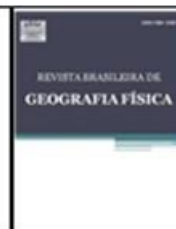




Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Avaliação temporal do uso e ocupação do solo e da disponibilidade hídrica do médio curso rio Piracicaba entre 2011 e 2020

Dimária Aparecida Fernandes Dias¹, José Augusto Costa Gonçalves²

¹Mestranda do Programa de Pós-graduação em Regulação e Gestão de Recursos Hídricos (PROFÁGUA), Universidade Federal de Itajubá-UNIFEI, Itabira, MG. ²Professor Associado do Instituto de Ciências Puras e Aplicadas da Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Itabira, MG. E-mail: jaucosta@unifei.edu.br (Autor Correspondente)

Artigo recebido em 31/01/2024 e aceito em 11/09/2024

RESUMO

Os recursos hídricos são essenciais à sobrevivência dos seres vivos e ao desenvolvimento econômico. As formas de uso e ocupação do solo podem afetar o meio ambiente e os corpos d'água, e desencadear alterações negativas a estes recursos. A área de estudo engloba a região do médio curso do rio Piracicaba, que possui atividades com alto potencial de impacto ao meio ambiente e aos recursos hídricos, sendo o rio Piracicaba o seu curso d'água principal. O objetivo principal desta pesquisa é obter um diagnóstico do comportamento da vazão e precipitação e do uso e ocupação do solo do médio curso do rio Piracicaba-MG nos anos 2011 e 2020. Foram geradas cartas de uso e ocupação do solo, analisado o comportamento pluviométrico/fluviométrico, por meio de dados das estações de monitoramento, e verificada a inter-relação entre estes fatores. A maior parte da sub-bacia é ocupada por formação florestal (45,11%), seguido pelas áreas de pastagens (31,23%), destaca-se que na região há localidades com criação de gado, o que justifica a manutenção de áreas de pastagens visando a produção agropecuária. A classe mosaico de agricultura e pastagem obteve 11,49%. A classe floresta plantada compõe 8,07%, havendo na região áreas de reflorestamento de eucalipto para produção de celulose e de carvão vegetal para abastecer siderúrgicas. Verificou-se o aumento das classes mineração, agricultura e pastagem, formação florestal, floresta plantada e ocorreu diminuição de pastagens e classes rios e lagos. Houve diferença significativa no índice de chuvas nos períodos estudados e também variação nas vazões médias diárias do rio Piracicaba entre alguns períodos.

Palavras-chave: precipitação; rio Piracicaba; uso e ocupação do solo; vazão.

Temporal assessment of land use and occupation and water availability in the middle reaches of the Piracicaba River between 2011 and 2020

ABSTRACT

Water resources are essential for the survival of living beings and for economic development. The ways in which land is used and occupied can affect the environment and water bodies, and trigger negative changes to these resources. The study area encompasses the middle reaches of the Piracicaba River, which has activities with a high potential impact on the environment and water resources, with the Piracicaba River being its main watercourse. The main objective of this research is to obtain a diagnosis of the behaviour of flow and precipitation and of land use and occupation in the middle reaches of the Piracicaba River-MG in the years 2011 and 2020. Land use and occupation maps were generated, rainfall/fluviometric behaviour was analysed using data from monitoring stations, and the interrelationship between these factors was verified. The majority of the sub-basin is occupied by forest (45.11%), followed by pasture (31.23%). It should be noted that there are localities in the region where cattle are raised, which justifies the maintenance of pasture areas for agricultural production. The mosaic of agriculture and pasture class accounted for 11.49%. The planted forest class made up 8.07%, with eucalyptus reforestation areas in the region for the production of pulp and charcoal to supply steel mills. There was an increase in the mining, agriculture and pasture, forest formation and planted forest classes, while there was a decrease in the pasture and rivers and lakes classes. There was a significant difference in rainfall during the periods studied and also variation in the average daily flows of the Piracicaba river between some periods.

Keywords: precipitation; Piracicaba river; land use and occupation; flow.

Introdução

A Política Nacional de Recursos Hídricos instituída no Brasil em 1997, pela Lei nº 9.433, a chamada Lei das Águas, estabeleceu uma mudança na gestão dos recursos hídricos. A Lei contém fundamentos para o uso múltiplo das águas e objetiva a utilização racional e integrada desse bem público. Ainda define como metas principais: a garantia da quantidade e qualidade dos recursos hídricos; a promoção do uso racional dos recursos hídricos; o consumo humano e a dessedentação de animais como usos prioritários em situações de escassez; a instituição da gestão descentralizada da água e a promoção do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 1997).

A qualidade da água pode ser alterada devido ao uso indiscriminado e pelo lançamento de esgotos residenciais, de efluentes das indústrias e de mineração, de agrotóxicos e rejeitos da agricultura e pecuária, resíduos sólidos, bem como de poluentes de outras atividades humanas, que, direta ou indiretamente, promovem alterações na estrutura e funcionamento dos sistemas hídricos, com consequências finais para o próprio homem. Estes fatores podem alterar de forma drástica as características físicas, químicas e biológicas dos corpos hídricos (Costa e Ferreira, 2018; Silva et al., 2017; Ali et al., 2019; Biggs et al., 2019).

Há ainda a extração de recursos naturais e intervenções em matas ripárias que favorecem a degradação dos corpos hídricos, contribuindo com assoreamentos, e também a poluição difusa, não necessariamente direta, que acaba atingindo os cursos d'água (Beecham e Razzaghmanesh, 2015; Sun e Lockaby, 2012; Field-Juma e Roberts-Lawler, 2021). A qualidade e a quantidade das águas podem ser afetadas também por fenômenos naturais ocorridos na bacia hidrográfica, a exemplo da erosão e variação das vazões devido às precipitações (Cunha et al., 2017; Cunha et al., 2019; Romshoo et al., 2020; Cadavid-Florez et al., 2019).

A bacia do rio Piracicaba é uma sub-bacia do rio Doce, localizada na região Centro Leste do Estado de Minas Gerais. Possui um conjunto significativo de atividades econômicas (extrativismo vegetal, celulose, mineração de ferro, siderurgia, agropecuária, entre outras) com alto grau de impactos antrópicos, além da expressiva concentração urbana e os massivos de reflorestamentos, monocultura de eucaliptos, que se destinam a produção de carvão vegetal e celulose (IGAM, 2021).

Neste contexto, o presente estudo apresenta caráter regional, relacionado à análise hidro ambiental do médio curso do rio Piracicaba, região com grande diversidade de exploração econômica e crescente urbanização.

O objetivo deste trabalho é obter um diagnóstico das classes de uso e ocupação do solo, e o comportamento da precipitação e vazão do médio curso do rio Piracicaba-MG, entre os anos 2011 (ano anterior à cobrança pelo uso da água) e 2020.

O conceito de qualidade da água sempre se relaciona com que se faz uso desta água. Por exemplo, uma água de qualidade adequada para o uso industrial, navegação ou geração hidrelétrica pode não ter qualidade adequada para o abastecimento humano, o uso agrícola, a recreação ou para a preservação da vida aquática. Os impactos negativos aos mananciais podem culminar em restrições aos usos mais exigentes (Xiao et al., 2016; Celentano et al., 2017; Rieger et al., 2014; Singh et al., 2017). Por este motivo, reitera-se a importância de avaliar se a qualidade da água em determinada região está realmente adequada aos usos que ali são feitos.

Muitas são as atividades que podem causar poluição e degradação da qualidade das águas. Define-se o termo poluição como a alteração nas características físicas, químicas ou biológicas de águas naturais ocasionadas, principalmente, por atividades humanas (Shen et al., 2015; Pacheco et al., 2018; Moisa et al., 2022; Malav et al., 2022). Assim, vários componentes e impurezas físicas, químicas e biológicas podem ser considerados importantes no meio aquático, sendo a condição do meio ambiente aquático identificada por estas características, muitas vezes denominadas de parâmetros ambientais ou de qualidade de água (Bos et al., 2019; Siqueira et al., 2016; Soares et al., 2004; Sarif e Gupta, 2022).

Muitos países têm investido numa política de desenvolvimento sustentável urbano baseado no tratamento das águas pluviais urbanas e rurais, conservação do escoamento pluvial e tratamento dos efluentes em nível terciário para retirada de nitrogênio e fósforo que eutrofizam os lagos. A base deste desenvolvimento no uso do solo é a implementação da urbanização, preservando os caminhos naturais do escoamento e priorizando a infiltração, fase denominada de desenvolvimento sustentável (Wang et al., 2018; Wang et al., 2022; Martins e Galvani, 2020; Michalak, 2016). Apesar destas ações, ainda persiste uma parte da poluição devido às inundações urbanas e rurais, chamadas

de poluição de fontes difusas.

Materiais e métodos

Muitas discussões ainda sobre a legislação específica que trate da questão do monitoramento da qualidade das águas superficiais no Brasil (Pruski et al., 2007; Miranda et al., 2018; Lemes et

al., 2020). O monitoramento atua como suporte para uma adequada gestão dos recursos hídricos, gestão esta que é referenciada em diversas legislações. E que o arcabouço institucional relacionado à gestão das águas superficiais envolve legislações em âmbitos federal (Quadro 1), estaduais e municipais.

Quadro 1. Legislações relativas aos recursos hídricos superficiais em âmbito federal, Finotti et al., 2009).

LEGISLAÇÃO	CONSIDERAÇÕES
DECRETO FEDERAL Nº 24643 (1934)	Institui o Código das Águas
LEI FEDERAL Nº 6.938 (1981)	Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins, mecanismos, aplicação e estrutura do SISNAMA.
CONSTITUIÇÃO FEDERAL (1988)	Capítulo VI – dispõe sobre o Meio Ambiente
DECRETO FEDERAL Nº 99.274 (1990)	Regulamenta as Leis 6.902 (1981) e 6.938 (1981), institui o SISNAMA e cria o CONAMA.
LEI FEDERAL Nº 9.433 (1997)	Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos
LEI FEDERAL Nº 9.605 (1998)	Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao Meio Ambiente.
DECRETO FEDERAL Nº 3.179 (1999)	Regulamenta a Lei 9.605 (1998).
LEI FEDERAL Nº 9.984 (2000)	Dispõe sobre a criação da Agência Nacional das Águas.
RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357 (2005)	Dispõe sobre a classificação das águas superficiais e institui padrões de lançamentos de efluentes.
RESOLUÇÃO CONAMA Nº 397 (2008)	Alterações no Art. 34 Resolução CONAMA nº 357/2005.
RESOLUÇÃO CONAMA Nº 430 (2011)	Complementa e altera Resolução CONAMA nº 357/2005.
LEI Nº 14.026/2020	Atualiza o marco legal do saneamento básico, a ANA passa a direcionar o setor de saneamento e a ser denominada Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.

No Quadro 2, também são apresentados alguns dos principais impactos aos solos e recursos hídricos, ocasionados por atividades antrópicas, a exemplo da agricultura, pecuária, indústria e

urbanização. Constata-se, ao analisá-lo, que diversas atividades antrópicas podem ser responsáveis por variados impactos aos recursos hídricos e aos solos.

