onde os processos e interações são caracterizados, quantificados e modelados. Neste contexto é possível avaliar a complexidade dos problemas ambientais, visto que as modificações são sentidas em todos os níveis da integração (GONÇALVES, 2011).

Mota (1995), argumenta que o sistema de drenagem natural das águas é um importante aspecto que deve ser considerado no planejamento territorial de uma bacia hidrográfica. A ocupação do solo deve ser feita de modo a preservar, o máximo possível, o escoamento natural, de forma a evitar os problemas resultantes das alterações desordenadas, tais como: enchentes, erosão do solo, alagamentos, e suas consequências ecológicas, econômicas e sociais.

A bacia de drenagem é formada por um conjunto de canais de escoamento interrelacionados, sendo a drenagem fluvial descrita como:

A drenagem fluvial é composta por um conjunto de canais de escoamento interrelacionados que formam a bacia de drenagem, definida como a área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial. A quantidade de água que atinge os cursos fluviais está na dependência do tamanho da área ocupada pela bacia, da precipitação total e de seu regime, e das perdas devidas à evapotranspiração e à infiltração (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 102).

O estudo das drenagens fluviais, leva à compreensão e à elucidação de numerosas questões geomorfológicas, pois os cursos de água constituem processo morfogenético dos mais ativos na esculturação da paisagem terrestre. Por drenagem entende-se a rede que a água constrói para si mesma percorrer, sendo os padrões de drenagem a maneira como a água se relaciona com o substrato dentro da bacia de drenagem (KENITIRO e BIGARELLA, 1990).

Os desenhos formados nos padrões de drenagem representam a estrutura e os tipos de rochas presentes no local. Existem diferentes arranjos de drenagem que permitem uma classificação com base em sua geometria. Os principais padrões são: dendrítico, paralelo, retangular, radial, treliça e anelar (CHRISTOFOLETTI, 1981).

A drenagem dos rios representa a renovação dos recursos hídricos, sendo o componente mais importante do ciclo hidrológico. Por rio entende-se “o termo rio aplica-se exclusivamente para designar “corrente canalizada” ou confinada. Ele também pode referir-se aos canais sem água das regiões mais secas. Geologicamente a palavra rio é empregada geralmente para referir o tronco principal de um sistema de drenagem. Em outras palavras o rio constitui um corpo de água corrente confinada num canal” (KENITIRO e BIGARELLA, 1990).

A fim de se entender o arranjo espacial que o leito do rio apresenta ao longo do canal classifica-se os tipos de canais fluviais em retilíneo, meandrante, anastomosado, ramificado, reticulado e irregular. O termo meandro é utilizado para designar o tipo de

canal fluvial em que os rios descrevem curvas sinuosas, largas, harmoniosas e semelhantes entre si (CHRISTOFOLETTI, 1980).

O perfil longitudinal de um rio é levantado a partir de uma linha que une pontos do seu leito, desde a nascente até a foz, e permite visualizar o declive do leito do rio ao longo do seu percurso. Além de entender melhor a dinâmica fluvial, pois mostra a sua declividade, ou gradiente, sendo a representação visual da relação entre a altimetria e o comprimento do curso d'água. Para muitos rios, a curva representativa desta relação tem a forma parabólica e o perfil típico é côncavo para o céu, com declividades maiores em direção a montante e com valores cada vez mais suaves em direção de jusante (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Já o balanço hídrico de uma bacia de drenagem tem a finalidade de fornecer a disponibilidade de água no solo, isto é, permite quantificar as reservas de umidade de um solo, indicando os volumes e épocas das deficiências e excedentes hídricos. (Kenitiro e Bigarella, 1990, p.11)

2.3. Teoria geral dos sistemas na análise ambiental, dos ecossistemas e da conectividade

A ideia de sistema integrado descrito por Tundisi (2003) é o princípio fundamental da Teoria Geral dos Sistemas que visa a explicação de fenômenos por meio da investigação interdependente de unidades elementares, valorizando a interação entre os elementos estudados.

Com base em Tundisi (2003),

Do ponto de vista de planejamento e gerenciamento, é fundamental considerar a mudança de paradigma de um sistema setorial, local e de resposta a crises para um sistema integrado, preditivo e em nível de ecossistema (TUNDISI, 2003, p. 105).

No estudo dos sistemas a compreensão é concebida como sendo a capacidade de perceber como um componente do sistema organiza-se a partir de elementos mais simples. A análise de sistemas ocupa-se, portanto, do reconhecimento explícito e da manipulação da complexidade no desenvolvimento de modelos abstratos; sendo um instrumento para a compreensão, como descrito por Odum (ODUM, 2010).

Com o intuito de expressar adequadamente a inter-relação presente entre os componentes físicos e biológicos e o meio ambiente, Tansley cunhou o termo “ecossistema”. O conceito da palavra ecossistema, portanto, expressa a totalidade do

sistema, abrangendo os organismos e o meio físico e suas trocas, integrando dessa maneira os fatores físicos (meio ambiente do bioma) e os fatores do habitat no sentido mais amplo (KATO e MARTINS, 2016).

O conceito de ecossistema é definido como uma abstração, como um sistema de componentes biofísicos e abióticos que estão estrutural e funcionalmente inter-relacionados. Predominou a visão dos ecossistemas como unidade funcional, como unidades sem dimensão, incluindo desde uma folha de árvore até o planeta Terra inteiro. Assim, o termo ecossistema foi uma alternativa para o conceito de comunidade biológica, uma vez que a concepção de planta e animais foi estudada separadamente do meio físico (RODRIGUEZ e SILVA, 2013, p. 64).

Christofolletti (1999) em sua obra, *Modelagem de Sistemas Ambientais*, traz para a discussão a ideia de sistema complexo, definindo-o como sendo composto por grande quantidade de componentes interatuantes, capazes de intercambiar informações com seu entorno condicionante e capazes, também, de adaptar sua estrutura interna como sendo consequências ligadas a tais interações. O autor também contribui para o pensamento da teoria dos sistemas dinâmicos:

Na teoria dos sistemas dinâmicos, a complexidade significa não apenas a não-linearidade, mas também uma diversidade elevada de elementos com muitos graus de liberdade. A emergente ciência da complexidade tem a ver com a estrutura e a ordem, procurando as regras básicas e os princípios comuns que fundamentam todos os sistemas e não apenas os detalhes de uma determinada categoria (CHRISTOFOLETTI, 1999, p. 3).

Partindo do pressuposto, Ross (2009) argumenta que, as relações de troca energética, absolutamente interdependentes, não permitem, por exemplo, o entendimento da dinâmica e da gênese dos solos sem que se conheça o clima, o relevo, a litologia e seus respectivos arranjos estruturais, ou a análise da fauna, sem associá-la à flora – e esta lhe proporciona suporte-, que, por sua vez, não pode ser entendida sem o conhecimento do clima, da dinâmica das águas, dos tipos de solos, e assim sucessivamente. Para isso, os diferentes ambientes naturais encontrados na superfície da Terra, decorrentes das relações de troca de energia e matéria entre os componentes, são denominados ecossistemas ou geossistemas (ROSS, 2009).

Para Monteiro (2000), geossistema não pode ser sinônimo de ecossistema, ciência já desenvolvida, diferenciando os termos o autor entende o geossistema como:

[...] uma proposta “geográfica” que não pretende ser confundida com aquela – bem mais antiga e já universalizada – de “ecossistema”, e isto é tanto mais interessante porquanto partida de um geógrafo dedicada a pesquisa biogeográfica. [A noção compósita, integrada ao geossistema, ali proposta é aceitável, embora o tríptico potencial ecológico, exploração biológica e ação antrópica além de pouco esclarecer a conjunção, não difere muito daquele outro de abiótico, biótico e antrópico] (MONTEIRO, 2000, p. 30).

A respeito da perspectiva geossistêmica, Christofolletti, 1999, diz que a organização estrutural e a relevância funcional dos processos realizam-se predominantemente na integração espacial entre os componentes do sistema. Fundamentando ainda que há um conjunto de indicadores utilizados para fornecer informações sobre o conjunto integrativo do sistema.

Tundisi (2008) argumenta que os “rios funcionam como detectores ou acumuladores de informações químicas, ecológicas e biológicas nos vários compartimentos”. Portanto, os sistemas aquáticos das bacias hidrográficas e os componentes do sistema terrestre possuem como seu intermediário os rios, que têm papel importante na formação de uma estrutura básica na heterogeneidade espacial do sistema. Assim, fica claro demonstrar que as apropriações pelo homem dos recursos ecológicos, rios, modificam o funcionamento do ecossistema, sendo agente decisivo da ecodinâmica do ambiente.

Os conceitos físicos e biológicos da organização dos canais fluviais têm sido tratados com uma aproximação holística, que interpreta sistemas lóticos como uma combinação interdependente entre as feições do modelado aquático e terrestre (ROCHA, 2007).

Nesse sentido, entra em questão um conceito caro ao estudo ambiental, o conceito de conectividade, descrito por Tundisi como:

[...] possibilita compreender o grau de interdependência, bem como a covariância entre as funções de força, os processos biológicos e a distribuição espacial e temporal na bacia hidrográfica e nos lagos. A compreensão e a aplicação desses conceitos da Teoria Ecológica às bacias hidrográficas e suas interações com os lagos têm importância teórica, evidentemente, mas devem ser consideradas em função do manejo integrado do sistema, sua recuperação e sua exploração racional” (TUNDISI, 2008, p. 310).

Na conceituação da conectividade ecológica, subentende-se “uma série de interação entre diferentes corpos de água e entre sistemas aquáticos e riparianos. Tais interações incluem o movimento da água, dos sedimentos, nutrientes, detritos e organismos vivos - transporte ativo e passivo” (ROCHA, 2011 *apud* WARD &

STANFORD, 1995-B). Nos canais encaixados, predominam interações Longitudinais. A conectividade pode ser definida pela maneira como organismos, matéria e energia interligam os ecótonos entre unidades ecológicas adjacentes. A conectividade também se refere à extensão na qual nutrientes, matéria orgânica e outras substâncias cruzam os ecótonos (ROCHA, 2011).

O interesse pelo estudo da conectividade hidrológica tem se desenvolvido nos últimos anos e seu potencial para fornecer uma abordagem integrada para o estudo de sistemas complexos tem sido cada vez mais reconhecida. Pesquisa na conectividade hidrológica também pode ajudar a compreender melhor os efeitos das mudanças no sistema e, assim, fornece conhecimento crucial para gerentes e tomadores de decisão (LEXARTZA-ARTZA e WAINWRIGHT, 2009).

Portanto, o desenvolvimento de análise de conjunto de dados multidisciplinares é necessário para ter uma melhor compreensão da conectividade em múltiplos espaços temporais, ajudando a modelar a dinâmica de tal sistema. Esta variação temporal da conectividade resulta em diferentes conjuntos de processos e morfologias (JAIN e TANDON, 2010).

Já o conceito de totalidade trabalhado por Ross (2009, p. 49), é definido como “a apreensão da totalidade exige o entendimento de outros conceitos, a ela inerentes, mas distintos dela”. E complementa:

É nessa perspectiva que os componentes naturais e sociais, ao serem analisados e entendidos no contexto das interações e das interdependências mútuas, possibilitam atingir o entendimento da complexidade da totalidade de um determinado “espaço territorial” enquanto forma, estrutura, funcionalidade e dinâmica (ROSS, 2009, p. 50).

Desse modo, a totalidade de Ross (2009) exprime a ideia de que o ambiente físico deve ser trabalhado como um todo para que assim se possa ter uma melhor análise crítica do espaço em questão. A concepção sistêmica aqui empregada assim como a ciência geográfica busca entender a complexidade e a dinâmica das relações entre o homem e o meio ambiente e entre fenômenos e elementos em seus diversos níveis.

2.2. Visão ecológica dos rios: limnologia e suas variáveis

Etimologicamente, segundo o dicionário, a palavra limnologia vem do grego, onde limne significa lagos e logos, estudo. Se caracteriza por ser uma ciência basicamente ecológica, sendo resultante da integração de outras ciências, como a Botânica, a Zoologia, a Química, a Física, a Geologia, Matemática e a Meteorologia. Por ter o caráter de ciência multidisciplinar, a limnologia é de fundamental importância para o estudo das propriedades dos corpos d'água, estabelecendo parâmetros e relações entre os elementos físico-químicos da água (TUNDISI, 2008).

Dessa maneira, a ciência limnológica por ser definida como o estudo ecológico de todas as massas d'água continentais, independentemente de suas origens, dimensões e concentrações salinas. Desta forma, fazem parte de seu objeto de estudo lagos, lagoas, açudes, lagoas, represas, rios, riachos, áreas alagadas, águas subterrâneas, ambientes aquáticos temporários, nascentes, entre outros (ESTEVES, 1998).

Os rios são classificados como ambientes lóticos, ou seja, apresentam movimento, grande fluxo da água. Os estudos desse tipo de ecossistema têm como objetivo entender os processos que regem o movimento e as transformações de energia e materiais dentro dos diferentes sistemas, lembrando que os rios podem ser considerados sistemas abertos, caracterizados pelos processos hidrológicos e geomorfológicos altamente dinâmicos, frente às mudanças climáticas e temporais, com estrutura tridimensional (longitudinal, lateral e vertical) (ODUM, 2010).

O entendimento da dinâmica do sistema fluvial requer consideração do gradiente dos fatores físicos formado pelo trabalho de drenagem, assim têm-se o conceito de continuidade fluvial.

Portanto, o Conceito de Contínuo Fluvial, o qual considera o rio como um sistema que possui um gradiente contínuo de condições ambientais. De acordo com esta teoria, os sistemas lóticos, possuem um gradiente de variáveis ecológicas da nascente a foz, sendo que ao longo do rio ocorrem mudanças na largura, no volume de água, na profundidade, na temperatura, na quantidade e no tipo de material suspenso transportado. Desta forma, o rio é dividido em três regiões geomorfológicas distintas (tamanho dos sistemas lóticos): cabeceira; médio curso e baixo curso (GONÇALVES, 2011, p. 36).

O conceito da continuidade fluvial propõe que o entendimento da dinâmica do sistema fluvial requer consideração do gradiente dos fatores físicos formado pelo trabalho de drenagem. Assim sendo, a estrutura física juntamente ao ciclo hidrológico formam um

arcabouço para respostas biológicas e resultam em padrões consistentes de estrutura e função de comunidades, carga de matéria orgânica, transporte, utilização e estocagem ao longo do curso de um rio (VANNOTE *et al.*, 1980).

Rocha e Rocha (2007) argumentam que: o conceito de continuidade fluvial propõe que o entendimento das estratégias biológicas e de dinâmica do sistema fluvial requer consideração do gradiente dos fatores físicos formado pelo trabalho de drenagem. Desta maneira, energia que entra, transporte da matéria orgânica, estoque, e uso pelos grupos consumidores podem ser regulados pelos processos geomórficos fluviais, descrevendo a estrutura e função das comunidades ao longo do curso do rio (ROCHA e ROCHA, 2007).

Para Tundisi, 2008, a composição iônica das águas naturais depende, em grande parte, da geoquímica da bacia hidrográfica e de seus principais eventos: tipos de solo, usos e práticas agrícolas. A distribuição dos nutrientes nas águas continentais é também influenciada pelos processos de regeneração nas camadas mais profundas dos lagos e na interface sedimento-água. E em relação aos rios, entende que o transporte de material pelos rios varia, evidentemente, com a declividade, a vazão e as diversas situações no continuum do rio. Além do mais, eles constituem uma estrutura básica na heterogeneidade espacial do sistema e elementos de ligação entre os compartimentos das bacias hidrográficas (TUNDISI, 2008).

Segundo Esteves (1998), as pesquisas de ecossistemas aquáticos continentais podem ser realizadas por três etapas: análise, síntese e etapa holística. Onde a etapa de análise é a investigação sistemática das variáveis ambientais para o conhecimento de sua estrutura, inclui-se observações de campo, medição de dados (pH, condutividade elétrica, radiação solar, precipitação, ventos e etc.), que leva a uma descrição do sistema. A etapa de síntese considera as trocas de energia e matéria entre diferentes compartimentos e seus componentes. Por fim, na etapa holística o ambiente terrestre adjacente também é considerado, sendo que o ecossistema aquático é considerado parte integrante da paisagem.

Neste sentido, faz-se importante lembrar que a preocupação com a qualidade ecológica e ambiental da água é relativamente recente. Os projetos mais antigos de aproveitamento de recursos hídricos abordavam com maior ênfase o aspecto quantitativo, procurando garantir as vazões necessárias aos diversos usos previstos para os mesmos (TUNDISI, 2003).

Tundisi (2003) argumenta que:

Um resumo dos principais problemas referentes à quantidade e à qualidade dos recursos hídricos no Brasil mostra uma situação diversificada e complexa que exige avanços institucionais e tecnológicos para recuperação e proteção, além de novas visões para a gestão preditiva, integrada e adaptativa (TUNDISI, 2003, p.95).

A crescente demanda pela utilização dos recursos hídricos faz com que a limnologia esteja diretamente envolvida com o uso racional e a conservação destes recursos. Assim as pesquisas sobre os ecossistemas aquáticos possibilitam o conhecimento da estrutura e o funcionamento desses ecossistemas, viabilizando o seu manejo e a maximização da sua produtividade (ESTEVEZ, 1998).

Por variável entende-se “o que é mutável”, assim pode-se dizer que as variáveis limnológicas são as características da água que podem mudar ao longo do tempo e do espaço, num dado sistema aquático, como num rio, por exemplo. Segundo Mota (1995), as características da água podem ser agrupadas em três categorias: físicas, químicas e biológicas, indicando a qualidade ou impureza da água para determinado uso.

Deve-se levar em consideração que “a exploração e o uso da água desses sistemas pelo homem geraram processos adicionais de variabilidade química, física e, inclusive, biológica, tornando mais difícil a colonização e a manutenção de uma diversidade” (TUNDISI, 2008). Tundisi também argumenta que os “rios funcionam como detectores ou acumuladores de informações químicas, ecológicas e biológicas nos vários compartimentos”.

Ao analisar as características físicas, químicas e biológicas dos recursos hídricos, verifica-se uma relação destas com os usos da bacia hidrográfica, o que faz com que o compartimento água seja representativo das diversas atividades humanas desenvolvidas na bacia hidrográfica. Dentro deste contexto, é possível verificar diferenças significativas no eixo longitudinal do rio (da nascente a foz), as quais são decorrentes da urbanização, industrialização, mineração e atividades agropastoris, que, direta ou indiretamente, promovem alterações na estrutura e funcionamento dos sistemas hídricos, com consequências finais para o próprio homem (MORAES, 2001. p. 5).

Assim, fica claro demonstrar que as apropriações pelo homem dos recursos ecológicos, rios, modificam o funcionamento do ecossistema, sendo agente decisivo da ecodinâmica do ambiente. Desse modo, pode-se dizer que a atuação do homem, nas suas diversas formas, sobre o meio ambiente interfere nos processos naturais de sucessão, sendo a “sucessão e organização temporal das comunidades terrestres e aquáticas nas

bacias hidrográficas dependem da geomorfologia, das interações climatológicas, hidrológicas e hidrogeoquímicas e dos usos das bacias hidrográficas” (ODUM, 2010).

As características físicas do ambiente, os processos naturais e as formas de uso e cobertura da terra são os principais fatores que contribuem para a alteração física e química da água, através da disponibilização de resíduos orgânicos e compostos químicos de atividades antrópicas (KENITIRO e BIGARELLA, 1990).

2.2.1. Oxigênio dissolvido

Dentre os gases dissolvidos na água, o oxigênio (O₂) é um dos mais importantes na dinâmica e caracterização dos ecossistemas aquáticos. A atmosfera e a fotossíntese são as principais fontes de oxigênio na água. A perda desse gás relaciona-se com o consumo pela decomposição de matéria orgânica, perdas para a atmosfera, entre outros (ESTEVES, 1998).

Oxigênio dissolvido (OD): o teor de oxigênio dissolvido é um indicador de suas condições de poluição por matéria orgânica. Assim, uma água não poluída (por matéria orgânica) deve estar saturada de oxigênio. Por outro lado, teores baixos de oxigênio dissolvido podem indicar que houve uma intensa atividade bacteriana decompondo matéria orgânica lançada na água (MOTA, 1995, p.7).

O oxigênio dissolvido é vital para os seres aquáticos aeróbicos (dependentes de oxigênio). O nível de disponibilidade de oxigênio dissolvido na água depende do balanço entre a quantidade consumida por bactérias para oxidar a matéria orgânica e a quantidade produzida no próprio corpo d'água através de organismos fotossintéticos, processos de aeração natural e/ou artificial (GONÇALVES, 2011).

É geralmente medido em miligramas por litro (mg/l) da água analisada. Provém, em geral, da dissolução do oxigênio atmosférico, naturalmente ou artificialmente, e também, da produção liberada por alguns microorganismos vivos na água como as algas e bactérias (ESTEVES, 1998).

Enquanto no ar o oxigênio encontra-se sempre presente em uma percentagem estável de aproximadamente 20,94%, na água, devido à baixa solubilidade, torna-se fator limitante. No ar há uma concentração permanente de 209.400mg/l e na água, como o oxigênio é um gás pouco solúvel, a solubilidade varia entre 14,16mg/l a 0°C até 7,53mg/l a 30°C em relação ao nível do mar e sem salinidade. Dependendo da pressão (altitude) e sais dissolvidos, em águas poluídas, a quantidade de oxigênio dissolvido é menor (PORTO, 2010).

