



**GEOPROCESSAMENTO APLICADO A ÁREA DE MEIO
AMBIENTE: Um estudo de caso da Vegetação e da Mata Ciliar
da Bacia Hidrográfica do Rio Capivari - SP¹**

GEOPROCESSING APPLIED TO THE ENVIRONMENTAL: A CASE STUDY OF VEGETATION AND
RIPARIAN FOREST OF THE CAPIVARI RIVER BASIN - SP

Abimael Carvalho da Rocha²

RESUMO

A área da Bacia Hidrográfica do Rio Capivari-SP enfrentou escassez hídrica entre os anos de 2013, 2015 e 2021, resultou em diminuição da oferta de água e prejuízos para a população que é atendida pelas águas da bacia, o problema se revela com diminuição da vazão do principal rio e como consequências aumento das tarifas, multas, corte e racionamento de água. O levantamento de dados sobre a vegetação e a mata ciliar, que protegem os cursos d'água e promovem sua qualidade com garantia da quantidade, traz elementos importantes para o entendimento do problema. Por meio do Processamento digital de imagens e do Sensoriamento Remoto, foi produzido mapas de Uso e Ocupação do Solo e do Índice de Vegetação pela Diferença Normalizada nos três momentos distintos, a comparação e análise dos mapas, não revelou mudança significativa na vegetação, mas constatou o uso incorreto das áreas da mata ciliar, que são definidas pela legislação como Áreas de Proteção Permanentes, essas informações podem contribuir para um melhor gerenciamento da Bacia Hidrográfica para promover aumento da quantidade e qualidade da água disponível, garantindo a expansão das áreas de vegetação e da mata ciliar para melhoraria da qualidade de vida da população.

PALAVRAS-CHAVE: Uso e Ocupação do Solo; NVDI; Planejamento; Crise Hídrica; QGIS .

ABSTRACT:

The area of the Capivari River Watershed-SP faced water scarcity between the years of 2013 and 2015 and in 2021, resulted in a decrease in the supply of water and losses for the population that is served by the waters of the basin, the problem is revealed with a decrease in the

¹ Pesquisa realizada para a obtenção da conclusão do curso de pós-graduação lato sensu em Geoprocessamento pela PUCMinasVirtual.

² Discente do Curso de Mestrado do Programa de pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, sob orientação do professor Dr. João Cleps Junior. E-mail: abimaelgeografia@gmail.com; Trabalho corrigido e editado com apoio de bolsa de Mestrado concedida pela CAPES.

flow of the main river and an increase in tariffs, cutting and rationing of water. The collection of data on vegetation and riparian vegetation, which protect water courses and promote their quality with a guarantee of quantity, brings important elements to the understanding of the problem. Through Digital Image Processing and Remote Sensing, producing maps of Land Use and Occupancy and of the Normalized Difference Vegetation Index at the three different moments, revealed an increase in vegetation and the incorrect use of riparian forest areas, which are defined by legislation as Permanent Protection Areas, this information can contribute to a better management of the Hydrographic Basin, promoting an increase in the amount of available water, guaranteeing the expansion of vegetation areas and riparian forest, improving the population's quality of life.

KEYWORDS: Land Use and Occupancy; NVDI; Planning; Water Crisis; QGIS;

INTRODUÇÃO

Uma severa crise hídrica se abateu sobre a Região Metropolitana de Campinas na segunda década do século XXI, com graves prejuízos à população. Seus impactos causam prejuízos econômicos, elevam o valor da tarifa de água e diminui o acesso da população a esse bem indispensável à produção da vida e do vivido.

Com dados disponibilizados pelo comitê de Bacias de um de seus rios, o Rio Capivari, responsável pelo abastecimento de parte da cidade de Campinas e outros municípios de Região Metropolitana e com o auxílio das tecnologias de geoinformação foi possível buscar a causa dessa crise a partir de variáveis ambientais e assim buscar os elementos necessários para a sua solução.

Nesse artigo exponho o resultado da pesquisa que foi realizada para a conclusão de um curso de pós-graduação *lato sensu* em Geoprocessamento e onde procuro demonstrar se há correlação entre os impactos antrópicos sobre a paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Capivari, especificamente sobre a vegetação, em particular a Mata Ciliar e a crise hídrica.

Para a busca dessa resposta foi adotada a análise da paisagem por meio do Geoprocessamento e o Processamento Digital de Imagens, com os produtos sendo mapas de Índice de Vegetação pela Diferença Normalizada – NVDI e mapas de Uso e Ocupação do Solo, em períodos diferentes para entender os impactos e a relação com a diminuição do fluxo de água na Bacia Hidrográfica, também foi consultado a bibliografia sobre o tema e utilizado o software QGIS. As imagens de satélites utilizadas foram obtidas junto ao Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey*), que a disponibilizam em seu site de forma gratuita mediante um cadastro, imagens SRTM e do satélite da série *Landsat*.

Os resultados foram satisfatórios, respondendo à pergunta inicial de correlação a partir dos produtos confeccionados, foi ainda de importante do ponto de vista metodológico, permitindo domínio das etapas de confecção dos tipos de mapas aqui expostos, além dos processos de correção de imagens ou as formas de se obter o combinação delas por meio da técnica de mosaico, o processo está descrito em suas pormenoridades nesse artigo permitindo a sua replicabilidade para outros fins, por fim a pesquisa demonstrou que o processo de utilização das geotecnologias é ao mesmo tempo um processo de construção de conhecimento.

CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA E DA ÁREA DE ESTUDOS

Nos anos de 2013, 2014 e 2015 houve um sério problema de escassez hídrica, também denominada de “Crise Hídrica” (Marengo; Alves, 2015, p. 486), na Região Metropolitana de Campinas - RMC, problema agravado pelo conflito de água com o Sistema Cantareira, que abastece a Região Metropolitana de São Paulo, e com a estação seca que atinge essa região entre os meses de maio a setembro. Os impactos sobre a população manifestam-se sob diversas formas, como racionamento e corte de água, punições para desperdício, além do aumento das contas de energia e de água. Em Campinas a tarifa de água, no ano de 2015, foi elevada duas vezes num período de 12 meses (ANAWAZA, 2018, p. 361). A escassez hídrica se repete em 2018 e 2021 (G1 Campinas e região, 2018; G1 Campinas e Região; EPTV, 2021; VINHEDO, 2021).

A região está dentro dos limites das Bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (Bacias PCJ), onde predomina o uso de águas superficiais para o abastecimento público. O problema não pode ser creditado apenas aos “menores volumes pluviométricos, indicando outros fatores, tais como a gestão da demanda e a garantia da oferta” (ANAWAZA, 2018, p.351), para Marengo e Alves “a crise hídrica foi gerada por uma conjunção de fatores, entre eles, a falta de gerenciamento dos recursos hídricos” (Marengo: Alves, 2015, p. 487).

Bacias Hidrográficas são unidades de gestão e planejamento ambiental regulamentadas pela Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº9433/1997), assim, analisando a vegetação e a mata ciliar de determinada bacia hidrográfica, com ajuda das técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, conseguimos entender o estado de conservação de suas águas.

Dados do Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (CBH-PCJ), do posto de monitoramento denominado de Reforma Agrária³, indicam que a vazão do Rio Capivari vem diminuindo desde 2016, com as vazões médias sendo:

³ Não há série histórica da vazão do rio Capivari, os dados da média da vazão têm início em 2016.

Tabela: Vazão do Rio Capivari na Estação hidrológica Reforma Agrária

Rio Capivari - Reforma Agrária (E4-063/4E-027) / Campinas	
ANO	Vazão Média Anual (m³/s)
2016	3,826
2017	2,987
2018	1,879
2019	2,634
2020	1,274

Fonte: Sala de Situação PCJ/ DAEE

Sob a Bacia do Rio Capivari temos uma população que ultrapassa 2,5 milhões de habitantes, dentro dos limites da bacia estão cinco municípios da Região Metropolitana de Campinas (RMC), são eles Campinas, Monte Mor, Valinhos, Vinhedo e Indaiatuba. Encontramos também, sob a bacia, importantes rodovias do Estado de São Paulo, como a Rodovia dos Bandeirantes (SP 348), Rodovia Anhanguera (SP 330), a Rodovia Santos Dumont (SP 300) e o Aeroporto Internacional de Viracopos (COMITÊS PCJ/AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2020, pp. 52-59).

As unidades do relevo do sítio natural da região da bacia encontram-se sob uma faixa de transição entre os Planaltos e Serras do Atlântico Leste Sudeste para a Depressão Periférica da Borda leste da Bacia do Paraná (Ross, 2009. p. 53), com predomínio de morros na parte oriental da bacia e modelado diverso na parte ocidental. Também encontramos transição em relação à vegetação, com a parte leste sob domínio da Mata Atlântica e a parte oeste com domínio do Cerrado (Conti; Furlan, 2009, p. 204) (Christofoletti; Federici, 1972, p. 27). O Clima da bacia é o Tropical de Altitude (Conti; Furlan, 2009. p. 107) com período de chuvas concentrado no verão e estiagem nos meses de inverno (Christofoletti; Federici, 1972, p. 71).

A economia é dinâmica, os municípios da RMC possuem um parque industrial diversificado e moderno, uma estrutura agrícola e agroindustrial significativa, assim como um expressivo setor terciário, com destaque para o setor de pesquisas científicas e tecnológicas (EMPLASA, GIP/CDI, 2018 - PDUI). Jundiaí possui um parque industrial diversificado, dinâmico, próximo de grandes centros consumidores e ainda tem uma grande produção agrícola. Os outros municípios da Bacia Hidrográfica têm suas economias voltadas para a agropecuária com destaque para a produção de Cana de Açúcar (IBGE, 2021).

As transformações antrópicas observadas na Bacia Hidrográfica do Rio Capivari nos indica que as normas da legislação vigente, o Código Florestal, não vem sendo respeitadas, essa normatização coloca que em zonas rurais ou urbanas, “as faixas marginais de qualquer curso d’água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular” (Lei Nº 12.651/2012), estabelecendo as faixas mínimas, segundo a largura do curso d’água, como sendo Áreas de Proteção Permanentes. Assim aqui se propõe o estudo com levantamento de como está a ocupação dessas áreas, para se entender se há relação entre a Mata Ciliar e a diminuição da vazão do rio, e ainda ser uma ferramenta de subsídio às ações de planejamento com intuito de manutenção e promoção da vegetação nativa e principalmente das matas ciliares na área da bacia hidrográfica, e caso seja constatado correlação, possibilita uma ação corretiva.

