

ANÁLISE GEOESPACIAL E TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS MORTES PEQUENO, MINAS GERAIS

Geospatial and temporal analysis of land use and cover in the Rio das Mortes Pequeno hydrographic basin, Minas Gerais State, Brazil

Rafael Santos Silva

Universidade Federal de São João del-Rei

Silvars777@gmail.com

Múcio do Amaral Figueiredo

Universidade Federal de São João del-Rei

muciofigueiredo@ufsj.edu.br

Recebido: 08.03.2023

Aceito: 19.02.2024

Resumo

As alterações sofridas pelos espaços rurais ao longo do tempo transformaram as paisagens agrícolas ocasionando desmatamentos e aumento das áreas degradadas. Realizar uma efetiva gestão ambiental de bacias hidrográficas é importante para preservar o meio ambiente com ênfase nos recursos hídricos. Este estudo tem como objetivo analisar no período entre 1990 a 2020, as mudanças no uso da terra que ocorreram no espaço geográfico da Bacia Hidrográfica do Rio das Mortes Pequeno (BHRMP). O uso e ocupação da terra na BHRMP foram monitorados e classificados por meio de análises de imagens de satélite Landsat 5 e Landsat 8. A classificação e a verificação da acurácia foram realizadas por meio de plugins do software QGIS “*Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)*” e Atacama, respectivamente. A média da acurácia geral da classificação do uso e cobertura da terra foi de 72%. A maior área da bacia era ocupada pelo setor agrosilvipastoril, em 1990, porém nos últimos anos a atividade de florestas plantadas obteve valores superiores a 40% de ocupação no ano de 2020. O mapeamento da área da BHRMP contribuiu para a identificação da mudança de atividades realizadas pelos pequenos agricultores. Pelas análises identificaram que as matas ciliares estão desprotegidas e o entorno ocupadas por atividades que prejudicam a proteção dos rios. A caracterização do uso e ocupação da terra na BHRMP, por meio de mapas temáticos possibilitou identificar as mudanças nos últimos 30 anos que a expansão das atividades de floresta plantada.

Palavras-chave: análise em escala microrregional, classificação de uso da terra, sensoriamento remoto, Landsat.

Abstract

Over time, the alterations undergone by rural areas have transformed agricultural landscapes, causing deforestation and an increase in degraded areas. Carrying out an effective environmental management of hydrographic basins is important to preserve the environment with an emphasis on water resources. This study aims to analyze, between 1990 and 2020, the changes in land use in the geographic space of the Rio das Mortes

Pequeno Hydrographic Basin (BHRMP) and identify degraded areas. Land use and occupation in the BHRMP were monitored and classified using analysis of Landsat 5 and Landsat 8 satellite images. Classification and accuracy verification was performed using QGIS software plugins “Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)” and Atacama. The average accuracy of land use and land cover classification was 72%. The agrosilvopastoral sector occupied the basin’s largest area in 1990, but in recent years, the activity of planted forests reached values greater than 40% in 2020. The mapping of the BHRMP area contributed to identifying changes in activities carried out by small farmers. The analyses identified that the riparian forests are unprotected and the surroundings are occupied by activities that harm the protection of the rivers. The characterization of land use and occupation in the BHRMP, through thematic maps, made it possible to identify the changes in the last 30 years in the expansion of planted forest activities.

Keywords: micro-regional scale analysis, land use classification, remote sensing, Landsat.

1. INTRODUÇÃO

As primeiras ocupações do espaço pela agricultura com pequenas produções de grãos (EHLERS, 2009) sofreram grandes alterações ao longo do tempo civilizatório. Com a 2ª e a 3ª revolução agrícola, as civilizações realizaram grandes alterações na paisagem e, com a introdução de máquinas e demais tecnologias, a agricultura expandiu-se, promovendo extensas alterações no uso da terra (Lazzari; SOUZA, 2017).

Com o “pacote tecnológico” (Moreira, 2000), a Revolução Verde (Andrades; Ganimi, 2007) expandiu-se rapidamente pelo mundo com sua metodologia, alterando as paisagens rurais, modificando com os altos padrões de práticas agrícolas (Lazzari; Souza, 2017). O início do desenvolvimento das atividades agrárias e da pecuária no Brasil foi acompanhado de uso intenso do solo através de sistemas de manejo que contribuíram para o aumento dos processos de erosão (Santos *et al.*, 2012). As lavouras e a pecuária, praticadas de forma intensiva, provocam o desgaste de terras férteis, que com o tempo diminuem a produção obrigando os produtores a buscarem outras áreas para plantação. Essa ação resultou em abandono de áreas produtivas com a justificativa da baixa produtividade e sem retorno financeiro. Com o abandono dessas áreas, antes utilizadas para produção alimentar, os solos ficam expostos ao processo de lixiviação (Morais Neto, 2018). Dessa forma, este estudo tem como objetivo analisar no período entre 1990 a 2020, as mudanças no uso da terra que ocorreram no espaço geográfico da Bacia Hidrográfica do Rio das Mortes Pequeno (BHRMP).

Nos municípios de São João del-Rei e de Conceição da Barra de Minas, no estado de Minas Gerais, em áreas ocupadas por famílias de pequenos agricultores (IBGE, 2010),

identifica-se que muitas propriedades utilizam a terra para produção agropecuária de forma intensiva, resultando em áreas degradadas.

Na Microrregião de São João del-Rei, as propriedades são ocupadas em maior parte por famílias de pequenos agricultores que contabiliza aproximadamente 4.054 estabelecimentos (Gonzaga; Toledo, 2014). O processo de ocupação da região, no início da década de 1990, ocorreu pela migração de agricultores arrendatários e compradores de terras de outras regiões do país; a chegada de novos produtores possibilitou a modernização do setor agrícola que destinaram às suas atividades a produção de soja e milho, (Gonzaga; Toledo, 2014). Segundo o IBGE (2021), a cidade de São João del-Rei no ano de 2020 teve como produção agrícola arroz, batata-doce, cebola, feijão, mandioca, milho soja, tomate e trigo, destacando as produções de milho com 130.500 (t) produzidas, seguida da soja com 21.600 (t) produzidas.

Estes municípios se encontram dentro da Bacia Hidrográfica do Rio das Mortes Pequeno (BHRMP), afluente do Rio das Mortes, e vem se observando ao longo do tempo um processo contínuo e acelerado do processo erosivo, devido às atividades adotadas na região. Nos últimos anos, percebe-se mudança no uso da terra na BHRMP, devido à expansão de áreas utilizadas para implantação de florestas plantadas. Para Andrade (2021) uma das principais atividades agrícolas no Brasil é a monocultura arbórea, conhecida também como floresta plantada ou silvicultura, que utiliza na maioria dos casos as espécies de *Pinus spp.* e *Eucalyptus spp.*

Para verificar as alterações da BHRMP foi utilizado a classificação do uso e da terra por meio da confecção de mapas temáticos, com a ferramenta QGIS e uso de imagens de satélite Landat 5 e Landsat 8. Áreas com problemas ambientais necessitam de planejamento com o intuito de diminuir os impactos causados pelo incorreto uso da ocupação da terra. Existem várias ferramentas de planejamento ambiental utilizadas para uma melhor compreensão e gestão do espaço rural como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), Planos Diretores Municipais (PDM), Planos Gestores das Bacias Hidrográficas (PGBH), Planos de Manejo de Unidades de Conservação (PMUC) entre outros recortes espaciais.

Entre as ferramentas para analisar e realizar o planejamento ambiental o SIG é utilizado em processos para avaliar, quantificar e qualificar problemas ambientais que são relatados em alguns estudos (Freire; Castro, 2014; Nascimento; Fernandes, 2017; Coelho *et al.*, 2014) que realizam análises espaço-temporais do uso e da cobertura da terra por meio de imagens de satélites. Estes estudos e metodologias desenvolvidas são

importantes para identificar e mapear as diversas classificações do uso e ocupação da terra, com finalidade de analisar a dinâmica socioambiental. A cobertura da terra é definida como a cobertura (bio)física observada na superfície da terra e o uso da terra é entendido como os arranjos, atividades e insumos que o ser humano empreende em um certo tipo de cobertura da terra para produzir, alterar ou manter (Di Gregorio; Jansen, 2005).

2. METODOLOGIA

2.1. Área de Estudo

A BHRMP (Fig. 01) está localizada entre os municípios de São João del-Rei e Conceição da Barra de Minas, no estado de Minas Gerais. A área da BHRMP possui cerca de 566,03 km² e com o perímetro de 201,58 km. O canal principal da bacia tem 85 km de extensão.

O Rio das Mortes Pequeno nasce e percorre em maior extensão o município de São João del-Rei, flui de sudeste a noroeste, e a sua foz se encontra com o Rio das Mortes, no município de Conceição da Barra de Minas (Fig. 01).

