

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ANA PAULA SANTOS BARROS

**ATUALIZAÇÃO DA REDE HIDROGRÁFICA DIGITAL DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO TELES PIRES COMO SUBSÍDIO PARA O MONITORAMENTO HÍDRICO E
SISTEMA DE REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL**

CAMPO MOURÃO

2022

ANA PAULA SANTOS BARROS

**ATUALIZAÇÃO DA REDE HIDROGRÁFICA DIGITAL DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO TELES PIRES COMO SUBSÍDIO PARA O MONITORAMENTO HÍDRICO E
SISTEMA DE REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL**

**Update of the digital hydrographic network of the teles pires river basin as a
subsidy for the hydric monitoring and environmental regularization system**

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(a): Prof. Dr. André Pellegrini.

CAMPO MOURÃO

2022



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.



**Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Campo Mourão**



ANA PAULA SANTOS BARROS

**ATUALIZAÇÃO DA REDE HIDROGRÁFICA DIGITAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TELES PIRES
COMO SUBSÍDIO PARA O MONITORAMENTO HÍDRICO E SISTEMA DE REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL**

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

Data de aprovação: 27 de Abril de 2022

Andre Pellegrini, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Eudes Jose Arantes, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Miriam Fernanda Rodrigues, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Utfpr)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 27/04/2022.

Dedico este trabalho à minha família, pelos momentos de ausência e aflição. Pois sem o apoio e compreensão de vocês seria muito mais difícil chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. André Pellegrini, pela parceria, contribuição e compreensão nesta trajetória.

Aos meus colegas de sala de aula do Polo UTFPR Campo Mourão e UNEMAT Cuiabá, pela cumplicidade e amizade.

A Secretaria e coordenação do Curso, pela cooperação, suporte e orientação.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

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

Enfim, a todos os que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A gestão dos recursos hídricos é uma atividade que se faz necessária e urgente nos tempos atuais, exigindo recursos que possibilitem que órgãos ambientais consigam realizar o controle e monitoramento desses recursos com mais precisão e rapidez. O sensoriamento remoto é uma ferramenta que tem permitido alcançar esses resultados de forma mais abrangente de grandes áreas. Por isso o objetivo desse trabalho foi de atualizar a rede hidrográfica da bacia do rio Teles Pires para servir de subsídio para o monitoramento ambiental das hidrografias do estado do Mato Grosso bem como gerar dados que contribua com o sistema de regularização ambiental. Para alcançar o objetivo, foi realizada a extração automática de nova drenagem hidrográfica a partir do Modelo digital de elevação, análise e validação por imagens de satélite no software ArcGIS, o que gerou na delimitação e validação de um maior número de hidrografias, utilizando a análise visual por imagem de satélite da nova drenagem, sendo possível a vetorização manual de 6.068,1 km de novas hidrografias, agregando a visita in loco de seis pontos escolhidos, onde somente em um ponto não existia vestígio de hidrografia. Contudo, conclui-se que será necessário maior detalhamento de toda área estudada, seja por vetorização por imagens de satélite ou por visita em campo, por se tratar de uma região de grande extensão, mas é seguro afirmar que o produto alcançado neste trabalho poderá servir de dados geográficos para realização de atividades que necessitem da geolocalização de grande número de hidrografias da bacia hidrográfica do rio Teles Pires.

Palavras-chave: hidrografia; sensoriamento remoto; monitoramento; imagem de satélite.

ABSTRACT

The management of water resources is an activity that is necessary and urgent nowadays, requiring resources that allow environmental agencies to control and monitor these resources more accurately and quickly. Remote sensing is a tool that has allowed these results to be achieved in a more comprehensive way over large areas. Therefore, the objective of this work was to update the hydrographic network of the Teles Pires river basin to serve as a subsidy for the environmental monitoring of the hydrographies of the state of Mato Grosso as well as to generate data that contributes to the environmental regularization system. To achieve the goal, the automatic extraction of new drainage from the digital elevation model, analysis and validation by satellite images in the ArcGIS software was performed, which generated the delimitation and validation of a greater number of hydrographs, using the visual analysis by satellite image of the new drainage, being possible the manual vectorization of 6,068.1 km of new hydrographs, adding the on-site visit of six selected points, where only in one point there was no trace of hydrography. However, it can be concluded that further detailing of the entire area studied will be necessary, whether by satellite image vectoring or field visits, since it is a large region, but it is safe to say that the product achieved in this work can serve as geographic data for activities that require the geolocation of a large number of hydrographs of the Teles Pires river basin.

Keywords: hydrography; remote sensing; monitoring; satellite image.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do Rio Teles Pires .. Erro! Indicador não definido.	25
Figura 2 - Mapa pedológico da bacia hidrográfica do rio Teles Pires	26
Figura 3 - Divisão da bacia hidrográfica do Rio Teles Pires.....	27
Figura 4 - Fluxograma de delimitação de bacia e extração de drenagem.....	28
Figura 5 - Modelo digital de elevação topodata da bacia do rio Teles Pires....	29
Figura 6 - Reprodução da tabela de atributos de direção de fluxo com erros.	29
Figura 7 - Exemplos de sink antes e depois do fill.....	30
Figura 8 - MNT obtido do tratamento de dados SRTM.....	31
Figura 9 - Exemplo de execução da função “flow direction”	31
Figura 10 - Direção de fluxo em coloração	32
Figura 11 - Direção de fluxo em preto	33
Figura 12 - Mapa de fluxo acumulado	34
Figura 13 - Mapa de fluxo acumulado	34
Figura 14 - Nova rede de drenagem.....	35
Figura 15 - Ordem da rede de drenagem segundo Strahler (1952).....	36
Figura 16 - Recorte da área da bacia hidrográfica do rio Teles Pires.....	38
Figura 17 - Área da Bacia hidrográfica do Rio Teles Pires	39
Figura 18 - Nova extração da bacia hidrográfica do rio Teles Pires	40
Figura 19 - Cruzamento da drenagem extraída a partir dos MDE (SRTM)	41
Figura 20 - Recorte da área da bacia hidrográfica do rio Teles Pires.....	43
Figura 21 - Print da tela do Arcgis do calculo de área de hidrografias vetorizadas manualmente na análise e ajustes da nova drenagem.	44
Figura 22 - Amostra da sobreposição das bases de referência com a nova drenagem extraída após ajuste preliminar.....	45
Figura 23 - Rede de drenagem atualizada da bacia hidrográfica.....	46
Figura 24 - Localização dos pontos das hidrografias vistoriadas in loco.....	47

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 - Localização da hidrografia do ponto 1	48
Fotografia 2 - Localização da hidrografia do ponto 2	48
Fotografia 3 - Localização da hidrografia do ponto 3	49
Fotografia 4 - Localização da hidrografia do ponto 4	50
Fotografia 5 - Localização da hidrografia do ponto 5	50
Fotografia 6 - Localização da hidrografia do ponto 6	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SIMCAR	Sistema de Cadastro Ambiental Rural
SEPLAN	Secretaria de Estado de Planejamento
SEMA	Secretaria de Estado de Meio Ambiente
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
APP	Área de Proteção Permanente
ANA	Agência Nacional das Águas
MNT	Modelo Numérico de Terreno
SRTM	Missão Topográfica de Radar Embarcado
GPS	Sistema de Posicionamento via Satélite
BHTP	Bacia hidrográfica do rio Teles Pires
PNRH	Plano Nacional dos Recursos Hídricos
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MDE	Modelo Digital de Elevação
BDGB	Dados Geomorfométricos do Brasil
WGS	Sistema Geodésico Mundial

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Geral	14
2.2	Específicos	14
3	JUSTIFICATIVA	15
4	REVISÃO DE LITERATURA	17
4.1	Bacia hidrográfica	17
4.1.1	Delimitação de uma bacia hidrográfica.....	18
4.2	Sistemas de informação geográfica e geoprocessamento	19
4.3	Bacia hidrográfica do rio teles pires – BHTP	21
4.3.1	Aspectos hidrológicos na bacia hidrográfica do rio teles pires – BHTP..	22
4.3.2	Cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio teles pires – BHTP	22
5	MATERIAIS E MÉTODOS	25
5.1	Áreas de abrangência	25
5.2	Instrumentos e técnicas	27
5.2.1	Extração da rede de drenagem e delimitação da bacia hidrográfica	28
5.2.2	Definição da direção dos rios	29
5.2.3	Preenchimento de depressões	30
5.2.4	Direção de fluxo.....	31
5.2.5	Fluxo acumulado	33
5.2.6	Álgebra de mapas para extração da rede de drenagem	35
5.2.7	Hierarquia dos rios	36
5.2.8	Conversão da drenagem para shapefile.....	37
5.2.9	Determinação da bacia.....	37
5.2.10	Análise, ajuste e validação da nova rede de drenagem por meio de imagens de satélite.....	37
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
6.1	Extração da nova rede de drenagem e cruzamento com as bases..	39
6.2	Cruzamento da nova drenagem com as bases de referência.....	40
6.3	Análise, ajustes e vetorização manual.....	42
6.4	Tratamento da nova rede de drenagem.....	44
6.5	Validação de hidrografias <i>in loco</i>	47
7	PRODUTO	52

8	CONCLUSÃO	53
	<u>REFERÊNCIAS.....</u>	55

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da demanda por água e conseqüentemente a perda de sua quantidade e qualidade, a gestão dos recursos hídricos tornou-se a principal área da gestão ambiental, sendo de urgência o monitoramento e controle ambiental desse recurso para mitigar e/ou evitar mais danos ao meio ambiente (SILVA et al., 2017). Para isso, tem se aplicado técnicas de sensoriamento remoto que são instrumentos do Sistema de Informação Geográfica (SIG) que vem contribuindo com as metodologias empregadas em estudos ambientais, oferecendo maior agilidade, objetividade, consistência e precisão na tomada de decisões geoespaciais, principalmente na gestão dos recursos hídricos. São instrumentos capazes de criar métodos digitais de grandes proporções, como a extração automática de drenagens, que após o seu processamento gera bases digitais de referência, que possibilitam dispensar ou integrar em muitos casos as vistorias em campo, principalmente em áreas de difícil acesso e que requerem uma complexa logística para vistorias (EMBRAPA, 2014). O mundo tem se beneficiado com a eficiência dos dados obtidos no sensoriamento remoto, eles são extremamente úteis para estudos e levantamentos de recursos naturais, principalmente para o monitoramento hidrográfico, gerando dados em tempo real e apresentando diagnósticos ambientais de grande precisão, o que contribui para tomada de decisão de forma hábil e assertiva, possibilitando que os órgãos ambientais tenham maior e melhor abrangência nos monitoramentos de suas áreas (CASTRO, 2020). Em busca dessa eficiência é que o estado de Mato Grosso tem investido em programas e equipamentos que garantam um monitoramento ambiental mais preciso e que retrate com maior realidade as áreas monitoradas, dentre esses, estão a compra de imagens de satélite de alta resolução, contratação de especialistas em geoprocessamento, desenvolvimento de programas e software, para tentar frear as mudanças ambientais que ocorrem forma acelerada (REM, 2021).

O estado de Mato Grosso possui uma complexa e importante rede de drenagem, pois os rios pertencem às bacias Amazonia, do Paraná e do Tocantins Araguaia. Alguns dos principais cursos d'água que atravessam o estado são: Xingu, Araguaia, Guaporé, Paraguai Juruena, Jauru e Cuiabá. O estado é um dos lugares

com maior volume de água doce do mundo, considerada a caixa d'água do Brasil (MATO GROSSO, 2012). Um dos rios mais importante na contribuição dessa drenagem para região é o rio Teles Pires, que constitui a Bacia hidrográfica do Rio Teles Pires, pois possui aproximadamente 141.483 km² e é responsável pela drenagem dos municípios de Sinop, Colíder, Sorriso, Lucas do Rio Verde, Itaúba, Alta Floresta, Matupá, Carlinda e Paranaíta, municípios esses que possuem maior desenvolvimento econômico do Estado, com uma diversificada e intensa ocupação e exploração dos recursos naturais por meio da execução de atividades agropecuárias. O uso do solo em bacias hidrográficas próximo às matas ciliares aumenta o processo erosivo, devido à associação do desmatamento o e/ou uso incorreto do solo associado com as chuvas e ventos (FREITAS et al., 2013). Os sedimentos transportados com o escoamento superficial gerados pelo excedente de água da chuva que não infiltra causa colmatação em rios e lagos, comprometendo a vazão, qualidade e quantidade (NAIME, 2019). Este fato vem sendo a causa dos maiores impactos ambientais e principalmente no desaparecimento de rios.

O monitoramento dos rios se torna uma importante ferramenta na identificação de possíveis alterações na qualidade e quantidade da água. Por isso, é necessário que se tenha instrumentos de análise e monitoramento ambiental atualizado, para que automaticamente sejam gerados diagnósticos das áreas, tentando evitar danos ambientais de grandes proporções, principalmente na quantidade e qualidade dos rios. Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo apresentar a metodologia e os resultados da atualização da rede hidrográfica da bacia hidrográfica do rio Teles Pires no Estado do Mato Grosso. O estudo foi desenvolvido a partir de duas motivações principais: (1) a existência de diversas bases hidrográficas em diferentes escalas e (2) as necessidades de uma rede hidrográfica digital com maior representação das hidrografias in loco para uso como ferramenta de monitoramento hídrico e instrumento de análise para regularização ambiental de imóveis rurais.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Atualizar a rede hidrográfica digital da bacia hidrográfica do rio Teles Pires, como subsídio para o monitoramento ambiental das hidrografias do estado do Mato Grosso e contribuição para o sistema de regularização ambiental, através da extração automática de nova drenagem hidrográfica, análise e validação por imagens de satélite.

2.2 Específicos

- Agrupar dados bibliográficos relevantes sobre a hidrografia local;
- Extrair nova rede de drenagem e delimitação da bacia hidrográfica;
- Realizar o cruzamento com bases de referência;
- Analisar, ajustar e validar as hidrografias por imagens de satélites;
- Criar banco de dados geográfico de informações hidrográficas da bacia;
- Elaborar mapas hidrográficos atualizados da bacia;
- Contribuir com o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) informando a geolocalização das hidrografias.

3 JUSTIFICATIVA

Atualmente, a gestão dos recursos hídricos é a principal área da gestão ambiental que precisa de rigoroso e abrangente monitoramento. Com o aumento da demanda por água e conseqüentemente a perda de sua quantidade e qualidade, torna-se necessário e urgente que órgãos ambientais utilizem técnicas de sensoriamento remoto para monitoramento desse recurso (FLORENZANO, 2011).

O Estado do Mato Grosso utiliza as bases Cartográficas Digital do Sistema de Informações Cartográficas da SEPLAN-MT, como subsídios para o monitoramento e licenciamento ambiental. Mesmo atualizada em 2018, a base cartográfica utilizada pelo Órgão, possui uma grande vacância nas análises dos processos ambientais para validação de hidrografias. Isso dificulta a sua utilização como base de referência, tanto para análise do cadastro ambiental rural, como para o processo de emissão de outorgas e licenças ambientais em locais de difícil acesso para vistorias.

A necessidade de obter uma base de dados hidrográficos com uma representação mais significativa foi perceptível no momento em que o estado começou a realizar a análise do Cadastro Ambiental Rural-CAR. Os casos de divergências da base hidrográfica de referência utilizada pela SEMA/MT, com as hidrografias informadas tornaram-se casos de processos judiciais, surgindo com isso à necessidade de vistorias em muitas áreas, tornando o processo de análise mais oneroso e lento para o órgão ambiental e travando a conclusão da análise do CAR. Com as tecnologias existentes, já é possível dispensar em muitos casos a visita *in loco* e/ou integrá-la ao uso de sensoriamento remoto, seu uso é necessário quando se trata de monitoramento e licenciamento ambiental de atividades rurais, principalmente aquelas localizadas em áreas de difícil acesso e que requerem uma complexa logística para vistorias (CURTARELLI, 2020). Sem o uso dessas tecnologias, seria difícil e mais lenta a execução de muitas atividades, pois necessitaria de mais recursos financeiro e humano para conclusão do processo.

