



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL



MARINA SCALIA PEREIRA PASSOS

**ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS DA Q₇ EM DUAS ESTAÇÕES
FLUVIOMÉTRICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARAGUARI, EM
MINAS GERAIS**

Uberlândia
Minas Gerais - Brasil
Setembro/2020

MARINA SCALIA PEREIRA PASSOS

Análise de séries temporais da Q_7 em duas estações fluviométricas da bacia hidrográfica do Rio Araguari, em Minas Gerais

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Hudson de Paula Carvalho

Uberlândia-MG

Setembro/2020

MARINA SCALIA PEREIRA PASSOS

Análise de séries temporais da Q_7 em duas estações fluviométricas da bacia
hidrográfica do Rio Araguari, em Minas Gerais

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Instituto de Ciências
Agrárias, da Universidade Federal de
Uberlândia, para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental.

Uberlândia, 2020

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Hudson de Paula Carvalho (ICIAG)

Prof. Dr. Roberto Terumi Atarassi (ICIAG)

Messias Henrique Dias Soares – Bacharel em Eng. Ambiental

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho de conclusão de curso a todos aqueles que estiveram comigo durante a minha caminhada até aqui e que de alguma forma contribuíram para que eu alcançasse meus objetivos, sonhos e me tornasse a pessoa que sou hoje.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Hudson de Paula Carvalho, por todo tempo e paciência dedicados a me orientar, bem como durante as disciplinas ministradas no curso, com aos quais muito me identifiquei.

Ao meu namorado e companheiro de curso e “estrada” por todo o carinho e esforço para que juntos alcançássemos nossos objetivos e realizássemos nossos sonhos. Nesse período pudemos ver a evolução um do outro como ser humano e principalmente como profissionais. Não me surpreenderia se tivérmos um futuro brilhante.

Aos meus familiares e amigos, sou grata pelos diversos momentos que passamos juntos, emoções compartilhadas e principalmente pelo apoio incondicional, desde os anos de ensino médio. Com certeza vocês foram meu ponto de equilíbrio.

“Se o dinheiro for a sua esperança de independência, você jamais a terá. A única segurança verdadeira consiste numa reserva de sabedoria, de experiência e de competência.”

Henry Ford

RESUMO

O crescimento da população e conseqüentemente da demanda por recursos naturais promovem uma preocupação constante, até onde vão os limites ambientais? Dessa forma torna-se necessário criar mecanismos de gestão e monitoramento que sejam capazes de garantir o suprimento das necessidades das atuais e futuras gerações, humana e animal. Um desses mecanismos consiste na outorga de uso da água, a qual, no estado de Minas Gerais, baseia-se no valor da $Q_{7,10}$, vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência. Nesse sentido o presente trabalho buscou fazer uma comparação entre a evolução do uso e ocupação do solo através do processamento digital de imagem das áreas de drenagem de duas estações de monitoramento fluviométrico, e a análise das suas respectivas séries históricas de vazão através da média mínima de sete dias, aplicando os testes estatísticos de autocorrelação de Durbin-Watson e de estacionaridade de Mann-Kendall. As estações analisadas estão localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari. Foi considerado o período seco de cada ano, iniciando-se na década de 70 até os dias atuais. Com isso foi possível identificar uma tendência de diminuição nas linhas de Q_7 anualmente apenas para o mês de setembro, em que houve uma queda de 53,5% no valor entre os anos de 1974 e 2018, evidenciado pela linha de regressão, a qual possui um coeficiente angular igual a -0,0268, bem como na cobertura do solo por vegetação densa, a qual chegou ter uma perda de 67,5% para a área de uma das estações analisadas.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica. Q_7 . Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI. Vazão. Vegetação Densa.

ABSTRACT

The growth of the population and consequently the demand for natural resources promote constant concern, how far do environmental limits go? Therefore, it becomes necessary to create management and monitoring mechanisms that are able to ensure the supply of the needs of current and future generations, human and animal. One of these mechanisms is the granting of water use, which, in the state of Minas Gerais, is based on the value of $Q_{7,10}$, minimum flow of seven days in duration and ten years of recurrence. In this sense, the present work sought to make a comparison between the evolution of land use and occupation through digital image processing of the drainage areas of two fluviometric monitoring stations, and the analysis of their respective historical flow series through the minimum average of seven days, applying the Durbin-Watson autocorrelation and Mann-Kendall stationarity tests. The analyzed stations are located in the Araguari River Basin. The dry period of each year was considered, starting in the 70's until the present day. As a result, it was possible to identify a downward trend in the Q_7 lines annually only for the month of September, in which there was a 53.5% drop in the value between the years 1974 and 2018, evidenced by the regression line, which has an angular coefficient equal to -0.0268, as well as in the ground cover by dense vegetation, which reached a loss of 67.5% for the area of one of the analyzed stations.

Key-words: Hydrographic Basin. Q_7 . Normalized Difference Vegetation Index - NDVI. Flow. Dense Vegetation.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. OBJETIVOS.....	11
2.1. Objetivo Geral.....	11
2.2. Objetivos específicos	11
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
4.1. Área de Estudo.....	18
4.2. Método	20
4.2.1. Tratamento dos dados de vazão.....	20
4.2.2. Análise estatística da estacionaridade das vazões Q_7	21
4.2.3. Delimitação das áreas de drenagem de cada estação fluviométrica].....	23
4.2.4. Tratamento das imagens de satélites	24
4.2.5. Imagem RGB.....	24
4.2.6. Cálculo NDVI.....	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
6. CONCLUSÕES.....	37
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1. INTRODUÇÃO

O crescimento acentuado da população mundial infere em inúmeros problemas: uma maior demanda de alimentos, conseqüentemente de energia e água. Sabe-se que hoje a água é fator primordial para o desenvolvimento e que a variabilidade desse recurso pode comprometê-lo. Nas últimas décadas temos sofrido com este problema, sendo os mais significativos àqueles relacionados à escassez hídrica, o qual é fruto de uma demanda cada vez maior, tanto em razão da demanda da população, quanto do aumento de sua utilização para produção de alimentos, bens e serviços, reflexo do padrão de desenvolvimento e conforto impostos pela modernidade.

A crescente utilização de água torna-se, então, uma preocupação relevante, sendo o ponto mais discutido quando a questão é a preservação da vida, concluindo-se que a racionalização dos recursos hídricos e o cuidado com sua qualidade é que garantirão sobrevivência às futuras gerações e, também, às demais espécies. Segundo o secretário geral da ONU de 2013, Ban-Ki-moon, os países em desenvolvimento apresentam o maior crescimento urbano, assim, autoridades estão em busca de soluções para às demandas da rápida expansão (DOURADOS AGORA, 2013). A degradação ambiental e racionalização dos recursos, antes vistos apenas nas grandes metrópoles, hoje já estão presentes em cidades interioranas que também sofrem com problemas de infraestrutura urbana e políticas administrativas.

Portanto, nesse momento, é necessário a participação social na gestão ambiental por meio de atitudes básicas como o uso equilibrado dos recursos hídricos e do conhecimento dos processos, cabendo uma revisão dos procedimentos adotados, bem como a fiscalização para que os processos se tornem efetivos. Para isso, lança-se mão de instrumentos de gestão como a tarifação da água, enquadramento dos cursos d'água, outorgas, estipulação de vazões mínimas de referência, entre outros, visando o desenvolvimento sustentável.

