

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO  
E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS - PROFÁGUA

JONATHAN SANTOS PERICINOTO

**UTILIZAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS PARA CARACTERIZAÇÃO DOS CANAIS  
DE ORDEM ZERO DA APA DA BACIA HIDROGRÁFICA RIO PIAVA –  
UMUARAMA, PR**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CAMPO MOURÃO

2021

**JONATHAN SANTOS PERICINOTO**

**UTILIZAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS PARA CARACTERIZAÇÃO DOS CANAIS  
DE ORDEM ZERO DA APA DA BACIA HIDROGRÁFICA RIO PIAVA –  
UMUARAMA, PR**

**USE OF GEOTECHNOLOGIES FOR THE CHARACTERIZATION OF CHANNELS  
OF ZERO ORDER IN THE APA OF THE RIVER PIAVA HYDROGRAPHIC BASIN -  
UMUARAMA, PR**

Dissertação apresentada como requisito para  
obtenção do título de Mestre em Gestão e  
Regulação de Recursos Hídricos da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR).

Orientador: Ericson Hideki Hayakawa

**CAMPO MOURÃO  
2021**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho,  
para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s)  
autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos.  
Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra  
não são cobertos pela licença.



JONATHAN SANTOS PERICINOTO

**UTILIZAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS PARA CARACTERIZAÇÃO DOS CANAIS DE  
ORDEM ZERO DA APA DA BACIA HIDROGRÁFICA RIO PIAVA UMUARAMA, PR.**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Instrumentos Da Política De Recursos Hídricos.

Data de aprovação: 14 de Maio de 2021

Prof Ericson Hideki Hayakawa, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Ana Paula Colavite, Doutorado - Universidade Estadual do Paraná (Unespar)

Prof Eudes Jose Arantes, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 14/05/2021.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Ericson Hideki Hayakawa, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Eudes Jose Arantes e Profa. Dra. Ana Paula Colavite, meu agradecimento pela colaboração significativa no desenvolvimento da pesquisa.

Aos docentes do programa pelos esforços realizados para transmitir o conhecimento da melhor forma possível.

Aos meus colegas do mestrado, pelo companheirismo exercido durante a trajetória do mestrado.

A Secretaria do Curso, pela coordenação realizada com êxito.

O meu reconhecimento aos meus pais, aos meus vós, em memória de meu vô *Antônio Hélio Pericinoto*, que faleceu durante minha dedicação ao mestrado.

Enalteço a importância de minha esposa Solimara Aparecida Tertuliano, pelo seu apoio incansável nos momentos difíceis e desanimadores na busca do conhecimento, tornando a superação sempre possível.

Agradecemos ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Prof.Água, Projeto CAPES/ANA AUXPENº.2717/2015, e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná–UTFPR pelo apoio recebido. O trabalho foi possível devido ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## RESUMO

A Área de Proteção Ambiental do Rio Piava localizada no município de Umuarama – PR requer atenção constante, dada a sua importância em função de ser o manancial de água potável que é distribuída a mais de 100 mil habitantes. Devido a isso, a área é alvo de constantes ações que visam a sua preservação e também de pesquisas cujos resultados amparam ações de gestão e planejamento da área. Os motivos de preocupação referem-se principalmente a preservação da vegetação que margeiam os corpos hídricos e ao controle de processos erosivos, que se ocorrerem, podem carrear sedimentos e demais materiais para o canal fluvial, promovendo o assoreamento ou poluição da área. Ampliar o conhecimento sobre as áreas propensas a erosão e ao surgimento de canais de drenagem temporais, denominados como canais de ordem zero, pode amparar ações de planejamento e gestão de bacias hidrográficas. Neste contexto, a pesquisa teve como objetivo utilizar dados espaciais e ferramentas de geotecnologias que permitem inferir sobre a presença de canais de ordem zero e de ampliação longitudinal de áreas úmidas da APA Rio Piava do município de Umuarama - PR. A metodologia consistiu em: a) aquisição de materiais cartográficos e dados de sensoriamento remoto e, b) aplicação dos índices morfométricos (Índice Topográfico de Umidade - ITU e Índice de Máximo Fluxo - IMF). Os resultados indicaram as áreas propensas a processos erosivos, bem como, as áreas úmidas e os canais de ordem zero. Observou-se que algumas áreas úmidas e de canal de ordem zero estão subestimados em termos de proteção, como por exemplo, com cobertura vegetal. Recomenda-se a proteção dessas áreas com ampliação da faixa de vegetação marginal e em alguns casos, o terraceamento, para evitar processos erosivos. Essas ações podem contribuir na ampliação do tempo de permanência da água na bacia, e pode melhorar a qualidade da água da bacia. Os resultados apresentados demonstram o auxílio fundamental de ferramentas SIG para estudo de bacias hidrográficas, possibilitando análise para futuras tomadas de decisão para benefício da sociedade e do ambiente.

**Palavras-chave:** geoprocessamento; hidrografia; índices morfométricos.

## ABSTRACT

The Environmental Protection Area Piava River in the municipality of Umuarama - PR requires constant attention, given its importance in terms of being the source of drinking water that is distributed to more than 100 thousand inhabitants. Because of this, the area is the target of constant actions aimed at its preservation and also research whose results support management and planning actions in the area. The reasons for concern are mainly related to the preservation of vegetation that borders the water bodies and the control of erosive processes, which, if they occur, can carry sediment and other materials into the river channel, promoting siltation or pollution of the area. Expanding knowledge about the areas prone to erosion and the emergence of temporal drainage channels, denominated as zero order channels, can support planning and management actions of river basins. In this context, the research aimed to use spatial data and geotechnology tools that allow to infer about the presence of zero order channels and longitudinal enlargement of humid areas of the Rio Piava River of the municipality of Umuarama - PR. The methodology consisted of: a) Acquisition of cartographic materials and remote sensing data and, b) Application of morphometric indices (Topographic Wetness Index - TWI and Stream Power Index SPI). The results indicated the areas prone to erosive processes, as well as the humid areas and the zero order channels. It was observed that some humid areas and zero order are underestimated in terms of protection, such as with vegetation cover. It is recommended to protect these areas with expansion of the range of marginal vegetation and in some cases, the terracing, to avoid erosive processes. These actions can contribute to the expansion of water stay in the basin, and can improve the water quality of the basin. The results presented demonstrate the fundamental aid of GIS tools for the study of river basins, enabling analysis for future decision-making for the benefit of society and the environment.

**Keywords:** geoprocessing; hydrography; morphometric index.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Fluxos de água superficiais e subsuperficiais. ....	17
<b>Figura 2</b> - Classificação da microtopografia de encostas .....	20
<b>Figura 3</b> - Localização da Bacia hidrográfica Rio Piava .....	30
<b>Figura 4</b> - Representação do sistema de abastecimento de água no município de Umuarama considerando suas respectivas fontes: Rio Piava e poço.....	38
<b>Figura 5</b> - Geologia da Bacia Hidrográfica Rio Piava.....	45
<b>Figura 6</b> - Declividade da bacia hidrográfica Rio Piava.....	50
<b>Figura 7</b> - Hipsometria da bacia hidrográfica Rio Piava. ....	51
<b>Figura 8</b> - Hidrografia da bacia hidrográfica Rio Piava .....	52
<b>Figura 9</b> - Pedologia da bacia hidrográfica Rio Piava .....	54
<b>Figura 10</b> - Uso do solo da bacia hidrográfica Rio Piava .....	55
<b>Figura 11</b> - Agropecuária extensiva na APA do Rio Piava. ....	56
<b>Figura 12</b> - Ampla pastagem na APA do Rio Piava. ....	57
<b>Figura 13</b> - IMF da APA da bacia hidrográfica rio Piava .....	58
<b>Figura 14</b> - ITU da APA da bacia hidrográfica rio Piava .....	59
<b>Figura 15</b> - Em A (IMF) em comparação com B (ITU) demonstra áreas potenciais de canais ordem zero, o que acontece entre as imagens C (IMF) e a D (ITU).....	60
<b>Figura 16</b> - Representação temporal de algumas cabeceiras de drenagem na APA do Rio Piava. Em A, B e C, nota-se que a cabeceira no ano de 2016 apresentou a montante da cabeceira área úmida, indicado também pelo ITU e IMF. Linha pontilhada em B indica presença de área úmida. Em C, D e E, nota-se a mesma condição, sendo indicadas pelas setas e círculos vermelhos e setas amarelas. ....	61
<b>Figura 17</b> - Comparativo a área úmida identificado pelo IMF (A), ITU (B), Google EarthPro (C) e na pesquisa de campo (D) .....	62
<b>Figura 18</b> - Comparativo do IMF (A), ITU (B), Google Earth Pro (C), não identificação do processo erosivo em campo (D) .....	63
<b>Figura 19</b> - Comparativo do IMF (A), ITU (B), Google Earth Pro (C), não identificação do corpo hídrico em campo (D).....	64
<b>Figura 20</b> - Comparativo do IMF (A), ITU (B), Google Earth Pro (C), identificação de processos erosivos (D).....	65

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> - Dados de temperatura - Série Histórica de 1972 a 2019. Estação Umuarama – Código 02353008. ....	47
<b>Gráfico 2</b> - Precipitação Mensal Total - Série Histórica de 1972 a 2019. Estação Umuarama – Código 02353008. ....	48



## LISTA DE QUADRO

<b>Quadro 1</b> - Classes de declividades conforme EMBRAPA (2018). .....	42
--	----

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	10
2 OBJETIVOS .....	13
2.1 Geral.....	13
2.2 Específicos .....	13
3 JUSTIFICATIVA .....	14
4 REVISÃO DE LITERATURA .....	15
4.1 Rede de Drenagem e Canais de Ordem Zero .....	15
4.2 Área de Preservação Permanente .....	21
4.3 Mananciais Rurais .....	24
4.4 Geotecnologias aplicadas em bacia hidrográfica .....	26
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
5.1 Área de estudo .....	30
5.1.1 O Manancial da APA Rio Piava.....	31
5.1.2 O Abastecimento .....	36
5.2 Materiais.....	39
5.3 Procedimentos .....	40
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	44
6.1 Caracterização da Bacia Hidrográfica Rio Piava .....	44
6.1.1 Geologia .....	44
6.1.2 Clima .....	47
6.1.3 Geomorfologia.....	48
6.1.4 Rede hidrográfica .....	51
6.1.5 Pedologia .....	53
6.1.6 Vegetação e Uso do solo .....	54
6.2 Identificação dos Canais de Ordem Zero .....	57
6.3 PESQUISA DE CAMPO .....	62
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
8 PRODUTO .....	68
REFERÊNCIAS.....	69

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é reconhecido mundialmente como um país de ampla disponibilidade hídrica. Embora com uma posição geográfica que garante na maior parte do território a ocorrência de precipitações distribuídas ao longo do ano, há regiões em que períodos de estiagem reduzem a capacidade de captação da água, bem como outros problemas que impedem o acesso a água potável para todos. Adicionalmente, os núcleos urbanos são um dos principais desafios. Segundo a Agência Nacional de Águas (2012), mesmo com os avanços, o Brasil ainda tem dificuldade de oferecer água potável e principalmente saneamento para todos os seus cidadãos.

Nas últimas décadas, diversos municípios brasileiros tiveram a expansão das áreas de seus núcleos urbanos. Infelizmente, em alguns casos, a expansão urbana deu-se de forma desorganizada, o que segundo Tucci (2008), promoveu problemas relacionados à infraestrutura de água. Com o aumento da população urbana, é natural que o consumo de água também aumentasse. Por outro lado, na maioria das vezes, os mananciais que abasteciam o menor contingente de pessoas no passado mantiveram-se os mesmos na atualidade. Em alguns casos, foram reduzidos em função da própria expansão urbana ou da poluição desencadeada pelo mau uso e ocupação do espaço na área do manancial do abastecimento. Adiciona-se a essa configuração fatores como intempéries climáticas que podem potencializar a ocorrência de cortes e racionamento no abastecimento de água urbano. De modo geral, segundo Tucci (2008), as maiores dificuldades concernentes aos serviços de água são: preservação dos mananciais, perda de água na distribuição e ausência de racionalização de uso da água (doméstico e industrial).

No quesito preservação dos mananciais, mesmo com a aplicação de leis de proteção de mananciais na maior parte dos municípios, o crescimento das cidades aliadas à pressão imobiliária ainda tem comprometido os recursos hídricos (TUCCI, 2008). Ainda segundo o autor, considerando-se como de utilidade pública, a bacia hidrográfica do manancial deveria ser adquirida pelo poder público ou criar valor econômico para a propriedade, por meio da geração de mercado indireto para a área (por exemplo: compensação ambiental, solo criado, etc.), bem como outros benefícios para os proprietários, para compensar a proibição pelo uso da área e incentivá-lo a preservar.

Diante do exposto, em muitos municípios, a garantia de abastecimento de água na zona urbana depende única e exclusivamente da preservação do manancial. Não há mananciais sobressalentes ou alternativas viáveis financeiramente ou de fácil execução em termos de engenharia para essa problemática. Em específico, o município de Umuarama, localizado no noroeste do estado do Paraná e de expressiva importância estadual, apresenta com certa frequência problemas relacionados ao abastecimento de água urbano. O único manancial que abastece o núcleo urbano é o conjunto de canais do segmento montante da bacia do rio Piava. Em períodos de estiagem ou chuvas concentradas, a captação de água por vezes é comprometida<sup>2</sup>.

Adicionalmente, em função da sua proximidade com a área urbana, há interesse de agentes imobiliários para o loteamento de bacia. A posição geográfica também facilita o descarte de lixo doméstico ou entulhos em trechos da bacia, bem como observam-se processos erosivos na área em função do manejo e conservação dos solos inadequados. Mesmo que a área seja protegida por lei em função da ampliação da área de APA do rio Piava pela Lei Municipal n. 3.849 de 17 de maio de 2012 (UMUARAMA, 2012) e presencie várias ações de preservação, os problemas supracitados são verificados na área. São essenciais ações de gestão e planejamento do uso e cobertura da área do manancial, como também da bacia como um todo. Dentre as ações que podem compor a gestão e planejamento, a ampliação da faixa de vegetação ripária é uma das mais eficientes para a manutenção de áreas úmidas e na proteção contra o carreamento de sedimentos para o canal (SILVA; KOBIYAMA, 2004).

No caso do rio Piava, uma análise prévia de imagens de satélites indica que as várias ações de preservação e o cumprimento das leis ambientais no manancial foram eficientes, especialmente na ampliação da faixa de vegetação ripária e construção de terraços. Nota-se que a vegetação ripária ampliou principalmente em largura. Possivelmente, delimitaram-se as nascentes e a partir desses pontos definiu-se a área de preservação obedecendo a legislação em vigor. Os locais de nascentes ou cabeceiras de drenagem foram considerados como estáticas no tempo. Nas áreas de cabeceiras do segmento montante da bacia do rio Piava, não se considerou a expansão longitudinal do canal e sua consequente preservação com vegetação ripária. Porém, a rede de drenagem é dinâmica e se modifica temporalmente, a exemplo das áreas de cabeceiras ou nascentes (SILVA; KOBIYAMA, 2004).

Não é incomum em mapeamentos de cabeceiras ou nascentes a definição de

áreas efêmeras e intermitentes. Com isso, a mesma análise prévia de imagens de satélite atuais demonstra a ampliação longitudinal das áreas úmidas em várias cabeceiras de drenagens do rio Piava. A definição das áreas de nascentes no passado pode ter sido subestimada, em função, por exemplo, da ausência de dados topográficos precisos ou de demais variáveis fisiográficas. Também pode ter sido influenciada pelo anseio dos agricultores em cultivar em maior parte da área possível, tornando para fins agrícolas ambientes com canais efêmeros. Considerando a importância desse único manancial para o município de Umuarama, a correção e o adequado mapeamento das nascentes ou cabeceiras podem garantir maior eficiência na conservação dos recursos hídricos. Destaca-se a conservação das nascentes e o próprio corpo do rio por meio da vegetação ripária (SILVA; KOBAYAMA, 2004).

Neste contexto, a atual disponibilidade de dados de geotecnologias pode contribuir na caracterização dos mananciais, bem como identificar demais elementos que contribuam na gestão e planejamento do uso da área. Em específico, o uso de dados de topografia obtidos por drones e atributos morfométricos têm contribuído na identificação de áreas úmidas, e em alguns casos, dependendo da resolução espacial, na identificação de canal de ordem zero ou áreas propícias ao fluxo de água em eventos de precipitação (SILVA, 2016; OLIVEIRA, 2019). Tais dados são relevantes no contexto de planejamento, pois podem impedir ações de erosão, além de definir a ampliação de áreas de preservação das cabeceiras de drenagem. O trabalho está dividido na seguinte forma: revisão de literatura sobre rede de drenagem e canais de ordem zero; área de preservação permanente; mananciais urbanos e rurais; geotecnologias aplicadas em bacia hidrográfica, seguido da metodologia aplicada, resultados obtidos, o produto e as considerações finais.

O produto obtido organiza as representações cartográficas, em formato de catálogo, geradas durante o desenvolvimento da pesquisa, indicando as áreas que devem ser revistas considerando os canais de ordem zero ou canais intermitentes/efêmeros, que possam apoiar ações de ampliar as áreas de vegetação ciliar.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Verificar se dados e ferramentas de geotecnologias permitem inferir sobre a presença de canais de ordem zero e de ampliação longitudinal de áreas úmidas da APA Rio Piava do município de Umuarama - PR.

### **2.2 Específicos**

- Verificar se dados topográficos em escala média permitem inferir sobre a presença de canais de ordem zero, áreas úmidas, e áreas propícias a erosão;
- Verificar se temporalmente há variação espacial das áreas úmidas e das curvas de nível.

### 3 JUSTIFICATIVA

A Área de Proteção Ambiental (APA) tem por finalidade o controle da extração de recursos naturais sobre um espaço delimitado, permitindo a ocupação humana, de forma que não desequilibre o ambiente natural em proteção (BRASIL, 2000).

A APA do Rio Piava foi possível devido à iniciativa da prefeitura municipal de Umuarama, juntamente com a SANEPAR, a criação de Plano de Manejo da APA (Área de Proteção Ambiental) do Rio Piava, objetivando preservar o rio que abastece o município para as atuais e futura gerações (ARENITO AMBIENTAL, 2013).

A APA do Rio Piava localizada no município de Umuarama, Paraná, é amplamente utilizada para uma série de fins agropecuários e demais atividades antrópicas, além de ser o manancial que abastece o município supracitado. Mesmo diante dessa importante tarefa de abastecer o núcleo urbano do município de Umuarama, a área é alvo de constantes ações de preservação, para evitar a degradação e poluição da área e a ampliação de processos erosivos.

Os canais de ordem zero são novos afloramentos hídricos que ocorrem em excesso de água sobre a capacidade do solo, apontando sua fragilidade, além de constantes descargas de sedimentos, apontando baixos índices de profundidade do solo, do lençol freático e de declividade (SILVA; KOBAYAMA, 2004).

As geotecnologias permitem que um amplo diagnóstico seja realizado sobre a área de estudo, pois agregado a análise de bacia hidrográfica, em específico Rio Piava, possibilita uma averiguação nas ações que acarretem danos no espaço natural e a origem da formação de canais de ordem zero.

## 4 REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 Rede de Drenagem e Canais de Ordem Zero

Os recursos hídricos são essenciais para diversas atividades humanas, como por exemplo: meio de transporte, abastecimento de água (consumo humano e animal, atividades industriais, irrigação na agropecuária, etc.), fonte de alimentos. Adicionalmente, formas relacionadas aos recursos hídricos como as planícies de inundação comumente indicam a presença de terras férteis. O potencial hidrelétrico dentre inúmeras outras possibilidades são possíveis em função dos recursos hídricos, essenciais para o desenvolvimento de uma nação.

Embora os recursos hídricos sejam fundamentais para a existência humana, a sua contaminação e a degradação há tempos se tornaram marcante e preocupante. O uso desmedido e a sua contaminação são problemas que ocupam há anos os agentes políticos e setores da sociedade (TEIXEIRA et al., 2001). Segundo os autores, os rios servem de receptores para o lançamento de esgoto urbano, lixos, efluentes agro-industriais, dentre outros, e na maioria das vezes, não conseguem degradar, diluir ou depurar a contaminação, distanciando-se de sua condição de equilíbrio natural e quanto mais distante da condição natural, mais recursos são necessários para tornar a água potável para o consumo humano.

Segundo Christopherson (2012), o termo rio é habitualmente aplicado ao curso principal, a corrente principal ou sistema fluvial. Já curso d'água é uma definição mais geral e não está associada ao tamanho. No caso do último, esses possuem variação entre si, dependendo do clima, dos tipos de solo e rochas, da topografia, do tipo de vegetação e cobertura. De modo geral, os canais podem se originar de várias formas, relacionados em parte à história de ocupação da área (KNIGHTON, 1998). Segundo o autor, podem se formar em uma superfície exposta recentemente ou durante uma fase de expansão da rede hidrográfica. Ainda podem ser influenciados por linhas de drenagem herdadas do passado. Seu entendimento envolve compreender os processos que garantam um movimento de água suficiente para mantê-lo concentrado e formar um canal e identificar quais as condições que esse canal inicial é mantido e se torna permanente, considerando também os fluxos intermitentes (KNIGHTON, 1998).

Knighton (1998) apresenta as diferentes maneiras que a formação de canais



foi explicada na literatura. Destacam-se o modelo de Horton, definido como 'overland flow', o saturation Overland flow e pelo fluxo de subsuperfície (subsurface flow). Grosso modo, o modelo de Horton considerava a presença de uma tensão de cisalhamento na superfície cujos fatores preponderantes seriam o peso específico da água, a profundidade média do fluxo e a declividade do local. Knighton (1998) pondera que demais elementos da geometria de declividade deveriam ser considerados, como o ângulo, o comprimento e a curvatura da vertente, além da dinâmica do fluxo.