Quadro 2. Os impactos aos solos e águas ocasionados por atividades antrópicas, (Bremer et al., 2019; Brooks et al., 2019; Unke et al., 2015; Roy et al., 2020; Raharjo e Nakagoshi, 2018; Pal e Ziaul, 2017)

Tipos de uso	Principais problemas	Consequências no solo	Consequências na água	Parâmetros alterados	Medidas mitigadoras
Agricultura	Desmatamento, uso de defensivos agrícolas e perda da fertilidade.	Compactação, lixiviação e processos erosivos.	Contaminação por agrotóxicos, eutrofização e assoreamento.	Fósforo, nitrato, nitrito e metais pesados.	Técnicas de manejo do solo e manutenção da APP.
Pecuária	Super pastejo	Compactação do solo e erosão	Contaminação microbiológica	Coliformes Termotolerantes e totais	Técnicas de manejo do solo e manutenção da APP.
Indústria	Uso intensivo de recursos naturais, poluição do ar, água e solo.	Contaminação por poluentes químicos.	Contaminação por efluentes.	Turbidez, pH, metais pesados, temperatura, OD e DBO.	Tratamento dos efluentes e reúso das águas.
Urbanização	Desmatamento, disposição final de resíduos sólidos e esgotos não tratados.	Impermeabilização, contaminação do solo e erosão.	Assoreamento e contaminação por efluentes domésticos e industriais.	Coliformes Termotolerantes e totais, DBO e OD.	Tratamento de esgotos, reciclagem e implantação de aterros sanitários.

A bacia do rio Piracicaba é dividida em três regiões: alto, médio e baixo rio Piracicaba. A região do Alto Piracicaba (ARPI) engloba os municípios de Barão de Cocais, Bom Jesus do Amparo, Catas Altas, Itabira, Mariana, Ouro Preto e Santa Bárbara. Já a região médio rio Piracicaba (MRPI), abrange os municípios de Alvinópolis, Bela Vista de Minas, João Monlevade, Nova Era, Rio Piracicaba, São Domingos do Prata e São Gonçalo do Rio Abaixo, enquanto a região do Baixo Piracicaba (BRPI) compreende os municípios de Antônio Dias, Coronel Fabriciano, Ipatinga, Jaguaráçu, Marliéria, Santana do Paraíso e Timóteo (FEAM, 2013).

A bacia do rio Piracicaba, é definida como a Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRH DO2), tendo 5.465,38 km² de área, representando cerca de 1% do território do estado de Minas Gerais. O rio Piracicaba tem 241

Km de extensão, nasce no município de Ouro Preto e segue até a divisa das cidades de Ipatinga e Timóteo, onde se encontra com o rio Doce. A população estimada da bacia do rio Piracicaba é de 954.861 pessoas (IBGE, 2023), abrangendo 21 municípios mineiros.

A área de estudo do presente trabalho refere-se ao médio curso do rio Piracicaba-MG (MRPI). Os municípios, Tabela 1, limítrofes estão localizados no centro-leste de Minas Gerais, pertencem à região do Médio Piracicaba. Na economia destaca-se a atividade mineradora e siderúrgica, silvicultura (eucalipto) e agropecuária. No quadro ambiental a área de estudo está predominantemente sobre o bioma Mata Atlântica, entretanto, grande parte da vegetação natural foi substituída por pastagem e reflorestamento.

Tabela 1. Características gerais dos municípios do MRPI, IBGE (2023).

Municípios	População/Censo 2022 (pessoas)	Área territorial (Km ²)
Alvinópolis	15.059	599,443
Bela Vista de Minas	10.167	109,143
João Monlevade	80.187	99,158
Nova Era	17.438	361,926
Rio Piracicaba	14.631	373,037
São Domingos do Prata	17.392	743,768
São Gonçalo do Rio Abaixo	11.850	363,828

Os principais afluentes do médio curso do rio Piracicaba são o rio Peixe, rio Santa Bárbara, rio do Prata, Córrego Jacuí, Córrego do Onça e Ribeirão do Turvo.

Os mapas do presente estudo foram confeccionados a partir dos dados gratuitos fornecidos pelo MAPBIOMAS, Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais de Minas Gerais - IEDE e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Sendo os dados do IEDE usados para a Hidrografia, do IBGE para os Limites territoriais do MapBiomas para a carta de Uso e Ocupação do Solo.

Assim como em todo estado de Minas Gerais, o clima da bacia do rio Piracicaba é considerado de transição, sendo influenciado pela continentalidade e latitude. Na bacia ocorrem três variações climáticas de acordo com a classificação

de Köppen, sendo elas: clima tropical (Aw), mesotérmico de verões quentes (Cwa) e mesotérmico de verões brandos (Cwb).

A bacia desenvolve-se predominantemente sobre o bioma da Mata Atlântica, possuindo ainda uma pequena parte da sua área sobre o bioma do Cerrado. A vegetação original, composta de 90% de Mata Atlântica, foi devastada e o percentual remanescente é de apenas 0,2%.

O relevo da bacia do rio Piracicaba é acidentado, com predominância de serras e colinas. Com pouca frequência ocorrem os “vales em V”, dentre os quais o chamado Vale do Aço, na região de sua foz. Na bacia predominam os solos das classes Latossolos, Argissolos e Cambissolos, sendo os Argissolos os de maior erodibilidade e os

Latossolos os de menor, Figura1. Na área de estudo, predomina a ocorrência de planaltos, seguidos por depressão e uma pequena área de planície. Os planaltos são constituídos por formas como

colinas, cristas, pontões e vales, oriundos de processos de dissecação fluvial. As colinas e cristas com altitudes médias entre 1000 m a 1200 m e a vales com altitude variando de 750 m a 800 m.

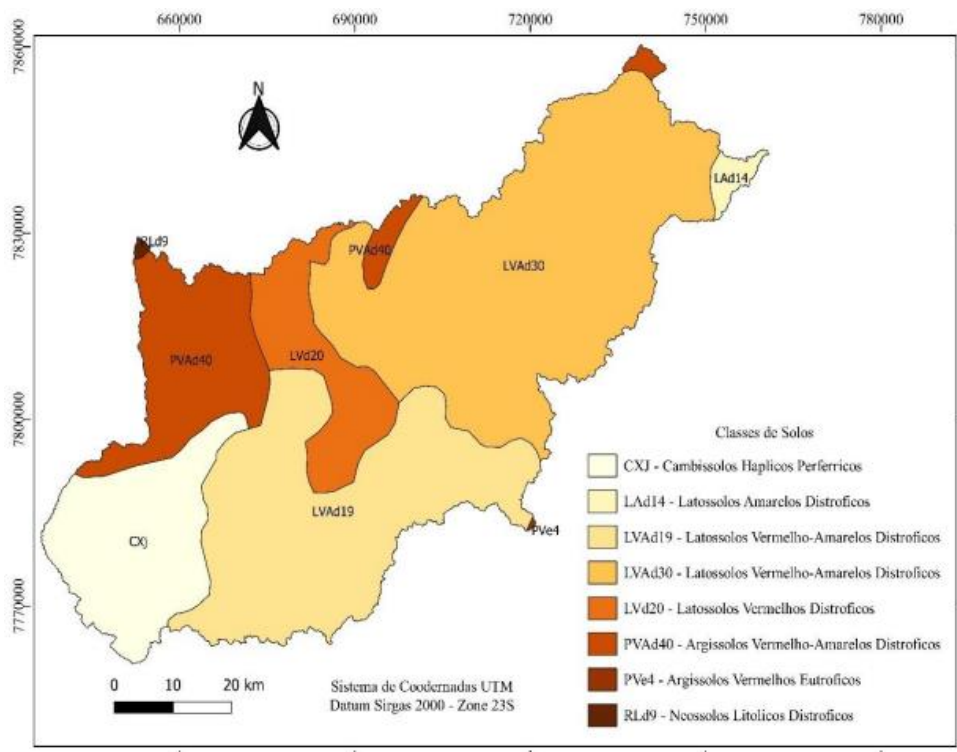


Figura 1. Solos da bacia do rio Piracicaba, CBH-Doce (2010).

Os dados das vazões foram analisados as séries históricas das vazões e precipitações dos anos 2011 e 2020 das estações fluviométricas, pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), disponibilizados no Sistema de Informações

Hidrológicas (HidroWeb) e localizadas no médio curso do rio Piracicaba, nos municípios de Nova Era e Rio Piracicaba. A Tabela 2 exhibe os dados das estações fluviométricas utilizadas neste estudo.

Tabela 2. Estações fluviométricas selecionadas no médio curso do rio Piracicaba.

Código	Estação	Latitude (Sul)	Longitude(Oeste)	Área de drenagem (Km ²)
56610000	Rio Piracicaba	-19° 55' 54"	- 43° 10' 23"	1.164,2
56659998	Nova Era	-19° 45' 56"	-43° 01' 58"	3203

Para as análises dos dados das precipitações foram utilizadas as estações pluviométricas, referentes aos anos de 2011 e 2020, Tabela 3. Foi observado o acumulado de chuvas e a sazonalidade. Os dados

obtidos foram devidamente tabulados, organizados e tratados, permitindo a geração de produtos intermediários como tabelas, gráficos e hidrogramas.

Tabela 3. Estações pluviométricas selecionadas no médio curso do rio Piracicaba.

Código	Estação	Latitude Sul	Longitude(Oeste)
1943001	Rio Piracicaba	-19° 55' 22"	-43° 10' 40"
1943100	Nova Era	-19° 46' 00"	-43° 01' 34"

As análises estatísticas foram realizadas a partir dos dados referentes à vazão e precipitação nas estações localizadas nas cidades de Nova Era e Rio Piracicaba. Os dados foram coletados no sistema Hidroweb relativos aos meses dos anos de 2011 e 2020. As seguintes técnicas estatísticas foram empregadas utilizando o Software Estatístico Minitab 18: *Teste-t e teste Tukey, para verificar se houverá diferenças estatisticamente significativas entre a vazão e precipitação entre os meses dos anos de 2011 e 2020 para as duas estações analisadas; *Estatísticas descritivas, como cálculo de médias e dispersão, por meio da construção de boxplot; *Análise de correlação, para verificar a associação a influência que uma variável promove em outra; *Modelos de regressão linear simples entre os dados de vazão e precipitação, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2), que analisam o ajuste linear entre as variáveis.

A caracterização do uso e ocupação do solo foi realizada pela delimitação dos trechos do médio curso do rio Piracicaba, utilizando-se de bases de dados da Coleção 6 do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil-MapBiomas que apresentam os 36 anos (1985 a 2020) dos mapas anuais de cobertura e uso de terra do Brasil em escala de 30 m com melhorias nas acurácias nos biomas e novas classes de agricultura (MapBiomas, 2021). Os dados foram validados,

incorporados e manuseados no software ArcGIS Pro para obtenção dos mapas contendo as classes de uso e ocupação do solo dos anos 2011 e 2020. O ArcGIS é um pacote de softwares da ESRI (Environmental Systems Research Institute) de elaboração e manipulação de informações vetoriais e matriciais para o uso e gerenciamento de bases temáticas (Blake e Rhanor, 2020; Blignaut, 2019).

Resultados

A intervenção antrópica é fator que pode agravar ou atenuar as condições morfo dinâmicas potenciais apresentadas na carta de fragilidade potencial (Demanboro, 2013). Obter as classes do uso e ocupação do solo é importante na identificação de potenciais fontes de poluição e contaminação em uma determinada área. Desta forma, na construção da carta ambiental, foram levantadas as classes de uso e ocupação do solo e seus respectivos percentuais de áreas.