O estado do Mato Grosso é referência regional em programas de regularização ambiental de atividades rurais (MATO GROSSO, 2017). Porém, o processo de licenciamento acaba sendo lento e oneroso quando necessita de vistorias. Uma base hidrográfica de maior precisão, além de contribuir para celeridade do processo de licenciamento ambiental, viabilizam também novos trabalhos e pesquisas hidrológicos, morfométricos e conservacionistas dessas áreas, assim como pode servir de ferramenta para atividades de gestão ambiental

para instituições públicas e privadas, além de importante contribuição para alimentação do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Pela extensão do estado do Mato Grosso, foi escolhida a Bacia do Rio Teles Pires para início deste trabalho, por ser considerada uma área com intensa atividade agropecuária e com alguns municípios que mais produzem grãos no Brasil. Essas atividades são responsáveis pela transformação constante na cobertura do solo, com maior probabilidade de causar impactos negativos diretamente nos rios e APP's, exigindo maior necessidade de monitoramento e regularização ambiental. Diante dessa necessidade, este trabalho teve como objetivo, atualizar a base hidrográfica digital da bacia hidrográfica do rio Teles Pires, como subsídio para o monitoramento ambiental das hidrografias do estado de Mato Grosso e contribuição para os sistemas de regularização ambiental, através do ajuste de diferentes bases hidrográficas e análise por imagens de satélite.

4 REVISÃO DE LITERATURA

O amplo desenvolvimento das tecnologias nos permite uma maior perspectiva de ensino/aprendizagem e maior envolvimento em relação à abordagem da fundamentação teórica, nos aprofundando não somente na disponibilidade bibliográfica, mas também nas novidades científicas que fazem parte do processo. Diante disso, tratamos a seguir de uma revisão de literatura acerca dos temas necessários para maior entendimento e desenvolvimento deste trabalho. Este capítulo constitui uma sequência de estudos técnicos que visa fundamentar o documento, buscando explorar a análise e caracterização do produto proposto, ou seja, o trabalho inicia-se a partir do conhecimento prévio, que serve como base o referencial teórico e conceitual, visando alcançar melhores resultados. A partir desta perspectiva, muitos autores foram consultados e citados para fornecer melhor embasamento e direcionamento na metodologia utilizada.

4.1 Bacia hidrográfica

Segundo a Agência Nacional das Águas – ANA (2011), a definição de bacia hidrográfica trata-se de uma região compreendida por diversos cursos d'água. Também foi definida como uma unidade fisiográfica formada por uma rede de drenagem que se interligam e seu escoamento converge para um único ponto, o exutório. As cristas que é o nome dado às divisões topográficas, separam a drenagem da precipitação entre duas bacias adjacentes (MELLO e SILVA, 2013).

A Lei Federal nº 9.433/97, descreve a bacia hidrográfica como unidade territorial e com um importante papel nas diretrizes do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), é considerada um marco no aperfeiçoamento da gestão e planejamento desses recursos em nosso ordenamento (CAVALNTE, 2016). Segundo Villela e Mattos (1975), a bacia hidrográfica é uma área com um sistema de drenagem natural que inclui todos os usos da água e do solo existentes no local. Bacia hidrográfica também é definida fisicamente como um sistema que possibilita entradas e saídas de água, ou seja, precipitação, escoamento e evapotranspiração. A dinâmica de entrada da água da chuva na bacia acontece induzida por diversos fatores, resultando na interação da água com a bacia hidrográfica. Toda água

captada que não infiltrada é escoada das áreas mais alta para as áreas mais baixas, por meio de uma rede de drenagem, obedecendo a uma hierarquia fluvial, concentrando-se e formando um rio principal (PICCILLI, 2013).

Uma bacia hidrográfica se caracteriza topograficamente como uma área da superfície terrestre, drenando água, transporte de sedimentos e materiais dissolvidos tudo na mesma direção (COELHO, 2007). Essas bacias hidrográficas são de diferentes tamanhos, variando da bacia do Rio Amazonas que é uma bacia de grande porte, até bacias menores, mas que também é caracterizada pelo mesmo processo de drenagem. A partir dos divisores de drenagens as bacias de diferentes tamanhos se articulam e drenam em direção a um canal, coletor principal, gerando um sistema de drenagem de forma organizado (BRAGA, 2007).

4.1.1 Delimitação de uma bacia hidrográfica

As informações de relevo são utilizadas para o processo de delimitação automática de bacias hidrográficas em SIGs e são representadas pelo Modelo Numérico de Terreno (MNT). O MNT é uma representação digital da superfície terrestre, instrumento importante para a geomorfometria. Através da interpolação de curvas de nível, obtêm-se os MNT's, utilizando uma carta topográfica e/ou através de imagens de sensores remotos (HENGL e REUTER, 2009).

Após corrigir as altitudes medidas pelo MNT extraídas de dados do SRTM e comparados com os do MNTs gerados a partir de cartas topográficas em escala 1:50.000, Pinheiro (2006) apresentou resultados melhores.

A rede de drenagem pode ser determinada com confiança elevada e que MNT mostra boa correlação entre a área de contribuição e a declividade, onde também é possível visualizar os pontos de inflexão no início da captação fluvial (WALKER e WILGOOSE, 1999).

GERSTENECKER et al. (2005), acreditam que a missão SRTM é um início importante na acurácia dos MNTs no que se refere a avaliação de várias bases para geração de MNTs, inclusive cartas topográficas.

CHAVES (2002) ao avaliar os parâmetros obtidos por métodos manuais com os parâmetros hidrológicos extraídos de MNTs, o segundo mostrou-se acurado e

compatível, pois com os parâmetros manuais, é necessário maior tempo no seu processamento e com menos detalhes em sua configuração.

De acordo com os autores acima é necessário a utilização de uma carta topográfica, para a delimitação de uma bacia hidrográfica, seguindo as linhas das cristas das elevações da seção do curso d'água. Atendendo apenas a fatores de ordem topográfica, esta delimitação define uma linha de cumeada a que chamamos de linha de divisão das águas, esta linha divide as precipitações que caem e o escoamento superficial, e através das linhas de maior declive, contribuem para a vazão que passa em uma seção. Caracteriza-se a delimitação individual de bacias, através de mapas topográficos, por divisões de água, onde gera uma linha fechada, ortogonal às curvas de nível, partindo do exutório em direção às maiores elevações.

4.2 Sistemas de Informação Geográfica e Geoprocessamento

A utilização de dados geoespaciais é cada vez mais intensa e necessária, com objetivo de gerar dados de forma mais ágil e principalmente confiável. O cenário atual de uso de geotecnologias constitui desde o Sensoriamento Remoto, o GPS, os Sistemas de Produção Cartográfica, os SIG e o acesso à Web (ex. Google Earth). Todos têm acelerado ainda mais o processo de produção de dados, principalmente quando se trata de análise da cobertura do solo de grandes bacias hidrografias, que antes só era possível com visita *in loco* e com a dedicação de muita mão de obra, além do tempo de produção e/ou extração dos resultados desejados.

A seguir estão organizados as principais utilizações e produtos gerados pelo uso do sensoriamento remoto:

I) detectar, quantificar, mapear e monitorar taxas de poluição, e seu grau de remediação necessário para seu manejo; II) responder e facilitar a gestão ambiental e tomada decisões sólidas, baseadas em evidências, em relação aos recursos da terra, em escala global e em diferentes continentes, nações e domínios; III) fornecer suporte para o crescimento econômico sustentável, resiliência a desastres, gestão de recursos minerais e de energia, segurança alimentar e hídrica e sustentabilidade; IV) e fornecer ferramentas para a compreensão as condições passadas e presentes

dos sistemas e componentes da Terra, bem como a interação entre eles (SOUZA, 2021).

O uso dos Sistemas de Informação Geográfica em inúmeros setores como da geologia, agricultura, gestão de recursos naturais, planejamento urbano e outros, tornou-se necessário quando se almeja rapidez com maior precisão nos resultados. Na maioria dos casos é necessário destacar a coleta, analisar e conectar dados espaciais, que podem ser tratados por um SIG. No planejamento em especial dos recursos hídricos, descrever e quantificar os elementos é um processo necessário para a etapa da descoberta de um problema, o qual vai gerar um diagnóstico possível de orientar qualquer tomada de decisão de forma mais objetiva e eficiente (SANTOS & FERREIRA, 2011).

Segundo AVELINO (2004), nacionalmente os estudos de Geoprocessamento e dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), foram iniciados a partir de 1975, através da necessidade do projeto RADAMBRASIL que precisava racionalizar a geração, armazenamento, recuperação e a análise de grandes acervos de dados ambientais primários (geologia, geomorfologia, vegetação, solos, uso potencial da terra e outros). O mesmo autor conceitua que Geoprocessamento é um conjunto de técnicas de processamento de dados, com a função de extrair informações ambientais a partir de uma base de dados georreferenciados.

Outros autores como, FREIRE (2009) caracteriza o SIG como um sistema potente de ferramentas para extrair, arquivar, guardar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real. INPE (2001) conceitua SIG como um conjunto de procedimentos que podem ser manuais ou computacionais que servem para manipular e armazenar dados georreferenciados.

DANTAS (2016) destaca que o uso das técnicas de geoprocessamento vem contribuindo nos estudos geomorfológicos principalmente na diferenciação de feições da paisagem de relevos. O SIG também é considerado como suporte para o processamento de dados referenciados num ambiente onde é preciso definir e descrever os problemas (JUNIOR, 2012).

De acordo com o conceito de LEAL (2008), são programas de computador criados para integrar dados diferentes de uma mesma área de estudo com objetivo de aprimorar processos decisórios, de forma confiável e atualizada.

FARINA (2006), diz que os SIGs podem ser utilizados para a modelagem ambiental e simular situações, é capaz de apoiar aplicações fornecendo subsídios

ao gerenciamento de equipamentos, planejamento, elaboração da política de uso e ocupação da terra e monitoramento e gestão ambiental.

Através dos conceitos citados pelos autores é possível listar as principais características dos SIG's, como as vantagens de organização de dados, modelagem espacial visualização. A flexibilidade e habilidade nas respostas para mudanças nos procedimentos cartográficos são as maiores vantagens na visualização do processo cartográfico convencional. Também é capaz de apresentar novidades e relações que em muitos casos não são percebidas na análise inicial. Consiste principalmente em associar dados obtidos de cartografia como os dados censitários, imagens de satélite, redes e modelos matemáticos em uma única base de dados, oferecendo através dos algoritmos de manipulação e análise, instrumentos que possibilitam associar várias informações para posterior processamento de dados georreferenciáveis.

Partindo de uma estrutura de dados sistematizados, o SIG torna-se uma ferramenta eficaz para o gerenciamento de recursos naturais, reunindo elementos fundamentais ao manuseio de informações espaciais. As ações geográficas realizadas pelo SIG tratam desde funções como cálculo de área, perímetro e distância, operações matemáticas entre planos de informação, até as determinações de melhor traçado entre dois pontos. Os SIGs possibilitam determinar prioridades do planejador ambiental, uma das funções da pesquisa geográfica, em traçar caminhos e eleger prioridades factíveis com a visão holística e sistêmica do meio (SANTOS e FERREIRA, 2011). Os SIGs também permitem associar informações técnicas como o Sensoriamento Remoto, a Cartografia Automatizada, a Estatística Ambiental, ente outras (EMBRAPA, 2014).

Diante disso, os Sistemas de Informação Geográfica vêm transformando a maneira dos pesquisadores em desenvolver as pesquisas ambientais e oferecer, de forma mais ampla, maiores contribuições à sociedade.

4.3 Bacia hidrográfica do rio Teles Pires – BHTP

O exutório da bacia hidrográfica do rio Teles Pires, é definido pela confluência com o rio Tapajós, bem na divisa entre os estados de Mato Grosso e Pará e estende-se até no rio Paranaíta (OLIVEIRA et al., 2019).

De acordo com as informações disponibilizadas pela SEPLAN-MT, a bacia hidrográfica do Rio Teles Pires possui uma área de aproximadamente 141.278 km², onde 31 municípios pertencem ao estado de Mato Grosso e quatro ao estado do Pará. A bacia hidrográfica do rio Teles Pires é uma importante fonte de água para 20% dos municípios que compõem o estado de Mato Grosso. Mesmo com toda importância dos recursos hídricos para o Estado, temos poucos estudos referentes a este sistema hídrico (LANARI et al., 2015). O rio Teles Pires é caracterizado com águas claras e calmas, mas possui em alguns pontos fortes corredeiras. Com temperatura média anual de 25°C é marcado por dois períodos: a cheia que ocorre nos meses de outubro a abril, e a seca que acontece de maio a setembro (GODOI et al., 2010). Para melhor estudo e compreensão das características físicas e socioeconômicas de cada região da Bacia do Rio Teles Pires ela foi dividida em três sub-bacias, ficando como: Alto Teles Pires; Médio Teles Pires e Baixo Teles Pires. Depois foram feitos ajustes, seguindo a subdivisão constante no Plano Nacional dos Recursos Hídricos – PNRH1 (EPE, 2009).

4.3.1 Aspectos hidrológicos na bacia hidrográfica do rio Teles Pires – BHTP

A bacia hidrográfica do rio Teles Pires possui uma densidade de drenagem de 2,32 km/km², declividade de aproximadamente 0,4m/km e com tempo de concentração alcançando aproximadamente 60 dias, tempo suficiente para que o efeito de uma chuva em sua cabeceira chegue até à confluência com o rio Juruena. Ao Sul possui pluviometria de aproximadamente 1700 mm anual total, variando em torno de 2600 mm do sul da bacia até no trecho médio da bacia. De janeiro a março é o período mais chuvoso. Nela acontecem os dois tipos de uso da água, sendo o consuntivo e o não consuntivo. O consuntivo apresenta-se com maior desempenho para a análise da qualidade da água como: a irrigação, diluição de efluentes industriais e domésticos e abastecimento público (PRADO et al., 2017).

4.3.2 Cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio Teles Pires – BHTP

Por sua alta densidade de drenagem, a bacia hidrográfica do rio Teles Pires tem um papel importante para o Estado de Mato Grosso. Porém, vem sofrendo

mudanças significativas em seu uso e ocupação do solo, principalmente pela intensa atividade agropecuária em toda sua extensão. Pois está inserida em uma grande área de transição entre os biomas: Cerrado e Amazônia. Do ponto de vista da produção agrícola nacional, bem como internacional, o estado de Mato Grosso é reconhecido como um dos maiores celeiros agrícolas do mundo. Para garantia de uma grande produção, o modelo agrícola atual ainda utiliza o monocultivo associado à mecanização de alto nível tecnológico e uso intensivo de agroquímicos (THEODORO, 2002; MACHADO e GUARIM, 2013). Por outro lado, embora tenha trazido benefícios econômicos, a expansão da atividade agrícola também é um dos principais fatores que impulsionam o desmatamento de florestas e savanas nesta parte da Amazônia brasileira, com impactos importantes também nas emissões de gases de efeito estufa, como biodiversidade (FEARNSIDE et al., 2009). Essa grande expansão de terras cultiváveis sob a agricultura fortemente mecanizada impõe uma nova dinâmica significativa no uso da terra e mudanças na cobertura, o que é provável que resulte em impactos ambientais extensos (FORSTER et al. 2007) e, portanto, merece atenção. A cobertura natural da região era originalmente Cerrado e vegetação de transição Amazônia / Cerrado. Apesar do bioma Cerrado ser o segundo maior bioma do Brasil, apenas 0,85% de sua área está legalmente protegida. Mas ao mesmo tempo, mais de 50% da área de cerrado foi convertida para atividades agropecuárias nas últimas décadas (KLINK E MACHADO, 2005) a taxas de 1,2-1,5% ao ano (22.000 a 30.000 km² ano⁻¹) (MACHADO et al., 2004). Tornando o bioma Cerrado na área mais importante em termos de produção de grãos no Brasil. Além da sua cobertura natural e antrópica ser uma das maiores em extensão, trazendo com isso a dificuldade no mapeamento devido à alta sazonalidade e à mudança rápida na dinâmica da cobertura do solo (SANO et al., 2008). A bacia do Teles Pires abrange alguns dos principais centros de produção de soja e milho do Brasil, como os municípios de Lucas do Rio Verde, Sorriso, Nova Mutum e Sinop que juntos são responsáveis por 17% do PIB total de Mato Grosso (EPE, 2009; SEPLAN, 2001). Como a bacia do Alto Teles Pires é de grande importância econômica e agrícola para Mato Grosso, uma análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra é fundamental para fornecer uma plataforma informada para a tomada de decisões e planejamento regional. Técnicas de SIG têm sido utilizadas de forma eficiente para monitorar os biomas Cerrado e Amazônia, bem como fornecer suporte significativo para políticas e iniciativas voltadas para o