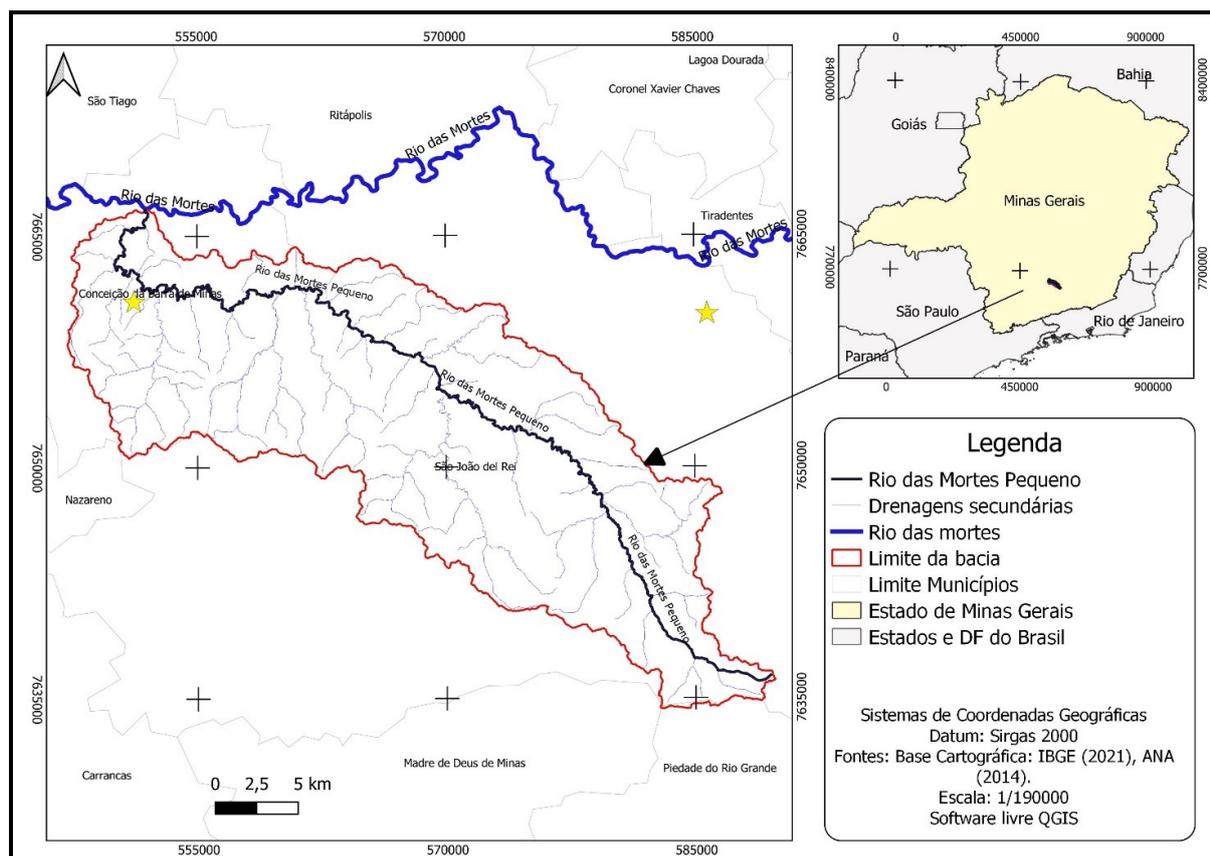


Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica dos Rios das Mortes Pequeno (BHRMP).
Fonte: elaborado pelos autores baseados em IBGE (2021); ANA (2014); USGS (2021).

O município de São João del-Rei possui clima do tipo Cwb (tropical de altitude), segundo a classificação de Köppen, caracterizado por verões úmidos e invernos secos (ALVARES *et al*, 2013). A média térmica anual é de 19,2 °C, com precipitação anual concentrada no período de outubro a abril e a média anual em torno de 1.400 mm, com quatro a cinco meses secos por ano. A cobertura vegetal predominante na região é caracterizada como campo cerrado e cerrado (INMET, 2012).

O relevo da área de estudo possui formas mistas de aplainamento e dissecação fluvial que são vertentes convexo-côncavas de perfil longitudinal intercaladas por vales com aprofundamento e perfil transversal variado; a leste da BHRMP encontra-se uma parte da serra do lenheiro que possui o relevo com escarpa de linha de falha (CETEC, 1989). Com relação a geomorfologia da BHRMP, no estudo 'Diagnostico Ambiental do Estado de Minas Gerais' (CETEC, 1989) as unidades geológicas da região de São João del-Rei, as rochas que pertencem a estas unidades formam as bordas externas de sudoeste e leste da bacia do Rio São Francisco. Dentro da BHRMP as elevações variam entre 877 e 1.112 metros de altitude.

2.2. Processos Metodológicos

O processo de expansão das atividades agrícolas e pecuárias foi analisado no período de 30 anos, entre 1990 a 2020, por meio de imagens de satélite Landsat Collection 1 Level-1, com intuito de observar as alterações do uso da terra ao longo do tempo, resultando em mapas de uso e ocupação da terra da área estudada. Para isso, três procedimentos metodológicos foram utilizados. O primeiro procedimento consistiu na delimitação da bacia hidrográfica (Fig. 3); o segundo na análise do uso e ocupação da terra (Fig. 4); e o terceiro é avaliação da classificação e da acurácia do mapeamento do uso e ocupação da terra (Fig. 5). As análises das imagens e os processamentos dos mapas foram realizados com o uso do programa gratuito de geoprocessamento Quantum GIS (QGIS), com o plugin *Geographic Resources Analysis Support System* (GRASS).

No pré-processamento dos dados para a delimitação da área da bacia hidrográfica, foi utilizado as cenas obtidas na plataforma *Alaska Facility* (<https://asf.alaska.edu/>), pelo sensor *Alos Palsar*, com resolução de 12,5 metros. Após a obtenção da imagem, foram realizadas duas correções. A primeira delas é a remoção de pixels negativos e pixels vazios com objetivo de remoção de ruídos, que acontece devido a falhas nos satélites, dificultando a identificação da diferença da cobertura da terra e do tipo de cobertura. Esta etapa é importante para a correta delimitação da bacia hidrográfica.

O passo seguinte foi a retirada de *pixels* anômalos que apresentam valores distintos do seu entorno. A ferramenta *fill sinks* (Wang; Liu, 2006), disponível no QGIS, identifica os pixels e realiza a devida correção para tornar as áreas com valores próximos (Fig. 2). Posteriormente, foram gerados sete arquivos no QGIS: 4 arquivos tipos *raster* (direção de fluxo, conectividade de fluxo, ordem *Strahler*, bacias de drenagem) e 3 arquivos tipos vetoriais (canais, bacias de drenagem e junções) que podem ser utilizados para várias análises. Para a delimitação da bacia é utilizado apenas o primeiro arquivo *raster*: direção de fluxo (Fig. 2).

Com o arquivo “direção de fluxo”, utilizou-se a ferramenta “*r.watershed*”, que gerou outros arquivos como: meias-bacias, bacias hidrográficas, direção da drenagem, o segmento de fluxo e o número de células que drenam através de cada célula (Fig. 2). A partir das camadas criadas, foi selecionado o exutório da BHRMP pela direção do fluxo dos leitos d’água, e para finalizar utilizou-se a ferramenta “*r.water.outlet*” para delimitar a área da bacia.

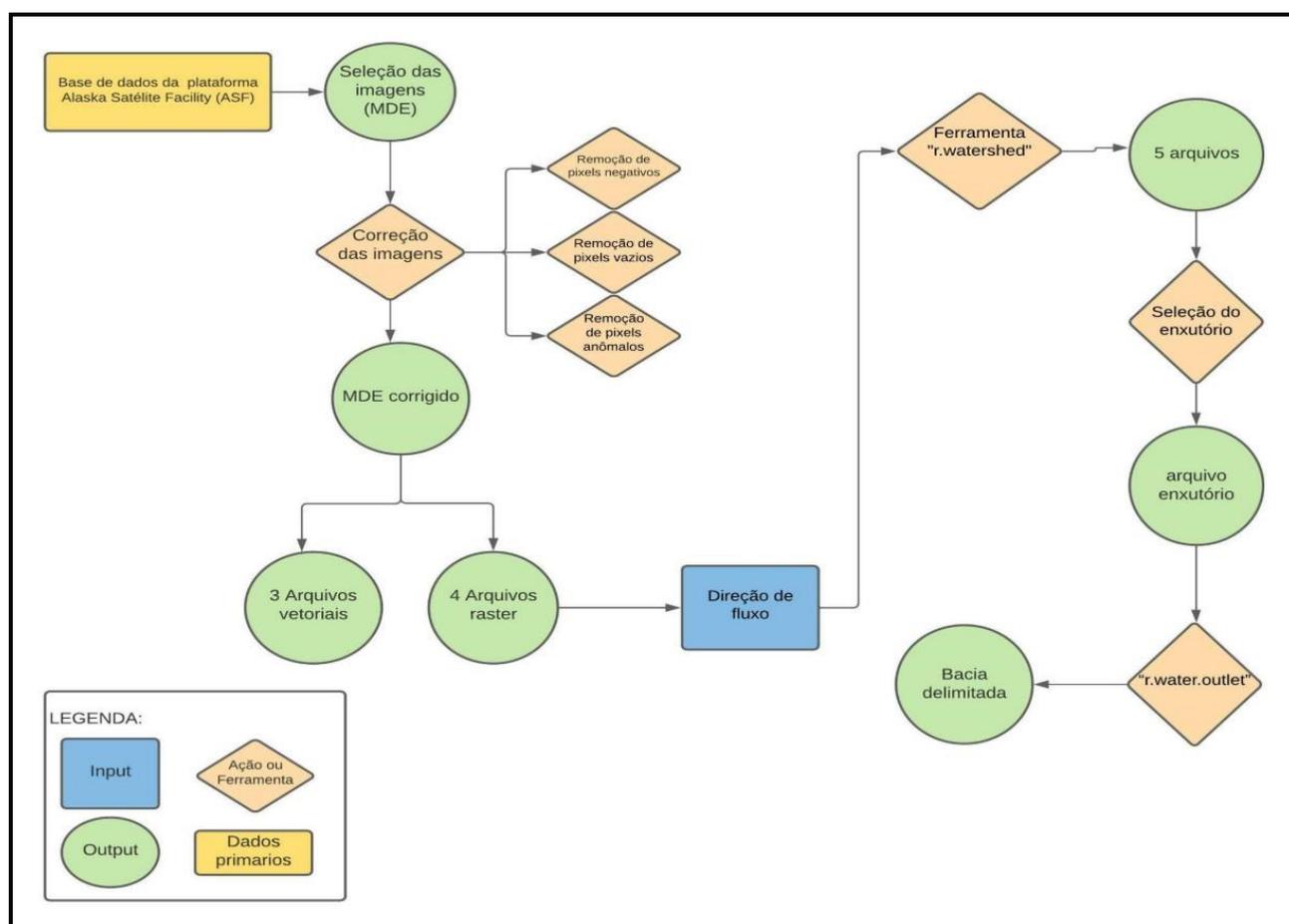


Figura 2 - Fluxograma das etapas da delimitação da bacia hidrográfica realizado no software QGIS, a partir de imagens da plataforma *Alaska Facility*. **Fonte:** Elaborado pelos autores, 2022.