A Figura 2, apresenta o mapa de uso e ocupação do solo da sub- bacia do médio curso do rio Piracicaba referente ao ano de 2020 (setembro). Já na Tabela 4, são discriminadas as classes de uso e ocupação do solo referentes ao ano de 2020, contendo 13 classes: formação florestal, formação savânica, floresta plantada, campo alagado e área pantanosa, formação campestre, pastagem, mosaico de agricultura e pastagem, café, infraestrutura urbana, outras áreas não vegetadas, afloramento rochoso, mineração, e rios e lagos.

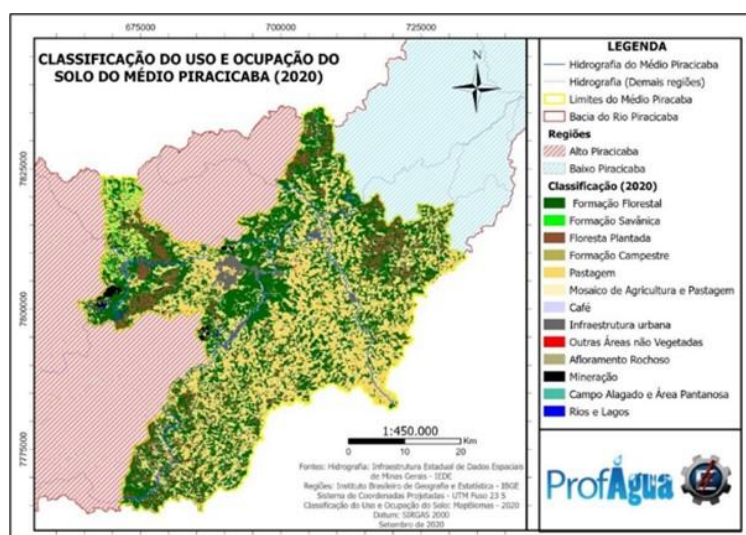


Figura 2. Uso e ocupação do solo do médio rio Piracicaba (MRPI), ano 2020).

Tabela 4. Classes de uso e ocupação do solo da bacia do MRPI, adaptado de MapBiomias (2022).

Classes (Descrição)	Área (Km²)	Composição (%)
Formação Florestal	983,87	45,11
Formação Savânica	16,21	0,74
Floresta Plantada	175,97	8,07
Campo Alagado e Área Pantanosa	0,38	0,02
Formação Campestre	8,69	0,40
Pastagem	681,16	31,23
Mosaico de Agricultura e Pastagem	250,72	11,49
Café	0,15	0,01
Infraestrutura Urbana	37,92	1,74
Outras Áreas não Vegetadas	4,48	0,21
Afloramento Rochoso	2,40	0,11
Mineração	11,90	0,55
Rios e Lagos	7,37	0,34
Total	2181,22	100,00

Constata-se que em 2020, período mais recente, a maior parte da área da sub-bacia era ocupada por formação florestal (45,11%), que são tipos de vegetações compostas por árvores altas. Em segundo lugar estão as áreas de pastagens (31,23%), naturais ou plantadas, destaca-se que na região há localidades com criação de gado, o que justifica a manutenção de áreas de pastagens visando a produção agropecuária. Já a classe mosaico de agricultura e pastagem obteve 11,49%. A cultura perene do café correspondeu a 0,01% de área. O mapa de 2020 disponibilizado pelo MapBiomias é de setembro, período seco, por isso algumas culturas anuais já poderiam ter sido colhidas na data da imagem ou estarem presentes no mosaico de agricultura e pastagem.

Na classe floresta plantada (8,07%), espécies arbóreas plantadas para fins comerciais, cabe destacar que na região de estudo há áreas de reflorestamento de eucaliptos visando produção de celulose e plantações de eucaliptos para produção de carvão vegetal usados, principalmente, para abastecer siderúrgicas. As áreas de formação Savânica, tipos de vegetação composta por árvores de pequeno porte e estrato arbustivo-herbáceo correspondem a 0,74% de área. Outras áreas não vegetadas, classe mista que incluem áreas agrícolas em preparo, solo exposto e superfícies arenosas,

correspondem a 0,21% da área. As áreas de rios e lagos correspondem a 0,34%. Já as áreas de campo alagado correspondem a 0,02%.

Dentre as atividades econômicas de grande impacto da área de estudo destacam-se as atividades de mineração (0,55%), áreas referentes à extração mineral de grande porte e que possuem exposição do solo por ações de maquinário pesado, que ocorrem nos municípios de São Gonçalo do Rio Abaixo e Rio Piracicaba pela mineradora Vale S.A., e em Bela Vista de Minas pela Arcelor Mittal (Mina do Andrade). Ressalta-se que nas atividades de mineração da Mina do Brucutu (São Gonçalo do Rio Abaixo) e Mina da Água Limpa (Rio Piracicaba) há barragens de rejeitos de mineração. Já a Mina do Andrade (Bela Vista de Minas) realiza as atividades de mineração sem utilizar barragens de rejeitos.

As áreas de infraestrutura urbanas, áreas urbanizadas com predomínio de superfícies não vegetadas a mais de 5 anos incluindo edificações, estradas e vias, compreendem o total de 1,74% da cobertura do solo, sendo mais predominante no município de João Monlevade, o mais urbanizado e populoso do médio curso do rio Piracicaba, onde destacam-se as atividades econômicas da Usina Arcelor Mittal (produção de aços longos) e de suas

empreiteiras, e outras atividades comerciais. Com exceção de João Monlevade, que possui 99% de sua população considerada urbana (IBGE, 2021), os demais municípios do médio curso do rio Piracicaba possuem extensas áreas rurais.

Na Figura 3, é apresentado o mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia do médio curso do

rio Piracicaba (MRPI), ano 2011. A Tabela 5, apresenta a composição das classes de uso e ocupação do solo da sub-bacia do MRPI, ano 2011. Já a tabela 6 expõe a área e o percentual das classes de cobertura da terra para os anos de 2011 e 2020, e a variação da área (perda ou ganho) entre estas duas datas.

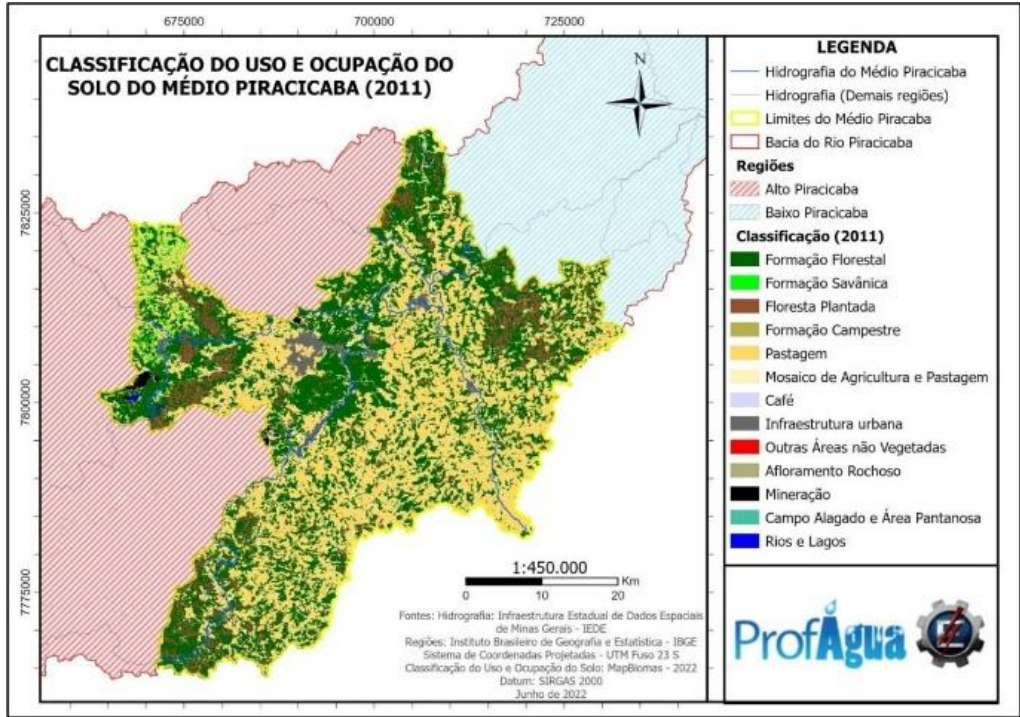


Figura 3. Mapa de Uso e ocupação do solo, adaptado de MapBiomias (2022).

Tabela 5. Classes de uso e ocupação do solo da sub-bacia do MRPI, adaptado de MapBiomias (2022).

Classes (Descrição)	Área (Km²)	Composição (%)
Formação Florestal	923,76	42,35
Formação Savânica	18,20	0,83
Floresta Plantada	160,85	7,37
Campo Alagado e Área Pantanosa	0,40	0,02
Formação Campestre	9,13	0,42
Pastagem	833,31	38,20
Mosaico de Agricultura e Pastagem	177,80	8,15
Café	0,02	0,00
Infraestrutura Urbana	35,16	1,61
Outras Áreas não Vegetadas	3,00	0,14
Afloramento Rochoso	2,55	0,12
Mineração	8,24	0,38
Rios e Lagos	8,80	0,40
Total	2181,22	100,00

Tabela 6. Classes de cobertura da terra para 2011 e 2020 e a variação do tamanho da área.

Classe de cobertura	Área							
	2011		2020		Variação (%)		Variação (Km ²)	
	(Km ²)	(%)	(Km ²)	(%)	Perda	Ganho	Perda	Ganho
Formação Florestal	923,76	42,35	983,87	45,11	-	2,76	-	60,11
Formação Savânica	18,20	0,83	16,21	0,74	0,09	-	1,99	-
Floresta Plantada	160,85	7,37	175,97	8,07	-	0,70	-	15,12
Campo Alagado e Área Pantanosa	0,40	0,02	0,38	0,02	-	-	-	0,02
Formação Campestre	9,13	0,42	8,69	0,40	0,02	-	0,44	-
Pastagem	833,31	38,20	681,16	31,23	6,97	-	152,15	-
Mosaico de Agricultura e Pastagem	177,80	8,15	250,72	11,49	-	3,34	-	72,92
Café	0,02	0,0	0,15	0,01	-	0,01	-	0,13
Infraestrutura Urbana	35,16	1,61	37,92	1,74	-	0,13	-	2,76
Outras Áreas não vegetadas	3,00	0,14	4,48	0,21	-	0,07	-	1,48
Afloramento Rochoso	2,55	0,12	2,40	0,11	0,01	-	0,15	-
Mineração	8,24	0,38	11,90	0,55	-	0,17	-	3,66
Rios e Lagos	8,80	0,40	7,37	0,34	0,06	-	1,43	-
Total	2181,22	100,00	2181,22	100,00	-	-	-	-

Ao analisar as variações de uso e ocupação do solo entre os anos de 2011 e 2020, constata-se que houve ganho de área de 3,66 Km² (0,17%) na atividade de mineração com aumento em todos os municípios do MRPI que possuem essa atividade (Bela Vista de Minas, João Monlevade, Rio Piracicaba e São Gonçalo do Rio Abaixo).

Houve perda de área de pastagem em 152,15 Km² (6,97%), esta variação pode ter ocorrido devido ao aumento das atividades de agricultura, já que em 2020 houve acréscimo do mosaico de agricultura e pastagem em 72,92 Km² (3,34%), também pode ter sido ocasionada pelo não manejo de pastagens, assim, podendo ter ocorrido regeneração destas áreas, ou recuperação destas áreas com formação florestal, sendo que a formação florestal aumentou 60,11 Km² (2,76%) e a floresta plantada 15,12 Km² (0,70%).