Diante disso, os órgãos ambientais estipularam valores máximos outorgáveis, ou seja, a vazão máxima de água que pode ser captada de um curso d'água. Em Minas Gerais, atualmente esse valor é estipulado por 50% da vazão $Q_{7,10}$, que é medida estatisticamente através da análise de séries históricas. Os valores de $Q_{7,10}$ de cada trecho podem ser calculados através da metodologia Deflúvios Superficiais, porém sabe-se que esta obra pode sub e/ou superestimar os valores.

Infelizmente o Brasil é carente de planejamento e de investimentos voltados para questões ambientais como avaliações da situação dos recursos hídricos, de uso e ocupação do solo e avaliações climatológicas, sendo que a falta de dados é um fator limitante. Sabe-se que as vazões dos rios são influenciadas, principalmente, pela água de chuva que cai sobre sua bacia

de contribuição e infiltra no solo. Por isso, é necessário que o solo possua uma boa cobertura vegetal, evitando, entre outros problemas, o escoamento superficial acelerado e possibilitando a infiltração da água. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo fazer uma análise das séries históricas das vazões em dois cursos d'água na Bacia hidrográfica do Rio Araguari, observando se o aumento da demanda hídrica, bem como a evolução do uso e ocupação do solo interferiram nas suas respectivas vazões.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo principal analisar a estacionaridade nas séries de vazões mínimas de duas estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar alterações nas vazões mínimas ao longo do período analisado;
- Analisar a influência do uso e ocupação do solo sobre o regime fluviométrico;

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O artigo 192 da Constituição Federal define dois pilares fundamentais para o sistema financeiro nacional, o interesse coletivo e a promoção do desenvolvimento equilibrado do País. No que tange o interesse coletivo, o artigo 225, também da Constituição Federal, define que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”. (BRASIL, 1988).

O conceito de desenvolvimento sustentável formulado no final dos anos 80 tem sido motivo de intensa reflexão, não somente quanto à dimensão econômica, geográfica ou ecológica, mas principalmente partindo do princípio de que a degradação dos ecossistemas é um processo contínuo, irreversível e evolutivo, devido às pressões exercidas pelos processos de produção e padrões de consumo da sociedade atual (PORTO, 2009). Para Carmo (2001), a demanda crescente por recursos naturais tem feito ressurgir a dúvida sobre a existência, ou não de limites ambientais.

A água, suporte básico para a vida, é um bem desigualmente distribuído e com seu ciclo hidrológico natural comprometido devido às atividades urbanas, industriais e agropecuárias, o que prejudica os sistemas bióticos dela dependentes e aumenta sua escassez (CSUROS & CSUROS, 2002b; REBOUÇAS, 2002; UNESCO et al., 2006) (PORTO, 2009). Sé (1992) indica como possível causa de degradação ambiental o processo de ocupação do espaço, que passa constantemente pelo processo de desmatamento pela agricultura integrado ao acelerado processo de expansão urbana, aponta ainda que o estado ecológico das águas de um rio reflete o estado ecológico de sua bacia, a qual está submetida a diversas formas de ocupação (ALMEIDA, 2001).

Além disso, o contínuo desenvolvimento da sociedade e a intensa utilização de combustíveis fósseis ocasionaram um aumento considerável dos gases de efeito estufa (GEE's) na atmosfera. Vários estudos indicam que este aumento é o principal responsável pelas alterações no equilíbrio do sistema climático global, o que acarreta em verões mais secos e quentes e significativas alterações nos volumes e distribuição das chuvas, concentrando-as em algumas regiões e tornando-as escassas em outras (IPCC, 2013 apud ARROIO e MAUAD, 2015). Estudos apontam que por volta de 2030, o padrão dominante será uma redução na quantidade total de chuva (TUCCI, 2002).

Em estudo elaborado por Arroio e Mauad (2015), referente às simulações de diferentes cenários de emissões de GEE's e o efeito sobre as vazões do ribeirão Feijão, verificou-se uma

diminuição de 1,5% a 3% da vazão mensal no período de maio a setembro. Tais resultados estão fortemente ligados às modificações nos padrões de chuva e temperatura, sendo que a redução da precipitação no período seco juntamente com o aumento das temperaturas acarretou o decréscimo de vazão (ARROIO e MAUAD, 2015). Por sua vez, o modelo de uso e ocupação do solo pode provocar alterações nos processos hidrológicos devido, principalmente, ao desmatamento para culturas anuais que, entre outras coisas, aumenta o escoamento superficial da bacia hidrográfica e reduz a evapotranspiração (TUCCI, 2002). A cobertura vegetal cria uma camada protetora no solo, a qual controla a evaporação da água precipitada e o seu escoamento superficial, possibilitando uma melhor infiltração e conseqüentemente o seu armazenamento no subsolo. (BARRETO; RIBEIRO; BORBA., 2010 apud VENIZIANI JUNIOR, 2018). Neste sentido é fundamental o monitoramento da vegetação com o intuito de garantir sua função ambiental e hidrológica (BARBOSA, 2000 apud VENIZIANI JUNIOR, 2018).

A vazão de um curso de água é um dos principais parâmetros utilizados no planejamento de recursos hídricos. Pela definição, vazão é o volume de água que passa, por unidade de tempo, em uma determinada seção transversal do corpo hídrico, sendo um parâmetro necessário para a realização de estudos de gestão de recursos hídricos (CUPAK, 2017 apud MATIAS, 2018). Já a variabilidade hidrológica corresponde às alterações que ocorrem na entrada e saída dos sistemas hidrológicos. É perceptível que nos anos mais úmidos o aumento de precipitação produz aumento da vazão, pois a infiltração aumenta e a evapotranspiração diminui devido à elevada umidade no ar, aumentando o escoamento. No sentido contrário, nos anos secos, a redução de precipitação aumenta a evapotranspiração e reduz a vazão (TUCCI, 2002).

As futuras alterações relacionadas ao regime pluviométrico irão influenciar o regime hídrico, uma vez que o armazenamento de água no solo e, conseqüentemente, a recarga dos aquíferos, altera a resposta hidrológica das bacias hidrográficas (MARENCO, 2008; TUCCI, 2007 apud ARROIO e MAUAD, 2015). Tais impactos influenciarão o planejamento e gerenciamento das bacias hidrográficas, principalmente no Brasil, onde a disponibilidade de água está diretamente relacionada com o clima (ARROIO e MAUAD, 2015).

Bacia hidrográfica é uma região compreendida por um território e diversos cursos d'água, sendo que parte da chuva que cai no interior da bacia escoam pela superfície até um rio principal ou um sistema conectado de cursos d'água afluentes. Essas águas, normalmente, são descarregadas por meio de um único exutório localizado no ponto mais baixo da região. Da parte infiltrada, uma parte escoam para os leitos dos rios, outra é evaporada por meio da evapotranspiração e o restante é armazenada no subsolo em forma de aquíferos subterrâneos (ANA, 2011).

A delimitação de uma bacia hidrográfica é feita a partir de seus divisores de água, os quais abrangem uma área de captação natural da água de precipitação que converge para um único ponto de saída através de seu curso d'água principal, ou seja, é um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem que resultam em um único leito, tendo deságue em uma única foz (TUCCI, 1997 apud PORTO e PORTO, 2008). Além disso, é a principal unidade de planejamento dos recursos hídricos e área de estudos hidrológicos (MARTINS, 2017).