Com a bacia delimitada, foi aplicado a segunda análise metodológica (Fig. 3), onde foram selecionadas imagens de satélite da área a cada 10 anos dos últimos 30 anos. As cenas selecionadas do satélite Landsat 5 foram dos dias 11/09/1990, 21/08/2000, 02/09/2010 e do Landsat 8 no dia 20/09/2020 da cidade de São João del-Rei e Conceição da Barra de Minas, disponibilizadas no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*USGS/earthexplorer* - <https://earthexplorer.usgs.gov>).

A escolha das imagens teve como critério a época com menor influência de chuvas sobre a vegetação, além do filtro utilizado na plataforma para retirar as imagens que possuíam mais de 20% de nuvens nas cenas. As imagens foram recortadas de acordo com delimitação da bacia e no QGIS foi realizada a combinação de bandas que possibilita analisar os usos de solo e a cobertura vegetal de acordo com as composições de vermelho, verde e azul (Fig. 3). Para as imagens utilizadas do Landsat-5 e Landsat-8 foram utilizadas a composição falsa-cor para que no processo de mesclagem das bandas coloridas (RGB) facilitasse a classificação, visualização e interpretação das informações (Kaliski et al., 2010).

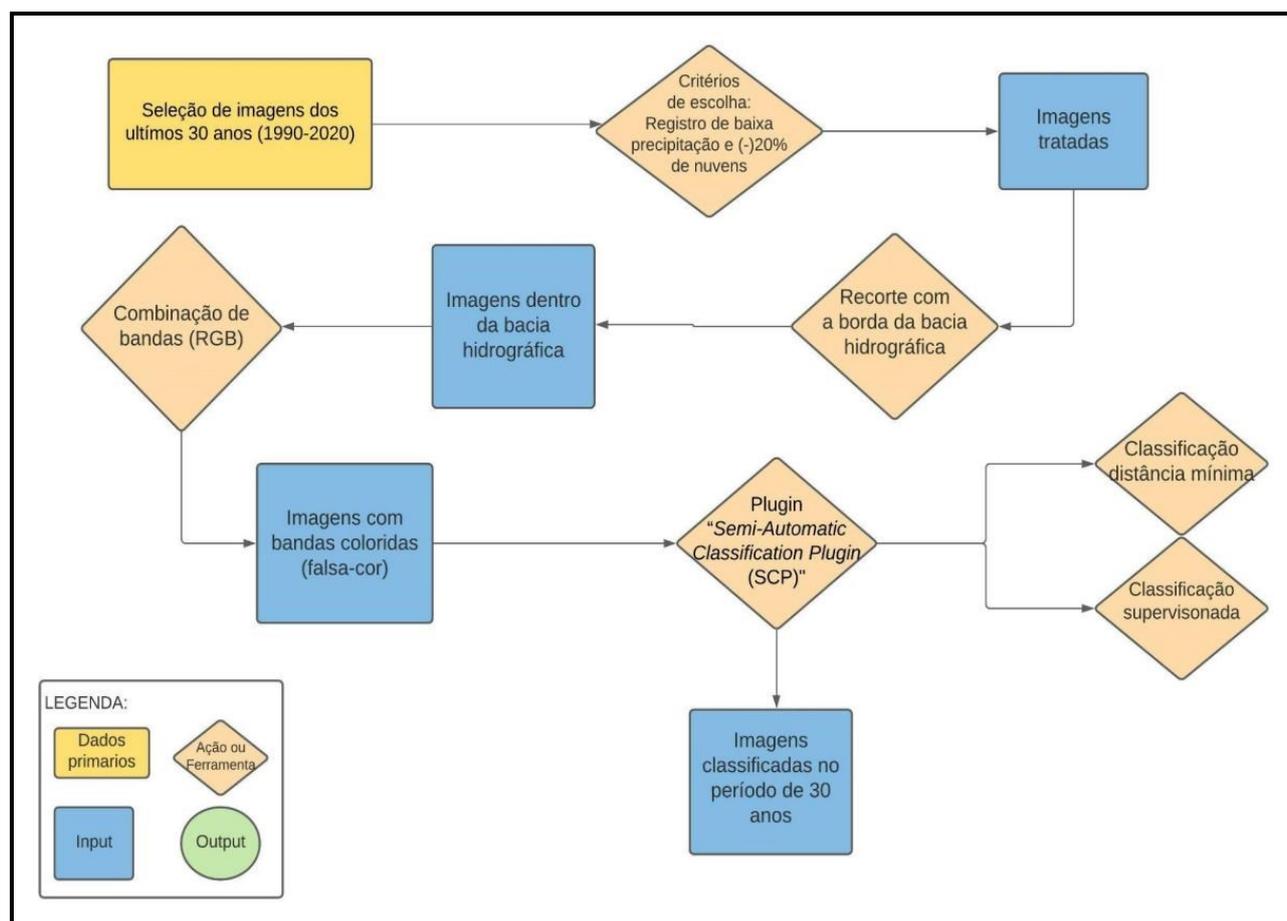


Figura 3 - Fluxograma do processo metodológico e análise e classificação do uso e ocupação da terra a partir de imagens de satélite. **Fonte:** elaborado pelos autores, 2022.

Após a composição, foram identificados nas imagens os usos da terra por meio da chave de interpretação (que consideram elementos como forma, textura, cor e contexto da sua espacialização) conforme utilizado no MAPBIOMAS (2021) para realizar a classificação. Estes critérios de análise baseado nas chaves de interpretação do Mapbiomas, tem como objetivo auxiliar na compreensão de imagens de satélite para identificação de cobertura e uso das terras por meio do plugin “*Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)*”, presente no *software* livre QGIS, que possibilita a classificação de imagens *rasters*. Segundo Venturieri e Santos (1998), a classificação de imagens se estabelece no agrupamento de pixels que pertencem a uma determinada classe.

A classificação definida nesta pesquisa está descrita no Quadro 1. A classificação foi adaptada do projeto TerraClass (TerraClass, 2021), da chave de interpretação do projeto MAPBIOMAS (2021) e da pesquisa de Kaliski *et al.* (2010) que trata sobre uso e ocupação da terra. Foi utilizado o modelo de classificação supervisionada e o classificador máxima verossimilhança (MAXVER) (Nascimento, 2003).

Quadro 1 - Classes de uso e ocupação da terra mapeadas na BHRMP.

CLASSES DA TERRA	DESCRIÇÃO
1 - Vegetação primária/secundária	Áreas com vegetação primária não alterada ou alta concentração de árvores, arbustos e matas ciliares e áreas que estão em processo de regeneração da vegetação.
2 - Floresta Plantada	Espaços destinados para plantação de espécies arbóreas com fins comerciais (ex. eucalipto, pinus, araucária).
3 - Campo, pastagem e cultura anual	Áreas utilizadas para produção de alimentos com ciclos anuais e para atividades de pecuária. As classes foram agrupadas, pois possuem padrão fisionômico semelhantes, e identificação de formas geométricas no espaço.
4 - Solo Exposto e Urbano	Correspondem às áreas desprovidas de vegetação ou de cultura. Possibilidade de solo exposto em áreas de sobrepastejo. Áreas com presenças de residências, estradas e indústrias.
5 – Corpos d’água	Locais que foram modificados para construção de lagos e apresentam corpos d’água.

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados adaptado de MapBiomias (2021), Kaliski *et al.* (2010) e TerraClass (2021).

Para análises quantitativas, Ferrari e Veniziani Junior (2019) relatam que seja utilizado o método de classificação supervisionada, visto que para essas operações cada pixel representará tipos diferentes de uso da terra.

As imagens de satélite possuem resolução espacial de 30x30m, que possibilita o monitoramento das alterações ambientais ao longo do tempo, mas não viabiliza uma classificação com maiores detalhes. Pois, segundo Chagas e Santos (2017), existem dificuldades na classificação de imagens visto que, os pixels combinam alvos, determinados objetos não são espectralmente diferenciados pelas bandas do sensor e a atmosfera absorve alguns comprimentos de onda. Além da resolução espacial, foram escolhidas as cinco classes para a área, descritas no quadro 1, devido as atividades dentro da BHRMP.

Após a classificação do uso e ocupação da terra é necessário validar e verificar a acurácia da classificação. Foi utilizado o plugin *Atacama* do QGIS que foi projetado para avaliar a precisão de mapas temáticos, estimar áreas das classes de mapas, desenho de resposta e outros (SMBByC, 2021). Avaliar a precisão e utilizar desenhos de amostragem probabilística são essenciais para garantir a integridade das informações de mudança de terra (Olofsson *et al.*, 2014). Foram estratificados cinquenta pontos para cada classe, de cada ano analisado, com intuito de validar a classificação. Os pontos foram desenhados de forma aleatória pelo próprio sistema, e na figura 4 é possível verificar a distribuição aleatória das amostras de validação dentro da BHRMP.