O balanço de oxigênio possui valor indicador muito grande, variando em função das condições climáticas regionais, da localização do rio na altitude ou planície, do uso do solo e atividades humanas desenvolvidas na sua bacia hidrográfica. Alta velocidade da água e a declividade nos cursos superiores estabelecem o balanço de oxigênio através de processos de difusão entre atmosfera e corpo de água. Depois da temperatura, o segundo fator mais importante é a morfologia do rio, ou seja, a declividade que diretamente influi na velocidade da água e na estrutura do leito. O efeito indireto da velocidade também interfere no balanço de oxigênio (PORTO, 2010).

As principais fontes de oxigênio para o corpo hídrico são a atmosfera, através da interface atmosfera-água, e a fotossíntese, que é a produção e liberação do oxigênio pelos organismos fitoplanctônicos e plantas aquáticas. O oxigênio dissolvido pode sofrer perdas através de diversos processos como a elevação da temperatura da água, consumo pela decomposição da matéria orgânica (oxidação), perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos e a oxidação de íons metálicos (MOTA, 1995).

Portanto, o oxigênio dissolvido é uma das principais variáveis de caracterização dos efeitos da poluição das águas. A solubilidade deste parâmetro é em função da altitude e da temperatura do corpo de água. Em geral, ao nível do mar e à temperatura de 20°C, a concentração de saturação é de 9.2 mg/l (SILVA e HERMES, 2004) *apud* (GONÇALVES, 2011).

2.2.2. Temperatura do ar e da água

Segundo Esteves (1998), a temperatura mede a intensidade de calor, sendo um parâmetro importante, pois, influi em algumas propriedades da água (densidade, viscosidade, oxigênio dissolvido), com reflexos sobre a vida aquática. Pode variar em função de fontes naturais (energia solar) e fontes antropogênicas (despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas).

A temperatura da água é resultado da radiação solar incidente sobre a água. Exerce grande influência nas atividades biológicas e no crescimento dos organismos; também determina os tipos de organismos que habitam o local, uma vez que estes têm uma faixa preferida de temperatura para se desenvolverem. Se este limite for ultrapassado, tanto

para mais quanto para menos, os organismos são impactados e espécies mais sensíveis podem até mesmo ser extintas do local (MOTA, 1995).

As variações de temperatura podem provocar efeitos diversos na água: o seu aumento causa uma aceleração no metabolismo dos microrganismos, aumentando a velocidade do processo de estabilização da matéria orgânica; por outro lado, maiores temperaturas significam menores teores de oxigênio na água (MOTA, 1995, p.81).

A temperatura desempenha um papel importante de controle no meio aquático, condicionando as influências de uma série de parâmetros físico-químicos. Em geral, à medida que a temperatura aumenta de 0 a 30°C, a viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam as solubilidades com a elevação da temperatura (CETESB, 2001) (FERREIRA e FILHO, 2012).

2.2.3. Potencial hidrogeniônico – pH

Conforme Deberdt (2000), o potencial hidrogeniônico (pH) é usado universalmente para expressar o grau de acidez ou basicidade de uma solução, ou seja, é o modo de expressar a concentração de íons de hidrogênio nessa solução. A escala de pH é constituída de uma série de números variando de 0 a 14, os quais denotam vários graus de acidez ou alcalinidade. Valores abaixo de 7 e próximos de zero indicam aumento de acidez, enquanto valores de 7 a 14 indicam aumento da basicidade (FERREIRA e FILHO, 2012).

Trata-se, portanto, de um dos parâmetros mais importantes e frequentemente utilizados na análise da água. Segundo Von Sperling (2005), os corpos d'água encontrados na natureza em sua maioria possuem valores de pH na faixa de 4 a 9, sendo a maioria ligeiramente básico.

A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Desta forma, as restrições de faixas de pH são estabelecidas para as diversas classes de águas naturais, de acordo com a legislação federal (Resolução n° 20 do CONAMA, de junho de 1986). Os critérios de proteção à vida aquática fixam o pH entre 6 e 9 (FERREIRA e FILHO, 2012).

Com relação ao pH, observa-se estreita interdependência entre as comunidades vegetais e animais e o meio aquático. Este fenômeno ocorre na medida em que as comunidades aquáticas interferem no pH, assim como o pH interfere de diferentes maneiras no metabolismo destas comunidades. Sobre as comunidades, o pH atua diretamente nos processos de permeabilidade da membrana celular, interferindo, portanto, no transporte iônico intra e extra celular e entre os organismos e o meio (PORTO, 2010, p.7).

O potencial hidrogeniônico influencia de maneira direta os processos fisiológicos, químicos e bioquímicos, especialmente as trocas iônicas com o meio extracelular; assim, processos de absorção e excreção de substâncias orgânicas e iônicas são diretamente afetados.

2.2.4. Condutividade Elétrica

Segundo Esteves (1998), a condutividade elétrica em ambientes aquáticos é a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica.

Este parâmetro está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente. Quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da água. Em águas continentais, os íons diretamente responsáveis pelos valores da condutividade são, entre outros, o cálcio, o magnésio, o potássio, o sódio, carbonatos, carbonetos, sulfatos e cloretos (FERREIRA e FILHO, 2012). Além disso, a condutividade varia com a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas na água, com a temperatura da água e do ar, mobilidade dos íons, valência dos íons e com as concentrações real e relativa de cada íon.

Os valores de condutividade elétrica são expressos em Siemens ($S\text{ cm}^{-1}$) e o inverso, a resistência elétrica em Ohm (mho), sendo $S = \text{mho}^{-1}$. A condutividade da água em condições naturais é expressa em m S cm^{-1} (microsiemens por centímetro), que é numericamente igual a m mho^{-1} (micromhos por centímetro). A água pura no estado líquido possui condutividade elétrica bem baixa, alguns centésimos de m S cm^{-1} a 25°C . Nas águas superficiais e subterrâneas também é bastante variada, podendo ser baixa, em valores como 50 m S cm^{-1} , em locais onde a precipitação é pobre em solutos e a litologia é formada por rochas resistentes ao intemperismo. Na água do mar é de $50.000\text{ m S cm}^{-1}$ (PORTO, 2010).

A temperatura e o pH também modificam o valor da condutividade elétrica, sendo que a atividade iônica aumenta cerca de 2% para cada grau centígrado. Deste modo,

adotou-se como padrão a temperatura de 25°C para a leitura de condutividade elétrica, ou o uso de um fator de correção. Para valores de pH extremos, menores do que 5 e maiores do que 9, poucos íons interferem na condutividade, entre eles, H⁺ e OH⁻ (NOVO e BRAGA, 1995) *apud* (GONÇALVES, 2011).

A condutividade elétrica é uma das mais importantes entre as variáveis limnológicas, pois muitas vezes ela, representa integração do ambiente terrestre com o aquático, fornecendo informações tanto sobre o metabolismo do ecossistema aquático, como sobre os fenômenos importantes que ocorrem na sua bacia de drenagem (MOTA, 1995).

Dentre as informações que podem ser fornecidas pelos valores de condutividade elétrica destacam-se: informações sobre a magnitude da concentração iônica; a variação diária fornece informações a respeito de processos importantes nos ecossistemas aquáticos, como produção primária (redução dos valores) e decomposição (aumento dos valores); ajuda a detectar fontes de poluição; as diferenças geoquímicas dos afluentes do rio principal ou de um lago podem ser facilmente avaliadas (PORTO, 2010, p. 5).

2.2.5. Turbidez

A turbidez é uma característica física da água decorrente da presença de substâncias em suspensão na coluna d'água, ou seja, é uma expressão da propriedade óptica que faz com que a luz seja espalhada ou absorvida e não transmitida em linha reta através da amostra. É a medida de redução da transparência, sendo determinante da sua condição e produtividade, conforme Von Sperling (1996).

Porto (2012), argumenta que a turbidez tem origem na degradação mecânica ou na transformação química ou biológica dos materiais e possuem conformação e tamanhos diferentes entre si, com tamanho oscilando entre 0,01 a 100 microns. O tamanho das partículas em suspensão varia dependendo do grau de turbulência do ambiente e o aumento da quantidade desses materiais particulados aumentam a cor.

Segundo Mota (1995), a turbidez na água é causada por materiais em suspensão, como por exemplo, argila, silte, matéria orgânica e inorgânica finamente dividida, compostos orgânicos solúveis coloridos, plâncton e outros organismos microscópicos.

A unidade de medida utilizada para a turbidez é o NTU (Nefelometric Turbidity Unit), explicada por Porto (2012) como:

1 NTU é a medida fotométrica de luz refletida a 90° por uma suspensão de 1 mg/l de formazina em nefelômetro. Formazina é empregada como padrão para medida da turbidez por que possui partículas esféricas bastante uniformes com tamanho aproximado de 3 microm. Estas características permitiram obtenção de medidas fotométricas bastante proporcionais às concentrações de partículas na suspensão (PORTO, 2012, p. 3).

2.2.6. Sólidos suspensos totais

Sólido suspenso total é o material particulado não dissolvido, suspenso no corpo de água, composto por substâncias orgânicas e inorgânicas. Estas partículas influenciam na diminuição na transparência da água, impedindo a penetração da luz, provocando alterações dos parâmetros de turbidez (SILVA e HERMES, 2004). Esse material particulado não dissolvido na água pode ter origem natural ou antrópica (GONÇALVES, 2011).

Tundisi (2003) argumenta que:

O volume de material em suspensão transportado depende dos usos das bacias hidrográficas, do grau de desmatamento ou da cobertura vegetal. O material em suspensão é depositado nos deltas e estuários ou é transportado pelas correntes marítimas, acumulando-se em um golfo ou baías. Represas construídas para diversos fins alteram os fluxos e o transporte de sedimentos dos rios, causando impactos principalmente nas regiões costeiras e nos deltas [...] (TUNDISI, 2003, p. 11).

A determinação dos níveis de concentração das diversas frações de sólidos totais é utilizada nos estudos de controle de poluição das águas naturais, caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais e no controle de sistemas de tratamento de esgotos, resultando em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho (sólidos dissolvidos e em suspensão) e com relação à natureza química (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos) (ESTEVES, 1998).

O estudo das características dos sólidos suspensos totais apresenta importante papel no entendimento de ecossistemas aquáticos. Os sólidos suspensos apresentam grande concentração de nutrientes passíveis de troca com o meio. Frequentemente, as maiores taxas de liberação de nutrientes do sedimento para a coluna de água ocorrem quando a parte inferior desta se encontra com baixas concentrações de oxigênio, ou mesmo anaeróbica, fato este observado principalmente para o elemento fósforo (Esteves, 1998; De Felippo et al., 1999 apud Ferreira e Filho, 2012).

2.4. Uso e ocupação da terra: A bacia hidrográfica em perspectiva

Marcada historicamente pela ocupação e desflorestamento sem observação de exigências ambientais legais, a região do Pontal do Paranapanema, oeste do estado de São Paulo sofre nos dias atuais as consequências de tais apropriações no âmbito social, ambiental e econômico.

As práticas utilizadas pelos desbravadores a fim da ocupação se deram de forma violenta, muitas vezes com a morte ou até mesmo uma quase dizimação das populações locais indígenas, pois, tinham como intuito amansá-los, tornando-os civilizados. Além disso, os “picandeiros” possuíam a missão de se livrar de todas as obstruções que estivessem em seu caminho, assim como não obedeciam à Lei de Terras, em vigor na época, falsificando documentos de legitimação, sendo mais usada por grandes latifundiários (MONBEIG, 1984). Esse modelo de ocupação não foi apenas utilizado no Oeste Paulista, mas foi um modelo em regime da ocupação interior do Brasil em meados do século XX que previam também o manejo inadequado do solo, sendo esta a principal causa da degradação.

Desse modo, a apropriação do relevo e rede de drenagem de bacia hidrográfica possui como consequências negativas para a sociedade assim como para o ambiente o desmatamento seguido do manejo inadequado do solo, fazendo com que dificilmente sua biodiversidade seja recuperada sozinha, assim aumentando a possibilidade de ocorrer poluição das águas, solos, atmosférica e do lençol freático.

A ocupação das vertentes, é a grande responsável pela forma atual em que se encontra o leito fluvial. É ela que fornece boa parte do material responsável pela sua modelagem, podendo provocar no canal agradação de material ao fundo ou a degradação do mesmo, para tanto a energia cinética da água e a qualidade dos sedimentos transportados serão fundamentais neste processo. Desta maneira, a conformação das vertentes (tamanho, orientação, forma e processos) juntamente com modo de utilização do solo (cobertura) fornecerá quantidade e qualidade da água nos canais fluviais (MATOS, 2014).

Com a retirada da cobertura vegetal original e esse modo de uso “intensivo do solo”, a floresta não consegue se reconstituir, havendo assim, modificações nas condições hidrológicas, acarretando a deteriorização radical dos solos. “A derrubada acelera a

lixiviação, ao mesmo tempo em que priva o solo da matéria orgânica. Daí resulta uma modificação na estrutura do solo, pois tornando mais difícil a circulação do ar, vai ser diminuída a atividade dos colóides” (MONBEIG, 1984). Esta nova dinâmica também favorece o aparecimento do material rochoso em todos os níveis topográficos (topos, vertentes e fundos de vale) tornando-o mais susceptível a erosão e transporte de seu material.

A mudança das características físicas da bacia hidrográfica é ocasionada pela mudança de função do solo, antes como propriedade rural, suas vertentes eram entendidas como um todo onde a propriedade era mensurada em hectare e a fertilidade de suas terras possuía valor. Porém, quando introduzida ao urbano suas vertentes perdem a dimensão do todo e passam a ser compreendidas por pequenos lotes com dimensão de algumas dezenas de metros quadrados e a fertilidade perde sua função, haja vista que o solo servirá apenas como base sólida para sustentar os equipamentos urbanos e suas edificações (MATOS, 2014).

O levantamento e o mapeamento das degradações sofridas pelo meio ambiente são muito importantes no conhecimento da realidade do uso e cobertura da terra e suas relações com as áreas de proteção permanentes, pois permitem estudos e planejamentos de atividades urbanas e rurais, bem como fornecem indicação de áreas propícias à exploração agrícola, pecuária ou florestal, previsão de safras e planejamento urbano (SILVEIRA, et al, 2010).

O sistema econômico capitalista baseado no consumismo é incompatível com a evolução da sociedade de maneira sustentável por levar ao esgotamento e deterioração dos recursos ambientais, fazendo ruir a economia. O desenvolvimento de uma economia sustentável deve levar em conta a busca do conhecimento e a difusão do mesmo através da educação e da adaptação da cultura à preservação ambiental de forma regionalizada (FLORIANO, 2007).

2.5. Uso de Geotecnologias na análise ambiental de bacias hidrográficas

No que tange às geotecnologias pode-se dizer que constituem o conjunto de tecnologias para coleta, armazenamento, edição, processamento, análise e disponibilização de dados e informações com referência espacial geográfica. São

compostas por soluções em hardware, software, peopleware e dataware (CÂMARA e MONTEIRO, 2001).

No rol das geotecnologias estão o geoprocessamento, SIG (GIS, SGI) – Sistemas de Informações Geográficas, Cartografia Digital ou Automatizada, Sensoriamento Remoto por Satélites, Sistema de Posicionamento Global (ex. GPS), Aerofotogrametria, Geodésia, Topografia Clássica, entre outros. Dentre as geotecnologias destaca-se o geoprocessamento, principalmente na constituição de Sistemas de Informações Geográficas – SIGs (ZAIDAN, 2017, p. 198).

A Geografia é uma ciência antiga. O Processamento Eletrônico de Dados, ao contrário é um campo de conhecimento recente. Neste contexto, os Sistemas de Informações Geográficas, utilizando o Geoprocessamento, constituem uma estrutura de interface entre a Geografia, o Processamento de Dados e a Comunicação (XAVIER DA SILVA, 2001).

O uso de geotecnologias constitui uma importante ferramenta no gerenciamento dos recursos hídricos e na análise ambiental, pois permite avaliar a área de determinada bacia hidrográfica a ser estudada, como a situação da cobertura vegetal e a ocupação do solo, organizar e manipular tanto dados vetoriais quanto matriciais dentro de um banco de dados georreferenciados (ENCINA et al., 2018).

2.5.1. Geoprocessamento e Sistema de Informação Geográfico

Segundo Ibrahim (2014) o geoprocessamento é um conjunto de técnicas, métodos e ferramentas que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica, influenciando e proporcionando a análise de recursos naturais, o transporte, as comunicações, energia, o planejamento urbano entre outros aspectos.

Para a manipulação de dados, o geoprocessamento utiliza um conjunto de técnicas ligadas à informação espacial, como: topografia, cartografia, sensoriamento remoto (SR), Sistema de Informação Geográfica (SIG) e sistema de posicionamento global (GPS). De acordo com Rosa (2013),

O geoprocessamento pode ser definido como sendo o conjunto de tecnologias destinadas a coleta e tratamento de informações espaciais, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações, com diferentes níveis de sofisticação. Em linhas gerais o termo geoprocessamento pode ser aplicado a profissionais que trabalham com cartografia digital, processamento digital de imagens e sistemas de informação geográfica. Embora estas atividades sejam diferentes elas estão intimamente inter-relacionadas, usando na maioria das vezes as mesmas características de hardware, porém software distinto (ROSA, 2013, p.59).

Câmara e Monteiro (2001) argumentam que o Geoprocessamento é uma tecnologia interdisciplinar, que permite a convergência de diferentes disciplinas científicas para o estudo de fenômenos ambientais e urbanos. Ou ainda, que “o espaço é uma linguagem comum” para as diferentes disciplinas do conhecimento.

Ele envolve disciplinas como: cartografia, computação, geografia e estatística. Tudo o que está ao nosso redor pode ser georreferenciado, ou seja, pode ter as suas coordenadas conhecidas, como árvores, rios, prédios, postos de saúde... O geoprocessamento instrumentaliza as decisões envolvendo o meio ambiente. Pode, por exemplo, indicar a escassez da água em uma determinada região geográfica; a pobreza do solo; a distribuição geográfica de recursos minerais; propriedades, animais e plantas (IBRAHIN, 2014).

As informações adquiridas com o processamento são utilizadas para a correta tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, visando a um desenvolvimento que não coloque em risco os sistemas naturais que sustentam a vida na Terra: a atmosfera, as águas, os solos e os seres vivos. Dessa maneira, o geoprocessamento tem papel fundamental nos estudos geográficos (IBRAHIN, 2014).

A sigla SIG significa Sistema de Informações Geográficas. Os SIGs podem ser considerados uma das geotecnologias que se encontram dentro do ramo de atividades do geoprocessamento. Existe uma tendência de se confundir o termo SIG com um simples software. Um SIG é um sistema constituído e operacional. Uma definição clássica de SIG seria a de um sistema automatizado de coleta, armazenamento, manipulação e saída de dados cartográficos (BURROUGH e MCDONNELL, 1998 apud ZAIDAN, 2017).

Atualmente vemos que sua definição exige um pouco mais de complexidade, decorrente de uma estrutura formada por pessoas, empresas ou instituições, somadas a técnicas e métodos que se operacionalizam através de rotinas e ferramentas programadas em softwares diversos, que ganham funcionalidade através de equipamentos e hardwares diferentes, no intuito de coletar ou gerar dados, principalmente georreferenciados,

armazenar, editar, processar esses dados; afim de gerar novos dados e ou informações a serem disponibilizados através desse grande sistema constituído (CÂMARA e MONTEIRO, 2001).

O SIG engloba em sua definição vários aspectos já abordados na definição de Geoprocessamento. Pode ser definido como um sistema composto por softwares e hardwares que estão submetidos a uma organização de pessoas interligadas para um mesmo fim, que se utilizam de dados georreferenciados, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, a edição, o processamento, a análise e a disponibilização, visando a possibilidade de planejar e monitorar questões ligadas ao espaço físico geográfico através dos produtos gerados pelo sistema, que são arquivos digitais contendo Mapas, Gráficos, Tabelas e Relatórios convencionais (ZAIDAN, 2017, p. 200).