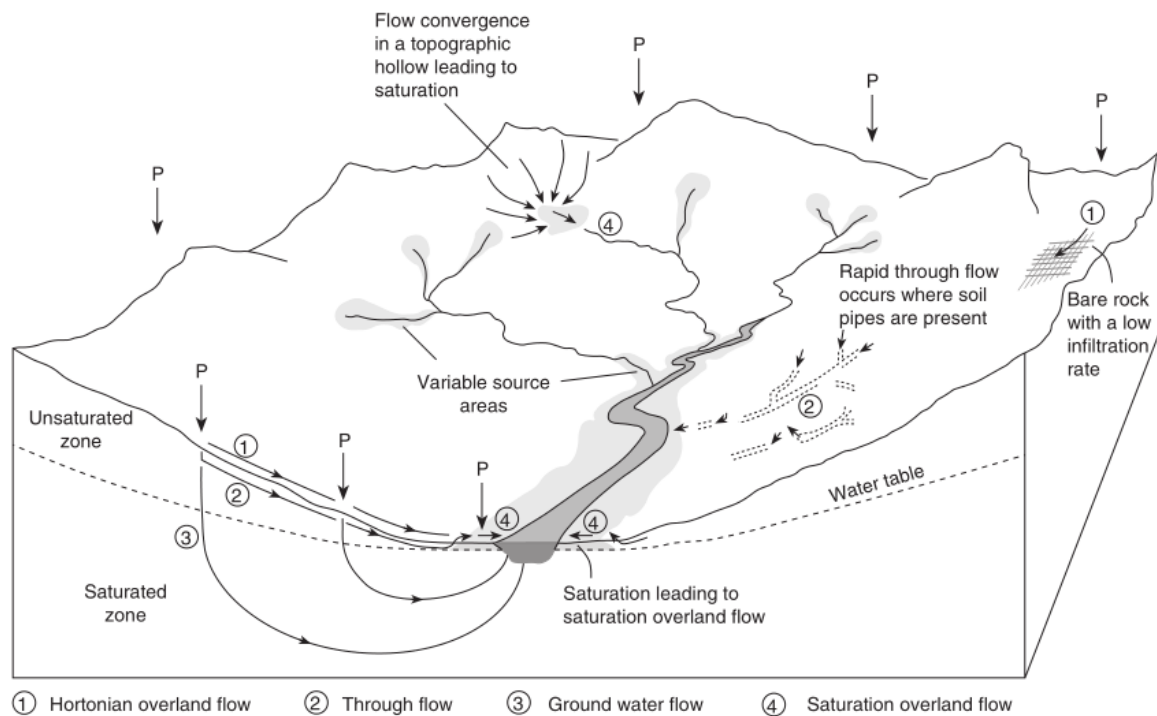
No modelo de saturation Overland flow, há também uma tensão de cisalhamento subsuperficialmente, mas difere de várias maneiras na forma de formação do canal. Nesse modelo, a tensão de cisalhamento disponível para a formação do canal é menor, pois considera-se a cobertura do solo e a presença de raízes. No modelo referente ao fluxo de subsuperfície, considera a existência de canais de subsuperfície que se integram aos de superfície. Dependem da permeabilidade das rochas ou solos e das particularidades da topografia. De modo genérico, os inícios de canais comumente ocorrem em áreas concaves, onde a umidade geralmente é alta e o fluxo de subsuperfície se converge. Segundo Christopherson (2012), as nascentes resultam da exposição do lençol freático na superfície. É um afloramento do lençol freático em que apresenta a origem dos fluxos d'água que formam a rede de drenagem. Isso também pode ocorrer nos leitos dos lagos e rios (CHRISTOPHERSON, 2012). O fluxo de superfície é gerado quando a coluna do solo está totalmente saturada e com ausência de vazios para armazenar mais água (KIRKBY; CHORLEY, 1967).

A nascente ideal fornece água que apresenta boa qualidade, de forma abundante e contínua, além de uma boa distribuição durante seu período de existência, ocorrendo baixa variação de vazão a longo prazo (CALHEIROS et al., 2009). Comumente entre as nascentes que apresentam melhor qualidade, estão as que se localizam com vegetação natural remanescente, o que cabe a ressalva de proteções e restaurações da cobertura original ao redor de corpos hídricos (DONADIO; GALBIATTI; PAULA, 2005).

As formações das nascentes podem ser divididas em dois tipos, seguindo o relevo da área de descarga. O primeiro é surgimento de nascentes em relevo declivoso, sem acúmulo de água, que podem ser chamadas de olho d'água; o segundo tipo é o resultado do afloramento de água difusa oriundo de lençol freático, sendo chamadas de nascentes de vereda, onde ocorre o acúmulo de água

(CALHEIROS et al., 2009). Nas áreas onde o lençol freático é mais raso, por exemplo, no fundo de vale, eventos de chuva podem promover a ascensão da água para a superfície do solo (CHARLTON, 2008). Segundo este último, onde isso ocorre, ao redor do canal ou nascente forma-se uma extensa área saturada, que pode aumentar de extensão à medida que a precipitação aumenta ou continua. A área saturada atua como uma extensão do canal, transferindo o excesso de água para o fluxo do canal. Estas áreas são definidas como áreas de fontes variáveis ou áreas de contribuição dinâmicas. Ao ingressar nos canais fluviais, escoa como água em superfície e durante os períodos mais secos, o lençol freático pode sustentar o fluxo dos canais fluviais (CHRISTOPHERSON, 2012).

**Figura 1 – Fluxos de água superficiais e subsuperficiais.**



Fonte: Charlton, 2008.

A dinâmica relatada acima não é encerrada com a formação dos canais. Tem-se a evolução da rede de drenagem. De modo geral, Glock (1931), citado por Kinington (1998), destaca quatro formas de evolução da rede de drenagem: iniciação; crescimento em extensão a montante da cabeceira; adição de tributários; extensão máxima e integração de canais por captura ou abstração. No caso da expansão de cabeceiras ou abstração de canais, é comum observar a expansão da rede de drenagem, considerando o alongamento ou adição de tributários, bem como a

abstração ou eliminação de canais, que podem ocorrer de forma simultânea (KNIGHTON, 1998). Em experimentos de laboratório, Knighton (1998) cita o experimento de Parkers (1977), o qual observou o crescimento primários dos canais de primeira ordem, com o alongamento a montante das cabeceiras e formação de bifurcações.

O sistema de rede de drenagem demonstra uma importante variável para estudos voltados a corpo hídricos, em que por meio dele demonstra a interação da área com a morfologia local. O mapeamento eficiente da rede de drenagem do local torna-se um elemento adicional para realização da conservação de corpos hídricos, como também das nascentes até a foz do canal principal (SILVA; KOBAYAMA, 2004).

A rede de drenagem passa por diversos fatores que influenciam sua morfologia, como: vegetação, relevo, tipo de solo, entre outros. Os fatores são analisados para estudos primários das nascentes, considerando sua morfologia. Os estudos podem ser realizados de forma digital como o grid, sendo uma das ferramentas acuradas para representação do relevo (SILVA; KOBAYAMA, 2004; JONES; WRIGHT, 1990; PALACIOS-VÉLEZ; CUEVAS-RENAUD, 1986).

Os distintos pontos de análise da rede de drenagem passam por um processo de interpretação do sistema por meio dos diagnósticos realizados na escala da bacia. O aumento da escala demonstra maiores atribuições encontrados na bacia e os trechos tornam-se visíveis, além de analisarmos com maior detalhe o ordenamento da rede de drenagem (SILVA; KOBAYAMA, 2004; WOLOCK; PRICE, 1994).

A rede de drenagem possui hierarquia na organização dos corpos hídricos presentes na bacia hidrográfica, sendo classificados de diferentes formas. Segundo a classificação de Strahler, inicia-se com os canais de primeira ordem, sendo da nascente até sua confluência; a segunda ordem ocorre na confluência de dois canais de primeira ordem, na qual somente afluentes de primeira ordem; terceira ordem é o resultado da confluência de dois canais de segunda ordem, além de ser passivo de possuir afluente de primeira ordem; o de quarta ordem acontece com o encontro de canais de terceira ordem que poderá ser abastecido por canais de ordem inferior e assim sucessivamente (STRAHLER, 1957; LASZLO MANOEL; ROCHA, 2014).

As constantes alterações presentes em uma bacia torna-se rotina sabendo que essas alterações são significativas ao longo da formação da bacia, ocorrendo devido à dinâmica da água de chuva e sua saturação. As variações do solo da bacia são identificadas no estágio inicial de sua formação, ou seja, antes da intensa modificação


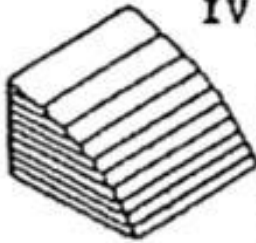
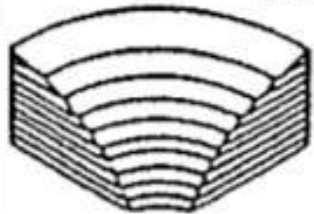
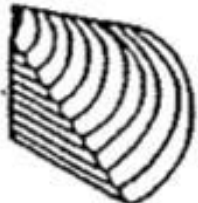

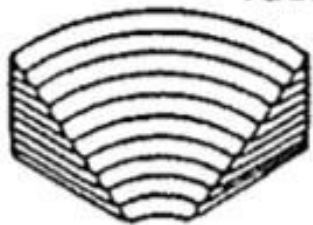
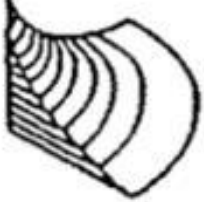

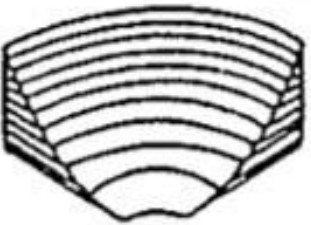
causada pela força de precipitação do espaço. O escoamento subsuperficial é observável quando sua condutividade hidráulica do solo é excedida, tornando-se em escoamento superficial por saturação, ocorrendo a formação de canais de ordem zero (SILVA; KOBAYAMA, 2004; HEWLETT; NUTTER, 1970).

Os canais de ordem zero são classificados por novos canais que afloram da condutividade hidráulica do solo excedida da saturação, resultando em energia em excesso da água sobre a capacidade do solo. A origem e canais de ordem zero demonstra fragilidade do solo e ocorrem constantes descargas de sedimentos, apontam baixos índices de profundidade do solo, do lençol freático e de declividade (SILVA; KOBAYAMA, 2004).

A bacia de ordem zero é entendida como um espaço territorial onde ocorre uma convergência do fluxo. Os canais e a própria bacia são encontrados em locais onde há a relação entre processos de vertentes e fluvial (erosão, sedimentação, escoamento), devido à fragilidade presente nesses recortes da bacia (TSUKAMOTO; MINEMATSU, 1987). Locais com a topografia de característica declivosa ou montanhas ocorrem canais de ordem zero pela liquidação do próprio solo; em locais de bacias de ordem zero com o relevo suave, ocorrem por distintas variáveis do espaço (TSUKAMOTO; OHTA, 1988).

Os relevos das encostas são classificados em microtopografia, ou seja, por intermédio de sua curvatura, seja da curva de nível e do fluxo como mostra a Figura 2 (RUHE, 1975).

Figura 2 - Classificação da microtopografia de encostas

		Curva de nível		
		Divergente	Retilíneo	Convergente
Linha da direção de fluxo	Convexo	I 	IV 	VII 
	Retilíneo	II 	V 	VIII 
	Concavo	III 	VI 	IX 

Fonte: RUHE, 1975.

O início do escorregamento é encontrado na mudança da curvatura do fluxo, transformando as extremidades mais longas para afinamento do percurso. Existe também um fluxo de nome *piping*, também apresenta o nome de retroerosão tubular, ocorre em locais de escorregamento e períodos chuvosos potencializam o escorregamentos nas partes montanhosas (TSUKAMOTO; MINEMATSU, 1982).

Locais declivosos ocorrem baixo escoamento superficial e alto escoamento subsuperficial. Para Montgomery e Dietrich (1994), o material coluvial resulta no aumento a condutividade hidráulica e conduz a baixa densidade, o que leva ao baixo escoamento superficial. Segundo Tsukamoto e Ohta (1988), com o estudo nas floresta do Japão, encontrou-se alta densidade de retroerosão tubular em encostas declivosas e florestal, afirmando a alta condutividade hidráulica do solo nesses locais.

O termo *hollow* é usado em explicação da alteração da paisagem das bacias de ordem zero em locais declivosos ou montanhosos. *Hollow* é um termo que tem como explicação o surgimento de feições formadas por escorregamentos ou fluxo de detritos. *Hollow* também pode ser entendido como um fator geomorfológico de uma bacia de ordem zero (MONTGOMERY; DIETRICH, 1988, 1994; TSUKAMOTO; MINEMATSU, 1987).

Há variações para identificar o início do *hollow* de área possibilitando a identificação pela história sedimentológica da bacia, sendo elas: escavamento a jusante, escorregamentos, início da escavação do canal e fluxo de detritos. Há momentos em que não ocorre o fluxo de detritos e escorregamentos, assim encontramos preenchimentos com material coluvial para que novos escorregamentos possam ocorrer (MONTGOMERY, DIETRICH, 1994).

## 4.2 Área de Preservação Permanente

O Brasil passou por inúmeras alterações na composição da sua cobertura vegetal desde o início da colonização. As diferentes coberturas naturais existentes foram gradativamente sendo exploradas e substituídas. O que se observa atualmente são ocupações humanas, concentradas ou não e as extensas áreas utilizadas para fins agropecuários. Esse cenário, muitas vezes, implica em prejuízos ao meio ambiente, como por exemplo, redução da fertilidade do solo, formação de processos erosivos, poluição nos recursos hídricos (COUTINHO et al. 2013). A retirada da mata ripária para ampliação da atividade agropecuária provoca modificações no ecossistema, atingindo uma ampla gama de espécies e a fauna e flora sofrem diretamente com tais ações, incluindo também o próprio ser humano (COUTINHO et al. 2013; SOARES et al., 2011).

Uma das formas utilizadas para impedir ou preservar o meio ambiente no que tange à proteção da vegetação no Brasil é o Código Florestal Brasileiro – Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (BRASIL, 1965). Esse instrumento define a criação da Área de Preservação Permanente (APP), na qual apresenta elevada importância ecológica, além de fornecer bens e recursos ambientais de usufruto do ser humano. As APPs dispõem de reconhecimento nas suas diversas funções técnicas que fortalecem a importância de sua preservação (BORGES et al., 2011).

A extração desenfreada dos recursos naturais foi questionada com o tempo.

O passo dado para reestabelecer a relação entre homem/natureza veio com a Constituição Federal de 1988, dedicando um dos seus artigos expresso que

todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 2016, ART. 225).

O rompimento do pensamento que o meio ambiente era somente para apropriação de seus recursos direcionados ao processo produtivo só foi possível com a Constituição Brasileira de 1988, sendo possível a colocação de um equilíbrio entre o meio ambiente/homem, compreendendo-se que a vegetação natural é sinônimo de qualidade de vida para o ser humano atual e para as próximas gerações (SPAROVEK et al., 2011).

A Constituição trouxe novos paradigmas para discussão, mas outros mecanismos legais também são fundamentais para manutenção das áreas ambientais, pois "não se interpreta a Constituição em tiras, aos pedaços uma norma jurídica isolada, destacada, desprendida do sistema jurídico não expressa significado normativo algum" (GRAU, 2009, p. 189), assim deve considerar a preservação do meio ambiente, presente na Constituição, com os demais artigos.

A Constituição Brasileira de 1988 ampliou o significado de preservação e manutenção de ambientes naturais também soma com a atividades de produção em um modo complexo amplo no contexto legislativo, buscando consolidar as atividades econômicas com o bem-estar ambiental (SPAROVEK et al., 2011).

Nas APPs recomenda-se a manutenção da cobertura florestal nativa, objetivando a realização da área nas suas respectivas funções ambientais, tais como a preservação de recursos hídricos, biodiversidade, geologia, paisagem, fauna, flora, além de manter o estado solo para que não ocorram fenômenos danosos, como o processo erosivo (COUTINHO et al. 2013; LIMA, 2008).

O Código Florestal destaca na utilização de APPs em áreas privadas, também áreas de Reserva Legal (RL). Como as APPs são de interesse na preservação de recursos hídricos, ela é encontrada ao longo da margem de rios, lagos, nascentes e reservatório d'água. Encontramos também APPs em áreas íngremes, altitude elevadas e topos de morro (BRASIL, 1965; SPAROVEK et al., 2011). Entende-se que essas áreas são exclusivas para proteção ambiental, ou seja, não pode ocorrer alterações antrópicas, como atividade agrícola e suas ramificações, como extração

florestal e recreação. O tamanho é independente em todo território nacional (BRASIL, 1965; SPAROVEK et al., 2011).

As APPs, no Código Florestal, são limitadas em seu uso em propriedades rurais com intuito de preservação do meio ambiente. Há duas modalidades: a primeira definida como área legais por lei, caracterizada por ser um local mantido preservado, não dependendo de cobertura vegetal; a segunda são áreas criadas com a finalidade preservacionista. Destacamos a primeira que possui relação com topografia do local, estando coberta ou não por vegetação, áreas ao longo dos rios, ao redor de lagoas e entorno de nascentes (BORGES et al. 2011. ABREU, OLIVEIRA, 2002. LEUZINGER, 2007. MACIEL, 2009).

As propriedades rurais devem estar seguindo o Código Florestal que rege os requisitos e manutenção de APP e RL. A não conformidade com a legislação auxilia o produtor a realizar restaurações de área degradadas, revertendo a condição nativa florestal de uma área (BRASIL, 1965; SPAROVEK et al., 2011).

O Código Florestal aponta a importância de nascentes em APPs, sendo que áreas que apresentam nascentes intermitentes, que fluem em dias chuvosos e secam em estações de seca, devem ser delimitados APP de forma que preserve a respectiva localidade (SANTOS, 2019).

O Novo Código Florestal busca minimizar as desigualdades do antigo Código Florestal, como a validação da legislação aplicada para os latifundiários e também para os agricultores familiares. Outro fator que vale acrescentar é a regularização de propriedades com problemas de cumprimento da proteção ambiental (PEREIRA, 2013).

O novo Código Florestal apresenta diversas alterações para a nação. Substituição de termos como o uso constante de “conservar” no lugar de “proteger” e “preservar”, também há a troca o termo “floresta” para “vegetação natural”, além de criar o conceito “manejo sustentável”, diferente de “floresta sustentável”; análise de viabilidade social também se torna discussão no atual código florestal; mudanças no tamanho para áreas de recuperação e preservação, como utilização de escala de recuperação de margens de rio. Enfim, buscando minimizar os danos ambientais gerados juntamente com a inovação tecnológica no campo (PEREIRA, 2013).

Portanto, a legislação com o novo código florestal contribui para gestão hídrica de espaço rurais, devido sua influência como contaminante de mananciais, evitando extração de recursos naturais excessivas que prejudicam o ecossistema do espaço, além de manter um ambiente saudável para todos os seres vivos.



### 4.3 Mananciais Rurais

A água é um importante recurso natural para a vida humana, pois seus distintos usos possibilitam inúmeras aplicações que beneficia o bem-estar humano, como irrigação no setor agrícola para produção de alimentos, higienização de materiais utilizados pelos seres humanos e demais acessórios, assim ocorrendo como uso primordial o abastecimento para consumo (ONGLEY, 2002).

Embora os recursos hídricos sejam fundamentais para a existência humana, a sua contaminação e a degradação há tempos se tornaram marcante e preocupante. O uso desmedido e a sua contaminação são problemas que ocupam há anos os agentes políticos e setores da sociedade (TEIXEIRA et al., 2001).

Os corpos hídricos são dinâmicos pela constante fluidez e energia aplicada no espaço. A poluição em mananciais também apresenta essa dinâmica no espaço, sendo oriunda dos grandes recortes espaciais do município, como os locais entendidos de rural, tendo destaque na proximidade considerável em rios, nascentes (RESENDE, 2002).

A atividade agrícola é um agente direto e indireto na contaminação de corpos hídricos. Segundo Ongley (2002), a poluição é feita por diferentes produtos, sendo por detritos (embalagens vazias, sedimentos), compostos orgânicos (defensivos), químicos tóxicos (metais pesados). São os principais produtos registrados de contaminação no mundo.

Os corpos hídricos como rios, lagos e açudes recebem elevadas quantidades de nutrientes, principalmente em solos desprotegidos. A precipitação conduz grande parte dos contaminantes presentes no solo desnudo, o que acarreta em redução de qualidade de vida para o ser humano e animais (RESENDE, 2002).

A poluição do solo e da água também está relacionada a resíduos sólidos como químicos e biomédicos que necessitam de um tratamento direcionado. O solo pode sofrer outras alterações como a salinização, oriunda da atividade agrícola com utilização do sistema de irrigação, portanto, cristalização dos sais presentes no solo (BRAGA, CARVALHO, 2003).

Um fator grave que ocorre com o mau uso do solo é a erosão, que pode ser acelerada com ação antrópica, alcançando níveis críticos e irreversíveis. A perda de nutrientes e matéria orgânica do solo conduz a uma baixa produtividade e vegetação na área degradada, fator que pode atingir a desertificação (BRAGA,

CARVALHO, 2003).

O espaço rural é um agente ativo na contaminação de corpos hídricos, o que aponta a necessidade de aplicação de métodos que reduza a eficiência dos contaminantes e que seja mantido a qualidade da água para consumo dos seres vivos. A gestão torna-se primordial no controle hídrico, sendo realizada por meio de interação de vários aspectos no uso do recurso hídrico, juntamente com a proteção ambiental. A bacia hidrográfica permite uma análise ampla dos fatores relacionados com a questão hídrica, na qual ocorre a interação com o meio físico, biótico, social, econômico e cultural (YASSUDA, 1993).

Podemos entender que a gestão da água,

a partir das bacias hidrográficas, denotam as estreitas vinculações existentes entre as águas, os demais recursos naturais e as atividades humanas. De forma geral, os gerenciamentos integrados e os planos de manejo de bacias hidrográficas voltados aos recursos associados à água, são mais amplos e efetivos quando somam medidas de conservação do solo, dos remanescentes vegetacionais e fauna e com o controle de atividades rurais e urbanas (SANTOS, 2004, p. 37).

A qualidade da água presente na bacia hidrográfica está relacionada com o uso e ocupação do solo, juntamente com o controle dos fatores de poluição presentes na bacia, assim alterando também a quantidade ocorrendo da degradação (BOTELHO, 2011).

A característica existente na água está relacionada ao ambiente onde está presente e o grau de poluição encontrada na mesma, oriundos de despejos industriais e rurais, como agrotóxicos. A água sofre alterações na qualidade de forma natural por meio do ciclo hidrológico, sendo fator de relação com o meio ambiente no qual se encontra os corpos hídricos, ocorrendo a influência de suprimentos oriundos de núcleos urbanos, industriais e rurais, além das alterações do solo (SETTI et al., 2001).

Podemos entender que a

gestão integrada das águas numa visão sistêmica significa melhorar a compreensão de que a gestão da água que flui pelos rios é muito diferente da gestão de bacia hidrográfica como unidade básica de planejamento. Neste caso, é preciso considerar, além do blue water flow, as condições de uso e ocupação do binômio solo-água ou água que infiltra e dá suporte ao desenvolvimento da biomassa da bacia hidrográfica em apreço, green water flow, as águas subterrâneas ou gray water flow e os recursos hídricos não convencionais de reciclagem e o reuso, principalmente (REBOUÇAS, 2004, p. 65).

O processo de planejamento e gestão hídrica deve agregar todos os elementos

que compõem o espaço da bacia hidrográfica, sendo água, relevo, solo, flora, fauna, pastagem, agricultura, residências, indústrias, população, economia, etc., em sua totalidade, composta na relação sociedade e natureza de forma dinâmica (DIBIESO, 2013).

Portanto, os mananciais devem estar integrados no planejamento de uma bacia hidrográfica, sabendo de sua importância para a sociedade antrópica e natural, além do auxílio na preservação do recurso hídrico para o espaço rural.

#### **4.4 Geotecnologias aplicadas em bacia hidrográfica**

As geotecnologias constituem-se de um conjunto de ciências e tecnologias relacionadas à aquisição, armazenamento em bancos de dados, processamento e desenvolvimento de aplicações utilizando informações geo-referenciadas (SOUZA FILHO, CRÓSTA, 2003, p. 1). Os exemplos mais comuns são o Sensoriamento Remoto, a Cartografia Digital, os Sistemas de Informações Geográficas, o Geoprocessamento, dentre outros.