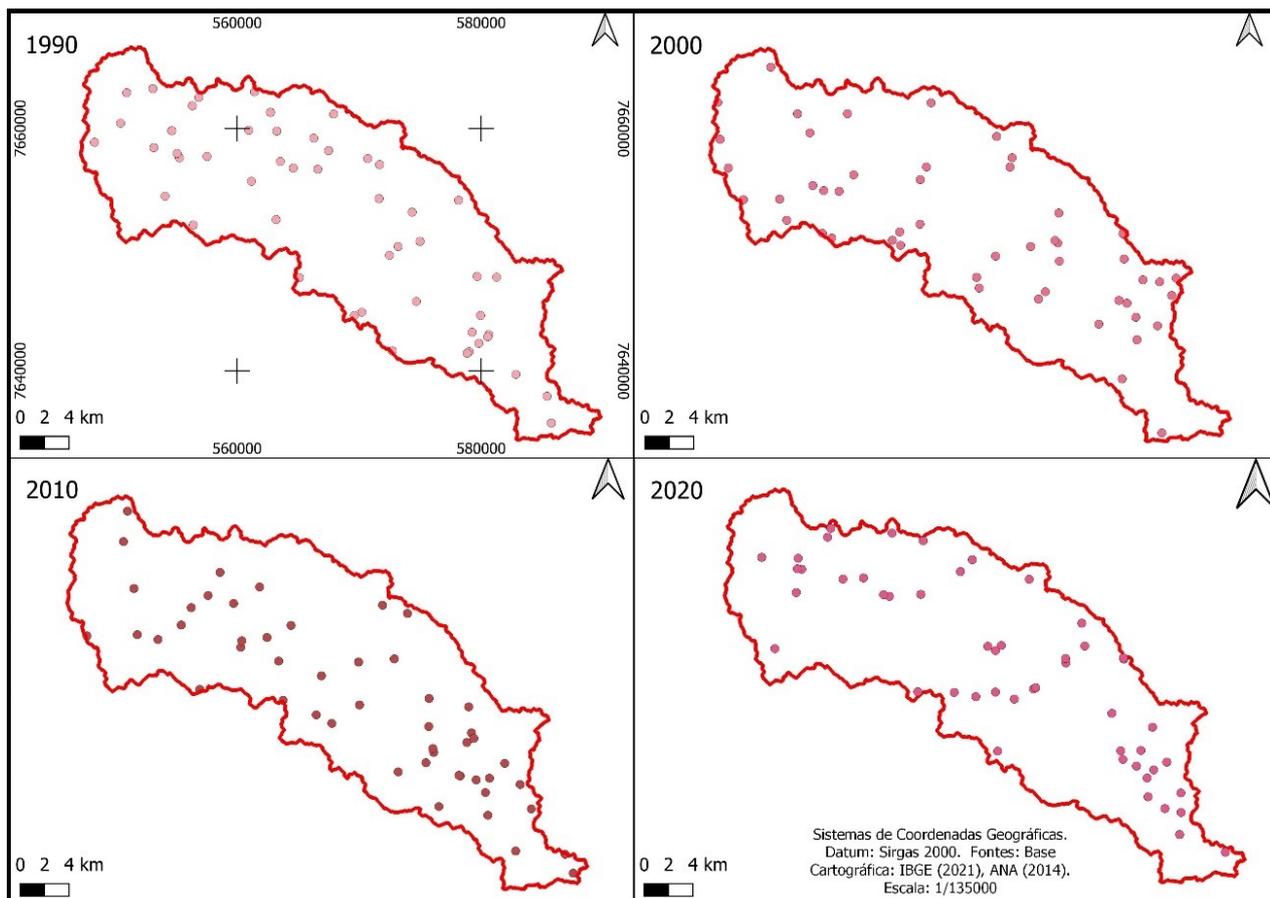


Figura 4 – Distribuição espacial aleatória das amostras de validação por meio do uso do plugin Atacama do Qgis. **Fonte:** Elaborado pelos autores com base nos dados IBGE (2021).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Buscou-se aqui identificar classes e as mudanças no uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Rio das Mortes Pequeno (BHRMP), uma área de concentração de pequenas propriedades rurais entre os municípios de São João del-Rei e Conceição da Barra de Minas, no estado de Minas Gerais.

Para contribuir na visualização e quantificação das áreas ocupadas por cada classe, o processo de uso e ocupação da terra na área da BHRMP nos anos de 1990, 2000, 2010 e 2020 estão representados por meio de mapas temáticos (Figuras 5 a 8).

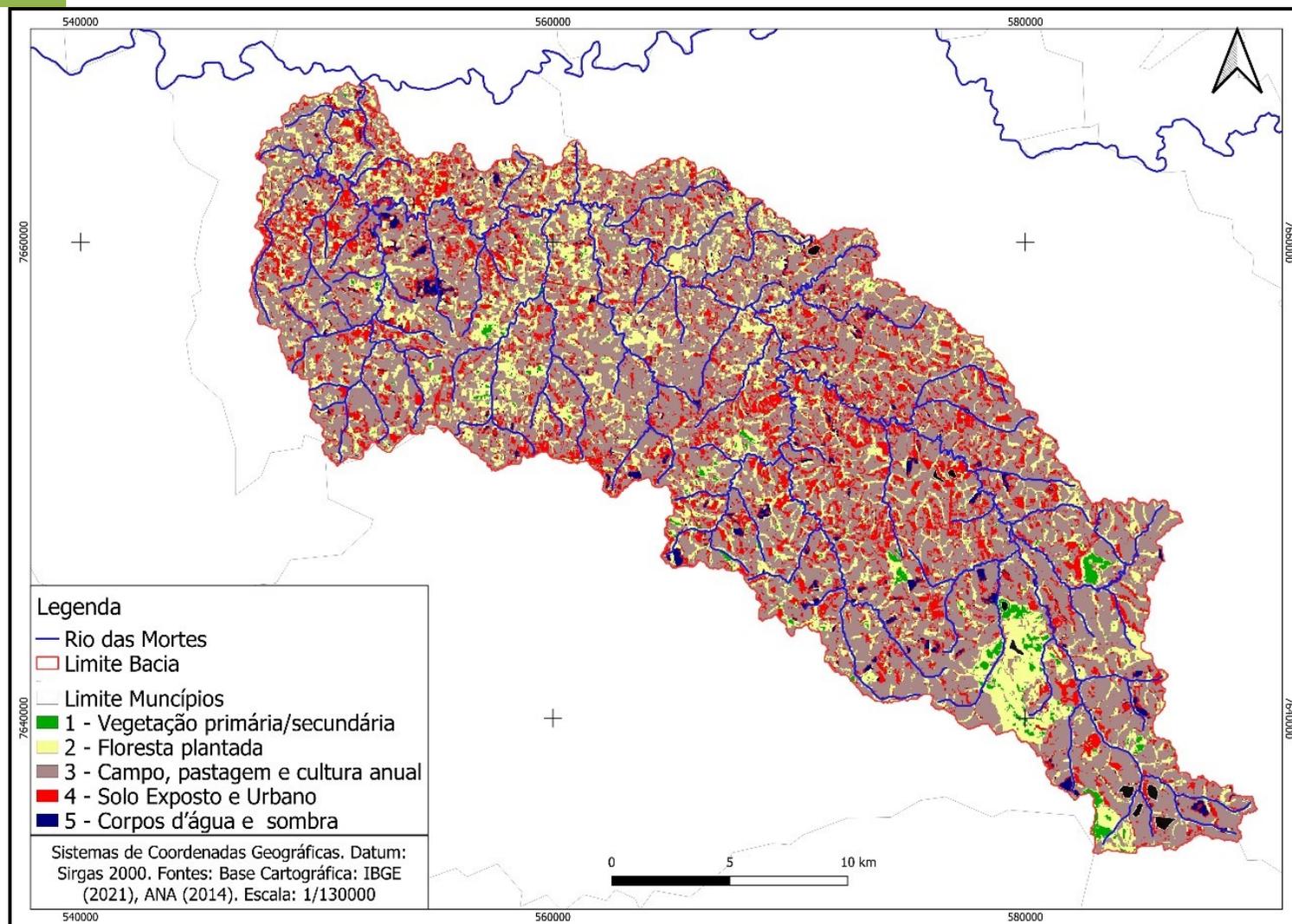


Figura 5 – Uso e ocupação da terra no ano de 1990 na BHRMP.

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados do IBGE (2021); ANA (2014); USGS (2021).

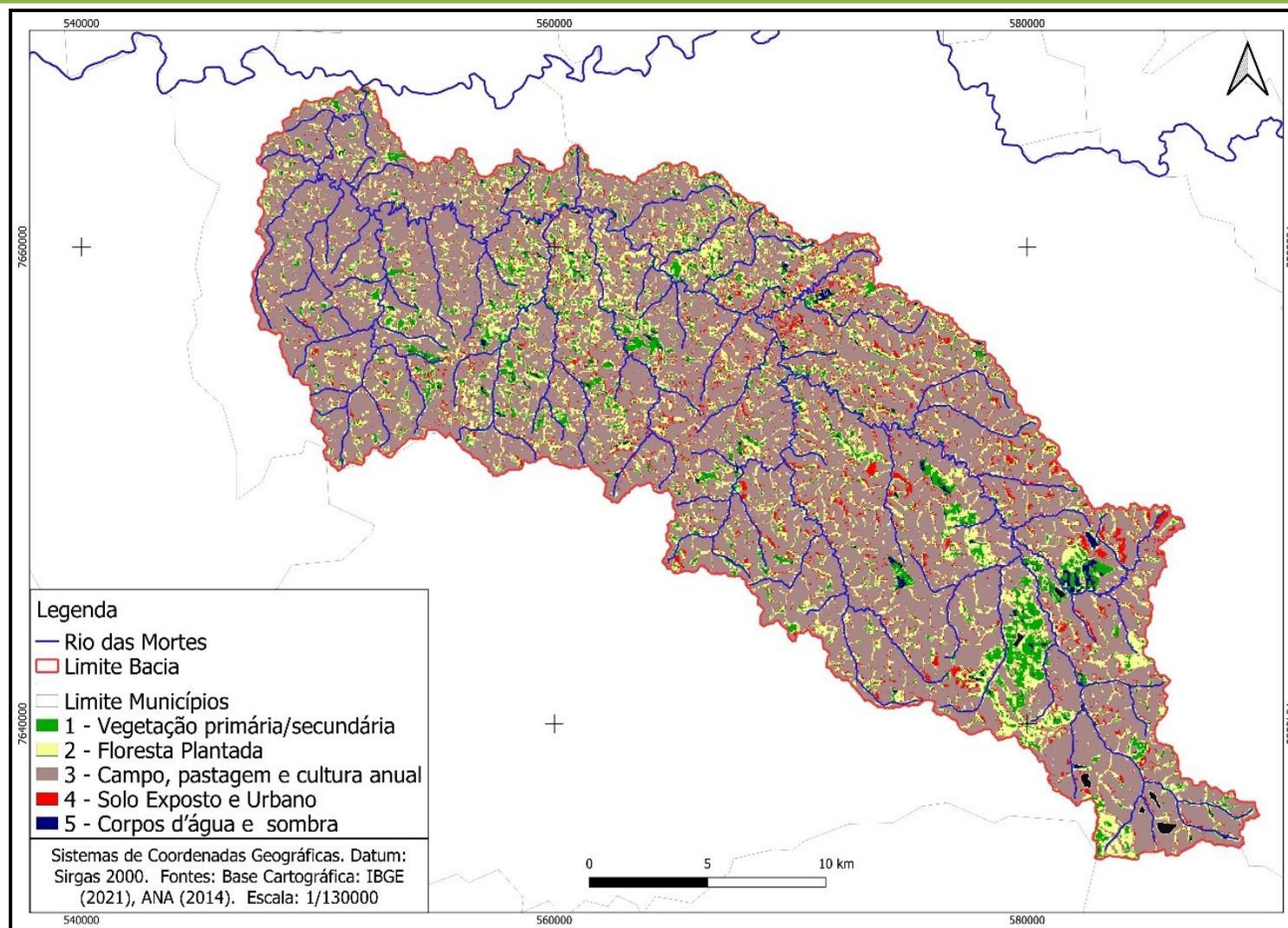


Figura 6 – Uso e ocupação da terra no ano de 2000 na BHRMP.