Justifica esse estudo a questão das interferências antrópicas causarem impactos na paisagem e alteração na qualidade e a disponibilidade dos recursos hídricos, a retirada da cobertura vegetal, a impermeabilização e/ou compactação do solo, o que acarreta a diminuição da precipitação local e o aumento do escoamento superficial, diminuição da infiltração, aumento da erosão dos solos, diminuição do estoque de água subterrânea, aumento do assoreamento de córregos e rios, alterações do padrão da vazão de córregos e rios, alteração na qualidade da água, cheias e secas pronunciadas, além de problemas na qualidade da água para abastecimento (Collares, 2000).

Esses impactos quando na Mata Ciliar, afeta os corredores ecológicos, perda de diversidade, aumento da temperatura da água dos corpos hídricos, a diminuição de oferta de alimentos para a fauna, tanto aquática quanto terrestre, aumento da erosão, assoreamento, aumento da poluição já que estas matas atuam como filtros, além de garantir boa umidade do ar e não deixam a água secar (Vaz; Orlando, 2012) (EMPRAPA, 2002). A manutenção e recuperação da mata ciliar e da vegetação da bacia podem ajudar os cursos d’águas a recuperem sua vazão, assim como garantir o suporte para a fauna local.

METODOLOGIA

A metodologia proposta foi por meio do levantamento do Uso e Ocupação do Solo da área da Bacia Hidrográfica do Rio Capivari nos anos de 2013, 2015 e 2021, anos que coincide com os dados de vazão da bacia, para analisar se houve alteração substancial e constatar se há ligação entre a Mata Ciliar e os dados da vazão hidrológica. Para esta constatação é necessário a confecção dos mapas de classificação

supervisionada, assim como o levantamento do índice de vegetação de toda a área da bacia como contraprova, para verificar se está havendo supressão ou a promoção da vegetação dentro do período de análise. O objetivo é a busca de informação da relação entre a sociedade e o espaço que ela ocupa, para subsidiar ações de governança e manejo, a gestão ambiental, visando a recuperação e preservação da vegetação buscando correlação com a crise hídrica, dando subsídios para a garantia da qualidade dos cursos d'água que integram a Bacia hidrográfica do Rio Capivari.

É viável e de extrema importância a utilização do sensoriamento remoto para confecção dos mapas de Uso e Ocupação do Solo para análise das mudanças e dinâmicas de uma bacia hidrográfica. Freitas e Ortiz, 2005, indicam que “embora existam inúmeros métodos para detecção e quantificação de impactos ao meio ambiente, a aplicação de técnicas de processamento digital de imagens orbitais reduz o tempo e os custos desse processo” (Freitas e Ortiz, 2005, p. 103) além da qualificação dos usos do solo. A utilização de um Sistema de Informação Geográfica possibilita:

delimitar, caracterizar e quantificar as áreas de preservação permanente e confrontá-las com o uso atual da terra obtendo assim, as áreas de uso ilegal, ou seja, áreas que estão sendo usadas indevidamente de acordo com a legislação ambiental vigente. Essa metodologia pode ser adaptada para se estudar grandes áreas, contribuindo para orientação do uso correto da terra, bem como, proteção das áreas de preservação permanente, podendo evitar graves problemas ambientais, os quais podem advir do uso indevido da terra (Santos, 2001, p.1168).

O estudo de vegetação para o comparativo com o Uso e Ocupação do Solo é a partir do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NVDI, cujos valores vão de -1 a 1, correspondentes aos números digitais que se relacionam com a qualidade da vegetação, quanto mais próximo de 1, maior o vigor, podendo indicar onde se encontra as áreas com cobertura vegetal e áreas degradadas (Borrato; Gomide, 2013). Os

índices representados em forma de mapas temáticos ainda poderão ser utilizados para subsidiar um Sistema de Informações Geográficas (SIG), que aliados a técnicas de geoprocessamento poderão realizar análises espaciais mais específicas que possam vir a viabilizar o monitoramento a médio e longo prazo, resultando em diagnósticos aplicados ao planejamento ambiental (Sanini et al., 2019, p. 86),

Os mapas de NVDI serão confeccionados aliado ao buffer, seguindo a legislação que indica que cursos d'água de até 10 metros de largura devem ter uma APP de 30 metros ao entorno das suas margens (Lei Nº 12.651/2012). Este índice é um importante indicador de qualidade ambiental e pode contribuir com diagnósticos ambientais (Rêgo et al., 2012), assim o levantamento de dados e a confecção dos

mapas, através das técnicas de sensoriamento remoto podem indicar se há correlação entre a Mata Ciliar e a diminuição da vazão na Bacia Hidrográfica em estudo e pode subsidiar ações de planejamento ambiental.

Este estudo de caso, apresenta produtos cartográficos e suas análises, na área de Meio Ambiente, utilizando técnicas de processamento digital de imagens e sensoriamento remoto. Nas 4 etapas foi utilizado o software QGIS 10.16.14.

O Geoprocessamento na área de meio ambiente

O Sensoriamento Remoto consiste na obtenção de dados de um determinado objeto à distância, por meio de satélites, aviões ou drones, é a “obtenção de informações sem entrar em contato direto com a área ou fenômeno sob investigação” (IBGE, 2001, p. 13). Essas informações podem ser usadas “para mapeamento e avaliação de recursos terrestres e monitoramento ambiental” (IBGE, 2001, p.13), nos dá visão holística da paisagem,

a delimitação das unidades territoriais básicas sobre uma imagem de satélite permite o acesso às relações de causa e efeito entre os elementos que a compõem, oferecido pelas diferentes resoluções (espacial, espectral, temporal e radiométrica) da imagem. (Crepani et al. 2001. p. 13.)

Existem uma diversidade de softwares livres e comerciais, dados de sensores remotos e dados cartográficos disponíveis para o levantamento das características do espaço geográfico, estas tecnologias permitem a captação, armazenamento, visualização, identificação, localização, classificação, manipulação, mapeamento e exportações de dados geográficos, possibilitando análise qualitativa e quantitativa dos fenômenos naturais e antrópicas no espaço, dando a extensão e intensidade dos impactos, ou seja, da relação da sociedade com o espaço que ocupa e pratica as ações necessárias para sua produção e reprodução, permitindo a comparação temporal, com imagens pretéritas da área estudada, auxiliando no monitoramento e o planejamento ambiental (Freitas; Ortiz, 2005).

O avanço dessas tecnologias tem permitido eficiência no mapeamento do uso e ocupação do solo, são recursos que possibilitam melhor compreensão do espaço subsidiando a tomada de decisões. O estudo do meio ambiente envolve o levantamento de dados e aplicação de métodos de avaliação das características e formas de uso e ocupação do solo e as transformações na paisagem permitindo elaborar um diagnóstico

das interferências antrópicas sob o meio físico. Desta maneira o estudo ambiental nos dá a dimensão da

interação entre os diversos atributos do sistema natural e antrópico permite a identificação dos atributos responsáveis pela dinâmica da paisagem, como também identifica as principais fragilidades ambientais de cada unidade, elemento essencial na gestão do território. (Campos et al., 2019, p.6)

REFERENCIAL TEÓRICO:

Processamento digital de imagens e sensoriamento remoto:

Todos os processos foram realizados utilizando o software QGIS – 10.16.14. O processamento digital das imagens teve início com a correção atmosférica das imagens através do método DO 1 implementado no *plugin Semi automatic classification*, para evitar resultados

tendenciosos quando envolve razões entre as bandas (IBGE, 2001, pp. 83-84), depois foi realizado a Reprojeção das coordenadas já que as imagens do LandSat8 quando baixadas estão com projeção para o hemisfério Norte. Na sequência foi realizado a composição colorida com o modelo RGB (IBGE, 2001, p. 49), também foi necessário alterar o Contraste da imagem para uma melhor visualização.

Para obtenção da área da bacia para posterior recorte da área de estudos, foi utilizado imagens SRTM, que após serem reprojatadas, e com as ferramentas *r.watershed* e *r.water.outlet* obteve-se a área da bacia e a rede de drenagem em formato de arquivo *shapefile*, que foi usado para o traçado do buffer, a delimitação da área de 30 metros ao entorno dos corpos d'água.

O *shapefile* de delimitação da bacia serviu como máscara para o recorte das imagens cujo produto foi utilizado para a classificação de Uso e Ocupação do Solo, utilizando a imagem de composição colorida, realizada de forma supervisionada. O objetivo foi enquadrar cada pixel a uma classe, para tanto foram escolhidos 200 pontos de cada uma das 4 classes nas imagens como parâmetro de classificação.

Para o cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NVDI, com imagens do sensor OLI, foi utilizado a expressão da diferença entre a Banda do Infravermelho próximo e a Banda do Vermelho dividido pela soma das Bandas do Infravermelho próximo com a Banda do Vermelho $\{ [IVP(\text{banda 5 do LandSat8}) - V(\text{banda 4 do LandSat8})] / (IVP + V) \}$.

A utilização do NVDI indica a densidade de biomassa e o crescimento e desenvolvimento da vegetação (Fagundes; Torres, 2015) essa técnica de análise de

vegetação foi escolhida porque foi empregada com sucesso no trabalho: Índices de Vegetação para Avaliação da Cobertura Vegetal de uma Bacia Hidrográfica e “produz uma escala linear de medida, onde os valores podem variar entre -1 a 1, sendo valores próximos a 1 para maiores densidades de vegetação e valores próximos de 0 consideram-se ausência de vegetação” (Sanini et al., 2019, p. 83). Já a classificação do Uso e Ocupação do Solo foi utilizada no trabalho expresso no artigo Uso e Ocupação do Solo para Planejamento de Bacias Hidrográficas, os autores indicam que “o conhecimento do uso e ocupação do solo pode ser utilizado na análise de danos em áreas verdes, rede de drenagem e áreas urbanas, fornecendo condições para o estabelecimento de planos de manejo adequado” (Pollo et al., 2019, p.2).

