

## **ANÁLISE TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRACICABA EM MINAS GERAIS**

Rafael Aldighieri **Moraes**<sup>1</sup>, Alexandre Túlio Amaral **Nascimento**<sup>2</sup>

( 1 – Universidade do Estado de Minas Gerais, Docente, Doutor em engenharia agrícola, [rafael.moraes@uemg.br](mailto:rafael.moraes@uemg.br), <https://orcid.org/0000-0002-4142-0365>; 2 – Universidade do Estado de Minas Gerais, Docente, Doutor em Ecologia, [alexandre.nascimento@uemg.br](mailto:alexandre.nascimento@uemg.br), <https://orcid.org/0000-0002-4377-1513>)

**Resumo:** No estado de Minas Gerais, a bacia do Rio Piracicaba tem instalado o maior complexo siderúrgico de aços planos da América Latina. Análises indicam que nos últimos 30 anos, uma queda da vazão do rio Piracicaba no exútorio da bacia, apesar das normais climatológicas mostrarem aumento da precipitação. Infere-se que a diminuição da vazão pode ter sido afetada pela alteração do uso e cobertura da terra. Assim, este trabalho tem como objetivo, identificar as alterações da cobertura da terra entre 1987 e 2018, na bacia de Rio Piracicaba. Para o mapa uso da terra, foram utilizadas imagens do Mapbiomas nos anos de 1987, 1997, 2007 e 2018. Para delimitação da bacia e seleção de áreas mais declivosas, foi utilizado um Modelo digital de Elevação. Os resultados indicaram que há uma intensa substituição de mata nativa por floresta plantada, principalmente entre 2007 e 2018, e no período total chega a 13% da área da bacia. Comportamento semelhante foi observado nos intervalos de declividade definidos no estudo, onde áreas com declividade maiores que 47% representam apenas 5,2% da área da bacia (28.239,7 hectares). Recomenda-se também estudos hidrológicos em locais com eucaliptos em relação a áreas de mata nativa.

**Palavras-chave:** geoprocessamento; declividade; matriz de transição.

## **TEMPORAL ANALYSIS OF LAND USE AND COVER IN THE HYDROGRAPHIC WATERSHED OF RIO PIRACICABA IN MINAS GERAIS**

**Abstract:** In the state of Minas Gerais, the Piracicaba River basin installed the largest steel-factory in Latin America. Analyzes indicate that in the last 30 years, a drop in the flow of the

Piracicaba river in the basin's exuvial, despite the climatological normals showing increased precipitation. The decrease in flow may have been affected by changes in land use and cover. Thus, this work aims to identify changes in land cover between 1987 and 2018, in the Piracicaba River basin. For the land use map, images from Mapbiomas were used in the years 1987, 1997, 2007 and 2018. For the delineation of the watershed and selection of more sloping areas, a Digital Elevation Model was used. The results indicated that there is a substitution of native forest for planted forest, mainly between 2007 and 2018, and in the total period, it reaches 13% of the basin area. A similar behavior was observed in the slope intervals defined in the study, where areas with a slope greater than 47% represent only 5.2% of the basin area (28,239.7 hectares). Hydrological studies with eucalyptus area in relation to native forest areas are also recommended.

**Keywords:** geoprocessing; slope; transition matrix.

## **ANÁLISIS TEMPORAL DEL USO Y COBERTURA DE LA TIERRA EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO PIRACICABA EN MINAS GERAIS**

**Resumen:** En el estado de Minas Gerais, la cuenca del río Piracicaba instaló el mayor complejo siderúrgico de aceros planos de América Latina. Los análisis indican que, en los últimos 30 años, una caída en el caudal del río Piracicaba en el exutorio de la cuenca, a pesar de que las normales climatológicas muestran un aumento de las precipitaciones. Se infiere que la disminución del caudal puede haber sido afectada por cambios en el uso y la cobertura del suelo. Por lo tanto, este trabajo tiene como objetivo identificar cambios en la cobertura del suelo entre 1987 y 2018 en la cuenca del río Piracicaba. Para el mapa de uso del suelo se utilizaron imágenes de Mapbiomas de los años 1987, 1997, 2007 y 2018. Para la delimitación de la cuenca y selección de áreas más inclinadas se utilizó un Modelo digital de Elevación. Los resultados indicaron que existe una intensa sustitución de bosque nativo por bosque plantado, principalmente entre 2007 y 2018, y en el período total alcanza el 13% del área de la cuenca. Se observó un comportamiento similar en los intervalos de pendiente definidos en el estudio, donde las áreas con una pendiente superior al 47% representan sólo el 5,2% del área de la cuenca (28.239,7 hectáreas). También se recomiendan estudios hidrológicos en lugares con eucaliptos en relación con áreas de bosque nativo.

**Palabras clave:** geoprocesamiento; pendiente; matriz de transición.

### **1 - Introdução**

A manutenção da quantidade e qualidade dos recursos hídricos é de extrema importância para o desenvolvimento humano. A dinâmica do escoamento e infiltração das águas das chuvas variam de acordo com a cobertura da terra. Portanto, a gestão e planejamento territorial têm nas bacias hidrográficas sua principal unidade de trabalho e atenção

Atualmente, a gestão de recursos hídricos no Brasil tem se baseado na aplicação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), promulgada em 1997 pela Lei Federal 9.433 (BRASIL. Lei 9.433/1997, alterada pela Lei 9.984/2000). Entretanto, o país enfrenta dificuldades com a consolidação dos aspectos institucionais do gerenciamento, o controle da exploração desses recursos nas metrópoles e da poluição difusa sobre os recursos hídricos, bem como a conservação ambiental. Com a promulgação da PNRH, a bacia hidrográfica passa a ser considerada a unidade territorial ideal para o gerenciamento da água, levando à implementação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH). Com isso, reconhece-se a opção do governo brasileiro pelo uso de entidades sistêmicas de gestão (MORAES & LORANDI, 2016).

No estado de Minas Gerais, a bacia do Rio Doce possui 6 (seis) Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRH's), com Comitês de Bacia estruturados, onde a bacia do Rio Piracicaba pertence ao comitê indicado pelo código DO2 (IGAM, 2010). Nela está instalado o maior complexo siderúrgico de aços planos da América Latina, a Usiminas (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2020). O rio principal desta bacia, o Piracicaba, tem uma extensão de aproximadamente 240 km, nascendo na cidade de Ouro Preto-MG e desaguando no rio Doce na cidade de Ipatinga. Atualmente atende a uma população de aproximadamente 800 mil pessoas (SILVA, 2010).

Segundo TUCCI & CLARKE (1997), o impacto do uso da terra sobre o comportamento hidrológico de bacias rurais é fundamental na preservação e uso dos recursos hídricos. HOFFMANN & NANNI (2017) identificaram que a alteração do uso da terra prejudica o escoamento superficial, potencializando aumento das vazões em curtos períodos e a redução das mesmas durante médios e longos períodos. GARCIA DE SOUSA et al., (2019), analisando vazão de curso d'água e uso da terra, concluiu que o aumento das vazões máximas está relacionada à redução de cobertura de floresta e aumento da área de infraestrutura, o que promove o menor tempo de residência da chuva na bacia e menor infiltração. JUNQUEIRA, J. et al (2005), afirmam que algumas das características importantes observadas na mata nativa com vistas à otimização da recarga do aquífero e o conseqüente fluxo das nascentes podem ser

as atenuações do impacto das gotas da chuva pelo dossel, e o sistema radicular bem desenvolvido, estabilizando o solo e mantendo-o com boas características de infiltração e recarga.

Outro fator na análise da bacia e sua degradação, é a declividade do terreno. Segundo SILVEIRA (2016), a declividade é um dos fatores que contribuí na instabilidade das encostas, ocasionada pelo fluxo torrencial que se dá na superfície, acarretando consequentes processos erosivos e movimentos coletivos de materiais. E quanto maior o ângulo da declividade, mais rapidamente a energia potencial das águas pluviais se transforma em energia cinética, aumentando a velocidade das massas de água e sua capacidade de transporte, responsável pelos processos erosivos que esculpe as formas de relevo - morfogênese.