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados do IBGE (2021); ANA (2014); USGS (2021).

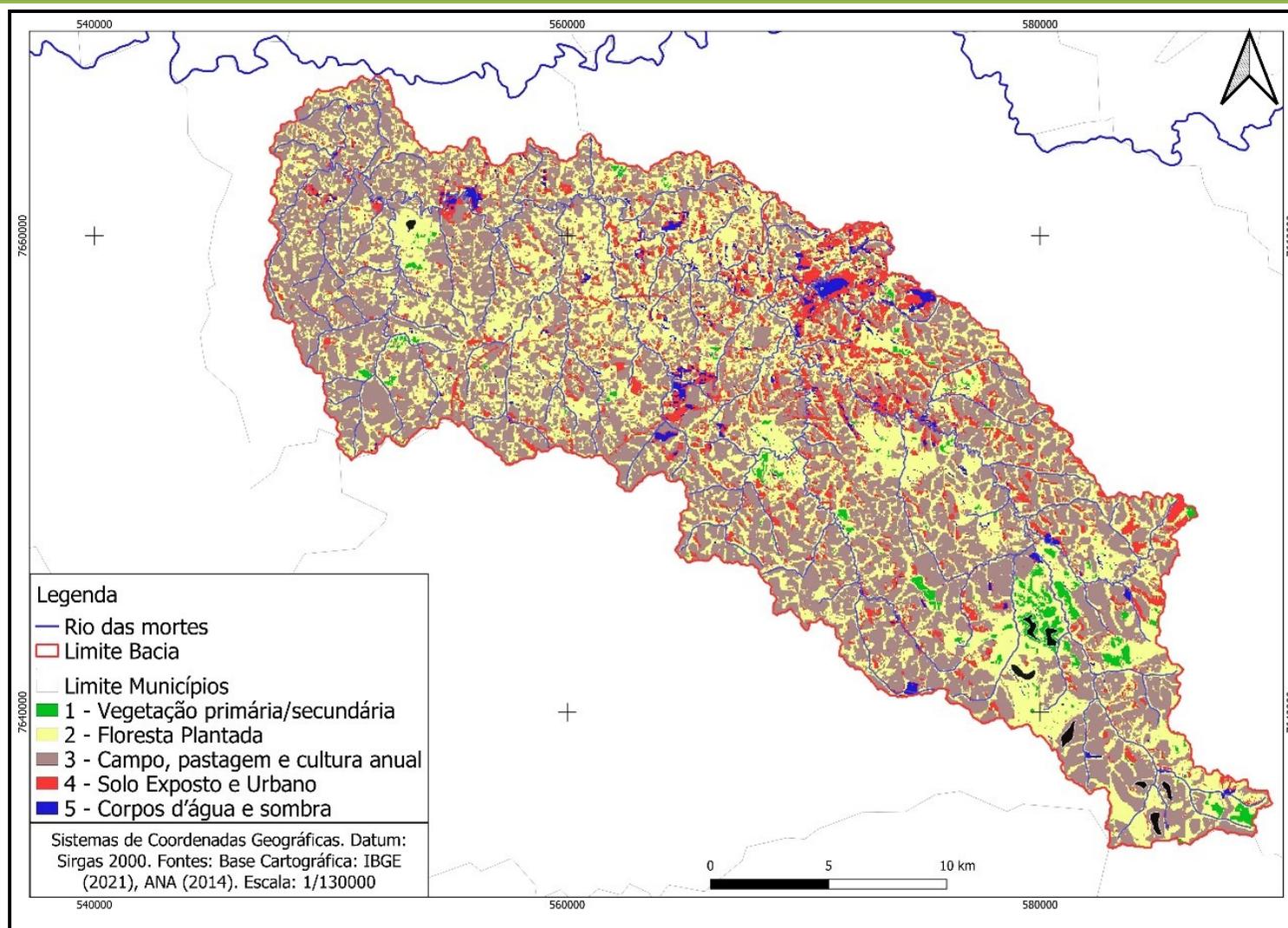


Figura 7 – Uso e ocupação da terra no ano de 2010 na BHRMP.

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados do IBGE (2021); ANA (2014); USGS (2021).

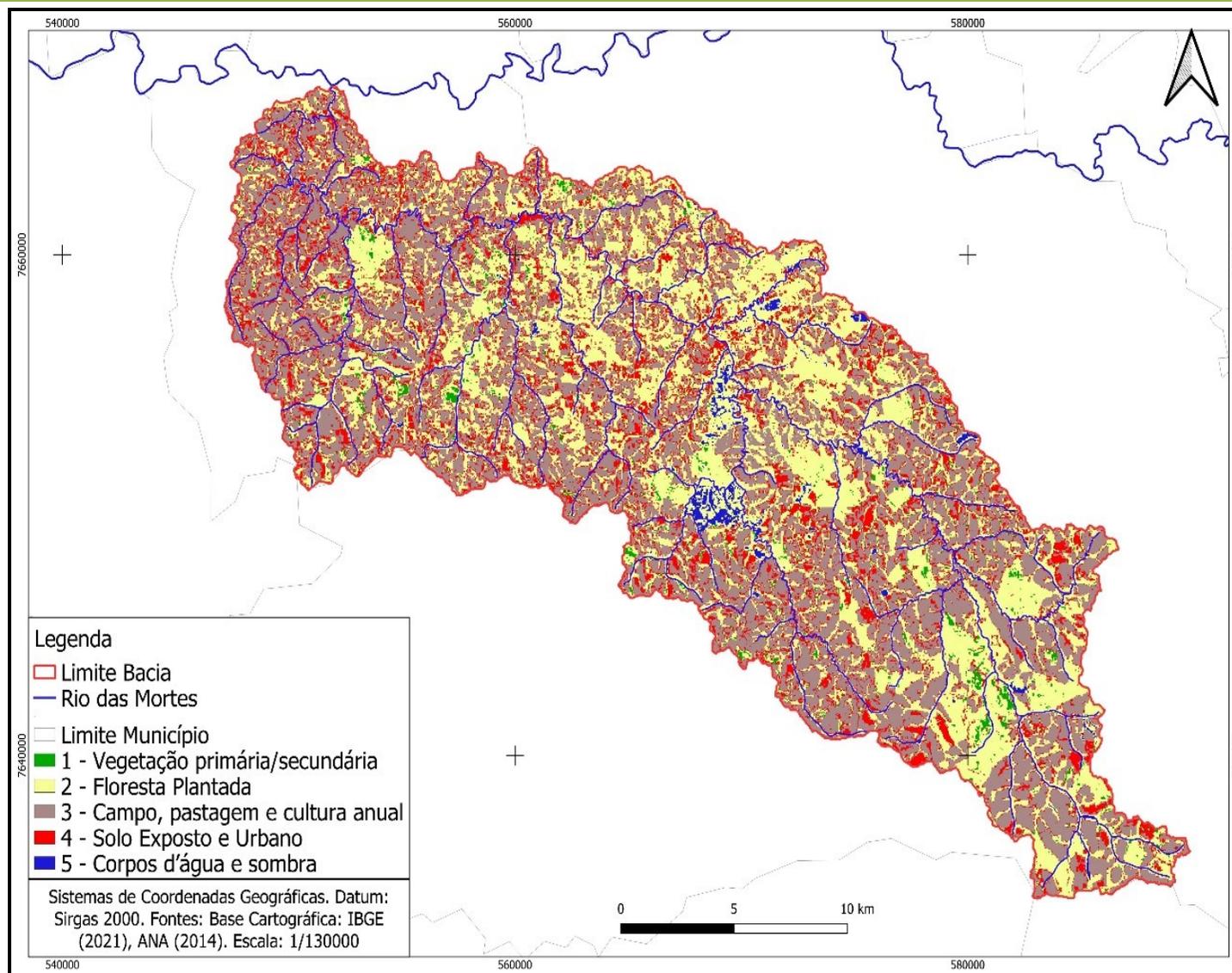


Figura 8 – Uso e ocupação da terra no ano de 2020 na BHRMP.

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados do IBGE (2021); ANA (2014); USGS (2021).

Os resultados do processamento das imagens revelaram uma acurácia geral de 80,7% no ano de 1990; de 79,3% no ano de 2000; 60,3% no ano de 2010; e 62,6% no ano de 2020 para diferenciação e caracterização do uso e ocupação da terra por meio das tipologias adotadas, significando que para melhores resultados e minimização de ruídos nas imagens de satélite, é necessário a utilização de imagens em escala maiores (com maior resolução) para diminuir o efeito da sombra e obter uma classificação mais acurada.

No gráfico abaixo (Fig. 9) são apresentados os percentuais das classes de uso e ocupação do solo por ano, das áreas de estudo em relação a área total da bacia hidrográfica.