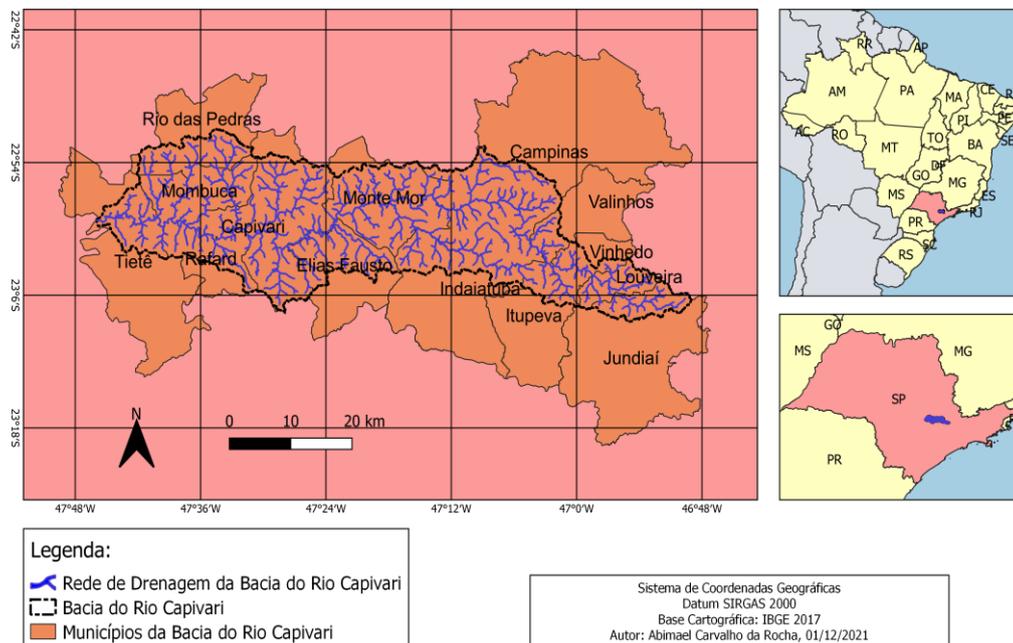
A técnica do NVDI vem sendo empregadas para o levantamento das condições da vegetação, indica segundo o parâmetro que vai de -1 a 1 a densidade da vegetação, já técnica de Uso e Ocupação do Solo vem sendo empregado nos estudos de bacias hidrográficas para indicar os danos que a vegetação, assim como a mata ciliar, vem sofrendo ao longo do tempo, nos dando elementos para um melhor planejamento das bacias hidrográficas. Os estudos de bacias hidrográficas analisados utilizam de metodologias de USO e Ocupação do Solo e de Índices de Vegetação de forma separadas, aqui optou-se por unir as metodologias para se ter parâmetros para comparação. Assim, temos semelhança quanto das metodologias utilizadas por outras pesquisas e se diferença ao unir os métodos.

O mapa da área de estudo foi elaborado utilizando técnicas da semiologia gráfica apresentadas por Bertin (1967) que objetivam a melhor visualização e comunicação. A tarefa essencial da semiologia gráfica visa uma utilização racional da linguagem cartográfica obedecendo às três relações fundamentais da informação: Diversidade (\neq), Ordem (O), Proporcionalidade (Q).

Dessa maneira, as informações da área de estudo, basicamente, com a variação visual de forma, tamanho, orientação, cor, valor e granulação permitem localizar, ordenar e organizar a área geográfica estudada. Para isto, princípios cartográficos relacionados à semiologia gráfica, projeção cartográfica, sistema de coordenadas e escalas, destacados por Rosette e Menezes (2011) foram seguidos. Assim o ambiente geográfico de estudo é a Bacia Hidrográfica do Rio Capivari, afluente do Médio Tietê que abrange uma área de 1.568 km², localizada na porção centro-leste do Estado de São Paulo. Nos limites da Bacia se encontra os municípios de Campinas, Capivari, Elias

Fausto, Hortolândia, Indaiatuba, Itupeva, Jundiaí, Louveira, Mombuca, Monte Mor, Rafard, Rio das Pedras, Tietê, Valinhos e Vinhedo, conforme mapa abaixo.

Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Capivari



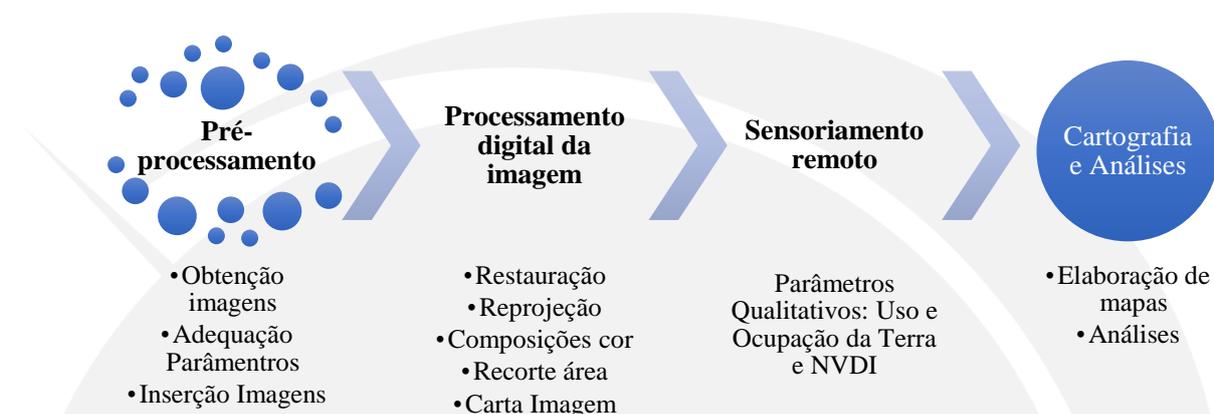
Fonte: autoria própria

A população estimada dos municípios que integra a área da Bacia hidrográfica do Rio Capivari, é de 2.707.057 pessoas. O município com maior IDH é Valinhos com índice de 0,819, com menor IDH temos o município de Mombuca com índice de 0,719. O Bioma, em 2019, predominante em todos esses municípios é o de Mata Atlântica. Sobre o Esgotamento Sanitário Adequado, os dados indicam que há 10 municípios com os domicílios em taxa de 90%, o maior índice sendo do município de Rio das Pedras com 99%, enquanto tem-se 3 municípios com taxas entre 82,9% e 89,2%, os dois municípios com menor índice dentro desse dado são Monte Mor e Hortolândia com 68% e 51,9% respectivamente (IBGE, 2021).

ETAPAS DA PESQUISA

O experimento foi desenvolvido em quatro etapas, elaboradas em um conjunto de passos, sintetizados na figura 2 e detalhadas em seguida.

Etapas da Elaboração dos Mapas e Análises



Fonte da imagem: produção própria.

Na etapa 1, pré-processamento, são realizados os passos A, B e C.

A. Obtenção das imagens; B. Adequação dos parâmetros: correção radiométrica; C. Inserção das imagens da área.

Na etapa 2, processamento digital da imagem, são realizados os passos D, F, G, H e I, explorando as potencialidades das imagens digitais (imagens orbitais) através do uso de técnicas de PDI.

D. Restauração das Imagens; E. Reprojecção para o hemisfério sul; F. Composições coloridas; G. Aplicação de filtros; H. Recorte da área de trabalho; I. Preparação da Carta Imagem.

Na etapa 3, sensoriamento remoto, são extraídas informações qualitativas das Imagens Orbitais. Para isto, sendo realizado o seguinte passo:

J. Classificação das Imagens, para parâmetros qualitativos, através da aplicação de métodos supervisionados de classificação, bem como a classificação de comparações entre os períodos das imagens.

Na etapa 4, é realizada a elaboração de produtos cartográficos e suas respectivas análises.

Na etapa de pré-processamento (etapa 1) foram adquiridas imagens do catálogo do *EarthExplorer* (USGS), imagens SRTM, 1 arco segundo, e imagens do *LandSat* 8, nível 1, com resolução de 30 metros, estas imagens possuem correção geométrica,

porém com projeção para o hemisfério Norte. As imagens SRTM, de 23/09/2014, foram utilizadas para delimitação automática da área e rede de drenagem da Bacia Hidrográfica, para tanto foi utilizado o pacote GRASS do QGIS com as ferramentas *r.watershed* e *r.water.outlet*. Estão disponíveis imagens SRTM de toda a extensão do território nacional, a área da bacia está em duas cenas a 219-076 e a 220-076, assim foi necessário fazer um mosaico com as imagens. Já as imagens para a classificação de Uso e Ocupação do Solo estão disponíveis para vários períodos do ano, como o satélite faz a varredura por cena não é possível obter as imagens das cenas diferentes com a mesma data, assim as imagens apresentam datas o mais próximo possível. São de três períodos o conjunto de imagens para classificação de Uso e Ocupação do solo, segundo os critérios de busca, com as cenas com no máximo 10% de cobertura de nuvens, há disponível 18 imagens do período de 2013 a 2015, já as de 2021 estão disponíveis 5 imagens, as imagens escolhidas de 2013 tem as seguintes datas: 219-076 de 12/05/2013 e a da cena 220-076 de 06/07/2013, as de 2015 com datas de: 219-076 de 22/08/2015 e a da cena 220-076 de 29/08/2015, já as de 2021 com as datas de: 219-076 de 22/08/2021 e a da cena 220-076 de 12/07/2021. A busca pelas imagens foi feita dentro do período em que a área de estudos apresenta estiagem para ter uma menor cobertura de nuvens. O mosaico confeccionado por essas imagens, recortado pela extensão da bacia hidrográfica, foi utilizado para o cálculo do Índice de Vegetação Normalizado - NVDI.

Etapa de Processamento Digital da Imagem-PDI (Etapa 2): Foram utilizadas as imagens das bandas 2, 3 e 4, bandas do azul, verde e vermelho para composição colorida RGB a ser utilizada para classificação do Uso e Ocupação do Solo. Já para a composição do NVDI foi utilizado as bandas 4 e 5, vermelha e infravermelho próxima. Não foi necessário fazer a restauração das imagens, apenas melhoria do contraste, feito pelo *software*, a alteração do contraste facilita a observação e identificação dos alvos. A classificação foi feita de forma supervisionada com a utilização do complemento *Dzetsaka*, com identificação dos seguintes alvos: Urbano, Vegetação, Agropecuária e Solo Exposto.

As etapas de classificação, para cada um dos períodos, foram as seguintes: Etapa 1: Inserção da imagem com composição colorida, RGB, bandas 4, 3 e 2 da área de estudo. Etapa 2: foi adicionado uma camada *shapefile*, para alocação dos pontos nos alvos, cada alvo uma classe numérica diferente, indo de 1 a 4, com duzentos pontos em cada um dos 4 alvos. Não foi feito o levantamento dos alvos em campo, toda a escolha

dos alvos foi feita a partir da imagem. Os alvos são Urbano: para as áreas com construções, rodovias, indústrias, aeroporto, e outros objetos de engenharia e construções; Vegetação: vegetação nativa, mata ciliar, silvicultura, áreas arborizadas; Agropecuária: plantações e pastos; Solo Exposto: solo sem cobertura vegetal ou construções. Etapa 3: Classificação Supervisionada da Imagem com o complemento *Dzetsaka*. As cores dos alvos foram dadas pelo sistema RGB segundo os critérios do Sistema de Classificação da Terra do IBGE -SCUT/IBGE (IBGE, 2013, p. 151), com as cores para cada classe sendo: Urbano: R 255, G 168 e B 192; Vegetação Nativa e Silvicultura: R 115, G 168 e B 0; Agropecuária: R 214, G 255 e B 168; por fim Solo Exposto: R 178, G 178 e B 178.