O objetivo geral de um sistema de informação geográfica é, portanto, servir de instrumento eficiente para todas as áreas do conhecimento que fazem uso de mapas, possibilitando: integrar em uma única base de dados informações representando vários aspectos do estudo de uma região; permitir a entrada de dados de diversas formas; combinar dados de diferentes fontes, gerando novos tipos de informações; gerar relatórios e documentos gráficos de diversos tipos (ROSA, 2013).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS: CAMINHOS PERCORRIDOS

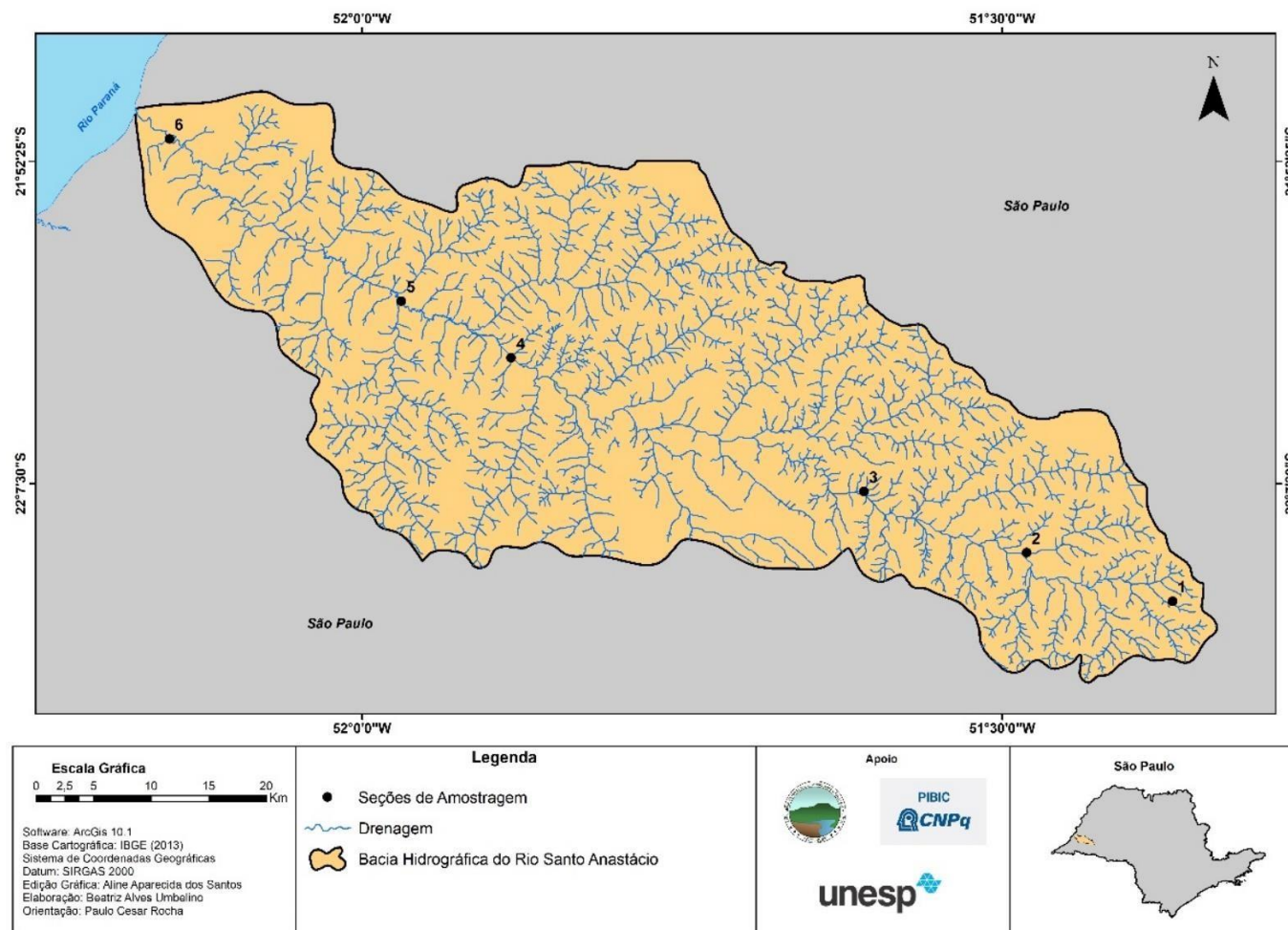
Realizou-se inicialmente um levantamento bibliográfico sobre a temática, sendo feito fichamentos das mesmas. Estes fichamentos foram utilizados como materiais de apoio, embasando o referencial teórico deste estudo, foram feitas leituras de alguns artigos, livros, manuais, publicações e sites a fim de contribuir com informações complementares durante todas as etapas do trabalho.

É tido em mente que a pesquisa bibliográfica é uma etapa de fundamental importância em qualquer trabalho científico e este irá influenciar em todas as etapas da pesquisa, pois este irá dar suporte para todo o embasamento teórico para o trabalho, para tanto é possível dizer que o mesmo é imprescindível realiza-lo antes da realização de qualquer trabalho científico (AMARAL, 2007).

Os locais de amostragem e sua quantidade foram definidos, representando os diferentes compartimentos a serem analisados e considerando o alto, médio e baixo curso do rio, como ilustrado no mapa 2. Neste caso, optou-se por seis seções de amostragem ao longo do canal fluvial do rio Santo Anastácio, Bacia Hidrográfica do rio Santo Anastácio, contida na UPH Santo Anastácio, UGRHI 22, afim de se obter o levantamento limnológico.

Neste momento foi definido também o período de análise, optou-se pela amostragem sazonal, priorizando os meses de “águas altas”, dessa maneira foi realizado um trabalho de campo no dia 17 de dezembro de 2019 e um nos dias 11 e 12 de março de 2020. Nestas datas foi possível fazer o levantamento dos dados de geometria hidráulica do canal, assim como obter os dados de limnologia, o registro fotográfico para identificar e comprovar informações relevantes à pesquisa, auxiliando também na classificação das características limnológicas e realizar o georreferenciamento das seções por meio de um receptor GPS.

Mapa 2: Localização das seções de amostragem.



3.1. Descrição das seções de amostragem

Em relação às seções de amostragem, procurou-se distribuí-las ao longo do canal principal como observado na figura 1, sendo a seção de número 1 localizada na área da nascente e a seção de número 6 perto da foz do rio Santo Anastácio.

Levou-se em consideração uma distância aproximada entre elas, visando compreender o alto, médio e baixo curso do canal, sendo a maior distância entre a seção de número 5 e 6 (médio e baixo curso do rio). A caracterização de cada seção de amostragem ocorreu principalmente com a ida a campo, onde foi possível melhor observar e detalhar a paisagem da área de estudo. Assim como obter os dados de geometria hidráulica e limnologia de cada seção, medida limnológica essa que foi obtida no meio do canal fluvial de cada seção. É válido ressaltar que as fotografias abaixo correspondem à primeira ida a campo (17/12/2019).

A seção de número 1 está localizada na área de manancial do rio Santo Anastácio, estando nas coordenadas 7540584 de latitude Sul e 22K0461893 de longitude Oeste, coordenadas essas em UTM e está a 410m acima do nível do mar. A área é cercada por uma pequena mata ciliar, com a presença de vegetação rasteira próximo ao canal, aumentando seu porte em certa distância. Nesta seção o canal fluvial mostra-se encaixado, estreito e raso, típico de região de nascente. Fato interessante a ser ressaltado é o fato da nascente do rio Santo Anastácio fazer parte do projeto de nascente modelo, parceria entre órgãos públicos ambientais que visa a reconstituição ambiental de nascentes (figura 1)

Figura 1: Seção de Amostragem 1.



A seção seguinte, seção 2, se encontra nas coordenadas 7547422 de latitude Sul e 22K450227 de longitude Oeste, em UTM. Esta seção identifica-se como uma represa,

reconhecida popularmente como “Represa da CICA”, utilizada pela SABESP como responsável por parte do abastecimento público do município de Presidente Prudente. Nota-se a grande quantidade de macrófitas na represa e pouca mata ciliar em seu entorno. Após o vertedouro observa-se áreas caracterizadas por assoreamento e presença de vegetação rasteira próxima ao canal (figura 2). A medição das variáveis limnológicas e hidrológicas foi realizada após o vertedouro, não estando mais em ambiente lótico, porém tendo influência do mesmo, sendo possível a medição das variáveis hidrológicas (velocidade média, área e vazão).

Figura 2: Seção de Amostragem 2 – Represa da SABESP e pós vertedouro da represa.



A seção de amostragem de número 3 localiza-se nas coordenadas 7552603 de latitude Sul e 22K0437256 de longitude Oeste. Esta seção pertence ao início do médio curso do rio estudado e está a 319 metros acima do nível do mar. Nota-se a presença de estrutura para contenção de erosão, assim como a presença de parte de mata ciliar ao fundo e vegetação rasteira junto ao canal (figura 3).

Figura 3: Seção de Amostragem 3.



A localização da seção de amostragem 4 fica nas coordenadas 7557617 de latitude Sul e 22K0424689 de longitude Oeste. Esta seção se diferenciou das outras por conter no meio do canal uma pequena “ilha” de vegetação de pequeno porte, sendo necessário subdividir a seção em A (margem esquerda do canal) e B (margem direita do canal). Foi

observado a presença de vegetação tanto de porte pequeno e médio, principalmente e área destinada a pastagem próximo ao canal, além da existência de uma “draga”, que serve para extração de areia na margem esquerda do canal (figura 4).

Figura 4: Seção de Amostragem 4.



Ao se aproximar do baixo curso do rio Santo Anastácio se encontra a seção de número 5, nas coordenadas 7564403 de latitude Sul e 22K0408267 de longitude Oeste. É possível observar a formação de banco de areia na margem direita e o crescimento de vegetação de pequeno, médio e grande porte nas margens do canal, mata ciliar (figura 5).

Figura 5: Seção de Amostragem 5.



A seção de número 6 está localizada nas coordenadas 7583324 de latitude Sul e 22K0380630 de longitude Oeste e faz parte do baixo curso do rio Santo Anastácio, estando próximo do deságue no rio Paraná. É possível observar a formação de um lago na seção em decorrência da implantação da barragem presente no rio Paraná, com a presença de vegetação de pequeno porte em suas margens (figura 6).

Figura 6: Seção de Amostragem 6.



3.2. O Canal Fluvial: Análise dos Dados limnológicos e de hidrologia fluvial

Nesta pesquisa foram medidas as variáveis químicas (pH e oxigênio dissolvido) e físicas (temperatura do ar e da água, condutividade elétrica, sólidos suspensos totais, turbidez) da água. Destas variáveis, foram medidas em campo a temperatura da água e do ar e o oxigênio dissolvido, os outros dados (pH, condutividade elétrica e turbidez) foram medidos no laboratório de Geologia, Geomorfologia e Recursos Hídricos, com auxílio de aparelhos específicos, de cada uma das seis seções.

3.2.1. Oxigênio e Temperatura do ar e da água

O método empregado para a determinação de oxigênio dissolvido foi o eletrométrico (com uso de eletrodos com membrana), a partir de um oxímetro digital, HANNA HI9146, obtiveram-se valores acerca do oxigênio dissolvido em cada uma das seções de amostragem. A água foi medida no leito do rio e imediatamente aferiu-se o valor de oxigênio dissolvido. Para obter dados com maior exatidão, antes de introduzir o eletrodo do equipamento nos pontos de análise efetuou-se a calibração do mesmo. Os dados de temperatura do ar e da água foram medidos com o mesmo equipamento.

3.2.2. Potencial Hidrogeniônico

O equipamento utilizado na realização desta medida foi um pHmetro HANNA HI 8424, onde se pôde aferir o pH em campo. Anterior às idas a campo, tanto em dezembro quanto em março, o pHmetro foi calibrado com solução base de pH neutro (7), feito isso e confirmada a calibração, o eletrodo (parte do equipamento que afere o pH) foi limpo com água destilada. O procedimento de limpeza do eletrodo ocorreu em todas as seções para que não houvesse resíduos de uma seção para outra, evitando assim, alterações possíveis no resultado.

3.2.3. Condutividade Elétrica

Para a determinação da condutividade elétrica da água foi utilizado em laboratório um instrumento denominado condutivímetro, que compreende em uma ponte de Wheatstone e uma cela de condutividade, para medir a resistência da amostra. Para a medição de dados referentes à condutividade elétrica foi utilizado um Condutivímetro TECNOPON, modelo portátil mCA 150p.

3.2.4. Turbidez

O aparelho utilizado foi o turbidímetro, o qual é constituído de um nefelômetro, sendo a turbidez expressa em unidades nefelométricas de turbidez (FTU). O nefelômetro consta de uma fonte de luz, para iluminar a amostra e um detector fotoelétrico com um dispositivo para indicar a intensidade da luz espalhada em ângulo reto ao caminho da luz incidente. Quanto maior a intensidade da luz espalhada maior será turbidez da amostra analisada.

3.2.5. Sólidos suspensos totais

Primeiramente pesaram-se as membranas filtrantes em uma balança de precisão, em seguida foram filtrados 1 litro de cada amostra na bomba a vácuo. Filtradas as amostras e réplicas, as membranas permaneceram 24 horas na estufa, a uma temperatura de 105°C para que houvesse a secagem das mesmas. Por fim, pesaram-se as membranas depois da filtragem e secagem, subtraindo o peso inicial pelo peso final dos filtros de fibra de vidro, obtendo-se então a quantidade de sedimento suspenso na água.

3.2.6. Hidrologia fluvial: Elementos do fluxo e geometria hidráulica

Em campo, com o apoio de um receptor GPS, foi realizado o georreferenciamento dos pontos de amostragem, assim como o registro fotográfico para identificar e comprovar informações relevantes à pesquisa, auxiliando também na classificação das características limnológicas.

A análise da Vazão e das variáveis contidas na Geometria Hidráulica do canal, como Medidas de Largura da seção, Profundidade e Velocidade da Corrente também foram obtidas em campo, com auxílio de régua rígida, trena flexível e cronômetro, sendo sempre da margem esquerda para a margem direita. Não sendo possível a medição da velocidade média e da vazão na seção 6, por se tratar de um ambiente lótico, não havendo precisão da medição pelo equipamento utilizado, sendo atribuído nos nas tabelas e gráficos elaborados o valor 0 para tal seção. A vazão medida foi calculada a partir da equação:

$$Q = A \times V, \text{ onde}$$

Q: Vazão em m³/s

A: Largura (M) x Profundidade Média (M), em M²

V: Velocidade da Corrente, em M/s

A análise de todos os dados colhidos ocorreu por meio de planilhas eletrônicas, que possibilitaram a elaboração de tabelas e gráficos.

3.3. A análise da Bacia Hidrográfica: análise do meio físico, do uso e cobertura da terra e pluviometria

Utilizou-se como base para o levantamento e análise do meio físico (geologia, geomorfologia e pedologia) a base cartográfica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2013), da Agência Nacional de Águas (2020), TOPODATA (2020) e como fonte os dados obtidos por meio do Instituto de Pesquisas Tecnológicas in CPTI- UGRHI Pontal do Paranapanema (1997) que auxiliaram na digitalização e vetorização da delimitação da bacia hidrográfica, das curvas de nível e da rede de drenagem.

Para a elaboração da hipsometria da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio as informações sobre a altimetria da superfície foram derivadas de um modelo digital de

elevação construído a partir de dados de altitude obtidos pela missão de levantamento topográfico por radar sub-orbital realizada pela NASA por meio do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), 2000. As imagens foram processadas no *software* ArcGIS 10.1 e estabeleceu-se 6 classes hipsométricas, sistematizadas em um mapa temático da bacia hidrográfica.

Foram utilizados dados do sensor SRTM para a elaboração do mapa clinográfico da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio. Com os dados SRTM (2000) no *software* ArcGIS 10.1 Por meio do mesmo software, criou-se um modelo de dados MNT (Modelo Numérico de Terreno) em seguida gerou-se uma grade triangular, grade retangular e posteriormente extraiu-se a declividade da área, através da ferramenta *3D Analyst*, o arquivo das curvas de nível e a drenagem.

Considerando que a bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio percorre 12 municípios paulistas que estão sob o domínio da UGRHI 22 – Pontal do Paranapanema: Regente Feijó, Anhumas, Presidente Prudente, Álvares Machado, Pirapozinho, Presidente Bernardes, Santo Anastácio, Piqueroibi, Presidente Venceslau, Marabá Paulista, Caiuá e Presidente Epitácio (em ordem, da nascente para a foz) procurou-se avaliar a bacia hidrográfica em relação a sua pluviometria. Dessa forma, foram medidos os dados de chuva diários e mensais do município de Presidente Prudente, da estação automática presente no município entre os anos de 2019 e 2020. Tais dados foram concedidos pelo Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli, professor do Departamento de Geografia da FCT / UNESP.

O levantamento de uso e cobertura da terra foi realizado por meio de consulta à bibliografia existente sobre as formas de ocupação da região, e também de consulta às Cartas Topográficas do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) escala 1:50.000, para extração dos *layers* de drenagem (servem também de base para a delimitação da área de estudo, traçado da rede de drenagem, vias de acesso e toponímias, servindo de suporte cartográfico para a elaboração dos mapeamentos temáticos) e o levantamento de dados secundários aos órgãos públicos de planejamento do estado de São Paulo, como IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística); CETESB; IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), entre outros.

Para que isso fosse possível, utilizou-se do cruzamento de informações entre a geomorfologia e a cobertura da terra, obtida por meio de imagens Landsat 8 e tratadas no

software ArcGIS 10.1, através da ferramenta '*tabulate intersection*'. A classificação do uso e cobertura da terra foi realizada tendo como base o Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE de 2013.

3.4. Correlações entre as características do canal e da bacia hidrográfica e processos de conectividade

As correlações foram efetuadas a partir de análise integrada dos elementos do canal e da bacia hidrográfica. Para o entendimento das correlações foram utilizadas análises de gráficos, tabelas e as análises estatísticas multivariadas. Utilizou-se ferramentas como planilhas eletrônicas e *softwares* de estatística (*Excel* e *Statistica*).

No *software Statistica* foi possível gerar gráficos de análise de agrupamento das diversas variáveis analisadas nos itens anteriores. Isso se deu após a tabela com os dados estarem preenchidas por meio da ferramenta *statistics*, que levava até a ferramenta *multivariate techniques* e por fim, *cluster analysis*. Os diversos gráficos e tabelas feitos neste *software* serviram para garantir as correlações e testar os dados obtidos.

Para que fosse possível a correlação entre as variáveis abordadas, utilizou-se a Análise de Agrupamento que consiste em reunir objetos (indivíduos ou elementos) em grupos onde exista homogeneidade e aponta concomitantemente a heterogeneidade entre esses grupos, possibilitando assim uma proposta classificatória (Gonçalves, 2011). As análises seguem a seguinte ordem: relações entre as variáveis limnológicas e entre os valores encontrados nas seções de medição nas duas idas a campo; uma análise do meio físico e de uso e cobertura da terra englobando todas as variáveis trabalhadas, em seu total e por seção de amostragem; uma análise geral; e os elementos que demonstram a conectividade existente na bacia hidrográfica.

É importante ressaltar que para a análise *cluster* realizada para o meio físico da bacia hidrográfica usou-se primeiramente o elemento dominante em km², e depois todos os elementos encontrados na área em %, sendo calculados por meio da tabela de atributos presente no ArcGIS (figura 20, 21 e 22). Para a análise de todas as variáveis (dominantes e independentes) foi utilizada a média e a amplitude dos elementos de limnologia e de hidrologia, enquanto para o meio físico utilizou-se todos os dados por seção (figura 23 e 24). Para que fosse possível relacionar os diferentes elementos trabalhados, optou-se por transformar todos os valores para o log₁₀.

A interpretação dos processos de conectividade entre os sistemas fluvial e bacia hidrográfica foi efetuada com base nos conceitos de conectividade estrutural (como as paisagens estão fisicamente ligadas, em escalas temporais e espaciais) e conectividade funcional (como as características estruturais influenciam nos processos ao redor), conforme WAINWRIGHT et al. (2011) e WESTER et al. (2014). (ROCHA, 2015).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características limnológicas e hidrológicas

As características limnológicas e hidrológicas medidas no rio Santo Anastácio nos meses de dezembro de 2019 e março de 2020 mostram diferenças em relação a seus valores, mesmo se tratando da mesma estação do ano, no caso, do verão.

As tabelas 1 e 2, abaixo, mostram todas as variáveis medidas (temperatura do ar e da água, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, turbidez, potencial hidrogeniônico e sólidos suspensos totais), diferenciando os meses de dezembro (tabela 1) e de março (tabela 2). Ainda traz as coordenadas geográficas de cada seção de amostragem. Nas duas tabelas se manteve a mesma organização.

Tabela 1: Dados de limnologia 17/12/2019.

Seções	Coordenadas geográficas		Temperatura do ar (°C)	Temperatura da água (°C)	Oxigênio dissolvido (mg/dl)	Condutividade (us/cm)	Turbidez (NTU)	PH	SST (mg/l)
	Latitude	Longitude							
S1	7540584	22K0461893	27.1	25.1	7.99	107.1	62.7	8.13	0.019
S2	7547422	22K450227	27.1	27.0	8.33	185.7	38.5	7.88	0.012
S3	7552603	22K0437256	27.4	27.1	4.84	295	115	7.60	0.144
S4	7557617	22K0424689	25.4	26.0	4.62	176.2	295	7.98	0.275
S5	7564403	22K0408267	26.8	26.0	5.83	81.48	102	7.56	0.037
S6	7583324	22K0380630	26.7	27.1	2.83	103	82.5	7.09	0.012

Elaborado pela autora.

Tabela 2: Dados de limnologia 11/03/2020.

S1	7540584	22K0461893	34.3	27.3	6.34	56.4	20.1	8.02	0.006
S2	7547422	22K450227	34.5	29.9	3.34	74.74	71.5	7.68	0.006
S3	7552603	22K0437256	33.6	33.9	8.29	280.1	35.5	8.01	0.020
S4	7557617	22K0424689	33.3	32.6	8.31	202.4	35.7	7.89	0.022
S5	7564403	22K0408267	32.7	30.6	7.27	104.5	34.2	7.82	0.031
S6	7583324	22K0380630	34.8	29.4	4.67	65.65	50.0	7.07	0.022

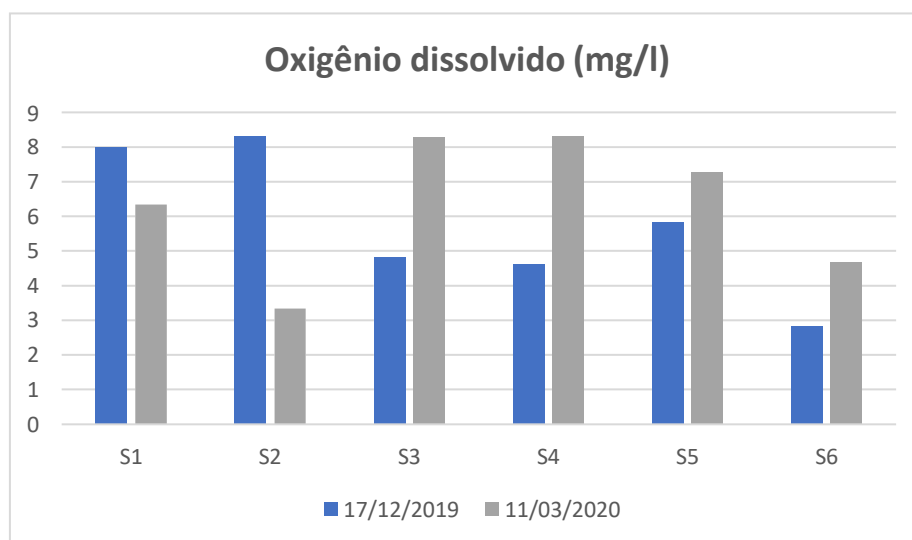
Elaborado pela autora

Ao observar os dados colhidos de oxigênio dissolvido (figura 7) têm-se um valor em ordem decrescente nas seções no mês de dezembro, estando a primeira seção com 7.99mg/l e a sexta seção com 2.83mg/l. Fugindo ao padrão de decréscimo, a seção 2 se encontra com 8.33mg/l de oxigênio dissolvido em água, maior valor encontrado. Em relação aos dados do mês de março de 2020, os dados de oxigênio obtidos saíram do padrão de decréscimo, assim como teve uma alta em seus valores, os maiores valores se encontram na seção 3 e 4 com 8.29 e 8.31mg/l, respectivamente. Enquanto o menor valor se encontra na seção de número 6, com 4.67mg/l.