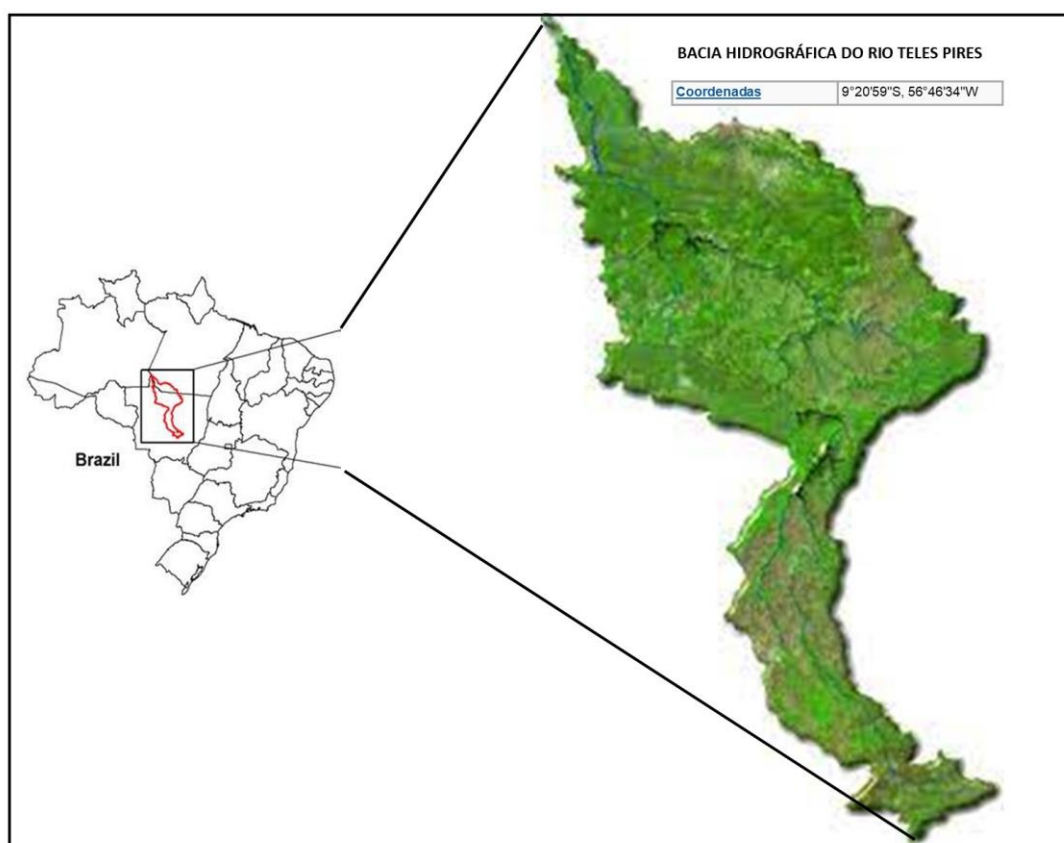
desenvolvimento sustentável. Apesar de vários estudos de uso da terra e mudanças de cobertura nos biomas Amazônia e Cerrado (RUDORFF et al., 2011).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Áreas de abrangência

A área de estudo foi à bacia hidrográfica do Rio Teles Pires, Atravessa os biomas do cerrado e da Floresta Amazônica. O rio Teles Pires é um curso de água que banha os estados de Mato Grosso e Pará (figura 3), abrangendo 35 municípios, sendo 31 no Mato Grosso e quatro no Pará, no Brasil, sua nascente fica localizada no município de Primavera do Leste.

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do Rio Teles Pires



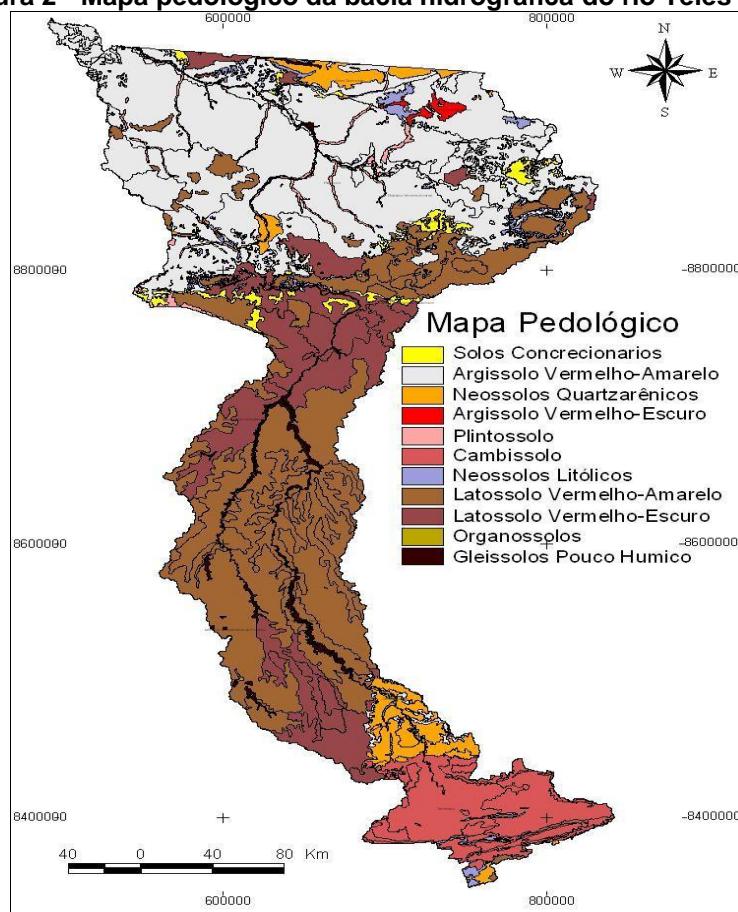
Fonte: ADAPT EPE (2009)

A área abrangida pela bacia hidrográfica do rio Teles Pires é considerada uma das principais regiões de grande exploração agrícola. Possui uma economia de referência para o País pelo cultivo intensivo de grãos e criação de gado. A bacia do rio Teles Pires abrange uma área de aproximadamente 141.278,62 km², é o divisor territorial de Mato Grosso e Pará (EPE, 2009), suas águas são cristalinas no período

das secas, escuras e altas no período das cheias. Os rios Tabatinga, Parado, Caiapó, Peixoto de Azevedo e Cururuauçú são seus afluentes pela margem direita e pela margem esquerda possui os rios Paranaíba, Apiacás, Verde e Santa Rosa que juntos são responsáveis por cerca de 20% da água do Estado (SOUZA, 2020).

Os solos predominantes na Bacia do Teles Pires são: Latossolo Vermelho-Amarelo (médio curso do rio Teles Pires); Argissolo Vermelho-Amarelo a jusante da bacia e Cambissolo a montante do rio Teles Pires (OLIVEIRA et al., 2021). Com existência também de outros tipos de solos encontrados nas regiões das planícies fluviais conforme mostrado na figura 2.

Figura 2 - Mapa pedológico da bacia hidrográfica do rio Teles Pires



Fonte: EPE (2009)

Na classificação de Köppen, o clima é classificado no tipo Aw, ou seja, clima tropical úmido, com um trimestre mais seco localizado entre junho e agosto. A região da bacia possui temperatura média que varia anualmente em torno de 25 °C, com média do mês mais quente superior a 35 °C e com média de 16 °C no período mais frio, a precipitação pode atingir 1.800 mm/ano (SEPLAN,2000).

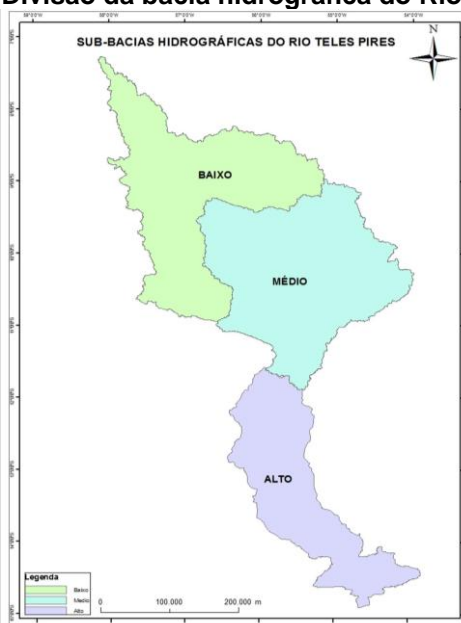
5.2 Instrumentos e técnicas

Para a execução deste trabalho foi necessário criar um Banco de Dados geográfico no ArcGIS (geodatabase), utilizando o Datum SIRGAS 2000 e com sistema de coordenadas em UTM fuso 21 Sul. A técnica de extração se deu a partir do Modelo Digital de Elevação – MDE, especificamente o Topodata, obtido do Banco de Dados Geomorfológicos do Brasil-BDGB (INPE, 2020).

As imagens de satélites foram obtidas e selecionadas do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do geoportal da Secretaria de Estado de meio Ambiente do Mato Grosso (SEMA/MT), pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) e Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), as bases hidrográficas da Secretaria de Planejamento e Assuntos Econômicos (SEPLAN-MT).

Utilizou-se o shapefile da Agência Nacional de Águas, como definição dos limites da bacia, reestruturada de acordo com a vetorização da hidrologia e suas nascentes (ANA, 2017). Iniciou-se pela extração automática de uma nova rede de drenagem e delimitação da bacia em softwares de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) usando a ferramenta “Hydrology”. Para organizar e otimizar o trabalho de análise e vetorização manual das hidrografias utilizou-se como referência a subdivisão realizada pelo Plano Nacional de Recursos Hídricos, em sub-bacias superior, média e inferior como mostra a figura 3 (EPE,2009).

Figura 3 - Divisão da bacia hidrográfica do Rio Teles Pires

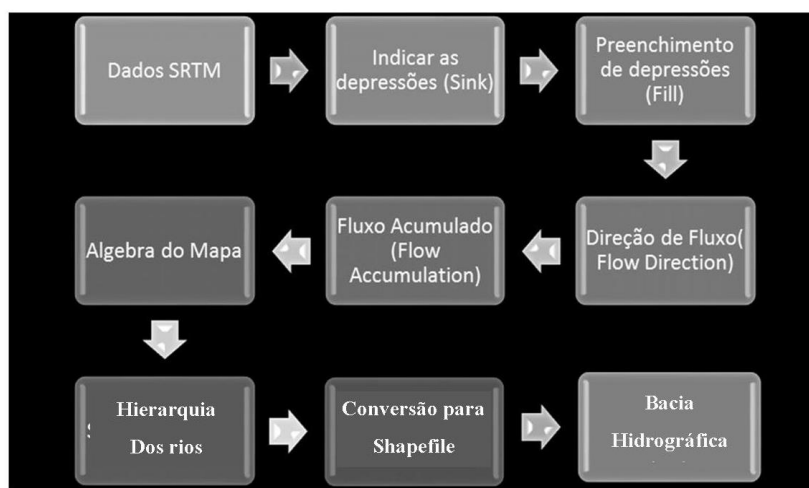


Fonte: Adaptado de EPE (2009)

5.2.1 Extração da rede de drenagem e delimitação da bacia hidrográfica

O processo de vetorização de hidrografias que não constavam em nenhuma base hidrográfica utilizada foi realizado a partir do Modelo Digital de Elevação – MDE, especificamente o Topodata, obtido do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil-BDGB (INPE, 2020). Utilizamos para extração da rede de drenagem do Arcgis 10.0 chave própria (ESRI, 2014) e as ferramentas Hydrology que são algoritmos do Spatial Analyst utilizado para análise hidrológica no ArcGIS. Esse processo foi subdividido em quatro etapas, sendo: dados Missão Topográfica de Radar Embarcado - SRTM, Indicação de depressões (sink), preenchimento de depressões (Fill), direção de fluxo (flow direction), fluxo acumulado (flow accumulation), Algebra do Mapa, conversão para Shpefile (Stream to Feature) e delimitação da bacia demonstrado na figura 4.

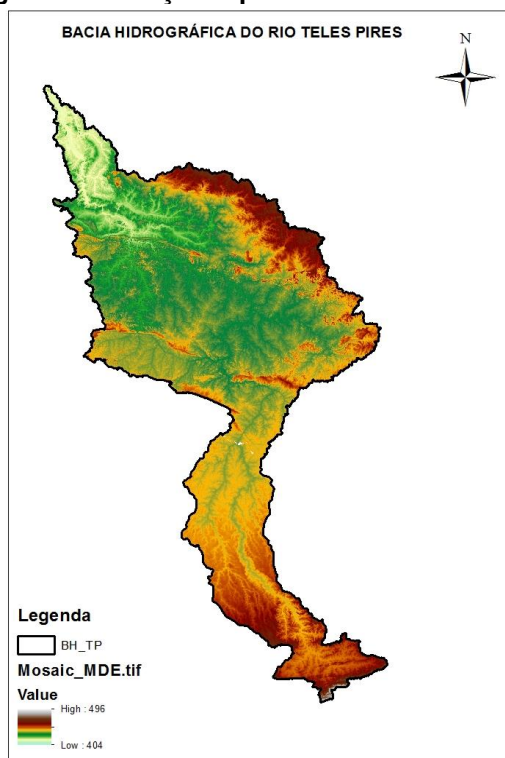
Figura 4 - Fluxograma de delimitação de bacia e extração de drenagem



Fonte: Autoria própria (2021)

O MDE extraído do banco de dados estava na projeção/Datum, sem referência espacial. Após a composição das bandas, foi definida a projeção para GCS_WGS1984 e reprojetoado o DEM com referência geográfica para Datum SIRGAS 2000 e com sistema de coordenadas em UTM fuso 21 Sul. Foi feita a conversão do tipo de dado de Float 32 bits para Unsigned Integer 16 bits, gerando o mapa da figura 5.

Figura 5 - Modelo digital de elevação topodata da bacia do rio Teles Pires

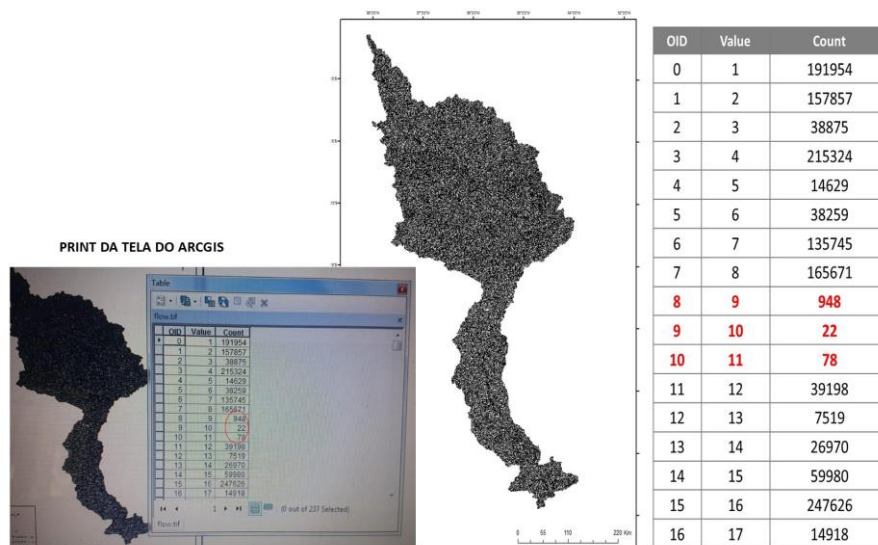


Fonte: Autoria própria (2020)

5.2.2 Definição da direção dos rios

Após o primeiro processo foi gerado um raster da bacia para a determinação do fluxo, por meio das ferramentas hydrology_Flow Direction (Figura 6).