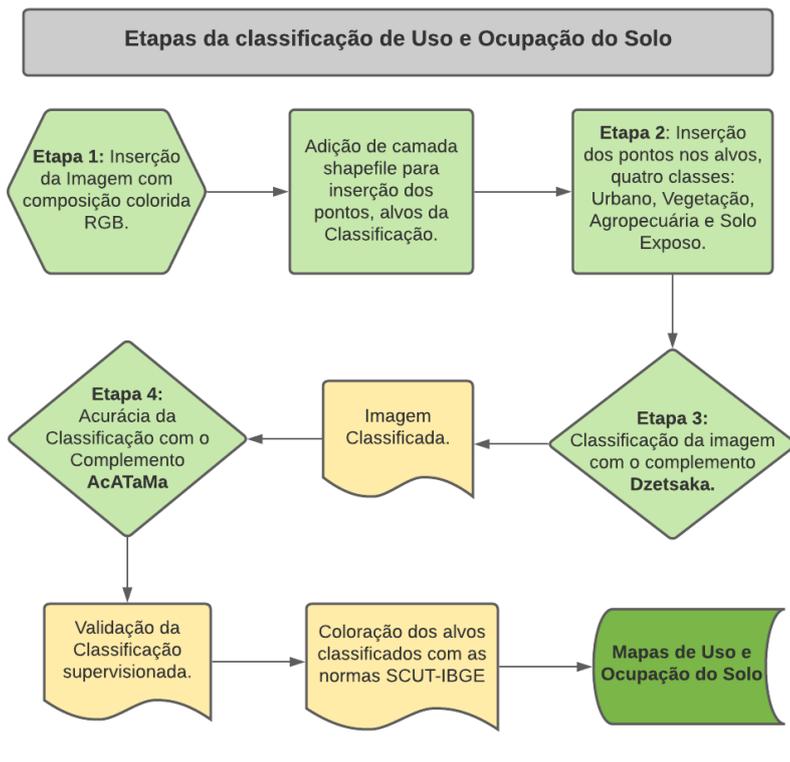
Etapa 4: Acurácia da classificação com o complemento *AcATaMa*, sendo que quanto mais próximo de 1 for, maior é a qualidade da classificação. A validação da classificação resultou em:

Acurácia Uso e Ocupação do Solo 2013, Urbano: 0,87, Vegetação: 0,99, Agropecuária: 0,96, Solo Exposto: 0,93, total: 0,96.

Acurácia Uso e Ocupação do Solo 2015, Urbano: 0,82, Vegetação: 0,9, Agropecuária: 0,97, Solo Exposto: 0,84, total: 0,92.

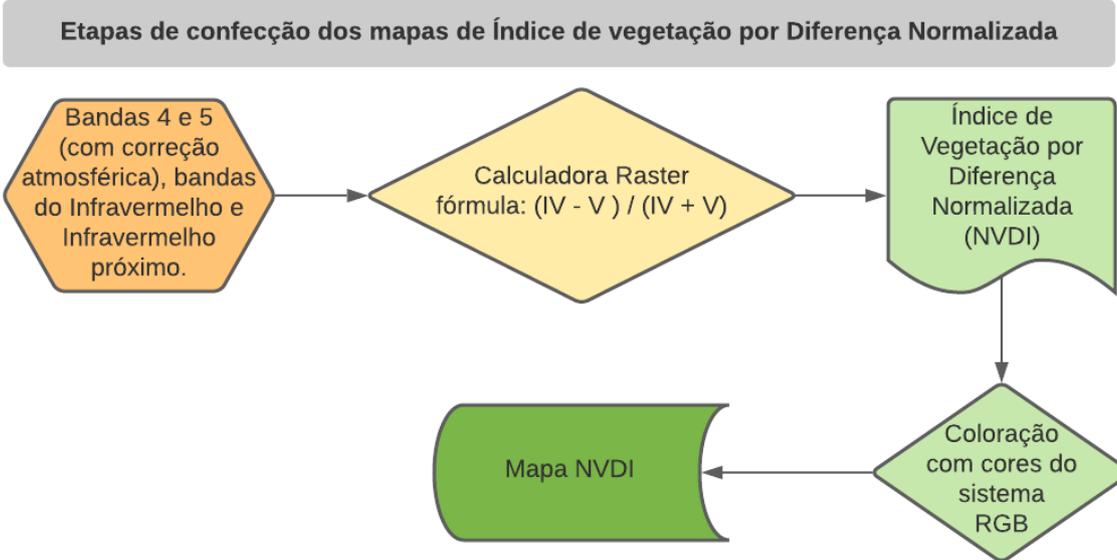
Acurácia Uso e Ocupação do Solo 2021, Urbano: 0,78, Vegetação: 0,98, Agropecuária: 0,85, Solo Exposto: 0,96, total: 0,89.

A carta de Uso e ocupação do Solo de 2013, 2015 e 2021, apresenta as configurações da ocupação territorial e revela as formas de interação da sociedade com a bacia hidrográfica. Em cor rosa fica demonstrado a rede urbana, com estradas, moradias, edifícios, aeroporto e construções significativas. Já na cor verde escuro temos a vegetação nativa, a mata ciliar e algumas áreas de silvicultura, cujos números digitais são parecidos ou o mesmo que os da mata ciliar e vegetação nativa. Em verde claro temos as áreas de agropecuária, com agricultura, principalmente plantações de cana-de-açúcar e pastagens. Em cinza temos as áreas de solo exposto, essas áreas são tanto aquelas que estão sendo preparadas para lavoura, quando áreas de solo desgastados pelo uso intensivo na pecuária, porém encontra-se também áreas desmatamento para novos usos e áreas que estão sendo preparadas para construções de galpões e novos bairros. As cartas imagens são apresentadas nas figuras 5, 6 e 7.



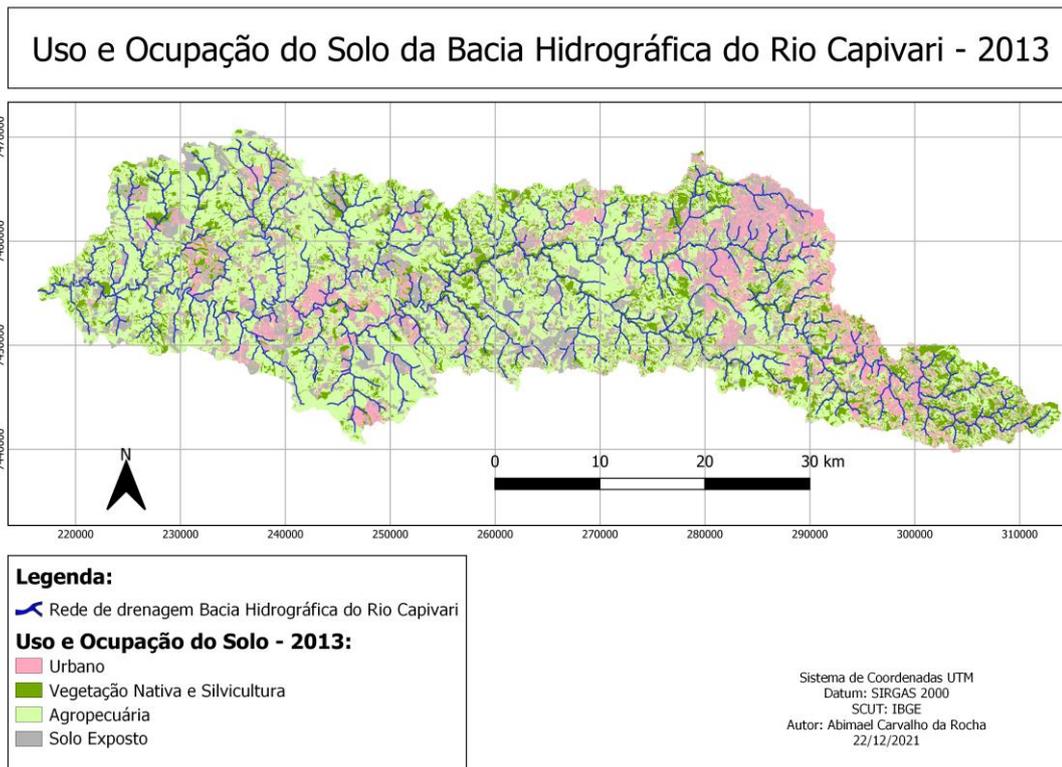
Fonte: autoria própria.

As cartas de NVDI foi colorida seguindo o sistema RGB, sendo que as classes seguiram os índices dos menores para os maiores: vermelho: R 211, G 22 e B 22; Laranja: R 211, G 95 e B 22; Amarelo: R 255, G 238 e B 168; e Verde: R 0, G 68 e B 27. Assim obteve-se um padrão para a coloração das cartas dos três períodos, facilitando a leitura e comparação. Estes produtos cartográficos são apresentados nas figuras 6, 7 e 8.