Já a Infraestrutura urbana aumentou 2,76 Km² (0,13%) e pode também ter contribuído para diminuição da classe pastagem, pois terrenos e

lotes com pastagens podem ter dado lugar a construções de imóveis e áreas pavimentadas.

Verifica-se que a Lei nº 20.922 de 16 de outubro de 2013, que rege sobre as políticas florestais e de proteção à biodiversidade no estado de Minas Gerais pode ter favorecido o aumento da formação florestal na região, pois versa sobre a manutenção e recomposição de Áreas de Preservação Permanente em áreas rurais.

A Tabela 7 representa os dados de vazão na estação 56610000, localizada no município de Rio Piracicaba, referente aos anos de 2011 e 2020. Todas as informações foram retiradas do Sistema HidroWeb, onde se obteve os valores diários de vazão para os períodos estudados. São apresentados os valores de vazão média diária para cada mês referentes aos dois anos analisados. Além disso, aplicou-se a técnica estatística teste t de Student, como o objetivo de analisar, com significância estatística, se houve diferenças de vazão média diária entre os meses de 2011 e 2020.

Tabela 7. Valores Médios da Vazão e Teste-t entre os meses de fevereiro de 2011 e 2020 - Estação: 56610000

Mês	Média 2011	Média 2020	P-valor teste -t	Análise
Janeiro	40,300	51,060	0,297	p-valor > $\alpha=0.05$. Vazão diária em Jan/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Jan/2011
Fevereiro	14,970	33,970	0,000	p-valor < $\alpha=0.05$. Vazão média diária em Feb/2020 maior que em Feb/ 2011.
Março	42,970	52,680	0,235	p-valor > $\alpha=0.05$. Vazão diária em Mar/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Mar/2011
Abril	19,620	24,380	0,010	p-valor < $\alpha=0.05$. Vazão média diária em Abr/2020 maior que em Abr/ 2011.
Mai	12,468	14,567	0,000	p-valor < $\alpha=0.05$. Vazão média diária em Mai/2020 maior que em Mai/ 2011.
Junho	10,334	11,352	0,000	p-valor < $\alpha=0.05$. Vazão média diária em Jun/2020 maior que em Jun/ 2011.
Julho	8,995	9,512	0,000	p-valor < $\alpha=0.05$. Vazão média diária em Jul/ 2020 maior que em Jul/ 2011.
Agosto	7,509	8,566	0,000	p-valor < $\alpha=0.05$. Vazão média diária em Jul/ 2020 maior que em Jul/ 2011.
Setembro	6,219	6,465	0,273	p-valor > $\alpha=0.05$. Vazão diária em Ago/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Ago/2011
Outubro	11,580	15,140	0,244	p-valor > $\alpha=0.05$. Vazão diária em Ser/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Set/2011
Novembro	38,620	18,660	0,020	p-valor < $\alpha=0.05$. Vazão média diária em Nov/2020 menor que em Nov/ 2011.
Dezembro	90,600	32,330	0,000	p-valor < $\alpha=0.05$. Vazão média diária em Dez/2020 menor que em Dez/ 2011.
Anual	25,349	23,224	0,804	p-valor > $\alpha=0.05$. Vazão diária em 2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de 2011

A análise pareada do mês de janeiro, mostrou que não houve diferença estatisticamente significativa, considerando um nível de confiança de 95% e nível de significância estatística $\alpha=0,05$, entre os valores média diários de vazão entre os anos de 2011, que apresentou valor médio diário de 40,30 m³/s, e 2020, cujo valor médio diário foi de 51,06m³/s, na estação 56610000. Como o p-valor estatístico obtido foi de 0,297, superior em relação ao nível de significância estatística $\alpha=0,05$, não é possível considerar que houve diferenças significativas dos

valores de vazão média diária entre o mês de janeiro entre os anos de 2011 e 2020. A Figura 4 representa o boxplot com aos dados de vazão destes dois anos estudados. É possível observar que durante o mês de janeiro de 2020 houve uma maior dispersão dos valores de vazão diários representados por três outliers, cujos valores de vazão diários foram em torno de 200m³/s, e que estes, contribuíram para aumento da vazão média diária no mês de janeiro de 2020 em relação a janeiro de 2011.

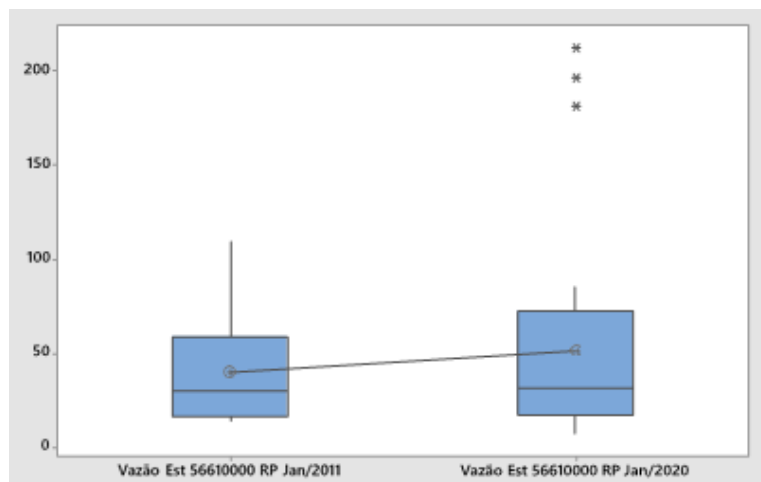


Figura 4. Boxplot da Vazão da Estação 56610000, entre fevereiro de 2011 a 2020.

A diferença entre as médias também pode ser observada por meio do teste de Tukey. Pelo critério utilizado, sugerido pelo Minitab (2017) se o intervalo entre as médias do fator conter o zero, significa que aquelas médias não apresentam diferenças significativas, ao nível de significância considerado. A Figura 5, mostra que é possível

notar que o intervalo formado entre os valores médios de vazão para os meses de janeiro de 2011 e janeiro de 2020 contém o zero, o que significa que não se pode considerar que houve diferenças significativas entre elas, ao nível de significância $\alpha=0,05$.

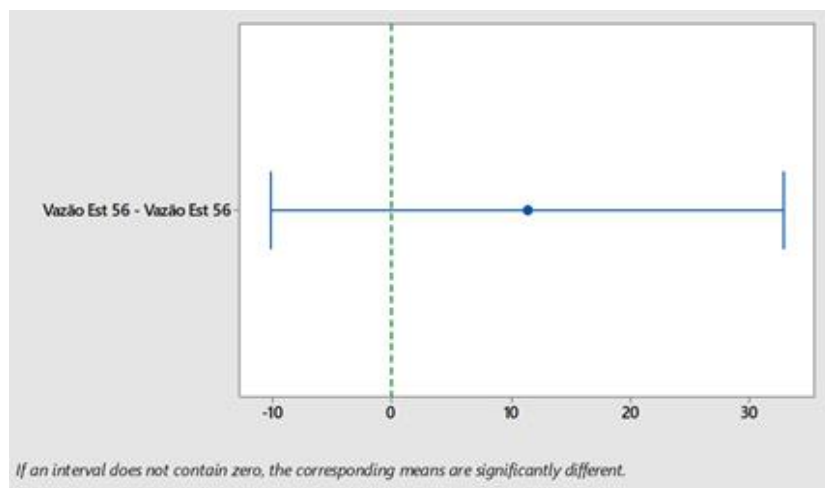


Figura 5. Teste Tukey-Vazão Média entre Janeiro de 2011 e Janeiro de 2020 - Estação 56610000.

Resultados semelhantes aos de janeiro foram obtidos para os meses de março, setembro e outubro, entretanto, não é possível considerar que houve diferenças de vazão média diária realizando-se a comparação pareada entre anos de 2011 e 2020, ao nível de significância $\alpha=0,05$. Para os demais meses da análise considerada na Tabela 7, observou-se que os p-valores obtidos foram inferiores em relação ao nível de significância $\alpha=0,05$, o que representa que houve diferença na vazão média diária entre esses períodos. As vazões médias diárias foram superiores em 2020 em

relação ao ano de 2011 para os meses de fevereiro, abril, maio, junho, julho e agosto. Os meses de novembro e dezembro de 2011 apresentaram valores superiores em relação ao ano de 2020. A Figura 6 mostra o boxplot para o mês de fevereiro, que apresenta valor médio de vazão diária superior para o ano de 2020 (33,97 m³/s) em relação ao ano de 2011 (14,97 m³/s). A Figura 7, mostra o teste de Tukey, onde o intervalo formado entre os valores médios de vazão para os meses de fevereiro de 2011 e fevereiro de 2020 não contém o zero, o que representa que houve diferença estatisticamente

significativa para a vazão média diária entre esse período, ao nível de significância $\alpha=0,05$.

A última linha da Tabela 7 representa a análise anual dos valores médios de vazão diária. A estação 56610000, apresentou vazão média diária

de 25,349 m³/s para o ano de 2011 e 23,224 m³/s para o ano de 2020. Entretanto, como o p-valor do teste t obtido foi de 0,804, não é possível considerar a vazão média diária para o ano de 2011 foi estatisticamente superior ao ano de 2020.

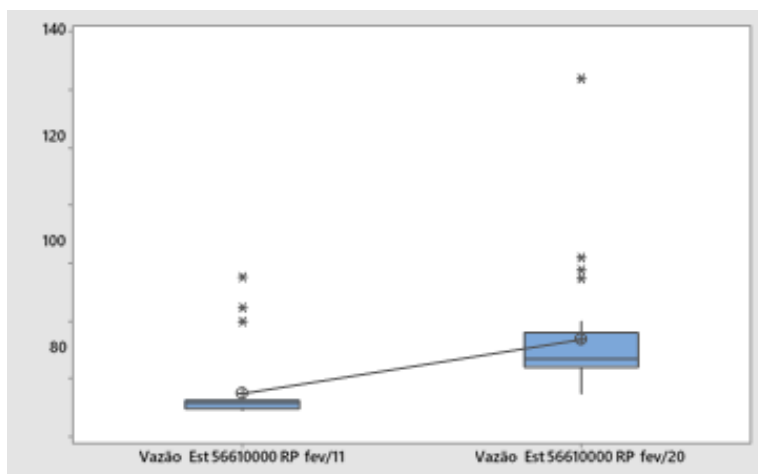


Figura 6. Boxplot para a Vazão entre os meses de fevereiro de 2011 a fevereiro de 2020 - Estação 56610000

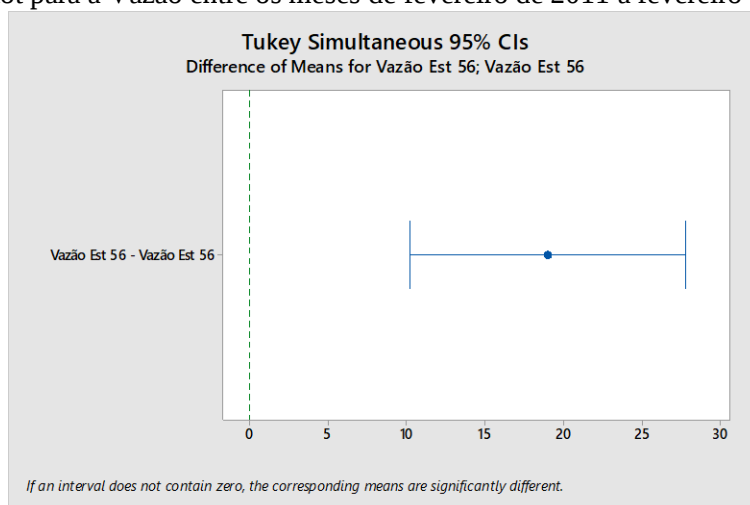


Figura 7. Teste Tukey – Vazão Média entre Fevereiro de 2011 a Fevereiro de 2020 - Estação 56610000

A Tabela 8 mostra que, para os meses de janeiro, março, julho, setembro e outubro não se deve considerar que houve diferenças entre os anos e 2011 e 2020 para os valores médios diários de vazão (pois o p-valor foi maior que o nível de significância $\alpha=0,05$). Para os meses de fevereiro, abril, maio, junho, agosto, novembro e dezembro houve diferenças entre os valores médios diários considerando os anos de 2011 e 2020.