Nesse contexto, análises da dinâmica temporal de uso e cobertura da terra das bacias hidrográficas permitem identificar e compreender os fatores que afetam sua variabilidade e disponibilidade hídrica. Portanto, a presente proposta de trabalho tem como objetivo, identificar as alterações da cobertura da terra entre 1987 e 2018, na bacia de Rio Piracicaba em Minas Gerais que podem ter impactado na queda da disponibilidade hídrica da bacia.

## **2 - Material e Métodos**

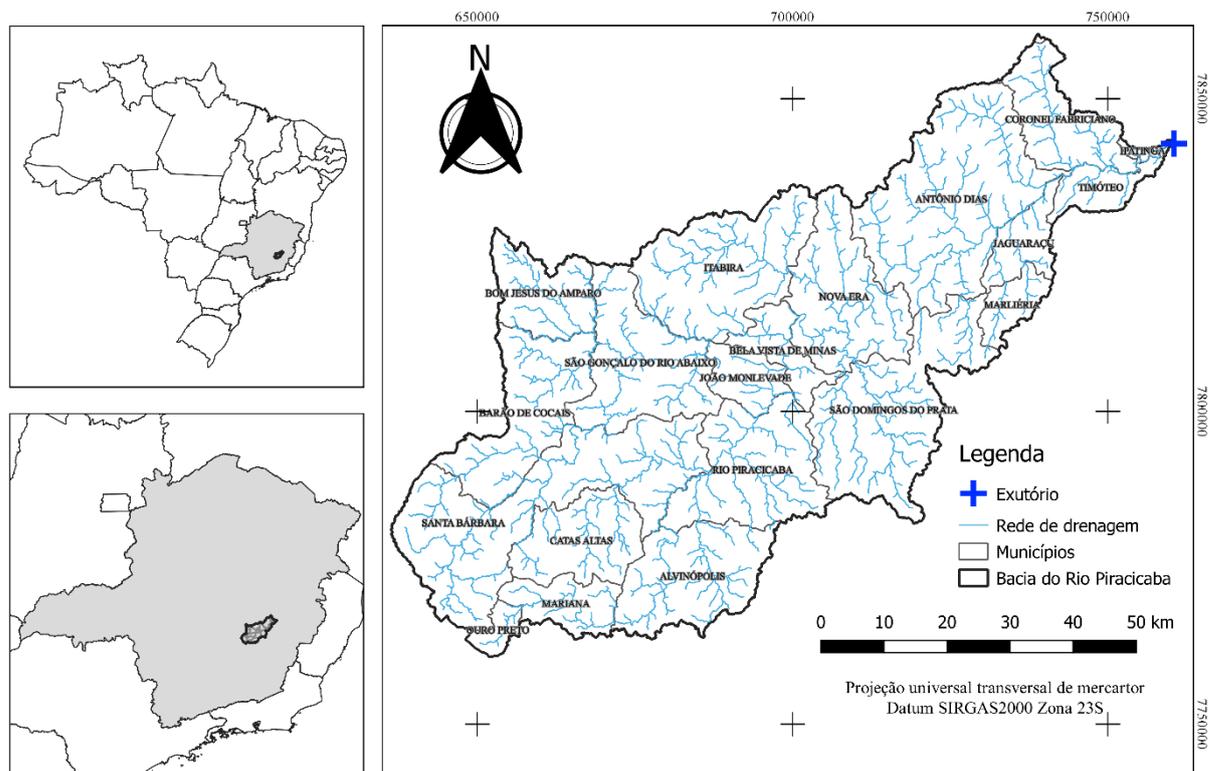
### *2.1 – Definição da área de estudo*

A área de estudo foi a bacia do rio Piracicaba (Figura 1), Minas Gerais, localizada na região leste do estado de Minas Gerais, conhecida por Vale do Aço. A bacia foi delimitada de forma automática, após o processamento de imagens 19\_435, 19\_42\_, 20\_435, e 20\_42 do modelo digital de elevação (MDE) da região. Tecnologias de sensoriamento remoto e SIG, permitem a geração da declividade de forma contínua no terreno, principalmente a partir do MDE.

Para a geração da bacia hidrográfica no QGIS, foi considerado o encontro do rio Piracicaba com o Rio Doce o exutório da bacia. Basicamente foram feitas três etapas no software, a partir de ferramentas presentes no QGIS, do GRASS GIS 7.8.4dev, sendo a *r.fill.dir*, *r.watershed* e a *r.water.outlet*. Na primeira a correção nos valores dos pixels do MDE de modo que não houvesse depressões entre os pontos mais altos e os mais baixos (o que teoricamente poderia gerar acúmulos de água); na segunda, a geração da direção do fluxo, linhas de córregos e micro bacias; e na parte final, ao indicar o exutório nas linhas de córregos, o software gera

um polígono (dado vetorial) da área de contribuição para aquele ponto (exutório), ou seja, a bacia hidrográfica.

Figura 1 – Localização da bacia do rio Piracicaba em Minas Gerais, Brasil.



Fonte: próprios autores.

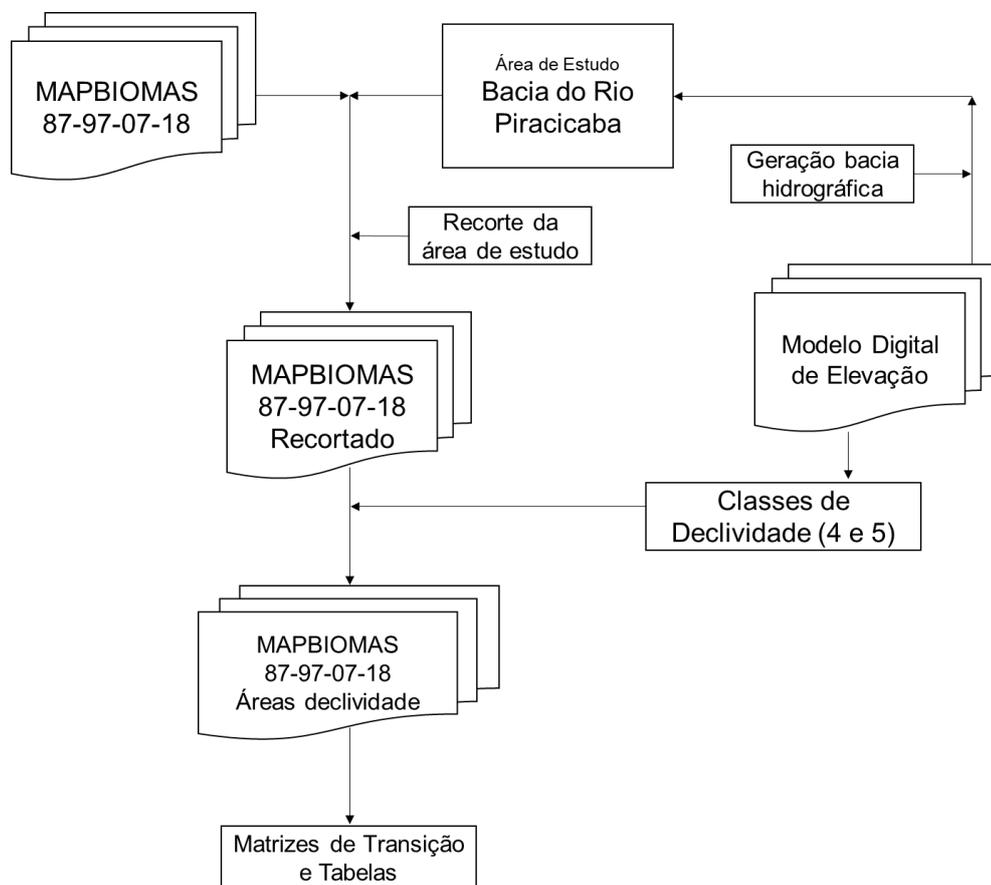
## 2.2 – Etapas do trabalho e fonte de dados

O trabalho foi realizado de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 2, com técnicas de geoprocessamento, e uso do software QGIS (QGIS, 2020). Foram utilizadas imagens do Mapbiomas para geração de mapas uso da terra, para os anos de 1987, 1997, 2007 e 2018, de modo a permitir uma análise de 30 anos do uso da cobertura da terra. Foram utilizadas imagens do modelo digital de elevação (MDE), disponibilizadas pelo Topodata (BRASIL, 2008). O projeto Topodata oferece o MDE e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, ora elaborados a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo USGS na rede mundial de computadores (BRASIL, 2008).