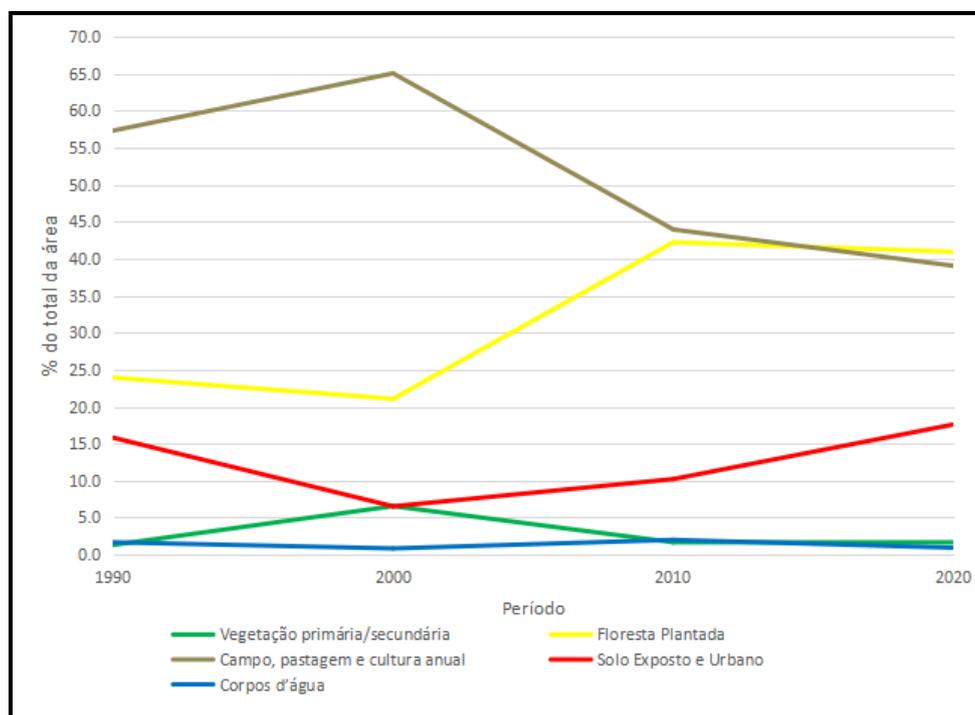


Figura 9 - Distribuição do percentual de área ocupado pelas classes do uso e ocupação da terra na BHRMP. Fonte: elaborado pelos autores, 2022.

3.1. Análise das Mudanças na Paisagem

A partir dos resultados apresentados (figuras e gráficos), foi observado que grande parte da área de estudo é ocupada pelo setor agrosilvipastoril [classe (3) - campo, pastagem e cultura anual] predominando nos três primeiros períodos analisados (1990, 2000 e 2010). Essa classe englobava cerca de 324,3 km² da área total da bacia em 1990; e reduziu para 220,9 km² em 2020 (Fig. 9). Na figura 10 é possível observar e identificar o

uso da terra com relação ao setor agrícola e de pecuária. As figuras ilustram áreas a montante e a jusante da bacia, respectivamente.



Figura 10 – Presença de áreas com florestas plantadas de eucalipto (B) e presença de área utilizada para pastagem (A) na BHRMP. **Fonte:** arquivo dos autores, 2022

Ao contrário do observado em áreas de campo e pastagem, áreas de florestas plantadas [(2) - Floresta Plantada] tiveram um acréscimo a partir do ano 2000, passando de cerca de 135,5 km² em 1990 para 239,0 km² em 2010, mantendo valores acima de 40% de ocupação espacial na bacia no ano de 2020 (Fig. 9 e 11).

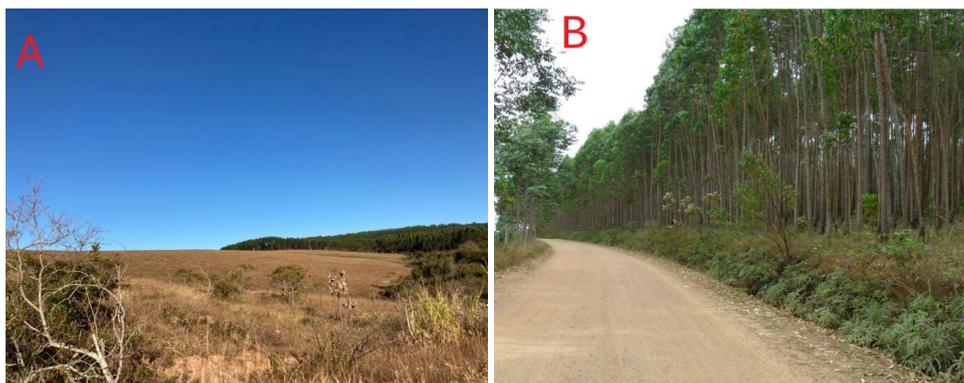


Figura 11– Presença de áreas com florestas plantadas de eucalipto e presença de área utilizada para pastagem na BHRMP. **Fonte:** arquivo dos autores, 2022

Foi realizada a análise das áreas ocupadas pelas duas classes mais predominantes (campos, pastagem e agricultura e floresta plantada), ao longo da série temporal, sobrepondo as áreas de floresta plantada do ano de 2020 sobre áreas de campos, pastagem e agricultura do ano de 1990. É possível realizar o recorte da diferença das duas áreas e verificar quais locais foram ocupados pela classe de floresta plantada sobre as áreas antes ocupadas pela campos, pastagens e cultura anual (Fig. 12). Dos 239 km² de floresta plantada em 2020, 104,3 km² são áreas oriundas de campos, agricultura e pastagem, ratificando a substituição das áreas e a mudança do uso da terra.

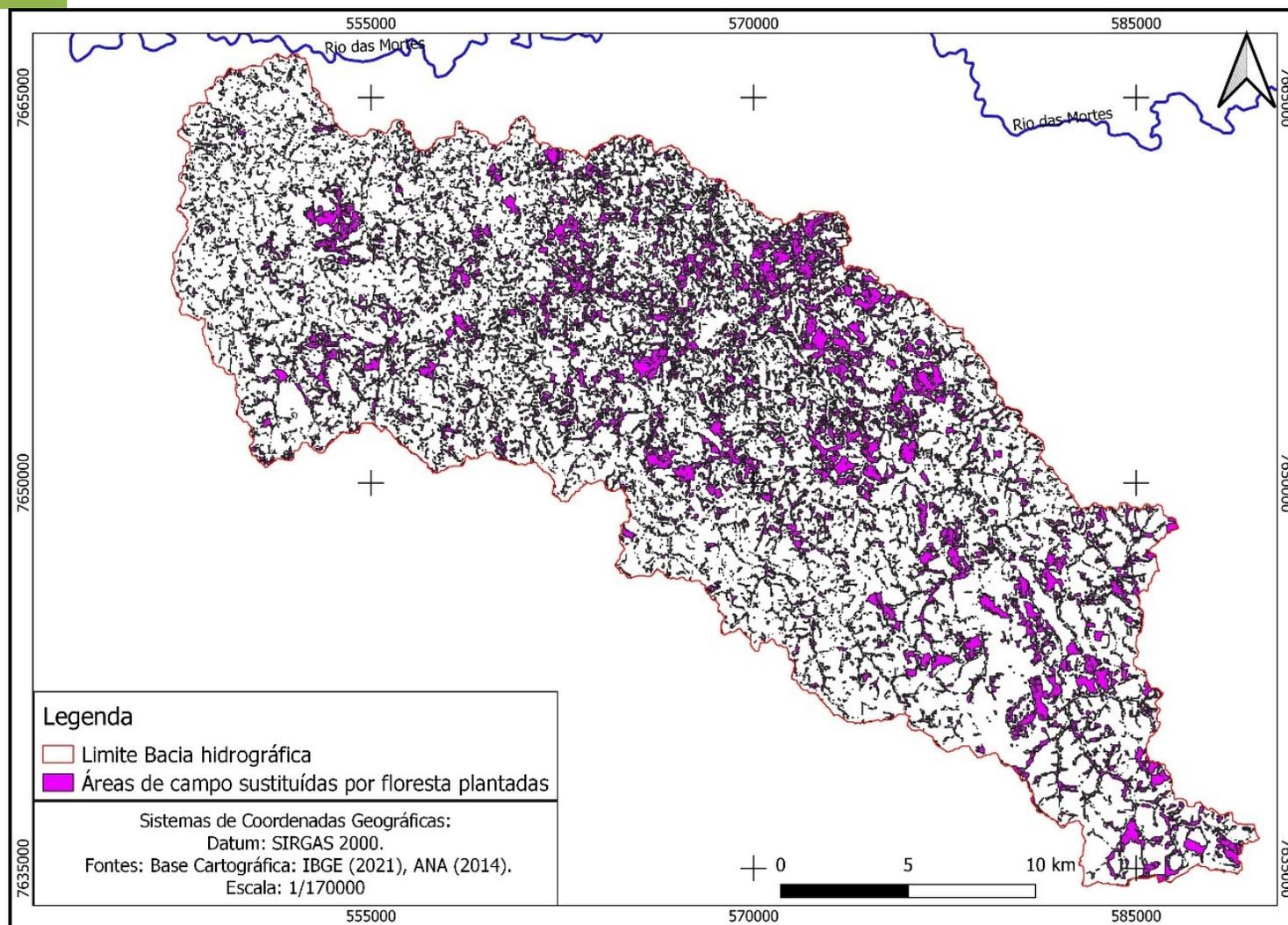


Figura 12 - Áreas da classe 'Campos, Pastagens e Cultura anual' (1990) que foram substituídas pela classe 'Floresta Plantada', no ano de 2020 na BHRMP. **Fonte:** Elaborado pelos autores com base nos dados do IBGE (2021); USGS (2021).

Outro fator importante de análise é a baixa porcentagem de vegetação primária/secundária nos períodos analisados. Segundo o Mapbiomas (2021), a identificação dessa classe é possível devido ao predomínio de espécies arbóreas, com formação de dossel contínuo. A baixa presença de vegetação nativa aumenta as possibilidades de erosão do solo (Kaliski *et al.*, 2010) e a falta de proteção dos recursos hídricos. Nos últimos 30 anos analisados, os valores para a classe de vegetação primária/secundária se mantiveram abaixo de 7% em toda a BHRMP. No entanto, nos anos de 1990, 2010 e 2020 os valores foram menores que 2% da área da bacia (Fig. 05, 07, 08). Pode se inferir que no ano 2000, o aumento da classe de vegetação primária/secundária está relacionado com o aumento da vegetação secundária.

Com relação a classe Solo Exposto e Urbano (4), esta representa em maior parte superfícies não vegetadas, que são áreas degradadas sem nenhuma vegetação (Fig. 05 a 08). Do ano de 1990 a 2020, as áreas identificadas como solo exposto e áreas urbanas tiveram um aumento em valores absolutos de 10 km². Pode-se verificar que alguns desses locais com solo exposto estão próximos de estradas vicinais e linhas férreas, como exemplificado nas figuras 13 (A e B).