Além disso, comparando todos os valores medidos, observou-se que o maior valor encontrado está presente na seção 2, primeira medição. Nesta mesma seção encontra-se a maior amplitude em relação ao oxigênio dissolvido, onde foi obtido o valor de 8.33mg/l e na segunda, o valor de 3.34mg/l, tendo assim uma diferença de 4.99mg/l. Já a menor amplitude entre as medições foi encontrada na seção 5, onde na segunda medição obteve-se o valor de 7.27mg/l enquanto na primeira havia sido registrado o valor de 5.83mg/l, diferenciando apenas 1.44mg/l uma da outra.

Em relação a concentração média de oxigênio dissolvido, considerando as seis seções, foi encontrada média de 5.74mg/l na primeira medição e de 6.37mg/l na segunda medição. As médias encontram-se de acordo com Porto (2010), que leva em consideração a temperatura e a altitude. Esses dados levam a perceber um aumento da média no dia 11/03/2020, podendo estar relacionado com os maiores valores de velocidade da água, menor incidência de poluição por matéria orgânica e condições climáticas.

Figura 7: Gráfico da variação espacial e temporal do Oxigênio Dissolvido nas seções.

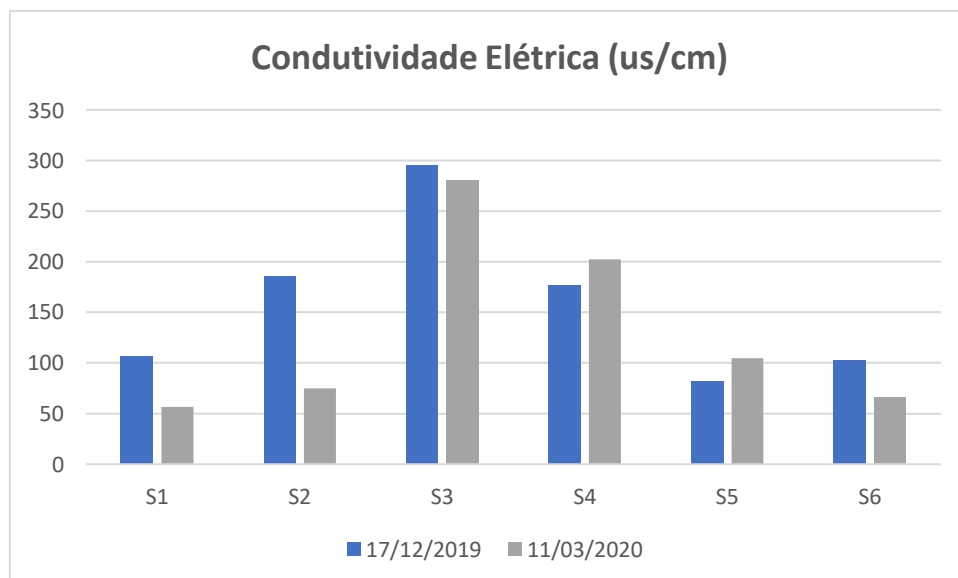


Elaborado pela autora.

Os dados de condutividade elétrica (figura 8) não seguem um padrão no primeiro campo como na variável anterior, seus dados variam de 81.48us/cm na seção 5 e 295us/cm na seção 3. No segundo campo observa-se os maiores valores de condutividade elétrica nas seções centrais do canal fluvial, correspondendo às seções 3 e 4, com valores de 280.1us/cm e 202.4us/cm respectivamente. Os menores se encontram nos limites do canal, estando o menor valor na primeira seção da segunda medição, alto curso do rio Santo Anastácio.

Visualmente é possível perceber que na segunda seção se encontra a maior amplitude entre as duas medições realizadas, expressa pela diferença de 110.96us/cm, enquanto a menor amplitude se encontra na seção 3 e tem apenas 14.9us/cm de diferença entre as medições. Em relação a condutividade elétrica média, a primeira medição, 17/12/2019, teve a maior média, com 158,08us/cm enquanto na segunda medição, 11/03/2020, a média foi de 130,63us/cm. A maior média, 17/12/2019, pode estar relacionada às características pluviométricas do dia.

Figura 8: Gráfico da variação espacial e temporal da Condutividade elétrica nas seções.

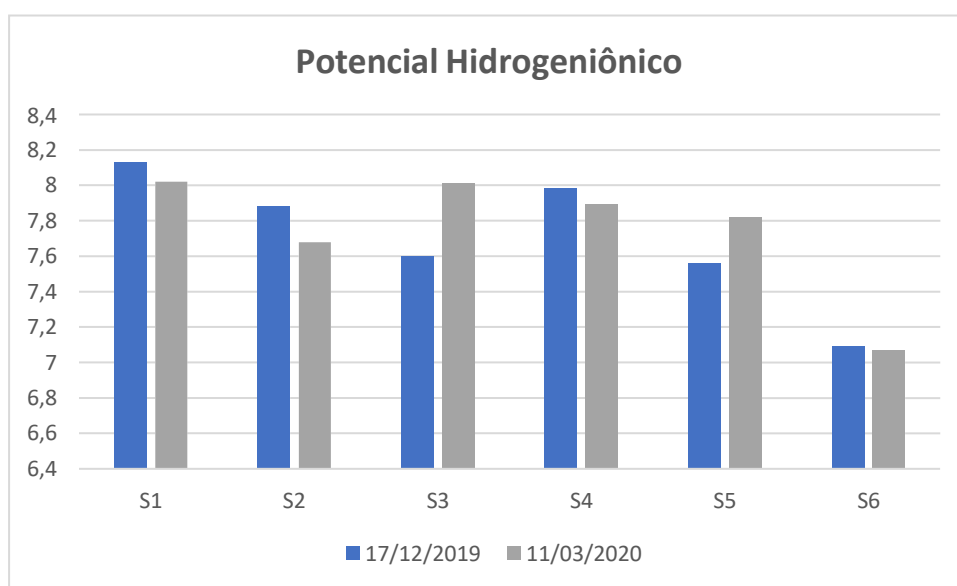


Elaborado pela autora.

O Potencial Hidrognênico, PH (figura 9), encontra na seção 1 seu maior valor, correspondente a 8.13, enquanto na seção 6 encontra-se seu menor valor com 7.09 durante a primeira medição de dados. No mês de março as medidas de PH continuam com esse mesmo padrão, estando o maior valor na seção 1, medindo 8.02 e o menor valor na seção 6, medindo 7.07. Dessa maneira é possível dizer que na área da nascente o PH é mais básico e na área da foz o PH chega perto da neutralidade, representada pelo PH igual a 7.

Observando o gráfico composto pelo potencial hidrogeniônico nas seções, entre as duas medições houveram pequenas amplitudes entre os pontos. A maior amplitude corresponde à seção 6, com diferença de 0.02 e a maior amplitude se encontra na seção 3, com 0.41 de diferença. Conseqüentemente o cálculo das médias das duas medições teve pouca diferença entre si, tendo o segundo campo a maior média, com 7.74 e o primeiro, teve média de 7.70, podemos dizer assim que o pH da bacia hidrográfica estudada, num geral, é ligeiramente básico, protegendo e tornando possível a vida aquática.

Figura 9: Gráfico da variação espacial e temporal do Potencial Hidrogeniônico nas seções.



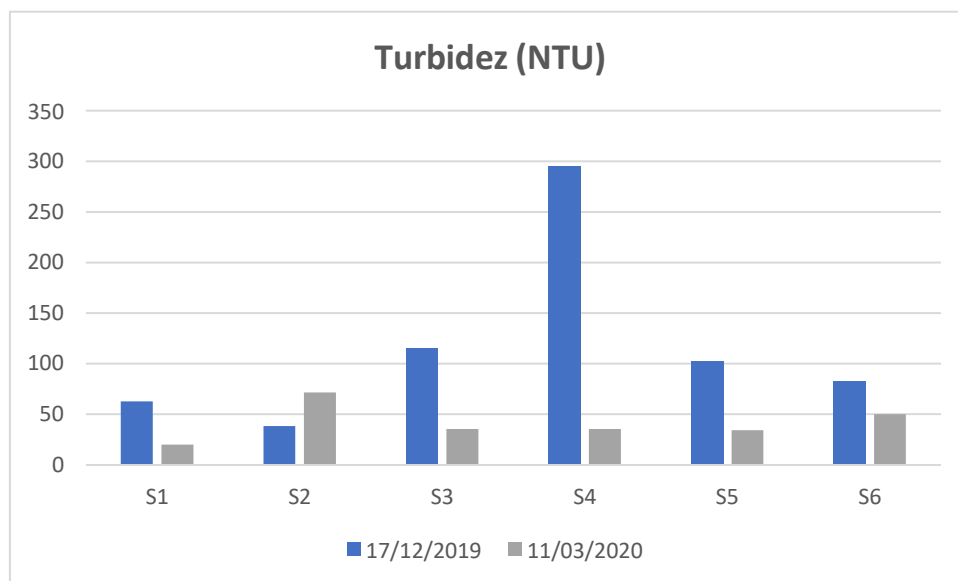
Elaborado pela autora.

A variável limnológica turbidez (figura 10), não segue um padrão nas seções, seus valores variam de 295NTU na seção 4 a 38.5NTU na seção 2, no mês de março e variam de 20.1NTU na seção 1 a 71.5 na seção 2. Curiosamente a seção de menor valor no primeiro campo torna-se a de maior valor no segundo campo.

Estando a turbidez ligada a partículas suspensas na água e conseqüentemente à sua agitação, turbulência, podemos perceber por meio do gráfico que na medição de dezembro houve uma turbidez mais acentuada, ligada às condições pluviométricas na bacia hidrográfica naquele dia. Estando em condições atmosféricas normais, como ocorreu em março, os valores diminuíram consideravelmente, tendo assim uma diferença média de 74.79 entre a primeira e a segunda medição, que tiveram médias respectivas de 115.95 e 41.16. Cabe ressaltar também que a maior amplitude se encontra na seção 4 com

diferença de 259.3 de diferença e a menor amplitude se encontra na seção 6 com diferença de 32.5.

Figura 10: Gráfico da variação espacial e temporal da Turbidez nas seções.

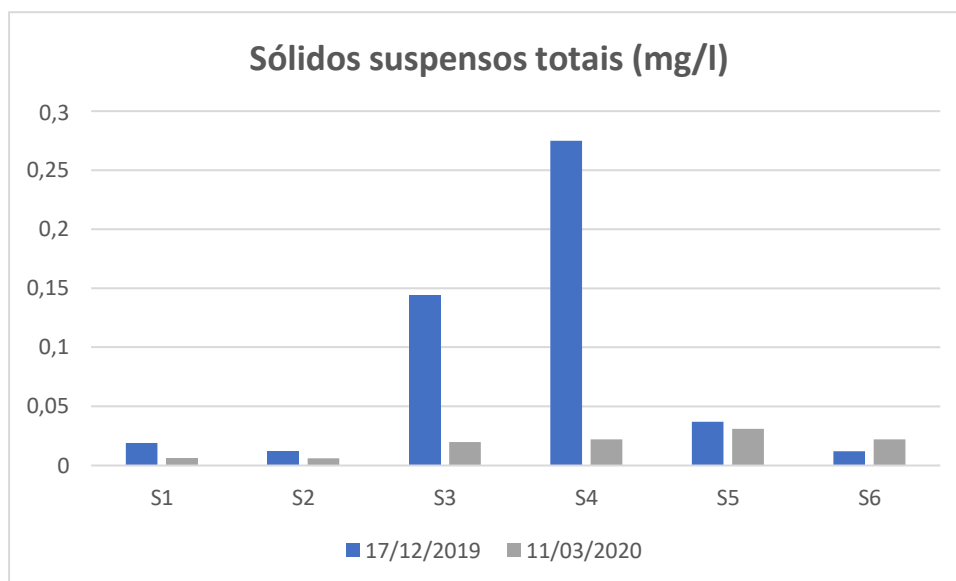


Elaborado pela autora.

Na primeira medição houve a presença de chuva antes e durante a saída a campo, levando assim a valores maiores na variável sólidos em suspensão e maior diferença entre os dados obtidos no primeiro e segundo trabalho de campo, como observado na figura 11. Os sólidos suspensos totais tiveram seus valores variados de 0.012 nas seções 2 e 6 e 0.275 mg/l na seção 6 durante o trabalho de campo 1, enquanto no trabalho de campo dois a variação foi de 0.006 nas seções 1 e 2 e 0.031 na seção 5. Assim pode-se notar que o menor valor registrado no campo 1 foi o dobro do campo 2, enquanto o maior valor registrado teve diferença quase nula de um campo para o outro.

É notável que a quantidade de sólidos suspensos totais está intimamente ligada à variável turbidez, prova disso é o alto valor encontrado na primeira medição e principalmente na seção 4. Seguindo os passos da variável anterior, há uma grande diferença de valores entre as duas medições realizadas principalmente no médio curso do canal e conseqüentemente há uma grande amplitude e diferença nas médias entre a medição de dezembro de março neste local. Com relação a números, as médias se diferenciam em 0.083 na primeira medição e 0.017 na segunda medição. Já a amplitude tem sua máxima na seção 4 com 0.253 de diferença e as seções 2 e 5 possuem a mesma amplitude, com valor de 0.006, sendo as menores amplitudes encontradas para essa variável.

Figura 11: Gráfico da variação espacial e temporal de Sólidos suspensos totais nas seções.



Elaborado pela autora.

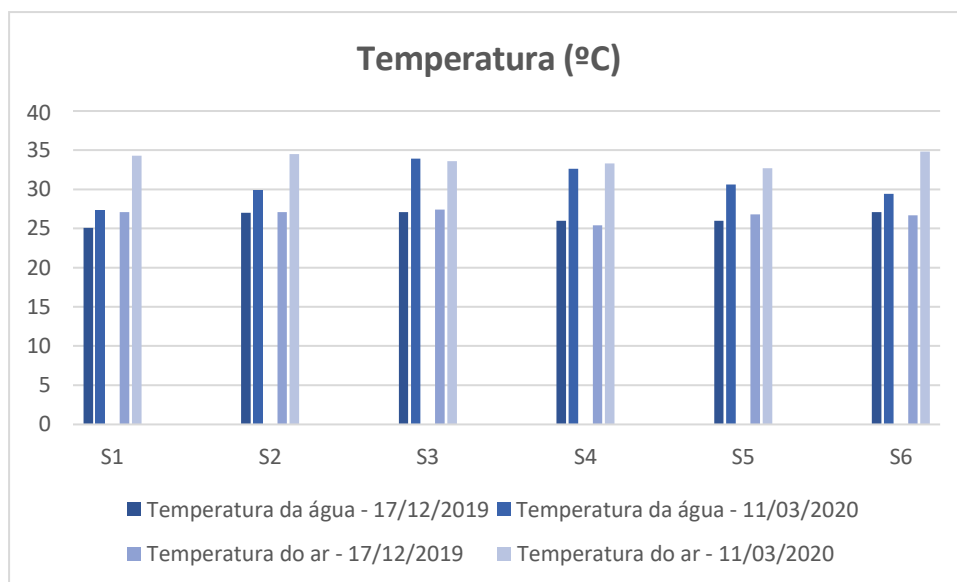
Essa condição do tempo também fez com que a temperatura tanto do ar como da água variasse em torno de 7°C do primeiro campo para o segundo, no caso da temperatura do ar. Em quanto a temperatura do ar ficou entre os $25,4^{\circ}\text{C}$ e $27,4^{\circ}\text{C}$ na primeira saída a campo, a temperatura da água variou entre $25,1^{\circ}\text{C}$ e $27,1^{\circ}\text{C}$. Nos dados anteriores, percebe-se que a variação das temperaturas são a mesma $2,0^{\circ}\text{C}$ e que a temperatura do ar é maior que a da água, isso só não ocorreu em duas seções distintas, seção 4 e seção 6, onde a temperatura da água esteve maior que a temperatura do ar. Já na segunda saída, os dados obtidos foram de que a temperatura do ar ficou entre os $32,7^{\circ}\text{C}$ e $34,8^{\circ}\text{C}$ e a temperatura da água variou entre $27,3^{\circ}\text{C}$ e $33,9^{\circ}\text{C}$. Observa-se que a temperatura do ar continua maior que a da água, destoando apenas na seção 3, onde a temperatura da água esteve maior que a temperatura do ar (figura 12).

Visualmente é possível observar que a temperatura do ar teve maiores amplitudes em relação a temperatura da água, quantificando, a menor amplitude da temperatura do ar foi de $5,9^{\circ}\text{C}$ na seção 5, enquanto a menor amplitude de temperatura da água foi de $2,2^{\circ}\text{C}$ na seção 1. As maiores amplitudes de temperatura da água e do ar respectivamente foi de: $6,8^{\circ}\text{C}$ na seção 3 e $8,1^{\circ}\text{C}$ na seção 6. As menores variações na temperatura da água estão ligadas às suas características de absorção de calor.

As médias da temperatura continuam seguindo o mesmo padrão encontrado na amplitude, ou seja, a média calculada para as medidas de temperatura da água foram

menores que o valor calculado para média de temperatura do ar. Quantificando, a média da temperatura da água em dezembro e em março foram de 26.38°C e 30.61°C, respectivamente, enquanto a temperatura do ar teve média de 26.75°C em dezembro e 33.86°C em março.

Figura 12: Gráfico da variação espacial e temporal da Temperatura da água e do ar nas seções.



Elaborado pela autora.

Os dados medidos referentes à geometria hidráulica podem ser representados pelos valores de velocidade média, área e vazão devido ao cálculo feito para se encontrar a vazão, que consiste na multiplicação entre velocidade média e área. As tabelas abaixo, tabela 3 e 4, demonstram todos os valores encontrados para a hidrologia fluvial. Foi diferenciada como tabela 3 a que contém os dados referentes a dezembro e tabela 4, dados de março.

Tabela 3: Dados da hidrologia do canal 17/12/2019.

	Velocidade média (m/s)	Área (m ²)	Vazão
S1	1,26	0,064	0,8
S2	1,93	2	3,86
S3	0,93	7,14	6,64
S4	1,4	8,18	10,69
S5	1,19	19,32	22,9
S6	0	738,71	0

Elaborado pela autora.

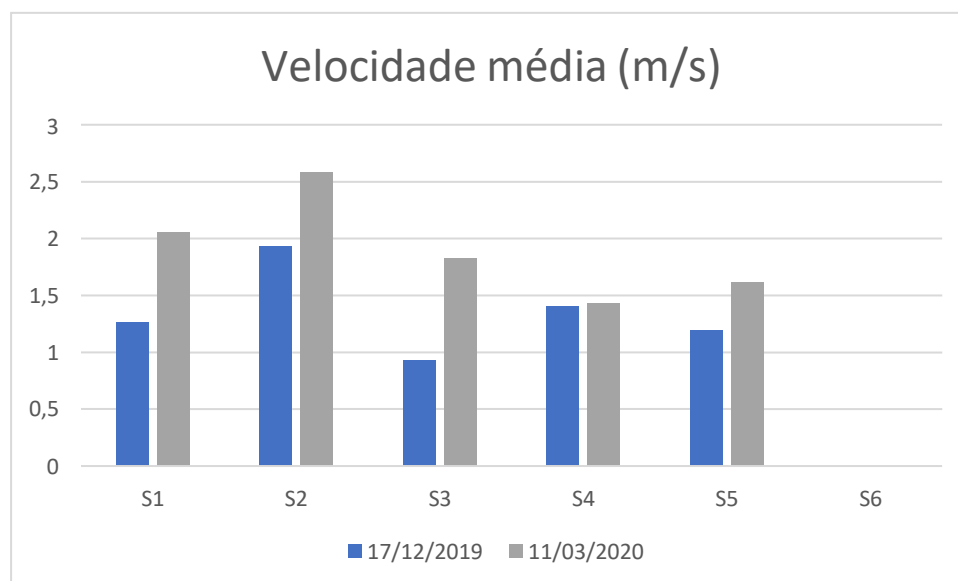
Tabela 4: Dados da hidrologia do canal 11/03/2020.

	Velocidade média (m/s)	Área (m ²)	Vazão
S1	2,05	0,11	0,23
S2	2,58	1,98	5,1
S3	1,82	2,66	4,84
S4	1,43	7,09	10,13
S5	1,61	7,85	12,63
S6	0	915,62	0

Elaborado pela autora.

É importante ressaltar que a seção de número 6 está ligada a foz do canal do rio Santo Anastácio e é caracterizada como um ambiente lântico, não sendo possível calcular sua velocidade média e vazão, encontrando somente a área da seção.

A obtenção dos dados de velocidade média em dezembro de 2019 e março de 2020 mostram uma oscilação entre as seções, estando mais veloz nas duas primeiras seções de amostragem em ambas medições (figura 13). A maior amplitude encontra-se na seção 3, com valor de 0.89, enquanto a menor amplitude (desconsiderando a seção 6) está localizada na seção 4, com 0.03. O aumento entre a seção 3 e 4 pode estar relacionado a características físicas do canal. Esta variável conta com média de 1.58m/s para o dia 11/03/2020, sendo maior que a de 17/12/2019 que possui média de 1.11m/s.