Esses recursos têm sido utilizados para um amplo espectro de aplicações que envolve o recorte espacial de bacias hidrográficas. É praticamente impossível retratar todos os estudos que se amparam no uso de geotecnologias concernentes a este limite espacial. A versatilidade das geotecnologias dá-se pela possibilidade de utilizá-la para o entendimento e caracterização dos diferentes componentes que integram a bacia hidrográfica: sociedade e natureza. Com isso, pode-se espacializar desde os componentes humanos e seus atributos, bem como os elementos físicos, como solo, clima, relevo, rede hidrográfica, uso e cobertura, dentre outros.

Neste contexto, apresentaremos alguns estudos: a) obtenção de informações em análises ambientais (ASSAD; SANO, 1998); b) Identificar e modelar variáveis abióticas e bióticas, hidrológicas, dentre outras (BIELENKE, 2012), (MENDES, CIRILO, 2001; MEIRELLES et al., 2007), (MENDES, CIRILO, 2001); c) Planejamento, gestão e Diagnóstico geoambiental – avaliar variáveis físicas de BH (FLAUZINO et al., 2010); d) dados morfométricos; e) uso e cobertura da terra (CAMPOS et al., 2008), dentre outras inúmeras aplicações.

De modo geral, o conhecimento da BH pode ser ampliado em função do uso das geotecnologias. Trata-se de uma importante ferramenta para fins de gestão, planejamento e tomada de decisão, além de facilitar a comunicação entre

pesquisadores, gestores públicos e a sociedade envolvida na discussão das temáticas ambientais envolvidas (MACHADO, 2011). Dentre os recursos que as geotecnologias permitem explorar, têm-se o uso da análise morfométrica. Amparado principalmente em Modelos Digitais de Elevação (MDE) ou de Terreno (MDT), permitem caracterizar quantitativamente a área do estudo, neste caso, a bacia hidrográfica, que associada as demais características geoambientais, ampliam o entendimento das formas e processos de interesse (VALERIANO, 2005)

Os Modelos Digitais de Terreno (MDT) ou Modelos Numéricos de Terreno (MNT) começaram a ser utilizados no MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) na década de 1950, sendo uma forma matemática de representação de características ou fenômenos espaciais no recorte de uma área ambiental, o que atualmente não se limita a superfície altimétrica do terreno (ROCHA, 2000). É considerado como MDT a representação da superfície topográfica. Quando a representação considera qualquer objeto presente na superfície, tais como dosses das árvores, construções, etc., denomina-se Modelo Digital de Superfície (MDS) ou Elevação (PARANHOS FILHO et al., 2016).

Segundo Valeriano (2005), a identificação de formas do terreno comumente eram realizadas de forma qualitativa. A análise de bacia hidrográficas por meio de parâmetros morfométricos são: área, perímetro e comprimento da bacia; extensão dos canais fluviais; comprimento vetorial (comprimento do vale) dos canais fluviais; número de canais fluviais; declividade da bacia (mínima, média e máxima); declividade dos canais e altimetria (mínima, média e máxima) (CHEREM, 2008). Conforme Valeriano (2005), com a popularização dos modelos digitais de elevação/terreno e dos SIGs, ampliou-se a forma de medição de variáveis do relevo como altitude, declividade, curvaturas vertical e horizontal, orientação de vertentes, etc.

Segundo Moura et al. (2018),

A utilização de ferramentas geotecnológicas contribui para a análise morfométrica de bacias hidrográficas, pois proporciona maior facilidade na obtenção dos resultados dos parâmetros morfométricos, extraídos de forma semi-automática a partir de derivações do Modelo Digital de Elevação (MDE) do terreno, que pode ser obtido por imagens geradas pelo Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) ou outras fontes, em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG). Os produtos SRTM são geralmente os mais utilizados em pesquisas científicas pelo fato de fornecerem cobertura de imagem para praticamente todo o planeta, por possuírem resolução que atende às escalas de 1:100.000 ou menores e serem disponibilizadas gratuitamente (MOURA et al., 2018, p. 20).

Além dos exemplos comuns de variáveis morfométricas obtidos pelos modelos digitais de elevação e do terreno, há inúmeros índices topográficos que estão pautados em características primárias como declividade e área acumulada, e na esfera secundária, como na combinação de dois ou mais índices alcançando. Pode-se obter análises mais complexas da área, como umidade do solo, potencial erosivo, dentre outros (MOORE et al., 1991). Neste contexto, a utilização em específico do Índice Topográfico de Umidade (*Topographic Wetness Index* - TWI) e do Índice de Máximo Fluxo (*Stream Power Index*) pode contribuir na identificação de áreas que requerem cuidados em função de sua importância como manancial hídrico.

O Índice Topográfico de Umidade foi desenvolvido por Beven e Kirkby (1979) e dentre seus resultados, tem-se a espacialização das áreas com maior índice de umidade, ou seja, onde a saturação de água superficial e do conteúdo de águas nos solos é maior ou menor (SIRTOLI et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2016). Descreve a propensão de saturação para uma determinada região dada a sua área de contribuição e as características de declividade locais (MOURA et al., 2018).

Essa informação pode ser utilizada em várias abordagens, como na identificação de classes de solos, em específico, associada aos solos hidromórficos (SILVEIRA, 2010; NOWATZKI, 2013; SILVA, 2017), na identificação de áreas suscetíveis a inundação (NAVES; ALMEIDA, 2021), e também pode indicar áreas com maior potencial de recarga de água subterrânea, em que a infiltração de água no solo pode ser maior (OLIVEIRA et al., 2016). Contudo, deve-se atentar para o tipo de dado utilizado, pois dependendo da origem e, principalmente, resolução do MDT ou MDE, os resultados podem ser distintos (CAPOANE et al., 2013; CAPOANE et al., 2015; CAPOANE et al., 2017; GUASSELLI et al., 2020).

Em aplicações semelhantes a este trabalho pautando-se no ITU, Oliveira et al. (2016) relatam que o índice contribuiu na identificação de áreas com saturação hídrica temporária ou permanente. As áreas costumeiramente são planas, com concentração de fluxo e cuja conservação da vegetação nesses locais deveria ser maior. Isso aumentaria a infiltração, reduziria a suscetibilidade à erosão e aumentaria a recarga hídrica na bacia. De forma semelhante, Moura e Chaves (2017) utilizaram o ITU em associação com outros parâmetros para identificar as áreas prioritárias a proteção de APPs de nascentes.

Por sua vez, o Índice de Máximo Fluxo (IMF) ou *Stream Power Index* integra

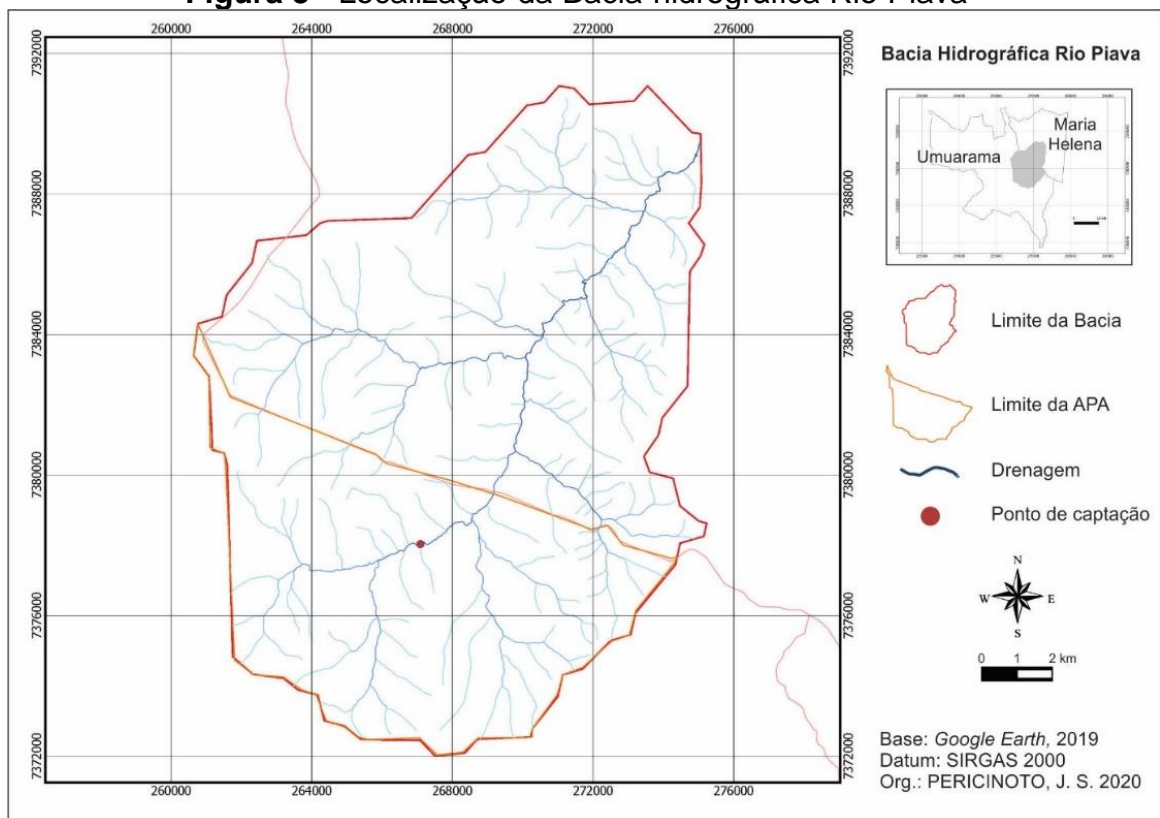
a declividade, o comprimento da rampa e a forma da vertente (MOORE et al., 1991; SILVEIRA et al., 2010; MINELLA & MERTEN, 2012). O índice calcula o potencial erosivo da água em escoamento e assim indica os locais com maior propensão a perda de solo por unidade de área (OLIVEIRA, 2019). Conforme Capoane (2015), esse índice descreve o potencial da topografia em concentrar as águas superficiais, promovendo o entalhe ou erosão da vertente. Ainda segundo Capoane (2015), permite-se a identificação de áreas com risco de fluxo de água que cause erosão, principalmente em eventos de precipitação intensa. Essas informações são relevantes não só em função da espacialização de áreas propensas a erosão, mas também indica suscetibilidade ao carreamento de poluentes para os setores mais baixos da vertente, bem como o carreamento de solo, dentre outros, e a sua deposição.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Piava abrange dois municípios do noroeste paranaense, sendo Umuarama e Maria Helena (Figura 3). A BH do rio Piava integra a bacia do rio das Antas, o qual deságua no rio Ivaí. Em seu segmento montante, corresponde ao único manancial que abastece a área urbana de Umuarama. Com população superior aos 100 mil habitantes e densidade populacional acima de 80hab/km<sup>2</sup>, conforme levantamento censitário (IBGE, 2010), estima-se que no ano de 2019 tenha superado os 111 mil habitantes. Umuarama é uma das principais cidades do estado destacando-se pelos seus indicadores socioeconômicos. Sua área urbana situa-se em um divisor de águas denominado de Platô de Umuarama, sendo dissecado pelas cabeceiras de drenagem dos rios Piava, Xambrê e Pinhalzinho, sendo que o primeiro integra a bacia do rio Ivaí e os dois últimos do rio Piquiri (CUNHA et al. 1999).

**Figura 3 - Localização da Bacia hidrográfica Rio Piava**



Fonte: Autoria própria.

A bacia hidrográfica do Rio Piava tem área total estimada em 196 km<sup>2</sup>. Seu segmento a montante do ponto de captação de água para tratamento pela Sanepar possui área de 87 km<sup>2</sup>, a localização está nas coordenadas geográficas Latitude - 23,692046° S e Longitude - 53,284545° W. Possui uma vazão média de captação de 250 L/s, sendo utilizada no abastecimento do município (SANEPAR, 2017).

A prefeitura municipal de Umuarama, juntamente com a SANEPAR, propôs um Plano de Manejo da APA (Área de Proteção Ambiental) do Rio Piava, de forma a preservar o rio que abastece o município para as atuais e futura gerações (ARENITO AMBIENTAL, 2013). A área de proteção do ponto de captação localizada no rio Piava foi possível com o decreto municipal nº. 050/98, o qual objetiva proteção do ecossistema da Floresta Estacional Semidecidual, juntamente com a proteção dos corpos hídricos do Rio Piava, controlando o uso do solo (ARENITO AMBIENTAL, 2013).

A APA foi ampliada em 2011 pela Lei nº. 3796/2011, mantendo o objetivo do decreto nº. 050/98, passando para um território de 4.146,7502 hectares. A Lei nº. 3849/2012 promoveu uma reformulação na APA do Rio Piava, somando a área do decreto nº. 050/98 com a Lei nº. 3796/2011, totalizando 8.344,6644 hectares (ARENITO AMBIENTAL, 2013).

O uso sustentável da APA foi um dos debates da Prefeitura Municipal de Umuarama, o que decidiu a elaboração de Plano de Manejo da APA do Rio Piava, tendo enfoque da área ampliada, visando atender, de forma sustentável, a demanda do desenvolvimento econômico, social e ambiental, que interfere no socioambiental pela interferência e utilização da APA (ARENITO AMBIENTAL, 2013).

O Plano de Manejo da APA do Rio Piava torna-se um importante instrumento de gestão que auxilia em normas regularizadoras das atividades realizadas no local, além de apontar diretrizes que cumpram com os objetivos de preservação da área, garantindo assim o uso sustentado dos recursos naturais disponíveis presente no território da APA, assegurando a qualidade dos recursos hídricos e o manejo adequado do solo e da água (ARENITO AMBIENTAL, 2013).

#### 5.1.1 O Manancial da APA Rio Piava

O segmento montante da bacia do rio Piava constitui o principal manancial de abastecimento da cidade de Umuarama. A área do manancial historicamente



apresenta problemas referentes à captação de água em função de problemas presentes no manancial. Em relatório anual<sup>1</sup> do período 01/11/2007 a 31/10/2008, a SANEPAR indica que o manancial do rio Piava possui predomínio de ocupação rural, mas também dispõe de ocupação urbana em suas nascentes, a exemplo do bairro denominado Parque Jabuticabeiras. Acrescenta ainda que o manancial sofre com ações de assoreamento e poluição provenientes de águas pluviais. A partir do relatório do período de 01/01/2011 a 31/12/2011<sup>2</sup>, o relatório não indica mais os problemas de assoreamento e poluição, indicando apenas predomínio de uso rural e presença do Parque Jabuticabeiras. No relatório do período de 01/01/2012 a 31/12/2012<sup>3</sup>, consta apenas que a água que abastece Umuarama tem como origem a captação de água superficial do rio Piava e que a atividade predominante na área do manancial é agropecuária.

Os problemas de assoreamento em específico são potencializados após eventos de chuvas mais intensas. Em diferentes meios de comunicação, observam-se conteúdos<sup>4,5</sup> mencionando a interrupção da água por conta da inundação do local onde estão as máquinas de captação da água, ou também em função do assoreamento do canal fluvial, o que impede ou dificulta a captação da água. Considerando apenas o ano de 1998, até setembro daquele ano houve seis interrupções de captação de água. Na matéria, associa-se a interrupção de captação da água aos problemas de erosão na bacia. A chuva transporta os sedimentos para a calha do rio Piava, que por sua vez, enche o reservatório da Sanepar com sedimentos, o que força a empresa a parar a captação de água para realizar a limpeza do reservatório de captação. Naquele ano, a população de Umuarama era de aproximadamente 85 mil habitantes, que consumiam por dia 14 milhões de litros de água.

Mesmo diante das ações na bacia para reduzir a erosão e controlar o transporte

---

<sup>1</sup> Relatório Anual da Qualidade da Água 2008 – Sistema de Abastecimento de Umuarama. Disponível em: <http://relatorioqualidadeagua.sanepar.com.br/2008/282.pdf>. Acesso em 07 jul. 2020

<sup>2</sup> Relatório Anual da Qualidade da Água 2011 – Sistema de Abastecimento de Umuarama. Disponível em: <http://relatorioqualidadeagua.sanepar.com.br/2011/282.pdf>. Acesso em 07 jul. 2020

<sup>3</sup> Relatório Anual da Qualidade da Água 2012 – Sistema de Abastecimento de Umuarama. Disponível em: <http://relatorioqualidadeagua.sanepar.com.br/2012/282.pdf>. Acesso em 07 jul. 2020

<sup>4</sup> Enchente provoca falta de água em Umuarama. Matéria em Folha de Londrina de 28/09/1998. Disponível em: <https://www.folhadelondrina.com.br/cidades/enchente-provoca-falta-de-agua-em-umuarama-99963.html>. Acesso em 01 jul. 2020.

<sup>5</sup> Chuvas Fortes comprometem abastecimento em diversas cidades do Paraná. Matéria no site da SANEPAR de 08/06/2014. Disponível em: <http://site.sanepar.com.br/noticias/chuvas-fortes-comprometem-abastecimento-em-diversas-cidades-do-parana>. Acesso em 01 jul. 2020.

de sedimentos para o canal do rio Piava, em eventos de precipitação mais intensos ainda ocorre a interrupção de captação de água. Em material informativo da própria SANEPAR<sup>6</sup> datado de 08 de junho de 2014, tem-se o relato de que chuvas fortes comprometeram o abastecimento de água em diversas cidades do Paraná, incluindo Umuarama. Em 04 de julho de 2015, novamente a chuva comprometeu o abastecimento de água em Umuarama<sup>7</sup>. Naquele ano, a elevação da turbidez da água do rio Piava por conta das chuvas comprometeu a operacionalização da captação de água. No ano seguinte, em material informativo de 09 de maio de 2016, a SANEPAR informou que as chuvas novamente inundaram a área de captação de água, o que afetou o abastecimento<sup>8</sup>. conforme consta no material, a chuva elevou em 1,5 m o nível do rio Piava, o que acarretou na inundação da área de captação de água. Dessa forma, para que os equipamentos não fossem danificados, a SANEPAR interrompeu a captação e deslocou os equipamentos para um local seguro. Um dos últimos eventos de interrupção da captação de água foi observado em 26 de janeiro de 2017<sup>9</sup>. Naquele ano, as chuvas intensas inundaram a área de captação de água, comprometendo o abastecimento de água na cidade.

Além dos problemas decorrentes da chuva, os períodos de estiagem também comprometem ou ameaçam o abastecimento de água em Umuarama. Em matéria divulgada pela própria SANEPAR em 22 de setembro de 2017, tem-se o alerta e indicação de consumo racional de água<sup>10</sup> decorrentes da estiagem da região. Em 13 de setembro de 2019<sup>11</sup>, o jornal local denominado Ilustrado divulga matéria alertando sobre o perigo de falta de água em Umuarama. Naquele ano, em função de um longo período de estiagem de aproximadamente 50 dias e em seguida, mais 25 dias sem

---

<sup>6</sup> Chuvas Fortes comprometem abastecimento em diversas cidades do Paraná. Matéria no site da SANEPAR de 08/06/2014. Disponível em: <http://site.sanepar.com.br/noticias/chuvas-fortes-comprometem-abastecimento-em-diversas-cidades-do-parana>. Acesso em 01 jul. 2020.

<sup>7</sup> Chuva compromete abastecimento de água em Umuarama. Matéria no site G1 de 04/07/2015. Disponível em: <http://g1.globo.com/pr/norte-noroeste/noticia/2015/07/chuva-compromete-abastecimento-de-agua-em-umuarama.html>. Acesso em 01 jul. 2020.

<sup>8</sup> Chuva inunda captação da SANEPAR e afeta abastecimento em Umuarama. Matéria no site da SANEPAR de 09/05/2016. Disponível em: <http://site.sanepar.com.br/noticias/chuva-inunda-captacao-da-sanepar-e-afeta-abastecimento-em-umuarama>. Acesso em 01 jul. 2020.

<sup>9</sup> Captação do rio Piava volta a operar 100% de sua capacidade. Matéria no site da SANEPAR de 26/01/2017. Disponível em: <http://site.sanepar.com.br/noticias/captacao-do-rio-piava-volta-operar-100-de-sua-capacidade>. Acesso em 01 jul. 2020.

<sup>10</sup> Consumo racional de água é prioridade em Umuarama. Matéria no site da SANEPAR de 22/09/2017. Disponível em: <http://site.sanepar.com.br/noticias/consumo-racional-de-agua-e-prioridade-em-umuarama>. Acesso em 01 jul. 2020.

<sup>11</sup> SANEPAR volta a alertar para falta de água em Umuarama. Matéria do jornal Ilustrado de 13/09/2019. Disponível em: <https://ilustrado.com.br/falta-agua-umuarama/>. Acesso em 01 jul. 2020.

chuvas, a SANEPAR divulgou por meio dessa matéria que o consumo de água deve ser racional. Adicionalmente, segundo a assessoria de imprensa da própria SANEPAR, o Rio Piava encontrava-se assoreado em toda a sua extensão, e mesmo que a Prefeitura de Umuarama tenha realizado o terraceamento na bacia, adequado caixas de contenções, dentre outras ações, não foi possível consertar os impactos já causados em anos passados. Segundo a assessoria de imprensa da SANEPAR e vinculado na matéria supracitada:

O problema com o assoreamento do rio vem de longa data, mas se agravou em 2013 com o fatiamento de terras na região e principalmente em 2016, período que uma grande quantidade de terra desceu para o leito do rio, devido à falta de manutenção correta em terrenos vizinhos. “Temos preocupação no controle da erosão e, com a conscientização dos proprietários rurais, no atendimento às normas conservacionistas de solo são apresentadas pelos órgãos responsáveis”. (SANEPAR, 2019).

Ainda sobre o rio Piava e conforme a SANEPAR, na mesma matéria,

Umuarama sempre dependerá do rio Piava para abastecimento de água, por isso é necessário tratar a preservação ambiental daquela bacia como assunto de extrema seriedade. A cidade Umuarama depende e, vai continuar dependendo, do rio Piava para o abastecimento da população. (SANEPAR, 2019).

Ainda no contexto de estiagem, no ano de 2020, diversos municípios do Estado do Paraná estiveram sob o decreto de emergência hídrica, dentre os quais Umuarama, cujo déficit hídrico foi de -31,1%<sup>12</sup>. Além das chuvas e estiagens que em alguns anos compromete a captação de água na calha do rio, na área da bacia tem-se outro problema que se refere ao descarte incorreto de resíduos sólidos pela população, especialmente, aqueles que habitam na área da APA do rio Piava. Em matéria de 22 de janeiro de 2019<sup>13</sup>, descreve-se a problemática referente à falta de cuidado da população em relação ao descarte de resíduos orgânicos em áreas proibidas, o que pode provocar a poluição do local e até comprometer a captação de água no futuro. Além dessas problemáticas que assolam a bacia, há também o interesse por agentes imobiliários em promover o loteamento do segmento montante da bacia do rio Piava, dada a proximidade com a área urbana já instalada. Isto gerou uma série de ações por parte da sociedade civil e demais instituições para impedir o avanço de

---

<sup>12</sup> Umuarama tem -31,1% de déficit de chuva e governo decreta emergência hídrica. Matéria publicada em Portal da Cidade em 08/05/2020. Disponível em: <https://umuarama.portaldacidade.com/noticias/agronegocio/umuarama-tem-311-de-deficit-de-chuva-e-governo-decreta-emergencia-hidrica-4954>. Acesso em 01 jul. 2020.