Tabela 8. Valores Médios da Vazão e Teste-t para 2011 e 2020 - Estação: 56659998 - Nova Era

Mês	Média 2011	Média 2020	P-valor teste -t	Análise
Janeiro	107,300	147,000	0,378	p-valor > $\alpha=0.05$. Vazão diária em Jan/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Jan/2011
Fevereiro	35,000	75,600	0,000	p-valor < $\alpha=0.05$. Vazão média diária em Fev/ 2020 maior que em Fev/ 2011.
Março	99,300	112,100	0,477	p-valor > $\alpha=0.05$. Vazão diária em Mar/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Mar/2011
Abril	43,100	49,170	0,028	p-valor < $\alpha=0.05$. Vazão média diária em Abr/ 2020 maior que em Abr/ 2011.
Mai	30,090	31,800	0,012	p-valor < $\alpha=0.05$. Vazão média diária em Mai/ 2020 maior que em Mai/ 2011.
Junho	26,700	25,630	0,011	p-valor < $\alpha=0.05$. Vazão média diária em Jun/ 2020 menor que em Jun/ 2011.
Julho	23,190	22,600	0,126	p-valor > $\alpha=0.05$. Vazão diária em Jul/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Jul/2011
Agosto	19,320	21,440	0,000	p-valor < $\alpha=0.05$. Vazão média diária em Ago/ 2020 maior que em Ago/ 2011.
Setembro	17,870	18,060	0,542	p-valor > $\alpha=0.05$. Vazão diária em Set/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Set/2011
Outubro	29,300	33,700	0,368	p-valor > $\alpha=0.05$. Vazão diária em Out/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Set/2011
Novembro	105,000	43,200	0,005	p-valor < $\alpha=0.05$. Vazão média diária em Nov/ 2020 menor que em Nov/ 2011.
Dezembro	229,000	63,900	0,000	p-valor < $\alpha=0.05$. Vazão média diária em Dez/ 2020 menor que em Dez/ 2011.
Anual	63,764	53,683	0,644	p-valor > $\alpha=0.05$. Vazão diária em 2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de 2011

A Figura 8 mostra o boxplot para os dados de vazão referente à duas estações analisadas em relação aos anos de 2011 e 2020. Observa-se, para os boxplots da estação 56610000, apresentaram valores próximos para o primeiro quartil, mediana e terceiro quartil. Já os boxplots que representam a

estação 56659998, apresentaram uma maior dispersão para o ano de 2011 em relação ao ano de 2020. Nota-se, também, que os valores médios diários de vazão são superiores na estação 56659998 em relação à estação 56610000.

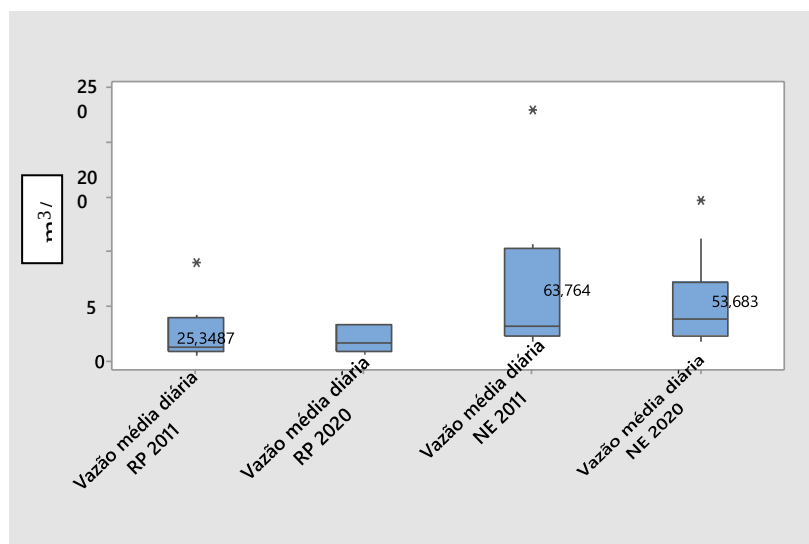


Figura 8. Boxplot para a precipitação entre 2011 e 2020 para as estações 56610000 e 56659998

A Tabela 9 representa os dados de precipitação

referentes aos anos de 2011 e 2020 para a estação

de coleta 01943001, sendo possível verificar que houve diferença significativa no índice de chuvas apenas para o mês de janeiro, onde em 2011 a média diária de precipitação para este mês foi de 4,420 mm, enquanto para 2020 foi de 8,420 mm. A média diária de precipitação para o ano de 2011 foi de

3,885 mm, enquanto para o ano de 2020 foi de 3,694 mm, valores muito próximos e, portanto, não sendo observado diferença estatisticamente significativa entre elas. Esse valor vai de encontro com o p-valor estatístico obtido (0,914), superior ao nível de significância considerado ($\alpha=0,05$).

Tabela 9. Valores Médios da Precipitação e Teste-t estatístico nos anos 2011 e 2020 - Estação: 01943001

Mês	Média 2011	Média 2020	P-valor teste -t	Análise
Janeiro	4,420	8,420	0,000	p-valor < $\alpha=0.05$. Precipitação média diária em Jan/2020 maior que em Jan/ 2011.
Fevereiro	1,082	2,514	0,654	p-valor > $\alpha=0.05$. Precipitação média diária em Fev/2020 não pode ser considerada estatisticamentediferente de Fev/2011
Março	8,010	7,230	0,839	p-valor > $\alpha=0.05$. Precipitação média diária em Mar/2020 não pode ser considerada estatisticamentediferente de Mar/2011
Abril	2,270	2,230	0,981	p-valor > $\alpha=0.05$. Precipitação média diária em Abr/2020 não pode ser considerada estatisticamentediferente de Abr/2011
Mai	0,490	1,126	0,316	p-valor > $\alpha=0.05$. Precipitação média diária em Mai/2020 não pode ser considerada estatisticamentediferente de Mai/2011
Junho	0,493	0,083	0,260	p-valor > $\alpha=0.05$. Precipitação média diária em Jun/2020 não pode ser considerada estatisticamentediferente de Jun/2011
Julho	0,116	0,068	0,410	p-valor > $\alpha=0.05$. Precipitação média diária em Jul/2020 não pode ser considerada estatisticamentediferente de Jul/2011
Agosto	0,026	0,006	0,512	p-valor > $\alpha=0.05$. Precipitação média diária em Ago/2020 não pode ser considerada estatisticamentediferente de Ago/2011
Setembro	0,180	0,250	0,750	p-valor > $\alpha=0.05$. Precipitação média diária em Set/2020 não pode ser considerada estatisticamentediferente de Set/2011
Outubro	5,370	4,930	0,874	p-valor > $\alpha=0.05$. Precipitação média diária em Out/2020 não pode ser considerada estatisticamentediferente de Out/2011
Novembro	11,520	5,520	0,211	p-valor > $\alpha=0.05$. Precipitação média diária em Nov/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Nov/2011
Dezembro	12,640	11,950	0,866	p-valor > $\alpha=0.05$. Precipitação média diária em Dez/2020 não pode ser considerada estatisticamentediferente de Dez/2011
Anual	3,885	3,694	0,914	p-valor > $\alpha=0.05$. Precipitação média diária em 2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de 2011

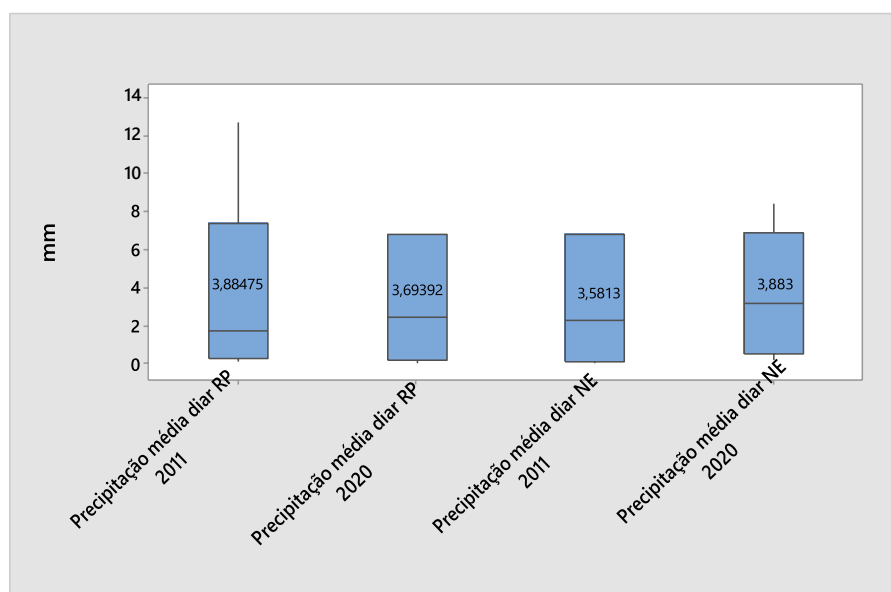
Na Tabela 10, constata-se diferença significativa no índice de chuvas apenas para o mês de maio, onde em 2011 a média diária de precipitação para este mês foi de 0,000 mm, enquanto para 2020 foi de 1,545 mm. A média diária de precipitação para o ano de 2011 foi de 3,883 mm, enquanto para o ano de 2020 foi 3,581 mm, valores também muito

próximo e, portanto, não sendo observado diferença significativa entre elas. Como o p-valor estatístico obtido para a comparação pareada anual foi superior ao nível de significância estatístico, considera-se que não houve diferença de precipitação média diária entre os anos de 2011 e 2020.