O Plano Nacional de Recursos Hídricos foi criado a partir da Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997). Sua aplicação se dá dentro dos limites territoriais das bacias hidrográficas. No Estado de Minas Gerais o Plano Estadual de Recursos Hídricos, tem como objetivo estabelecer princípios básicos para o planejamento e controle adequado do uso da água no Estado, como outorga de direito e cobrança pelo uso dos recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água, através dos Planos Diretores de Recursos Hídricos - PDRHs de Bacias Hidrográficas (MINAS GERAIS, 1999) (MORAES, 2016).

Dentro dessas unidades de planejamento definem-se valores de vazões de referência que, segundo Silva (2006), é calculada através do limite superior de utilização da água de um rio, em que seja garantida a permanência de um volume capaz de manter os ciclos ecológicos (MORAES, 2016) e ainda busca a minimização dos conflitos pelo uso da água entre os diversos usuários (MATIAS, 2018), assim a disponibilidade hídrica para usos consuntivos é calculada através das vazões de referência.

Almeida e Curri (2016) indicam as vazões mínimas como as mais utilizadas para referência, devido sua elevada permanência no tempo. As mais empregadas são $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95} , que são calculadas de forma estatística a partir de dados históricos de estações fluviométricas. Somente uma porcentagem dessas vazões pode ser utilizada, sendo a vazão remanescente equivalente à vazão ecológica, ou seja, aquela necessária para manutenção dos ciclos ecológicos (MATIAS, 2018).

A vazão mínima é caracterizada por dois fatores: a sua magnitude e a sua duração. O seu conhecimento é importante, entre outras finalidades, para projetos de abastecimento de água, irrigação, energia elétrica e outorga de uso da água (TUCCI, 2002 apud MATIAS, 2018). Segundo ANA (2016) a Q_7 é uma vazão mínima de referência, sendo o “valor médio da série histórica das vazões mínimas das médias móveis de sete dias, ao longo do período de dados das estações fluviométricas”. Daí deriva-se a $Q_{7,10}$ que equivale a menor vazão média de sete dias consecutivos, com um período de retorno de dez anos (ANA, 2015). Com base nisso, pode-se afirmar que existe uma chance de 10% de ocorrer uma vazão igual ou menor do que essa, em

qualquer ano. Em Minas Gerais, a Resolução Conjunta SEMAD-IGAM nº 1548, de 29 de março 2012, estabelece a $Q_{7,10}$ como vazão de referência para o cálculo da disponibilidade hídrica superficial nas bacias hidrográficas do Estado (MINAS GERAIS, 2012).

Art. 1: Fica estabelecida a $Q_{7,10}$ (vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência) como vazão de referência a ser utilizada para o cálculo da disponibilidade hídrica superficial nas bacias hidrográficas do Estado. Art.2 – O limite máximo de captações e lançamentos a serem outorgados nas bacias hidrográficas do Estado, por cada seção considerada em condições naturais, será de 50% (cinquenta por cento) da $Q_{7,10}$, ficando garantidos a jusante de cada derivação, fluxos residuais mínimos equivalentes a 50% (cinquenta por cento) da $Q_{7,10}$.

§1º - Ressalvado o disposto no caput deste artigo, o limite máximo de captações a serem outorgadas nas bacias hidrográficas dos Rios Jequitaiá, Pacuí, Urucuia, Pandeiros, Verde Grande, Pará, Paraopeba e Velhas, por cada seção considerada em condições naturais, será de 30% (trinta por cento) da $Q_{7,10}$, ficando garantidos, a jusante de cada derivação, fluxos residuais mínimos equivalentes a 70% (setenta por cento) da $Q_{7,10}$. §2º - Nas áreas declaradas em conflito pelo direito de uso de recursos hídricos pelo IGAM situadas nas bacias hidrográficas mencionadas no §1º, o percentual outorgável será de 50% da $Q_{7,10}$ com vistas a mitigar os conflitos existentes. (MINAS GERAIS, 2012).

A condição privilegiada do Brasil como nação com grande disponibilidade hídrica, deixa-nos em um estado acomodado quanto aos riscos dos efeitos dessas variações hidrológicas. A sofisticação do cenário nacional exige um maior conhecimento técnico-científico sobre a variabilidade climática e os impactos sobre os recursos hídricos considerando que na medida em que a sociedade evolui, exige mais dos recursos naturais (TUCCI, 2002). Infelizmente a falta de investimentos em equipamentos e serviços essenciais amplia ainda mais a vulnerabilidade dos sistemas ambientais e urbanos (ALMEIDA, 2001), além de dificultar a disponibilidade de dados, impedindo uma análise adequada e minuciosa do problema.

Entretanto, a variabilidade climática pode comprometer o contínuo desenvolvimento do país e muitas empresas sofrerão direta ou indiretamente com essas consequências. De modo direto, porque terão dificuldades em manter os atuais níveis de produção, e indiretamente, pois os consumidores se tornarão mais exigentes, optando por empresas que apresentem melhores práticas sustentáveis (Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável, 2009).

Logo, com a crescente demanda por água, seja no setor industrial ou agrícola, em função do crescimento populacional e da redução da quantidade e da qualidade dos mananciais, além

dos efeitos prováveis de se continuar o modelo de desenvolvimento atual, em que temos altas emissões de GEE's, existe a necessidade de se criar uma gestão de precaução, racionalidade e parcimônia, na utilização desse recurso para que as necessidades dessa e das futuras gerações humanas e das demais espécies possam ser satisfeitas (SOARES & FERREIRA, 2004 apud NETO e FERREIRA, 2007).

O sensoriamento remoto tem se mostrado uma ferramenta eficiente para a melhor gestão ambiental. Seus avanços e recursos têm gerado imagens cada vez melhores, o que torna possível levantamentos periódicos de áreas de interesse agrícola e ambiental e sua aplicação em diversas temáticas e fenômenos que atingem a superfície terrestre (KALAF et al., 2013). As técnicas de sensoriamento remoto se fundamentam em um processo de interação entre a radiação eletromagnética e os diferentes objetos que se pretende estudar através da interação entre a emissão e reflexão da radiação, a coleta e o registro da informação pelo sensor (PONZONI; SHIMABUKURO, 2012).

Para isso lança-se mão de métodos de Processamento Digital de Imagens (PDI). Um dos mais utilizados é a combinação de diferentes características espectrais afim de se gerar imagens coloridas e com melhor resolução (BRYNS, 2008). Para Soares et al. (2015) esse processo pode ser feito a partir da fusão de diferentes bandas, seja do mesmo sensor ou não, o que corrobora para melhorias na definição e nitidez da imagem, facilitando na identificação dos alvos na superfície.

Concomitante ao processo de fusão de imagens temos os índices de vegetação gerados a partir de dados obtidos pelos sensores remotos, estes auxiliam no monitoramento de alterações no uso e na cobertura do solo (LIMA et al., 2013). Dentre eles, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), permite identificar a presença de vegetação e caracterizá-la de acordo com sua evolução e distribuição espacial (ROSEMBACK; FRANÇA; FLORENZANO, 2005). Nesse seguimento é o índice mais utilizado, sendo um processo realizado por meio de operações matemáticas entre as bandas de um sensor de satélite (MELO et al., 2011).

Com o NDVI é possível identificar a presença de fitomassa foliar fotossinteticamente ativa e assim calcular a área ocupada, ou seja, quanto maior este índice, mais densa é a vegetação (MELO et al., 2011). Para isto, utiliza-se dos valores de reflectância das bandas que apresentam comprimento de onda na faixa do vermelho e do infravermelho próximo, pois estas favorecem a visualização de diferentes respostas para a presença de vegetação, uma vez que as porções absorvidas no vermelho e refletidas no infravermelho variam de acordo com a condição da planta. Quanto mais verdes e saudáveis, maior é a absorção no vermelho e a reflectância do infravermelho (BARBOSA et al., 2017).