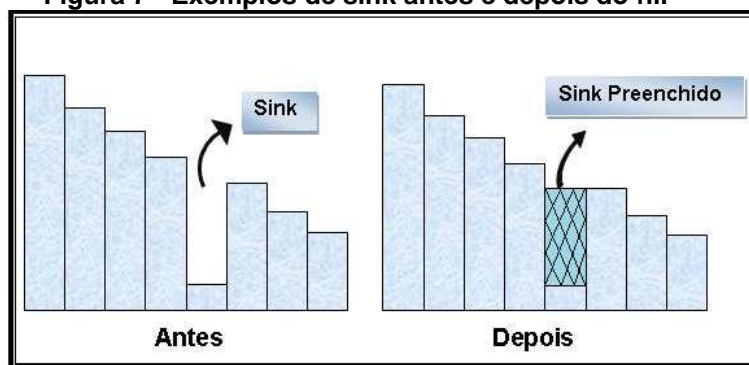
Figura 6 - Reprodução da tabela de atributos de direção de fluxo com erros no ArcGIS



Fonte: Autoria própria (2020)

Na tabela de atributos do raster mostrada na figura 6, deveria estar apenas os valores 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 e 128 associados ao Flow Direction representando as oito células por onde a água deve fluir. Porém, observa-se que há vários números significando que há depressões ou mesmo erro nos dados SRTM, esses erros são células rodeadas por elevações de cotas superiores conhecida por fill sinks, mostrando que existem inconsistências no modelo topográfico, o que pode causar problemas graves em aplicações hidrológicas, interferindo no fluxo contínuo na superfície do MDE. Essas falhas são originadas, principalmente pela existência de corpos hídricos e sendo mais frequente na existência de relevo declivoso (LUEDELING et al., 2007). Por isso o preenchimento desses vazios deve ser o primeiro tratamento dado à matriz de altitudes, como exemplificado na figura 7.

Figura 7 - Exemplos de sink antes e depois do fill



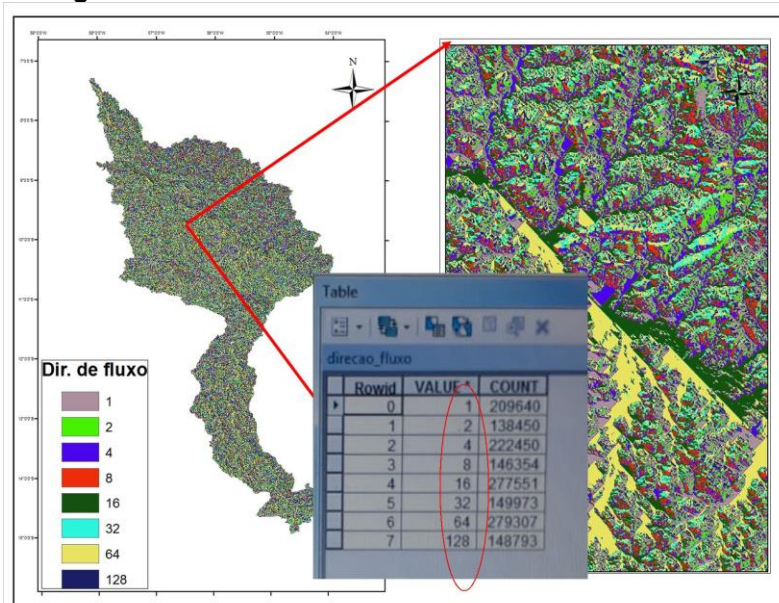
Fonte: Sobrinho et al. (2010)

As depressões ou “sinks” são consideradas como obstáculo para o processo de escoamento durante a aplicação de modelos hidrológicos e outras aplicações como aproveitamentos hidrelétricos, abastecimento de água, irrigação e regularização para navegação (ALMEIDA et al., 2017). Por tanto, foi necessário realizar sua correção. Para isso, foi preciso primeiramente encontrar essas falhas usando as ferramentas hydrology_ Sink.

5.2.3 Preenchimento de depressões

As correções no MNT foram feitas por meio da função “fill”, que preenche os “sinks” utilizando as altitudes dos “pixels” do lado, o que possibilita uma maior consistência na geração do mapa de MNT (Figura 8).

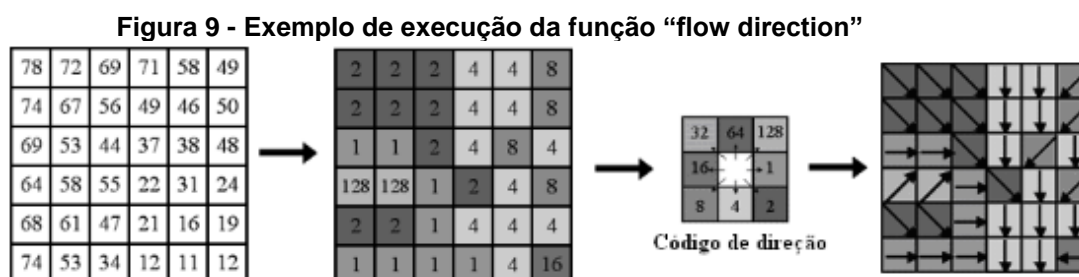
Figura 8 - MNT obtido do tratamento de dados SRTM



Fonte: Autoria própria (2021)

5.2.4 Direção de fluxo

Com o MNT corrigido partiu-se para determinação da direção de fluxo. A direção de fluxo define as associações hidrológicas entre diferentes pontos na área estudada (RENNÓ et al., 2008). A topologia do terreno para as direções de fluxo está relacionada à existência de uma drenagem com boa funcionalidade. A direção de fluxo de água na rede de drenagem é determinada pela função “flow direction”, delimitando uma grade regular que define as direções de fluxo, pegando como referência a linha que aponta maior declividade do terreno. Essa grade numérica gerada indica a direção de maior declividade de um “pixel” em relação a seus oito “pixels” vizinhos. É dessa forma que ocorre a descrição numérica da direção que a água irá escoar após atingir cada “pixel” representada por meio da aplicação do código de direção conforme exemplo na Figura 9.

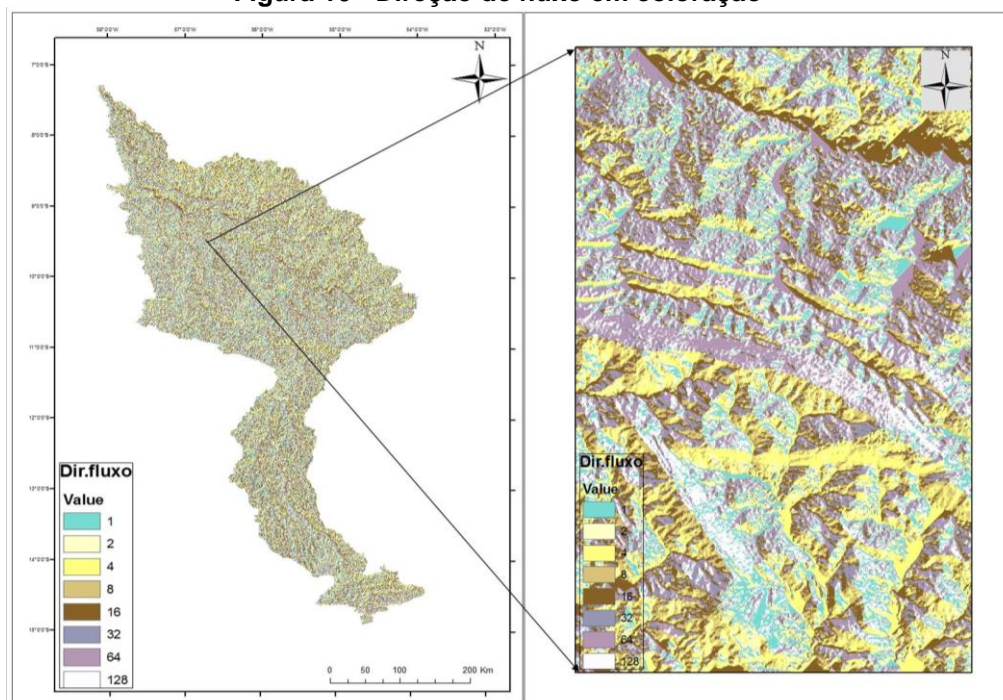


Fonte: Sobrinho et al. (2010)

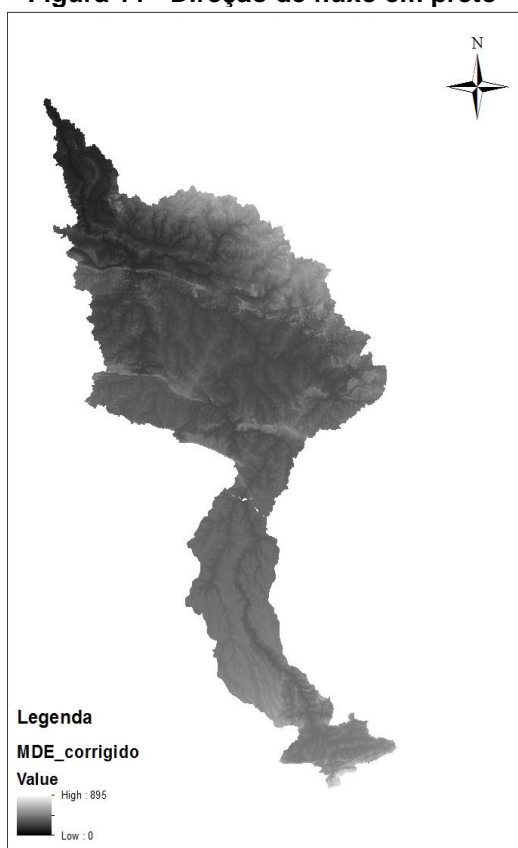
Como já se sabe, a direção do fluxo entre pixels vizinhos é determinada de acordo com as declividades mais acentuadas numa janela de 3 x 3 células, de forma a se identificar a direção de maior declividade de um pixel em relação a seus 8 pixels vizinhos (MENDES; CIRILO, 2001). Partimos para aplicação na prática, e o resultado desse processo foi uma imagem na qual o valor de cada pixel representa a direção do escoamento da água.

A execução da função “flow direction” com o MNT já corrigido na etapa anterior (sessão 5.2.3) fornece o mapa de direção de fluxo seguindo os padrões do processo de extração de drenagem (Figuras 10 e 11), que possibilita a observação da direção do escoamento de água nas vertentes, além da visualização do relevo.

Figura 10 - Direção de fluxo em coloração



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 11 - Direção de fluxo em preto

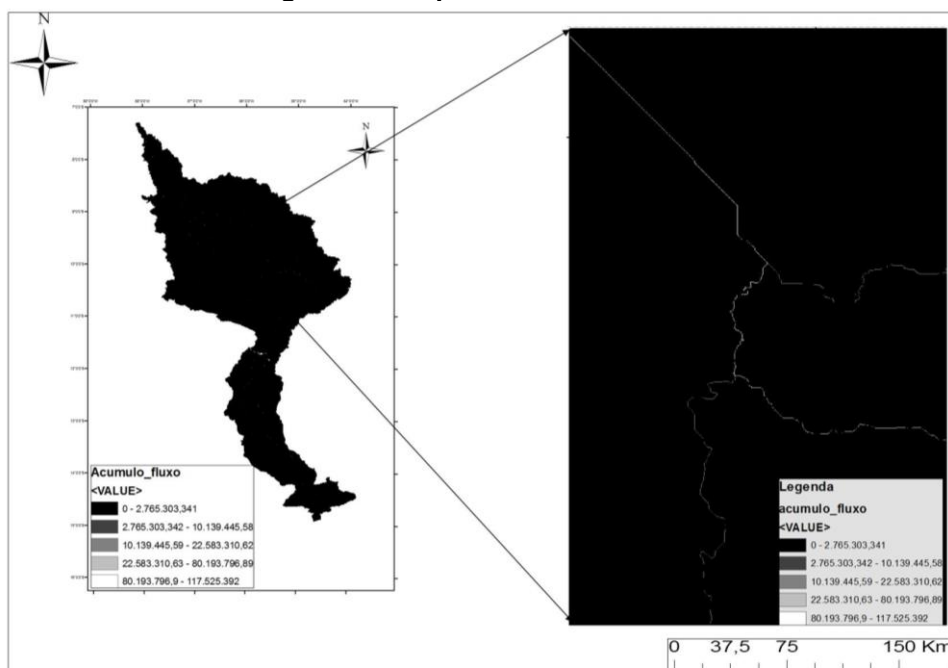
Fonte: Autoria própria (2021)

5.2.5 Fluxo acumulado

Considerando-se a grade de direção de fluxos da água, seguiu-se para o processo de cálculo do acúmulo de fluxos. Nessa etapa cada pixel recebeu um valor de acordo com o número de pixels responsável pelo escoamento da água até ele. Dessa forma, considerou-se a partir da soma da área das células na direção do fluxo, então somou-se a área das células (quantidade de células) na direção do fluxo (ou escoamento) (JESUS, 2009).

O fluxo acumulado ou a área de captação, como pode ser considerado também (MENDES; CIRILO, 2001), indica o grau de confluência do escoamento, ou seja, representa a rede hidrográfica existente no MDE, uma vez que agrupa as características do comprimento de rampa e a curvatura horizontal. Ou seja, o fluxo acumulado possui obtenção complexa, manual ou computacional, (VALERIANO, 2008). Na Figura 12, mostra-se o mapa representando o fluxo acumulado, sendo possível observar a formação dos caminhos preferenciais de fluxo que originam a rede hidrográfica.

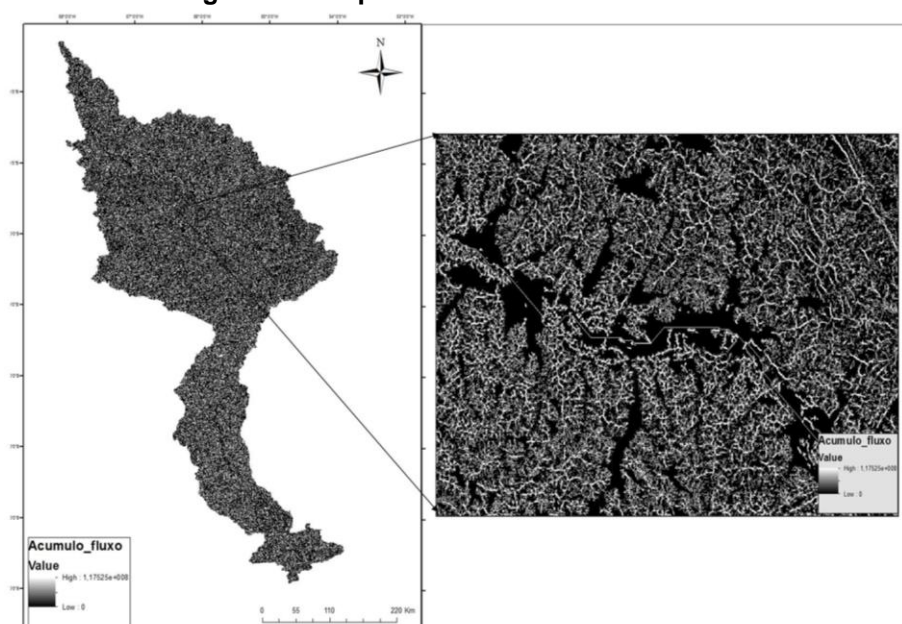
Figura 12 - Mapa de fluxo acumulado



Fonte: A autoria própria (2021)

O fluxo acumulado foi obtido pela função “hydrology- flow accumulation”. Além do mapa da figura 12, que é o formato primário resultante do cálculo do fluxo acumulado, mostrando as linhas de acúmulo de fluxo, também foi confeccionado um mapa (Figura 13) mostrando o acúmulo no formato mais visível.