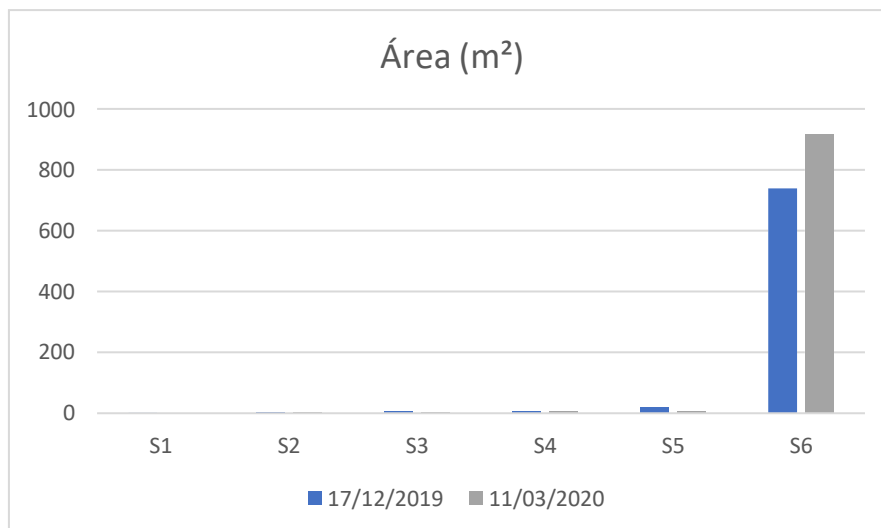
Figura 13: Gráfico da variação espacial e temporal da Velocidade média em m/s nas seções.

Elaborado pela autora.

Outro ponto hidrológico calculado é a área do canal em cada seção, essa variável passa a estar em ordem crescente da nascente para a foz do canal, em conformidade com estudos anteriores como o de Gonçalves (2011) e com a bibliografia consultada (figura 14).

Em relação a amplitude encontrada entre as medições, a maior se localizada na seção 6 com diferença de 176.91m^2 , sendo possível visualizá-la no gráfico abaixo (figura 14). A menor amplitude se encontra na seção 2, com diferença apenas de 0.02m^2 . Em relação a média, a maior se refere a medição realizada em 11/03/2020, com valor de 155.88m^2 e 129.23m^2 para o dia 17/12/2019. O aumento da área no mês de março de 2020 pode estar ligado ao clima presente na bacia hidrográfica, visto que a estação na qual se realizou as medições foi o verão, caracterizado por ser quente e chuvoso.

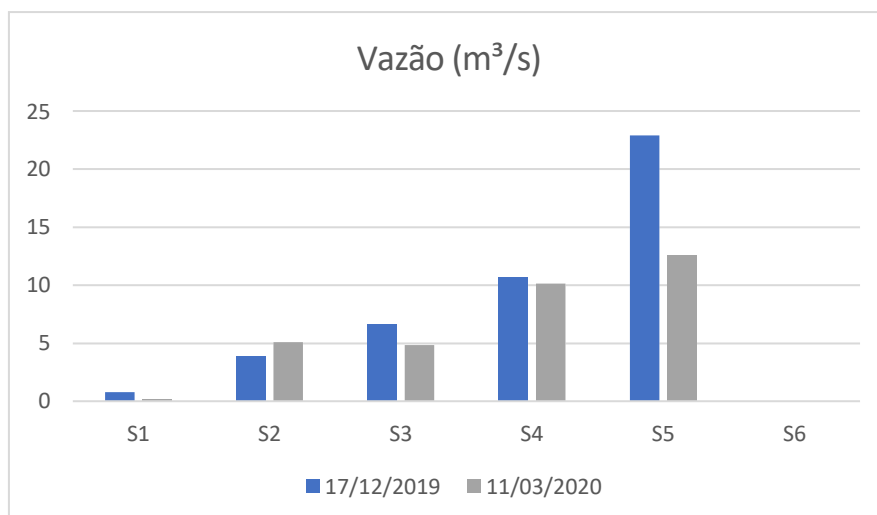
Figura 14: Gráfico da variação espacial e temporal da Área em m^2 nas seções.



Elaborado pela autora.

Ao analisar os dados, nota-se que a vazão vai aumentando da seção 1 (área de nascente) para a seção 5 (baixo curso do canal), no dia 17/12/2019. Já os dados medidos no mês de março mostram tendências diferentes da medição anterior, onde a vazão oscila, sendo o valor obtido na seção 2 maior que o da seção 3, por exemplo (figura 15).

Além disso, a vazão presente nas seções conta com baixa amplitude, destoando a seção 5 com $10.27\text{m}^3/\text{s}$, sendo a maior amplitude encontrada. A menor diferença entre as medições está localizada na seção 4, com $0.56\text{m}^3/\text{s}$.

Figura 15: Gráfico da variação espacial e temporal da Vazão em m³/s nas seções.

Elaborado pela autora.

Os dados pluviométricos em Presidente Prudente expressos a seguir (tabela 9), retratam a questão da chuva nos momentos de medição das características limnológicas, servindo de base para a discussão da relação presente entre as variáveis físicas da bacia hidrográfica e as variáveis limnológicas. Foi calculado a quantidade de chuva de 10 dias corridos antes da medição limnológica, contando o dia do trabalho de campo. É válido lembrar que foi escolhido o município de Presidente Prudente como referência para a pluviometria na bacia hidrográfica Santo Anastácio visto sua localização e por conter os dados diários e mensais atuais.

Tabela 5: Dados pluviométricos referente a dezembro de 2019 e março de 2020.

	Dezembro	Março
Total de mm	67.8	26.2
Quantidade em mm (10 dias)	4.4	6.8
Total do mês em mm	107.2	46.4
Nº de dias com chuva	15	6

Elaborado pela autora.

O mês de dezembro, começo do verão é marcado por maiores precipitações, enquanto o mês de março, final do verão, é marcado por menores médias pluviométricas (SOUZA, 2016). É importante ressaltar novamente que houve chuva no dia do trabalho de campo de dezembro. Enquanto o trabalho de campo referente a março de 2020 foi precedido por dias sem chuva.

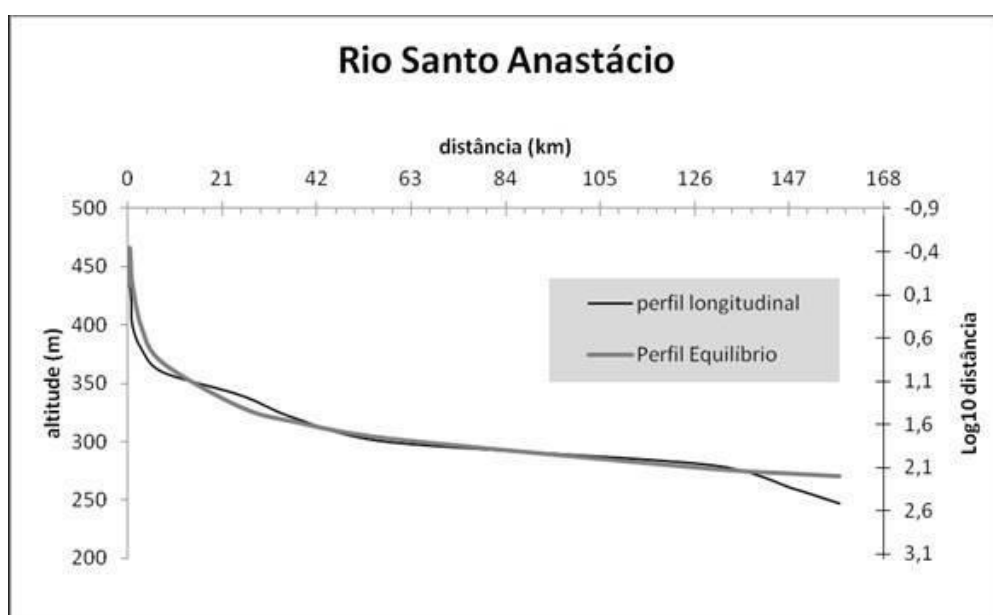
Gonçalves (2011) confirma que a precipitação pluviométrica é maior no verão – de outubro a abril, sendo os meses mais chuvosos de dezembro a fevereiro, de maior erosividade, predispondo mais o ambiente à erosão, principalmente em outubro, novembro e dezembro, quando o solo está na fase de preparo para o cultivo. Outro fato relevante, é que ao ocorrer à precipitação há um acréscimo no volume de água no rio, aumentando assim o seu poder de dissolução e autodepuração.

4.2. Análise da Bacia Hidrográfica: O Meio Físico

Para entender a dinâmica da bacia hidrográfica, suas homogeneidades e heterogeneidades realizaram-se o levantamento e caracterização de seu meio físico. A bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio possui influencia em seu perfil longitudinal da construção do lago da Usina de Porto Primavera, contudo, seu perfil apresentou-se razoavelmente ajustado, havendo apenas duas mudanças bruscas, uma em seu baixo curso e outra próxima à zona de cabeceiras de drenagem (GONÇALVES, 2011).

O perfil longitudinal de um rio (figura 16) é levantado a partir de uma linha que une pontos do seu leito, desde a nascente até a foz, e permite visualizar o declive do leito do rio ao longo do seu percurso, relacionando a altimetria e o comprimento do curso d'água. (CHISTOFOLETTI, 1981).

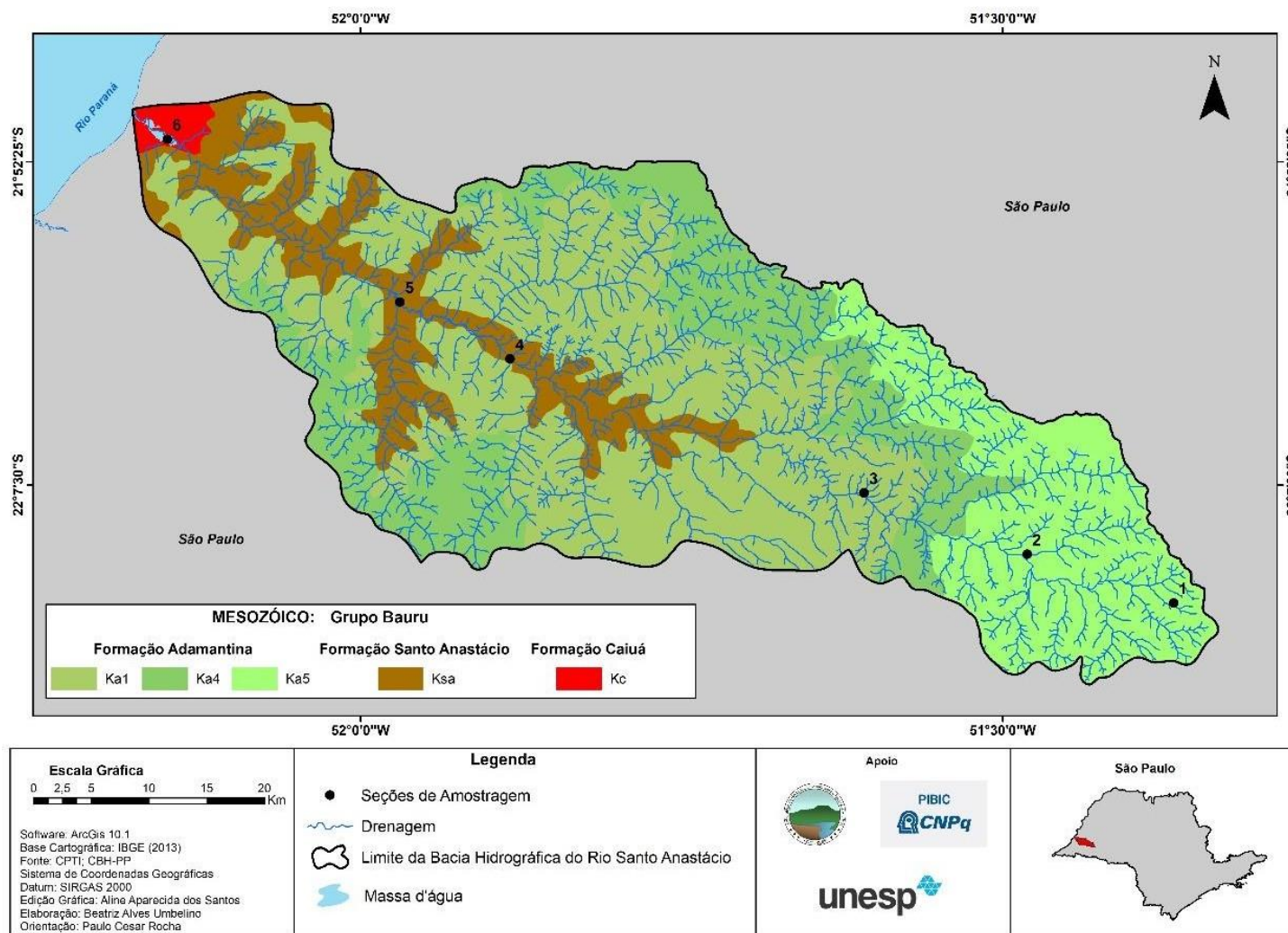
Figura 16: Perfil longitudinal do rio Santo Anastácio e respectiva curva de equilíbrio (SUIZU, 2011).



Fonte: Gonçalves, 2011.

Em relação à geologia, a área de estudo está situada sobre a província geomorfológica denominada de Planalto Ocidental Paulista, onde ocorre o Grupo Bauru (formação do Cretáceo Superior), grupo que compreende as Formações Adamantina, Santo Anastácio e Caiuá.

Mapa 3: Aspectos Litológicos da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio.



A Formação Adamantina é composta pelas seguintes classes: **Ka1**: caracterizada por possuir arenitos finos a muito finos, siltitos arenosos, arenitos argilosos, subordinadamente arenitos com granulação média quartzosos, localmente arcoseanos; **Ka4**: Arenitos finos a muito finos, quartzosos, com frequentes intercalações de argilitos e siltitos, formando bancos espessos; **Ka5**: Arenitos finos a muito finos, quartzosos, com frequentes intercalações de argilitos e siltitos, formando bancos espessos. A Formação Adamantina abrange a maior parte da área da bacia hidrográfica, principalmente nas cotas mais altas.

A Formação Santo Anastácio compreende-se por arenitos finos a médios, mal selecionados, identificados com a sigla Ksa no mapa geológico da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio. No domínio da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio, esta formação estende-se principalmente por áreas de fundo de vale e na parte inferior de vertentes do curso principal e de alguns outros afluentes. Assim, pode-se dizer que a formação Santo Anastácio pode ser encontrada próximo ao leito fluvial do rio em seu médio curso até sua foz.

E a Formação Caiuá possui arenitos finos a médios, bem arredondados, cores nos tons roxos. Na área de estudo, a ocorrência desta formação limita-se ao seu baixo curso, próximo a foz do rio Santo Anastácio.

Considerando a bacia hidrográfica como um todo, é possível obter a porcentagem de cada classe em relação a área total, assim temos que: na bacia hidrográfica do Santo Anastácio predomina a classe Ka1, com 908,40 km², ocupando 43,40% da área, como pode ser observado na tabela 6:

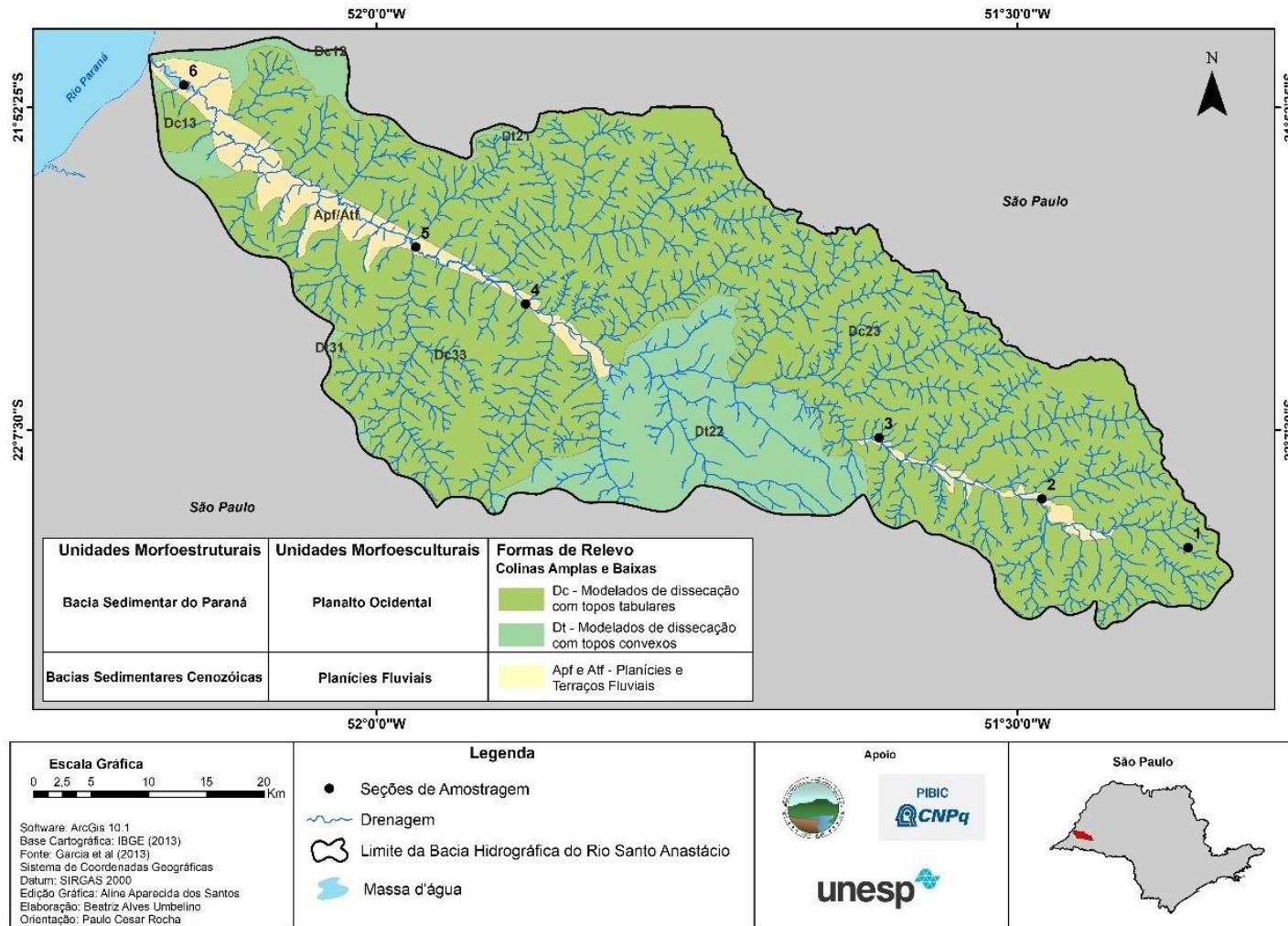
Tabela 6: Porcentagem de classes geológicas relacionadas a área da bacia hidrográfica.

Geologia		
Classes	Área (km ²)	%
Ka1	908,40	43,40
Ka4	447,12	21,36
Ka5	417,52	19,95
Ksa	20,69	0,99
Kc	299,57	14,31

Elaborado pela autora

A geomorfologia da bacia hidrográfica do Santo Anastácio (mapa 4), bem como toda a região do oeste do Estado de São Paulo, é caracterizada pelo predomínio de colinas suavemente onduladas entremeadas por esparsos morrotes residuais rebaixados pela erosão, assim como extensos chapadões areníticos rebaixados pela erosão (CARVALHO, 1997, p. 12).

Mapa 4: Apresentação das Unidades de Relevo da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio.



Observa-se a presença da bacia sedimentar do Paraná e a bacia sedimentar cenozóica como unidade morfoestrutural, acompanhadas respectivamente das seguintes unidades morfoesculturais: planalto ocidental e planícies fluviais. As planícies e terraços fluviais estão localizadas próximas ao leito do rio, ganhando maior destaque no médio e baixo curso do canal. Já as formas de relevo caracterizadas por colinas amplas e baixas são divididas entre modelados de dissecação de topos tabulares (Dt) que se restringe a uma área entre as seções de amostragem 3 e 4 tornando a aparecer no baixo curso do rio próximo aos limites da bacia hidrográfica e modelados de dissecação de topos convexos (Dc).

Ao analisar as dissecações presentes na bacia hidrográfica em questão, e com a análise da abaixo (Tabela 7), é possível a identificação dos topos convexos na maior parte da área, correspondendo a 78,71% do total, equivalendo a 1647,41 km². Na Tabela 7 também temos a classificação das classes pelos índices, mostrando que dentre as variações de Dc a predominante é a Dc23, com 58,80% de toda a área.