O Mapbiomas é uma iniciativa que envolve uma rede colaborativa com especialistas nos biomas, usos da terra, sensoriamento remoto, SIG (Sistema de Informação Geográfica) e

ciência da computação que utiliza processamento em nuvem e classificadores automatizados desenvolvidos e operados a partir da plataforma Google Earth Engine para gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil (MAPBIOMAS, 2019). Esses mapas anuais são gerados a partir de imagens LANDSAT 5 e 8, com resolução espacial de 30 metros, permitindo análises com escala de 1:80.000. Assim, cada pixel das imagens do Mapbiomas é classificado, entre 27 classes de uso da terra.

Figura 2. Fluxograma do trabalho.



### 2.3 – Recorte das imagens, geração da declividade e separação por classes

A partir do polígono da bacia hidrográfica gerada, foram recortadas as imagens do Mapbiomas para os anos considerados no estudo, de modo a avaliar as alterações do uso da terra dentro da bacia. Também foi recortada a imagem do MDE de modo a gerar, no QGIS, a declividade dentro da bacia. Esta declividade se apresenta em percentagem em cada pixel da imagem, permitindo a seleção de pixels em intervalos de declividade (classificação) para análise da bacia. Para esses intervalos, foi considerada a proposta de BIASI (1992) apresentada

na Tabela 1, que estabelece uma chave com cinco classes de declividade, apoiando-se no sentido técnico e no aspecto normativo de seu uso.

Vale ressaltar que a Tabela 1 não busca analisar em paralelo ao código florestal vigente no Brasil; apenas indica usos da terra aconselhados para a preservação ambiental, proposta por BIASI (1992). O código florestal, considera apenas áreas com restrições, aquelas com declividade maiores que 47% (~25°), que seria a classe 5 da tabela 1. Segundo o código florestal (BRASIL, 2012), as restrições conforme artigo 11° (áreas com inclinação entre 25° e 45° (47% - 100%) são de uso restrito onde serão permitidos o manejo florestal sustentável e o exercício de atividades agrossilvipastoris, bem como a manutenção da infraestrutura física associada ao desenvolvimento das atividades, observadas boas práticas agronômicas, sendo vedada a conversão de novas áreas) e artigo 4°, áreas com mais de 45° de declividade são definidas como Áreas de Preservação Permanente – APP.

Tabela 1. Classes de declividade e seus respectivos usos aconselhados.

Classes	Declividade	Usos aconselhados para cada classe
<b>1</b>	< 5% ou < 2,9°	Limite urbano industrial, utilizado internacionalmente, quando próximo a cursos d'água são regiões susceptíveis a enchentes e problemas de drenagem, representam áreas de terrenos planos muito suaves, tendo solo arável que suporta maquinaria pesada.
<b>2</b>	5 – 12% ou 2,9° - 6,8°	Propício a mecanização, sendo o limite máximo para a mesma, estabelecimento de rodovias e áreas residenciais, restringe a irrigação e o controle da erosão já se torna necessário.
<b>3</b>	12 – 30% ou 6,8° -16,7°	Limite máximo para instalações urbanas exigindo infra-estrutura de alto custo, muito íngreme para cultivos, necessitando cultivos em curvas de nível como cuidados especiais para o controle da erosão.
<b>4</b>	30 – 47% ou 16,7° - 25,2°	Nessa classe de declividade só será permitida a realização de corte raso, a partir do qual a exploração só será permitida se sustentada por cobertura de florestas, sérios problemas de erosão e instabilidade de vertentes, pois estas são fortemente inclinadas não podendo ficar sem cobertura vegetal.
<b>5</b>	>47% ou > 25,2°	Acima dessa declividade não é permitida a derrubada de florestas, só sendo tolerada a extração de toras, quando em regime de utilização racional, que vise a rendimentos permanentes.

Fonte: De Biasi (1970)

Org.: Iensen, R.E. (2006)

Considerando os locais pertencentes as classes de declividade 4 e 5 (tabela 1), que possuem maiores restrição do uso de solo e conseqüentemente maiores impactos ambientais, foi criado um polígono (vetor) para cada uma dessas classes de declividade dentro da bacia, a partir da classificação e seleção dos pixels na imagem de declividade, oriunda do MDE. Dessa maneira, as áreas dentro da bacia, pertencentes a classe de declividade 4 e 5 podem ser

identificadas, permitindo o recorte das imagens do Mapbiomas para analisar a variação do uso da terra localmente para cada pixel em cada um dos locais restritos pela declividade.

Assim, foram obtidas imagens com a indicação do uso da terra dentro da bacia, em sua totalidade, para os anos de 1987, 1997, 2007 e 2018. Além disso, imagens considerando cada classe de declividade, 4 e 5, individualmente, de modo a permitir a análise da dinâmica do uso da terra, entre 1987 e 2018, em locais restritos. Desses três grupos de imagens do Mapbiomas recortado (totalidade da bacia, classe 4 e classe 5 de declividade), foram gerados gráficos e tabelas da variação da área de cada classe de uso da terra para cada ano.

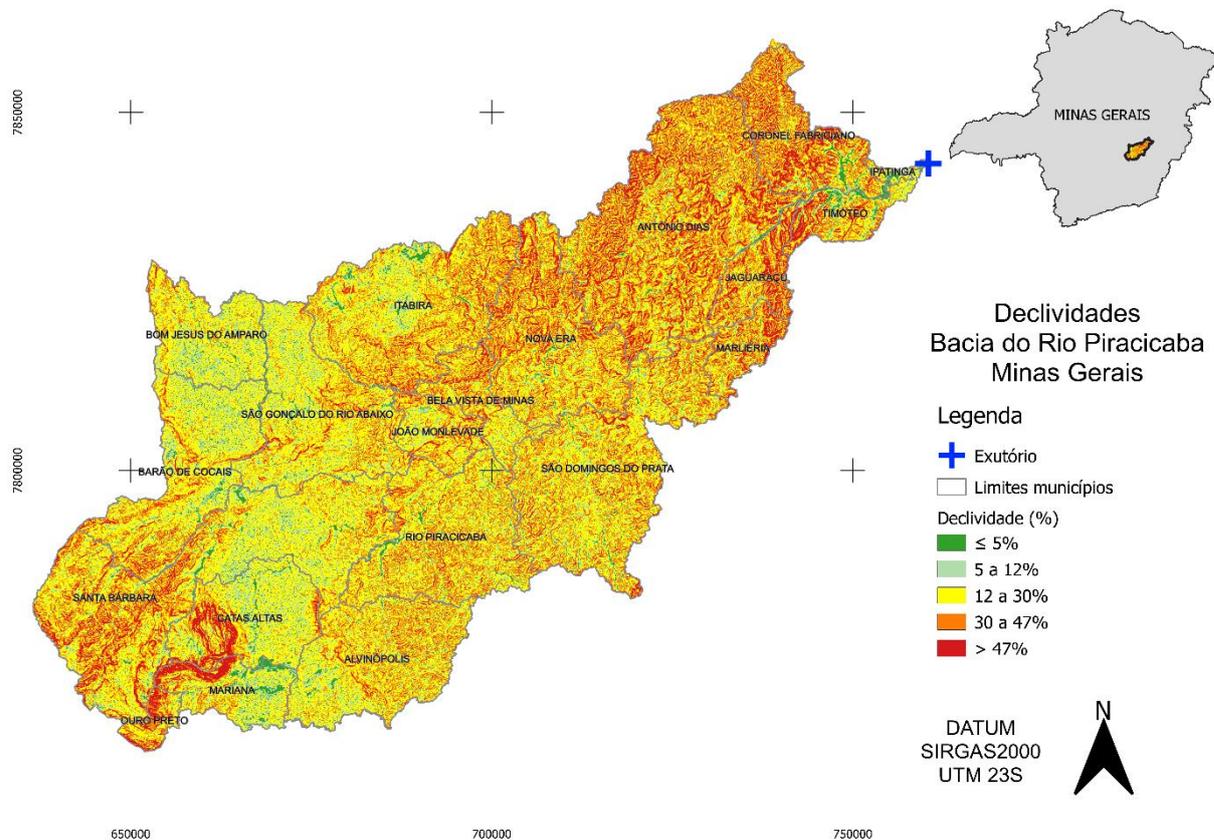
Também foi gerada a matriz de transição comparando os três recortes (totalidade da bacia, classe de declividade 4 e 5) entre os anos de 1987 e 2018, de modo a permitir a identificação do que havia na bacia em 1987 e foi substituído ou mantido em 2018.