Figura 13 - Mapa de fluxo acumulado

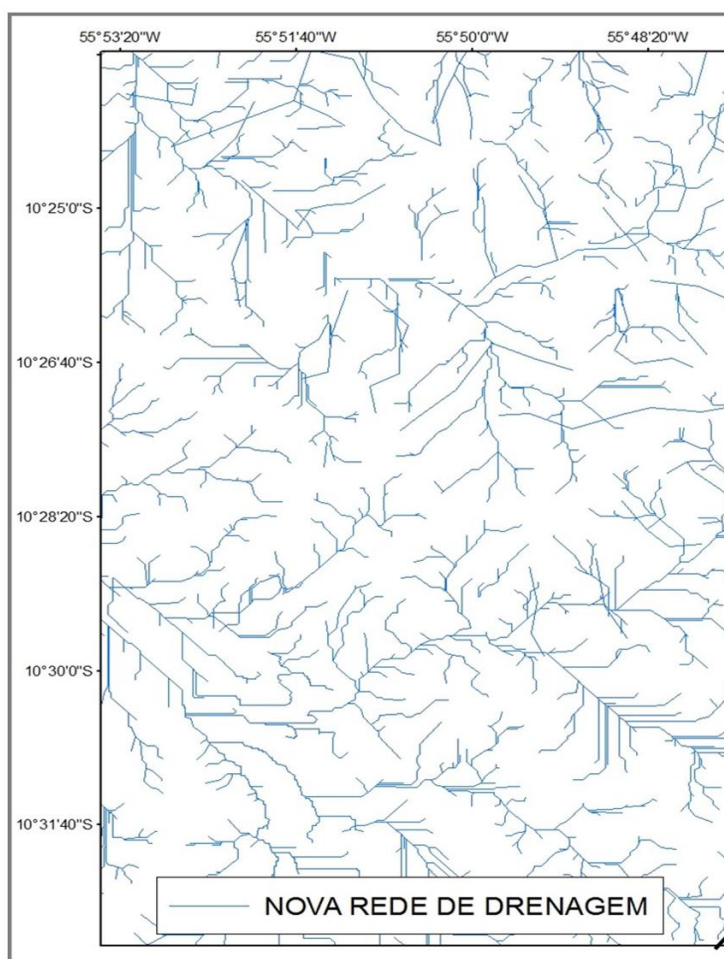


Fonte: A autoria própria (2021)

5.2.6 Álgebra de mapas para extração da rede de drenagem

Para criar uma rede de drenagem, é preciso estabelecer um limiar para descobrir quantos pixels adjacentes devem formar os rios. Nesse caso, foi estabelecido um limiar de 500 pixels, como número mínimo de células para geração de fluxo. Com esta condição, todas as células do raster com valor superior a 500 foram consideradas durante a criação do novo mapa raster. Para esta etapa foi usado a função CON (Conditional) que determina um teste lógico e retorna um resultado através da fórmula: $\text{Con}(\text{"FLOW_ACCUMULATION.tif"} > 500, 1)$, gerando a rede de drenagem.

Figura 14 - Nova rede de drenagem

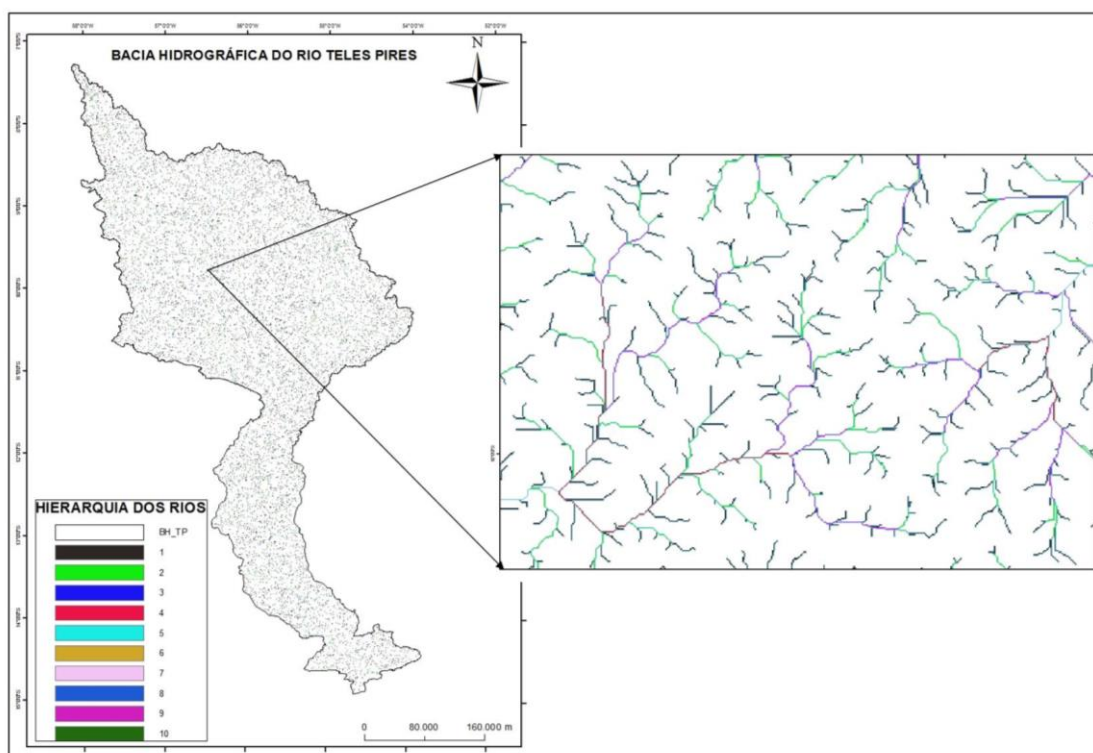


Fonte: Autoria própria (2022)

5.2.7 Hierarquia dos rios

Utilizou-se como referência para classificação dos rios, a hierarquia fluvial proposta por Strahler (1954). Ela denomina iniciando da nascente até a confluência dos rios, os menores canais sem tributários como os de primeira ordem. Da confluência de dois canais de primeira ordem surgem os canais de segunda ordem, recebendo apenas afluentes de primeira ordem. No encontro entre dois canais de segunda ordem, surge um canal de terceira ordem, nesse caso podendo receber tributários de primeira e segunda ordem. Quando se encontra com outro canal de terceira ordem, forma um canal de quarta ordem recebendo canais de ordem inferior, formando assim uma hierarquia. Para essa classificação, foi necessário o uso da ferramenta hydrology_Stream Order, gerando o raster representado na figura 15.

Figura 15 - Ordem da rede de drenagem segundo classificação de Strahler (1952)



Fonte: Autoria própria (2022)

Em pequenas bacias, os rios principais serão no máximo de 3º ordem, enquanto, que em grandes bacias hidrográficas, que é o caso da bacia hidrográfica do rio Teles Pires, pode-se chegar até a 10º ordem (CDCC-USP, 2010).

5.2.8 Conversão da drenagem para shapefile

Após o estabelecimento da rede de drenagem na forma de imagem, o arquivo raster foi transformado para shapefile, através das ferramentas Spatial Analyst – Hydrology – Stream to Feature para compatibilidade do arquivo com outros softwares, se necessário.

5.2.9 Determinação da bacia

Para finalizar este processo foi necessária a delimitação da bacia hidrográfica com o uso das ferramentas atSpatial Analyst – Hydrology – Basin, para possibilitar posteriormente comparações com a área da delimitação de bases de referência. Este procedimento foi necessário porque todo procedimento anterior foi realizado utilizando a delimitação da bacia do rio Teles Pires disponibilizado pela Agência Nacional das Águas (ANA).

5.2.10 Análise, ajuste e validação da nova rede de drenagem por meio de imagens de satélite

O uso de imagens de satélite como meio de se obter dados remotos diversos se tornou necessário, tanto no meio científico como em áreas comerciais. Com objetivo de ajustar e validar as novas hidrografias extraídas e que não estão registradas nas bases de referência citadas neste trabalho, utilizou-se dois tipos diferentes de imagens de satélite: Imagens Satélite SPOT e Imagem do programa Google Earth®, adquiridas no geoportal da SEPLAN. Esta etapa consistiu em analisar e ajustar a nova drenagem extraída para contribuir na sua validação. O procedimento ou etapa usada foi a mesma adotada para fotointerpretação de imagens de satélites, que é uma prática que pode ser igualmente aplicada na análise de uma fotografia comum, que se destaca em três fases (ou etapas) para análise de uma imagem: identificação (ou fotoidentificação), foto-determinação e interpretação (PANIZZA; FONSECA, 2011, p. 37). O processamento dos dados se deu no ArcGIS, submetendo a nova drenagem e as bases hidrográficas da ANA e SEPLAN a sobreposição. Para controle e organização da análise e vetorização,

utilizou-se a subdivisão da bacia determinada pelo Plano Nacional de Recursos Hídricos e criando amostras circulares conforme mostrado na figura 16. Essas amostras circulares são importantes para controlar que toda área seja abrangida pela vetorização manual, como forma também de organização do processo de vetorização. Dando-se início da análise pela bacia hidrográfica do Alto Teles Pires.

Figura 16 - Recorte da área da bacia hidrográfica do rio Teles Pires com amostras circulares



Fonte: Autoria própria (2022)

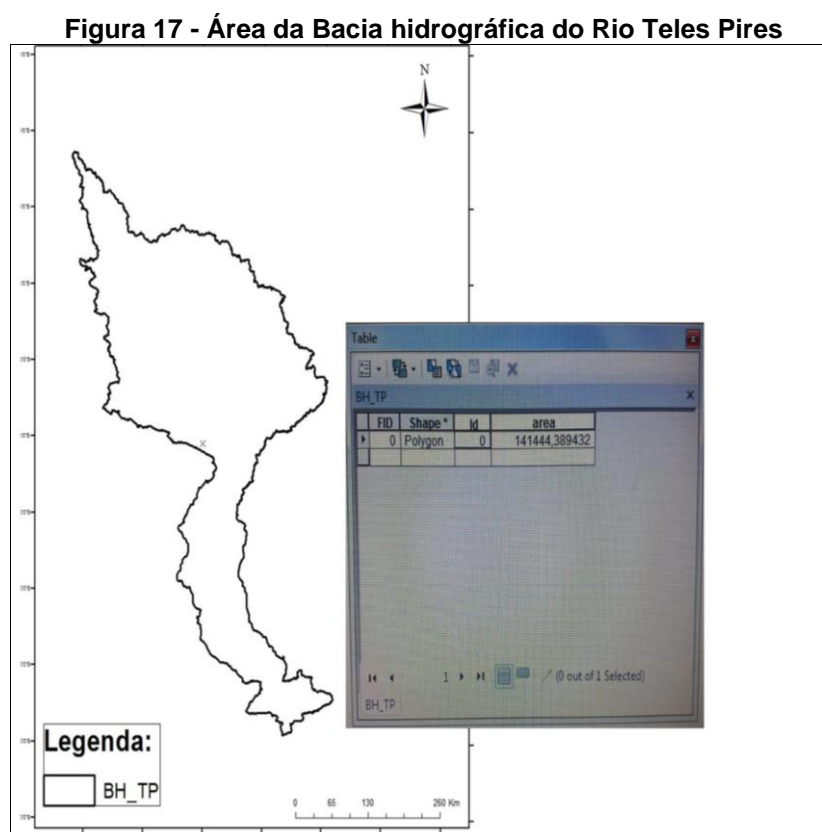
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados alcançados e as discussões serão apresentados em 4 tópicos:

a) Delimitação da bacia e extração da nova rede de drenagem e cruzamento com as bases de referência; b) análise, ajustes e vetorização manual por interpretação de imagens de satélite; c) tratamento da nova rede de drenagem e d) validação de hidrografias *in loco*.

6.1 Extração da nova rede de drenagem e cruzamento com as bases de referência

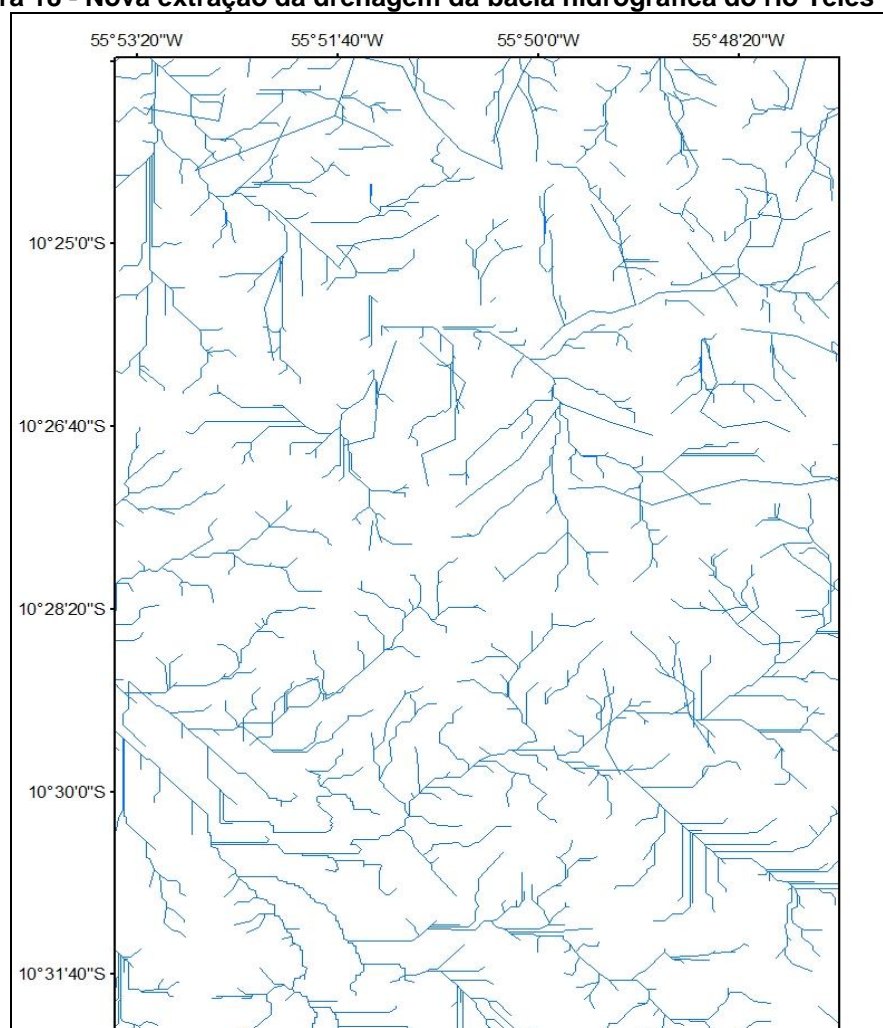
A bacia hidrográfica do rio Teles Pires, resultante da delimitação deste estudo, constitui uma área de 141.444 km². Comparando-se com os resultados obtidos pela ANA e SEPLAN que apresentam uma área da bacia de 141.278,62 km², mostrado na figura 17, verifica-se uma diferença relativamente pequena em relação à delimitação automática que utiliza cartas topográficas na escala 1:100.000.



Fonte: Autoria própria (2022)

A nova drenagem gerada pelo SRTM (figura 18) possui uma maior quantidade de informações (maior quantidade de ordem de canais, ou seja, os canais extraídos vão desde a 1° ordem até a 10° ordem) e fornece dados em áreas que não foram cobertas pelas bases de referencia utilizadas. No total foram extraídos 337.456,91 km de drenagem. Porém, após seu tratamento e refinamento, a tendencia é que esse valor seja menor.

Figura 18 - Nova extração da drenagem da bacia hidrográfica do rio Teles Pires



Fonte: Autoria própria (2022)

6.2 Cruzamento da nova drenagem com as bases de referência e exclusão de linhas duplicadas

No cruzamento dos dados digitais, observa-se de imediato que existem discrepâncias nas suas delimitações, mesmo estando na mesma escala do

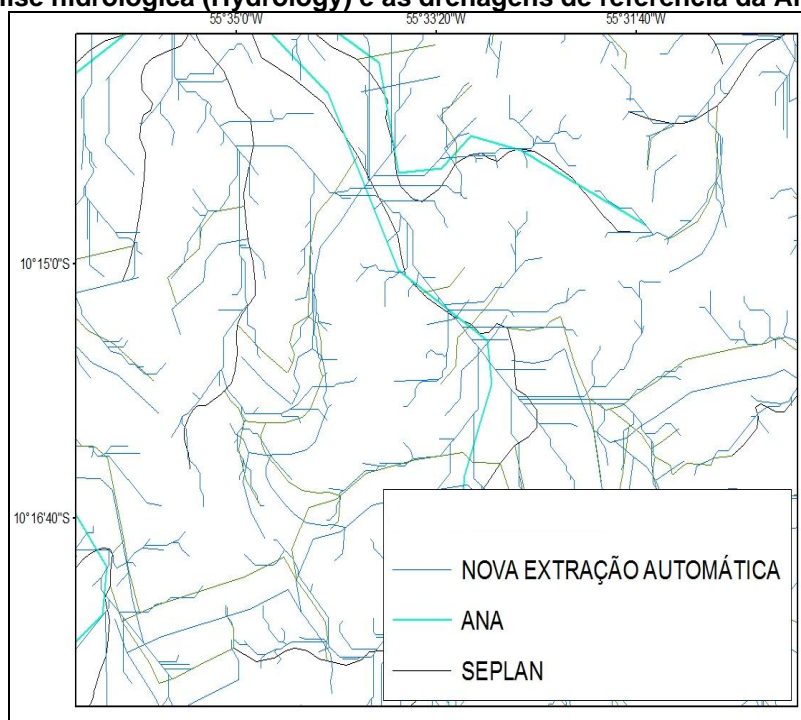
mapeamento. O que indica que a tendência dos ajustes é seguir com maior rigor para que as hidrografias possam ser representadas de forma mais fiel.