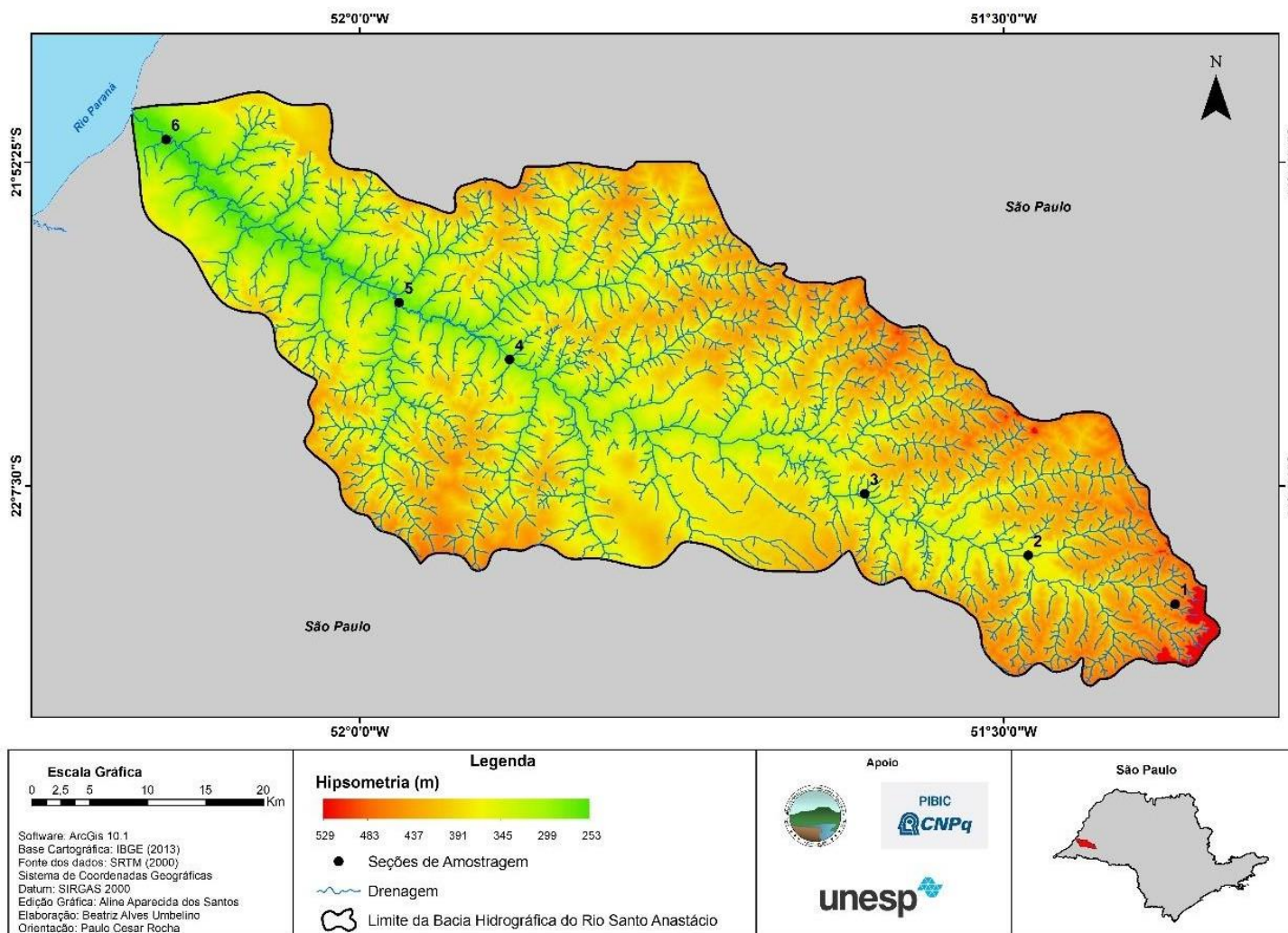
Tabela 7: Porcentagem de classes geomorfológicas relacionadas a área da bacia hidrográfica.

Geomorfologia		
Classes	Área (km²)	%
Dc	1647,41	78,71
Dt	327,16	15,63
Apf/Atf	118,52	5,66

Elaborado pela autora.

A hipsometria é uma técnica de representação da elevação de um terreno através de cores. O conhecimento da altimetria de uma região nos auxilia no entendimento e caracterização do meio físico da bacia hidrográfica. Através dela, obtêm-se características do relevo e localiza-se em quais áreas são encontradas as maiores e menores altitudes na bacia hidrográfica, colaborando no entendimento do escoamento superficial da mesma (mapa 5).

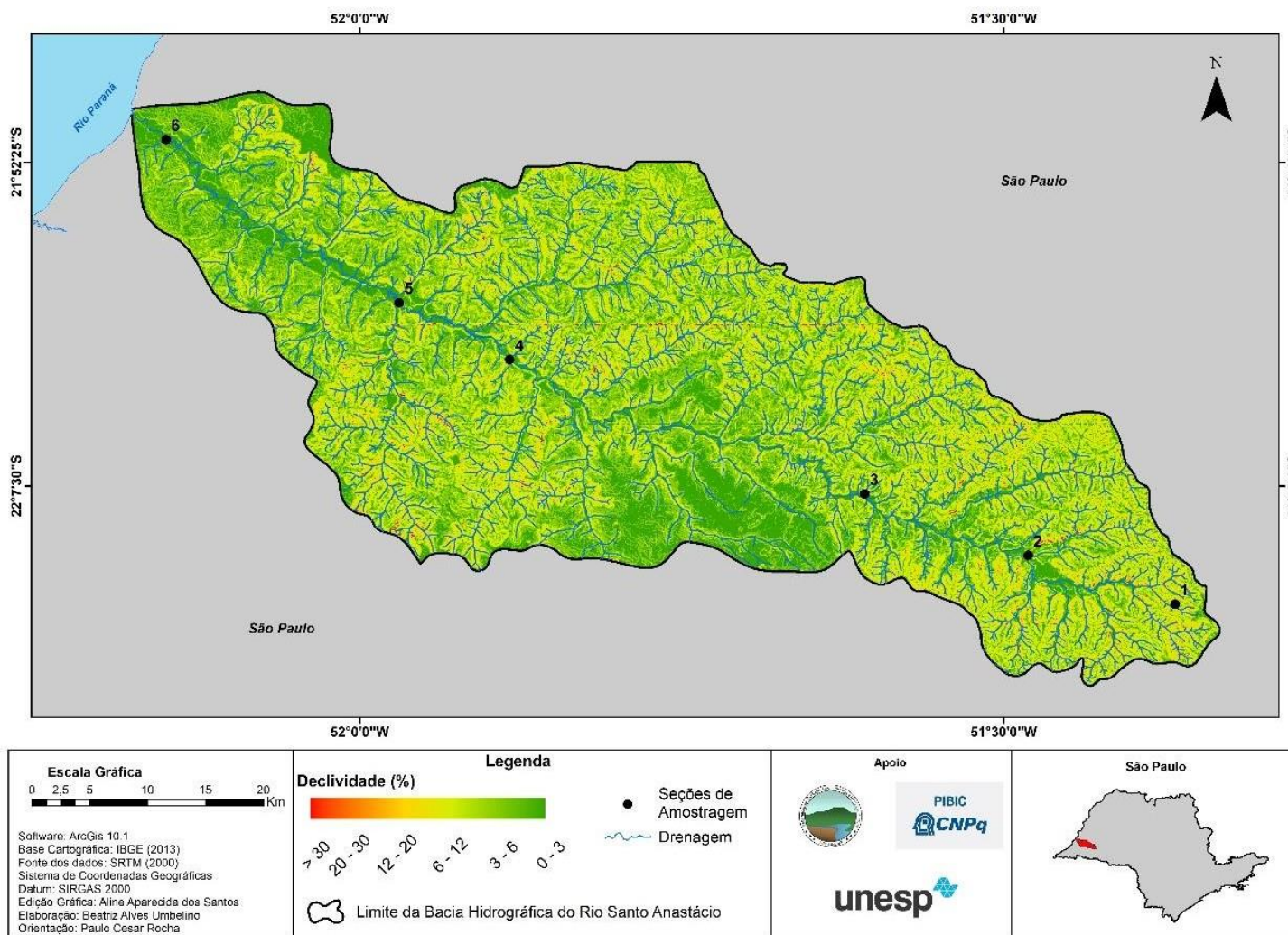
Mapa 5: Hipsometria da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio.



A identificação e análise hipsométrica da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio possibilitaram a observação e constatação da variação altimétrica terreno, distribuídas em 6 classes iguais. Ao observar o mapa elaborado, nota-se a presença de maiores elevações nos limites da bacia hidrográfica, distante do canal principal, principalmente na área de cabeceira e médio curso do rio. As menores elevações se deram junto ao leito do canal principal como sua maior presença na área de baixo curso do rio.

A carta clinográfica ou de declividade, tem o objetivo de levantar e quantificar a inclinação ou declive do relevo (mapa 6).

Mapa 6: Declividade da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio.



Ao analisar e interpretar o mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio observa-se que a mesma possui em seu alto e médio curso, declives mais acentuados. Enquanto os declives menos acentuados estão junto ao leito do canal principal e na área classificada como Dt no mapa geomorfológico.

A declividade analisada como um dado contínuo dividida em 6 classes, possui predominância da classe 6 - 12%, com 40,37% do total da área, correspondendo a 850,09 km². A predominância dessa classe, terceira classe, na bacia hidrográfica como um todo pode mostrar que a mesma se encontra com baixas declividades, não tendo assim declives muitos acentuados (tabela 8).

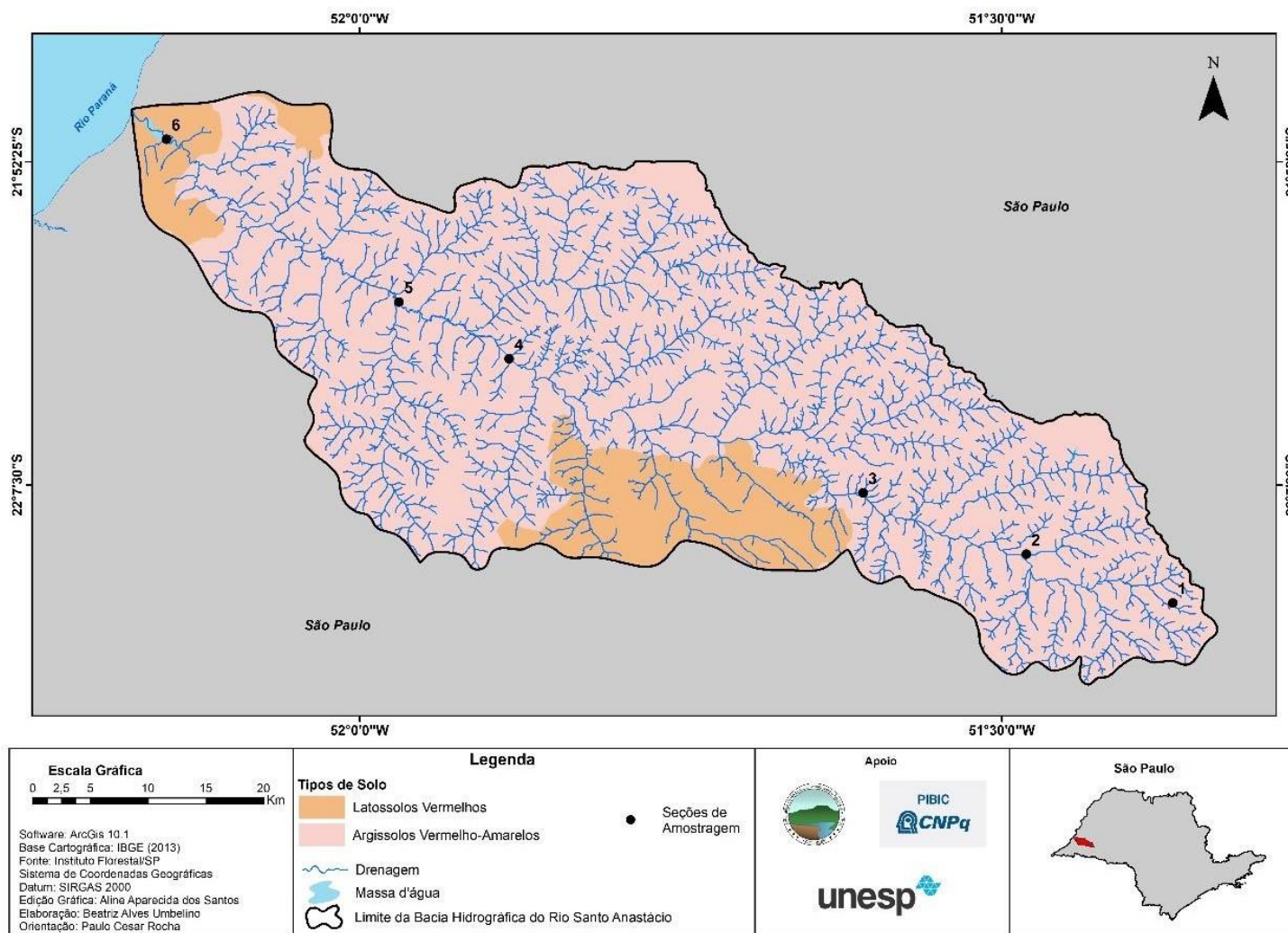
Tabela 8: Porcentagem de classes de declividade relacionadas a área da bacia hidrográfica.

Declividade		
Classes	Área (km²)	%
0 - 3 %	418,02	19,85
3 - 6 %	708,44	33,64
6 - 12%	850,09	40,37
12 - 20 %	124,85	5,93
20 - 30 %	4,25	0,20
> 30 %	0,30	0,01

Elaborado pela autora.

O mapa pedológico ou dos tipos de solo presentes na bacia hidrográfica mostram a presença de Latossolo Vermelho e de Argissolo Vermelho Amarelo (mapa 7).

Mapa 7: Distribuição dos principais tipos de solos da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio.



O Latossolo Vermelho – segundo Carvalho (1997, p.12), “[...] ocorrem em colinas convexas de relevo suavemente ondulado, com declividade de 3 a 8% e vertentes, normalmente, longas (250 a 500m) a muito longas (superiores a 500m). Esta unidade pedológica é composta por solos minerais não hidromórficos, de coloração vermelho-escuro e apresentam textura do substrato arenito, variando de argilosa a média argilosa. Desta maneira coincide com a área de Dt e de declives menos acentuados.

O Argissolo Vermelho Amarelo – apresentam-se semelhantes aos solos Podzólico Vermelho Escuro. São solos bem a moderadamente drenados, variando de rasos a profundos e textura variando de arenosa/média a argilosa muito argilosa. Distribuem-se em relevos de encostas declivosas, de colinas médias e morrotes alongados (MARTIN, 2000, p. 81).

Relacionando os tipos de solo presente com a área total da bacia hidrográfica, fica em evidência que a classe pedológica argissolos vermelho-amarelos predomina no local de estudo com 86,46%, correspondendo a 1809,62 km² da área total (tabela 9).

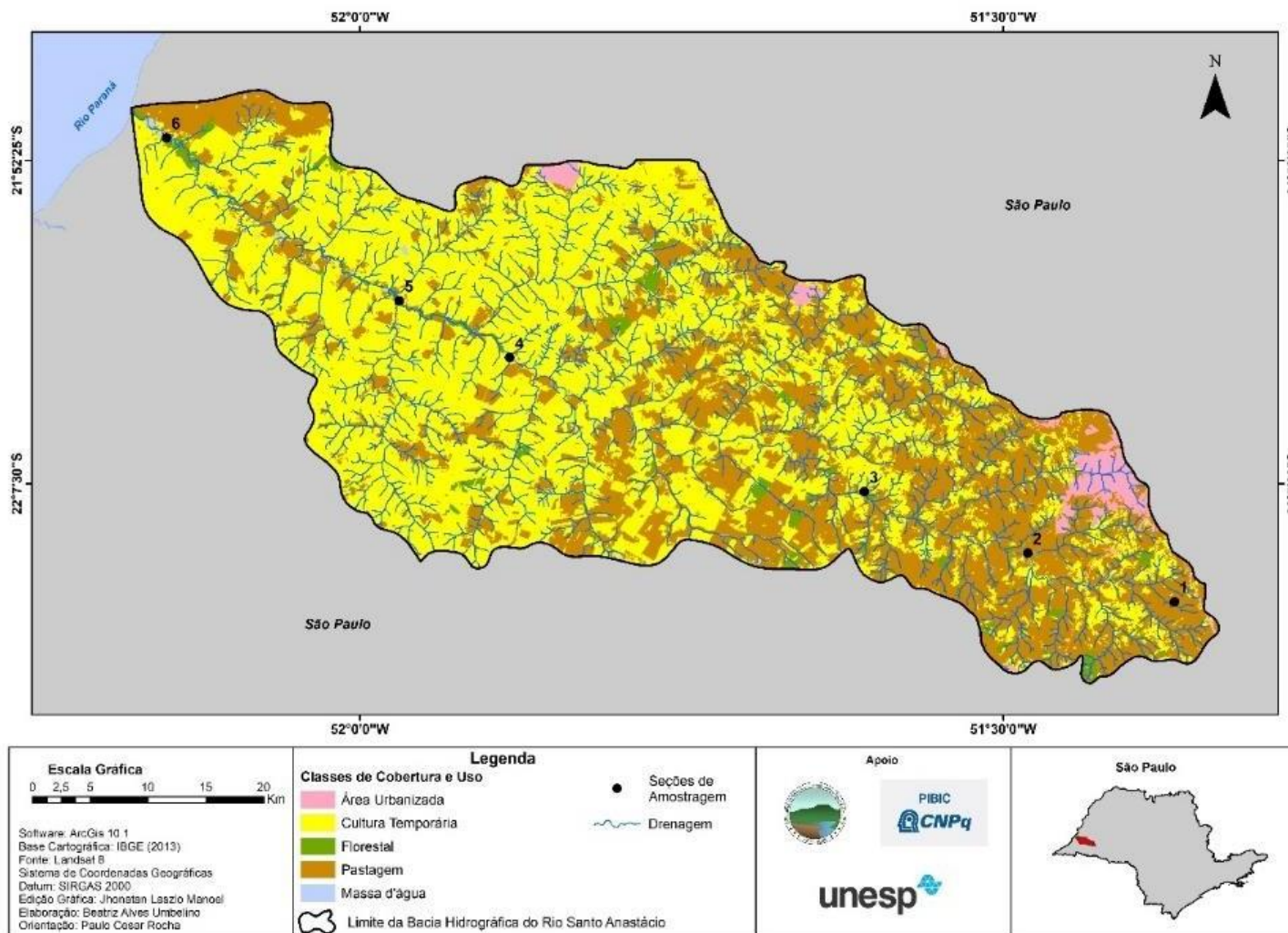
Tabela 9: Porcentagem de classes de pedologia relacionadas a área da bacia hidrográfica.

Solos		
Classes	Área (km²)	%
Latossolos vermelhos	283,46	13,54
Argissolos vermelho-amarelos	1809,62	86,46

Elaborado pela autora.

A descrição do uso e cobertura da terra pode promover indicações do seu mau uso, orientando assim, o planejamento ambiental da bacia hidrográfica, de modo a agenciar e/ou nortear o “uso adequado da terra” (mapa 8).

Mapa 8: Uso e Cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio.



A partir de análise de imagens de satélites, do mapeamento e dos trabalhos de campo, determinaram-se as classes de uso e cobertura da terra existente na bacia hidrográfica, sendo elas: área urbanizada, cultura temporária, floresta, pastagem e massa d'água. Considerando o período de dezembro à março para comparações, partiu-se do pressuposto de que não houve mudanças significativas na área neste intervalo de tempo, obtendo assim somente um mapa de uso e cobertura da terra.

Observa-se que há um predomínio tanto de cultura temporária quanto de pastagem, sendo a cultura temporária compreendida aqui principalmente como cana-de-açúcar ocupando a maior parte da área (tabela 10). Além disso, há uma predominância de pastagem no alto e médio curso da bacia hidrográfica, enquanto a cana-de-açúcar predomina em seu médio e baixo curso. O leito do canal principal apresenta em poucas áreas a presença de florestas, o que leva a demonstrar que as áreas determinadas para APP (área de preservação permanente) não estão sendo cumpridas por lei. Confirmando isso, a tabela abaixo traz os dados referentes a porcentagem das classes observadas no Mapa 8 relacionada com a área total da bacia hidrográfica Santo Anastácio.

Tabela 5: Porcentagem de classes de uso e cobertura da terra relacionadas a área da bacia hidrográfica.

Uso e cobertura da Terra		
Classes	Área (km²)	%
Área urbana	42,55	2,02
Cultura temporária	1217,50	57,81
Florestal	43,85	2,08
Pastagem	794,71	37,74
Curso d'água	7,29	0,35

Elaborado pela autora.

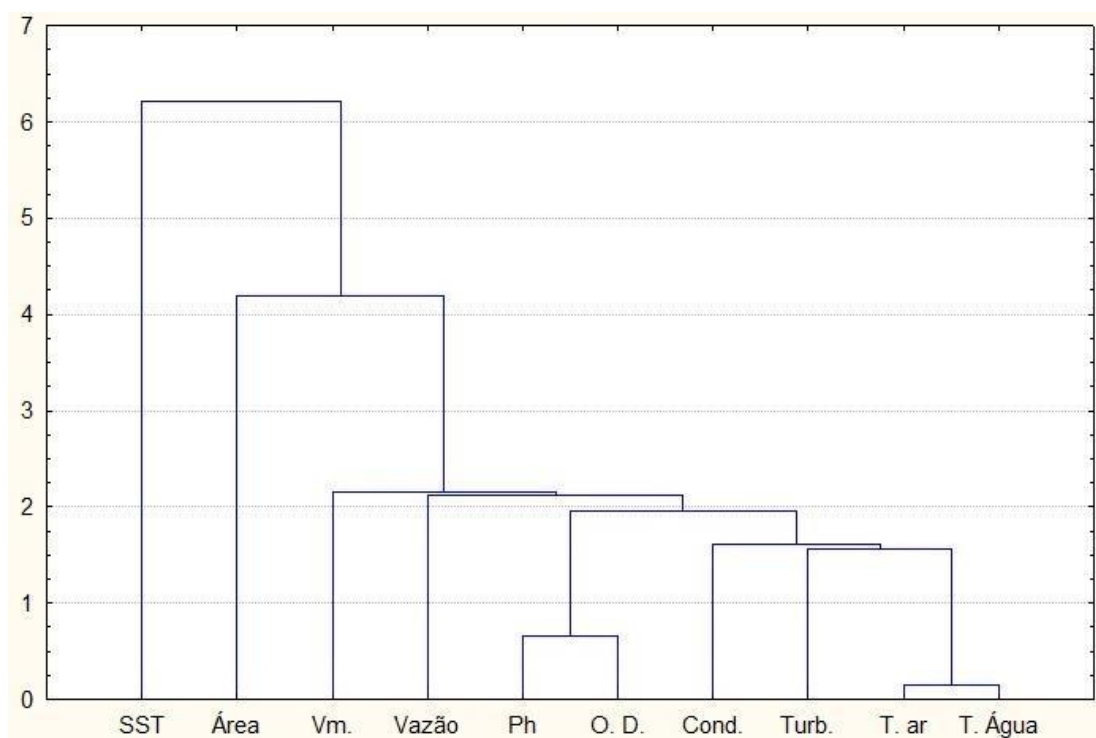
4.3. Correlações limnológicas: no canal e por seção

Por meio de análise de agrupamento, pode-se dizer que as variáveis que mais se relacionam dentre as limnológicas são: temperatura da água e do ar e o potencial hidrogeniônico com o oxigênio dissolvido, sendo a menor relação dada por meio dos sólidos suspensos totais (figura 17). Isto pode ser observado pelo fato de que estas variáveis estão dentro de um grupo que possuem maior afinidade entre si, apresentando as menores distâncias euclidianas. Enquanto isso, é perceptível que os sólidos suspensos

totais é a variável que mais se distancia dos outros elementos, estando assim, em grupo de afinidade diferente das demais.