Tabela 10. Valores Médios da Precipitação e Teste-t para 2011 e 2020-Estação: 01943100-Nova Era

Mês	Média2011	Média2020	P-valor teste -t	Análise
Jan	4,420	8,420	0,207	p-valor > $\alpha=0.05$. Precipitação média diária em Jan/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Jan/2011
Fev	2,950	7,090	0,149	p-valor > $\alpha=0.05$. Precipitação média diária em Jan/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Jan/2011
Março	7,540	7,710	0,956	p-valor > $\alpha=0.05$. Precipitação média diária em Mar/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Mar/2011
Abril	1,583	2,090	0,670	p-valor > $\alpha=0.05$. Precipitação diária em Abr/2020 não poder ser considerada estatisticamente diferente de Abr/2011
Mai	0,00	1,545	0,038	p-valor < $\alpha=0.05$. Precipitação diária em Mai/2020 pode ser considerada maior que a de Mai/2011
Junho	0,233	0,273	0,888	p-valor > $\alpha=0.05$. Precipitação diária em Jun/2020 não poder ser considerada estatisticamente diferente de Jun/2011
Julho	0,067	0,745	0,327	p-valor > $\alpha=0.05$. Precipitação diária em Jul/2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de Jul/2011
Agosto	0,000	0,390	0,154	p-valor > $\alpha=0.05$. Precipitação diária em Ago/2020 não poder ser considerada estatisticamente diferente de Ago/2011
Setembro	0,173	0,153	0,922	p-valor > $\alpha=0.05$. Precipitação diária em Set/2020 não poder ser considerada estatisticamente diferente de Set/2011
Outubro	4,290	4,150	0,945	p-valor > $\alpha=0.05$. Precipitação diária em Out/2020 não poder ser considerada estatisticamente diferente de Out/2011
Novembro	11,480	4,150	0,065	p-valor > $\alpha=0.05$. Precipitação diária em Nov/2020 não poder ser considerada estatisticamente diferente de Nov/2011
Dezembro	13,860	6,260	0,093	p-valor > $\alpha=0.05$. Precipitação diária em Dez/2020 não poder ser considerada estatisticamente diferente de Dez/2011
Anual	3,883	3,581	0,856	p-valor > $\alpha=0.05$. Precipitação média diária em 2020 não pode ser considerada estatisticamente diferente de 2011

A Figura 9 mostra os dados de precipitação das estações analisadas em relação aos anos de 2011 e 2020. As estações apresentaram uniformidade quanto à dispersão das precipitações e valores médios diários próximos.

**Figura 9.** Boxplot para a precipitação entre 2011 e 2020 para as estações 01943001 e 01943100

Avaliando o grau de relacionamento linear entre duas variáveis, Larson e Farber (2010) mostram que, ao se considerar duas variáveis, o

coeficiente de correlação linear amostral r mede o grau de relacionamento linear entre os dados emparelhados de x e y em uma amostra.

Segundo Montgomery (2019) o coeficiente de correlação linear amostral r apresenta valores entre -1 e +1, sendo que valores próximos de -1 e +1 demonstram maior correlação e valores próximos de zero caracterizam-se pela ausência de correlação

entre as duas variáveis x e y analisadas. A Tabela 11 demonstra uma forma de interpretação de uma correlação dado o seu valor numérico. Valores positivos de correlação indicam uma correlação direta; já os negativos, uma correlação inversa.

Tabela 11. Interpretação dos valores de coeficiente de correlação, Larson e Farber (2010).

Valor de r (+ ou -)	Interpretação
0,00 a 0,19	Correlação bem fraca
0,20 a 0,39	Correlação fraca
0,40 a 0,69	Correlação moderada
0,70 a 0,89	Correlação forte
0,90 a 1,00	Correlação muito forte

Uma forma de verificação da significância da correlação ρ de uma população é por meio da análise do p -valor, similar à utilizada no teste t de student. Desta forma, considera-se que a correlação é significativa quando o p -valor for inferior ao nível de significância utilizado.

A Tabela 12 apresenta a análise de correlação entre vazão e precipitação estratificadas por estação e por ano. Todos os p -valores do teste de

significância estatística para a correlação entre as variáveis analisadas foram inferiores a $\alpha=0,05$, sendo essas correlações obtidas classificadas como significativas. Já por meio da análise dos valores das correlações, observou-se, que todos os valores são positivos e superiores a 0,7, sendo classificadas como correlações fortes ou muito fortes. Para os períodos analisados, observa-se que a medida que os índices de precipitação aumentam, a vazão medida na estações também aumentam de valor.

Tabela 12. Análise da Correlação entre Vazão e Precipitação

Fatores Analisados	Valor da Correlação	P-valor
Vazão est 56610000 - Rio Piracicaba x Precipitação est1943001 - Rio Piracicaba – Ano 2011	0,862	0,000
Vazão est 56610000 - Rio Piracicaba x Precipitação est1943001 - Rio Piracicaba – Ano 2020	0,729	0,002
Vazão est 56659998 - Nova Era x Precipitação est1943100 - Nova Era – Ano 2011	0,900	0,000
Vazão est 56659998 - Nova Era x Precipitação est1943100 - Nova Era – Ano 2020	0,893	0,000

Para analisar a relação entre vazão e precipitação, foram construídos gráficos de dispersão entre essas duas variáveis. Em seguida, foi proposto um modelo matemático de ajuste entre essas variáveis empregando-se a regressão linear simples. A regressão linear simples é explicada por Montgomery (2019) como uma forma de estimar um modelo, cujo valor da variável dependente Y é predito pela variável independente X . A regressão linear é classificada como simples pelo fato de haver apenas uma variável independente e se

considerar uma tendência linear entre Y e X . Esta regressão torna possível encontrar a “linha” que melhor se ajusta aos dados e que pode ser utilizada para avaliar o comportamento da variável resposta quando há mudanças na variável preditora.

As Figura 10, 11, 12 e 13 representam os gráficos de dispersão entre precipitação e vazão, bem como o ajuste linear obtido por meio da regressão linear. Nestes gráficos, ainda é possível observar a equação de regressão obtida, onde Y é a

vazão, que é a variável dependente, e X é a precipitação, que é a variável independente neste modelo. Também é apresentado o coeficiente de determinação (R^2), que avalia o quão próximo os dados estão da linha de regressão ajustada.

Para as Figura 14, que representa a relação entre vazão e precipitação na estação do município de Rio Piracicaba no ano de 2011, o valor de R^2 foi de 0,7431, o que significa que o modelo de regressão linear explica mais de 74% da

variabilidade dos dados. A Figura 15 representa a relação entre vazão e precipitação na estação do município de Nova Era. O modelo de regressão linear obtido foi capaz de explicar 99,47 % da variabilidade dos dados. Já por meiodos Figuras 16 e 17, que representam as relações entre vazão e precipitação para o ano de 2020 nas estações de Rio Piracicaba e Nova Era, respectivamente, os modelos de regressão obtidos apresentaram capacidade de explicação da variabilidade dos dados de 53,11% e 79,78%, respectivamente.

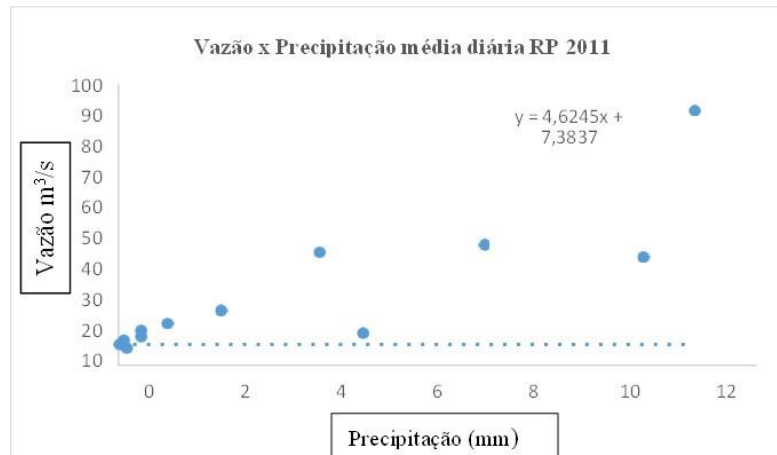


Figura 10. Relação Vazão x precipitação média diária, estações na cidade de Rio Piracicaba no ano de 2011

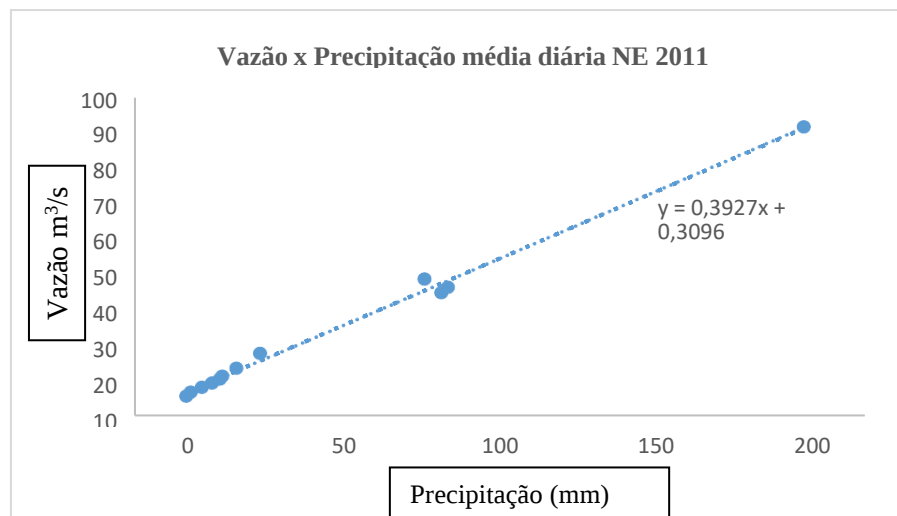


Figura 11. Relação Vazão x precipitação média diária, estações na cidade de Nova Era no ano de 2011.

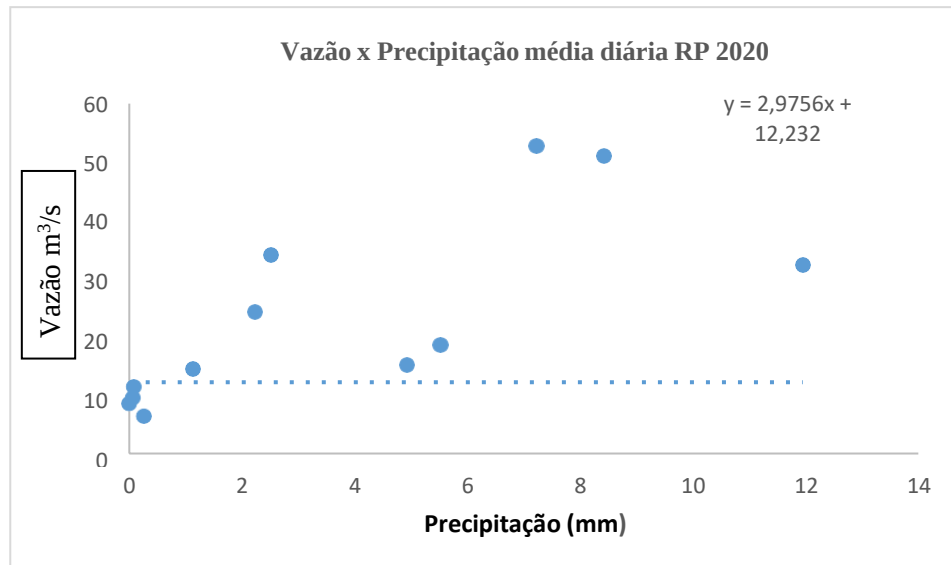


Figura 12. Relação Vazão x precipitação média diária, estações na cidade de Rio Piracicaba no ano de 2020