<sup>13</sup> Descarte de lixo orgânico na APA do rio Piava vira problema sério. Matéria em obendito de 22/01/2019. Disponível em: <https://www.obemdito.com.br/noticias-umuarama/descarte-de-lixo-orgânico-na-apa-do-rio-piava-vira-problema-serio/22598/>. Acesso em 01 jul. 2020.

loteamentos na área do manancial, bem como restaurar a linha de preservação original.

Como observado, a área apresenta uma série de elementos que carecem de cuidados a fim de garantir o abastecimento de água para Umuarama. Em função do manejo e conservação dos solos de forma inadequada, eventos naturais como chuvas ou um período de estiagem mais longo potencializam os problemas, comprometendo a captação de água. Adicionalmente, ações da população como o descarte de resíduos sólidos de forma incorreta e a especulação imobiliária podem piorar a condição ambiental da APA do rio Piava.

De outro lado, algumas ações têm sido desenvolvidas para minimizar os impactos negativos na área da APA do rio Piava. Embora difíceis de serem obtidos os registros das ações desenvolvidas na área, observam-se alguns exemplos nos meios de comunicação, como no ano de 2010, em que a Prefeitura de Umuarama intensificou ações de conservação do solo na APA do rio Piava<sup>14</sup>. Outro exemplo é a matéria publicada no site da Associação dos Municípios de Entre-Rios (AMERIOS), em publicação de 23 de maio de 2016<sup>15</sup>. Conforme a AMERIOS, a APA do Rio Piava recebeu inúmeras ações do poder público para a sua conservação. A matéria destaca a construção de terraços (curvas de nível), adequação de carreadores, construção de cercas nas margens de córregos e nascentes, nas áreas de proteção permanente e matas ciliares, construção de fossas sépticas, recomposição de vegetação com o plantio de árvores nativas, dentre outros.

Em matéria publicada em 18 de abril de 2019<sup>16</sup>, tem-se o informe de que um convênio entre a Prefeitura de Umuarama e a SEAB (Secretária da Agricultura e do Abastecimento) irá desenvolver ações para sustentabilidade ambiental no sistema produtivo da microbacia. Conforme divulgado, embora não contemple todos os agricultores da APA, os beneficiados irão contar com a adoção de práticas sustentáveis de conservação do solo, da água e do meio ambiente para minimizar os

---

<sup>14</sup> Trabalho de conservação do solo na APA do Rio Piava é intensificado. Nota informativa no site da Prefeitura de Umuarama de 01/09/2010. Disponível em: <http://www.umuarama.pr.gov.br/noticias/diversos/trabalho-de-conservacao-do-solo-na-apa-do-rio-piava-e-intensificado>. Acesso em 01 jul. 2020.

<sup>15</sup> APA do Rio Piava é um dos mananciais mais preservados em todo o Estado. Matéria encontrada no site da AMERIOS, de 23/05/2016. Disponível em: <http://www.ameriospr.com.br/noticia/apa-do-rio-piava-e-um-dos-mananciais-mais-preservados-em-todo-o-estado>. Acesso em 01 jul. 2020.

<sup>16</sup> Programa assegura conservação de solo da APA do Rio Piava em Umuarama. Matéria de Porta da Cidade de 18/04/2019. Disponível em: <https://umuarama.portaldacidade.com/noticias/cidade/programa-assegura-conservacao-de-solo-da-apa-do-rio-piava-em-umuarama>. Acesso em 01 jul. 2020.

impactos ambientais decorrentes das atividades agropecuárias. O convênio contemplará a realização de serviços de terraceamento, proteção de APP (Área de Preservação Permanente), saneamento doméstico e adequações de carreadores. Adicionalmente, ações de pesquisadores, especialmente do Instituto Federal do Paraná — IFPR — Campus de Umuarama, têm desenvolvido pesquisas que podem amparar decisões referentes ao planejamento e gestão da bacia do Rio Piava. Em relação ao interesse do setor imobiliário em expandir a malha urbana para a área de manancial, ações da sociedade civil e demais instituições se manifestaram desfavoráveis a essa expansão. Por exemplo, em publicação da Diocese de Umuarama<sup>17</sup> em 19 de abril de 2018, expõe-se o perigo da expansão imobiliária em uma área que se traduz no único manancial que abastece a cidade.

Em relação ao futuro, conforme matéria publicada em 09 de setembro de 2019 e baseando em pronunciamentos da Assessoria de Imprensa da SANEPAR<sup>18</sup>, há indicação de que uma nova captação de água será licitada (confluência do rio Piava com o ribeirão Araras). Além disso, naquela época mencionou-se que um novo módulo de estação de tratamento de água também seria licitado. As obras integrariam a ampliação do sistema de abastecimento de água, que propiciaria atender a demanda até o ano de 2037, caso a APA do rio Piava ainda esteja conservada.

### 5.1.2 O Abastecimento

O abastecimento de água na cidade de Umuarama é realizado pela SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná. Trata-se de uma empresa de economia mista e de capital aberto, sendo o principal acionista o Governo do Estado do Paraná (SANEPAR, 2019). Anualmente a SANEPAR também disponibiliza um relatório para informar ao consumidor sobre a qualidade da água potável, conforme determina o Decreto Federal nº. 5440, de 04 de maio de 2005. Conforme a SANEPAR (2019), o Decreto e a Portaria citados anteriormente também tratam da responsabilidade dos gestores quanto à gestão dos recursos hídricos e proteção dos mananciais, bem como

---

<sup>17</sup> Água: nosso bem maior pode estar correndo um grande perigo em nossa cidade! Matéria da Diocese de Umuarama de 19/04/2018. Disponível em: <https://site.diocesedeumuarama.org.br/agua-nosso-bem-maior-pode-estar-correndo-um-grande-perigo-em-nossa-cidade/>. Acesso em 01 jul. 2020.

<sup>18</sup> Estiagem e possível falta de água chama atenção para as condições do rio Piava. Matéria publicada em 09/09/2019 no jornal Ilustrado. Disponível em: <https://ilustrado.com.br/255396-2/>. Acesso em 01 jul. 2020.

do monitoramento da qualidade da água e fornecimento de informações periódicas às autoridades de saúde pública a respeito da qualidade da água. Segundo consta no relatório do ano de 2019, a água captada enquadra-se nos padrões do Conama 357/05 e Conama 396/08 do Ministério do Meio Ambiente, sendo própria ao tratamento para posterior consumo humano. Ainda acrescenta que a qualidade da água disponibilizada aos munícipes é controlada diariamente, desde a captação no rio e/ou poço, até o cavalete da residência. Analisa-se também os produtos químicos empregados para o tratamento da água.

Conforme a SANEPAR (2019)<sup>19</sup>, o sistema de tratamento de água de Umuarama é composto das seguintes fases: captação, pré-sedimentação, adução, coagulação, floculação, decantação, flotação, filtração, desinfecção, fluoretação, reservação e distribuição (Figura 4). Pormenorizadamente, tem-se:

- Captação: refere-se ao processo de coleta de água superficial do manancial;
- Pré-sedimentação: processo que propicia a redução da turbidez (partículas sólidas em suspensão) e melhora a qualidade da água captada;
- Adução: refere-se ao transporte da água do manancial (rio, poço ou represa) para a estação de tratamento;
- Coagulação: trata-se da adição de produtos químicos para separar as impurezas da água;
- Floculação: processo para aglutinar as partículas de sujeira;
- Decantação: processo em que as partículas mais pesadas depositam-se no fundo dos tanques;
- Flotação: processo em que é adicionado ar dissolvido para que as partículas fiquem mais leves e subam dentro dos tanques de tratamento;
- Filtração: processo em que os filtros eliminam as partículas de impurezas;
- Desinfecção: aplicação de cloro ou outro método para eliminar bactérias;
- Fluoretação: adicionamento de flúor para a prevenção de cárie dentária;

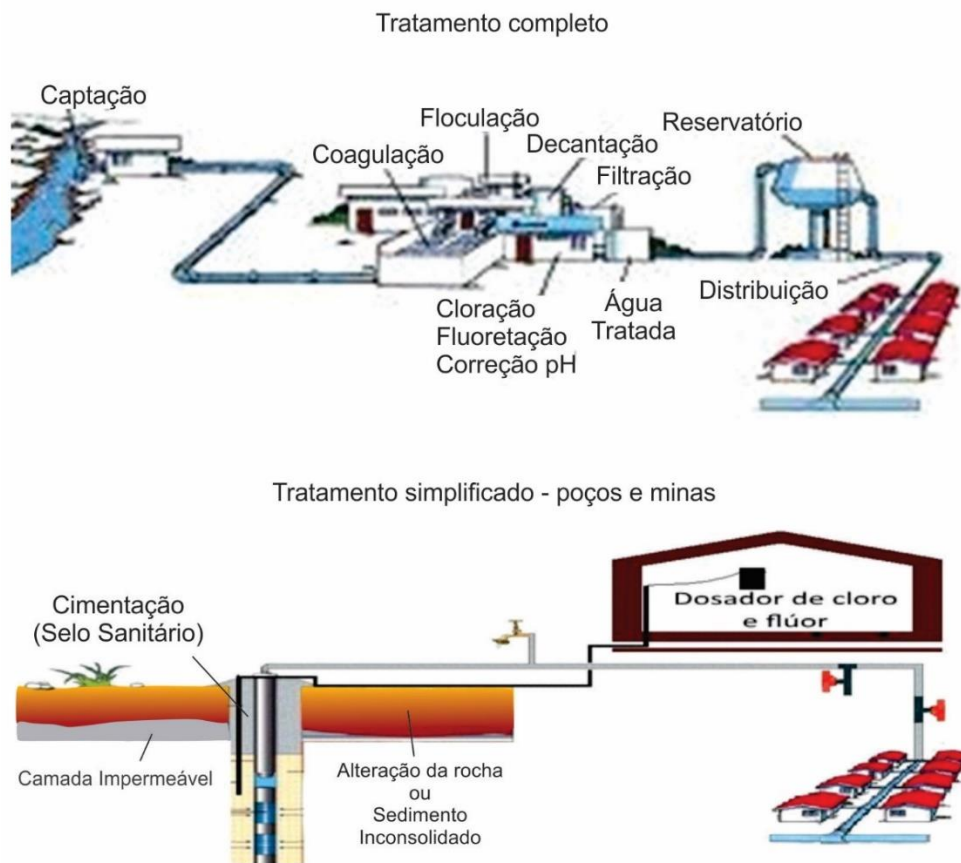
---

<sup>19</sup> Relatório Anual da Qualidade da Água 2019 — Sistema de Abastecimento de Umuarama. Disponível em: <http://relatorioqualidadeagua.sanepar.com.br/2019/282.pdf>. Acesso em 07 jul. 2020.



- Reservação: processo de armazenamento em reservatórios;
- Distribuição: processo de distribuição, por meio de tubos, da água para a cidade.

**Figura 4** - Representação do sistema de abastecimento de água no município de Umuarama considerando suas respectivas fontes: Rio Piava e poço.



Fonte: SANEPAR (2019).

Os parâmetros analisados mensalmente pela SANEPAR (2019) são: turbidez, cor, cloro residual livre, flúor, coliformes totais e *E. Coli*. Os parâmetros químicos (inorgânicos, orgânicos e agrotóxicos) são analisados trimestralmente e semestralmente, incluindo os poços. Pormenorizadamente, os parâmetros analisados referem-se a:

- Turbidez: ocorre devido às partículas em suspensão ou os sólidos suspensos na água, deixando-a com aparência turva. Conforme o Portal da Qualidade das Águas<sup>20</sup>, indica o grau de atenuação que um

<sup>20</sup> Indicadores de Qualidade — Índice de Qualidade das Águas (IQA). Portal da Qualidade das Águas. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#ftn8>. Acesso em 07 jul. 2020.

feixe de luz sofre ao atravessar a água, decorrente da presença de sólidos suspensos (e.g. silte, areia, argila, algas, detritos, etc), sendo que a principal fonte de turbidez é a erosão dos solos;

- Cor: variações na cor ocorrem devido às substâncias dissolvidas na água;
- Cloro Residual Livre: produto químico utilizado para eliminar bactérias;
- Flúor: produto químico adicionado à água para prevenir a cárie dentária;
- Coliformes Totais: indicador utilizado para medir contaminação por bactérias provenientes do meio ambiente;
- *E. Coli*: indicador de presença de bactérias de origem animal.

Em termos de captação, no relatório do período de 01/01/2012 a 31/12/2012<sup>21</sup> consta que a captação diária de água era de 18 300 m<sup>3</sup>. No relatório do período de 01/01/2014 a 31/12/2014<sup>22</sup> consta a captação diária de água do rio Piava de 19 700 m<sup>3</sup>. Nos relatórios dos períodos de 01/01/2017 a 31/12/2017<sup>23</sup> e 01/01/2018 a 31/12/2018<sup>24</sup> a captação diária de água do rio Piava foi de 20 190 m<sup>3</sup>. No relatório do período compreendido entre 01/01/2019 e 31/12/2019<sup>25</sup> consta que o abastecimento público de Umuarama deu-se pela captação de água superficial do rio Piava e da água subterrânea obtida de um poço que pertence ao Aquífero Caiuá. A água captada diariamente do rio Piava foi de 20 190 m<sup>3</sup> e a água do poço é obtida em profundidade superior a 292 m.

## 5.2 Materiais

A pesquisa iniciou na aquisição de materiais de entidades pública e privada que presam pela veracidade dos dados. Foram aplicados no software QGIS para produção de produtos cartográficos na área de estudos, e posteriormente foi verificada a

---

<sup>21</sup> Relatório Anual da Qualidade da Água 2012 — Sistema de Abastecimento de Umuarama. Disponível em: <http://relatorioqualidadeagua.sanepar.com.br/2012/282.pdf>. Acesso em 07 jul. 2020.

<sup>22</sup> Relatório Anual da Qualidade da Água 2014 — Sistema de Abastecimento de Umuarama. Disponível em: <http://relatorioqualidadeagua.sanepar.com.br/2014/282.pdf>. Acesso em 07 jul. 2020.

<sup>23</sup> Relatório Anual da Qualidade da Água 2017 — Sistema de Abastecimento de Umuarama. Disponível em: <http://relatorioqualidadeagua.sanepar.com.br/2017/282.pdf>. Acesso em 07 jul. 2020.

<sup>24</sup> Relatório Anual da Qualidade da Água 2018 — Sistema de Abastecimento de Umuarama. Disponível em: <http://relatorioqualidadeagua.sanepar.com.br/2018/282.pdf>. Acesso em 07 jul. 2020.

<sup>25</sup> Relatório Anual da Qualidade da Água 2019 – Sistema de Abastecimento de Umuarama. Disponível em: <http://relatorioqualidadeagua.sanepar.com.br/2019/282.pdf>. Acesso em 07 jul. 2020.



representação com a realidade na análise de campo. Os materiais adquiridos e utilizados foram:

- Dados vetoriais em formato *shapefile* de Geologia e Geomorfologia obtidos do ITCG - Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná ([www.itcg.pr.gov.br](http://www.itcg.pr.gov.br)). A geologia e os dados de solos estão na escala cartográfica de 1:250.000;
- Dados vetoriais em formato *shapefile* de Solos produzidos com base no mapa de Solos na EMBRAPA. Solos na escala cartográfica de 1:250.000, obtidos em <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/339505>;
- Dados vetoriais em formato *shapefile* de Limite de Bacias obtidos do HydroSHEDS (<https://www.hydrosheds.org/page/hydrobasins>);
- Cartas topográfica: SF.22-Y-C-V-1 - MI-2780/1 (Xambrê) e SF.22-Y-C-V-2 - MI-2780/2 (Maria Helena), obtidos em formato .jpg e shapefile do Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná – [www.itcg.pr.gov.br](http://www.itcg.pr.gov.br) e do Águas Paraná, respectivamente – <http://www.aguasparana.pr.gov.br/pagina-79.html>, via Acesso FTP;
- Imagens de satélite do Landsat-8, sensor OLI, com resolução espacial de 30 metros datadas de 24/03/2020 — órbita/ponto: 223/076, obtidos gratuitamente em <https://earthexplorer.usgs.gov/>;
- Software de Sistema de Informação Geográfica utilizado para a manipulação e tratamento dos dados espaciais – QGIS (versão 3.4).

### 5.3 Procedimentos

De posse dos materiais cartográficos e demais dados, procedeu-se com a organização dos itens em ambiente SIG, com o georreferenciamento dos dados que exigiam esse procedimento, com o posterior recorte, limitando-se espacialmente à área do estudo e por fim, elaboração dos materiais temáticos. Dos dados obtidos, as cartas topográficas em formato .jpg foram georreferenciadas com a ferramenta GDAL disponível no QGIS. As coordenadas posicionais presentes nas cartas são de Datum SAD 69. As cartas foram reposicionadas na importação do banco de dados com Datum SIRGAS 2000 para padronização dos posteriores a serem gerados.

O limite espacial da bacia hidrográfica do Rio Piava foi obtido inicialmente dos dados provenientes do HydroSheds. O limite da área do estudo foi editado baseando-se nas cartas topográficas anteriormente georreferenciadas. O limite em formato vetorial da APA do rio Piava foi obtido por meio do recorte vetorial da bacia

hidrográfica Rio Piava, estando presente apenas no território municipal de Umuarama.

A rede de drenagem e demais corpos hídricos da área do estudo foram obtidos em formato *shapefile* do ftp do Águas Paraná, conforme mencionado anteriormente. Os dados vetoriais da rede de drenagem também foram utilizados para a hierarquização dos canais em ordem, conforme Stralher, 1952. Os dados em formato *shapefile* referentes às curvas de nível com equidistância vertical de 20 m oriundas das cartas topográficas em escalas 1:50 000 e disponibilizadas no Águas Paraná foram utilizadas para obtenção de um Modelo Digital do Terreno (MDT).

As cartas topográficas foram mescladas, tornando-se um único arquivo raster. Em seguida, os arquivos foram vetorizados no QGIS, com o uso da ferramenta *v.to.rast.attribute*, o qual converte ou vetoriza uma camada raster para uma camada vetorial. Neste caso, adotou-se arbitrariamente o tamanho de célula de 10 m. Adotou-se o método de interpolação do GRASS, implementado no QGIS a partir do algoritmo *r.surf.contour* que gera superfícies contínuas a partir de contornos rasterizados. Adotou-se arbitrariamente o tamanho de célula de 10 m. Este método de interpolação é determinístico, exato e local e que interpola as áreas vazias linearmente entre as linhas mais próximas (RÚBIO & SARRIA, 2007; GRASS GIS, 2018).

Os dados vetoriais de Geologia, Geomorfologia e Solos foram recortados, limitando-se a área do estudo utilizando como máscara de recorte o limite da área da bacia obtido anteriormente e pautando-se no uso da ferramenta Recortar do QGIS.

Os dados do MDT foram utilizados para a representação da hipsometria, declividade e obtenção dos atributos morfométricos: Índice Topográfico de Umidade (ITU) e Índice de Máximo Fluxo (IMF). Inicialmente procedeu-se com o recorte espacial dos dados, limitando-se a área do estudo e utilizando-se do software QGIS. A representação hipsométrica foi obtida por meio da classificação “falsa-cor”, presente no software QGIS, no MDT, gerando as cinco classes de forma automática, tendo uma média da área de estudo. A declividade foi obtida aplicando a função presente na ferramenta GDAL com a função “declividade”. O raster gerado, possibilitou a manipulação das classes que foram organizadas em cinco e confeccionados em categorias com “falsa-cor”. Nesse estudo, optou-se pelas classes de declividade da EMBRAPA (2018), conforme Quadro 01.

**Quadro 1 - Classes de declividades conforme EMBRAPA (2018).**  
**Classes de Declividade (%)**

<b>Plano</b>	<b>Até 3%</b>
<b>Suave ondulado</b>	<b>3 a 8%</b>
<b>Ondulado</b>	<b>8 a 20%</b>
<b>Forte ondulado</b>	<b>20 a 45%</b>
<b>Montanhoso</b>	<b>&gt;45%</b>

Fonte: EMBRAPA (2018).

O IMF e ITU foram elaborados a partir dos dados do MDT oriundo das cartas topográficas no aplicativo QGIS combinado com as ferramentas do SAGA GIS. Os procedimentos seguiram os exemplos dos trabalhos executados por Silva (2016) e Oliveira (2019). Especificamente, a partir do MDT procede-se também com o preenchimento de vazios dos dados com a função (r.fill.dir) do conjunto de ferramentas GRAS (*Geographic Resources Analysis Support System*) no QGIS. A etapa seguinte é a obtenção da declividade em radianos, com o uso da ferramenta *Slope, Aspect, Curvature*. A área de contribuição foi obtida com o uso da ferramenta 'análise hidrológica do terreno', pelo método *Multiple Flow Direction*, algoritmo desenvolvido por Quinn et al. (1991). O ITU é obtido com a área de contribuição específica ( $A_c$ ) e com o gradiente local ( $\tan\beta$ ) expressa em radianos, sendo descrito pela seguinte equação:

$$ITU = (A_c/\tan\beta) \quad \text{Eq. 1}$$

Os valores elevados do ITU indicam áreas com maior umidade no solo e associados às áreas mais baixas, possibilitando a identificação de hidromorfismo, ou zonas preferenciais de concentração de escoamento superficial na vertente. Os valores de ITU baixos indicam condições de boa drenagem (MOORE et al., 1991; SILVEIRA, 2010; NOWATZKI, 2013). Esse índice é obtido pela interface SAGA no QGIS com o uso da ferramenta *Topographic Wetness Index (TWI)*, desenvolvido por Beven e Kirkby (1979). É necessário converter a área de contribuição para área de contribuição específica.

Por sua vez, o IMF compreende a declividade, o comprimento da rampa, e a forma da vertente (Equação 3) (MOORE et al., 1991; SILVEIRA et al., 2010; MINELLA & MERTEN, 2012). O índice calcula o potencial erosivo da água em movimento, ressaltando locais com maior propensão a perda de solo por unidade de área.

$$\Omega = A_c \tan \beta \quad \text{Eq.3}$$

Os maiores valores de IMF indicam os locais preferenciais de escoamento superficial e produção de sedimentos. Os menores valores de IMF sugerem os locais de deposição. O IMF foi obtido com o uso da interface SAGA — Índice de Máximo Fluxo ou *stream power index*, em inglês)

O mapa de uso e cobertura foi obtido a partir das imagens do Landsat-8/OLI. A visualização da área foi conseguida a partir de diferentes composições coloridas que auxiliaram na seleção das amostras de treinamento para a classificação. O classificador utilizado foi o **Dzetsaka** – ferramenta de Classificação Supervisionada com plugin disponível para o QGIS. A seleção das amostras pauta na utilização de um arquivo vetorial em que cada polígono refere-se a um tipo de classe. Nesse caso, “vegetação” e “agricultura”.