### **3 - Resultados e discussões**

#### *3.1 – Análise dos dados geoprocessados – geração da bacia e declividade*

A área gerada da bacia do Rio Piracicaba (Minas Gerais), e seu respectivo exutório, onde foi considerado o encontro entre os rios Piracicaba e Rio Doce, em Ipatinga, MG, pode ser observada na Figura 3. Também apresenta as classes de declividade 4 (entre 30 e 47%) e 5 (> 47%), onde após procedimentos em software, verificou-se que a classe 4 ocupa 26,6% da área da bacia e a classe 5 ocupa 9,4% da área, totalizando 36%, ou seja, mais de um terço da área da bacia possui locais com restrição de uso com impactos ambientais. Acrescentando, as áreas ocupadas pelas classes 1, 2 e 3 são respectivamente 2,5%, 12,8% e 48,7% da área.

Figura 3. Bacia do Rio Piracicaba, Minas Gerais, gerada a partir dos dados de MDE, e classes de declividade, considerando os intervalos segundo De Biasi (1970).



Fonte: próprios autores.

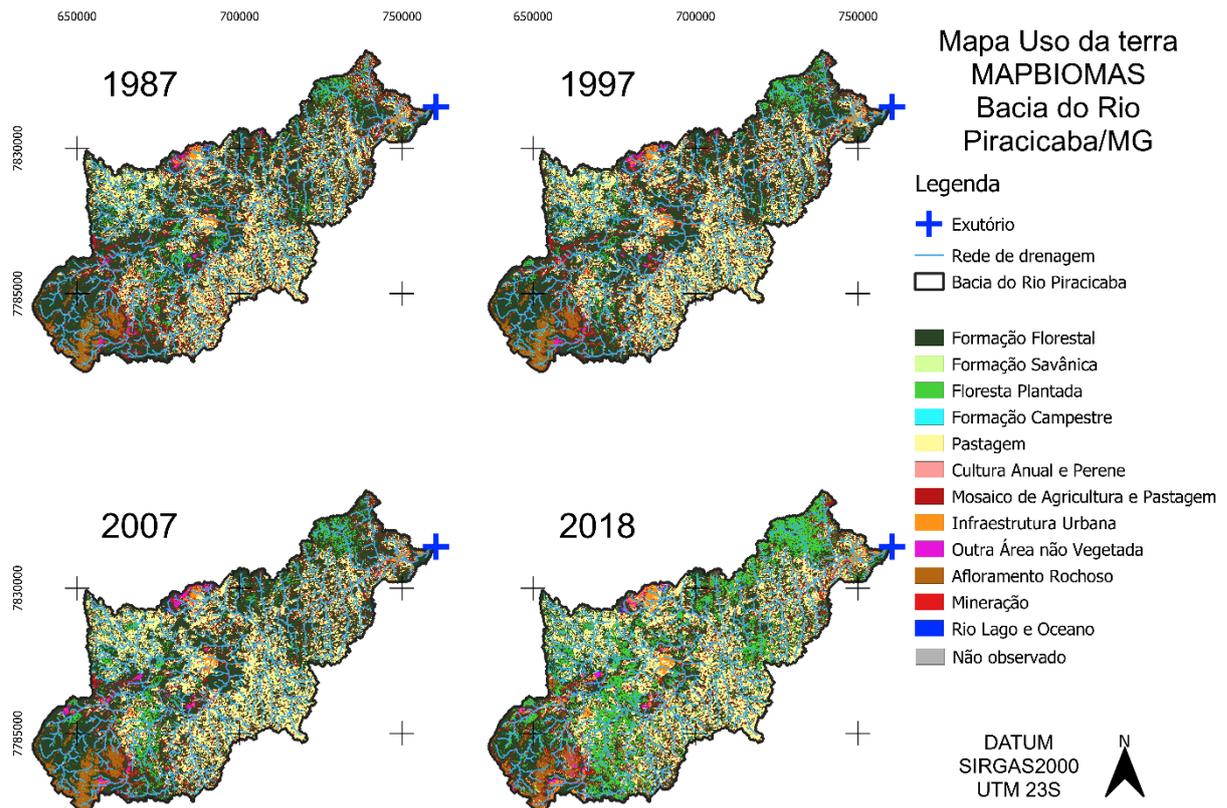
### 3.2 – Análise do uso da terra para toda bacia

O recorte da imagem do Mapbiomas, para os anos de 1987, 1997, 2007 e 2018 e a identificação das diferentes classes de uso e ocupação da terra, para toda a bacia é apresentando conforme figura 4. Visualmente é possível identificar que grande parte da área é ocupada por pastagens e que há pouca dinâmica dos tipos de uso e ocupação da terra ao longo dos 30 anos, com exceção de formação florestal e floresta plantada.

O aumento da floresta plantada ao longo do tempo em substituição de áreas de pastagens e de formação florestal (mata nativa), ocorre principalmente a noroeste da bacia, na área mais habitada e declivosa, principalmente nos municípios de Antônio Dias e Coronel Fabriciano. Na área central da bacia nota-se visualmente que há uma grande substituição de mata nativa por floresta plantada, entre os limites de município de Nova Era e São Domingos do Prata. E ao sul da bacia, seguindo a mesma dinâmica, um visível aumento de floresta plantada sobre mata

nativa, principalmente nos municípios de Catas Altas, Santa Bárbara e São Gonçalo do Rio Abaixo.

Figura 4. Recorte da imagem do Mapbiomas, na área da bacia, para os anos de 1987, 1997, 2007 e 2018 e a apresentação das diferentes classes de uso e ocupação da terra.