Dessa forma utiliza-se da seguinte equação para obtenção do NDVI:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

Em que *NIR* corresponde a reflectância no comprimento de onda correspondente ao infra vermelho próximo e *R* corresponde ao valor de reflectância no comprimento de onda do vermelho. Os resultados podem variar de -1 a 1 por pixel, sendo que quanto mais próximo de 1 maior é a presença de vegetação em estado sadio, e a medida que este valor diminui maior é a presença de solo exposto e rochas (MELO et al., 2011).

Veniziani Junior (2018), em seu trabalho intitulado “As relações entre precipitação, vazão e cobertura vegetal nas sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú”, verificou a existência de correlação entre as variáveis precipitação, vazão e o NDVI, observando que nos anos considerados “secos” essa correlação foi mais evidente, reforçando que quanto maior a densidade de cobertura vegetal, maior a infiltração e menor o escoamento superficial, refletindo na maior disponibilidade de água.

Por outro lado, através de uma análise temporal de 76 anos (1938 a 2014), Aires et al. (2017) analisou o comportamento do regime de vazões do Rio Paraopeba, MG, para verificar, principalmente, o regime não estacionário do curso d’água em decorrência das modificações ocorridas na cobertura vegetal. Através dos testes de Mann Kendall e Sperman aplicados aos dados de uma estação de monitoramento localizada em Juatuba – MG, foi identificado um comportamento não estacionário no regime de vazões com tendência de redução. Porém, utilizando o Índice Vegetativo por Diferença Normalizada (NDVI), constatou o aumento das áreas com alto vigor vegetativo.

No mesmo sentido, Aires (2018) estudando a influência da modificação da cobertura vegetal no regime de vazões na bacia do rio Manhuaçu, MG, utilizou do método de NDVI para análise da dinâmica da cobertura vegetal. Já para caracterização do regime hidrológico utilizou do método de Mann Kendall e Pettitt para verificação da estacionariedade dos dados. Como esperado, foi constatado a tendência para redução das vazões mínimas em 6 estações estudadas. Embora tenha concluído que as modificações na cobertura vegetal influenciaram o comportamento das vazões no rio Manhuaçu, através do NDVI constatou-se que houve um aumento na cobertura vegetal com alto vigor e redução na área de pastagem.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de Estudo

A área contemplada neste estudo é a bacia hidrográfica do Rio Araguari, localizada na Mesorregião Triângulo/Alto Paranaíba, na porção oeste do estado de Minas Gerais, sendo que grande parte da região do Triângulo Mineiro está inserida nesta bacia. Faz divisa com importantes bacias como a Bacia do Rio Grande e a Bacia do São Francisco (ROSENDO, 2005). Em relação ao consumo hídrico, o maior volume de água retirado na bacia é destinado à irrigação, seguido por captações visando consumo humano, abastecimento industrial e agroindustrial. Faria e Jordão (2012) relatam regiões nesta bacia em que o volume demandado de água é superior ao volume outorgável, havendo conflitos pelo uso da água (MORAES, 2016).

O rio Araguari tem extensão de 475 km, é o principal curso d'água da bacia hidrográfica em estudo (Figura 01), atravessa a região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba e porção oeste do estado de Minas Gerais. Drena uma área de aproximadamente 21856 km², onde vivem mais de 1 milhão de pessoas (FERRETE et al, 2005). O rio Araguari passa por 20 municípios, sendo eles Araguari, Araxá, Campos Altos, Ibiá, Indianópolis, Iraí de Minas, Nova Ponte, Patrocínio, Pedrinópolis, Perdizes, Pratinha, Rio Paranaíba, São Roque de Minas, Sacramento, Santa Juliana, Serra do Salitre, Tapira, Tupaciguara, Uberaba e Uberlândia.

Este importante rio nasce no município de São Roque de Minas, na Serra da Canastra, a 1.180 m de altitude, e tem sua foz no Rio Paranaíba, afluente do Rio Grande, na divisa entre os municípios de Araguari e Tupaciguara, a 510 m de altitude, sendo um contribuinte da Bacia Transnacional do Rio Paraná (MORAES, 2016). Além de servir como fornecedor de água para alguns municípios, o rio Araguari apresenta um grande potencial hidroelétrico, o qual já é explorado (FERRETE et al, 2005).

Figura 1. Bacia Hidrográfica do Rio Araguari.



Fonte: Salla et al. 2017.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen (1948), é do tipo Tropical Savana (Aw) com períodos chuvosos e secos bem definidos, sendo eles concentrados nos meses de outubro a março e de abril a setembro, respectivamente (HATORRI et al, 2013). A estação seca é marcada por grande redução no volume de chuvas. A precipitação média anual fica entre 1400 e 1600 mm (MORAES, 2016). Essa condição climática favorece alto potencial agrícola da bacia, levando em conta o período de crescimento que necessitam as culturas para seu completo desenvolvimento. (ROSENDO, 2005).

A vegetação predominante na região é o bioma Cerrado, o qual se caracteriza por dois estratos: um herbáceo, que recobre os solos ou aparece em tufos, com altura média de 50 cm, formado por gramíneas, plantas lenhosas rasteiras e palmeiras; o outro, arbustivo arbóreo com dossel descontínuo e densidade variável, é constituído por plantas lenhosas de médio a pequeno porte, com galhos retorcidos e cascas espessas. (ROSENDO, 2005). Contudo, nas vertentes mais abruptas observa-se também a mata mesofítica (FERRETE et al, 2005). Solos sob vegetação do bioma cerrado geralmente são muito férteis, especialmente na região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, pertencendo à classe latossolo (MORAES, 2016).

O fator declividade dos terrenos da bacia é um parâmetro importante a ser comentado, pois é ele que controla a velocidade do escoamento superficial, e diz respeito ao tempo que leva

para a água das precipitações atingir e concentrar-se nos canais fluviais (ROSA et al, 2004 apud CBH ARAGUARI, 2008). Os rios e córregos da região são de corredeira e apresentam várias cachoeiras. Próxima do Vale do Araguari, a paisagem apresenta um relevo fortemente ondulado, com altitude de 800 a 1000m e declividades em torno de 30%. (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARAGUARI, 2004; BACCARO et al, 2004 apud FERRETE et al, 2005). Já a porção central da bacia do Rio Araguari apresenta declividades que vão desde 0 a 20%, com altitudes em torno de 1000 m. As áreas de maior declividade encontram-se na porção Sudeste da bacia, próximas ao curso dos rios e nascentes, bem como o divisor de águas dessa porção, com altitudes variando de 1050 a 1350 m (ROSENDO, 2005).

A bacia do rio Araguari foi subdividida em 18 regiões distintas, com áreas variando desde 249,69 km² até 3028,00 km² sendo elas as sub-bacia 16 - Ribeirão Grande e a Sub-bacia-10 do Alto Araguari, respectivamente (CBH ARAGUARI, 2008). Ao todo, a Bacia Hidrográfica em questão possui 41 estações de monitoramento fluviométrico, sendo que algumas já foram desativadas. Estas estações, entre outras finalidades, fazem leituras diárias da vazão instantânea dos cursos d'água. O monitoramento é de responsabilidade da ANA – Agência Nacional de Águas e os dados são disponibilizados online pela plataforma Hidroweb.