Figura 13A e 13B - Localização de solo exposto próximo a estradas vicinais e à ferrovia na BHRMP. Fonte: Google Earth (data das imagens 30/01/2020)

Nos mapas analisados da BHRMP é possível verificar que as matas ciliares e as nascentes não estão sendo preservadas e respeitadas conforme o Código Florestal, Lei 12.651/2012 (Fig. 14). Verifica-se que ao longo dos cursos dos rios, as áreas que deveriam ser preservação permanente apresentam predominantemente uso da terra classificados como campo/agricultura, plantios florestais e solos expostos (classes 2, 3 e 4). Para padronizar as análises foi considerando a largura dos leitos d'água com até 10

metros o que obriga a manutenção da mata ciliar para cada lado do rio com 30 metros de largura, conforme o art. 4º, inciso I do Código Florestal.

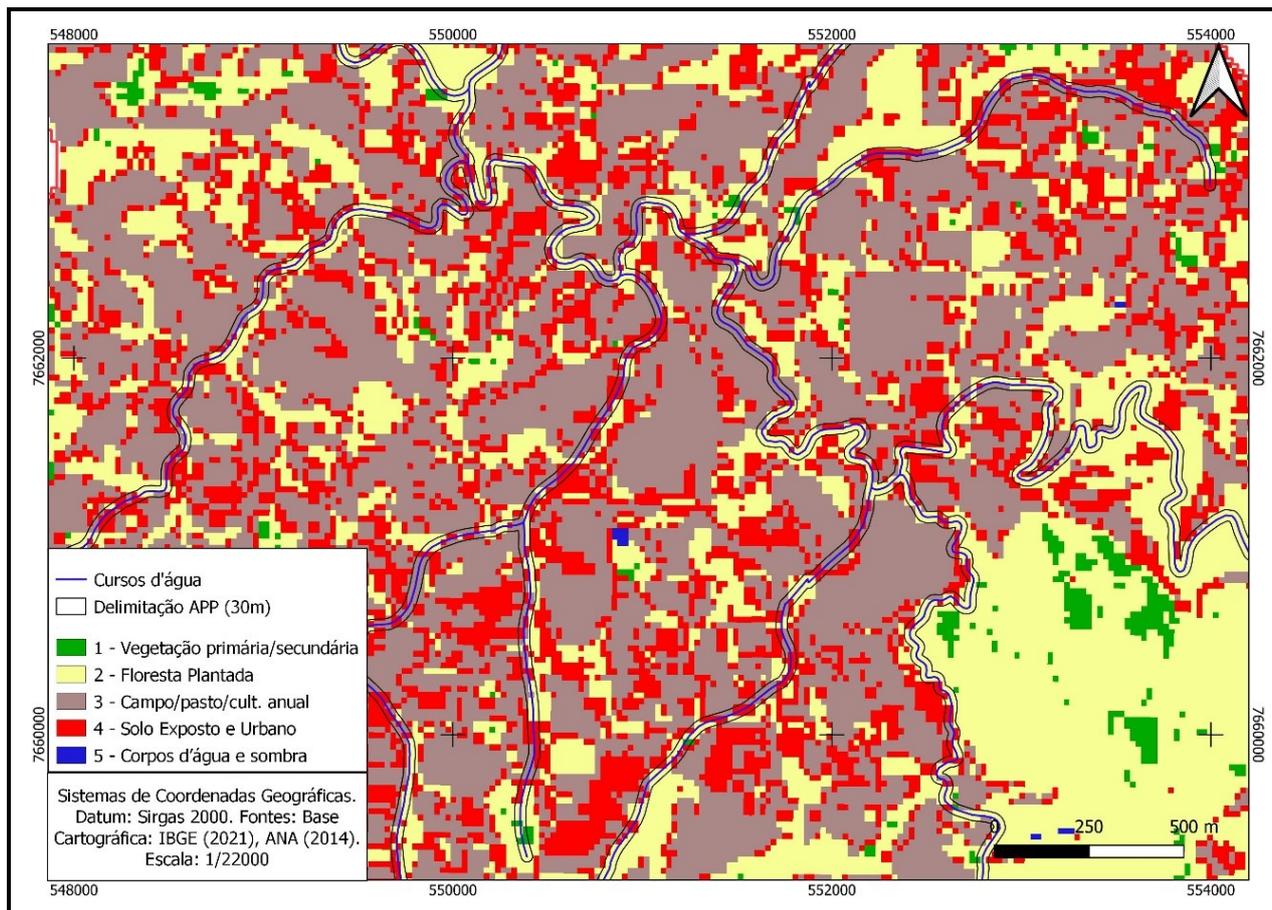


Figura 14 - Municípios de São João Del-Rei e Conceição da Barra de Minas (MG): Identificação do uso da terra nos canais fluviais da BHRMP. **Fonte:** Elaborado pelos autores com base nos dados do IBGE (2021); ANA (2014); USGS (2021).

Em zonas rurais agrícolas, como na BHRMP, as matas ciliares auxiliam na diminuição dos processos de erosão (Castro *et al.*, 2013), assim como auxiliam nos serviços ecossistêmicos, funcionando como corredor ecológico. Nos últimos anos, o processo de uso da terra nas áreas rurais alterou a cobertura vegetal das margens dos rios (Kaliski *et al.*, 2010), como observado nesse estudo. As matas ciliares ainda existem, porém com as atividades agrícolas e pecuárias progressivamente ocupando mais espaço dentro da BHRMP (fig. 15A e 15B).

Para evidenciar a supressão da APP as margens do Rio das Mortes Pequeno, foi identificado alguns pontos, no mapa do ano de 2020 comparado com a mesma área de 1990, para indicar os locais que ocorreram a supressão da vegetação e foi substituída pelas atividades agropecuárias (Fig. 16A e 16B).

A classe corpos d'água e sombra (5) tem áreas que tiveram sua interpretação dificultada. Essa dificuldade se dá pelo fato da identificação de pixels com sombras que

aparecem mesmo após os processos de correção das imagens e uso de filtros. Influenciam na presença de sombras: a qualidade do satélite, à posição solar, relevo do solo e sombra de dosséis que aumentam o contraste. Porém, nesta classe também foi possível identificar a presença de corpos hídricos na BHRMP que aumentaram com o tempo. Um dos corpos hídricos identificado é a represa de Munhos, localizada no município de São João del-Rei que é utilizado para lazer, práticas de esporte, pesca e também para irrigação. Na figura 17 é possível verificar o aumento do volume da represa para os anos de 1990, 2000, 2010 e 2020.



Figura 15A e 15B - Presença de atividades agrícolas próximas dos leitos fluviais na BHRMP.

Fonte: Google Earth (data da imagem 30/04/2020).

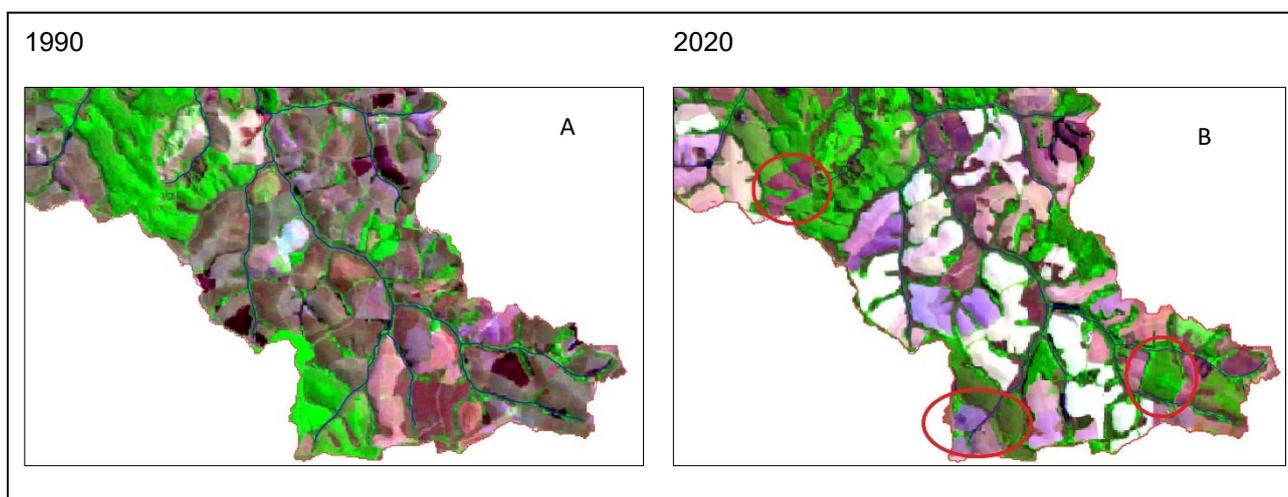


Figura 16A e 16B – Identificação das áreas com cobertura vegetal próxima ao leito fluvial que foram substituídas por atividades agropecuárias. Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados do IBGE (2021); ANA (2014); USGS (2021).

No período de 1990 a 2020, a BHRMP teve alterações no uso da terra caracterizado pelas ações antrópicas, com atividades agrícolas, pecuária e florestal. A floresta plantada,

que atualmente representa a maior porcentagem (40,9%), pode ser adotada para recuperar áreas degradadas (Rizzo; Castro, 2000; Freitas, *et al.*, 2013; Pinto; Agra; Furley, 2017), assim como contribuir na fonte de renda para os pequenos agricultores que utilizam dessa atividade.