De posse da nova drenagem, foi possível submetê-la também ao cruzamento com as bases de referência para o processo de revisor de dados no ArcMap, com objetivo de eliminar as linhas duplicadas, gerando um só arquivo shapefile para a execução das próximas etapas.

Pelos recortes espaciais em escala mais detalhada, mostrados pela Figura 19, pode-se observar o recorte mostrando as drenagens antes do processo de correção e ajustes e antes também da vetorização manual de novas hidrografias. Nessa etapa foi feito o cruzamento das bases hidrográficas da Secretaria de Planejamento - SEPLAN, Agência Nacional das Águas - ANA, e a Nova extração, todas numa escala 1:100.000.

Em comparação com a base da ANA, observa-se maior discrepância de precisão, enquanto em comparação a base da SEPLAN essa diferença foi bem menor. Isso pode ser justificado pela escala utilizada na extração na época, bem como pelo tipo de equipamento e materiais utilizados no momento da delimitação da bacia pelos órgãos estadual e federal (SEPLAN e ANA). Diante do resultado, foi necessário partir para o refinamento no tratamento da nova drenagem por meio de ajustes e vetorização e análise por imagem de satélite.

Figura 19 - Cruzamento da drenagem extraída a partir dos MDE (SRTM) com uso de ferramentas de análise hidrológica (Hydrology) e as drenagens de referência da ANA, SEPLAN



Fonte: Autoria própria (2022)

Na Figura 19 é possível observar, ainda, a ocorrência de drenagem paralela e retilínea, se repetindo em muitas áreas da bacia que possuem relevo plano. Esse comportamento não foi observado nas drenagens das bases de referência, realizadas com metodologias diferentes para escolhas das direções de fluxo em áreas planas, o que resulta em uma drenagem mais próxima do real.

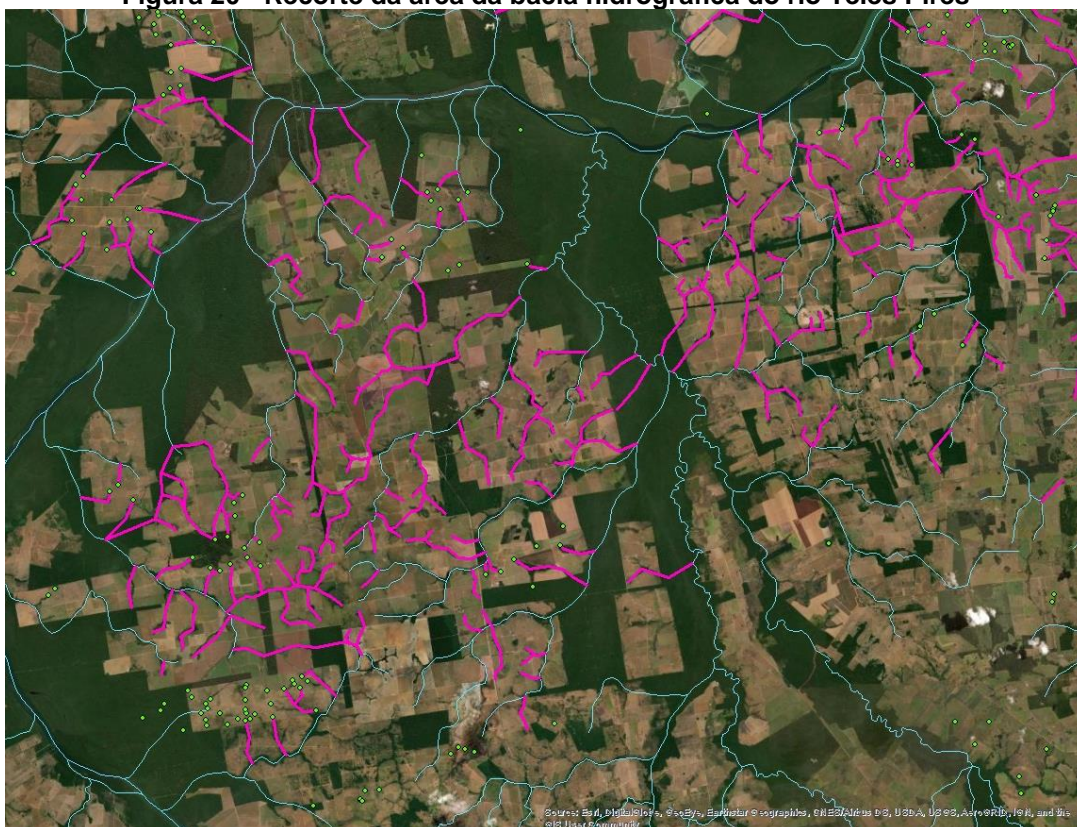
De modo geral, todos os parâmetros obtidos com a nova extração tiveram valores superiores aos obtidos pelas drenagens de referência, o que já era esperado tendo em vista sua escala original (1:100.000) e a metodologia utilizada na extração automática da drenagem. O número de canais e o comprimento total da rede de drenagem em relação à drenagem de referência deve-se, ainda, a extração de canais em áreas planas, onde a drenagem é inexistente, devido o valor do limiar da grade de fluxo acumulado utilizado no processo, resultando numa drenagem menos densa e canais de drenagem mais curto, conforme já identificado por Souza e Almeida (2014).

A geração de drenagem em locais de drenagem inexistente ocorre em todas as bases de dados, fato que está relacionado com a metodologia de definição da origem da drenagem que se fundamenta, basicamente, no estabelecimento de um valor limite para a grade do fluxo acumulado, negligenciando o fato de que muitos cursos d'água originam-se de nascente e sua localização não possui associação direta com a área de drenagem superficial.

6.3 Análise, ajustes e vetorização manual por interpretação de imagens de satélite

Apesar da eficiência do processo automático de extração de drenagem, recomenda-se a inspeção visual e edição manual da drenagem gerada, a fim de eliminar as linhas de drenagem em locais em que elas não existem.

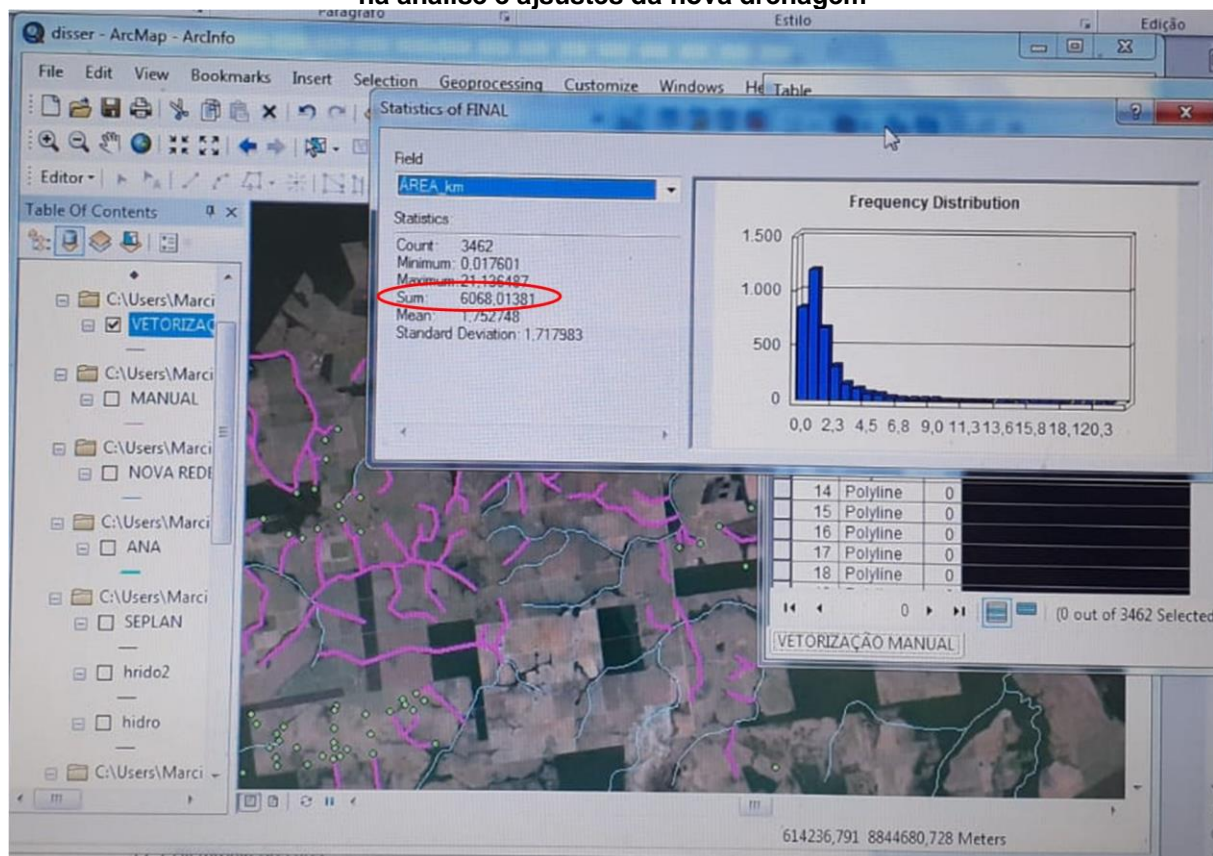
A etapa de vetorização ou delimitação manual das hidrografias por imagem de satélite, apesar de não ser viável economicamente para áreas maiores, por exigir muita mão de obra, se torna importante na complementação do refinamento da extração automática, corrigindo eventuais erros de precisão, como pode ser visualizado na figura 20.

Figura 20 - Recorte da área da bacia hidrográfica do rio Teles Pires

Fonte: Autoria própria (2022)

Devido às dificuldades de identificação das hidrografias *in loco*, a análise visual por imagem de satélite tornou-se a etapa mais importante para validar a nova extração da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Teles Pires. Com a sobreposição das bases nas imagens de satélite, dependendo da qualidade da imagem utilizada em muitos casos é possível dispensar e/ou agregar a visita *in loco*. Dessa forma, com a divisão circular da área, como forma de controle e organização dos trabalhos, foi possível vetorizar ou delimitar 6.068,01 km (figura 21) de hidrografias, dentre as detectáveis pela nova extração e aparentes por imagem de satélite, abrangendo também outras que não foram contempladas nem na nova extração e nem nas bases de referência mas, que estavam visíveis nas imagens de satélite.

Figura 21 - Print da tela do Arcgis do calculo de área de hidrografias vetorizadas manualmente na análise e ajustes da nova drenagem



Fonte: Autoria própria (2022)

Em comparação à dimensão da área estudada, o quantitativo de hidrografias analisadas e vetorizadas manualmente não é suficiente para abranger todas as hidrografias principais da bacia, será necessário o aperfeiçoamento de técnicas que possam detectar de forma mais precisa todos os cursos d'água, a fim de possibilitar maior confiança para substituir as vistorias em campo, principalmente em áreas de difícil acesso.

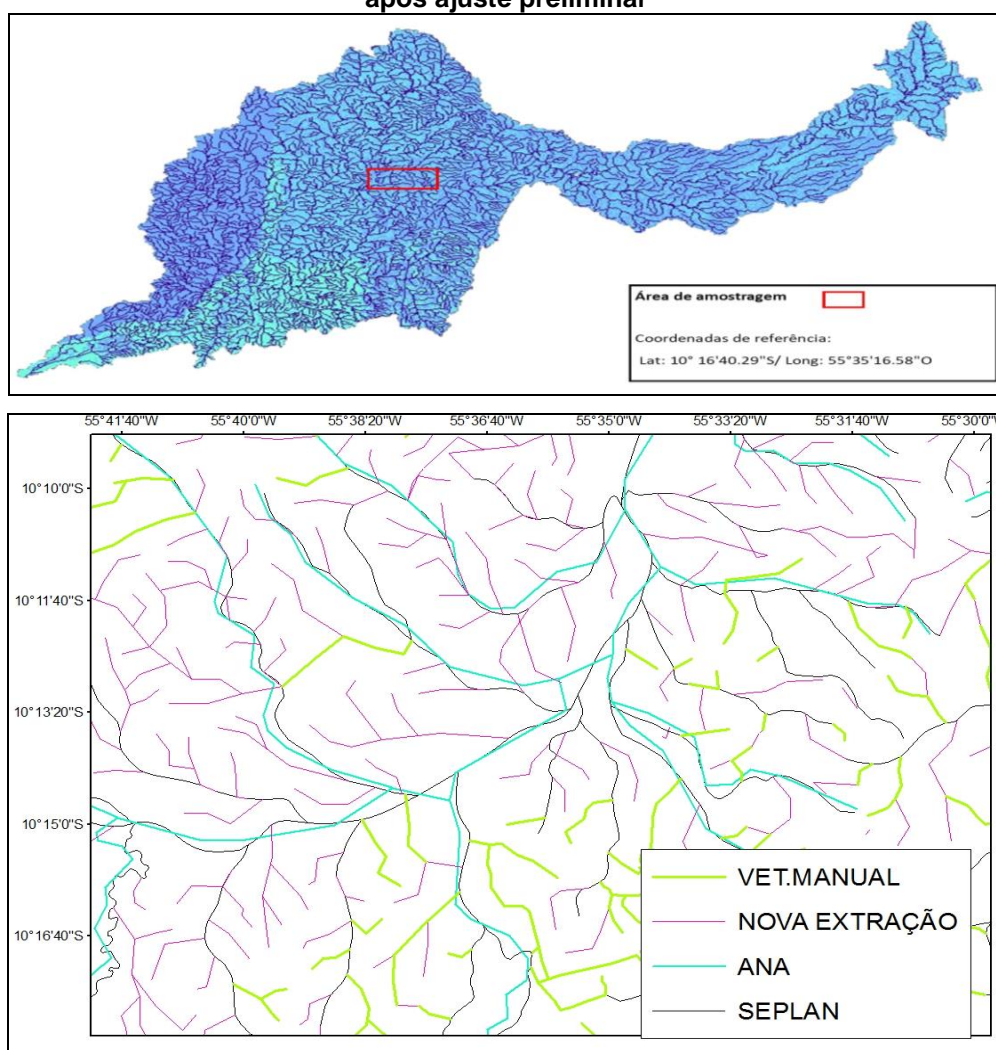
6.4 Tratamento da nova rede de drenagem

Para tratamento da nova drenagem realizou-se um ajuste preliminar. Todas as bases de referência citadas neste trabalho foram sobrepostas aos dados da nova extração (figura 22). Foram eliminadas as linhas duplicadas e realizou-se o ajuste

manual de acordo com a interpretação por imagens de satélite de alta resolução. Foram considerados os pontos de deslocamento com as imagens através da base de referência da SEPLAN, pois em comparação com a base de referência da ANA é a que mais se aproxima da real localização das hidrografias visíveis nas imagens.

Nas próximas figuras (figuras 22, 23 e 24) o mapa da delimitação da bacia foi rotacionado em 45° no sentido anti-horário para facilitar na formatação das imagens lado a lado nas páginas.