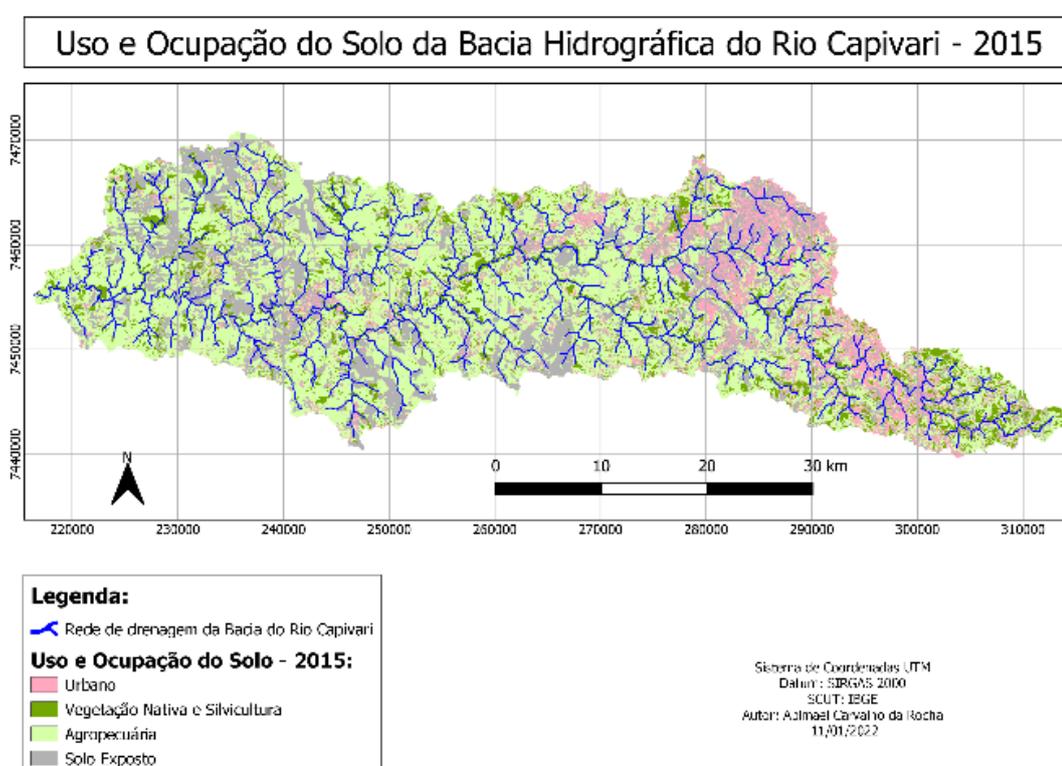


Fonte: autoria própria

RESULTADOS E ANÁLISES:

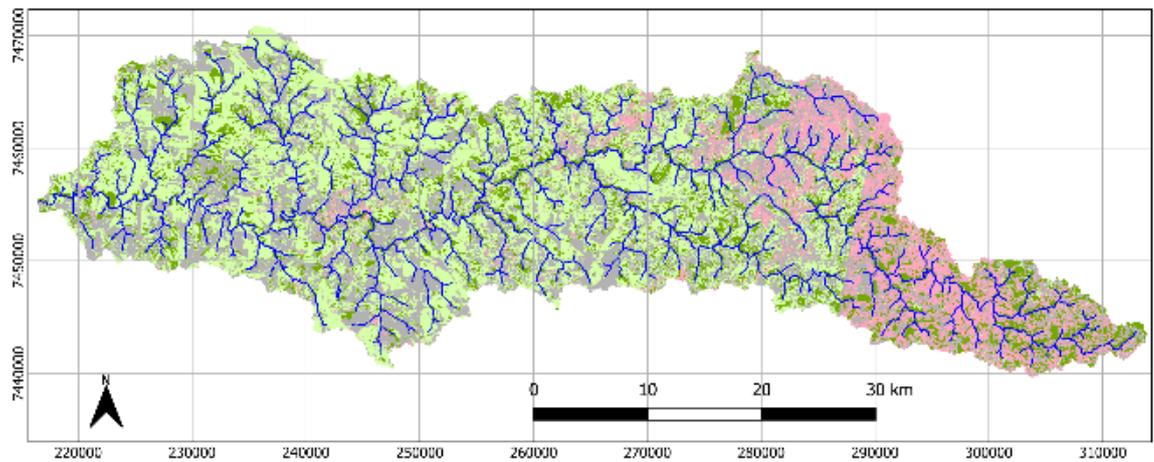


Fonte: autoria própria.



Fonte: autoria própria

Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Capivari - 2021



Legenda:

Rede de Drenagem da Bacia do Rio Capivari

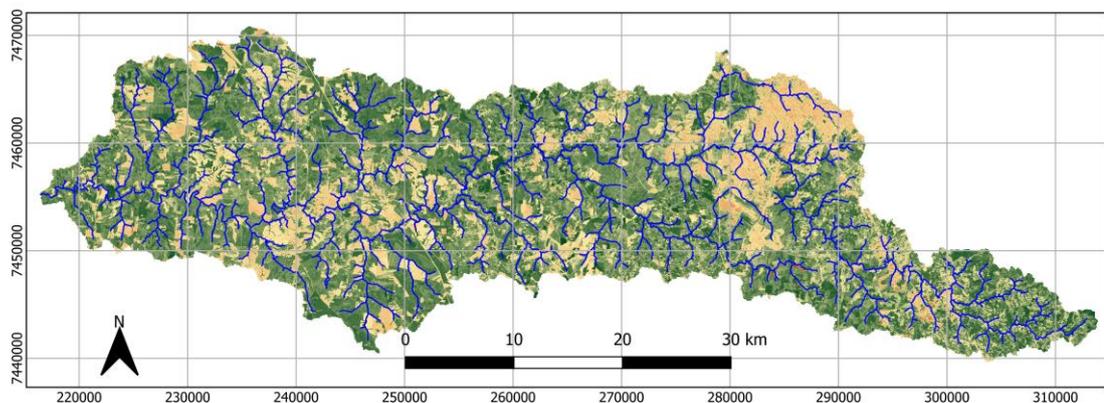
Uso e Ocupação do Solo - 2021:

- Urbano
- Vegetação e Silvicultura
- Agropocuidria
- Solo Exposto

Sistema de Coordenadas UTM
Datum: SIRGAS 2000
SCUT: IBGE
Autor: Abimael Carvalho da Rocha
11/01/2022

Fonte: autoria própria.

Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NVDI) - 2013



Legenda:

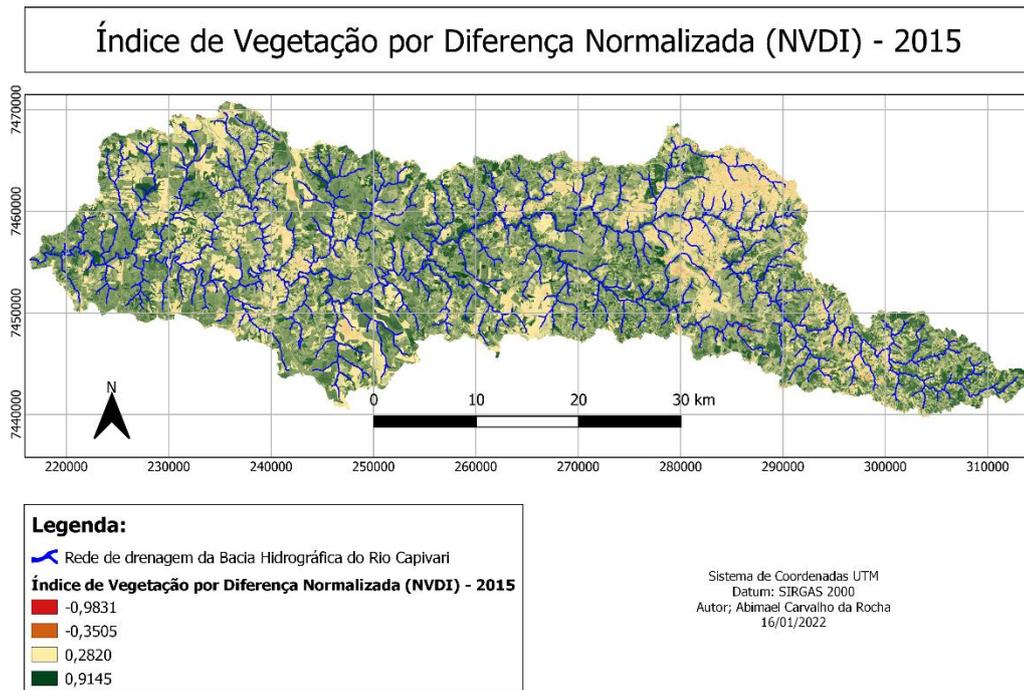
Rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Capivari

Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NVDI) - 2013

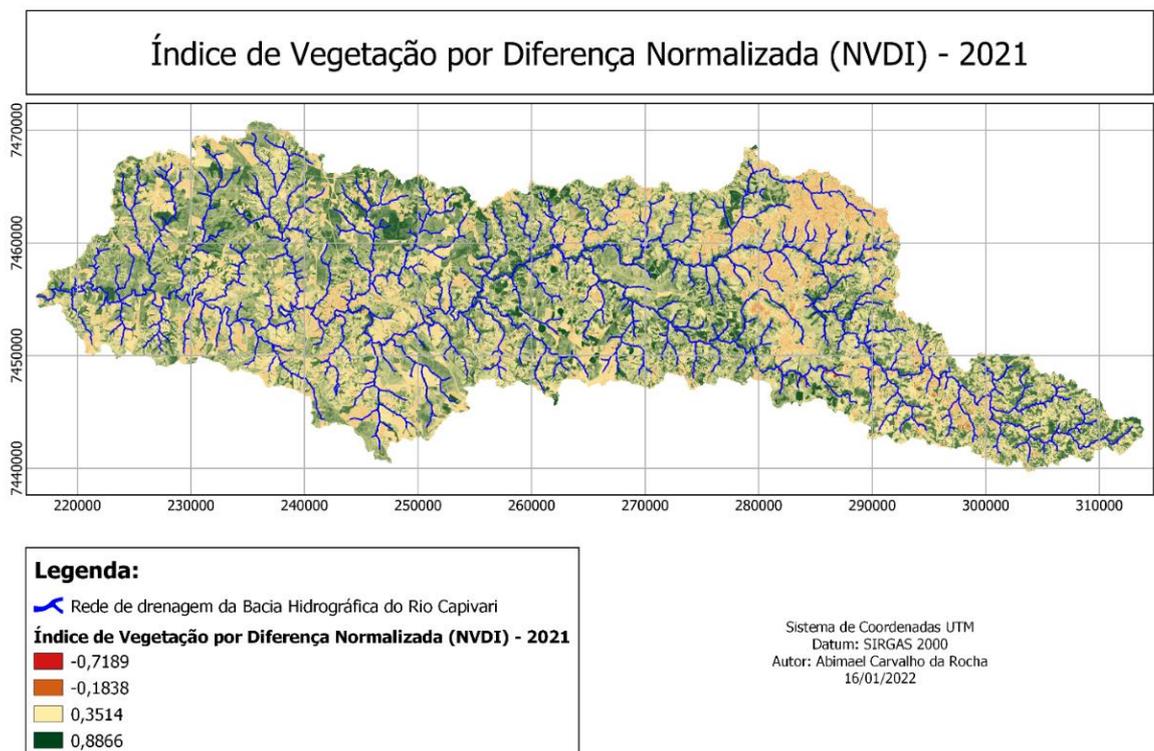
- 0,7158
- 0,1753
- 0,3652
- 0,9057

Sistema de Coordenadas UTM
Datum: SIRGAS 2000
Autor: Abimael Carvalho da Rocha
16/01/2022

Fonte: autoria própria.