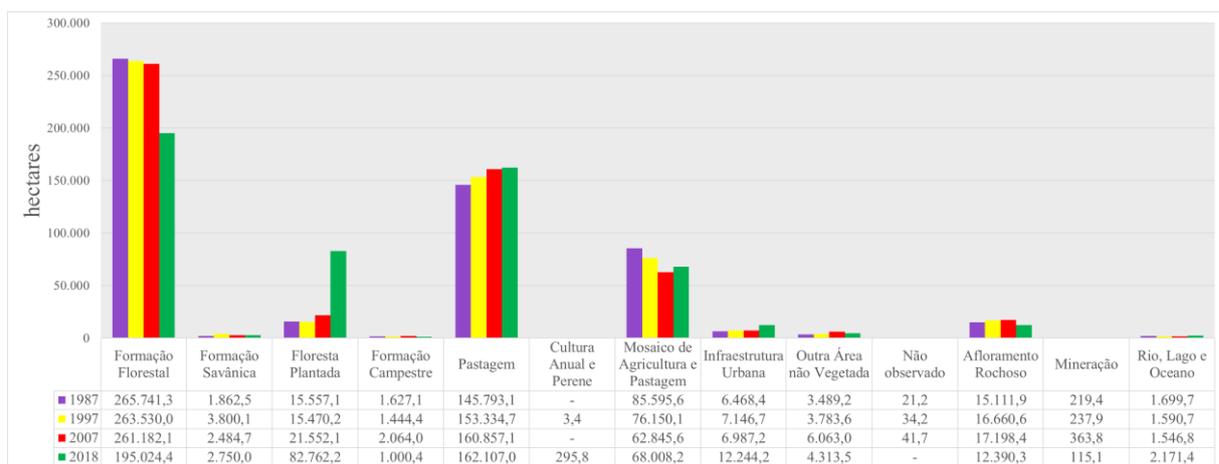
Fonte: próprios autores.

Pode ser observado na figura 5, numericamente e graficamente, a variação da área de cada classe de uso da terra na bacia, em hectares, nos anos de 1987, 1997, 2007 e 2018. Conforme identificado inicialmente no mapa, nota-se uma grande variação entre 2007 e 2018 na classe “Formação Florestal”, com queda de quase 70 mil hectares (ha). Entre 1987 e 2007 havendo uma queda dessa classe em apenas 1,7%, porém considerando o período entre 1987 e 2018, temos uma queda de 26%.

Paralelamente, no mesmo período, a floresta plantada aumenta em quase toda a área da formação florestal, indicando uma substituição por essa classe de uso do solo. Destaca-se também, o aumento das áreas de pastagens e da infraestrutura urbana, devido ao crescimento

das cidades. Para outros usos da terra, há pouca variação dentro da bacia, no período do estudo, podendo destacar a classe de Rios, Lagos e Oceano referente a expansão de barragens de rejeito devido a mineração.

Figura 5 – Variação da área da classe de uso da terra, na bacia, para os anos de 1987, 1997, 2007 e 2018.



Fonte: próprios autores.

LUIZ et al. (2019), analisando a expansão do reflorestamento com eucalipto na bacia do rio Piracicaba e da região metropolitana do Vale do Aço, principalmente voltado para a produção de celulose, concluiu que entre 1985 e 2010 houve um aumento de cerca de 12% dessas áreas, em substituição a florestas (9%) e pastagem (3%). Além disso, os autores mostram que houve um aumento constante, desde 1990, da produção de eucalipto para celulose, indicando um dos motivos para a grande supressão de mata nativa na região.

A matriz de transição das classes de uso da terra, vislumbrada na tabela 2, considera toda área da bacia, do ano de 1987 em relação a 2018. Essa análise permite verificar as alterações na cobertura do uso da terra localmente, ou seja, que tipo de classe havia em 1987 em determinado local, e sua classificação em 2018. Observando a tabela, os cruzamentos entre as mesmas classes, representam as áreas onde não se alterou o tipo de cobertura nos últimos 30 anos (diagonal da tabela), por exemplo: a área de mineração apresentada pelo valor de 7,7 hectares, indica que estes pixels, foram classificados nesta classe tanto em 1987 como em 2018.

Ao analisar a tabela 2, horizontalmente, é possível verificar o total ocupado por cada classe em 1987 (coluna “Soma 1987”); e os valores ao longo da linha, representam a área por qual classe de uso da terra foi substituída em 2018. Assim, se a área diminuiu de 1987 para

2018, pode-se analisar por qual foi substituída. Na vertical, verifica-se o total ocupado por classe em 2018 (linha “Soma 2018”); e os valores ao longo da coluna, representam a área por qual classe de uso de solo a classe da respectiva coluna “cresceu”, ou seja, áreas novas sobrepondo outras. Assim, nas colunas são apresentadas as áreas sobre o qual a respectiva classe cresceu e na linha, as áreas sobre o qual a respectiva classe perdeu área.

Tabela 2 – Variação do uso da terra, espacialmente, na área da bacia, entre o ano de 1987 e 2018.

		2018												Soma 1987		
Classe	3	4	9	12	15	19	21	24	25	27	29	30	33			
1987	3	<b>165.450,3</b>	1.292,2	47.395,8	111,2	24.788,3	130,0	22.557,1	1.380,4	1.312,9	-	741,8	35,9	542,7	265.738,6	
	4	762,3	<b>255,2</b>	41,7	43,3	707,1	1,2	0,3	14,3	20,9	-	-	-	15,3	1.861,6	
	9	951,1	0,3	<b>13.855,2</b>	-	309,5	1,3	361,4	33,3	26,4	-	8,9	0,5	9,0	15.557,0	
	12	85,6	24,7	28,3	<b>627,2</b>	128,1	3,2	71,2	20,7	67,4	-	570,0	-	0,8	1.627,1	
	15	10.689,4	81,4	11.129,6	63,6	<b>105.883,5</b>	116,1	15.419,7	2.059,3	202,5	-	64,6	5,0	77,4	145.792,1	
	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	21	16.294,1	242,5	9.909,2	133,1	28.877,4	37,4	<b>25.419,4</b>	2.030,8	646,6	-	1.723,9	17,4	263,0	85.594,8	
	24	89,4	22,7	6,8	0,4	280,2	-	411,7	<b>5.326,7</b>	256,8	-	38,3	5,8	29,5	6.468,3	
	25	132,8	56,0	144,3	-	479,6	4,1	617,9	866,3	<b>780,1</b>	-	291,1	38,4	78,6	3.489,2	
	27	3,9	0,1	1,9	0,2	6,4	-	5,8	0,6	0,3	-	2,1	-	-	21,2	
	29	499,6	681,8	248,3	21,2	585,7	1,4	3.013,8	370,1	760,9	-	<b>8.895,8</b>	2,2	31,0	15.111,8	
	30	14,0	3,3	-	-	23,5	1,1	16,9	104,4	29,9	-	17,9	<b>7,7</b>	0,7	219,4	
	33	50,7	89,9	0,4	0,1	36,6	-	112,5	37,5	208,6	-	35,9	2,1	<b>1.123,4</b>	1.697,7	
Soma 2018	195.023,1	2.750,0	82.761,7	1.000,4	162.105,9	295,8	68.007,7	12.244,2	4.313,4	-	12.390,2	115,1	2.171,4	<b>543.178,9</b>		

Legenda: 03-Formação Florestal; 04-Formação Savânica; 09-Floresta Plantada; 12-Formação Campestre; 15-Pastagem; 19-Cultura Anual e Perene; 21-Mosaico de Agricultura e Pastagem; 24-Infraestrutura Urbana; 25-Outra Área não Vegetada; 27-Não observado; 29-Afloramento Rochoso; 30-Mineração; 33-Rio, Lago e Oceano.

Nesse sentido, analisando a classe Formação Florestal (3) em 1987, esta possuía um total de 265.738,6 hectares ao longo da bacia (Soma 1987); em 2018 houve uma redução para 195.023,1 hectares (Soma 2018). Conclui-se que houve uma redução dessa classe em 70.715,5 hectares, sendo que 165.450,3 hectares ainda estão como Formação Florestal desde 1987. O valor da “Soma 1987” da Formação Florestal (3), foi substituída, e observada (substituída) em 2018 basicamente por Floresta Plantada (9) em 47.395,8 hectares, Pastagem (15) em 24.788,3 ha e Mosaico de Agricultura e Pastagem em 22.557,1 ha. E dos 165.450,3 ha não alterados, foram criadas novas áreas de Formação Florestal sobre principalmente Pastagem (15) em 10.689,4 ha, Mosaico de Agricultura e Pastagem (21) em 16.294,1 ha. Nota-se que foram transformadas em pastagens uma maior quantidade de área em substituição a formação florestal (24.788,3 ha) do que pastagens em reflorestamento (10.689,4).