4.2. Método

4.2.1. Tratamento dos dados de vazão

Para a análise das séries de vazões nas estações fluviométricas da bacia do rio Araguari, primeiramente as estações de estudo foram selecionadas na plataforma Hidroweb (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>), administrada pela ANA, de acordo com a quantidade e qualidade de dados de vazão disponíveis, sendo descartadas aquelas referentes ao monitoramento a jusante de barramentos. As estações selecionadas foram as seguintes:

- Desemboque:
 - o Código da Estação: 60220000
 - o Latitude: -20,0139
 - o Longitude: -47,0172
 - o Área de Drenagem: 1070 km²
 - o Município: Sacramento
 - o Rio: Araguari

- Fazenda Letreiro
 - o Código da Estação: 60381000
 - o Latitude: -18,9883
 - o Longitude: -48,1903
 - o Área de Drenagem: 777 km²
 - o Município: Uberlândia
 - o Rio: Uberabinha

As estações do Desemboque e da Fazenda Letreiro foram as escolhidas por possuírem dados armazenados no período de interesse, o qual marca o início do avanço da fronteira agrícola, no caso desde a década de 70, sem interrupção de medição até os dias atuais. Além disso, as imagens de satélite dessas áreas são de boa qualidade, não sendo necessário fazer mosaico de imagens.

Posteriormente, com o auxílio do software Excel, os dados foram organizados de maneira a facilitar sua análise e posterior cálculo da Q_7 , pela média móvel de 7 dias consecutivos. Os demais dados disponibilizados pelas estações fluviométricas foram descartados. Os dados de vazão de cada estação foram organizados por data em ordem do mais antigo para o mais recente, separados em tabelas por mês e ano.

Assim, foram selecionadas as menores médias móveis de cada mês de todos os anos considerados. De posse desses dados montou-se os gráficos de dispersão mês a mês, sendo os dados de vazão (Q_7) dispostos no eixo Y e os anos dispostos no eixo X, sendo, então, possível analisar o comportamento da linha de tendência das Q_7 mensais, podendo avaliar se houve queda ou aumento da menor média de vazão durante 7 dias consecutivos com o passar dos anos para cada mês.

4.2.2. *Análise estatística da estacionaridade das vazões Q_7*

Neste trabalho a verificação da estacionaridade da série temporal de vazão mínima de sete dias (Q_7) foi realizada por meio do teste estatístico Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975). Esse teste considera (x_1, \dots, x_n) uma amostra de valores independentes de uma variável aleatória 'x' da qual se deseja avaliar o estacionaridade. A hipótese nula H_0 é a hipótese de estacionaridade da série (sem tendência). Por outro lado, a hipótese alternativa H_1 , corresponde à não estacionaridade. A estatística Mann-Kendall é definida por meio das Equações 1, 2, 3 e 4.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \text{ Eq. 1}$$

$$\text{sgn} = (x_j - x_i) = \begin{cases} +1 \text{ se } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 \text{ se } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 \text{ se } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \text{ Eq.2}$$

$$\text{var}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)] \text{ Eq.3}$$

$$z = \begin{cases} \frac{(S-1)}{\sqrt{\text{var}(S)}} \text{ se } S > 0 \\ 0 \text{ se } S = 0 \\ \frac{(S+1)}{\sqrt{\text{var}(S)}} \text{ se } S < 0 \end{cases} \text{ Eq.4}$$

Onde: S = estatística Mann-Kendall (se positivo, indica tendência crescente, se negativo, indica tendência descendente), adimensional; sgn = simbologia da função sinal; x_k e x_i = vazões Q₇ da série temporal, em m³/s; n = o tamanho da série de dados, em anos; m = número de grupos empatados; t_i = número de vezes (frequência) que a classificação t é verificada; z = estatística de teste de Mann-Kendall (verifica se há estacionaridade na série temporal ou não), adimensional.

O teste de Mann-Kendall é usado para determinar se uma série temporal tem uma tendência monotônica para cima ou para baixo. Não requer que os dados sejam normalmente distribuídos ou lineares. Contudo, para sua aplicação é exigido que não haja autocorrelação entre os dados de vazão da série analisada. Para investigar se existe ou não a autocorrelação, neste trabalho foi usado o teste de Durbin-Watson (Equação 5) (HILBE, 2014). Segundo Hilbe (2014), o teste mais frequentemente usado para autocorrelação temporal de primeira ordem é o teste de Durbin-Watson. Ainda segundo o autor, ele não pode ser usado para testar a autocorrelação temporal de ordem superior.

$$D_s = \frac{\sum_{i=2}^n (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2} \text{ Eq.5}$$

Onde: D_s = estatística Durbin-Watson, adimensional; e_i = resíduo da iésima vazão Q₇, em m³/s; n = número de anos da série temporal.

A estatística D_s assume valores entre 0 e 4. Um valor de D_s igual ou próximo de 2 significa que não há autocorrelação. Um valor substancialmente abaixo de 2 (e especialmente um valor menor que 1) significa que os dados são positivamente autocorrelacionados, ou seja, em média, um elemento de dados está próximo do elemento de dados subsequente. Um valor de D_s substancialmente acima de 2 significa que os dados são negativamente

autocorrelacionados, ou seja, em média, um elemento de dados está longe do elemento de dados subsequente.

Portanto, utilizando a extensão Real Statistics do software Excel, inicialmente foram aplicados os testes de Durbin-Watson nas séries temporais de vazão Q_7 e, naquelas onde não se verificou a autocorrelação, foi aplicado o teste de Mann-Kendall por meio do qual buscou-se identificar a presença ou não de estacionaridade da série temporal. Nas estações onde a não estacionaridade foi verificada procedeu-se a elaboração do mapa de uso do solo nos anos de 1986, 1996, 2006, 2016 e 2019.

4.2.3. Delimitação das áreas de drenagem de cada estação fluviométrica]

Para delimitar as áreas de drenagem de cada estação estudada foram utilizados arquivos MDE do projeto SRTM fornecidos pela EMBRAPA. Para a cobertura de toda a área foi necessário utilizar 6 folhas, sendo elas SE-22-Z-B, SE-22-Z-D, SE-23-Y-A, SE-23-Y-C, SE-23-Y-D, SE-23-V-A. Foi utilizado o Software GIS ArcGis® 10.5 da ESRI para o tratamento dos arquivos SRTM e posterior delimitação das áreas.

Primeiramente foi feito o mosaico dessas folhas e definido o sistema de coordenadas para UTM, datum SIRGAS 2000 e Zona 23S, seguindo o tutorial “ArcGis® 10.3: Tratamento do MDE Topodata para Delimitação de Bacias” disponível no canal Processamento Digital – Canal de Conteúdo Geo, no Youtube (<https://www.youtube.com/watch?v=MrucHZQ9QeQ>).

Depois, através das ferramentas do Arc Hydro Tools e seguindo o passo-a-passo descrito em “Delimitação de bacias via SRTM” de Enner Alcântara do Departamento de Cartografia da Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente – UNESP, disponível online, aliado ao tutorial elaborado por Hugo Ribeiro, denominado “Delimitação de drenagem e bacias com ArcGis® 10.2” disponível no Youtube, foi possível a delimitação da área de influência de cada estação de monitoramento fluviométrico escolhida, chegando a valores de Área de Drenagem (AD) bem próximas daquelas especificadas pelo HidroWeb.