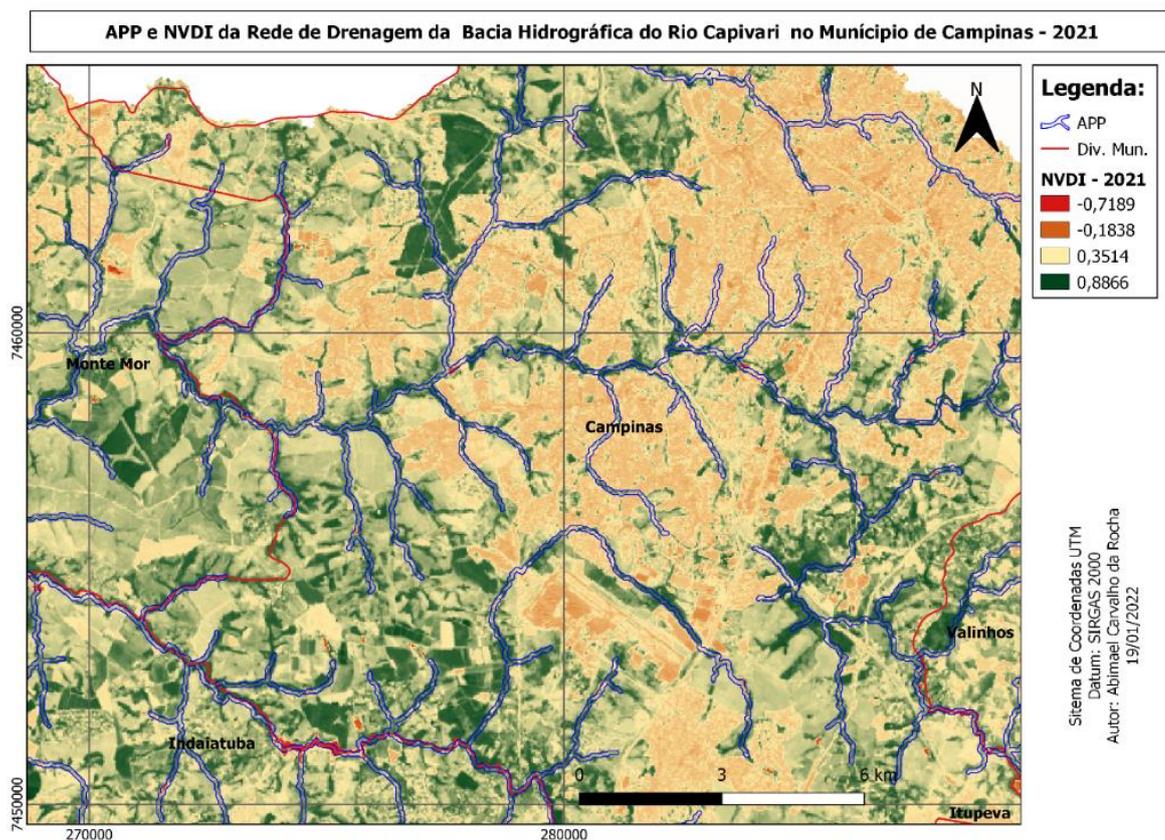


Fonte: autoria própria.

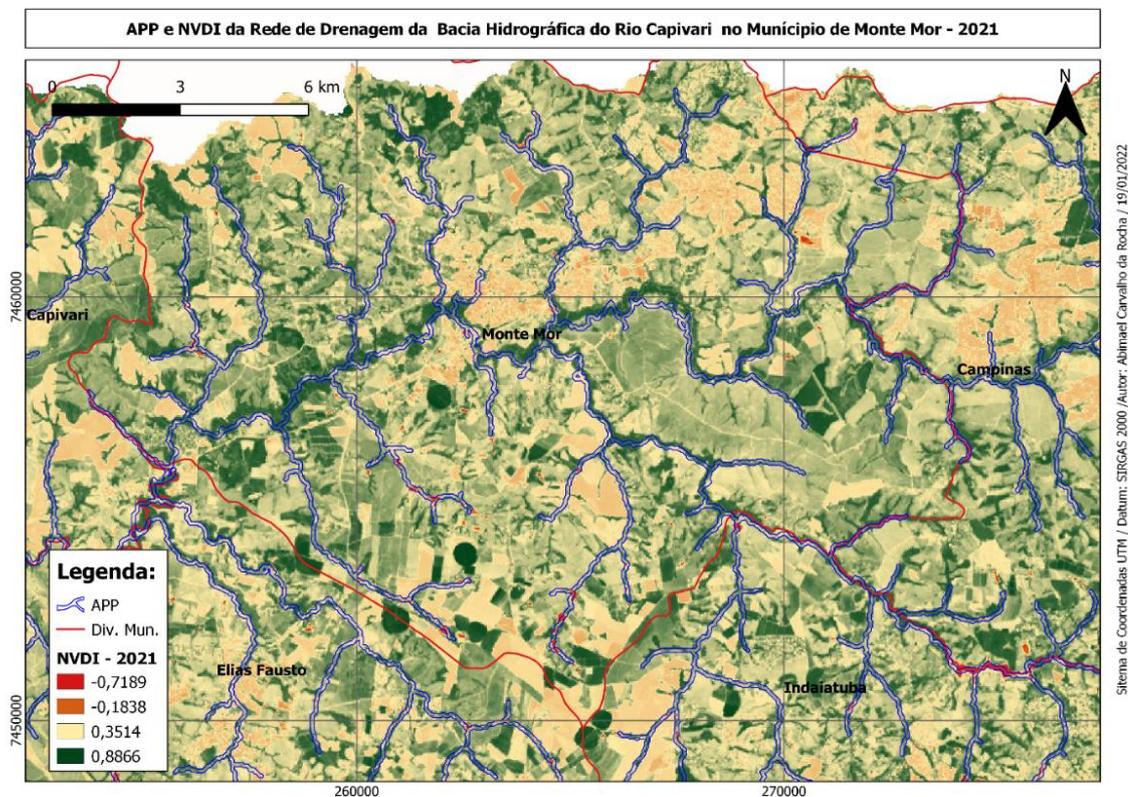


Fonte: autoria própria.

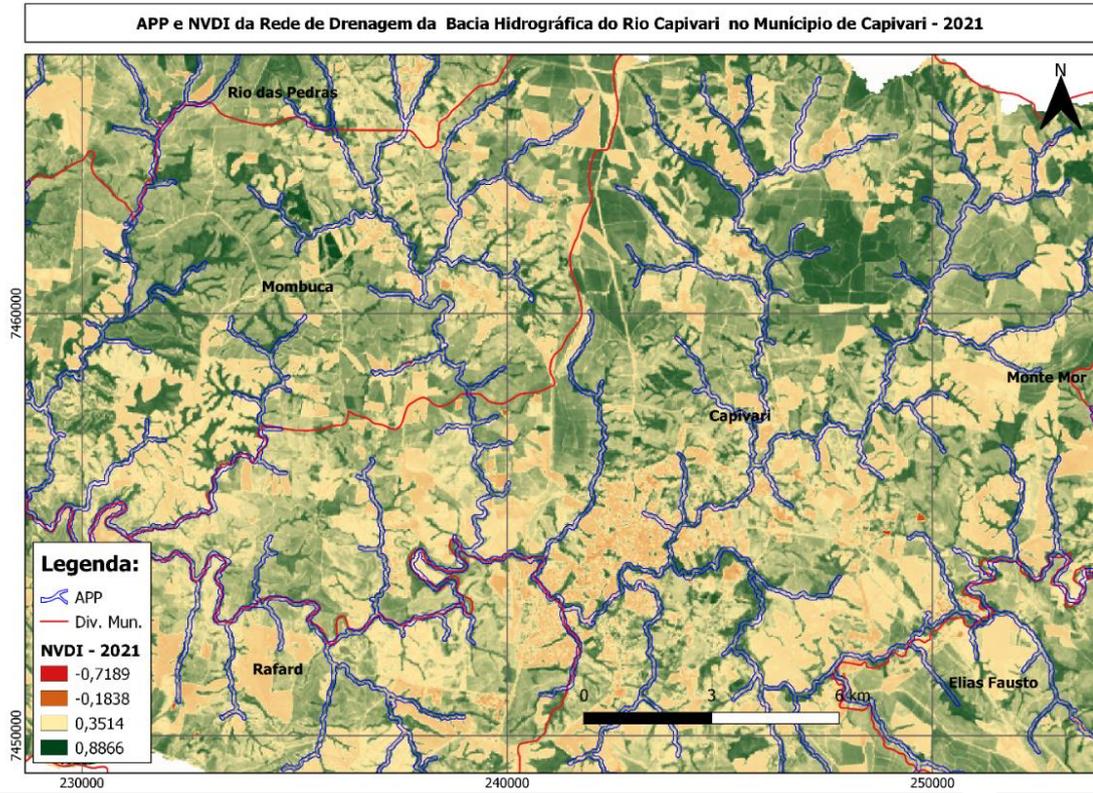
Exemplos das imagens geradas para análise no software QGIS:



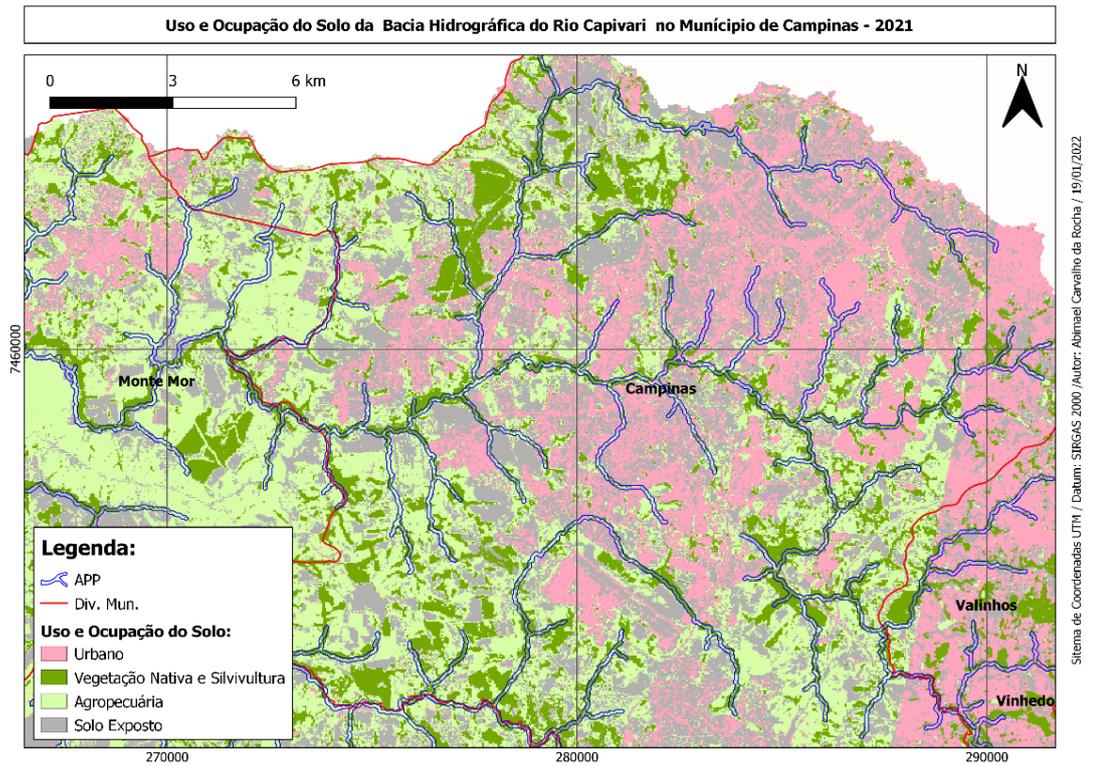
Fonte: autoria própria.