A formação florestal foi substituída, em boa parte, pela floresta plantada (47.395,8 ha) e em menor área por pastagem (24.788,3 ha) e por mosaico de agricultura e pastagem (22.557,1 ha). Sem ainda considerar a declividade, pode-se notar o impacto da alteração da cobertura da terra que antes era formação florestal (que permite uma recarga da bacia com as chuvas), por

pastagem e outros usos, que favorecem o escoamento superficial e a baixa absorção de água da terra (considerando a área total da bacia, 13% desta deixou de ser ocupada por formação florestal no período). Apesar disso, a floresta plantada cresceu nos últimos 30 anos sobre a formação florestal em 57,3%.

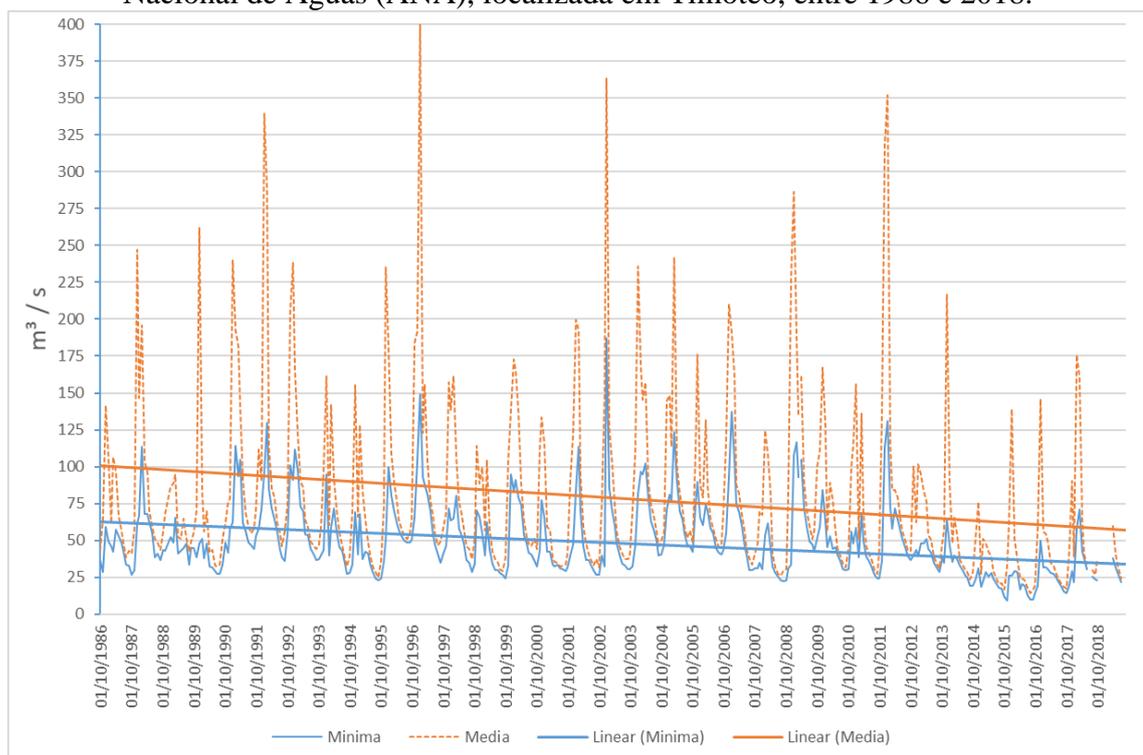
GROPPO et al. (2019), comparando capacidade de retenção de água do dossel entre mata atlântica e plantação florestal de eucalipto, concluiu que a mata interceptou 30% do total da precipitação incidente, sendo duas vezes mais que a cobertura por eucalipto. TREVISAN et al. (2012), chega a valores semelhantes de interceptação em comparação mata nativa e eucalipto (35% na floresta e 14% no eucalipto), porém com escoamento superficial semelhante entre as duas coberturas (coeficiente de deflúvio de 0,38). Assim, a mata reteve mais a água que o eucalipto. Além disso, afirmam que a retirada de água pelas raízes do eucalipto foi maior que no caso de pastagem e mata nativa, na época seca. TADEU & SINISGALLI (2016), analisando o impacto da atividade de silvicultura de eucalipto para produção de madeira sobre a disponibilidade de água, concluíram que o consumo de água ( $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ) da floresta nativa é menor que o consumo da silvicultura e que, em períodos de menor precipitação pluviométrica, os usos de água da bacia (usos naturais e usos antrópicos) concorrem pelo recurso, tornando-o escasso.

Nesse contexto de potenciais impactos a partir da variação do uso da terra no período considerando, de acordo com dados da estação fluviométrica Mário de Carvalho, localizada em Timóteo, Minas Gerais (próximo ao exutório da bacia do Rio Piracicaba), disponibilizados no portal HIDROWEB (2019), verifica-se uma queda da vazão média e mínima (linha de tendência linear) entre os anos de 1986 e 2018 (figura 6). Fazendo um paralelo com a precipitação total anual média, de acordo com dados da normal climatológica fornecidas pelo INMET (2019), no período entre 1961 e 1990, a precipitação em Ipatinga (estação meteorológica Usiminas), totalizou 1036,4mm e em João Monlevade (médio Piracicaba), totalizou 1265,6mm. Já o período entre 1981 e 2010, a precipitação em Ipatinga totalizou 1359,5mm e em João Monlevade, 1401,3mm, ou seja, há uma clara tendência de aumento da precipitação média anual. Assim, a diminuição da vazão do Rio Piracicaba ao longo dos últimos 30 anos, pode ter sido afetada pela alteração do uso da terra no período, impactando a capacidade da bacia de reter água.

Diante do impacto da retirada da mata nativa (formação florestal), observado anteriormente, foi feita também a análise da variação do uso da terra, na bacia, apenas nas áreas

restritas pela declividade, sendo a classe 4 e 5, conforme tabela 1. Essa verificação foi feita de modo a observar se as áreas sensíveis foram alteradas de modo a prejudicar a capacidade da bacia de reter água, principalmente devido ao escoamento superficial e demanda hídrica pelo tipo de uso (monocultura de eucalipto por exemplo).

Figura 6. Vazão média e mínima na estação Mário de Carvalho (56.696.000) da Agencia Nacional de Águas (ANA), localizada em Timóteo, entre 1986 e 2018.

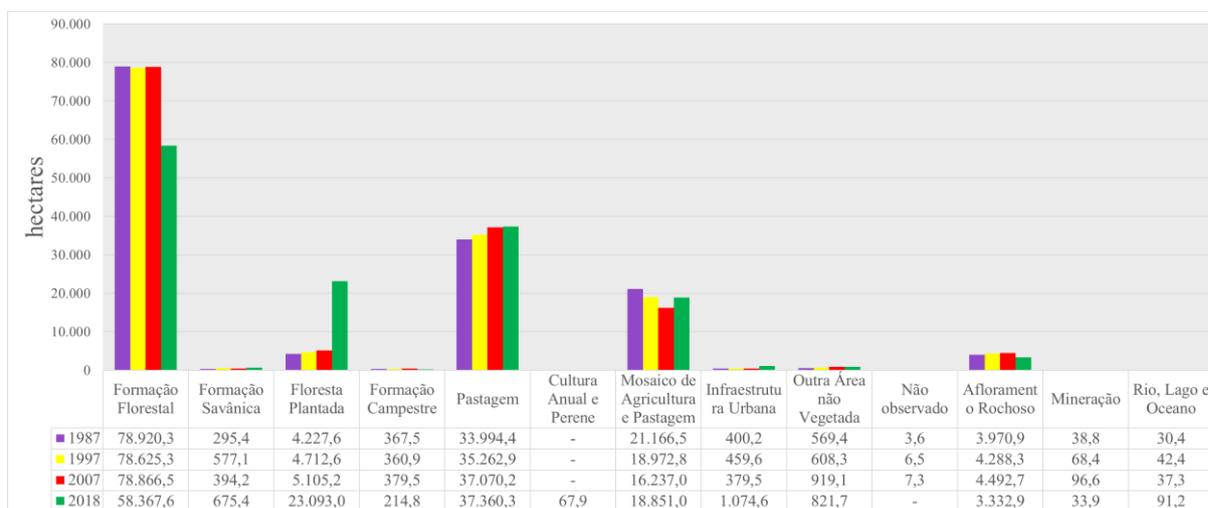


Fonte: Hidroweb (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb>). Editado pelo autor.