Os resultados obtidos foram confrontados com observações em campo. Dez pontos de visita foram pré-definidos e visitados em campo, pautando-se em acessibilidade e nas características de relevância encontrados nos resultados. De modo geral, o percurso deu-se na Estrada Jaborandi (Acesso ao ponto de captação hídrica), seguindo pela Estrada Boiadeira, posteriormente na BR-247 e contornando pela PR-482.

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

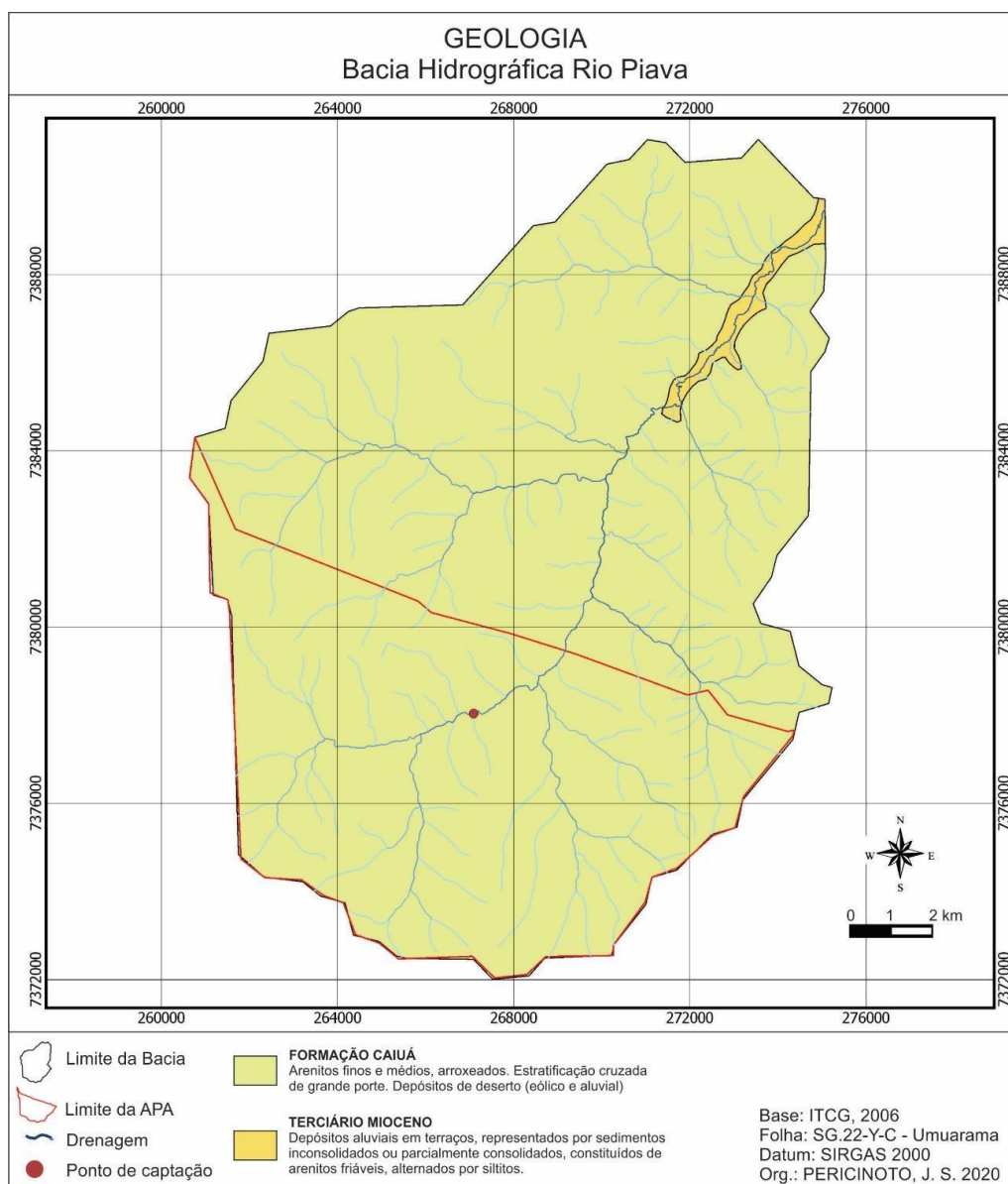
Os resultados a serem discutidos e elencados a seguir, foram obtidos com o somatório das ações realizadas em laboratório, construção do bando de dados, corroborando com a análise de campo sobre a veracidade da representação cartográfica, destacando os problemas apresentadas na pesquisa.

### **6.1 Caracterização da Bacia Hidrográfica Rio Piava**

#### **6.1.1 Geologia**

A bacia hidrográfica do rio Piava encontra-se na região noroeste do Estado do Paraná sobre o contexto geológico do Grupo Bauru/Formação Caiuá cuja idade remete ao Cretáceo médio superior (Figura 5). A característica da formação está em possuir sedimentos de origem flúvio-eólico juntamente com sedimentos cenozóicos nos fundos de vale.

**Figura 5 - Geologia da Bacia Hidrográfica Rio Piava**



Fonte: Autoria própria.

A Formação Caiuá tem aproximadamente 70 000 km<sup>2</sup> de extensão no Noroeste Paranaense e sua formação está associada a diferentes interpretações em relação aos ambientes deposicionais. Apoiados pelo trabalho de Fernandes (1992), Gasparetto e Souza (2003), França Junior (2010), apontam-se variados ambientes deposicionais para a Formação Caiuá, como o aquoso, deltaico, fluvial, eólico e misto (flúvio-lacustre, aquoso-eólico, eólico-flúvio-deltaico, aquoso-deltaico e flúviodeltaico-eólico).

A Formação Caiuá tem predominância em sua composição de arenitos em

partes que variam a espessura de fina a muito fina, de grãos arredondados a bem arredondados, apresentando também um grau de seleção que oscila de pobre até muito bem selecionados, composto de pequenos teores de matriz lamítica na forma de níveis ou lentes (GASPARETTO, SOUZA, 2003). O quartzo é o principal constituinte da Formação Caiuá, variando de 75% a 90% de rocha no espaço. Feldspatos, microclínio e plagioclásio estão em segundo lugar variando de 5% a 10% na composição. Em menor quantidade, calcedônia, opala e muscovita também integram essa composição. Fragmentos líticos finalizam a lista com folhelho, arenito, siltio e sílex, encontrados abaixo de 10% (SUGUIO, 1980).

As rochas que caracterizam a Formação Caiuá são denominadas de rochas brandas, pois cedem facilmente à pressão. Também são difíceis de definir os limites de resistência, comum para esse tipo de material (GASPARETTO, 1999). Em função de serem friáveis devido a sua constituição e dos materiais decompostos, tem facilidade na desagregação, o que aumenta a possibilidade de erosões, ravinas e voçorocas (SOUZA, 2001).

Por sua vez, os materiais inconsolidados são descritos pelos depósitos presentes em terraços marginais e nas planícies fluviais. Estes materiais foram deslocados para essas áreas por meio da água. Esses sedimentos são argiloso-silto-arenoso, dependendo da situação do local. São coberturas aluviais em terraços, até em áreas de grande desnível comparado ao leito da drenagem atual (MINEROPAR, 2001). É de se destacar também os termos atuais que tentam ilustrar os depósitos recentes. Segundo Oliveira et al. (2003), um novo período na escala geológica deve ser considerado, sendo denominado Quinário ou Tecnogênico. Este período diferencia-se dos demais pela ação antrópica como agente transformador do espaço. Os materiais que comprovam essa teoria são: tecnogênicos, gábricos, úrbicos, entulhos e lixos. Esses itens foram encontrados na região do Planalto Ocidental Paulista pelos os autores, ocorrendo semelhanças com a região de Umuarama.

O período Tecnógeno foi estudo por diversos autores como Pellogia (1997) e Oliveira et al. (2003) na Região Noroeste do Paraná, sendo que cada autor aponta as demais características de recorte temporal de destaque na região, porém elencando em comum, a ações antrópicas sobre a espaço natural do planeta.

Muratori (1997) aponta que a neopaisagem da região Noroeste do Estado do Paraná demonstra aspectos que coincidem com o período Tecnógeno. A autora relata que isso ocorre devido a retirada da cobertura florestal, juntamente com a intensa

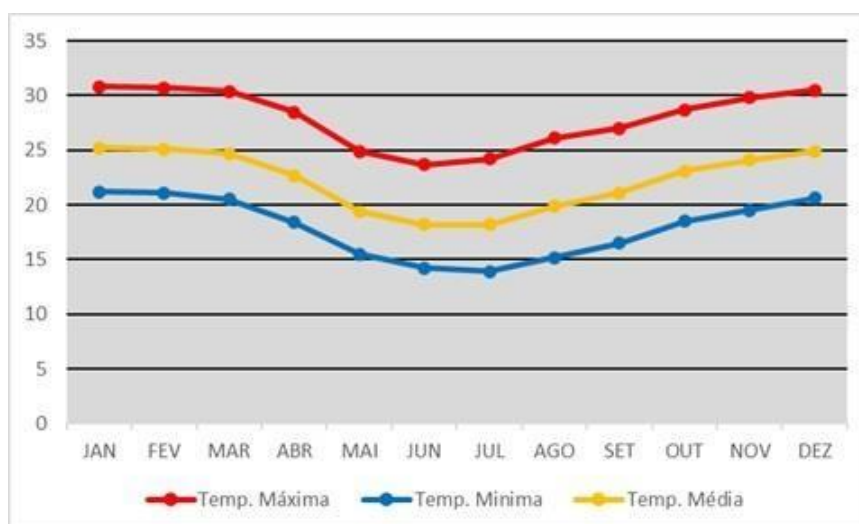
atividade agrícola do período de 1940, acelerando processos que modificam a paisagem existente, ocorrendo um desequilíbrio ambiental. A autora ressalta que os fatores antrópicos aceleram algumas condições já presentes no espaço, como reativação de voçorocas estabilizadas e semiestabilizadas, agregada a nascentes, em áreas de lineamentos geológicos.

França Junior e Souza (2014) afirmam que os depósitos tecnogênicos encontrados em sua pesquisa, no município de Umuarama, foram classificados como “depósitos tecnogênicos induzidos em camadas aluviformes periurbanos”, originários das modificações causadas pela ocupação urbana e rural, tendo uma transformação intensa na paisagem natural.

### 6.1.2 Clima

Conforme a classificação de Köppen (1948), a área de estudo está sob configuração climática do tipo subtropical úmido mesotérmico Cfa. Apresenta verão quente e raras geadas no inverno. As chuvas concentram-se no verão e não apresenta estação seca definida. A temperatura média no município de Umuarama demonstra uma média anual de 22°C. A realização de um recorte histórico de 1974 a 2019 mostrou que as temperaturas possuem uma variação significativa que apresentam uma mínima histórica de -1,4° C e uma máxima histórica de 40,4° C. O gráfico 1 mostra as médias históricas do recorte por mês (FRANÇA JUNIOR, 2010).

**Gráfico 1** - Dados de temperatura - Série Histórica de 1972 a 2019. Estação Umuarama – Código 02353008.

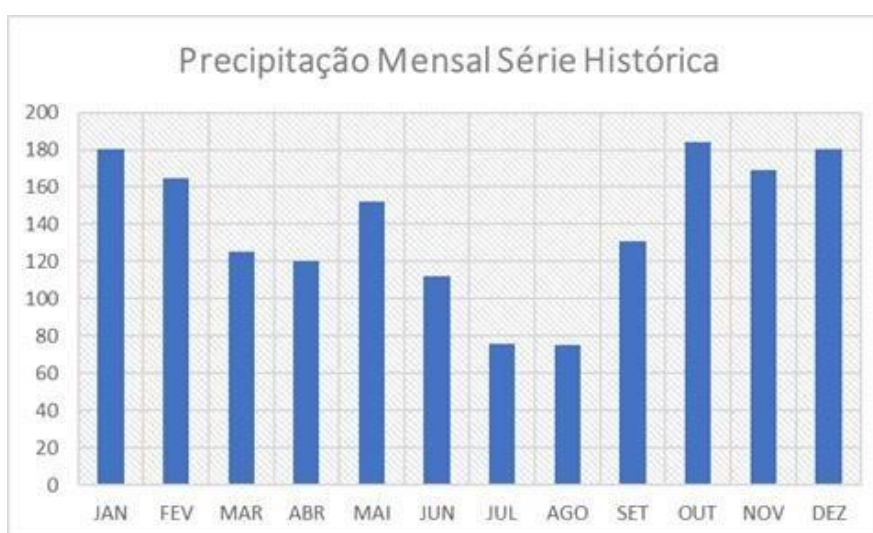


Fonte: IAPAR, 2020



A média da precipitação total de 1972 a 2019 indica uma precipitação mensal sempre superior a 100 mm, exceto nos meses de julho e agosto, em torno de 75 mm (Gráfico 2). A pluviosidade média anual para o intervalo supracitado foi de 1670 mm. De outubro a fevereiro tem-se os meses mais chuvosos, com médias de precipitação total variando de 164 a 184 mm; julho a agosto são os meses menos chuvosos, com média de precipitação de 75 a 76 mm respectivamente (IAPAR, 2020).

**Gráfico 2** - Precipitação Mensal Total - Série Histórica de 1972 a 2019. Estação Umuarama – Código 02353008.



Fonte: IAPAR, 2020

Vale ressaltar que eventualmente ocorrem fenômenos climáticos extremos e índices pluviométricos acima ou abaixo da média que causam transtornos à população em decorrência da variação do regime hídrico, afetando o abastecimento público.

### 6.1.3 Geomorfologia

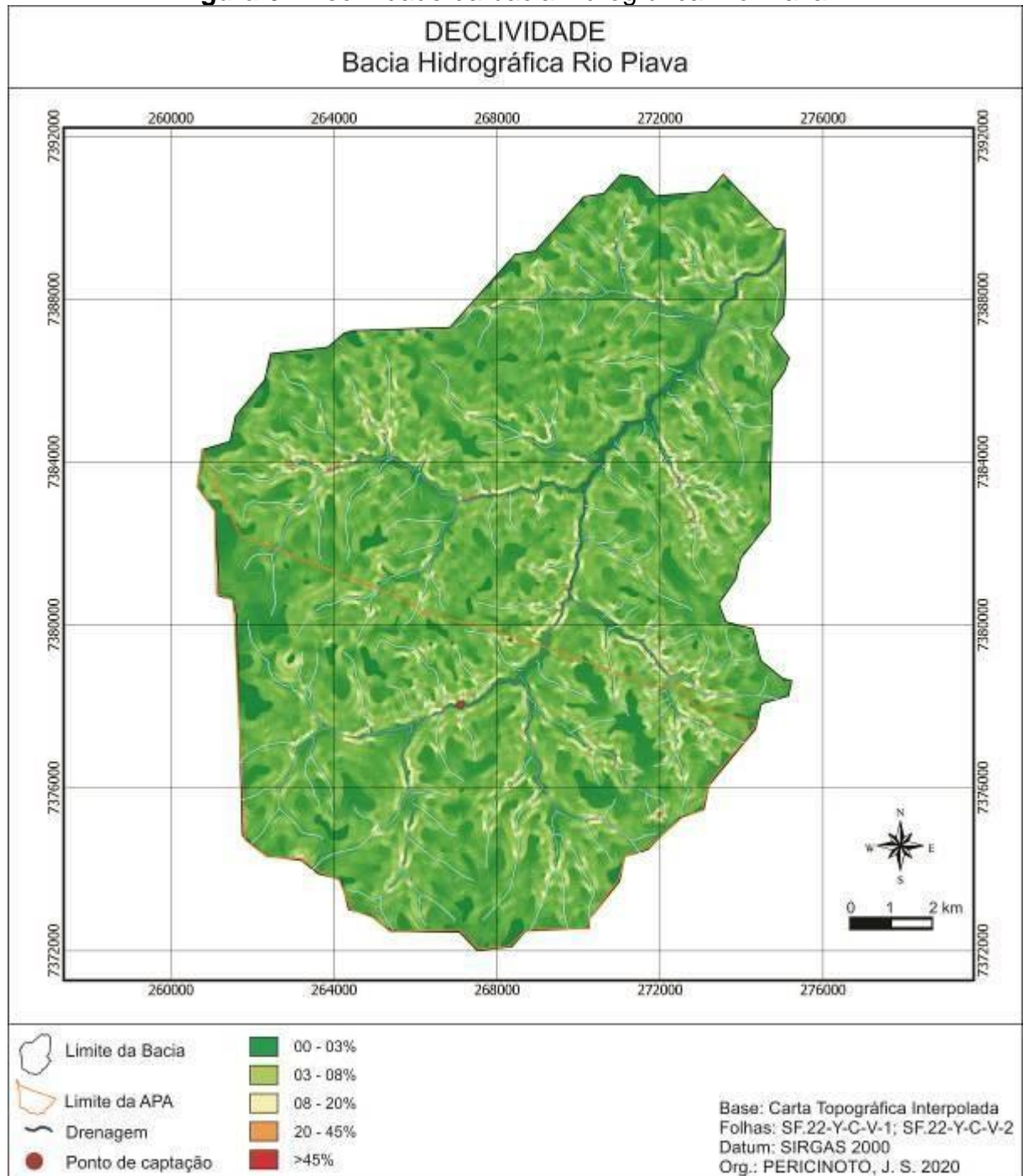
A região está situada na Bacia Sedimentar do Paraná, abrangendo a unidade morfoescultural do Terceiro Planalto Paranaense (MAACK, 1968). O Terceiro Planalto Paranaense se destaca pelo derramamento mesozóico de rochas eruptivas básicas associados, no sentido Noroeste, na qual encontram-se rochas areníticas do Grupo Bauru (SANTOS et al. 2006).

O Terceiro Planalto possui subunidades que são denominados de subplanaltos, e que apresentam suas próprias características de litologia e de relevo. Referente às subunidades, o subplanalto de Umuarama possui características típicas de sua área,

apresentando dessecação média e uma área de 11.592,61km<sup>2</sup>. Possui declividade predominante de 6-12%, além da altitude entre 240 (mínima) e 640m (máxima), com uma média 380m (FRANÇA JUNIOR, 2010). O subplanalto de Umuarama apresenta também destaque diferenciado as demais, contendo topos alongados e aplainados, além de vertentes convexas e vales em “V” (SANTOS et al. 2006).

A bacia hidrográfica Rio Piava apresenta uma declividade predominante entre 3-8%, com relevo suave-ondulado, conforme a classificação da EMBRAPA (2018) (Figura 6). Os divisores de água possuem comumente declividade entre 0 a 3%, e as demais áreas de 3 a 8%. Em alguns setores próximos dos vales tem-se áreas de maior declividade, que variam entre 8 a 20%, comumente na transição entre a média e baixa vertente. Nas áreas mais baixas também se observam segmentos planos, com declividade entre 0 a 3%.

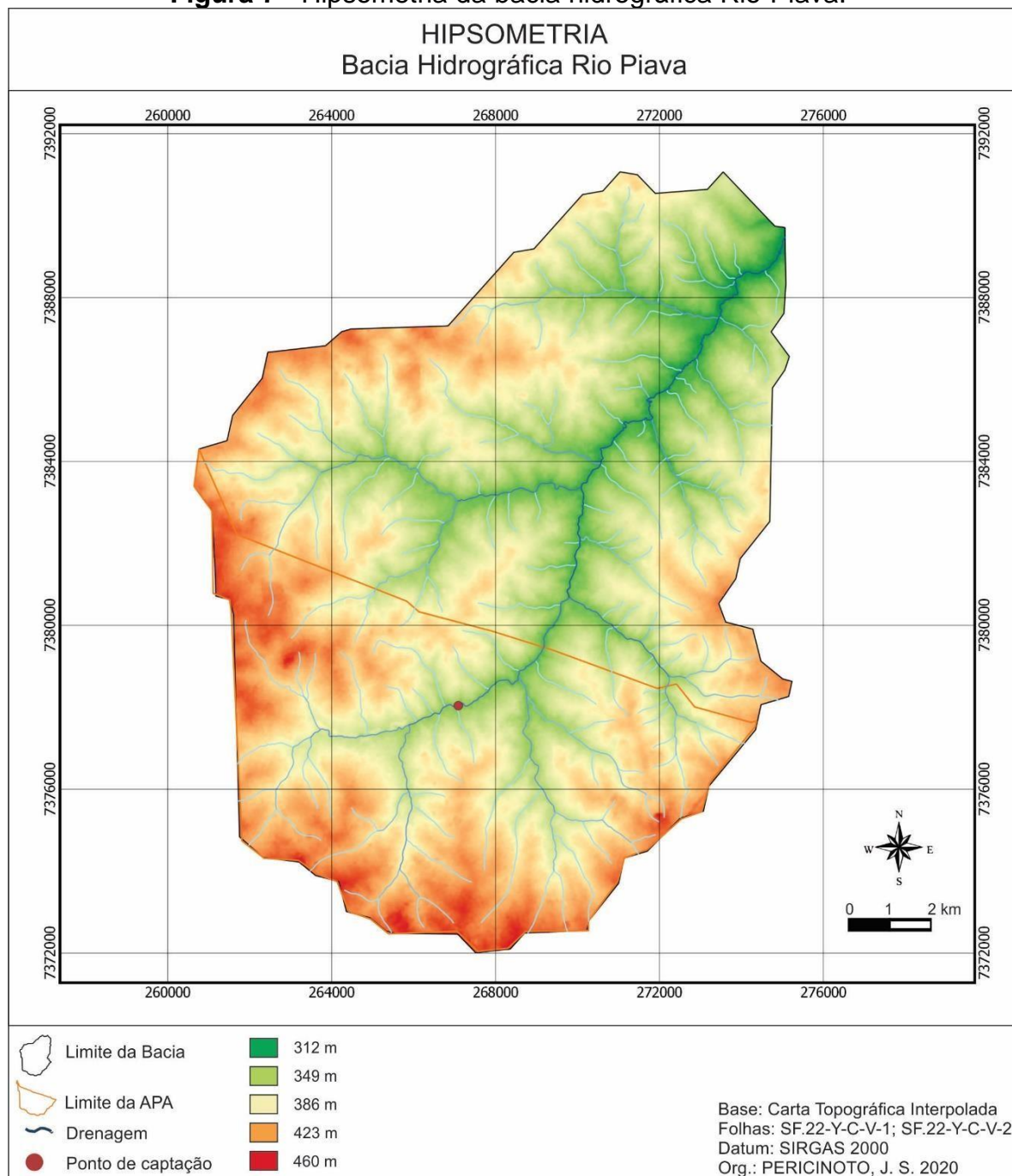
**Figura 6 - Declividade da bacia hidrográfica Rio Piava**



Fonte: Autoria própria.

Considerando os dados do MDT, a amplitude altimétrica varia de aproximadamente 300 m até próximo dos 460 m (Figura 7). A área apresenta relevo suave-ondulado, com ausência de variações abruptas na altimetria do relevo. As vertentes são longas, com vertentes convexas. Estas características são comuns para o Planalto de Umuarama, que segundo Fumiya (2017), apresenta topos alongados e aplainados, vertentes convexas e vales em “V”.