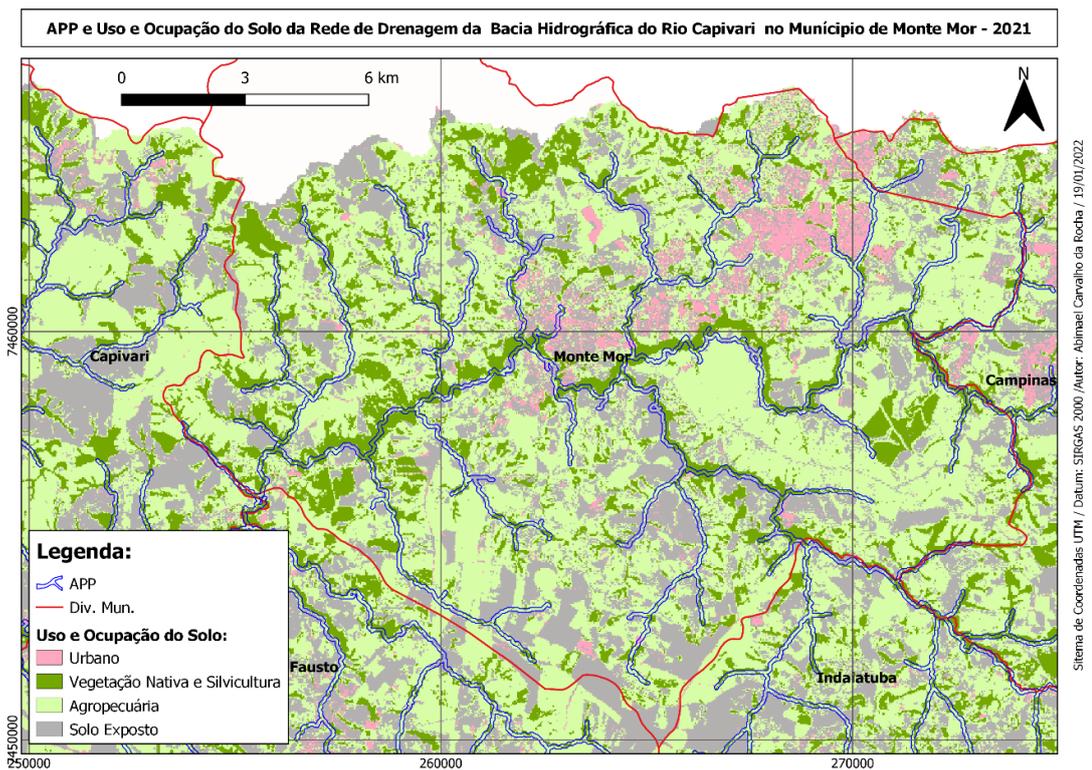
Fonte: autoria própria.



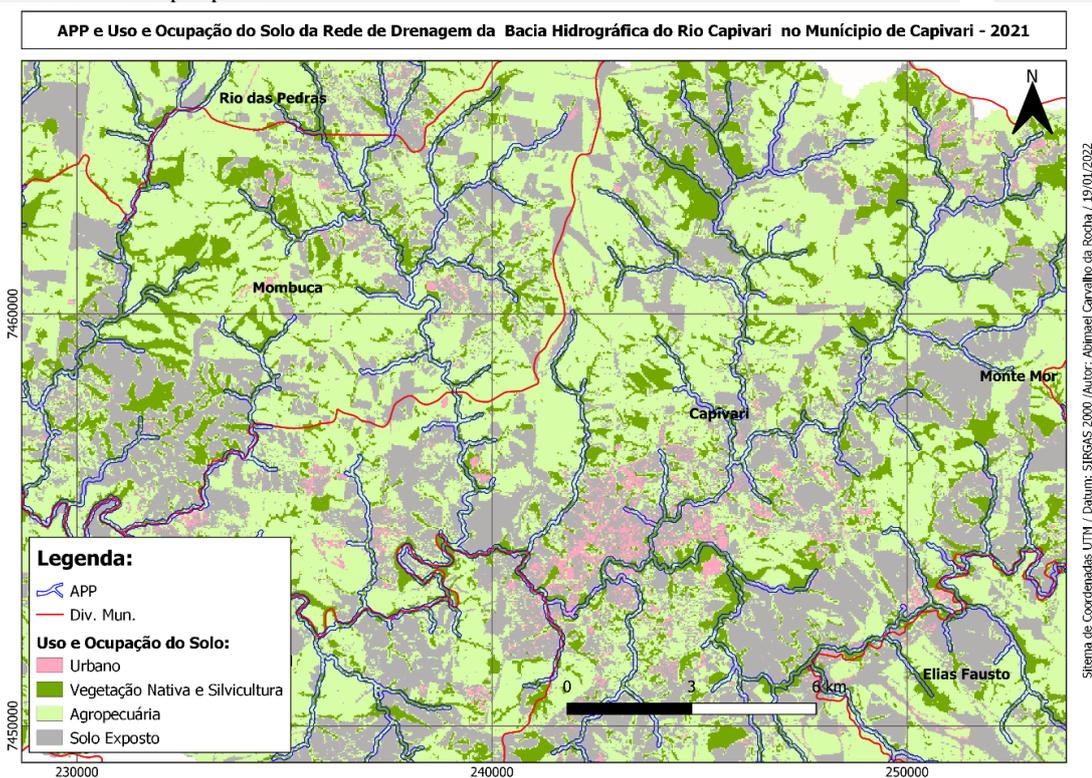
Fonte: autoria própria.



Fonte: autoria própria.



Fonte: autoria própria.



Fonte: autoria própria.

A delimitação automática da Bacia Hidrográfica e da Rede de Drenagem a partir do GRASS QGIS com as ferramentas `r.watershed` e `r.water.outlet` possui uma boa funcionalidade e expressa resultado de fácil manipulação e análise. Já as cartas de Uso e Ocupação do Solo apresentaram resultados com alguns pontos que divergem da

realidade, apesar da acurácia ficar dentro dos limites do aceitável. Como a área de estudo fica dentro de duas cenas do satélite LandSat 8, as configurações das imagens não ficam iguais, o que contribui para a diferença entre a classificação e a realidade. Os mapas permitem a análise proposta já que demonstra a configuração da paisagem e a partir do buffer, como se da ocupação das margens da rede de drenagem. A carta de Uso e Ocupação do Solo de 2015 indicou alguns espaços como sendo área de solo exposto onde na realidade é espaço urbano, já a carta de Uso e Ocupação do Solo de 2021 apresentou distorção significativa na parte leste, houve uma confusão entre área de agropecuária e área urbana, é aí onde está o nível mais baixo da acurácia, a distorção se dá na cena 219-076 que é de menor proporção no mosaico da imagem de 2021. A análise da rede de drenagem fica melhor ao utilizar o software da qual foi produzida, pois as funcionalidades são maiores na ferramenta digital, que permitem diversas manipulações, como de escala, que no mapa finalizado se torna estático. Os mapas de Uso e Ocupação do Solo demonstrou que durante o período estudado, de sete anos, houve crescimento das áreas de solo expostos na ordem de 0,197 km² e diminuição das áreas de agropecuária na ordem de 0,207 km², mostrando interligação, também revela expansão do espaço urbano de cerca de 0,002 km², já as áreas de vegetação nativa e silvicultura mostraram um acréscimo de 0,011 km². Para se ter uma base comparativa com o mapa de Uso e Ocupação do Solo foi confeccionado os mapas de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NVDI), com eles ficou fácil e confiável a análise sobre a mata ciliar da rede de drenagem e da vegetação da Bacia Hidrográfica do Rio Capivari. Os mapas de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada apresentam resultados satisfatório ao demonstrar a densidade da vegetação e deixar com fácil visualização a sua localização, assim aplicando o buffer da Área de Proteção Permanente da rede de drenagem, possibilita-se a análise de como está a configuração desse espaço.

As matas ciliares dentro do perímetro urbano da cidade de Campinas são rarefeitas, já no município de Monte Mor é onde se encontra mais preservada. Nos municípios à jusante de Monte Mor a área de drenagem está praticamente ocupada pela agropecuária.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os produtos cartográficos conseguiram alcançar o objetivo de demonstrar a configuração de Uso e Ocupação do Solo dentro da área de Proteção Permanente da rede de drenagem e as condições da vegetação da Bacia Hidrográfica do Rio Capivari. Também demonstrou as mudanças na configuração espacial dentro da área da bacia hidrográfica no período estudado.

Os resultados superaram as expectativas, já que os mapas de Uso e Ocupação do Solo, teve bom índice de acurácia, e os mapas de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NVDI), permitiram comparações e análise das informações sobre a configuração espacial, possibilitando ser ferramentas úteis de planejamento da Bacia Hidrográfica, indicam a localização das áreas com uso indevido, áreas que precisam ser preservadas e onde há necessidade de intervenção, como nos perímetros urbanos e áreas de agropecuária.