Em um nível um pouco maior de distância, pode verificar que a Vazão apresenta ligação com o grupo que agrega as variáveis pH e OD e o grupo com a Condutividade Elétrica, Turbidez e Temperatura (ar e água). Isso pode indicar a influência do volume de água a estas variáveis.

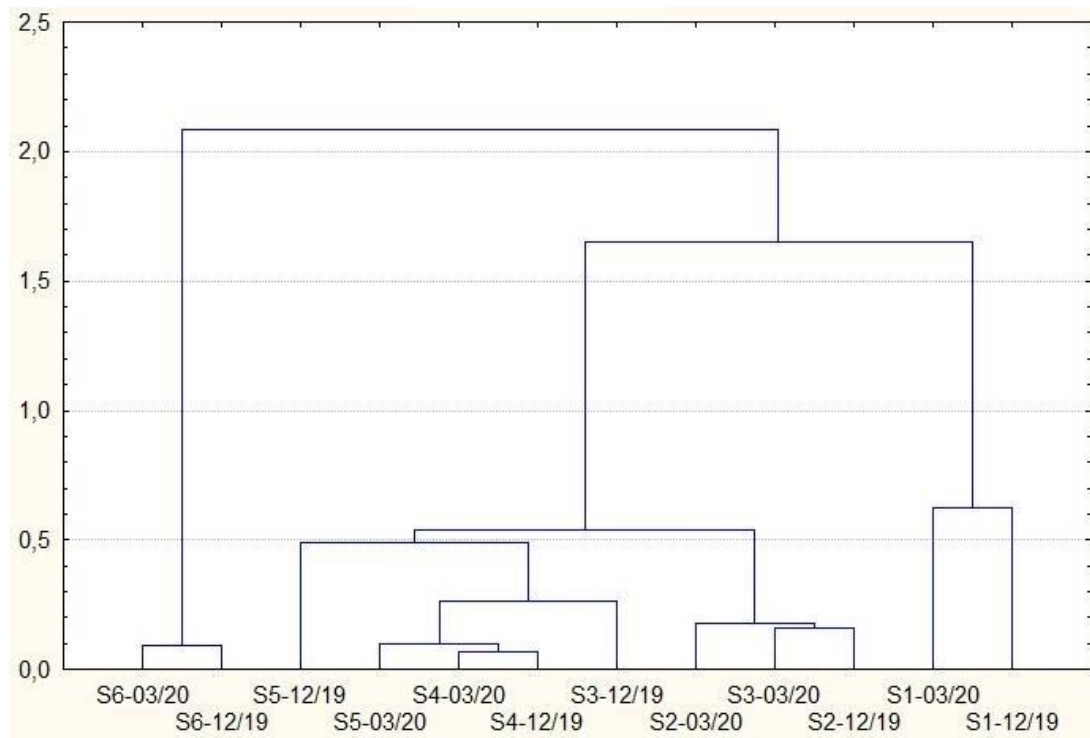
Figura 17: Análise de agrupamento das variáveis limnológicas e hidrológicas.



Elaborado pela autora.

Em relação às seções (figura 18), pode-se dizer que há relação de semelhança na mesma seção entre os dois períodos de medição, e a maior semelhança entre os dados da seção 4 e 5 em março de 2020. Enquanto nota-se uma distância entre a seção 6 nas duas amostragens. Isto está ligado principalmente ao seu deságue no Rio Paraná, e o fato de ter sido represado, fazendo com que tanto as características limnológicas quanto as hidrológicas, principalmente, se diferencie em quantidade. Os dados abaixo levam em consideração apenas os dados limnológicos e hidrológicos.

Figura 18: Análise de agrupamento das seções de amostragem em dezembro de 2019 e março de 2020.



Elaborado pela autora.

4.4. Análise espacial integrada do meio físico e uso e cobertura da terra

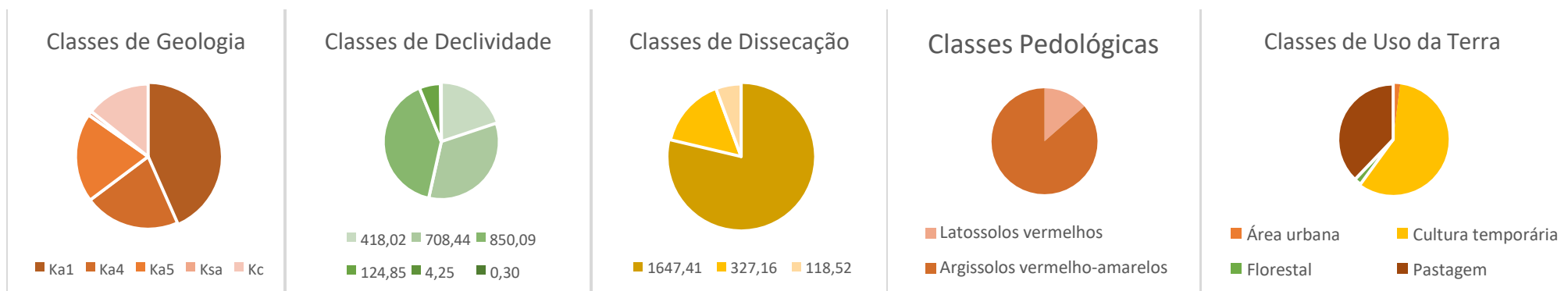
Por meio dos resultados obtidos, foi possível relacionar as variáveis do meio físico presente na Bacia Hidrográfica do rio Santo Anastácio com o uso e cobertura da terra utilizado. Dessa maneira, é possível notar que cada seção de amostragem (correspondente aos dados limnológicos) têm características diferentes espacialmente, demonstrando assim o comportamento do canal de montante à jusante e posteriormente analisando estas variáveis com os dados limnológicos da água.

A tabela 11 e a figura 19 ilustram as características predominantes de cada variável do meio físico, incluindo o uso e cobertura da terra.

Tabela 6: Dados dominantes do meio físico na bacia hidrográfica Santo Anastácio nas seções fixas de amostragem.

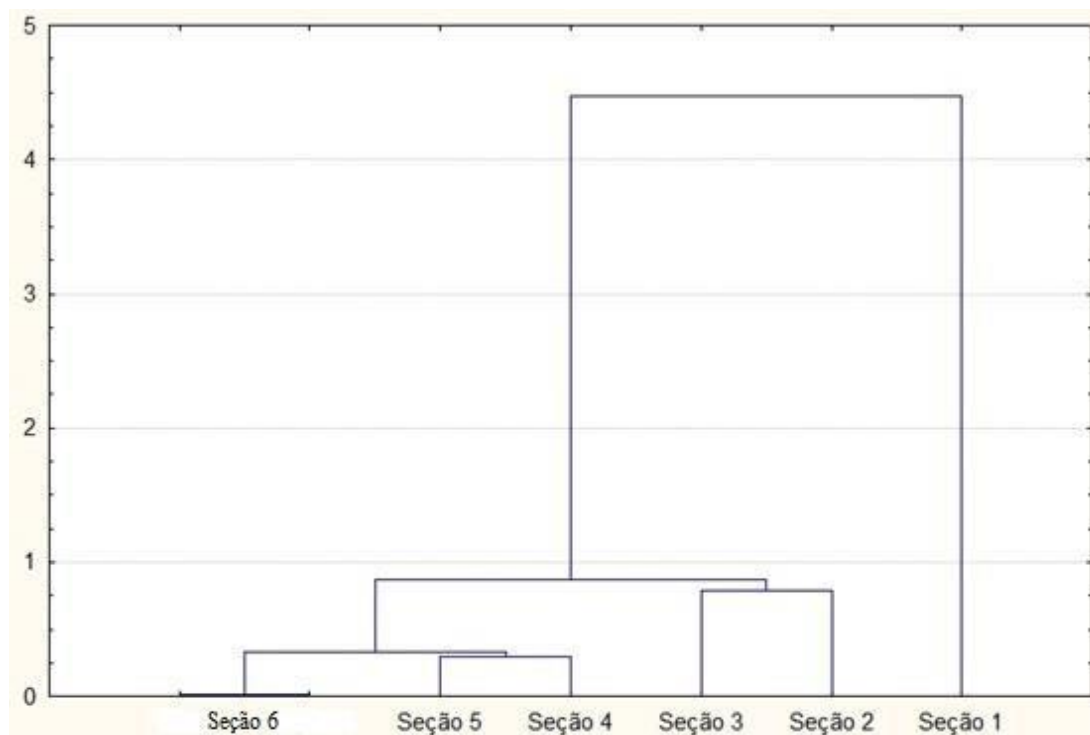
SEÇÃO	Geológico	Geomorfológico	Hipsométrico	Clinográfico (%)	Pedológico	Uso e Cobertura da terra
S1	Ka5	Dc	529-483	12-20	Lva	Pastagem
S2	Ka5	Apf e Atf	391-345	3-6	Lva	Pastagem
S3	Ka1	Dc	391-345	6-12	Lva	Pastagem
S4	Ksa	Apf e Atf	345-299	6-12	Lva	Pastagem
S5	Ksa	Apf e Atf	345-299	3-6	Lva	Cultura Temporária
S6	Kc	Apf e Atf	299-253	0-3	Lv	Cultura temporária

Elaborado pela autora.

Figura 19: Gráficos das relações gerais das variáveis do meio físico da bacia hidrográfica Santo Anastácio.

Elaborado pela autora.

Figura 21: Análise de agrupamento das variáveis físicas dominantes na Bacia Hidrográfica do rio Santo Anastácio por seção de amostragem.



Elaborado pela autora.

Analisando-a visualmente, percebe-se o desenho do canal fluvial, de baixo curso na esquerda caminhando para médio e alto curso na direita, onde as seções se ordenam de forma decrescente. Isso corrobora com a análise de similaridade dos dados limnológicos.

Observando-o mais atentamente, nota-se que a seção de número 1 se destoa das demais, sendo assim a única seção de fora do grande grupo. Nos subgrupos, as seções que mais se assemelham estão descritas basicamente por pares, onde os valores totais se assemelham com a seção 6, os da seção 5 com a 4 e os da seção 3 com a seção 2. Essa sequência demonstra que as seções a jusante tendem a serem mais parecidas do que para montante e isso serve também para o meio físico da bacia hidrográfica enquanto área de drenagem de cada porção do rio. Além disso, essa figura confirma a discussão realizada na figura 21, indo de acordo com o conceito de continuum fluvial e da teoria geral dos sistemas.

Sintetizando, tanto a seção 1 quanto a seção 6 se diferenciam das demais, sendo mais homogêneas ao longo do tempo, ressaltando aqui que isto está ligado ao fato da

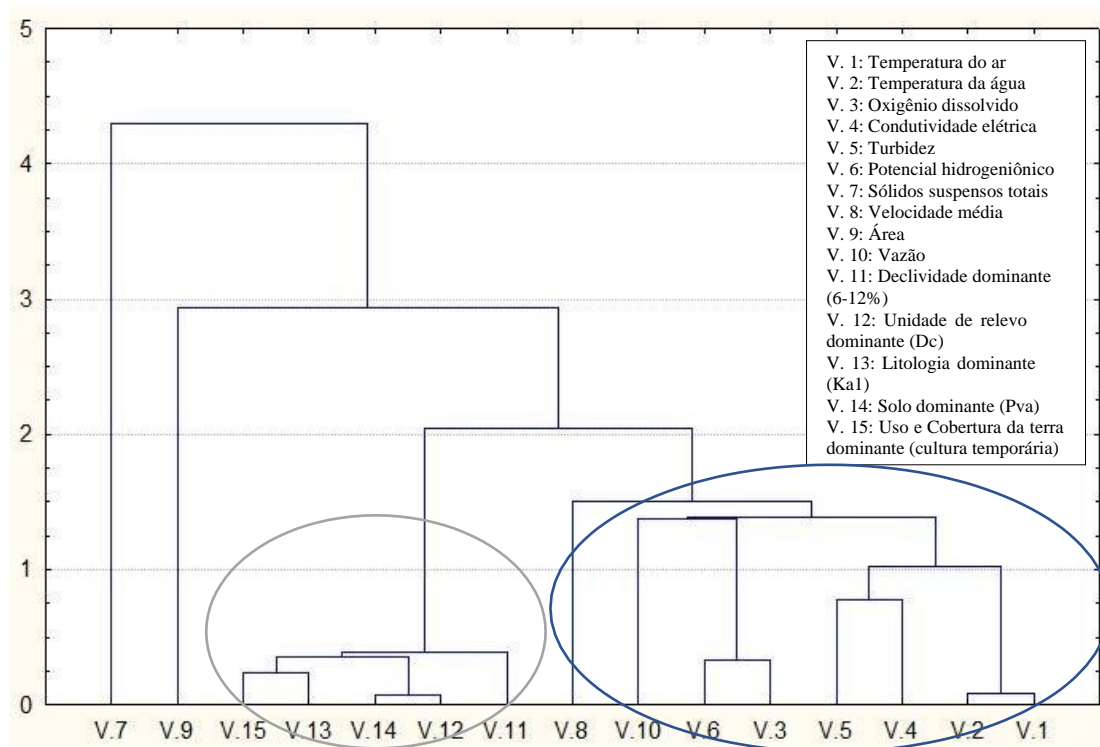
seção 1 estar em área de nascente e a seção 6 ser um remanso do reservatório da hidrelétrica de Primavera. Já as seções 2, 3, 4 e 5 parecem estar mais próximas em comportamento conforme sua sequência no perfil longitudinal, com alguma variação sazonal. Considerando as variações sazonais de entrada de água no sistema e as distâncias entre elas podem aproximar ou distanciar suas similaridades.

4.5. Análise integrada de todas as variáveis

A análise de agrupamento permite que se relacione diversas variáveis trabalhadas, dando ainda mais ludicidade a pesquisa e faz com que haja maior número de detalhes. Para tanto, se uniu as informações obtidas nos resultados e nas análises anteriores, unindo as variáveis limnológicas do canal, do meio físico da bacia hidrográfica e seu uso e cobertura da terra. Dessa forma, foram geradas as figuras 22 e 23, que são a síntese desta pesquisa, elucidando quais seções mais se relacionam, assim como quais variáveis são mais similares, abrindo caminho para compreender melhor a conectividade existente na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio.

As variáveis foram nomeadas de V. 1 a V. 15 e correspondem respectivamente à: temperatura do ar; temperatura da água; oxigênio dissolvido; condutividade elétrica; turbidez; potencial hidrogeniônico; sólidos suspensos totais; velocidade média; área da seção do canal; vazão; declividade; geomorfologia; geologia; pedologia e uso e cobertura da terra (figura 22), lembrando que nesta análise consideramos as variáveis físicas dominantes, conforme tabela 11 e figura 19.

Figura 22: Análise de agrupamento das variáveis limnológicas e dominantes do meio físico.

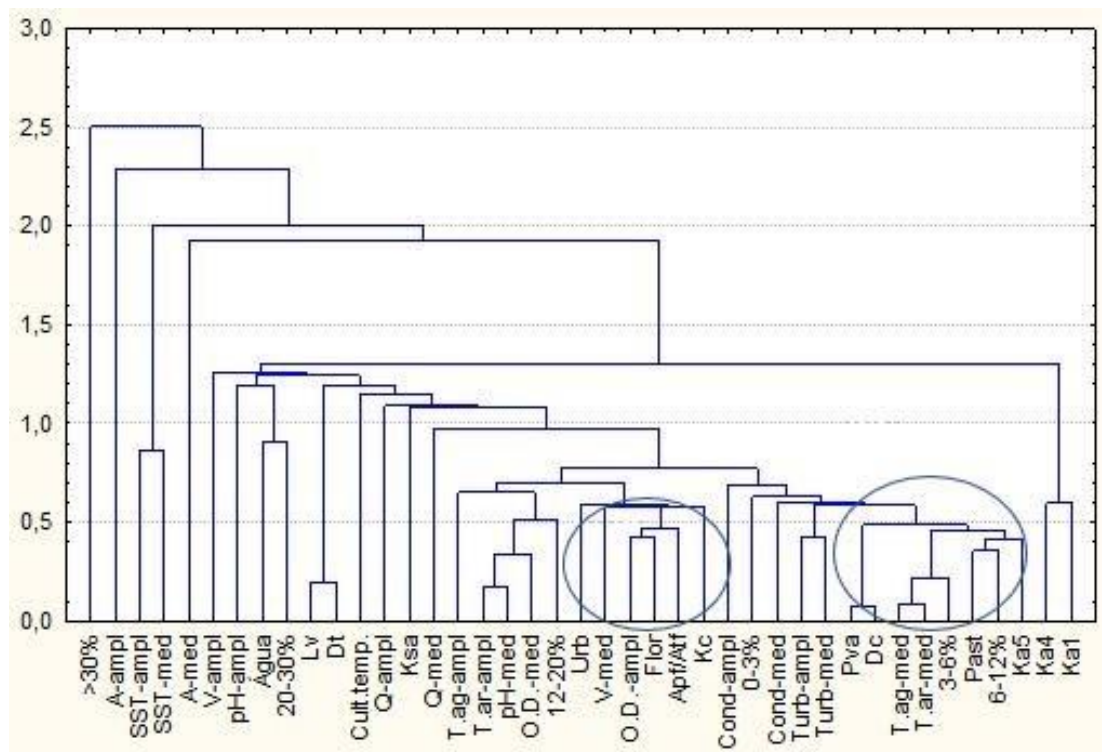


Elaborado pela autora.

Por meio do dendrograma acima, figura 22, observa-se que há inúmeros grupos entre as variáveis que se relacionam entre si. Entre elas, as de maior semelhança são: pedologia e geomorfologia e temperatura do ar e da água e a que mais se diferencia são os sólidos suspensos totais. Entre os grupos formados estão dois grandes grupos: uso e cobertura da terra; geologia; pedologia; geomorfologia e declividade e velocidade média; vazão; potencial hidrogeniônico; oxigênio dissolvido; turbidez; condutividade elétrica; temperatura da água e ar.

Examinando os grupos formados na análise de agrupamento e a forma como as variáveis ficaram distribuídas no dendrograma, têm-se que ainda há divisão entre limnologia e meio físico da bacia hidrográfica, sendo observado uma ordem crescente da direita para a esquerda, destacando os sólidos suspensos totais e a área, que estão na ponta esquerda. Esta variável, sólidos suspensos totais, é dependente da precipitação (que não entrou na análise) que propicia o escoamento superficial nas vertentes e a chegada de material no rio, e por isso destoa das demais.

Figura 23: Análise de agrupamento de todas as variáveis trabalhadas: médias e amplitude das variáveis limnológicas e hidrológicas e variáveis do meio físico.



Elaborado pela autora.

Ao analisar os dados das variáveis de maneira mais específica como na figura 23 acima, é possível observar novas relações e grupos avaliando-os melhor. Neste caso, continua valendo a premissa de que quando mais perto de 0,0, melhor é a correlação das variáveis. Assim, podemos listar a relação presente entre o Pva com Dc e o Lv com Dt, demonstrando assim uma relação já esperada pelos estudos e bibliografia esperada entre os solos e a dissecação presente na bacia hidrográfica.

Para além disso, é possível observar 2 sub-grupos de boas correlações entre as variáveis do canal e a da bacia hidrográfica, um conta com o oxigênio dissolvido, média da velocidade média, os usos urbanos e de floresta, dissecação (Apf/Atf) e litologia (Kc) e o outro conta com a relação entre Pva e Dc, temperatura média da água e do ar, declividade (3-6% e 6-12%), pastagem e litologia (Ka5). É interessante ressaltar que os dois grupos descritos anteriormente então a pouco mais que 0,5 de correlação, estando contidos ainda em grupos com correlações mais distantes.

A tabela abaixo, tabela 12, foi confeccionada a partir do dendrograma acima, figura 23, e ajuda na análise visual das correlações encontradas. Para tanto, os valores

acima de 0,7 estão na tonalidade vermelha, indicando as maiores correlações. Em relação a sua organização, procurou-se relacionar as variáveis dependentes (limnológicas) com as independentes (meio físico e hidrologia).