**Figura 7 - Hipsometria da bacia hidrográfica Rio Piava.**



Fonte: Autoria própria.

#### 6.1.4 Rede hidrográfica

A bacia hidrográfica Rio Piava tem sua nascente principal localizada no município de Umarama — PR. A área da bacia também abrange o município de Maria Helena. O rio principal deságua no Rio das Antas que por sua vez segue até o Rio Ivaí, chegando por sequencia no Rio Paraná. Considerando a Carta Topográfica em



### 6.1.5 Pedologia

O solo presente na região é oriundo das rochas sedimentares da Formação Caiuá. A formação geológica apresenta associação com uma cobertura pedológica característica, sendo solos de textura média e arenosa. A região de Umuarama apresenta predominantemente Latossolo Vermelho com textura média em alta vertentes e nos interflúvios; Argissolo Vermelho Amarelo na média e baixa vertente; áreas também da baixa vertente e próxima à drenagem encontram-se solos hidromórficos e solos de origem coluvial e aluvial (NAKASHIMA, 2000). Em específico, na APA do rio Piava tem-se a presença de Latossolo Vermelho Distrófico, Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico Típico e Neossolo Quartzarênico Distrófico, conforme o Plano de Manejo da APA do Rio Piava (2013).

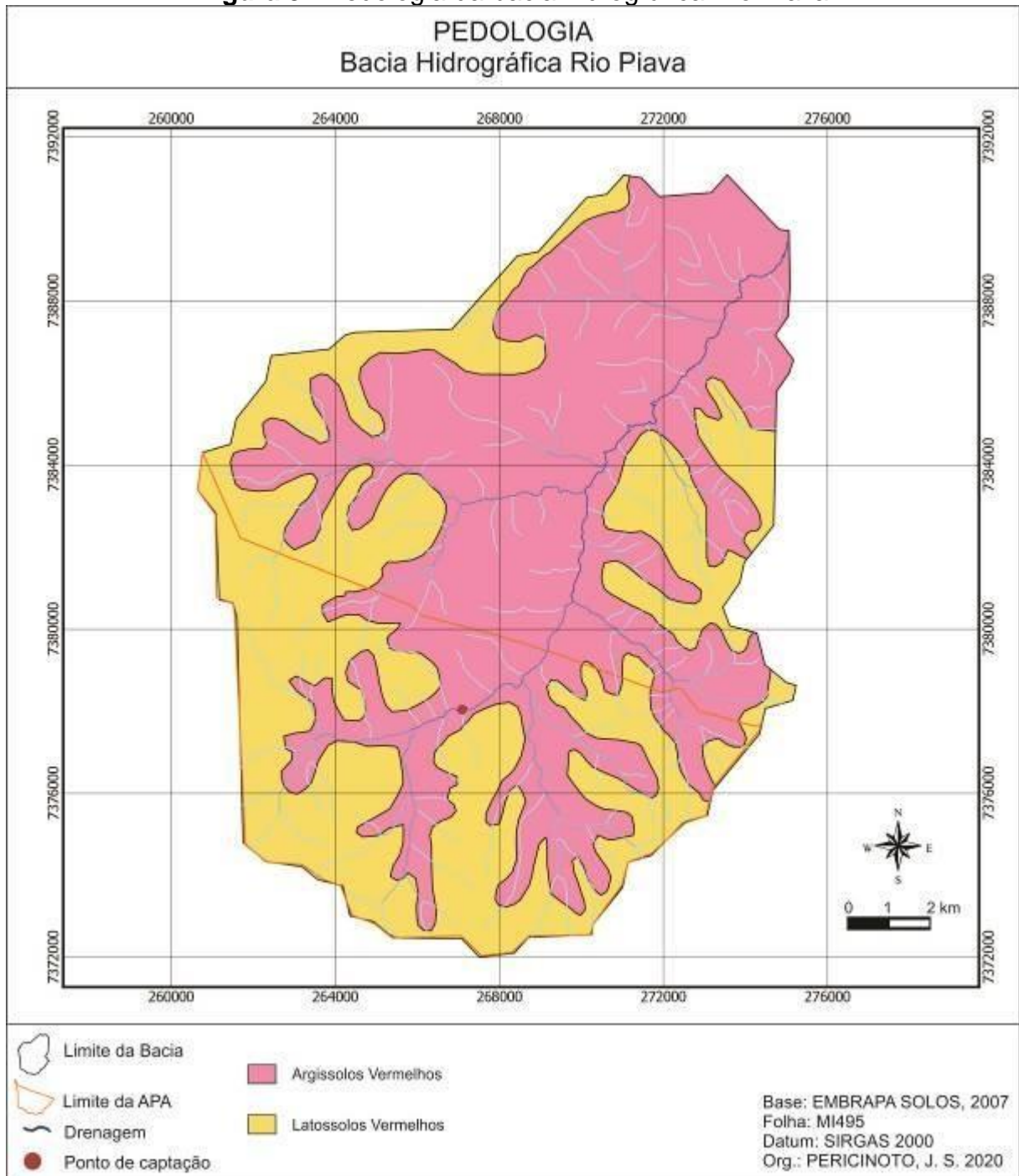
Os Latossolos são agrupamentos apresentando no horizonte B com processo de latolização (remoção de sílica) avançada, apresenta desgaste no solo com concentração de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Latossolo Vermelho Distrófico, demonstra textura média, relevo plano a suavemente plano, presente em 50% da área total, sendo predominantemente ocupado por pastagens e poucas frações de lavouras permanente (ARENITO AMBIENTAL, 2013).

Os Argissolos são agrupamentos apresentando horizonte B textural, apresenta argila de atividade baixa e atuação incompleta de processo deferratilização, devido à vigência de mobilização de argila da parte mais superficial, com concentração ou acumulação em horizonte subsuperficial. O Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico Típico possui textura média e está presente em relevo suavemente ondulado a ondulado, presente em 30% da área total, sendo totalmente presente em áreas de pastagem (ARENITO AMBIENTAL, 2013).

A figura 9 apresenta os solos citados na bacia hidrográfica Rio Piava, porém o mapeamento realizado pela EMBRAPA SOLOS (2007) na escala 1:250.000 não foi possível representar o Neossolo.



**Figura 9 - Pedologia da bacia hidrográfica Rio Piava**

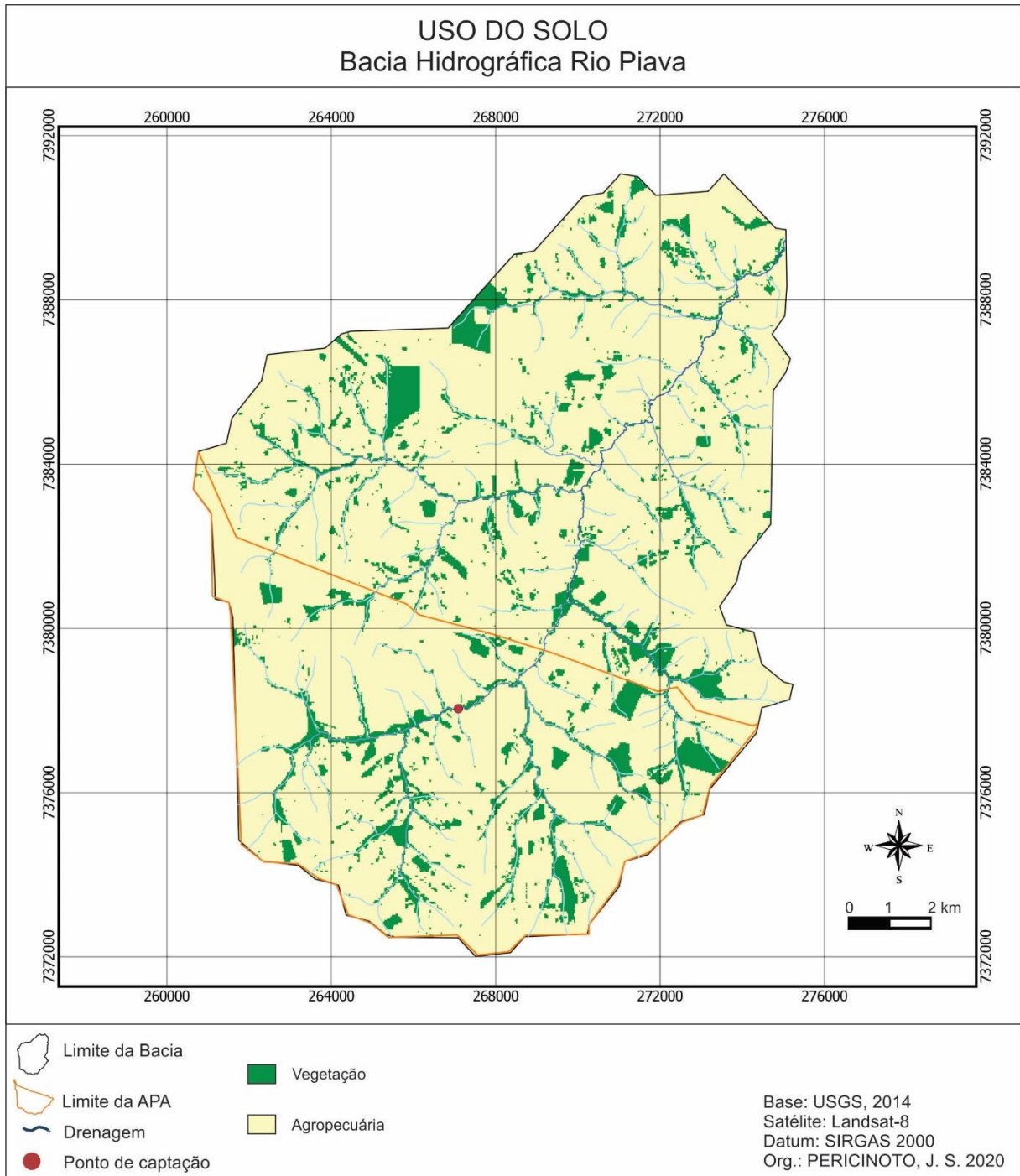


Fonte: Autoria própria.

### 6.1.6 Vegetação e Uso do solo

A região da Bacia Hidrográfica Rio Piava tem como atividade agrícola como predominante em sua área, sendo a ação antrópica de maior significância, ou seja, de modificação da paisagem, como mostra a figura 10.

**Figura 10 - Uso do solo da bacia hidrográfica Rio Piava**



Fonte: Autoria própria.

Segundo França Junior (2010), região apresenta diversidade tanto na flora e na fauna. O autor ressalta que, a partir de 1940, com abertura de fronteiras, a vegetação foi sendo dizimada em grande escala. Moradores locais apontam que, após a derrubada da floresta, ocorria a queimada de forma para preparar a área a fim de realizar plantações. Os remanescentes apresentam as características da Floresta Estacional Semidecidual, possuindo duas divisões em aluvial e submontana, a última

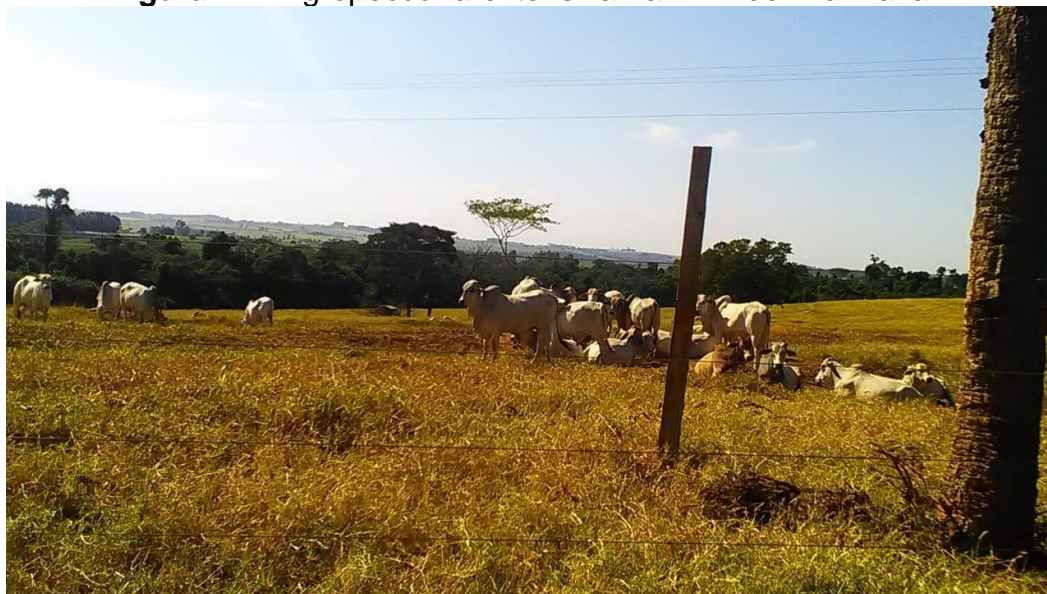


relacionada às características do relevo (LEITE; KLEIN, 1990).

As características da Floresta Estacional Semidecidual apresentam pontos a ser destacados no período chuvoso, seco e com elevada variação térmica. O clima altera a estacionalidade foliar, referente aos elementos arbóreos dominantes, onde adaptam a situações como deficiência hídrica e elevada queda de temperatura no período de inverno. A definição de Floresta Estacional Semidecidual está nas árvores caducifólias no conjunto florestal e apresenta um percentual que vai entre 20% a 50% em épocas de clima desfavorável (VELOSO, GÓES-FILHO, 1982).

A APA do Rio Piava apresenta a pastagem como atividade predominante, com área total de 6.113,48 hectares (Figura 11 e 12). A área destinada às culturas do café, soja e milho, apresenta um total de 599,57 hectares, enquanto que as demais culturas (banana e mandioca) são de pequena escala, ou seja, agricultura familiar (UMUARAMA, 2013). A extensa atividade agropecuária na APA é alvo de constantes ações de preservação, para evitar o desencademaento de processos erosivos e de poluição dos recursos hídricos.

**Figura 11** - Agropecuária extensiva na APA do Rio Piava.



Fonte: Autoria própria.

**Figura 12** - Ampla pastagem na APA do Rio Piava.



Fonte: Autoria própria.

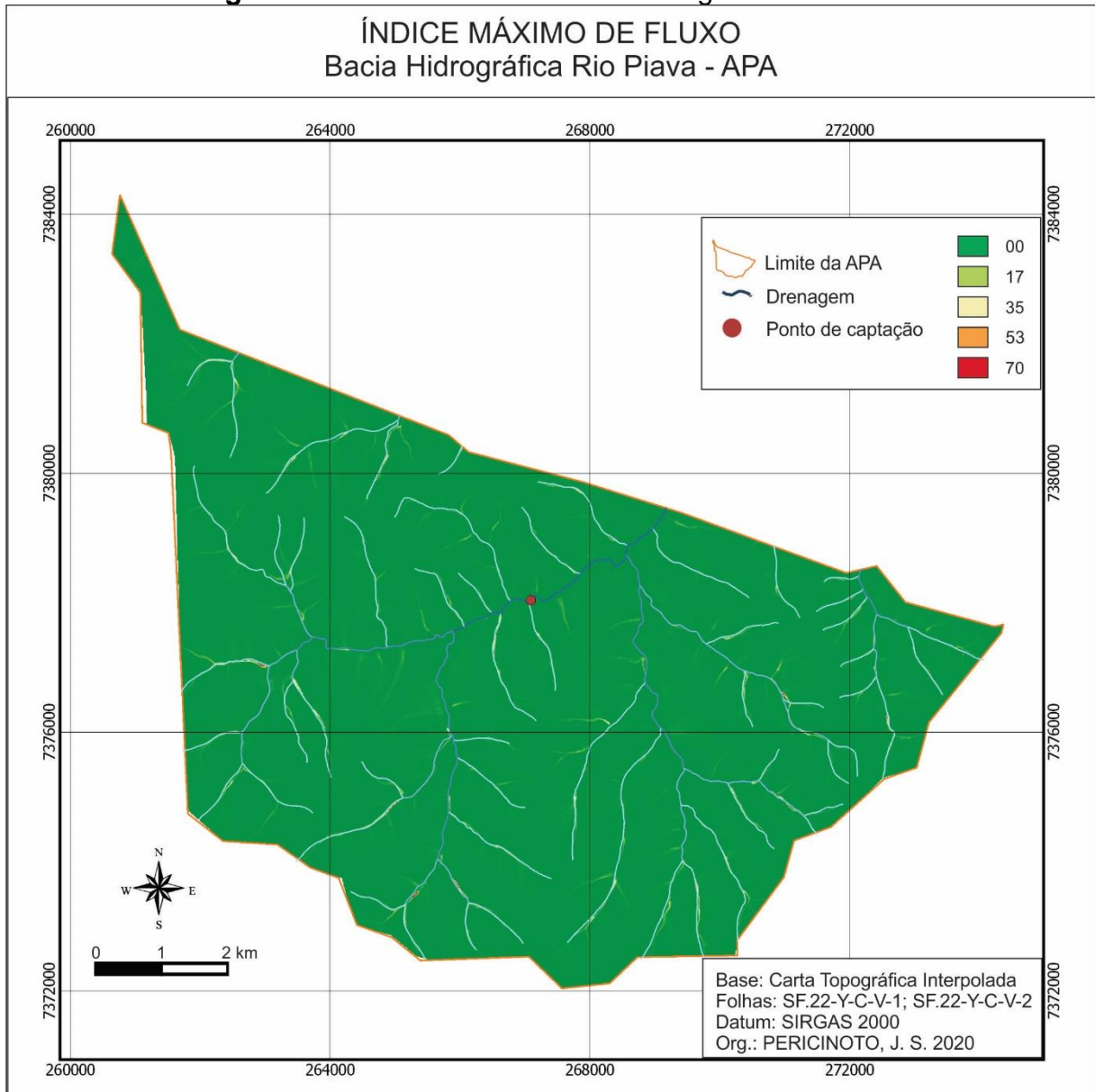
## **6.2 Identificação dos Canais de Ordem Zero**

O MDT obtido da carta topográfica em escala 1:50 000 permitiu identificar as áreas de canais de ordem zero, os quais em alguns setores, retratam a ampliação longitudinal das áreas de cabeceiras ou de áreas úmidas na APA do Rio Piava.

O Índice Máximo de Fluxo (Figura 13) permite uma análise sobre locais com potencial de escoamento superficial e produção de sedimentos. A Área da APA corresponde a 79,46 km<sup>2</sup>, equivalente a 7.946 ha. A partir dos valores obtidos de IMF e a sua divisão em classes, tem-se a compartimentação da bacia em função da propensão a áreas de maiores fluxos, que por sua vez, pode sinalizar áreas propensas à erosão. Observa-se que a primeira classe possui uma predominância de 7.639 ha, o que demonstra uma baixa considerável de erosão no solo da bacia, além de indicar uma área plana. A segunda classe, apresenta uma área de 7,63 ha, que possui as mesmas características da primeira classe. A terceira classe corresponde a 0,97 ha, que são recortes de relevância para processos erosivos. A quarta classe possui 0,27 ha, que demonstra recortes com potencial de processos erosivos e transporte de sedimentos. A quinta classe corresponde a 0,13 ha que são áreas de fluxo

acumulados, juntamente com a montante. O IMF apresenta associação com o fluxo hídrico, pois acarreta em maior potencial de áreas com erodibilidade e transporte de sedimentos (SILVEIRA, 2012).

**Figura 13** - IMF da APA da bacia hidrográfica rio Piava



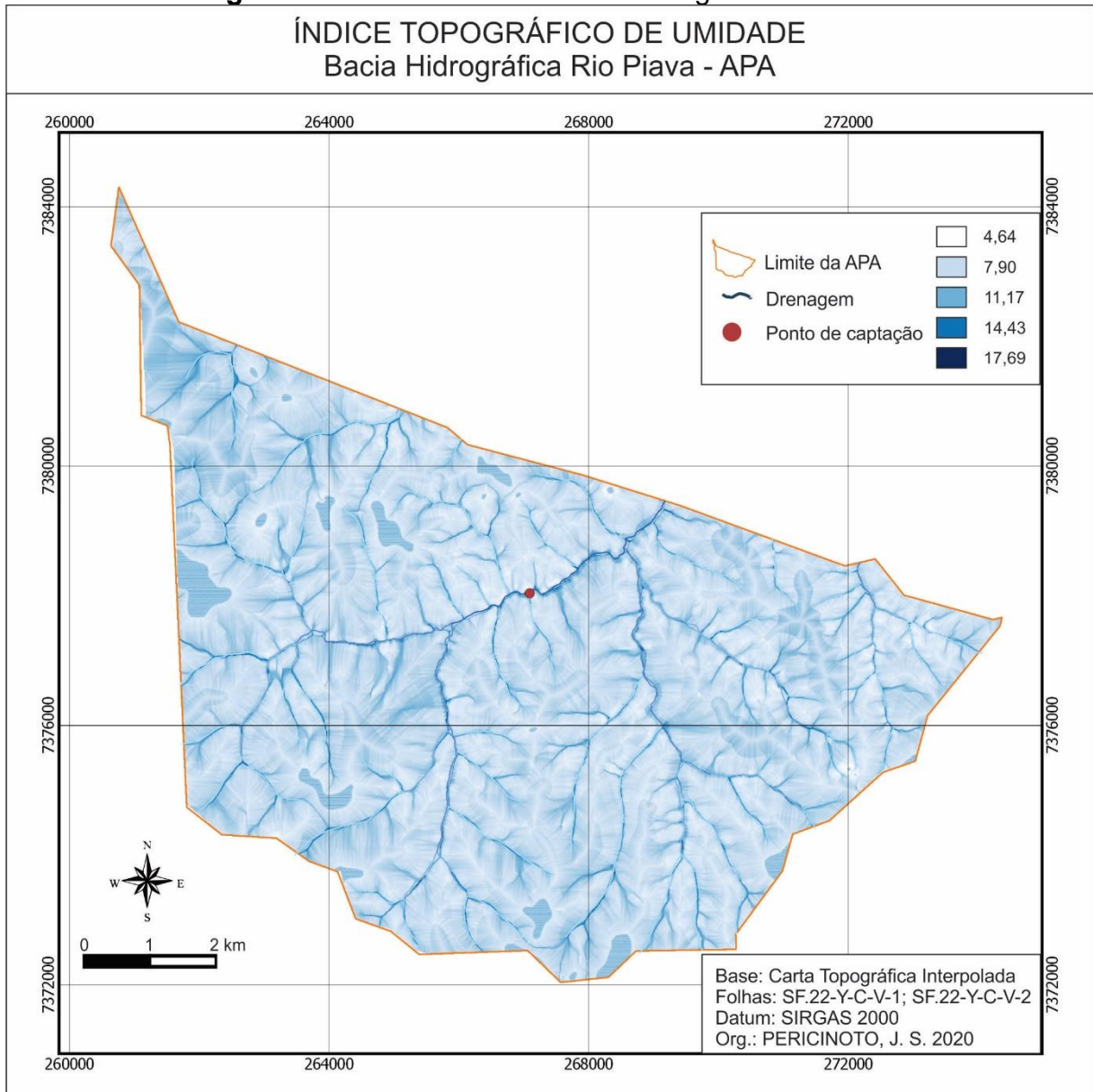
Fonte: Autoria própria.