- Desemboque:
 - Área Oficial: 1070 km²
 - Área Definida: 1059 km² - 105.902 ha
- Fazenda Letreiro:
 - Área Oficial: 777 km²
 - Área Definida: 780,40 km² - 78.040,74 há

4.2.4. *Tratamento das imagens de satélites*

As imagens de satélite foram obtidas através do Catálogo de Imagens digital do INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Devido ao longo período de análise, foi necessário o uso de cenas de dois satélites distintos, porém da mesma família, sendo eles o LANDSAT 5 – para as imagens de 1986 até 2006, e o LANDSAT 8 – para as imagens de 2016 a 2019. As imagens foram escolhidas de 10 em 10 anos, sendo datadas do período considerado “seco”. Foram selecionadas visualmente com pouca cobertura de nuvens na área de interesse.

- Desemboque:
 - Órbita: 220
 - Ponto: 074
 - Datas: 15/07/1987; 04/05/1996; 17/06/2006; 14/07/2016 e 05/06/2019
- Fazenda Letreiro:
 - Órbita: 221
 - Ponto: 073
 - Datas: 19/07/1986; 25/05/1996; 24/06/2006; 21/07/2016 e 28/06/2019

4.2.5. *Imagem RGB*

As cenas escolhidas foram enviadas por bandas, cada banda representa um intervalo de comprimento de onda recebido pelo sensor, que varia de acordo com a reflectância da superfície, ou seja, cada banda representa um intervalo dentro do espectro eletromagnético. Assim, foram selecionadas apenas as bandas de interesse para compor a imagem colorida RGB que possibilitasse a melhor identificação da vegetação.

Feito isso, é preciso reprojeter os arquivos para que todos fiquem no mesmo sistema de coordenadas daquele utilizado para a delimitação das áreas de drenagem. Para isso, foi utilizada a ferramenta “Project raster” do programa ArcGis® 10.5 e definida a projeção para UTM, datum SIRGAS 2000 e Zona 23S.

Com a imagem projetada, foram feitas as composições coloridas através da ferramenta “Composite Bands” do mesmo programa. A composição RGB utilizada para as imagens do LANDSAT 8 foi a composição falsa-cor R6G5B4. Para as imagens do LANDSAT 5 foi a combinação R5G4B3.

Para os arquivos oriundos do LANDSAT 8 foi possível melhorar a resolução de 30 m para 15 m através da adição da banda pancromática (banda 8) fazendo o uso da ferramenta “Create Pansharpened Raster Dataset”, criando uma imagem mais nítida e próxima para análise.

4.2.6. Cálculo NDVI

Para o cálculo do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foi utilizada a ferramenta “raster calculator” do ArcGis® 10.5. Para isso foi necessário utilizar apenas os rasters referentes as bandas de infravermelho próximo e de vermelho de cada satélite. No caso do LANDSAT 5, essas bandas correspondem as bandas 4 e 3, respectivamente. Já para o satélite LANDSAT 8 são as bandas 5 e 4. O índice foi obtido por meio das Equações 6 e 7.

- LANDSAT 5:

$$\frac{NDVI = (BANDA 4 - BANDA 3)}{(BANDA 4 + BANDA 3)} \quad Eq. 6$$

- LANDSAT 8:

$$\frac{NDVI = (BANDA 5 - BANDA 4)}{(BANDA 5 + BANDA 4)} \quad Eq. 7$$

Em que:

NDVI = índice de vegetação por diferença normalizada, adimensional; Landsat 5 BANDA 3 = reflectância do comprimento de onda infravermelho próximo; Landsat 5 BANDA 4 = reflectância do comprimento de onda vermelho; Landsat 8 BANDA 5 = reflectância do comprimento de onda infravermelho próximo; Landsat 8 BANDA 4 = reflectância do comprimento de onda vermelho;

Assim foram geradas cinco diferentes imagens NDVI, uma para cada ano e para cada área de estudo. Nessas imagens os valores dos pixels variam entre -1 e 1, sendo dados em escala cinza. Posteriormente as imagens foram classificadas em sua maioria em cinco classes distintas e coloridas em um escala falsa-cor, em que os pixels com valores mais baixos ficam com coloração vermelha evoluindo para a cor verde conforme o valor se aproxima de 1.

Com isso, utilizando os arquivos NDVI gerados sobrepostos com as imagens RGB foi possível reclassificar o NDVI, ou seja, dividi-lo em intervalos de pixels que fossem mais apropriados a análise. Entretanto, para os arquivos do LANDSAT 8, foi necessário dividir em maior número de classes para que a cobertura vegetal densa de interesse ficasse melhor representada. Assim, restou-se o arquivo que representa apenas a área coberta por vegetação densa em cada área e ano correspondente.

Feito isso, quantificou-se a área, em hectares, através da coluna COUNT da tabela de atributos multiplicada pela resolução de cada pixel ao quadrado, no caso dos LANDSAT essa resolução é de 30 m, dividido por 10.000 para transformar o resultado para hectares (Equação 8). Assim, sabendo a área de drenagem total de cada estação calculou-se a porcentagem de vegetação densa restante em cada área de estudo (Equação 9).

$$\text{Área_veg_densa} = \frac{(\text{COUNT} * 30^2)}{10.000} \text{ Eq. 8}$$

$$\text{Veg_densa} = \frac{(\text{área_veg_densa} * 100)}{\text{Área_total}} \text{ Eq. 9}$$

Em que:

Área_veg_densa = área de vegetação, em hectare (ha); COUNT = N° de pixels indicado na tabela de atributos do ArcGIS®, adimensional.

Assim, foi possível verificar a evolução do uso e ocupação do solo na área de influência das estações fluviométricas estudadas, e comparar esse comportamento, com os resultados oriundos dos testes estatísticos que avaliaram a estacionaridade das vazões Q₇ nas estações fluviométricas em estudo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente trabalho tem como objetivo principal analisar a estacionaridade nas séries de vazão mínima de sete dias (Q_7) de duas estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, em Minas Gerais. Para dar segurança nos resultados obtidos, as séries temporais de vazão Q_7 foram submetidas aos testes de Durbin-Watson e Mann-Kendall, que avaliaram, respectivamente, a presença de autocorrelação entre as vazões e a estacionaridade da série temporal. Os resultados desses testes estão dispostos na Tabela 1.

Analisando a Tabela 1, nota-se, para a estação fluviométrica Desemboque, que a autocorrelação não foi verificada somente nos dados de Q_7 do mês de outubro. Para o teste de Mann-Kendall ser aplicado, é exigido que não haja autocorrelação entre os dados de vazão da série analisada. Portanto, esse teste poderá ser aplicado somente para os dados de outubro. Ao se analisar os resultados do teste de Mann-Kendall para as séries temporais de vazão Q_7 nos meses em estudo, nota-se resultado significativo somente para o mês de Agosto. Dessa forma, não é possível concluir que a estação fluviométrica Desemboque não possui estacionaridade na série de dados da vazão ora em análise.

Por outro lado, quando se analisa os resultados estatísticos para a estação Letreiro (Tabela 1), verifica-se aprovação no teste de autocorrelação somente para as vazões Q_7 calculadas para os meses de setembro e outubro. Contudo, para o teste de Mann-Kendall, o qual avalia a estacionaridade da série histórica, nota-se que os dados de julho, agosto e setembro foram aprovados. Ao juntar os dois resultados, percebe-se, para a estação fluviométrica Letreiro, que a aprovação total foi conseguida somente para a série temporal de Q_7 calculada para o mês de setembro. Outro importante ponto a destacar para esse mês, se refere à tendência decrescente da série temporal, ou seja, as vazões estão diminuindo ao longo do tempo.

Tabela 1. Resultados da análise de estacionaridade das estações fluviométricas Desemboque e Letreiro.