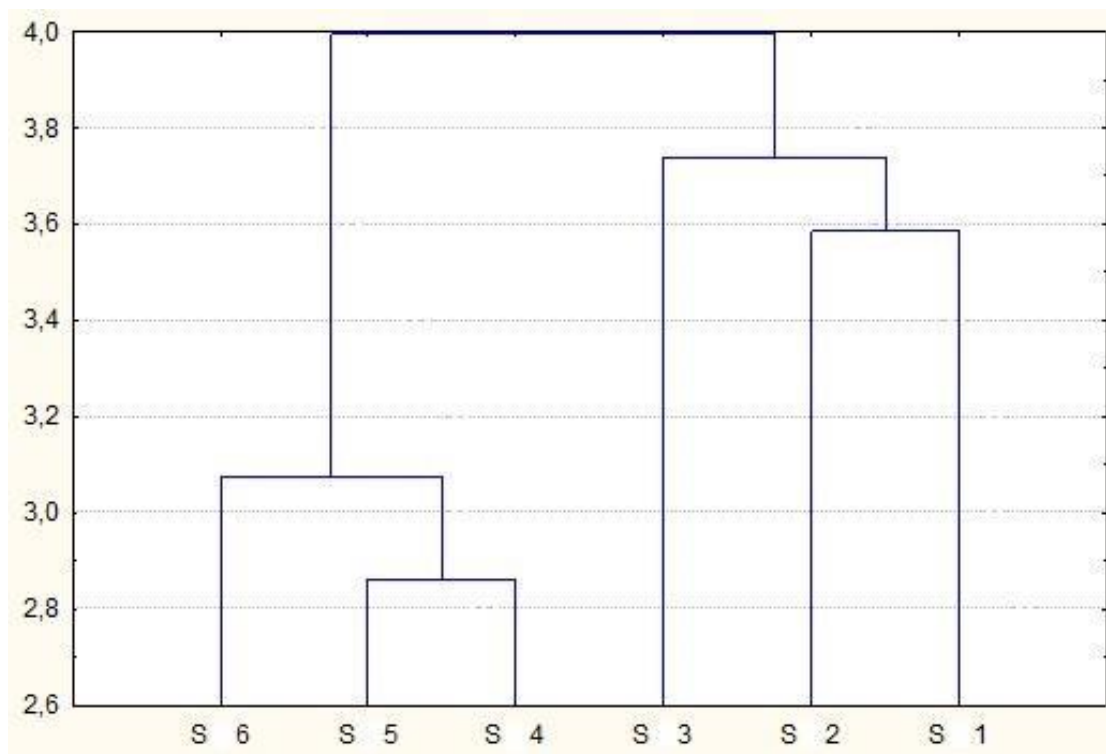
Tabela 7: Quantificação das correlações

	Litologia				Dissecação				Declividade						Solos			Uso da Terra				Hidrologia - média e amplitude					
	Ka1	Ka4	Ka5	Ksa	Kc	Dc	Dt	Apr/AH	0-3%	3-6%	6-12%	12-20%	20-30%	>30%	Lv	Pva	Urb	Cult.temp.	Flor	Past	Água	A-med	Q-med	V-med	A-ampl	Q-ampl	V-ampl
T.ar-med	-0,64	-0,58	0,46	-0,45	-0,35	0,74	-0,58	0,16	-0,59	-0,50	0,55	0,54	0,25	0,07	-0,56	0,78	-0,20	-0,41	-0,09	0,38	0,47	-0,08	-0,73	0,17	-0,19	-0,22	0,87
T.ag-med	0,42	0,57	-0,15	0,07	0,08	-0,27	-0,19	0,88	0,63	0,51	-0,25	-0,52	0,60	-0,86	-0,23	-0,18	0,96	0,67	0,73	-0,34	-0,72	0,41	0,65	-0,19	0,36	0,21	-0,25
O.D.-med	-0,38	-0,34	0,59	-0,62	0,96	0,36	-0,36	-0,72	-0,45	-0,56	0,56	0,51	-0,02	0,31	-0,36	0,28	-0,09	-0,51	-0,25	0,67	0,31	-0,85	0,32	0,57	-0,62	0,10	-0,28
pH-med	-0,52	-0,50	0,69	-0,68	0,93	0,42	-0,37	-0,77	-0,55	-0,67	0,63	0,63	0,02	0,38	-0,37	0,34	-0,18	-0,60	-0,28	0,78	0,42	-0,92	0,17	0,66	-0,77	-0,17	-0,35
Cond.-med	0,05	0,22	0,28	-0,34	0,41	0,07	-0,49	0,29	0,22	0,06	0,15	-0,08	0,58	-0,58	-0,52	0,12	0,76	0,23	0,47	0,14	-0,33	-0,07	0,49	0,09	-0,04	-0,09	-0,31
Turb.-med	0,66	0,65	-0,45	0,46	0,07	-0,74	0,44	0,24	0,74	0,61	-0,61	-0,63	0,06	-0,39	0,41	-0,72	0,48	0,60	0,36	-0,47	-0,61	0,34	0,61	-0,29	0,30	-0,12	-0,87
SST.-med	0,60	0,68	-0,29	0,24	0,26	-0,51	0,12	0,09	0,56	0,45	-0,40	-0,47	-0,04	-0,28	0,08	-0,51	0,50	0,39	0,15	-0,26	-0,41	0,15	0,60	-0,36	0,34	0,03	-0,68
T.ar-ampl	-0,02	-0,14	-0,16	0,30	-0,52	-0,22	0,35	0,10	0,05	0,05	-0,24	-0,02	-0,08	0,15	0,37	-0,21	-0,31	0,01	-0,05	-0,13	0,11	0,23	-0,49	-0,10	-0,07	-0,81	-0,28
T.ag-ampl	0,44	0,54	-0,09	0,01	0,48	-0,33	-0,07	0,17	0,50	0,36	-0,20	-0,40	0,27	-0,49	-0,11	-0,31	0,71	0,43	0,40	-0,15	-0,54	0,04	0,80	-0,08	0,17	0,26	-0,56
O.D.-ampl	-0,31	-0,25	0,45	-0,41	0,31	0,19	-0,37	0,33	0,05	-0,12	0,30	0,11	0,85	-0,59	-0,37	0,25	0,59	0,19	0,68	0,23	-0,32	-0,12	0,30	0,52	-0,44	-0,36	-0,30
pH-ampl	-0,32	-0,20	0,57	-0,66	0,85	0,43	-0,58	-0,19	-0,23	-0,33	0,56	0,29	0,45	-0,25	-0,59	0,43	0,43	-0,14	0,25	0,47	-0,07	-0,55	0,56	0,56	-0,41	0,48	0,04
Cond.-ampl	-0,65	-0,78	0,39	-0,28	-0,04	0,37	0,00	-0,13	-0,46	-0,46	0,40	0,47	0,27	0,16	0,04	0,37	-0,39	-0,30	0,08	0,32	0,25	-0,27	-0,40	0,64	-0,64	-0,34	0,20
Turb.-ampl	0,48	0,48	-0,21	0,20	0,42	-0,53	0,27	-0,16	0,45	0,31	-0,35	-0,35	-0,11	-0,10	0,24	-0,56	0,30	0,26	0,07	-0,14	-0,32	-0,05	0,60	-0,14	0,07	-0,10	-0,89
SST.-ampl	0,27	0,37	0,03	-0,03	0,25	-0,22	-0,14	0,00	0,27	0,13	-0,12	-0,14	0,05	-0,16	-0,17	-0,22	0,37	0,11	0,04	0,06	-0,12	-0,04	0,28	-0,21	0,08	-0,40	-0,62

Elaborado pela autora.

Listando as maiores correlações, acima de 0,7, encontra-se a temperatura média da água com o uso urbano da terra e de floresta, confirmando a análise realizada na figura 23, além disso, a temperatura média do ar possui uma relação com a dissecação (Dc), solos (Pva) e com a amplitude da vazão, reforçando o encontrado acima. Outras correlações podem ser encontradas como com o pH médio, o Kc e a pastagem; condutividade média com o uso urbano da terra; a turbidez média com 0-3% de declividade; a amplitude da temperatura da água com o uso urbano da terra e a vazão média; a amplitude do oxigênio com 20-30% de declividade; a amplitude do pH com a dissecação do Kc. Tais informações corroboram para as afirmações da figura 23 e da bibliografia consultada.

Agrupando as variáveis trabalhadas e relacionando-as com as seis seções de amostragem, têm-se a Figura 24, demonstrando as seções mais aproximadas e as menos aproximadas.

Figura 24: Análise de agrupamento das variáveis por seção de amostragem

Elaborado pela autora.

A figura acima, figura 24, continua tendo o mesmo padrão que a figura 21, representando o continuum fluvial e principalmente, neste caso, a teoria geral dos sistemas, formando dois grupos de afinidade, um com as seções de alto e médio curso (seções 1, 2 e 3) e outro grupo com as seções de médio e baixo curso (seções 4, 5 e 6). Além dessa diferença entre grupos, é possível observar que há maior similaridade entre as seções 4 e 5 e que este grupo (médio e baixo curso) possui uma maior conectividade entre si do que o outro. É válido frisar que diferente da figura 21, a figura 24 conta com todas as variáveis abordadas ao longo deste trabalho (limnologia e meio físico).

Dado interessante ao examinar a figura acima é o de que as seções 5, 4 e 3 estão num nível próximo de semelhança, podendo dizer que são seções coincidentes.

4.6. Elementos de conectividade

A ideia de conectividade como uma análise integrada, busca estudar como os humanos são integrados nos ecossistemas e como essa integração é diversificada em função do espaço terrestre, englobando as demandas impostas pelos humanos nos

ecossistemas dos quais eles participam, bem como no ambiente físico e as modificações humanas impostas, voluntariamente ou não, no ecossistema, incluindo o ambiente físico (ROSS, 2009).

Tendo em vista os resultados descritos anteriormente a respeito dos dados colhidos de limnologia do canal fluvial principal e do meio físico da bacia hidrográfica Santo Anastácio, vale destacar que

Ao analisar as características físicas, químicas e biológicas dos recursos hídricos, verifica-se uma relação destas com os usos da bacia hidrográfica, o que faz com que o compartimento água seja representativo das diversas atividades humanas desenvolvidas na bacia. Dentro deste contexto, é possível verificar diferenças significativas no eixo longitudinal do rio (da nascente a foz), as quais são decorrentes da urbanização, industrialização, mineração e atividades agropastoris, que, direta ou indiretamente, promovem alterações na estrutura e funcionamento dos sistemas hídricos, com consequências finais para o próprio homem (MORAES, 2001. p. 5).

Elementos observados neste estudo que relacionados proporciona a conectividade é a taxa de oxigênio com o uso e cobertura da terra. O balanço de oxigênio possui valor indicador muito grande, variando em função das condições climáticas regionais, da localização do rio na altitude ou planície, do uso do solo e atividades humanas desenvolvidas na bacia hidrográfica. Alta velocidade da água e a declividade nos cursos superiores estabelecem o balanço de oxigênio através de processos de difusão entre atmosfera e corpo de água. Depois da temperatura, o segundo fator mais importante é a morfologia do rio, ou seja, a declividade que diretamente influi na velocidade da água e na estrutura do leito. O efeito indireto da velocidade também interfere no balanço de oxigênio (PORTO, 2010).

Pensando na análise geral realizada, pode-se afirmar que as seções que mais se assemelham como um todo são as seções 4, 5 e 6, havendo ali uma forte integração grupal, tendo relação assim com a conectividade aqui buscada. Não obstante foram formados diversos grupos ao se relacionar as 15 variáveis quantificadas, mostrando o complexo sistema presente na bacia hidrográfica e no canal fluvial do rio Santo Anastácio.

Sintetizando, as análises de agrupamento elucidam os elementos estruturais de funcionais da conectividade. Dessa maneira, pode-se listar os elementos de conectividade estrutural os componentes de seu sistema como: as variáveis do meio físico, o uso e cobertura da terra, o perfil longitudinal do rio, a geometria hidráulica do canal fluvial e a limnologia das seções ao longo do rio. Enquanto os elementos de conectividade funcional

estão ligados às direções das relações do meio físico para com o perfil longitudinal do rio que por sua vez se relaciona com a geometria hidráulica das seções de amostragem.

A conectividade como parte da teoria geral dos sistemas, busca entender como todas as variáveis presentes num ecossistema se relacionam. Considerando a afirmativa anterior e a premissa de Commoner (1971) que afirma que a primeira lei da ecologia é que tudo está ligado a tudo, é insociável elencar apenas um elemento presente como o que mais gera a conectividade entre todos. Desta forma, a conectividade pode ser observada por meio de diferentes perspectivas, se alterando ou conservando por meio das variáveis elencadas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Seguindo a abordagem da teoria geral dos sistemas e da conectividade existente entre as variáveis e entre todas as ações e reações (sejam elas antrópicas ou naturais) foi possível constatar neste trabalho que todas as variáveis formam um grande conjunto, estando dependentes uma das outras. Isso significa que a degradação de uma variável causa consequências e variações em todas as outras, logo, as intervenções que visam a correção ou o equacionamento de uma determinada variável redundarão em melhoramento de outras.

Ao continuar nesta linha de pensamento, é perceptível por meio dos resultados e das discussões que o meio físico da bacia hidrográfica do Santo Anastácio influi em seu uso e cobertura da terra, assim como o uso e cobertura da terra influi nas características físicas da área, sendo difícil delimitar qual exerce maior influência. Ao relacionar as afirmações anteriores com os dados obtidos de limnologia, percebe-se que há relação de interdependência entre as variáveis limnológicas, meio físico da bacia hidrográfica e uso e cobertura da terra, neste caso, porém, há uma maior facilidade em delimitar que as características limnológicas são mais influenciadas pelas outras do que o contrário.

Esta pesquisa se caracteriza por ser dinâmica, visto que todos os elementos abordados são dinâmicos espacialmente e estática observando o uso e cobertura da terra, onde se pressupôs que não houve mudanças relevantes do intervalo de tempo trabalhado.

As variáveis limnológicas se mostram importantes ao trabalhar com bacias hidrográficas e compreender o grau de conectividade funcional e estrutural existente no sistema. Sendo possível compreender que o conjunto formado pelo meio físico da bacia hidrográfica, o uso e cobertura presente, o perfil longitudinal do rio e sua geometria hidráulica têm-se como produto a limnologia por zonas do canal fluvial. As relações das variáveis físicas, limnológicas e de uso e cobertura da terra ampliam o trabalho, fazendo com que o estudo seja completo, fornecendo as ferramentas necessárias para que a partir daqui seja feito um melhor planejamento ambiental da área.

Para que as atitudes tomadas para com o meio ambiente sejam eficientes, elas devem ser tratadas juntamente com a população, incentivando assim sua conscientização. Tendo em vista as abordagens, apontamentos e questões aqui trabalhadas cabe ressaltar mais uma vez a importância de políticas ambientais de restauração do meio ambiente,

principalmente no tange às áreas de preservação permanente para que os recursos hídricos sejam disponíveis e com qualidade ambiental.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, J. J. F. **Como Fazer Uma Pesquisa Bibliográfica**. Fortaleza. 2007.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Caderno de Capacitação em Recursos Hídricos, vol. 1**. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/CadernosDeCapacitacao1.pdf>>. Acesso em 20 de abril de 2019.
- BERBERT, C. O. **O desafio das águas**. In: MARTINS, R. C.; VALENCIO, N. F. L. da S. (Org.). *Uso e gestão dos recursos hídricos no Brasil: desafios teóricos e político-institucionais*. São Carlos: RiMa, 2003.
- BIGARELLA, J.J.; SUGUIO, K. **Ambientes fluviais**. 2. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1990.
- BRASIL. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recurso Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de marco de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. Conceitos Básicos em Ciência da Geoinformação. IN: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos, 2001. v.1. p. 01-35. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>>. Acesso em: abril 2020.
- CASSETI, V. **Ambiente e Apropriação do Relevo**. São Paulo: Editora Contexto, 1991.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo:Edgard Blucher, 1981.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.
- COMMONER, B. **The closing circle**. New York, NY: Bantam, 1971.
- DEBERDT, A. J. **Qualidade da água**. Disponível em <<http://educar.sc.usp.br/biologia/prociencias/qagua.htm>>. Acesso em: abril de 2020.
- DIBIESO, E. P. **Planejamento ambiental da bacia hidrográfica do Córrego do Cedro - Presidente Prudente/SP**. xiii, 157 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2007. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/96746>>.
- ENCINA, C. C. C., et al. *Geotecnologias Aplicadas à Análise Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Olho D'Água, Município de Jardim, Mato Grosso do Sul – Brasil*. Rio de Janeiro: Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ, 2018.

ESTEVEES, F. de A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro/RJ: Interciência/Finep. 1998.

FERNANDES, M. R.; RIZK, M. C.; MENEZES, G. O.; ARAÚJO, R. R. **Avaliação da qualidade de corpos d'água do Pontal do Paranapanema – São Paulo – Brasil**. Londrina. Disponível em < <http://anais.uel.br/portal/index.php/sinagget>>. Acesso em: fevereiro de 2021.

FERREIRA, A. B.; FILHO, W. P.; ROSA, R. Análise Comparativa De Variáveis Limnológicas Em Três Sub-Bacias Hidrográficas Na Região Central Do Rio Grande Do Sul-Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 13, n. 41, p. 15-18, março de 2012.

FLORIANO E.P. **Políticas de Gestão Ambiental**. Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Ciências Florestais, 3ª edição, 2007. Disponível em: < <http://coral.ufsm.br/dcfl/seriestecnicas/serie7.pdf>>.

GONÇALVES, F. **Interações entre o Ambiente Físico, Uso e Cobertura da Terra e as Características Físicas e Químicas no Canal Fluvial: A Bacia Hidrográfica do Rio Santo Anastácio, Oeste Paulista**. 145 f. Dissertação de Mestrado. Presidente Prudente: [s.n], 2011.

IBRAHIN, F. I. D. **Introdução ao Geoprocessamento Ambiental**. Editora Saraiva, São Paulo, 2014.

JAIN, V; TANDON, S.K. **Conceptual assessment of (dis)connectivity and its application to the Ganga River dispersal system**. *Geomorphology* 118, 2010.

KATO, D. S.; MARTINS, L. A. P. A “sociologia de plantas”: Arthur George Tansley e o conceito de ecossistema (1935). *São Paulo: Filosofia e História da Biologia*, v. 11, n. 2, 2016.

LEAL, A. C. Prefácio. In.: AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; BENINI, S. M. (org.). **Bacias hidrográficas: fundamentos e aplicações**. Tupã: ANAP, 2019.

LEXARTZA-ARTZA, I.; WAINWRIGHT, J. **Hydrological connectivity: Linking concepts with practical implications**. *Catena* 79, 2009.

MATOS, R. J. **Estudo Biogeográfico Do Alto Curso Do Rio Santo Anastácio: Análise Comparativa Da Qualidade Da Água Em Canais De Terceira Ordem**. Dissertação de Mestrado. Presidente Prudente: [s.n], 2014.

MONTEIRO, C. A. de F. **GEOSSISTEMAS: a história de uma procura**. São Paulo: Contexto, 2000.

MONBEIG, P. **Pioneiros e fazendeiros de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1984.

MORAES, América Jacinta de. **Manual pra avaliação da qualidade da água**. São Paulo: RiMa, 2001.

MOTA, S. **Preservação e conservação de recursos hídricos**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

- ODUM, E. P. **Ecologia**. Tradução de Christopher J. Tribe. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010.
- PORTO, L. A. C. **Disciplina de Limnologia: protocolo das aulas práticas**. Goiânia: UCG, 2010.
- ROCHA, P. C., SANTOS C. R., SANTOS, A. A. **A expansão da atividade canavieira e interações com a rede hidrográfica na região do Pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil**. IX seminário latino-americano e V seminário ibero-americano de geografia física. Guimarães, Portugal, 2016.
- ROCHA, P. C. **Índices de apropriação do meio físico em bacias hidrográficas: conceituação e estudo de caso**. Tupã-SP: Editora ANAP, 2020.
- ROCHA, P. C. **Sistemas rio-planície de inundação: geomorfologia e conectividade hidrodinâmica**. Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n.33, v.1, p.50-67, jan./jul.2011.
- ROCHA, R. R. de A.; ROCHA, P. C. **Sistemas rio-planície de inundação: geomorfologia e conectividade hidrodinâmica**. Revista Tópos. , V.1, N.2, 2007.
- RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. **Planejamento e gestão ambiental: subsídio da geocologia das paisagens e da teoria geossistêmica**. Fortaleza: UFC, 2013.
- ROSA, R. **Introdução ao Geoprocessamento. UFU: Instituto de Geografia - Laboratório de Geoprocessamento**, Uberlândia, junho de 2013.
- ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: Subsídios para Planejamento Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- SANTOS, A. A.; ROCHA, P. C.; FERNANDES, M. R.; ARAÚJO, R. R. **Alterações no potencial de escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio/SP em relação às mudanças de cobertura e uso da terra**. Boa Vista: Editora da UFRR, 2020.
- SILVEIRA, E. **Recuperação de mananciais: Como aprimorar as políticas públicas para controlar a poluição das fontes de água**. Set., 2014. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/43/recuperacao-de-mananciais-como-aprimorar-as-politicas-publicas-para-controlar-327098-1.aspx>>.
- TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: Enfrentando a Escassez**. São Carlos: RiMa, 2003.
- TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- VANNOTE, R.L., MINSHALL, G.W., CUMMINS, K.W., SEDELL, J.R. & CUSHING, C.E.. **The river continuum concept**. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 1980.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 2005.

XAVIER-DA-SILVA, J. **Geoprocessamento para Análise Ambiental**. Rio de Janeiro: sn, 2001. 228 p.

ZAIDAN, R. T. Geoprocessamento Conceitos e Definições. **Revista de Geografia PPGeo-UFJF**, Juiz de Fora, v.7, n.2, p.195-201, (jul-dez) 2017.