O Índice Topográfico de Umidade (Figura 14), identifica as áreas de maior umidade da APA, e enfatiza os segmentos contínuos que apresentam maior umidade. Das cinco classes definidas de ITU, as classes com maiores valores de ITU indicam os canais de drenagem perenes da bacia. Os valores correspondentes as classes intermediárias sinalizam áreas úmidas que não possuem necessariamente canais perenes. Tratam-se de feições lineares que possuem conexão com a drenagem perene e que em períodos de maior precipitação a lamina de água atinge a superfície,



ampliando longitudinalmente a dimensão do canal.

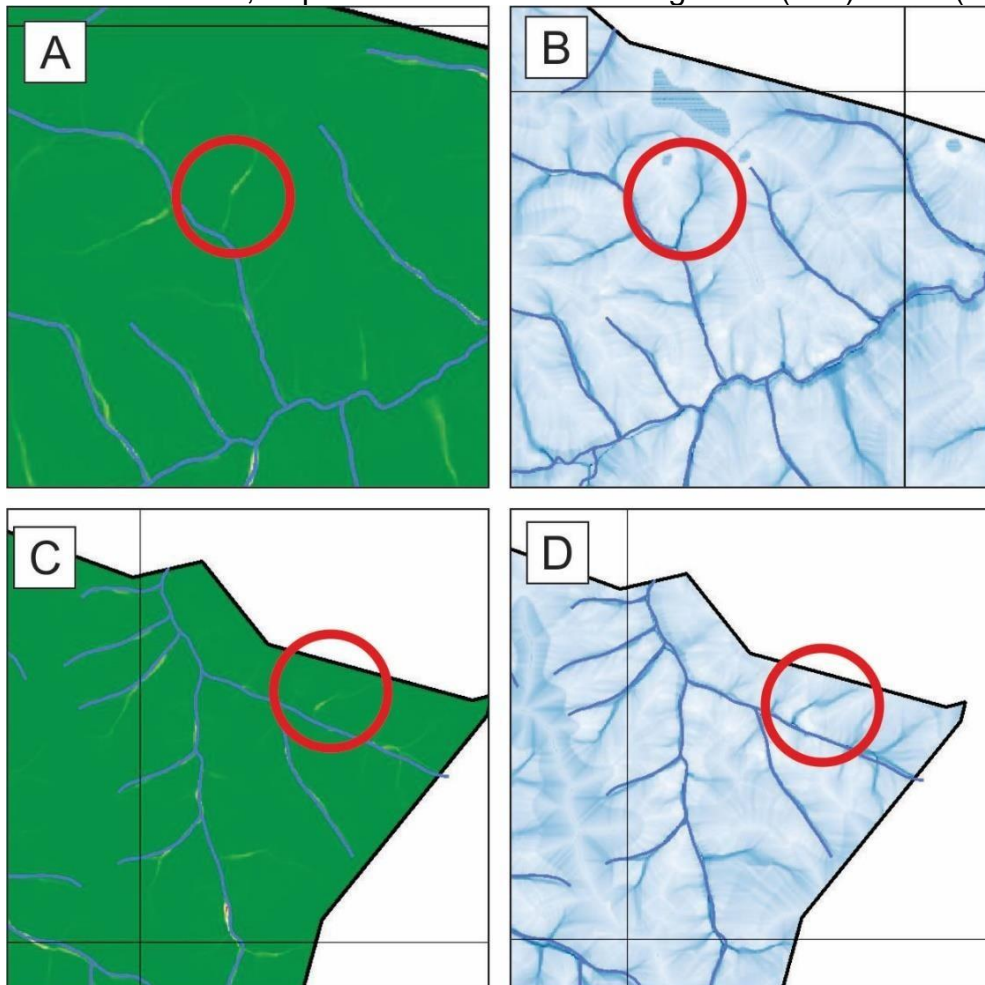
**Figura 14 - ITU da APA da bacia hidrográfica rio Piava**



Fonte: Autoria própria.

O Índice Máximo de Fluxo e o ITU permitem inferir sobre os locais com potencial escoamento superficial e produção de sedimentos e a identificação das áreas úmidas, respectivamente. Esses locais são passíveis para surgimento de canais de ordem zero, o que torna necessário um maior detalhamento para assim amparar ações de gestão e planejamento da bacia, para fins de ampliar a área de preservação dessas áreas e manter o tempo de permanência da água na bacia.

**Figura 15** - Em A (IMF) em comparação com B (ITU) demonstra áreas potenciais decanais ordem zero, o que acontece entre as imagens C (IMF) e a D (ITU).



Fonte: Autoria própria.

Os dados de IMF e ITU são fundamentais e norteadores para uma análise detalhada sobre a temática em discussão, e podem apontar não somente as possíveis áreas de canais de ordem zero, mas também áreas úmidas com canais intermitentes. Adicionalmente, podem indicar os locais com solos hidromórficos ou de solos mais propensos a erosão, a exemplo do Neossolo Quartzarênico encontrado na bacia. Dessa forma, em associação com outros parâmetros os resultados acima contribuem para identificar as áreas prioritárias a proteção de APPs de nascentes, conforme já evidenciado por Moura e Chaves (2017) ao aplicar o ITU.

Em imagens de satélites também é possível observar que algumas áreas indicadas pelo IMF e ITU estão subestimadas em termos de proteção pela vegetação. Nota-se que tais áreas foram desmatadas e utilizadas para fins agropecuários, mas que eventualmente, tornam-se mais úmidas (Figura 16). São vários canais de ordem



zero cujas áreas estão sendo utilizadas pela agropecuária. Considerando a importância da bacia como área de manancial, é necessário refletir sobre a ampliação da área de vegetação, prolongando-se para os canais de ordem zero. Isso garantiria o aumento da permanência da água precipitada na bacia, bem como, poderia evitar a formação de processos erosivos que carregam sedimentos ao canal.

**Figura 16** - Representação temporal de algumas cabeceiras de drenagem na APA do Rio Piava. Em A, B e C, nota-se que a cabeceira no ano de 2016 apresentou a montante da cabeceira área úmida, indicado também pelo ITU e IMF. Linha pontilhada em B indica presença de área úmida. Em C, D e E, nota-se a mesma condição, sendo indicadas pelas setas e círculos vermelhos e setas amarelas.



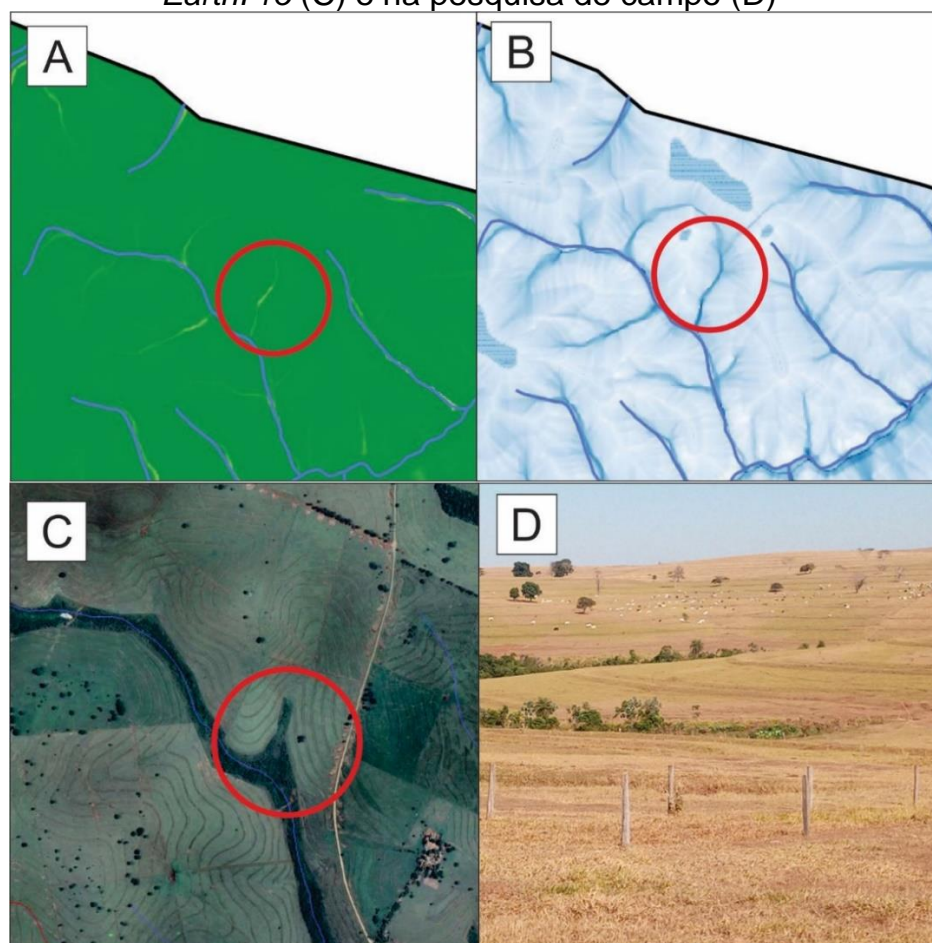
Fonte: Autoria própria.

Observando os dados processados para identificação de áreas úmidas (ITU), processos erosivos (IMF), juntamente com as imagens temporais, mostra-se a necessidade de revisão das atividades antropicas sobre o espaço na APA do Rio Piava, pois os espaços identificados demonstram potencial para surgimento de corpos hídricos, somados à descarga de contaminantes no ponto de captação para abastecimento hídricos.

### 6.3 PESQUISA DE CAMPO

Os dados gerados no programa QGIS para obtenção do Índice Máximo de Fluxo (IMF) e do Índice Topográfico de Umidade (ITU), juntamente com as imagens de satélite disponíveis no *Google Earth Pro*, foram confrontadas em campo. De modo geral, as áreas indicadas pelos ITU E IMF foram observadas e corroboradas em campo (Figura 17).

**Figura 17** - Comparativo a área úmida identificado pelo IMF (A), ITU (B), *Google EarthPro* (C) e na pesquisa de campo (D)

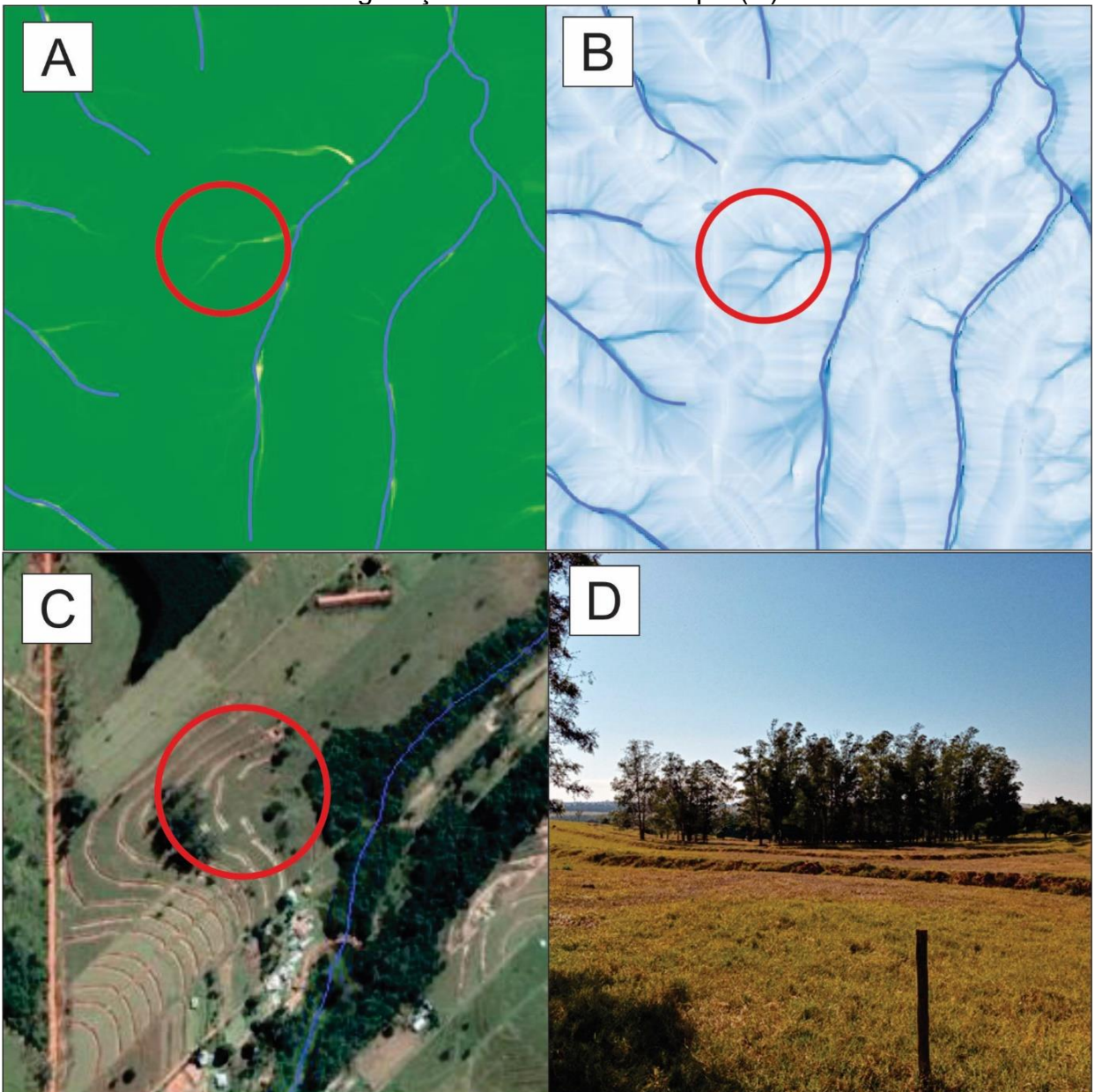


Fonte: Autoria própria.



A área apresenta relevo suave ondulado e nos locais indicados pelos índices como de ordem zero, tem-se a forma côncava. Em campo, alguns pontos encontram-se mais mascarados pela forma de relevo (côncavo) e pela distribuição das curvas de nível apontado para o divisor de água, observa-se a compatibilidade com os índices obtidos (Figura 18).

**Figura 18** - Comparativo do IMF (A), ITU (B), *Google Earth Pro* (C), observação da configuração da área em campo (D)



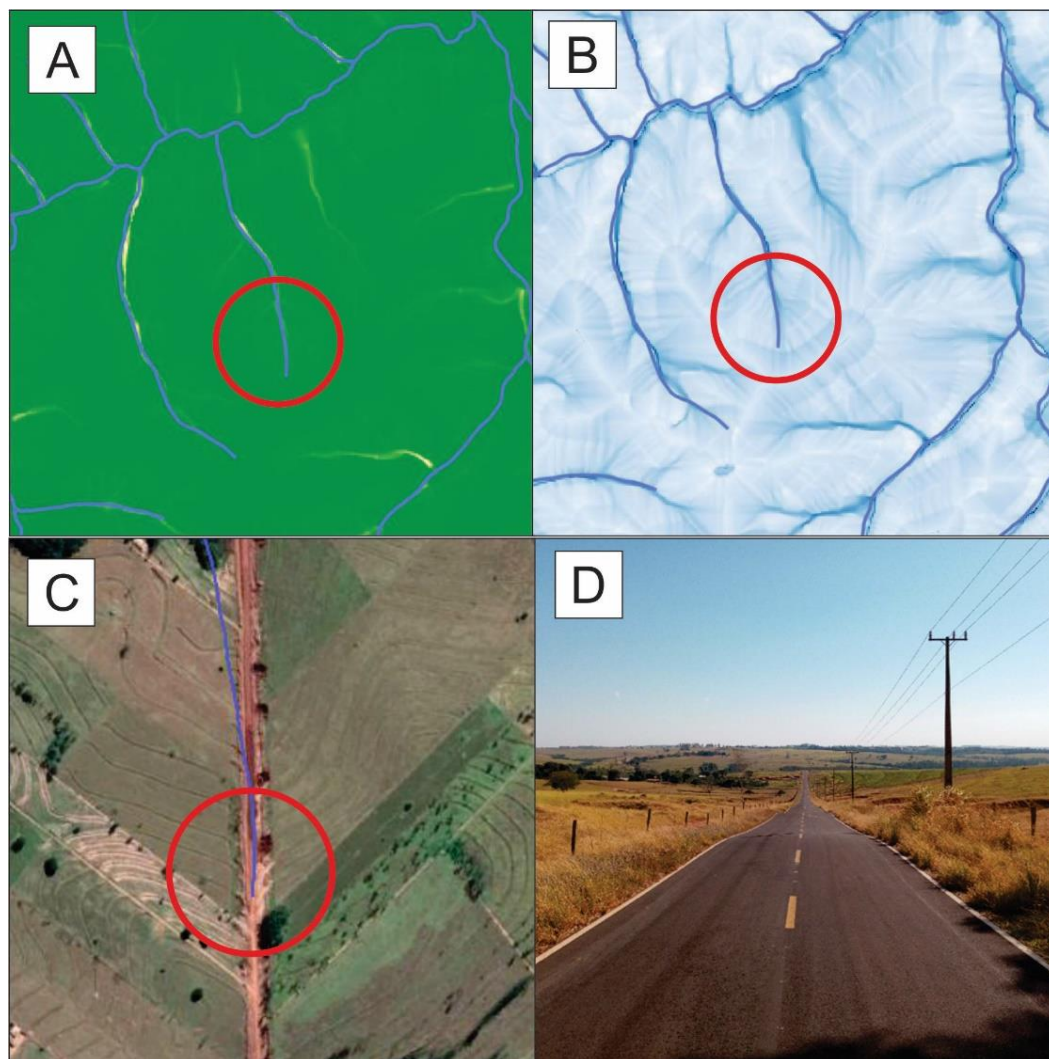
Fonte: Autoria própria.

Em campo observou-se que o índice ITU também está compatível com os corpos hídricos atuais além de identificar as áreas úmidas. Em alguns locais, a drenagem registrada nas cartas topográficas não é compatível com a realidade (Figura



19), e mesmo que evidenciado pelo ITU, retrata apenas os locais de maior umidade e possível formação de canal em períodos de precipitação. Também se observou em campo que as estradas comumente apresentam caixas de contenção da água proveniente das precipitações (Figura 19).

**Figura 19** - Comparativo do IMF (A), ITU (B), *Google Earth Pro* (C), não identificação do corpo hídrico em campo que está registrado em carta topográfica (D).

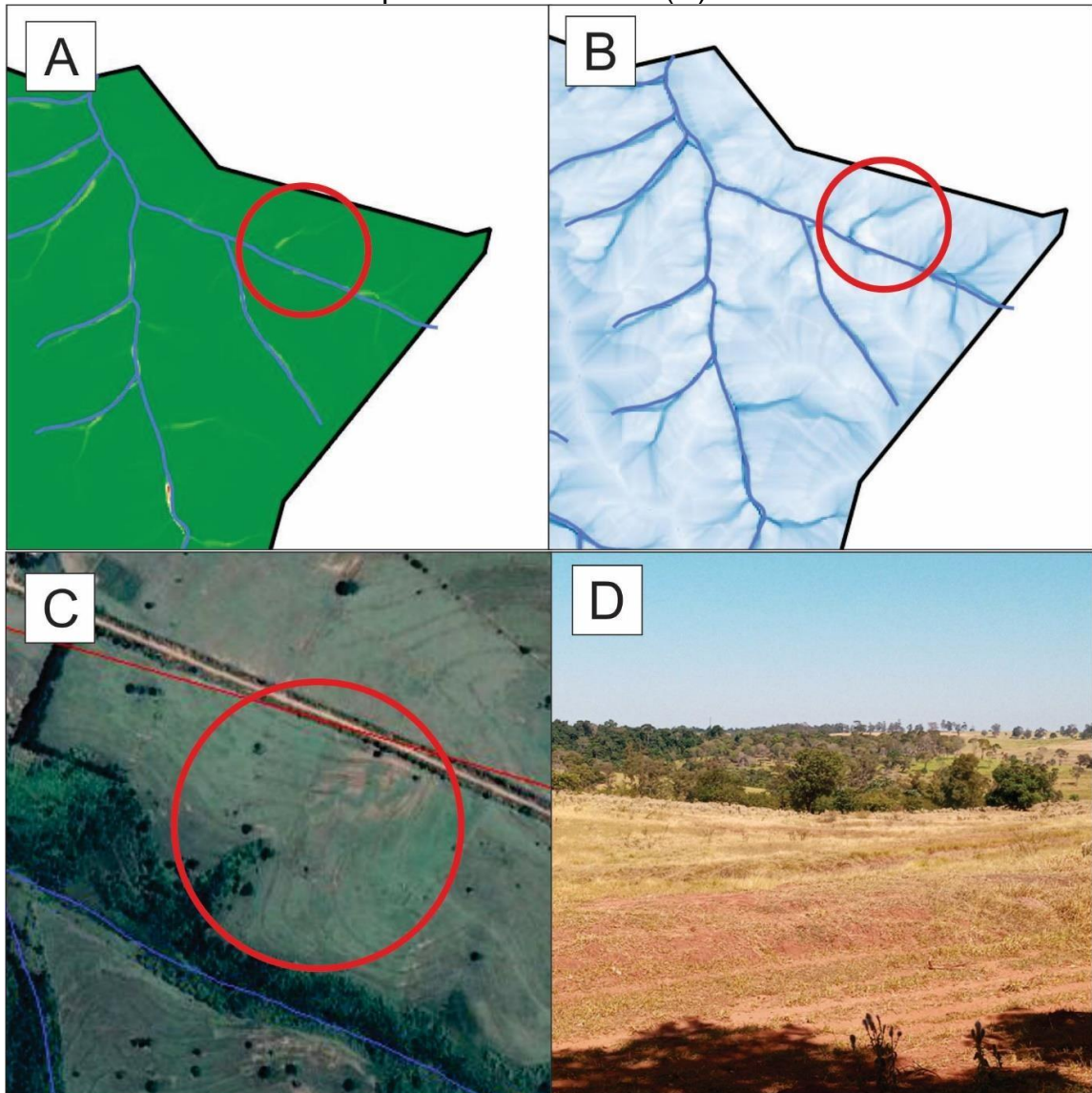


Fonte: Autoria própria.

O Índice de Máximo Fluxo permitiu a identificação de áreas que apontam suscetibilidade a formação de processos erosivos do tipo linear. Conforme Capoane (2015), esse índice descreve o potencial da topografia em concentrar as águas superficiais, promovendo o entalhe ou erosão da vertente. Ainda segundo Capoane (2015), permite-se a identificação de áreas com risco de fluxo de água que cause erosão, principalmente em eventos de precipitação intensa. Na área do estudo, o processo foi perceptível, e se observou os pontos salientados pelo IMF (Figura 20).

Essas informações são relevantes não só em função da espacialização de áreas propensas a erosão, mas também indica suscetibilidade ao carreamento de poluentes para os setores mais baixos da vertente, bem como o carreamento de solo, dentre outros, e a sua deposição.

**Figura 20** - Comparativo do IMF (A), ITU (B), Google Earth Pro (C), identificação de processos erosivos (D).



Fonte: Autoria própria.