### 3.3 – Análise do uso da terra na declividade entre 30 e 47%

Na figura 7, a variação das classes de uso da terra na declividade entre 30 e 47% (classe 4) pode ser analisada. Semelhante à figura 5, houve supressão de formação florestal (14,3% do total) e aumento da área de floresta plantada, bem como aumento da pastagem (3.365 ha). Essas modificações da cobertura da terra contradizem às recomendações de manutenção da vegetação nativa em terrenos com essa declividade (Tabela 1). Além disso, as áreas de pastagem, ocupam 26% do total em 2018 e áreas de mosaico de agricultura e pastagem, 13% do total, diminuindo consideravelmente a capacidade de retenção de água no solo e aumentando o escoamento superficial.

Figura 7 – Variação da área de cada classe de uso da terra, em áreas na bacia com declividade entre 30 e 47% (classe 4) para os anos de 1987, 1997, 2007 e 2018.



Fonte: próprios autores.

Semelhante a dinâmica da bacia como um todo, boa parte da formação florestal foi suprimida e substituída por floresta plantada (13.049,3 ha), pastagem (6.627,2 ha) e mosaico de agricultura e pastagem (6.913,6 ha) (tabela 3).

Tabela 3 – Variação do uso da terra, espacialmente, em áreas na bacia com declividade entre 30 e 47% (classe 4) para o ano de 1987 e 2018.

Classe	2018												Soma 1987	
	3	4	9	12	15	19	21	24	25	27	29	30		33
3	<b>51.092,9</b>	288,8	13.049,3	23,3	6.727,2	31,4	6.913,6	260,7	273,1	-	206,7	7,8	44,7	78.919,5
4	122,5	<b>80,4</b>	2,2	7,5	79,2	-	-	1,8	1,3	-	-	-	0,1	295,0
9	246,7	0,3	<b>3.773,6</b>	-	94,8	-	95,4	8,9	3,9	-	2,5	0,3	1,1	4.227,6
12	8,7	4,2	0,8	<b>122,9</b>	8,3	-	19,3	0,1	10,0	-	193,3	-	-	367,5
15	2.526,3	16,5	3.388,8	12,6	<b>23.239,2</b>	26,8	4.609,8	131,4	26,0	-	11,9	1,3	3,6	33.994,2
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	4.206,8	86,1	2.839,2	40,3	6.995,0	9,4	<b>6.285,1</b>	225,8	117,3	-	342,0	7,6	11,8	21.166,3
24	9,4	4,5	0,2	-	39,6	-	53,0	<b>242,1</b>	38,7	-	8,8	2,3	1,6	400,2
25	26,5	11,8	21,8	-	80,9	0,3	87,5	97,7	<b>168,3</b>	-	53,1	11,3	10,2	569,4
27	0,5	-	0,3	0,1	0,3	-	1,7	0,1	-	-	0,7	-	-	3,6
29	119,7	177,4	16,8	8,1	94,9	-	779,4	84,5	176,0	-	<b>2.509,8</b>	-	4,4	3.970,9
30	2,1	0,3	-	-	0,1	-	3,3	20,3	5,7	-	3,6	<b>3,4</b>	-	38,8
33	5,0	5,1	-	-	0,5	-	2,8	1,4	1,2	-	0,4	-	<b>13,9</b>	30,3
Soma 2018	58.367,2	675,4	23.092,9	214,8	37.360,1	67,9	18.850,9	1.074,6	821,7	-	3.332,9	33,9	91,2	<b>143.983,4</b>

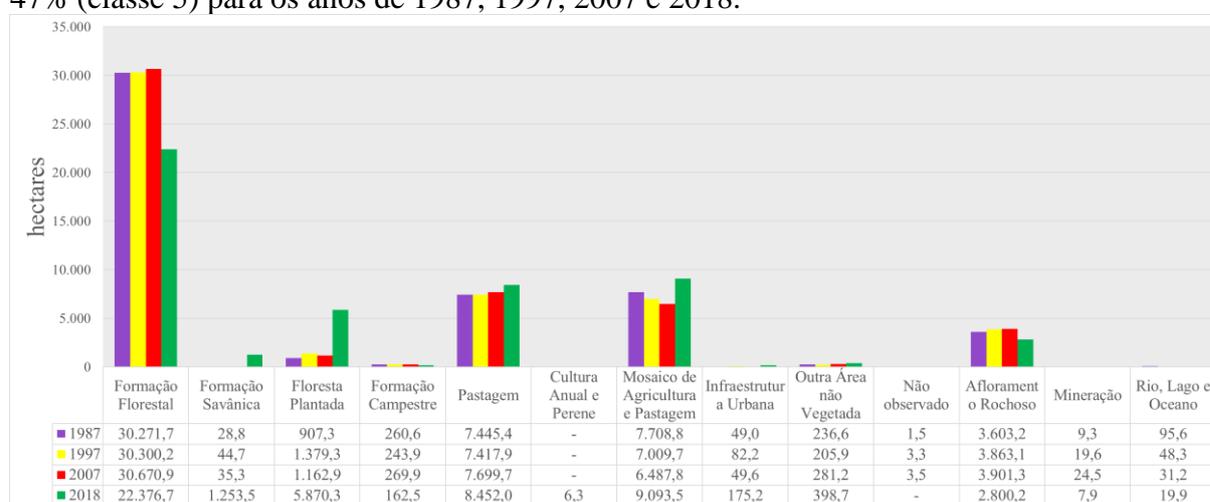
Legenda: 03-Formação Florestal; 04-Formação Savânica; 09-Floresta Plantada; 12-Formação Campestre; 15-Pastagem; 19-Cultura Anual e Perene; 21-Mosaico de Agricultura e Pastagem; 24-Infraestrutura Urbana; 25-Outra Área não Vegetada; 27-Não observado; 29-Afloramento Rochoso; 30-Mineração; 33-Rio, Lago e Oceano.

### 3.3 – Análise do uso da terra na declividade maior que 47%

O uso da terra na bacia em áreas com declividade maior que 47%, classe 5 da tabela 1, pode ser verificado na figura 8. Nestas áreas não é permitida a derrubada de florestas, só sendo tolerada a extração de toras, quando em regime de utilização racional, que vise a rendimentos permanentes. Porém, este apresentou o mesmo padrão observado em toda a bacia, com supressão de aproximadamente 15,6% da formação florestal entre 1987 (ocupava 59,8% do

total) e 2018 (ocupa 44,2% do total). A formação florestal nesse período foi substituída principalmente por floresta plantada em 3.440,6 ha, pastagem em 1.706 ha e mosaico de agricultura com pastagem em 3.610,4, representando assim, 28,9% de perda de formação florestal do total das áreas na declividade maior que 47% desde 1987. A floresta plantada, ocupando 907 hectares teve um aumento de 547% de ocupação nesta declividade, chegando em 2018 a 5.870,2 hectares (tabela 4).

Figura 8 – Variação da área de cada classe de uso da terra, na bacia com declividade maior que 47% (classe 5) para os anos de 1987, 1997, 2007 e 2018.



Fonte: próprios autores.

Tabela 4 – Variação do uso da terra, especialmente, em áreas na bacia com declividade maior que 47% (classe 5) para o ano de 1987 e 2018.