Figura 22 - Amostra da sobreposição das bases de referência com a nova drenagem extraída após ajuste preliminar

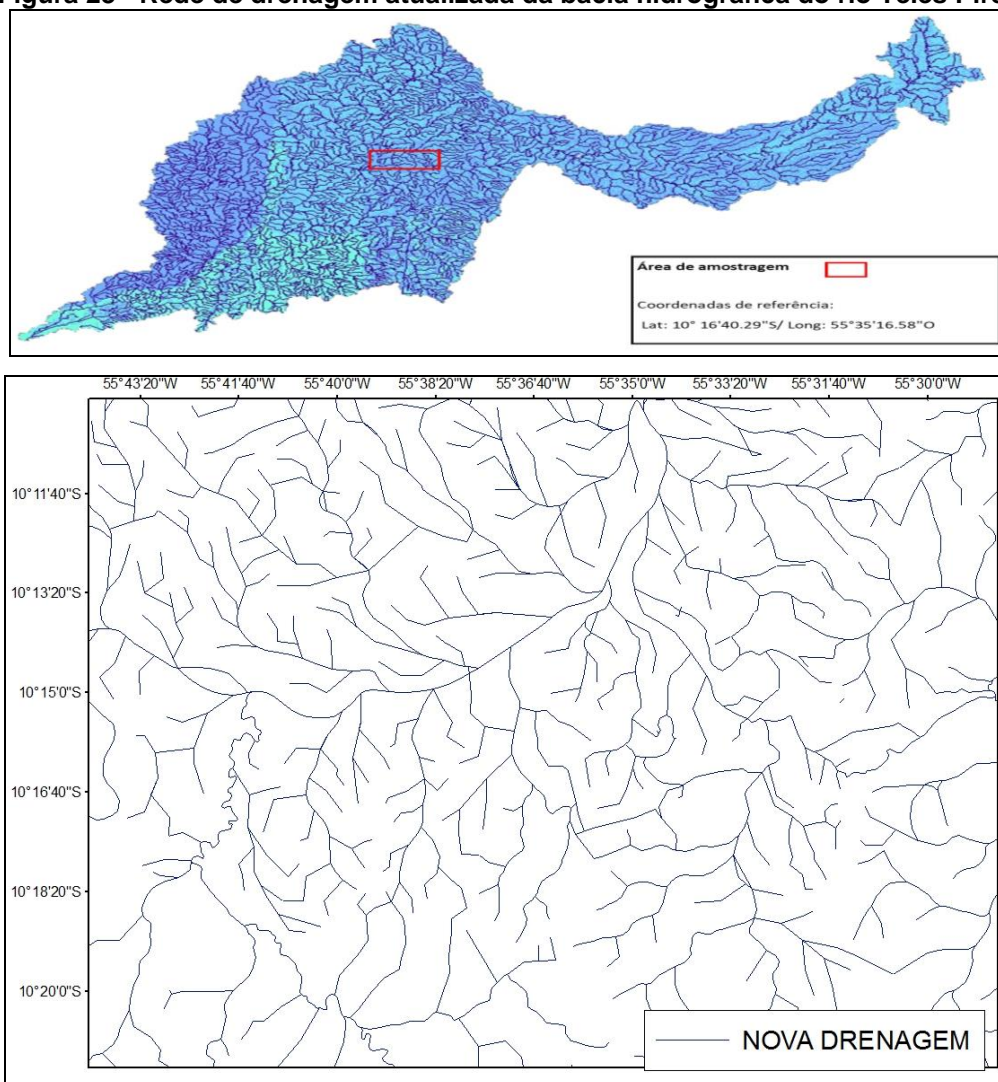


Fonte: Autoria própria (2022)

Observa-se na figura acima (figura 22) que o resultado da sobreposição das bases com a nova extração, pequenas diferenças de localização, entre a nova drenagem extraída na cor lilás e a base da SEPLAN na cor azul marinho, já a base da ANA apresenta diferença significativa de precisão da localização em relação às

outras drenagens e principalmente em relação às imagens de satélite. Porém, observa-se que todas as hidrografias representadas por ela, também foram extraídas nas outras redes de drenagens. Diante disso, a base hidrográfica da ANA foi descartada, utilizando-se somente a base hidrográfica da SEPLAN, a nova rede de drenagem extraída e as hidrografias vetorizadas manualmente, gerando um só arquivo shapefile da rede de drenagem atualizada da bacia hidrográfica do rio Teles Pires (figura 23), como proposto no objetivo desse trabalho.

Figura 23 - Rede de drenagem atualizada da bacia hidrográfica do rio Teles Pires

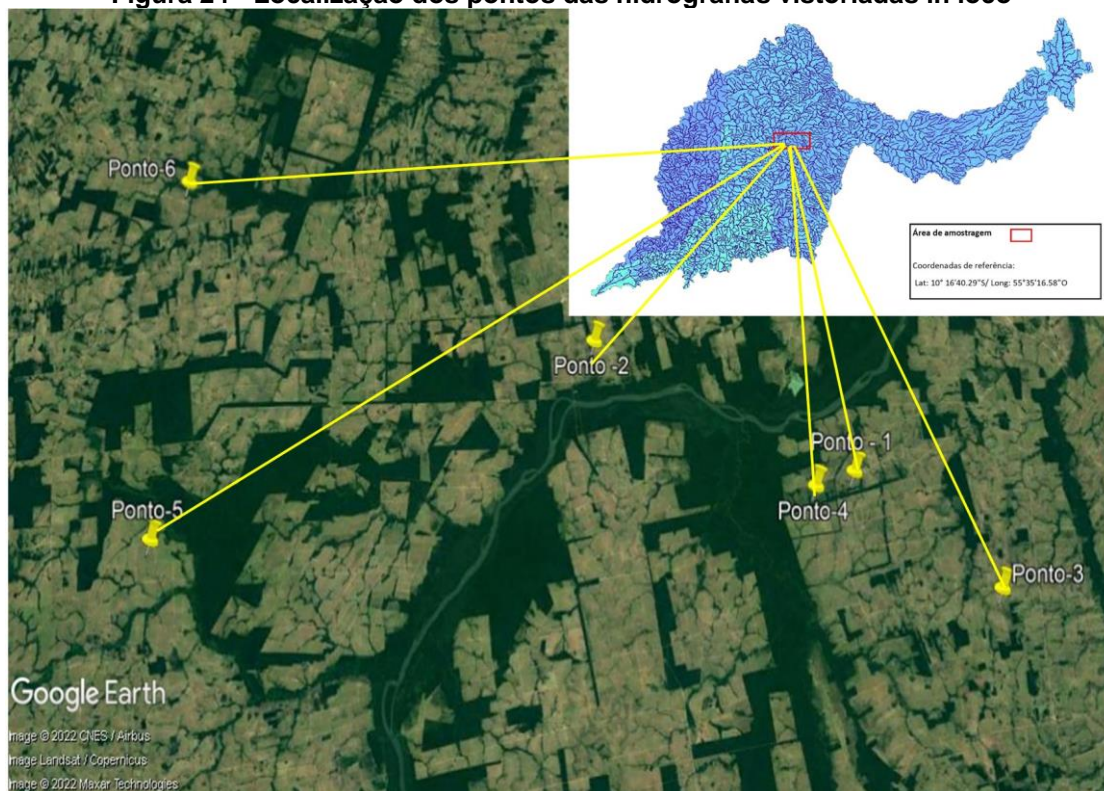


Fonte: Autoria própria (2022)

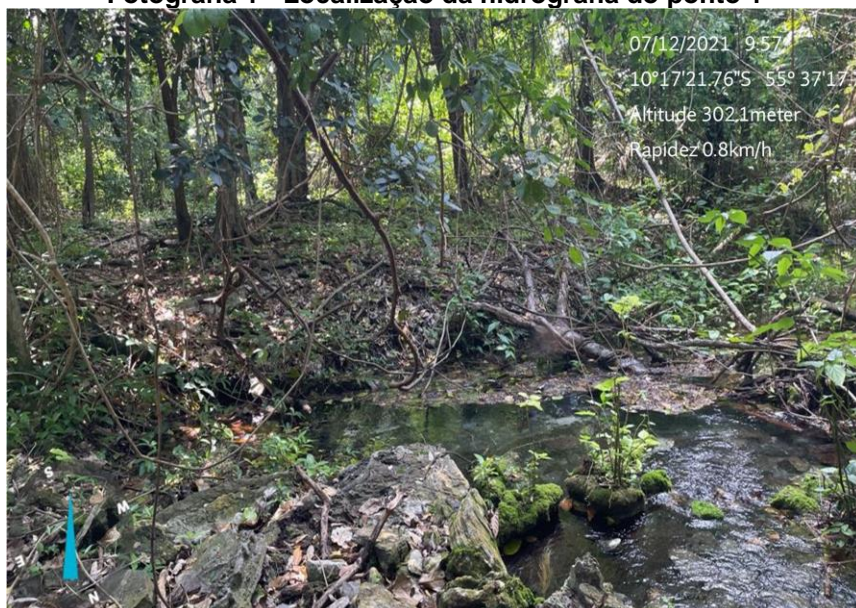
6.5 Validação de hidrografias *in loco*

Para certificar-se da precisão da delimitação para a área em estudo, foram realizadas visitas em campo. Foi possível a verificação *in loco* em alguns pontos para confirmação da geolocalização das hidrografias. A seleção dessas hidrografias para vistoria foi de acordo com a dificuldade de visualização para delimitação manual por imagem de satélite. Ou seja, aquelas que não eram possíveis de detectá-las visualmente foram selecionadas gerando um ponto de coordenada e organizada por municípios, para facilitar na logística de vistoria a campo. Assim foram selecionados dez pontos (figura 24), porém foi possível chegar somente até seis pontos, devido à falta de recursos financeiros e outros. Trata-se de um número insignificante diante da área de estudo analisada. Porém, foi importante para proporcionarmos o número de acertos na precisão das hidrografias com os erros encontrados. Dos seis pontos, apenas um ponto, precisamente o ponto três, não se tratava de hidrografia, contudo, encontrou-se um curso d'água a 70 metros do local, conforme pode ser visto nas fotografias abaixo.

Figura 24 - Localização dos pontos das hidrografias vistoriadas *in loco*



Fonte: Google Earth Pro (2021)

Fotografia 1 - Localização da hidrografia do ponto 1

Fonte: Aatoria própria (2021)

No ponto 1, encontrou-se curso d'água natural mais visível próximo a 500 metros da nascente (fotografia 1). Trata-se de uma área com vegetação de porte médio, encobrendo superficialmente a água. Porém, com vegetação menos densa às margens da hidrografia.

Fotografia 2 - Localização da hidrografia do ponto 2

Fonte: Aatoria própria (2021)

No ponto 2, encontrou-se um discreto curso d'água com escoamento lento. Porém, responsável por inundar uma área significativa do imóvel, conforme mostra a fotografia 2.

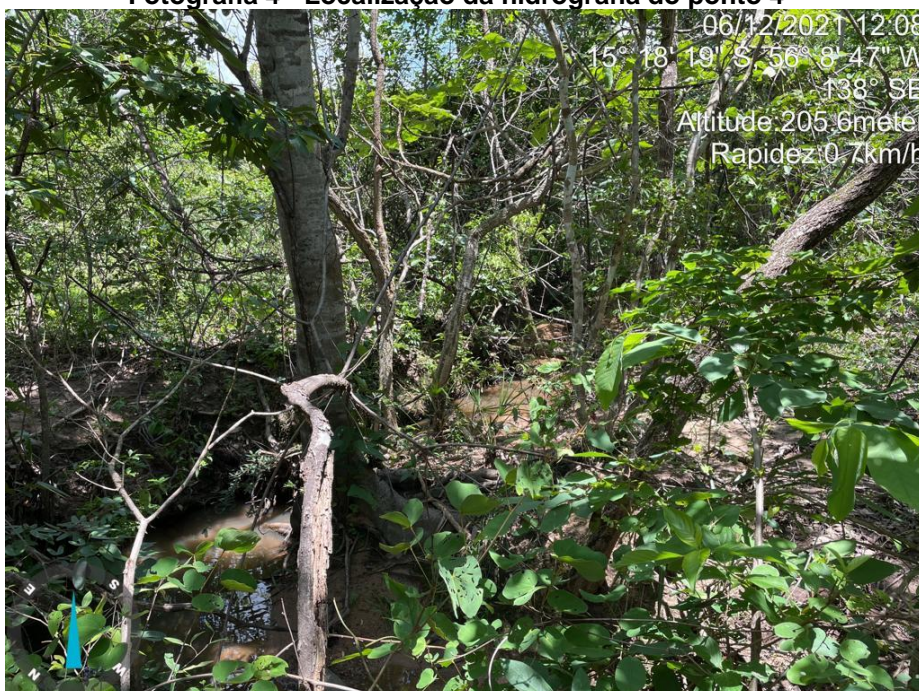
Fotografia 3 - Localização da hidrografia do ponto 3



Fonte: Aatoria própria (2021)

No ponto 3, Não foi encontrado nenhum vestígio de hidrografia nas coordenadas de localização (fotografia 3). Porém, observou-se a presença de água 70 metros da localização geográfica do ponto, numa região de maior declividade do imóvel.

Fotografia 4 - Localização da hidrografia do ponto 4



Fonte: Autorial própria (2021)

No ponto 4, encontrou-se hidrografia com fluxo lento, com da água barrenta e com pouca mata ciliar, conforme pode ser visualizada na fotografia 4.

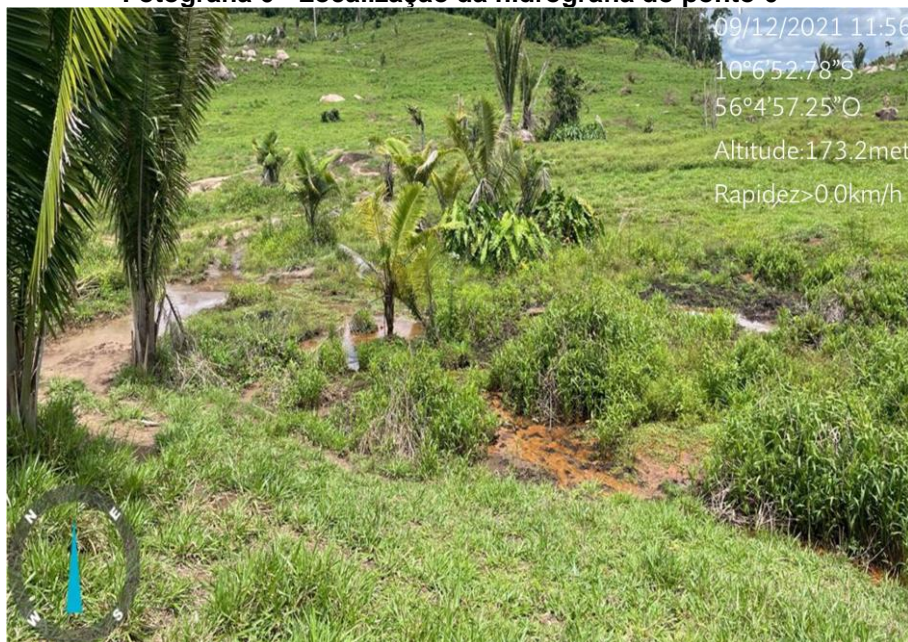
Fotografia 5 - Localização da hidrografia do ponto 5



Fonte: Autorial própria (2021)

No ponto 5, encontrou-se um curso d'água também discreto, ao meio a uma vegetação composta por gramíneas (fotografia 5).

Fotografia 6 - Localização da hidrografia do ponto 6



Fonte: Autoria própria (2021)

No ponto 6, encontrou-se um curso d'água também discreto, ao meio a uma vegetação composta por gramíneas (fotografia 6).

7 PRODUTO

Rede hidrográfica digital da bacia hidrográfica do Rio Teles Pires

Sistema de referência: Geographic Coordinate System: GCS_SIRGAS_2000

Meridiano de origem: Greenwich

Unidade Angular: Degree (graus, minutos e segundos)

Extensão do arquivo: SHAPEFILE (SHP)

Escala: 1.100.000

8 CONCLUSÃO

A análise espacial de bacias a partir do suporte das ferramentas SIG e a facilidade no acesso gratuito de dados de sensores remotos (SRTM), possibilita a produção de dados de forma rápida e eficiente que pode otimizar diversas atividades, como a caracterização de alguns parâmetros ligados à geomorfologia fluvial, como também dinamizando e agilizando a tomada de decisão sobre questões relacionadas à gestão ambiental. O Modelo numérico do Terreno resultante dos dados SRTM, teve significativo potencial de uso, contribuindo satisfatoriamente com informações para as ações de planejamento ambiental, mesmo em se tratando de uma bacia de médio porte. O uso do SIG e dos dados SRTM para extração e análise espacial da bacia hidrográfica do rio Teles Pires contribuiu adequadamente para caracterização hidrográfica em todo processo, até mesmo da vistoria *in loco* que necessitou de coordenadas geográficas para identificação de sua localização, demonstrando sua força na gestão dos recursos hídricos.

Pode-se constatar que são muitas as vantagens obtidas a partir deste tipo de análise apresentada neste trabalho quando comparada com os métodos convencionais. Deve ser o fato de as informações dos mapas serem armazenadas em meio digital, podendo realizar-se atualização das informações sempre que necessário.

A partir da comparação das duas diferentes bases cartográficas com a nova drenagem e os ajustes com base nas imagens de satélites, mesmo com pouca verificação em campo, etapa bastante difícil pela extensão da área e pelo tipo de mapeamento necessário, o produto elaborado trata-se de um subsídio suficiente para que possam ser utilizados como mais uma fonte de informações não apenas relacionadas à rede de drenagem, como também estudos relacionados direta e indiretamente com aspectos geomorfológicos, estruturais e ambientais.

Considerando todo procedimento realizado para alcançar o produto final, é possível afirmar que o SIG trata-se de uma ferramenta de dados capaz de contribuir com o monitoramento ambiental dos recursos hídricos e servir de instrumento de análise para regularização ambiental de imóveis rurais.