O Índice Topográfico de Umidade, por sua vez, foi fundamental na identificação de áreas úmidas e canais de ordem zero, em que foi notória sua aplicação na pesquisa de campo, por meio de locais com a presença de vegetação em torno do corpo hídrico. De modo geral, a área do estudo apresenta inúmeros locais semelhantes a esse, onde ações que prezem pelo manejo adequado são essenciais

para conservação da área. De outro lado, considerando o papel da área como manancial de abastecimento do município de Umuarama, a proposta de não só rever as dimensões das áreas destinadas a proteção, como também, de se ampliar as áreas de preservação em função dos resultados obtidos com o ITU e IMF. Essas ações implicariam na melhora das condições da APA em manter a água na bacia, bem como, melhorar os indicadores na água consumida.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicaram que há inúmeros canais de ordem zero na área que deveriam ser revistos em termos de preservação. Nota-se que inúmeras áreas úmidas e de canais de ordem zero possuem conexão com os canais perenes estão sendo utilizados para fins agropecuários. Considerando a importância da bacia para o município de Umuarama, ações de ampliação da área de vegetação sobre esses canais de ordem zero são plausíveis e podem garantir que o manancial consiga abastecer o município a contento. Estas ações garantiriam um maior tempo de permanência da água na bacia, bem como, reduziria o aporte de sedimentos na bacia. Demais ações com estradas adequadas e com manutenção, terraceamento, uso e manejo do solo adequados, dentre outros devem ser mantidos. Recomenda-se o detalhamento da área também em termos pedológicos para amparar os resultados obtidos pelos índices. Ou seja, se os índices estão correlacionados com áreas de solos hidromórficos ou de baixa aptidão agrícola, tem-se mais argumentos para ampliar a área de preservação nesses locais de canais de ordem zero.

## **8 PRODUTO**

O catálogo de mapas é o produto resultante da pesquisa, tendo o objetivo de caracterizar a bacia hidrográfica Rio Piava, especificamente, a APA do Rio Piava no município de Umuarama – PR.

O material tem como proposta a apresentação dos dados gerados em formato cartográfico. Os mapas elaborados retratam as seguintes temáticas: Hidrografia, Declividade, Geologia, Geomorfologia, Hipsometria, Pedologia, Uso do Solo, Índice Máximo de Fluxo e Índice Topográfico de Umidade.

Os mapas produzidos podem auxiliar na análise das características da bacia hidrográfica Rio Piava, bem como a APA do Rio Piava do município de Umuarama, de forma que auxilie o planejamento e a tomada de decisões para preservação e manutenção da área.

## REFERÊNCIAS

ABREU, A. H.; OLIVEIRA, R. de. Regime jurídico das matas ciliares. **Boletim dos Procuradores da República**, Brasília, ano 4, n.48, p.3-8, 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil**: 2012. Brasília, 2012.

ARENITO AMBIENTAL. **Plano de Manejo da APA do Rio Piava**. Umurama, 2013.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas**: aplicações na agricultura. 2. ed. rev. e amp. Brasília, DF: Embrapa – SPI / Embrapa – CPAC, 1998. 434p.

BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. **Hydrological Sciences Bulletin**, v. 24, p. 43-69, 1979.

BIELENKI, J. **Geoprocessamento e recursos hídricos**: aplicações práticas. São Paulo. Educar. 2012. 257 p.

BORGES, L. A. C. et al. Áreas de preservação permanente na legislação ambiental brasileira. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v.41, n.7, 2011.

BOTELHO, R. G. M. Bacias Hidrográficas Urbanas. *In*: GUERRA, A.J.T. et al. (Org.) **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011, p. 71-110.

BRAGA, R.; CARVALHO, P. F. C. **Recursos Hídricos e Planejamento Urbano e Regional**. Rio Claro: Laboratório de Planejamento Municipal, 2003. p. 113-127.

BRASIL, 1965. **Código Florestal Brasileiro (Revogado)**: Lei nº 4.771/65.

BRASIL. **Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências**. Lei Nº 9985, 2000. Brasília, DF, 2000. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm). Acesso em: 13 abr. 2020.

BRASIL. Constituição 1988. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 2016. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 24 fev. 2020.

CALHEIROS, R. O. et al. **Cadernos da Mata Ciliar n. 1**: preservação e recuperação das nascentes, de água e vida. São Paulo: SMA, 2009.

CAMPOS, S. et al. Evolução do Uso das Terras da Microbacia do Alto Capivara - Botucatu (SP). *In*: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA RURAL. 2., 2009, Bandeirantes. **Anais [...]** Bandeirantes: Universidade Estadual do Norte do Paraná - UENP, 2009.

CAPONE, V. et al. Influência da resolução do modelo digital de elevação na determinação do índice topográfico de umidade do solo. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. Bento Gonçalves: ABRH, 2013. p. 1-8. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/geouerj.2015.13452>. Acesso em: 03 jun. 2021.

CAPONE, V. et al. Influência da resolução do modelo digital de elevação na determinação do índice topográfico de umidade e na capacidade de predição dos teores carbono orgânico do solo. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 27, 2015, p. 144-155.

CAPONE, V. et al. Efeito da resolução de modelos digitais de elevação na derivação do índice topográfico de umidade: estudo de caso no município de Palmitinho-RS. **Geografia em Questão**, v. 10, n. 2, 2017, p. 9-23.

CARVALHO, C. G. **Introdução ao direito ambiental**. 3. ed. São Paulo: Letras e Letras, 2001.

CENSO DEMOGRÁFICO 2010. **Características da população e dos domicílios: resultados do universo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

CHARLTON, R. **Fundamentals of fluvial geomorphology**. London: Routledge, 2008.

CHEREM, L. F. **Análise morfométrica da bacia do Alto Rio das Velhas - MG**. 2008. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-graduação em Modelagem de Sistemas Ambientais) - Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geossistemas — Uma introdução à geografia física**. Tradução: Francisco Eliseu Aquino ... (et al.). Porto Alegre: Bookman, 7ª edição, 2012.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

CORREIA, N. F. et al. Obtenção de MDE Corrigido para Delimitação de Bacia Hidrográfica com Auxílio de Geotecnologias Livres. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 40, n. 1, 2017, p. 217-225.

COUTINHO, L. M. et al. Usos da Terra e Áreas de Preservação Permanente (APP) na Bacia do Rio da Prata, Castelo-ES. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 4, p. 425-434, out./dez 2013.

CUNHA, J. E. et al. Comportamento erosivo de um sistema pedológico de Umuarama, noroeste do Estado do Paraná. **R. Bras. Ci.** Solo, v. 23, p. 943-951, 1999.

DERANI, C. **Direito ambiental econômico**. 2 ed. São Paulo: Max Limonad, 2001.

DIBIESO, E. P. **Planejamento ambiental e gestão dos recursos hídricos: estudo aplicado à bacia hidrográfica do manancial do alto curso do rio Santo Anastácio - São Paulo/Brasil**. 2013. Tese (Doutorado em geografia) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências e Tecnologia campus de Presidente Prudente, Presidente Prudente, 2013.

DONADIO, N. M. M.; GALBIATTI, J. A.; PAULA, R. C. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na Bacia Hidrográfica do Córrego Rico, São Paulo, Brasil. **Engenharia Agrícola**, v.25, p.115-125, 2005.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 2 eds. Editora: EMBRAPA/ CNPS. 212p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. Ed., Brasília, DF: Embrapa, 2018.

FERNANDES, L. A. **A cobertura cretácea e supra basáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá**. 1992. Dissertação (Mestrado em Geociências) — Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1992.

FRANÇA JUNIOR, P. **Análise do uso e ocupação da Bacia do Córrego Pinhalzinho II utilizando geoindicadores, Umuarama-PR, 1970-2009**. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

FRANÇA JUNIOR, P. SOUZA, M. L. Tecnógeno em ambientes fluviais: noroeste do Paraná, Brasil. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 5, n. 2, p. 45-52, 2014

FLAUZINO, F. S. et al. Geotecnologias Aplicadas à Gestão dos Recursos Naturais da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba no Cerrado Mineiro. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 22, n. 1, p. 75-91, abr. 2010.

FUMIYA, M. H. **Gênese dos ferricretes e sua relação com transformações da paisagem no noroeste do Paraná**. 2017. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

GASPARETTO, N. L. **As formações superficiais do noroeste do Paraná e sua relação com o arenito Caiuá**. 1999. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

GASPARETTO, N. L.; SOUZA, M. L. **Contexto geológico-geotécnico da Formação Caiuá no Terceiro Planalto Paranaense-PR**. ENGEOPAR, 1ed. 2003. Maringá-PR.

GRAU, E. R. **Ensaio e discurso sobre a interpretação/aplicação do direito**. São Paulo: Malheiros, 2009.

GRIMM, N. B. et al. Global change and the ecology of cities. **Science**, Washington, v. 319, n. 5864, p. 756-760, 2008.



GROHMANN, C. H. **Radiography of the Amazon DSM/DTM data: comparative analysis with SRTM, ASTER GDEM.** Geomorphometry 2015, Poznam, Poland. Proceedings. 2015.

GUASSELLI, L. A. et al. Mapeamento e classificação de áreas úmidas usando topographic wetness index (twi) a partir de modelos digitais de elevação, na bacia hidrográfica do rio gravataí - Rio Grande Do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 3, 2020.

HEWLETT, J. D.; NUTTER, W. L. The varying source area of streamflow from upland basins. *In: Symposium on interdisciplinary aspects of watershed management*, Bozeman: American Society of Civil Engineers, 1970, p. 65 — 83.

HOPE, A. J.; MCDOWELL, W. H.; WOLLHEIM, W. M. Ecosystem metabolism and nutrient uptake in an urban, piped headwater stream. **Biogeochemistry**, [s.l.], v. 121, n. 1, p. 167–187, 2014.

ISSII, T. M. et al. Comparação entre o antigo código florestal e a nova lei florestal na proteção de florestas da área de manancial billings — diadema. *In: SIMPÓSIO CIENTÍFICO DE GESTÃO AMBIENTAL*, 5., 2016, Piracicaba. **Anais [...]** Piracicaba: ESALQ-USP, 2016. p. 1-5.

JONES, N. L.; WRIGHT, S. G.; MAIDMENT, D. R. Watershed delineation with triangle-based terrain models. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 116, n. 10, p. 1232-1250, 1990.

JÚNIOR, A. P. M. **Indicadores Ambientais e Recursos Hídricos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

KIRKBY, M. J. CHORLEY, R. J. Throughflow, Overland flow and erosion. **Internat. Assoc. Sci. Hydrology Bull.**, v. 12, nº 3, p. 5-21, 1967.

KNIGHTON, D. **Fluvial forms & processes**. A new perspective. London: Arnold, 1998.

KÖEPPEN, W. **Climatologia: com um estúdio de los climas de la Tierra**. FCE, México, 1948.

LASZLO MANOEL, J.; ROCHA, P. C. Composição hierarquica dos canais fluviais das bacias hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe. **Revista Geonorte**, Edição Especial 4, V.10, N.1, p.228-232, 2014.

LEITE, P. F. KLEIN, R. M. **Vegetação**. *In: Geografia do Brasil - Região Sul*. Rio de Janeiro, IBGE. v. 2, 419p. 1990.

LEUZINGER, M.D. Código florestal: problemas e soluções. *In: CONCEIÇÃO, M.C.F.* (Coord.). **Os quarenta anos do Código Florestal Brasileiro**. Rio de Janeiro: EMERJ, p.151-197. 2007.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba. ESALQ, 2008.

- MACHADO, R. A. S. Análise morfométrica de bacias hidrográficas como suporte a definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental a partir do uso de geotecnologias. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 15., 2011, Curitiba. **Anais [...]** Curitiba: INPE, 2011, p. 1441-1448.
- MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. 1ed. Curitiba, Paraná. Banco de desenvolvimento do Paraná, Universidade Federal do Paraná e Instituto de Biologia e Pesquisas tecnológicas, 1968. 350p.
- MACIEL, L. G. Meio ambiente ecologicamente equilibrado. O problema da eficácia das reservas legais e áreas de preservação permanente. **C&D Constituição e Democracia**, Brasília, DF. v.29, p.15, 2009.
- MEIRELLES, M. S. P. et al. **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Brasília: Embrapa, 2007. 593p.
- MENDES, C.A.B.; CIRILO, J.A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2001. 535p.
- MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. Índices topográficos aplicados à modelagem agrícola e ambiental. **Ciência Rural**, v. 42, n. 9, 2012.
- MINEROPAR - Minerais do Paraná. **Atlas Geológico Do Estado Do Paraná - Escala base 1:500.000**; Curitiba, 2001.
- MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E. Landscape dissection and drainage area-slope thresholds. **Process models and theoretical geomorphology**, v. 11, p. 221-246, 1994.
- MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E. Where do channels begin?. **Nature**, v. 336,n. 6196, p. 232-234, 1988.
- MOORE, I. D. et al. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. **Hydrological Processes**, v.5, p.3-30, 1991.
- MOURA, C. O. CHAVES, H. M. L. Indicador Hidroambiental para Priorização de APPs das Nascentes na Bacia do Ribeirão Pipiripau - DF. *In: SEMINÁRIO ESTADUAL DE ÁGUAS E FLORESTAS*, 5., 2017, Belém. **Anais [...]**. Belém: SEAF, 2017.
- MOURA, D. M. B. et al. O uso de geotecnologias na análise morfométrica da alta bacia hidrográfica do ribeirão Santo Antônio, no município de Iporá-Goiás, Brasil. **GeoFocus (Artículos)**, v. 1, n. 21, p. 19-37, 2018.
- MURATORI, A. M. Os microdesertos edáficos na neopaisagem da Região Noroeste do Estado do Paraná — Brasil, como registro de um novo período geológico (Quinário?). **Revista RA'EGA**, v. 01, p. 133-140, 1997.
- NAVES, F. E.; ALMEIDA, R. T. S. Índice topográfico de umidade como método para identificação de pontos de alagamento em áreas urbanas. **Sociedade e Território**, v. 33, n. 1, p. 209-227, maio/2021.

NAKASHIMA, P. **Sistema Pedológico da região Noroeste do Paraná: distribuição e subsídios para o controle de erosão.** 2000. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo. São Paulo. 2000.

NOWATZKI, A. **Utilização de atributos topográficos no mapeamento preliminar de solos da bacia hidrográfica do rio Pequeno (Antonina/PR).** 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia). Departamento de Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

OLIVEIRA, A. M. S. et al. Cap. 17 Tecnógeno: registros da ação geológica do homem *In: Quaternário no Brasil.* São Paulo, 2003. Ed. Abequa.

OLIVEIRA, A. H. et al. Análise do relevo para o mapeamento de áreas favoráveis ao processo de infiltração. **Águas Subterrâneas**, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/ras.v0i0.28736>. Acesso em: 03 jun. 2021.

OLIVEIRA, D. V. **Avaliação da acurácia posicional de dados espaciais gerados a partir do uso da RPA.** 2019. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

ONGLEY, E. D. **Control of water pollution from agriculture:** Documento eletrônico (FAO irrigation and drainage paper, 55). Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/W2598E/w2598e00.htm>. Acesso em: 06 out. 2020.

PALACIOS-VÉLEZ, O. L.; CUEVAS-RENAUD, B. Automated river-course, ridge and basin delineation from digital elevation data. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 86, p. 299-314, 1986.

PARANHOS FILHO, A. C. et al. **Geotecnologias em Aplicações Ambientais.** 1.ed. Campo Grande: UFMS. 2016.

PEIXOTO, L. S.; NASCIMENTO, A. P. Os impactos do uso e ocupação inadequados do solo de qualidade dos recursos hídricos: bacia hidrográfica do rio Piava. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 17., 2007, São Paulo. **Anais [...]** São Paulo: ABRHidro, 2007, p. 1-8.

PEREIRA, V. C. O novo código florestal brasileiro: dilemas da consciência ecológica em torno da proteção ambiental. **Ambiente & Educação**, Rio Grande, v. 18, n. 1, 2013, p. 211-228.

QUINN, P. et al. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. **Hydrological Processes**, v. 5, p. 59-79, 1991.

REBOUÇAS, A. **Uso inteligente da água.** São Paulo, Escrituras Editora, 2004.

RESENDE, A. V. **Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato.** 1 ed. Planaltina: Embrapa cerrados, 2002.

ROCHA, C.H.B. **Geoprocessamento**: Tecnologia transdisciplinar. Juiz de Fora/MG: Ed Do Autor, 2000.

RUHE, Robert V. **Geomorphology: geomorphic processes and surficial geology**. HoughtonMifflinHarcourt (HMH), 1975.

SANEPAR. **Estação de Tratamento de Água de Umuarama**. 2017. Disponível em <http://site.sanepar.com.br/visitacao/17068>. Acesso em: 03 mai. 2020.

SANEPAR. **Sanepar volta a alertar para a falta de água em Umuarama**. 2019. Disponível em <https://ilustrado.com.br/falta-agua-umuarama/>. Acesso em: 07 jul. 2020.

SANTOS, A. R. **As nascentes no Código Florestal**. Disponível em <http://www.ambientelegal.com.br/as-nascentes-no-codigo-florestal/>. Acesso em: 26 out. 2019.

SANTOS, L. C. J. et al. Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 2, p. 03-12. Belo Horizonte- MG, 2006.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina Textos, 2004.

SETTI, A. A. et al. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. Brasília, Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000.

SILVA, F. G. da; CARNEIRO, C. D. R. Geotecnologias como recurso didático no ensino de geografia: experiência com o Google Earth. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 13, n. 41, p. 329-342, mar/2012.

SILVA, R. K. I. L. **Avaliação das imagens do Google Earth de alta resolução espacial em relação às ortofotos para o mapeamento de Áreas de Preservação Permanente (APP)**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

SILVA, R. V. da; KOBAYAMA, M. Delineamento automático da rede de drenagem em bacias hidrográficas com ênfase em trechos de zero ordem. *In*: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA, 21., 2004, São Pedro, SP. **Anais [...]** Campinas: IAHR/UNICAMP, 2004, p. 1-10.

SILVEIRA, C. T. **Análise digital do relevo na predição de unidades preliminares de mapeamento de solos: Integração de atributos topográficos em Sistemas de Informações Geográficas e redes neurais artificiais**. 2010. Tese (Doutorado em geografia) - Departamento de Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

SILVEIRA, C. T. et. al. Pedometria apoiada em atributos topográficos com operações de tabulação cruzada por álgebra de mapas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 13, nº 2, 2012.

SIRTOLI, A. E et al. Atributos do relevo derivados de modelo digital de elevação e suas relações com solos. **Scientia agraria**, v. 9, n. 3, 2008.

SOARES, V. P. et al. Mapeamento das áreas de preservação permanente e dos fragmentos florestais naturais como subsidio à averbação de Reserva Legal em imóveis rurais. **Cerne**; v. 17, n. 4, p. 555-561. 2011.

SOUSA, M. S. SAMPAIO, T. V. M. Avaliação da acurácia de bases cartográficas: um estudo de caso da rede de drenagem do estado do Paraná na escala 1:50.000 para a carta MI 2818-4. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa, PB. **Anais** [...] João Pessoa: INPE, 2015, p. 6713- 6719.

SOUZA, M. L. **Proposta de um sistema de classificação de feições erosivas voltados a estudos de procedimentos de análises de decisões quanto a medidas corretivas, mitigadoras e preventivas: aplicação no município de Umuarama (PR)**. 2001. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências exatas, Rio Claro, 2001.

SOUZA FILHO, C. R.; CRÓSTA, A. P. Geotecnologias aplicadas à Geologia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 2, p. 1-4, jun/2003.

SPAROVEK, G. et al. A revisão do Código Florestal brasileiro. **Novos estudos – CEBRAP**, São Paulo, n. 89, Mar. 2011.

STRAHLER, A. N. Hypsometric analysis of erosional topography. **Geologic Society American Bulletin**, v. 63, n. 10, p. 1117-1142, 1952.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Geophysical Union Trans.**, v.38, p.912-920, 1957.

TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. Reimpressão, 2001.

TUCCI, C. E. M. Água do meio urbano. *In*: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B. TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil**. São Paulo: Escrituras, p 473-505, 2002.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos avançados**. São Paulo:USP, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

TSUKAMOTO, Y.; MINEMATSU, H. Hydrogeomorphological characteristics of a zeroorder basin. **IAHS-AISH publication**, n. 165, p. 61-70, 1987.

TSUKAMOTO, Y; OHTA, T. Runoff process on a steep forested slope. **Journal of Hydrology**, v. 102, n. 1-4, p. 165-178, 1988.

UMUARAMA, 2011. **Institui a área de proteção ambiental - APA, da bacia de captação do rio piava, localizada no município de Umuarama, Estado do Paraná**. Lei Nº 3796, 2011. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/pr/u/umuarama/lei-ordinaria/2011/379/3796/lei-ordinaria-n-3796-2011-institui-a-area-de-protecao-ambiental-apa-da-bacia-de-captacao-do-rio-piava-localizada-no-municipio-de>

umuarama-estado-do-parana. Acesso em: 24 fev. 2020.

UMUARAMA, 2012. **Altera o artigo 2º da lei nº 3796, de 20 de dezembro de 2011, que instituiu a área de proteção ambiental - APA, da bacia de captação do rio piava, localizada no município de Umuarama.** Lei Nº 3849, 2012. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/pr/u/umuarama/lei-ordinaria/2011/380/3796/lei-ordinaria-n-3796-2011-institui-a-area-de-protecao-ambiental-apa-da-bacia-de-captacao-do-rio-piava-localizada-no-municipio-de-umuarama-estado-do-parana-2012-05-17-versao-compilada>. Acesso em: 24 fev. 2020.

UMUARAMA, 2013. **Institui condições ao uso e ocupação do solo nos imóveis localizados nos limites da área de proteção ambiental - APA, da bacia de captação do Rio Piava.** Lei Complementar Nº 365, 2013. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/pr/u/umuarama/lei-complementar/2013/36/365/lei-complementar-n-365-2013-institui-condicoes-ao-uso-e-ocupacao-do-solo-nos-imoveis-localizados-nos-limites-da-area-de-protecao-ambiental-apa-da-bacia-de-captacao-do-rio-piava-instituida-pela-lei-n%C2%BA-3796-de-20-de-dezembro-de-2011-alterada-pela-lei-n%C2%BA-3849-de-17-de-maio-de-2012>. Acesso em: 24 fev. 2020.

VALERIANO, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 12., 2005, Goiânia. **Anais [...]** Goiânia: INPE, p. 3595-3602.

VALERIANO, M. M. et al. Modeling small watersheds in Brazilian Amazonia with shuttle RADAR topographic mission-90m data. **Computers & Geosciences**, v. 32, n. 8, 2006, p. 1169–1181.

VELOSO, H. P. GÓES-FILHO, L. Fitogeografia Brasileira. Classificação Fisionômicaecológica da Vegetação Neotropical. **Boletim Técnico Projeto RADAMBRASIL**. IBGE. Salvador. 85p. (Série Vegetação, 1). 1982.

WOLOCK, D.; PRICE, C.V. Topography-based watershed model. **Water Resources Research**, Washington, v. 30, p. 3041-3052, 1994.

YASSUDA, E. R. Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais. **Rev. Adm. Púb.**, v.27, n.2, p.5-18, 1993.