Estação Desemboque						
Mês	Teste Durbin-Watson		Teste Mann-Kendall			
	Ds ^b	Autocorrelação	S	z ^b	p-valor	Tendência
Maio	1,2934 ^b	Sim	-73	-0,6206 ^b	0,5348	NS
Junho	1,4118 ^b	Sim	-60	-0,5086 ^b	0,6110	NS
Julho	1,1550 ^b	Sim	-127	-1,0864 ^b	0,2773	NS
Agosto	1,0819 ^b	Sim	-194	-1,6639 ^b	0,0961	Decrescente
Setembro	1,3895 ^b	Sim	-180	-1,5429 ^b	0,1228	NS
Outubro	1,5966 ^b	Não	-165	-1,4137 ^b	0,1574	NS
Estação Letreiro						
Maio	1,3129 ^a	Sim	-156	-1,5163 ^a	0,1294	NS
Junho	1,4116 ^a	Sim	-158	-1,5358 ^a	0,1246	NS
Julho	1,3690 ^a	Sim	-216	-2,1032 ^a	0,0354	Decrescente
Agosto	1,4178 ^a	Sim	-234	-2,2793 ^a	0,0226	Decrescente
Setembro	1,5963 ^a	Não	-232	-2,2597 ^a	0,0238	Decrescente
Outubro	1,6760 ^a	Não	-120	-1,1641 ^a	0,2444	NS

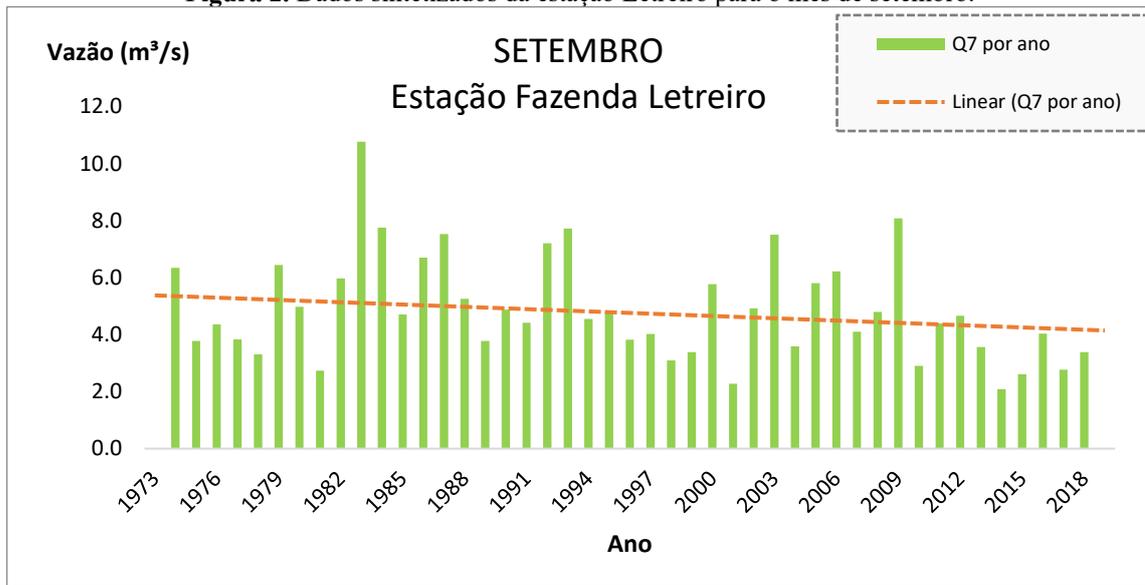
Fonte: autor, 2020

Legenda: a = alfa de 5%; b = alfa de 10%; Ds = estatística Durbin-Watson; S = estatística Mann-Kendall; z = estatística de teste de Mann-Kendall; NS = não significativa pelo teste de Mann-Kendall

Os dados de setembro da estação de monitoramento fluviométrico da Fazenda Letreiro foram sintetizados na Figura 2. Analisando essa figura, nota-se que as colunas verdes representam a mínima Q₇ obtida de cada ano e a linha tracejada laranja representa a tendência ao longo dos anos da Q₇.

Para análise dos dados correspondentes a estação de monitoramento fluviométrico da Fazenda Letreiro, foram necessários alguns ajustes, pois existem falhas nas leituras. Pontualmente foram desconsideradas as Q₇ calculadas para os primeiros 7 dias de Maio/2015, pois nesses dias a leitura de vazão foi igual a 0 m³/s, bem como os valores de Q₇ calculados utilizando os dias 06/09, 03/10 e 05/11 de 2015, 18/09 e 30/10 de 2016, por também apresentarem valor de vazão igual a 0 m³/s. Dito isso, pode-se perceber que a maioria dos maiores valores de Q₇ foram registrados para o ano de 1983, e os menores valores encontram-se em 2014.

Figura 2. Dados sintetizados da estação Letreiro para o mês de setembro.



Fonte: autor, 2020

Para o mês de setembro temos uma vazão de Q_7 máxima registrada no ano de 1983, sendo de $10,76 \text{ m}^3/\text{s}$ e um valor mínimo de $2,09 \text{ m}^3/\text{s}$ em 2014, apresentando uma diferença de $8,67 \text{ m}^3/\text{s}$. O valor médio de Q_7 para todo o período estudado é de $4,88 \text{ m}^3/\text{s}$, sendo que a menor média é de $2,33 \text{ m}^3/\text{s}$ registrada no ano de 2014.

Apesar de nem o valor mínimo de Q_7 calculada, nem a menor média mensal ter sido registrado em 2018, evidencia-se a tendência da linha de Q_7 em diminuir ao longo do tempo, como mostrado pelo teste de Mann-Kendall, bem como pelas Q_7 calculadas ano a ano, as quais iniciam-se em $6,34 \text{ m}^3/\text{s}$ em 1974 e atingem $3,39 \text{ m}^3/\text{s}$ em 2018, tendo uma variação de $2,95 \text{ m}^3/\text{s}$, representando apenas 53,5% do valor inicial. Já quando comparado ao Q_7 médio, $4,88 \text{ m}^3/\text{s}$, esse decréscimo representa 60,45% do valor, o que também é evidenciado pela linha de regressão, a qual possui um coeficiente angular igual a $-0,0268$.

Em estudos, Aires et al. (2017) e Aires (2018) também verificou por testes estatísticos a tendência para diminuição das vazões dos Rios Paraopeba e Manhuaçu. Tal decréscimo pode ser um reflexo da evolução do uso e ocupação do solo, assim como mostrado pelo estudo de Veniziani Junior (2018), que verificou a existência de correlação entre as variáveis precipitação, vazão e o NDVI. Para uma melhor compreensão, os dados aqui discutidos foram organizados na Tabela 2.

Tabela 2: Dados sintetizados dos valores de Q7 calculados para o mês de setembro, na estação Letreiro.

Mês	Máxima Q ₇ (m ³ /s)	Mínima Q ₇ (m ³ /s)	Q ₇ Média (m ³ /s)	Diferença entre máxima e mínima (m ³ /s)	Diferença entre 1974 e 2018 (m ³ /s)	Coefficiente angular da linha de tendência
SETEMBRO	10,76	2,09	4,88	8,67	-2,95	-0,0268

Fonte: autor, 2020

A área de influência da estação de monitoramento fluviométrico da Fazenda Letreiro está localizada nos pontos de coordenadas decimais -18,9883 S e -48,1903 O, estando dentro da cena capturada pelos satélites correspondente a órbita 221 e ponto 073, com período de revisita de 16 dias, para ambos os satélites, LANDSAT 5 e LANDSAT 8, os quais foram utilizados nesse estudo. Selecionaram-se imagens sempre dentro do período seco e com intervalo de 10 anos, exceto entre os anos de 2016 e 2019, em que esse intervalo é de apenas 3 anos.