Classe	2018												Soma 1987	
	3	4	9	12	15	19	21	24	25	27	29	30		33
3	<b>20.386,3</b>	724,1	3.440,6	12,3	1.706,0	3,6	3.610,4	60,8	96,0	-	215,5	2,0	13,6	30.271,2
4	9,6	<b>15,6</b>	-	1,0	1,7	-	-	-	0,7	-	-	-	-	28,6
9	32,7	-	<b>832,0</b>	-	25,2	-	15,0	2,4	-	-	0,2	-	-	907,3
12	2,9	2,4	-	<b>76,4</b>	4,9	-	30,9	-	2,4	-	140,8	-	-	260,6
15	480,2	2,9	783,5	10,1	<b>4.641,9</b>	2,0	1.504,9	9,8	2,5	-	7,5	-	-	7.445,4
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	1.344,2	41,5	810,8	52,7	2.002,2	0,2	<b>3.019,6</b>	33,8	32,6	-	368,8	0,1	2,3	7.708,8
24	0,5	0,5	-	-	4,8	-	8,6	<b>23,3</b>	8,7	-	2,7	-	-	49,0
25	3,7	4,5	2,2	-	18,3	0,5	23,0	14,9	<b>95,8</b>	-	67,9	5,5	0,3	236,6
27	0,3	-	0,2	-	0,2	-	0,6	-	0,1	-	0,3	-	-	1,5
29	107,7	391,8	0,9	9,9	46,5	-	874,3	28,2	154,4	-	<b>1.988,5</b>	-	0,8	3.603,1
30	-	-	-	-	0,1	-	0,1	2,0	5,0	-	1,8	<b>0,3</b>	-	9,3
33	8,6	70,1	-	-	0,2	-	6,1	0,1	0,5	-	6,2	-	<b>2,9</b>	94,7
Soma 2018	22.376,5	1.253,5	5.870,2	162,5	8.451,9	6,3	9.093,4	175,2	398,7	-	2.800,2	7,9	19,9	<b>50.616,2</b>

Legenda: 03-Formação Florestal; 04-Formação Savânica; 09-Floresta Plantada; 12-Formação Campestre; 15-Pastagem; 19-Cultura Anual e Perene; 21-Mosaico de Agricultura e Pastagem; 24-Infraestrutura Urbana; 25-Outra Área não Vegetada; 27-Não observado; 29-Afloramento Rochoso; 30-Mineração; 33-Rio, Lago e Oceano.

## Conclusões

- A identificação de áreas restritas pela declividade, permitiu observar que boa parte da bacia se encontra com ocupação prejudicial ao meio ambiente, ou seja, com uso da terra desaconselhado para as altas declividades.
- O tipo de uso da terra em altas declividades utilizados em 2018, prejudica a capacidade da bacia de reter água e, por conseguinte, a vazão do Rio Piracicaba, seja na época seca (pouca chuva) e na estação chuvosa, onde criam potencial para cheias e baixa qualidade da água dos rios devido aos sedimentos arrastados pelo escoamento superficial.
- A grande área coberta por floresta plantada também pode estar interferindo na capacidade da terra em reter água, devido à alta demanda hídrica dessa cultura agrícola e baixa capacidade de reter água no solo, em comparação com formação florestal.
- A partir dos problemas detectados na bacia, recomenda-se inicialmente o reflorestamento das áreas de alta declividade (maior que 47%), sendo que estas áreas representam apenas 5,2% da área da bacia (28.239,7 hectares).
- Recomenda-se também estudos hidrológicos em locais com alta cobertura de eucaliptos (norte da bacia) em relação a áreas de mata nativa.

### **Referências bibliográficas**

BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil. Variáveis geomorfométricas locais. São José dos Campos, 2008. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>.

BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. 2012. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Ano CXLIX, n. 102, 28 maio 2012. Seção 1, p.1. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm)>. Acesso em março de 2020.

DE BIASI, M. (1970) *Carta de Declividade de Vertentes: Confeção e Utilização*. São Paulo. Instituto de Geografia – USP.

DE BIASI, M. (1992) A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, n. 06: 45-60. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.1992.0006.0004>.

GROPPO, J.D.; SALEMI, L.F.; MORAES, J.M.; TREVISAN, R.; SEGHESE, G.B.; MARTINELLI, L.A. (2019) Capacidade de retenção de água do dossel vegetativo: comparação entre Mata Atlântica e plantação florestal de eucalipto. *Ciênc. Florest.* [online]. 29(1), pp.96-104. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509816862>.

GARCIA DE SOUSA, R., MARTINS, L., SOARES NUNES, F., & BERNARDES SILVA, F. (2019) Análise da precipitação, vazão, uso e cobertura da terra na bacia do rio São João/Mg. *Revista Augustus*, 24(49), 146–154. DOI: <https://doi.org/10.15202/1981896.2019v24n49p146>

HOFFMANN, G. P., & NANNI, A. S. (2017) O uso da terra e sua influência sobre o volume das águas na Bacia do Rio Biguaçu/SC. *Geosul*, 32(63), 97. DOI: <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2017v32n63p97>

IEENSEN, R.E. *Relação entre erosão e declividade e as consequências erosivas na área do morro Cerrito em Santa Maria – RS*. Monografia de Especialização. 45p. Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce e dos Planos de Ações de Recursos Hídricos para as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito da Bacia do Rio Doce. Consórcio ECOPLAN-LUME. Plano de ação de recursos hídricos da unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos Piracicaba PARH Piracicaba. Maio. 2010. Disponível em: [http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2015/01/PARH\\_Piracicaba.pdf](http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2015/01/PARH_Piracicaba.pdf). Acesso em: novembro 2019.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Normais climatológicas. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>.

INSTITUTO AÇO BRASIL. Usiminas. Site. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site2015/usiminas.asp>. Acesso em março 2020.

JUNQUEIRA J., J.A.; MELLO, C.R.; SILVA, A.M. (2010) *Comportamento hidrológico de duas nascentes associadas ao uso do solo numa sub-bacia hidrográfica de cabeceira*. XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de

Poços. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22966>. Acesso em março 2020.

LUIZ, C.H.P.; FARIA, S.D.; ESCADA, M.I. (2019) Modelagem da expansão do reflorestamento com eucaliptos e efeitos nas estruturas da paisagem. *Mercator*, Fortaleza, v.18, e18019, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.4215/rm2019.e18019>.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomass – Coleção 3.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em: <[http://mapbiomas.org/pages/database/mapbiomas\\_collection](http://mapbiomas.org/pages/database/mapbiomas_collection)>. Acesso em 01 junho 2019.

MORAES, M. E. B.; LORANDI, R. (org.). *Métodos e técnicas de pesquisa em bacias hidrográficas* [livro eletrônico] - Ilhéus, BA: Editus, 2016. 306p.

QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. 2020. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>.

SILVA, I. F. L. (2010) *Contribuições para o diagnóstico Ambiental da parte média e inferior da bacia do Rio Piracicaba-MG*. Dissertação de Mestrado. UFOP. 127p.

TADEU, N.; SINISGALLI, P.A.De. (2016) Impactos hídricos da produção de madeira de eucalipto no trecho paulista da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. In: JACOBI, P.R.(org.). *Conhecimento interdisciplinar, governança ambiental e sociedade*. 1. ed. São Paulo: IEE-USP e PROCAM-USP. p. 96-115. ISBN 978-85-86923-45-6. Disponível em: <http://www.iee.usp.br/sites/default/files/anexospublicacao/publicacao-Miolo-JACOBI12-6-17.pdf>. Acesso: 20 jul. 2020.

TREVISAN, R. et al. (2012) Dinâmica da água em uma microbacia florestal de eucalipto localizada na Serra do Mar no Vale do Paraíba do Sul. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, 17(4) p. 207-216, out./dez. DOI: 10.21168/rbrh.v17n4.p207-216

TUCCI, C.E.M.; CLARKE, R.T. (1997) Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2(1), Jan/Jun, p.135-152. DOI: 10.21168/rbrh.v2n1.p135-152.