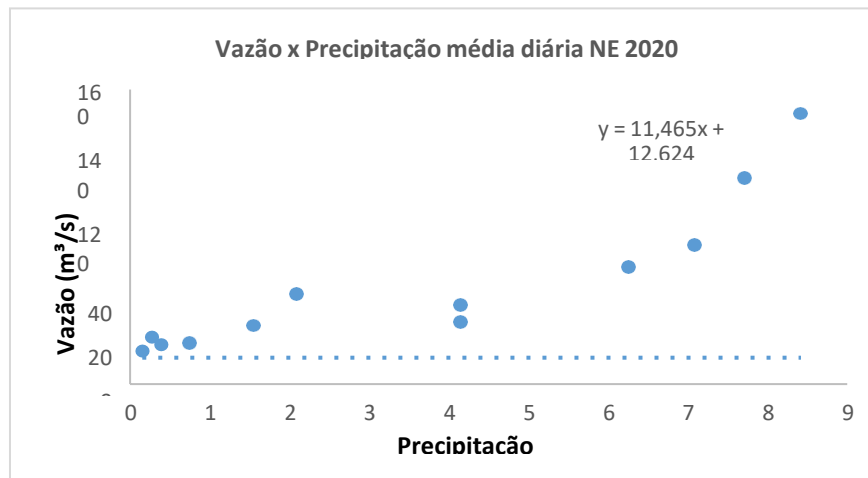


Figura 13. Relação Vazão x precipitação média diária, estações na cidade de Nova Era

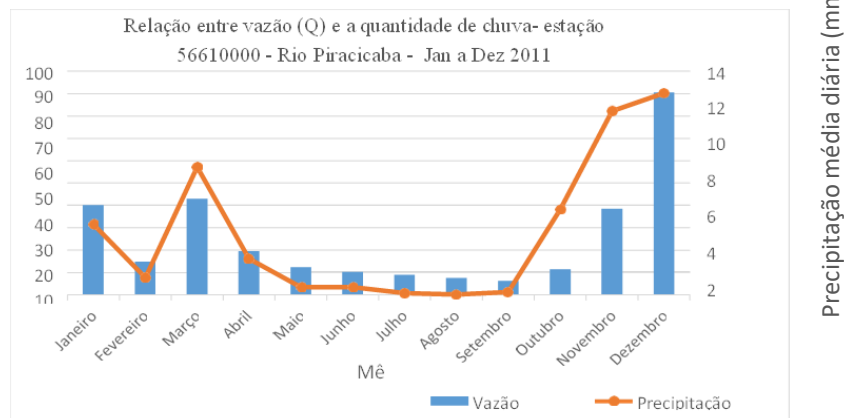


Figura 14. Vazão e Precipitação médias diárias para o ano de 2011 nas estações da cidade de Rio Piracicaba

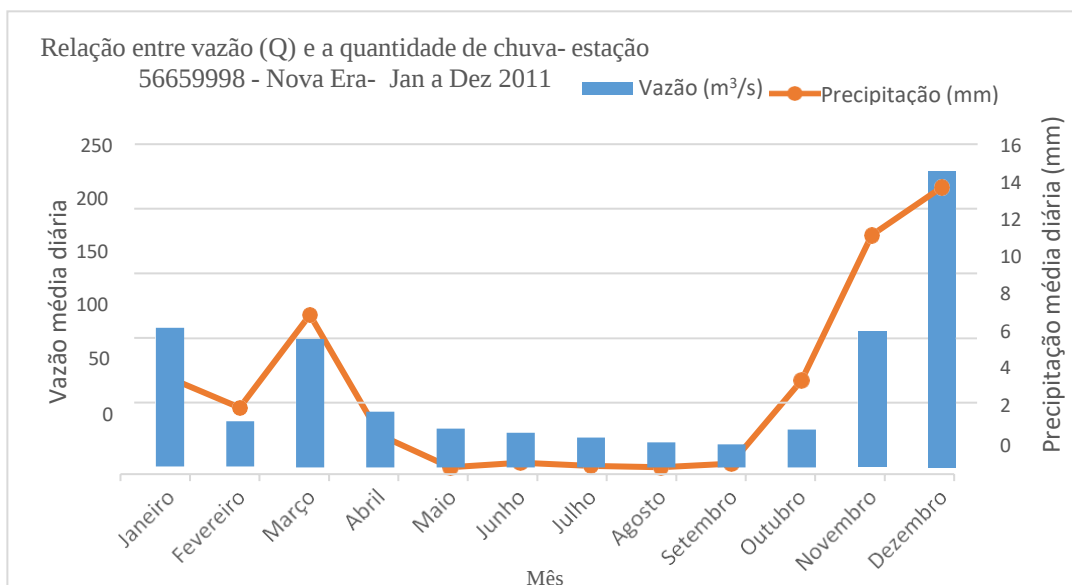


Figura 15. Vazão e Precipitação médias diárias para o ano de 2011 nas estações da cidade de Nova Era

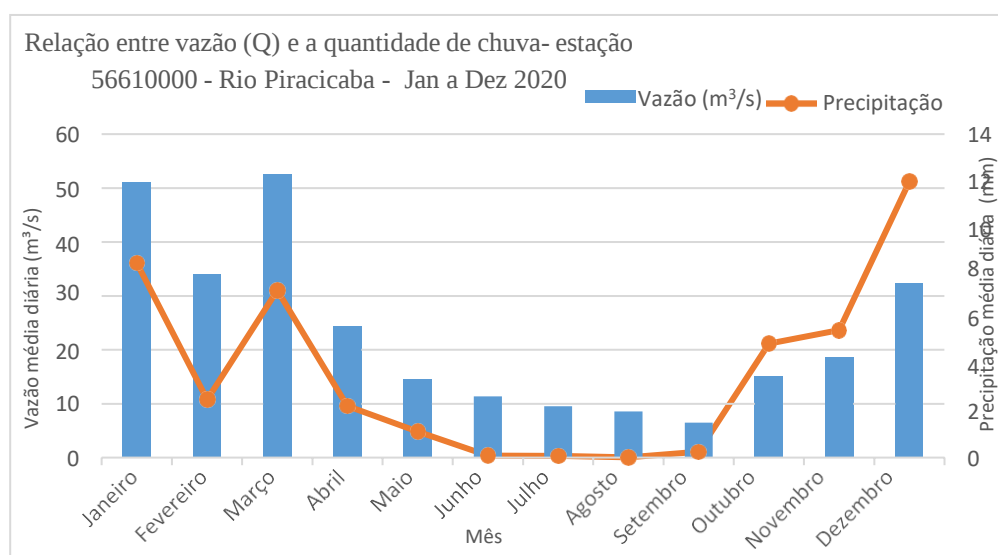


Figura 16. Vazão e Precipitação médias diárias para o ano de 2020 nas estações da cidade de Rio Piracicaba

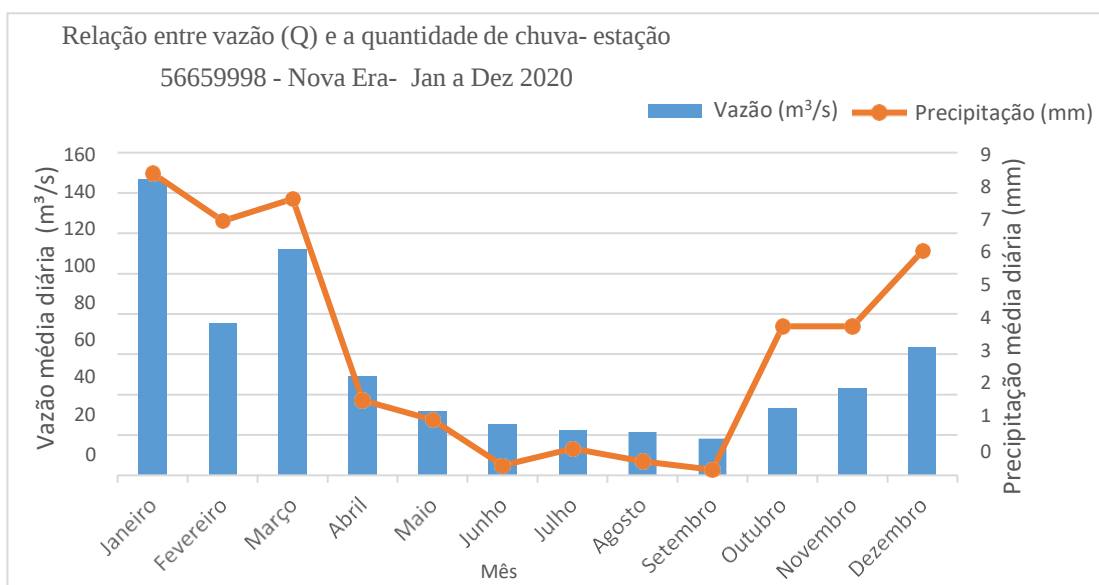


Figura 17. Vazão e Precipitação médias diárias para o ano de 2020 nas estações da cidade de Nova Era

Conclusões

A bacia do rio Piracicaba possui atividades antrópicas de alto potencial poluidor aos recursos hídricos. Alguns fatores naturais da bacia também podem favorecer à alteração destes recursos, a exemplo da sua formação litológica e mineral, relevo e precipitações intensas (Souza et al., 2020).

Os resultados indicaram que em 2020, a maioria do uso e ocupação do solo do médio curso do rio Piracicaba é de formação florestal (45,11%). Em segundo lugar estão as áreas de pastagens (31,23%), destaca-se que na região há localidades com criação de gado, o que justifica a manutenção de áreas de pastagens visando a produção agropecuária. A classe mosaico de agricultura e pastagem obteve 11,49%. A classe floresta plantada compõe 8,07%, havendo na região áreas de reflorestamento de eucalipto para produção de celulose e de carvão vegetal para abastecer siderúrgicas.

As variações de uso e ocupação do solo entre os anos de 2011 e 2020, demonstram que houve ganho de área de 3,66 Km² (0,17%) na atividade de mineração. Houve perda de área de pastagem em 152,15 Km² (6,97%), esta variação pode ter ocorrido devido ao aumento das atividades de agricultura, já que em 2020 houve acréscimo do mosaico de agricultura e pastagem em 72,92 Km² (3,34%). Outra causa seria pelo não manejo de pastagens, assim, podendo ter ocorrido regeneração destas áreas, ou recuperação destas áreas com formação florestal, sendo que a formação florestal aumentou 60,11 Km² (0,13%) e a floresta plantada 15,12 Km² (0,70%). A infraestrutura urbana aumentou 2,76 Km² (0,13%), podendo ter contribuído para a diminuição da classe pastagem.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, agradecemos também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Referências

Ali, J. M., Noble, B. C., Nandi, I., Kolok, A. S.,

- Bartelt-Hunt, S. L. 2019. Assessing the Accuracy of Citizen Scientist Reported Measurements for Agrichemical Contaminants. *Environmental Science Technology* 21, 5633-5640. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b06707>
- Beecham, S., Razzaghmanesh, M. 2015. Water quality and quantity investigation of green roofs in a dry climate. *Water Research* 70, 370-384. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.12.015>
- Biggs, T. W., Santiago, T. M. O., Sills, E., Caviglia-Harris, J. 2019. The Brazilian Forest Code and riparian preservation areas: spatiotemporal analysis and implications for hydrological ecosystem services. *Regional Environmental Change* 19, 2381-2394. <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01549-w>
- Blake, C., Rhanor, A. K. 2020. The impact of channelization on macroinvertebrate bioindicators in small order Illinois streams: insights from long-term citizen science research. *Aquatic Sciences*, 82, 35. doi:<https://doi.org/10.1007/s00027-020-0706-4>
- Blignaut, J. N. 2019. Making investments in natural capital count. *Ecosystem Services* 37, 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100927>
- Bos, J. S., Nanayakkara, L., Hurlbert, M., Finlay, K. 2019. Citizen science for Saskatchewan lakes: a pilot project. *Lake and Reservoir Management* 35, 77-89. <https://doi.org/10.1080/10402381.2018.1538172>
- BRASIL. 1997. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídrico, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta a inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº8001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.
- Bremer, L. L., Wada, C. A., Medoffa, S., Page, J., Falinski, K., Kimberly, M., Burnett, K.M. 2019. Contributions of native forest protection to local water supplies in East Maui. *Science of The Total Environment* 688, 1422-1432. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.220>
- Brooks, S. J., Fitch, B., Davy-Bowker, J., Codesal,