Entende-se, portanto, a necessidade do uso de instrumentos tecnológicos visando diminuir custos para a execução de trabalhos relacionados a uma possível atualização da delimitação das demais bacias hidrográficas do Estado. No entanto, é

preciso estar atento para a execução dos comandos necessários voltados à geração de produtos com qualidade e precisão cartográfica compatível com a escala empregada para não falsear os resultados.

A delimitação da bacia e extração da drenagem hidrográfica do rio Teles Pires teve, de uma maneira geral, características semelhantes da base hidrográfica da SEPLAN. Porém, abrangendo um número bem maior de rios de diferentes ordens.

A delimitação por análise visual teve como qualidade a suavidade das linhas usadas, bem como uma melhor localização em relação às hidrografias.

Diante dos resultados obtidos, verifica-se que o sucesso da qualidade da delimitação da nova drenagem foi devido a junção da delimitação automática com a delimitação manual, pois assim apresentou às melhores respostas da real localização das hidrografias em relação as imagens de satélite utilizadas.

No entanto, considera-se importante a análise visual baseada em fotointerpretação, acompanhada de um bom embasamento teórico e sempre a realização de visitas a campo, para comprovar a veracidade dos resultados obtidos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas(BHO2017)**. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search/metadata/0c698205-6b59-48dc-8b5e-a58a5dfcc989>. Acesso em: 07 de dez. de 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. CEDOC: **Cadernos de capacitação em recursos hídricos**, 2011.p.11. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/CadernosDeCapacitacao1.pdf>. Acesso em: 23 de nov. de 2020.

AVELINO, P. **A trajetória da Tecnologia de Sistemas de informação Geográfica (SIG) na pesquisa Geográfica**, 2004. Disponível em: file:///C:/Users/Marcio/Downloads/trajetoria_tecnologia_sistemas_informacao_geografica.pdf. Acesso em: 30 de nov. de 2020.

BRAGA, F. **A construção do conceito de bacia hidrográfica no ensino de geografia: Uma proposta didática**, 2007. Disponível em: <http://www.observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Ensenanzadelageografia/Metodologiaparalaensenanza/23.pdf>. Acesso em: 28 de nov. de 2020.

BRASÍLIA, DF: Presidência da República. **Da Política Nacional de Recursos Hídricos**. Planalto, 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 24 de nov. de 2020.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia, **Empresa de Pesquisa Energética**. Avaliação Ambiental Integrada da Bacia Hidrográfica do Rio Teles Pires. Empresa Brasileira de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2009. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-248/topico-292/AAI%20Teles%20Pires%20-%20Relat%C3%B3rio%20Final%20%20Sum%C3%A1rio%20Executivo%20\[1\].pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-248/topico-292/AAI%20Teles%20Pires%20-%20Relat%C3%B3rio%20Final%20%20Sum%C3%A1rio%20Executivo%20[1].pdf). Acesso em 29 de nov. de 2020.

CASTRO. L.F **Importância do SIG na elaboração de diagnóstico de área para apoio à decisão**, 2020. Disponível em: <http://geoeduc.com/2020/01/29/importancia-sig-naelaboracao-diagnostico-de-area-para-apoio-decisao/>. Acesso em: 05 de mar. de 2021.

CAVALCANTE, E. **Considerações sobre a política nacional de recursos hídricos**, 2016. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/50056/consideracoes-sobre-a-politica-nacional-de-recursos-hidricos/>. Acesso em 05 de mar. De 2020.

COELHO, A. **Aplicações de Geoprocessamento em Bacias de Médio e Grande Porte**. INPE, 2007. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.31.17.41/doc/2437-2445.pdf>. Acesso em: 28 de nov. de 2020.

CURTARELLI, M. **Monitoramento Ambiental por sensoriamento remoto**. Certi, 2020. Disponível em: <https://certi.org.br/blog/monitoramento-ambiental-sensoriamento-remoto/>. Acesso em: 22 de nov. de 2020.

CENTRO DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA E CULTURAL (CDCC – USP). **Bacias hidrográficas**, 2010. Disponível em: <http://www.ufscar.br/aprender/aprender/2010/06/bacias-hidrograficas/>. Acesso em: 10 de jan. de 2021.

CHAVES, M. **Modelos digitais de elevação hidrológicamente consistente para bacia Amazônica**, 2002. Disponível em: <https://www.poscienciaflorestal.ufv.br/wp-content/uploads/2020/07/Marcelo-de-Avila-Chaves.pdf>. Acesso em: 30 de nov. de 2020.

CHEREM, L. **Análise Morfométrica da Bacia do Alto Rio das Velhas – MG**, 2008. Disponível em: <http://csr.ufmg.br/modelagem/dissertacoes/luizfelipecherem.pdf>. Acesso em: 10 de jan. de 2021.

DANTAS, G. **Estudo geomorfológico a partir do uso de Sistema de Informações Geográficas** (Landsat 8 e Topodata): Um estudo de caso na sub-bacia do Riacho Santana-RN, 2016. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/25676/1/GeorgiaKerciaDeMedeirosDantas_DISSERT.pdf. Acesso em: 02 de dez. de 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Geotecnologias**, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-geotecnologias/perguntas-e-respostas>. Acesso em: 10 de dez. de 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cadernos de geoprocessamento 9**: Métodos, técnicas e equipamentos para o processo de reambulação de mapas de uso e cobertura da terra, 2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1079921/1/CT4091520.pdf>. Acesso em: 20 de nov. de 2020.

FARINA, F. **Abordagem sobre as técnicas de geoprocessamento aplicadas ao planejamento e gestão urbana**, 2006. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-39512006000400007. Acesso em: 03 de dez. de 2020.

FEARNSIDE, P.M.; RIGHI, C.A. **Biomass and greenhouse-gas emissions from land-use change in Brazil's Amazonian “arc of deforestation”**: The states of Mato Grosso and Rondônia, 2009. *Forest Ecology and Management*, 258.

FORSTER, P.V.; RAMASWAMY, P. **Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing**. In: Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Marquis, M.; Averyt, K.; Tignor, M.M.B.; Miller Jr, H.L.; Chen, Z. (Ed.). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge and New York, p.129-234.

- FREITAS E.P. *et al.* **Indicadores ambientais para áreas de preservação permanente**, 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662013000400013. Acesso em jan. de 2021.
- FLORENZANO, T. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. Scielo, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/er/n40/a15.pdf>. Acesso em: 20 de nov. de 2020.
- FREIRE, N. **As geotecnologias e a emergência de novos mercados em regiões periféricas**: O caso de Maceió –AL, 2009. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/6070/1/arquivo3474_1.pdf. Acesso em: 30 de nov. de 2020.
- GERSTENECKER, C.; LÄUFER, G.L. **Validation of digital elevation models around Merapi Volcano**, Java, Indonesia. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Perugia, v.5, n.6, p.863-876, 2005. Disponível em: <https://nhess.copernicus.org/articles/5/863/2005/>. Acesso em 30 de nov. de 2020.
- GODEI, D.S. *et al.* **Ictiofauna do Córrego Corgão, afluente do Rio Teles Pires**, Carlinda, Mato Grosso, 2010. Disponível em: <file:///C:/Users/Marcio/Downloads/713-Texto%20do%20artigo-2782-1-10-20150702.pdf>. Acesso em: 05 de dez. de 2020.
- HENGL, T.; REUTER, H. **Geomorfometria, conceitos, software, aplicativos**, 2009. Disponível em: file:///C:/Users/Marcio/Downloads/Geomorphometry_Concepts_Software_Applications.pdf. Acesso em: 30 de nov.2020.
- INPE. **Introdução à Ciência da Geoinformação**, 2001. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 30 de nov. de 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2000.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **SGI 2.5 – Introdução ao Sistema de Informações Geográficas – SGI**. Imagem Geosistemas São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1995.
- JESUS, N. **Avaliação do Modelo Digital de Elevação ASTER para análise morfométrica de Bacias Hidrográficas**, 2009. Disponível em: file:///C:/Users/Marcio/Downloads/Jesus_Niltonde_D.pdf. Acesso em 10 de dez. de 2020.
- JUNIOR, A. **A Importância do sistema de informação gerencial para as empresas**, 2012. Disponível em: <https://administradores.com.br/artigos/a-importancia-do-sistema-de-informacao-gerencial-para-as-empresas>. Acesso em: 02 de dez. de 2020.
- KLINK, C.A.; MOREIRA, A.G. 2002. **Past and current human occupation and land use**. In: Oliveira, P.S.; Marquis, R.J. (Ed.). *The Cerrados of Brazil: ecology and*

natural history of a Neotropical savanna. Columbia University Press, New York, p.69-88.

LANARI, R.A.O. *et al.* **A Paisagem Cultural do Norte do Estado do Mato Grosso: Construindo a memória do rio Teles Pires**, 2015. Disponível em: [https://www.copel.com/uhecolider/sitearquivos2.nsf/arquivos/artigo/\\$FILE/Artigo_Mem%C3%B3ria%20do%20Rio%20Teles%20Pires.pdf](https://www.copel.com/uhecolider/sitearquivos2.nsf/arquivos/artigo/$FILE/Artigo_Mem%C3%B3ria%20do%20Rio%20Teles%20Pires.pdf). Acesso em: 04 de dez. de 2020.

LEAL, T. **SIG e sua importância para tomada de decisões**, 2008. Disponível em: <https://administradores.com.br/artigos/sig-e-sua-importancia-para-tomada-de-decisoes>. Acesso em: 03 de dez. de 2020.

LUEDLING, E. *et al.*, A. **Filling the voids in the SRTM elevation model - A TIN-based delta surface approach**. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, New York, v.62, n.4, p.283-294, 2007.

MACHADO, R.B. *et al.* **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Conservação Internacional**, Brasília, 2004, 22p.

MACHADO, N.G.; SANTOS, G.V.L.M. **Usos do solo no divisor de águas das Bacias Amazônica e Do Alto Paraguai–Mato Grosso**, Brasil. Proficientia, 4: 227-238.

MATO GROSSO. Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral - SEPLAN. **Zoneamento socioeconômico-ecológico: diagnóstico sócioeconômico-ecológico do Estado de Mato Grosso e assistência técnica na formulação da 2ª aproximação**, 2001. Disponível em: http://www.dados.mt.gov.br/publicacoes/dsee/dinamica_economica/processo_historico/DSEE-DE-RT-013.pdf. Acesso em: 05 de dez. de 2020.

MATO GROSSO. Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral - SEPLAN. **Zoneamento socioeconômico-ecológico: diagnóstico sócioeconômico-ecológico do Estado de Mato Grosso e assistência técnica na formulação da 2ª aproximação**, 2000. Disponível em: <http://www.dados.mt.gov.br/publicacoes/dsee/climatologia/rt/DSEE-CL-RT-002.pdf>. Acesso em: 05 de dez. de 2020.

MATO GROSSO. Governo do Mato Grosso. **Geografia**, 2012. Disponível em: <http://www.mt.gov.br/geografia>. Acesso em 20 de dez. de 2020.

MATO GROSSO. **Regulamenta programa de regularização ambiental**. Governo de Mato Grosso, MT, 30 de mai de 2017. Disponível em: <http://www.mt.gov.br/-/7583829-mato-grosso-regulamenta-programa-de-regularizacao-ambiental#:~:text=O%20Governo%20do%20Estado%20instituiu,%20dos%20im%C3%B3veis%20rurais%20no>. Acesso em: 23 de nov. de 2020.

MENDES, C.A.B.; CIRILO, J.A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2001. 536 p

MELLO, C.R.; SILVA, A.M. Hidrologia: **Princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: Editora UFLA, 2013. P 33-72.

NAIME, R. **Impactos ambientais da agricultura**, 2019. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2019/02/14/impactos-ambientais-da-agricultura-artigo-de-roberto-naime/>. Acesso em: 10 de mar. de 2021.

OLIVEIRA, A.S. *et al.* **Características do meio físico da bacia hidrográfica do médio curso do rio Teles Pires**, no município de Alta Floresta, 2019. Disponível em: [file:///C:/Users/Marcio/Downloads/9437-36089-1-PB%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Marcio/Downloads/9437-36089-1-PB%20(2).pdf). Acesso em: 04 de dez. de 2021.

PANIZZA, A.C; FONSECA, F.P. **Técnicas de interpretação visual de imagens**. São Paulo, 2011, nº 30. pp.30-43. Disponível em: <http://citrus.uspnet.usp.br/geosp/ojs2.2.4/index.php/geosp/article/viewfile/448/260> Acesso em 20 de jan. de 2021.

PICCILLI, D. **Sobre hidrologia**. *Ecotecnologia*, 2013. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/dga/index.php/hidrologia-hds402>. Acesso em: 25 nov. de 2020.

PINHEIRO, E.S. **Comparação entre dados altimétricos Shuttle Radar Topography Mission**, cartas topográficas e GPS: Numa área com relevo escarpado. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, v.58, n.1. p. 1-9, 2006.

PRADO, J.R.S. *et al.* **Qualidade da água do rio Teles Pires na área de influência direta da futura UHE SINOP**, MT, 2017. Disponível em: [file:///C:/Users/Marcio/Downloads/PAP022857%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Marcio/Downloads/PAP022857%20(1).pdf). Acesso em 05 de dez. de 2020.

RENNÓ, C.D.; NOBRE, A.D. **A new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia**. *Remote Sensing of Environment*, New York, v.112, n.9, p.3469-3481, 2008.

RUDORFF, B.F.T *et al.* **The soy moratorium in the Amazon biome monitored by remote sensing images**, 2011. *Remote Sensing*, 3: 185-202.

SANO, E.E.; ROSA, R.; B. **Notas científicas mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 2008, 43: 153-156.

SANTOS, J.; FERREIRA, R. **Planejamento Ambiental**, 2011. Disponível em: [file:///C:/Users/Marcio/Downloads/Planejamento_Ambiental%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Marcio/Downloads/Planejamento_Ambiental%20(1).pdf). Acesso em 30 de nov. de 2020.

SILVA, E.J. *et al.* **Sensoriamento remoto no monitoramento da qualidade dos recursos hídricos**, 2017. Disponível em: <http://revistas.unifoa.edu.br/index.php/cadernos/article/view/437/1159>. Acesso em: 20 de mar. de 2021.

SOBRINHO T.A. *et al.* **Delimitação Automática de Bacias Hidrográficas utilizando dados SRTM**, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n1/a05v30n1.pdf>. Acesso em: 07 de dez. de 2020.

SOUZA, R. **Aplicações do Sensoriamento Remoto**: Identificação das mudanças na cobertura vegetal nas florestas nacionais do Jamanxim, Itaituba II e Altamira no estado do Pará, dos anos de 1988 a 2020, 2021. Disponível em <https://www.passeidireto.com/arquivo/91050090/geotecnologias-aplicadas-as-ciencias-ambientais-volume-1-leandro-2021>. Acesso em: 30 de nov. de 2020.

SOUZA, C. **Diagnóstico da agricultura irrigada por pivô central na bacia hidrográfica do alto Teles Pires**: histórico e tendências, 2020. Disponível em: http://portal.unemat.br/media/files/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20FINAL_Claudin%C3%A9ia%20Aguiar%20de%20Souza.pdf. Acesso em: 06 de dez. de 2020.

TARBOTON, D.G.; BRAS, R.L.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. **On the extraction of channel networks from digital elevation data**. *Hydrological Processes*, Chichester, v.5, n.1, p.81-100, 1991. Disponível em: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=On+the+extraction+of+channel+net+works+from+digital+elevation+data&author=TARBOTON+D.G.&author=BRAS+R.L.&author=RODRIGUEZITURBE+I.&publication_year=1991&journal=Hydrological+Processes&volume=5&issue=1&pages=81-100. Acesso em: 30 de nov. 2020.

TOLERANCIA ZERO. **Operação apreende máquinas usadas no desmatamento ilegal**. Rem Mato Grosso, Mato Grosso, 12 de maio de 2021. Disponível em: <https://remmt.com.br/index.php/pt/noticias/itemlist/tag/planet>. Acesso em: 13 de maio de 2021.

THEODORO, S.H. 2002. **Conflitos e uso sustentável dos recursos naturais**. **Garamond**, Rio de Janeiro. 288p.

VALERIANO, M.M. **Dados topográficos**: Geomorfologia, conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p.72-104.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill, 1975. 245pp.