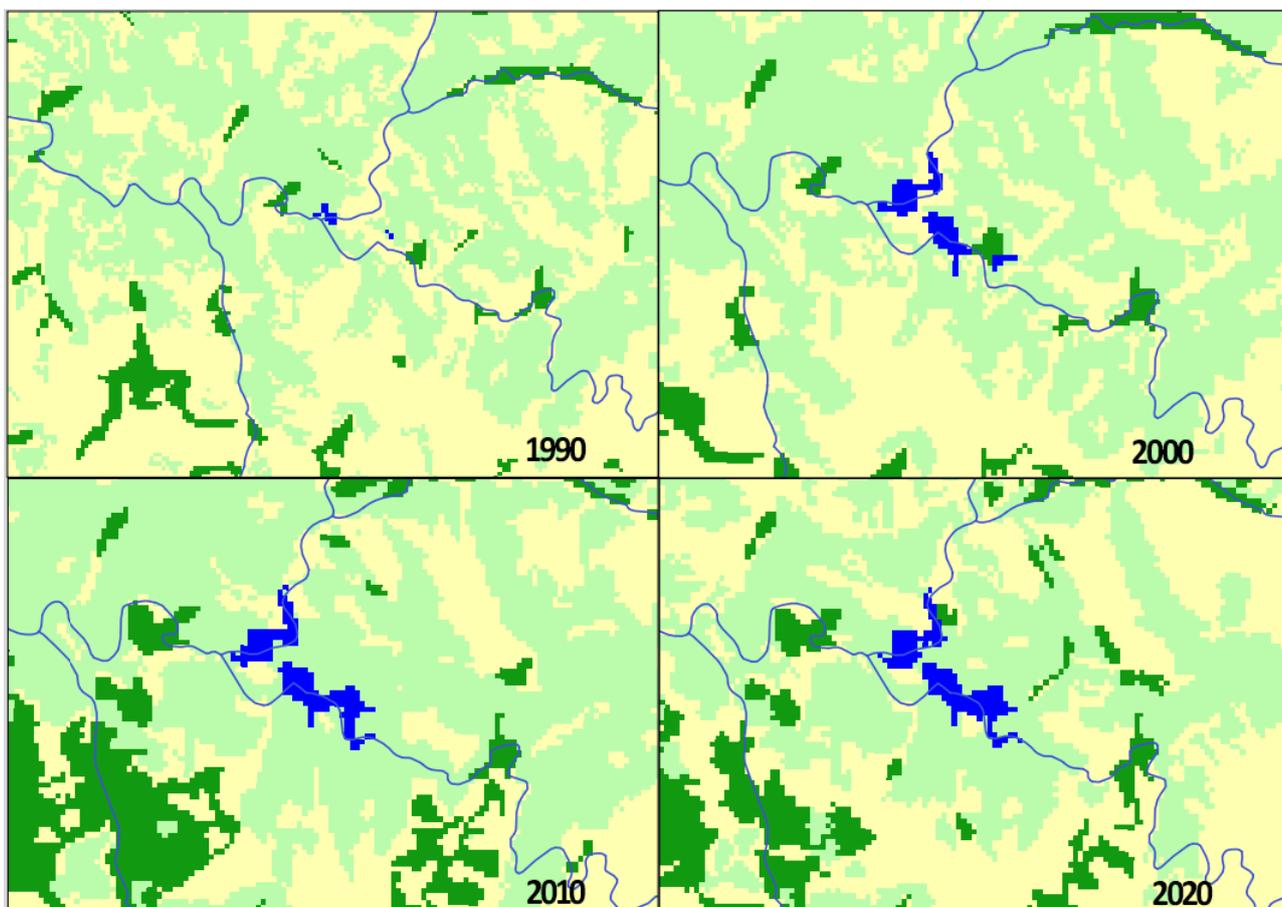


Figura 17 – Aumento do volume da represa do Munhos na BHRMP de 1990 a 2020.

Fonte: MAPbiomas, 2021.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto associada ao Sistema de Informações Geográficas (SIG) são importantes ferramentas para análise ambiental, especificamente, para constatação rápida e eficaz do uso e cobertura da terra em bacias hidrográficas.

Através destas ferramentas foi possível confeccionar os mapas temáticos que ajudaram na análise, interpretação e caracterização do uso e ocupação da terra na BHRMP. Foi possível identificar as mudanças, no período de 1990 a 2020, das atividades dos proprietários rurais na BHRMP. As alterações observadas na bacia hidrográfica foram a redução da classe campo, pastagem e agricultura de 57,3% da área para 39% e o aumento da classe floresta plantada que tiveram um crescimento de aproximadamente

20% nos últimos 30 anos de 23,9% para 40,9%, substituindo a atividade de agropecuária como principal atividade da BHRMP.

Os mapas temáticos tiveram uma acurácia de 80,7% no ano de 1990; de 79,3% no ano de 2000; 60,3% no ano de 2010; e 62,6% no ano de 2020. Para melhores resultados e minimização de ruídos nas imagens de satélite, é necessária a utilização de imagens em escala maiores com o intuito de diminuir o efeito da sombra e obter uma classificação mais acurada.

Por fim, é importante que outros trabalhos sejam realizados em outras sub-bacias hidrográficas dentro da mesma bacia hidrográfica, no caso, o Rio das Mortes, integrada às bacias hidrográficas do Rio Grande e Rio Paraná, sucessivamente, para que as técnicas e ferramentas aqui utilizadas possam ser testadas e confirmadas por outros pesquisadores, e também para que se possa ter uma nova perspectiva de estudos de transformações de uso da terra em bacias hidrográficas, bem como seu monitoramento ao longo do tempo, pois, trata-se de ferramentas geotecnológicas públicas e de baixo custo apresentando bons resultados e potencial para ampla escala de aplicação. O conhecimento de uma bacia hidrográfica através do estudo individualizado (mas integrado) de suas sub-bacias, utilizando-se dos métodos e técnicas da “ciência de dados espaciais”, como o uso de imagens orbitais públicas para o planejamento e monitoramento do uso da terra em escala meso e microrregional, mostra-se um caminho promissor, tanto para a esfera gestora pública, quanto privada.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANDRADE, N. G. **A eucaliptização da capital catarinense da agroecologia: uma análise da expansão dos monocultivos de eucaliptos em Santa Rosa de Lima no sul do Brasil.** 2021. 71f. Dissertação (Mestrado em Agrossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

ANDRADES, T. O.; GANIMI, R. N. Revolução verde e a apropriação capitalista. **CES Revista**, v. 21, p. 43-56, 2007.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília, DF, 2012. Disponível em: <https://bit.ly/3m94R3O>. Acesso em: 16 ago. 2021.

CASTRO, M. N.; CASTRO, R. M.; SOUZA, C. A importância da mata ciliar no contexto da conservação do solo. **Revista Uniaraçuia**, v. 4, n. 4, p. 230-241, 2013.

COELHO, V. H. *et al.* Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 64-72, 2014.

DI GREGORIO, A.; JANSEN, L. **Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra: Conceptos de Clasificación y manual para el usuario**. Roma: FAO, 2005. 226p.

EHLERS, E. **O que é agricultura sustentável**. São Paulo: Brasiliense, 2009. 96p.

FREIRE, A. P.; CASTRO, E. de C. Análise da Correlação do uso e Ocupação do Solo e da Qualidade da Água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p. 41-49, 2014.

FREITAS, E. C. S. D. *et al.* Deposição de serapilheira e de nutrientes no solo em sistema agrossilvipastoril com eucalipto e acácia. **Revista Árvore**, v. 37, p. 409-417, 2013.

GONZAGA, J.; TOLEDO, M. O uso agrícola do território na microrregião de São João del-Rei-MG: uma análise das culturas temporárias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS, 7., 2014, Vitória: **Anais...** Vitória: AGB, 2014.

GOOGLE. **Google Earth website**. 2021. Disponível em: <http://earth.google.com/>. Acesso em: 04 set. 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2006**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9827-censo-agropecuario.html>. Acesso em: 05 out. 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal 2020**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html>. Acesso em 05 out. 2021.

KALISKI, A. D.; FERRER, T. R.; LAHM, R. A. Análise temporal do uso do solo através de ferramentas de geoprocessamento-estudo de caso: município de Butiá/RS. **Para Onde!?**, v. 4, n. 2, 2010.

LAZZARI, F. M.; SOUZA, A. S. Revolução verde: impactos sobre os conhecimentos tradicionais. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE DIREITO E CONTEMPORANEIDADE: MÍDIAS E DIREITOS DA SOCIEDADE EM REDE. 4., 2017, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM. 2017.

MOREIRA, R. J. Críticas ambientalistas à revolução verde. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 15, p. 39-52, 2000.

NASCIMENTO, J. P. R. D. **Análise e classificação de imagens baseadas em características de textura utilizando matrizes de co-ocorrência**. 2003. 105 f. Dissertação (Mestrado em Informática) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

NASCIMENTO, T. V.; FERNANDES, L. L. Mapeamento de uso e ocupação do solo em uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia. **Ciência e Natura**, v. 39, n. 1, p. 169-177, 2017.

OLOFSSON, P. *et al.* Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. **Remote Sensing of Environment**, v. 148, p. 42-57, 2014.

PEREIRA NETO, O. C. *et al.* Análise do tempo de consolidação do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 489-496, 2007.

PINTO, C. F.; AGRA, J. U. M.; FURLEY, T. H. F. Uso da madeira de eucalipto na recuperação de rios: Projeto Renaturalize. **Revista O Papel**, v. 78, n. 8, p. 106-113, 2017.

QGIS Development Team. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. Version 3.16. 2021.

RIZZO, L. T. B. **Indicadores da resiliência do latossolo vermelho escuro cultivado com citros e eucalipto em Itapetininga-SP: recuperação de um solo degradado pela compactação**. 2000. 200 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

SANTOS, P. G. *et al.* Classificação de terras segundo sua capacidade de uso e identificação de conflito de uso do solo em microbacia hidrográfica. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 11, n. 2, p. 146-157, 2012.

SILVA, T. A.; MAZZUCATO, E.; FERREIRA, M. F. M. Análise Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Das Mortes Pequeno - São João Del Rei – MG In: JORNADA CIENTIFICA DA GEOGRAFIA, 4., 2016, Alfenas. **Anais...** Alfenas: UniFAL. 2016.

TERRACLASS. **Geoportal cerrado**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 2021. Disponível em: <https://www.terraclass.gov.br/geoportal-cerrado/>. Acesso em 24 ago. 2021.

VENTURIERI, A.; SANTOS, J. R. Técnicas de classificação de imagens para análise de cobertura vegetal. **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**, v. 2, p. 351-371, 1998.

WANG, L.; LIU, H. In efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. **International Journal of Geographic all information Science**, v. 20, p. 193-213, 2006.

Recebido: 08.03.2023

Aceito: 19.02.2024