- S. A. 2019. Anglers' Riverfly Monitoring Initiative (ARMI): A UK-wide citizen science project for water quality assessment. *Freshwater Science* 38, 270-280. <https://doi.org/10.1086/703397>
- Cadavid-Florez, L., Laborde, J., Zahawi, R. A. 2019. Using landscape composition and configuration metrics as indicators of woody vegetation attributes in tropical pastures. *Ecological Indicators* 101, 679-691. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.01.072>
- Celentano, D., Rousseau, G. X., Engel, V. L., Zelarayan, M., Oliveira, E. C., Araujo, A. C. M., Moura, E. G. 2017. Degradation of riparian forest affects soil properties and ecosystem services provision in eastern Amazon of Brazil. *Land Degradation and Development* 28, 482-493. <https://doi.org/10.1002/ldr.2547>
- Costa, F. B.; Ferreira, V. O. 2018. Análise de parâmetros que compõem o índice de qualidade das águas (IQA) na porção mineira da Bacia do Rio Paranaíba. *Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia* 7, 18.
- Cunha, D. G. F., Casali, S. P., de Falco, P. B., Thornhill, I., & Loiselle, S. A. 2017. The contribution of volunteer-based monitoring data to the assessment of harmful phytoplankton blooms in Brazilian urban streams. *Science of the Total Environment*, 584-585, 586-594. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.080>
- Cunha, D. G. F., Magri, R. A. F., Tromboni, F., Ranieri, V. E. L., Fendrich, A. N., Campanhão, L. M. B., Riveros, E. V., Velázquez, J. A. 2019. Landscape patterns influence nutrient concentrations in aquatic systems: Citizen science data from Brazil and Mexico. *Freshwater Science* 38, 365-378. <https://doi.org/10.1086/703396>
- Demamoro, A. C.; Laurentis, G. L.; Bettine, S. C. 2013. Cenários ambientais na bacia do rio Atibaia. *Engenharia Sanitária Ambiental* 18, 1-11. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522013000100004>
- FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. 2013 Plano para incremento do percentual de tratamento de esgotos sanitários na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba: sumário executivo. Belo Horizonte: FEAM. Disponível em: <https://docplayer.com.br/23388170-Plano-para-incremento-do-percentual-de-tratamento-de-esgotos-sanitarios-da-bacia-hidrografica-do-rio-piracicaba.html> Acesso em: 20 de fevereiro de 2021.
- Field-Juma, A., Roberts-Lawler, N. 2021. Using Partnerships and Community Science to Protect Wild and Scenic Rivers in the Eastern United States. *Sustainability* 13, 2102. <https://doi.org/10.3390/su13042102>
- Finotti, R. F., Finkler, R., Silva M. D. A. 2009. Cemin, G. Monitoramento de Recursos Hídricos em Áreas Urbanas. Caxias do Sul, RS. ISBN 978-85-7061-554-1.
- IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. 2023. Conheça Cidades e Estados do Brasil. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/> Acesso em: 01 de agosto de 2023.
- IGAM Instituto Mineiro de Gestão das Águas. 2021. Gestão e situação das águas de Minas Gerais. Bacia hidrográfica do rio Doce. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/component/content/155?task=view> Acesso em: 10 de março de 2021.
- Larson, R., Farber, B. 2010. Estatística Aplicada. São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- Lemes, M. C. R.; Reboita, M. S.; Torres, R. R. 2020. Mudança no uso e cobertura da terra na bacia do Rio Tietê e seus impactos na Temperatura da Superfície (TS). *Revista Brasileira de Climatologia* 27, 2237- 2252. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v27i0.68836>
- Malav, L. C.; Yadav, B.; Tailor, B. L.; Pattanayak, S.; Singh, S. V.; Kumar, N.; Reddy, G. P. O.; Mina, B. L.; Dwivedi, B. S.; Jha, P. K. 2022. Mapping of Land Degradation Vulnerability in the Semi-Arid Watershed of Rajasthan, India. *Sustainability* 14, 1-16. <https://doi.org/10.3390/su141610198>
- MapBiomass. (2022). Mapas e dados. Available: <http://Mapbiomas.org>. Accessed on: 10 Jan. 2023.
- Martins, A. P.; Galvani, E. 2020. Relação entre uso e cobertura da terra e parâmetros biofísicos no Cerrado Brasileiro. *Revista do Departamento de Geografia* 40, 148-162. <https://doi.org/10.11606/rdg.v40i0.167739>
- Michalak, A. 2016. Study role of climate change in extreme threats to water quality. *Nature* 535, 349-350. <https://doi.org/10.1038/535349a>
- MINITAB. 2017. Versão gratuita online. Disponível em: <https://www.minitab.com>.

Acesso em: 10 de setembro de 2021.

- Miranda, M. R. S.; Neves, L. F. S.; Kreitlow, J. P.; Neves, S. M. A. S.; Neves, R. J. 2018. Distribuição de queimadas e mudanças na cobertura vegetal e uso da terra no bioma Pantanal, Cáceres-Brasil. *Caminhos de Geografia* 19, 91-108. <https://doi.org/10.14393/RCG196508>
- Moisa, M. B.; Dejene, I. N.; Merga, B. B.; Gameda, D. O. 2022. Impacts of land use/land cover dynamics on land surface temperature using geospatial techniques in Anger River Sub-basin, Western Ethiopia. *Environmental Earth Sciences* 81, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10221-2>
- Montgomery, D. C. 2019. *Introduction to Statistical Quality Control*, 8th ed., John Wiley & Sons, Inc., 2019.
- Pacheco, F.A.L.; Fernandes, L.F.S.; Valle, R.F.; Valera, C.A.; Pissara, T.C.T. 2018. Land degradation: Multiple environmental consequences and routes to neutrality. *Current Opinion Environmental Science & Health* 5, 79-86. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.07.002>.
- Pal, S.; Ziaul, S. 2017. Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban centre. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 20, 125-145. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.11.003>.
- Pruski, F. F.; Rodrigues, R. G.; Novaes, L. F.; Silva, D. D.; Ramos, M. M.; Teixeira, A. F. 2007. Impacto das vazões demandadas pela irrigação e pelos abastecimentos animal e humano, na bacia do Paracatu. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 11, 199-210. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000200011>.
- Raharjo, B., Nakagoshi, N. 2018. Priorities mapping in landscape: Spatial decision support of the Indonesian forest landscape. *Landscape Ecology for Sustainable Society* 155-180. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74328-8_10
- Rieger, I., Lang, F., Kowarik, I., Cierjacks, A. 2014. The interplay of sedimentation and carbon accretion in riparian forests. *Geomorphology* 214, 157-167. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.01.023>
- Romshoo, S. A.; Amin, M.; Sastry, K. L. N.; Parmar, M. 2020. Integration of social, economic, and environmental factors in GIS for land degradation vulnerability assessment in the Pir Panjal Himalaya, Kashmir, India. *Applied Geography* 125, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102307>.
- Roy, S.; Pandit, S.; Eva, E. A.; Bagmar, S. H.; Papia, M.; Banik, L.; Dube, T.; Rahmanf.; Razi, M. A. 2020. Examining the nexus between land surface temperature and urban growth in Chattogram Metropolitan Area of Bangladesh using long term Landsat series data. *Urban Climate* 32, 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100593>.
- Sarif, M. D. O.; Gupta, R. D. 2022. Evaluation of seasonal ecological vulnerability using LULC and thermal state dynamics using Landsat and MODIS data: a case study of Prayagraj City, India (1987–2018). *Environmental Science and Pollution Research* 1-34. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21225-7>.
- Shen, Z., Hou, X., Li, W., Aini, G., Chen, L., Gong, Y. 2015. Impact of landscape pattern at multiple spatial scales on water quality: A case study in a typical urbanised watershed in China. *Ecological Indicators* 48, 417-427. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.019>
- Silva, M. P. M.; Faria S. D.; Moura, P. M. 2017. Modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba (MG). *Engenharia Sanitaria Ambiental* 22, 133-143. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017134420>
- Singh, S. K., Srivastava, P. K., Szabo, S., Petropoulos, G. P., Gupta, M., Islam, T. 2017. Landscape transform and spatial metrics for mapping spatio temporal land cover dynamics using Earth Observation data-sets. *Geocarto International* 32, 113-127. <https://doi.org/10.1080/10106049.2015.1130084>
- Siqueira, M. N., Morais, A. R., Faria, K. M. S., Castro, S. S. 2016. Ecological Aspects Related To Ligneous Vegetation in the Permanent Preservation Areas of Mineiros, Goiás, in Light of the New Native Vegetation Protection Policy - Law 12.651/2012. *Revista Árvore* 40, 575-584. <https://doi.org/10.1590/0100-67622016000400001>
- Soares, F. B., Alencar, A., Nepstad, D., Cerqueira, G., Del Carmen, V. D. M., Rivero, S., Solorzano, L., Voll, E. 2004. Simulating the response of land-cover changes to road

- paving and governance along a major Amazon highway: The Santarém-Cuiabá corridor. *Global Change Biology* 10, 745-764. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2003.00769.x>
- Souza, C. M. Z., Shimbo, J., Rosa, M. R., Parente, L. L. A., Alencar, A., Rudorff, B. F. T., Hasenack, H., Matsumoto, M. G., Ferreira L, Souza-Filho, P. W. M., et al. 2020. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. *Remote Sensing* 12, 2735. <https://doi.org/10.3390/rs12172735>
- Sun, G., Lockaby, B. G. 2012. Water quantity and quality at the urban–rural interface. *Urban-rural interfaces* 29-48. <https://doi.org/10.2136/2012.urban-rural.c3>
- Unke, P.; Mueller, E. N.; Schroder, B.; Zeilhofer, P. 2015. The Brazilian Cerrado: assessment of water and soil degradation in catchments under intensive agricultural use. *Ecohydrology* 8, 1154-1180. <https://doi.org/10.1002/eco.1573>
- Wang, P.; Yu, P.; Lu, J.; Zhang, Y. 2022. The mediation effect of land surface temperature in the relationship between land use-cover change and energy consumption under seasonal variations. *Journal of Cleaner Production* 340, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130804>
- Wang, Y. C.; Hu, B. K. H.; Myint, S. W.; Feng, C. C.; Chow, W. T. L.; Passy, P. F. 2018. Patterns of land change and their potential impacts on land surface temperature change in Yangon, Myanmar. *Science of the Total Environment* 643, 738-750. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.209>
- Xiao, R., Wang, G., Zhang, Q., Zhang, Z. 2016. Multi-scale analysis of relationship between landscape pattern and urban river water quality in different seasons. *Scientific Reports* 6, 1-10. <https://doi.org/10.1038/srep25250>