Os mapas demonstraram que há crescimento do espaço urbano, mesmo que pequeno, o que aumenta a pressão sobre os cursos d'água, tanto por alterar a demanda do consumo, como com a retirada da mata ciliar para a ocupação de suas margens. No município de Campinas, o uso predominante é pela ocupação urbana, em Capivari, Mombuca, Elias Fausto, Rio das Pedras, Rafard, Indaiatuba e Tietê a predominância é o uso para agropecuária e há solos expostos, que podem ser solos que estavam sendo preparados para a lavoura.

A pesquisa contribui ao revelar a configuração do espaço da bacia e esclarecer que as Áreas de Proteção Permanente seguem sob usos diversos que não quele preconizado pela Legislação, Lei 12.651/2012. Os mapas ressaltaram que é preciso ter planejamento para o uso e ocupação do solo para evitar impactos negativos sobre a vegetação, principalmente sobre a mata ciliar da Bacia Hidrográfica do Rio Capivari, assim como a preservação dos resquícios de vegetação e seu acréscimo. Indica que é necessário governabilidade participativa da população para com a Bacia Hidrográfica do Rio Capivari, cujos recursos são de extrema importância para mais de 1,5 milhões de habitantes que vivem sob sua área.

Para o futuro põem-se a necessidade de continuar o acompanhamento do Uso e Ocupação do Solo para monitorar a vegetação nativa e a mata ciliar visando sua manutenção garantindo qualidade e quantidade das águas da bacia hidrográfica.

As técnicas de sensoriamento remoto permitem com exatidão demonstrar o que está acontecendo com a configuração espacial e assim auxiliar o planejamento. A

popularização dos resultados da pesquisa pode ajudar na conscientização por parte da população e do poder público para que as tomadas de decisões possam ser eficazes. A crise hídrica de 2013, 2015 e 2021 trouxeram diversos prejuízos à sociedade e precisa de solução para que não se agrave no futuro.

Por falta de correlação direta entre a vegetação e a vazão dos corpos d'água dentro do período de análise a pesquisa indica que é necessário avançar os estudos analisando o solo e o lençol freático, a configuração geomorfológica e as condições climáticas, revelando que recorte de áreas de estudos a partir da delimitação de bacias hidrográficas precisa ser levado em consideração, mas com ressalvas e críticas, pois há elementos que interferem na dinâmica da bacia que não estão circunscritos à sua abrangência, algo que a Lei nº 9433, de 1997 não leva em consideração, pois a regionalização por Bacias Hidrográficas não separa uma porção do espaço das influências que são externas à área delimitada. Revelou ainda que o Geoprocessamento e o Processamento Digital de imagens são ferramentas que complementam a ação da pesquisa e que precisam ser utilizadas em conjunto com análise bibliográfica e trabalhos de campo, são ferramentas que geram produtos para a interpretação dos pesquisadores.

Por último a crise hídrica tem forte ligação com questões econômicas, a possibilidade da falta de água faz com que as empresas que a gerenciam possam alterar seu valor e aplicar multas sobre a população, o que não resolve o problema, a primeira é uma ação que eleva o lucro e a segunda uma ação pedagógica da qual não há seguridade de eficácia e também eleva o lucro das empresas, sendo assim do ponto de vista da Empresa que administra as águas é positiva, ainda mais que a empresa imbuída do abastecimento e afastamento de esgoto na cidade de Campinas, que conta com a maior população entre as cidades dessa Bacia Hidrográfica, tem capital aberto na Bolsa de Nova York, a crise aqui gera lucro acolá.

REFERÊNCIAS

ANAZAWA, T. M. A escassez hídrica na Região Metropolitana de Campinas entre 2013-2015. **Cad. Metrop.**, São Paulo, v. 20, n. 42, p. 347-369, maio/ago 2018.

Artigos:

BERTIN, J. **Sémiologie Graphique**. 1. ed. Paris: Mouton. 1967.

BORRATO, I. M. P.; GOMIDE, R. L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, XVI.**, 2013., Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu. INPE. 2013., p. 7345-7352.

BRASIL. **Lei nº 9433, de 1997**. Institui a política nacional de recursos hídricos, cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=9433&ano=1997&ato=a12ATVU90MJpWTbaf> Acesso em: 25/01/2022

BRASIL. **Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa [...]. Brasília – DF: Presidente da República, 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm Acesso em: 25/01/2022.

CAMPOS, S.; CAMPOS, M.; LEME, M. C.; RODRIGUES, B. T.; SOUZA, F. L. P. **Geoprocessamento Aplicado no Planejamento de Bacias Hidrográficas**. 1.ed. São Paulo: Atena, 2019.

Capítulos de livros:

CHRISTOFOLETTI, A.; FEDERICI, H. **A Terra Campineira**. Análise do Quadro Natural. 1.ed. Campinas: Indústrias Gráficas Mousinhos, 1972.

COLLARES, E. G. **Avaliação de Alterações em Redes de Drenagem de Microbacias como Subsídio ao Zoneamento Geoambiental de Bacias Hidrográficas**: Aplicação na Bacia Hidrográfica do Rio Capivari – SP. 2000. 193 f. Dissertação (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

COMITÊS PCJ/AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. **Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, 2020 a 2035: Relatório Final.** Piracicaba (SP). Comitê PCJ. 2020.

CONTI, J. B.; FURLAN, S. A. Geoeologia: O Clima, os Solos e a Biota. In: ROSS, J. L. S. (org.). **Geografia do Brasil.** São Paulo: Edusp, 2009. Cap. 2, p. 67-198.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; FILHO, P. H.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBO-SA, C. C. F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-econômico e ao Ordenamento Territorial.** São José dos Campos, INPE, 2001.

Emplasa, GIP/CDI. **Região Metropolitana de Campinas (RMC).** [S.l.] 2018. Disponível em: https://rmc.pdui.sp.gov.br/?page_id=127. Acesso em: 22/01/2022

FAGUNDES, W. S.; TORRES, M. L. Análise conceitual dos Índices de vegetação e sua relação com a natureza espectral dos vegetais. GeoAlagoas. in: Simpósio sobre as geotecnologias e geoinformação no Estado de Alagoas. III., 2015, Maceió. **Anais...** Maceió, 2015. p. 74 -81.

FREITAS, M. I. C.; ORTIZ, J. L. Mapeamento do Uso da Terra, Vegetação e Impactos Ambientais por Meio de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. **Geociências,** UNESP, São Paulo v. 24, n. 1, p. 91-104, 2005.

G1 Campinas e Região e EPTV. **Cidades com racionamento de água ampliam cortes enquanto buscam recursos e soluções paliativas na região de Campinas.** Campinas, 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/noticia/2021/09/29/cidades-com-acionamento-de-agua-ampliam-corte-e-buscam-recursos-estudos-e-solucoes-paliativas-na-regiao-de-campinas.ghtml> Acesso em: 14 de novembro de 2021.

G1 Campinas e região. **Estiagem provoca queda de vazão em rios e captação de água na região de Campinas.** Campinas, 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/noticia/2018/07/21/estiagem-provoca-queda-de-vazao-em-rios-e-captacao-de-agua-na-regiao-de-campinas.ghtml> Acesso em: 14 de novembro de 2021.

IBGE CIDADES E ESTADOS. [S.l.] [2021?]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados> acesso em 10/12/2021.

IBGE. **Introdução ao Processamento Digital de Imagens.** Manual Técnicos em Geociências n° 9. Rio de Janeiro, 2001.

IBGE. **Manual Técnico do Uso da Terra**. Manuais Técnicos em Geociências. 3^o Edição. Rio de Janeiro. IBGE. 2013.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Crise hídrica em São Paulo em 2014: seca e desmatamento. **Geosp – Espaço e Tempo** (Online), São Paulo v. 19, n. 3, p. 485-494, 2016.

ORLANDO, P. H. K.; VAZ, L. Importância das Matas Ciliares para Manutenção da Qualidade das Águas de Nascentes: Diagnóstico do Ribeirão Vai-Vem de Ipameri-go. In: ENCONTRO NACIONAL DE GEOGRAFIA AGRÁRIA, XXI., 2012, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU/LAGEA, 2012. p. 1-20.

PEQUENO, P. L. L., et al. Importância das matas ciliares. **Documentos 61** - EMBRAPA-CPAF, Porto Velho (RO), 2002.

RÊGO, S. C. A.; LIMA, P. P. S.; LIMA, M. N. S.; MONTEIRO, T. R. R.. Análise Comparativa dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI no Município de São Domingos do Cariri-PB. **Revista GEO-NORTE**, Manaus. Edição Especial, V.2, N.4, p.1217 – 1229, 2012.

ROSETTE, A. C., MENEZES, P. M. L. **Erros Comuns na Cartografia Temática**. 1.ed. Rio de Janeiro: URFJ, 2011.

ROSS, J. L. S. Os Fundamentos da Geografia da Natureza. In: ROSS, J. L. S. (org.). **Geografia do Brasil**. 1.ed. São Paulo: Edusp, 2009. Cap. 1, p. 11-51.

SALA DE SITUAÇÃO PCJ. Disponível em: <http://www.sspcj.org.br> acesso em 30/11/2021

SANTOS, C. C. O uso do Geoprocessamento para delimitar áreas de ocupação dos solos urbanos. A Microbacia do Córrego Machado, Palmas – TO, um estudo de caso. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, X., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu. INPE, 2001. p. 1163-1169.

SÃO PAULO. Secretaria Geral Parlamentar. Lei Complementar nº 870, de 19/06/2000. São Paulo. **Diário Oficial** (20/06/2000), p. 2. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/legislacao/norma.do?id=5198#:~:text=Lei%20Complementar%20n%C2%BA%20870%2C%20de%2019%2F06%2F2000&text=Cria%20a%20Regi%C3%A3o%20Metropolitana%20de,Campinas%2C%20e%20d%C3%A1%20provid%C3%AAs%20correlatas> . Acesso em: 25/01/2022.

Sites:

SP Cidades. **SP Cidades a força do interior**. [S.l.] [2022?]. Disponível em: <http://spcidades.com.br/> acesso em: 22/01/2022

U.S.G.S. EarthExplorer. Imagens do LandSat8. Portal. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/> acesso em: nov/2021.

VINHEDO (município). **Baixo nível do Rio Capivari preocupa e alerta para problemas de abastecimento.** Vinhedo, 2021. Disponível em: <https://www.vinhedo.sp.gov.br/portal/noticias/0/3/16783/baixo-nivel-do-rio-capivari-preocupa-e-alerta-para-problemas-de-abastecimento> Acesso em: 14 de novembro de 2021.