O satélite LANDSAT 5 foi colocado em órbita em 1984, por isso, apesar de terem sido analisados dados de vazão desde o ano de 1973, a primeira cena utilizada para estudo do uso do solo data de 1986. Esse intervalo de 2 anos foi considerado para se obter imagens de boa qualidade e baixa cobertura de nuvens para todos os anos analisados mantendo-se o intervalo de 10 anos para os demais anos analisados.

A primeira cena estudada é datada de 19 de julho de 1986. Fez-se a composição RGB e o cálculo de NDVI, posteriormente foi calculada a área ocupada por vegetação densa e sua porcentagem correspondente ao total da área de drenagem da estação da Fazenda Letreiro. Assim obteve-se um valor de 28.463,13ha, área equivalente a 36,47% do total da área de contribuição da estação. O NDVI gerado apresentou 5 classes, fazendo um comparativo entre a composição colorida RGB gerada e as classes apresentadas pelo NDVI, a última classe, compreendida pelos valores de pixels 0,372549 – 1, obteve a melhor correspondência visual, logo foi o intervalo utilizado para o cálculo da cobertura de vegetação densa.

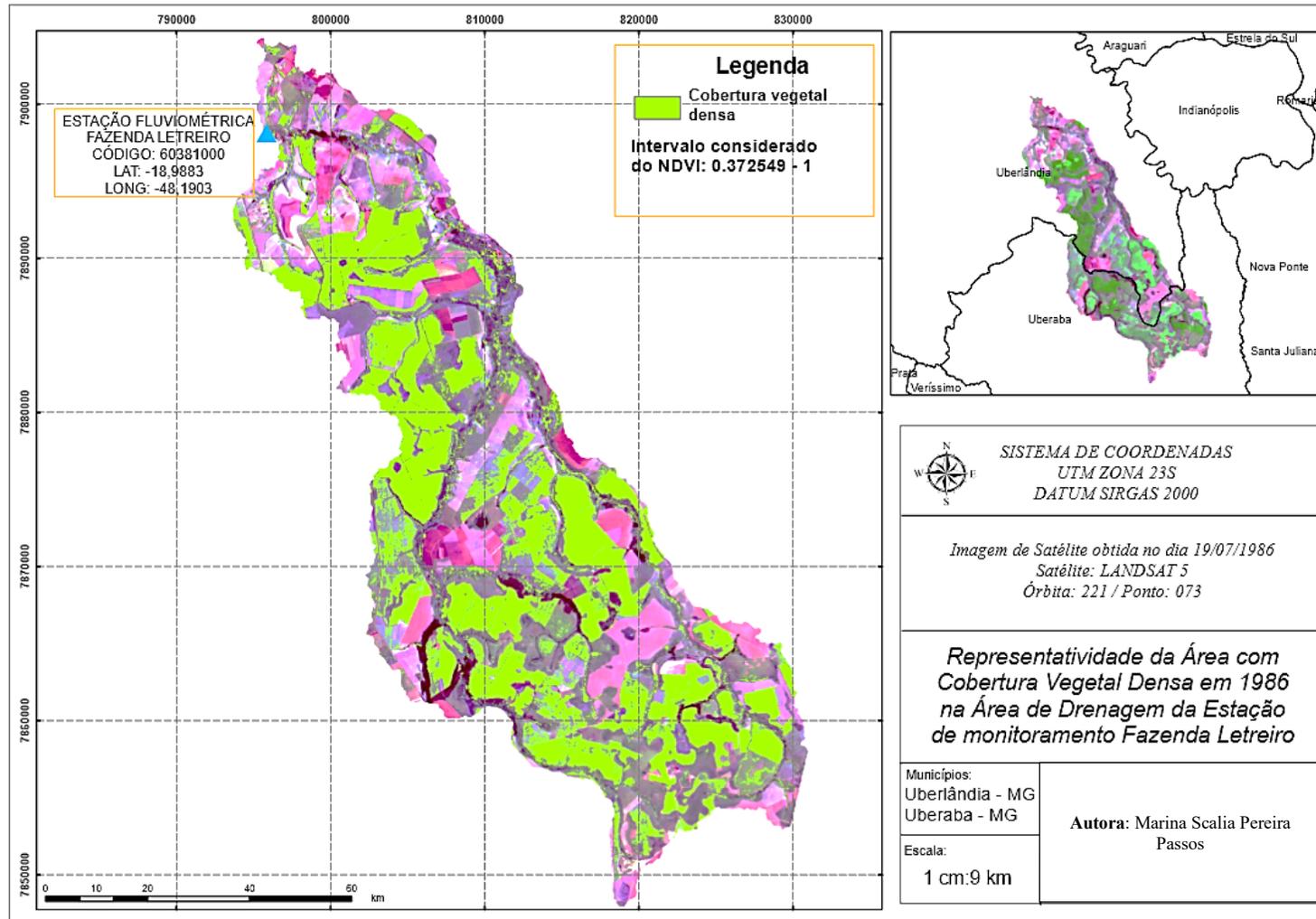
A partir das imagens de satélite utilizadas nas composições RGB e posteriormente utilizadas no comparativo com o NDVI, figuras 3, 4, 5, 6 e 7, é possível perceber que a área de contribuição da estação de monitoramento Fazenda Letreiro apresenta grandes áreas agricultáveis. Assim, o NDVI apresentou grandes áreas cobertas por vegetação densa, porém ao comparar com a imagem RGB é possível identificar a presença de pivôs central, utilizados na irrigação das culturas e florestas de eucalipto, sendo difícil fazer a distinção dessas áreas nos intervalos gerados. Tal fato evidencia o avanço da agricultura na região e a retirada de vegetação nativa, o que desfavorece o escoamento superficial e a infiltração de água no solo, refletindo na vazão do rio.

O mesmo processo ocorreu para as cenas datadas de 25 de maio de 1996 e 24 de junho de 2006, em que a classe 5, com intervalo de pixels entre 0.43529– - 1 e 0.42745– - 1, respectivamente, também foi a mais compatível com a imagem RGB. Obteve 31,73% de cobertura do solo, representando apenas 24.764,85ha de cobertura por vegetação densa para o ano de 1996 e 18.541,53ha para o ano de 2006, com representatividade de apenas 23,76%.

Já para os anos de 2016 e 2019 as cenas utilizadas foram do satélite LANDSAT 8, no qual foi possível obter uma melhor resolução para a imagem RGB, de 15m, e assim uma melhor correspondência entre o NDVI e a real cobertura do solo, pois, como discutido, a área de contribuição da estação de monitoramento fluviométrico da Fazenda Letreiro possui grandes áreas ocupadas por eucalipto e plantações irrigadas por pivôs central, que podem ser confundidas com a cobertura de vegetal densa. Por isso o NDVI foi reclassificado em mais classes, até obter-se uma melhor separação entre os tipos de cobertura do solo. Para o ano de 2016, após reclassificar em 7 classes foi considerado o intervalo de pixels 0.27058 - 0.356863, tendo uma representatividade de 11,68% da área, sendo equivalente a apenas 9117,9ha. Para o ano de 2019, utilizou-se o intervalo de 0.27843 - 0.32549, cobrindo apenas 11,84% do solo, equivalente 9239,31ha.

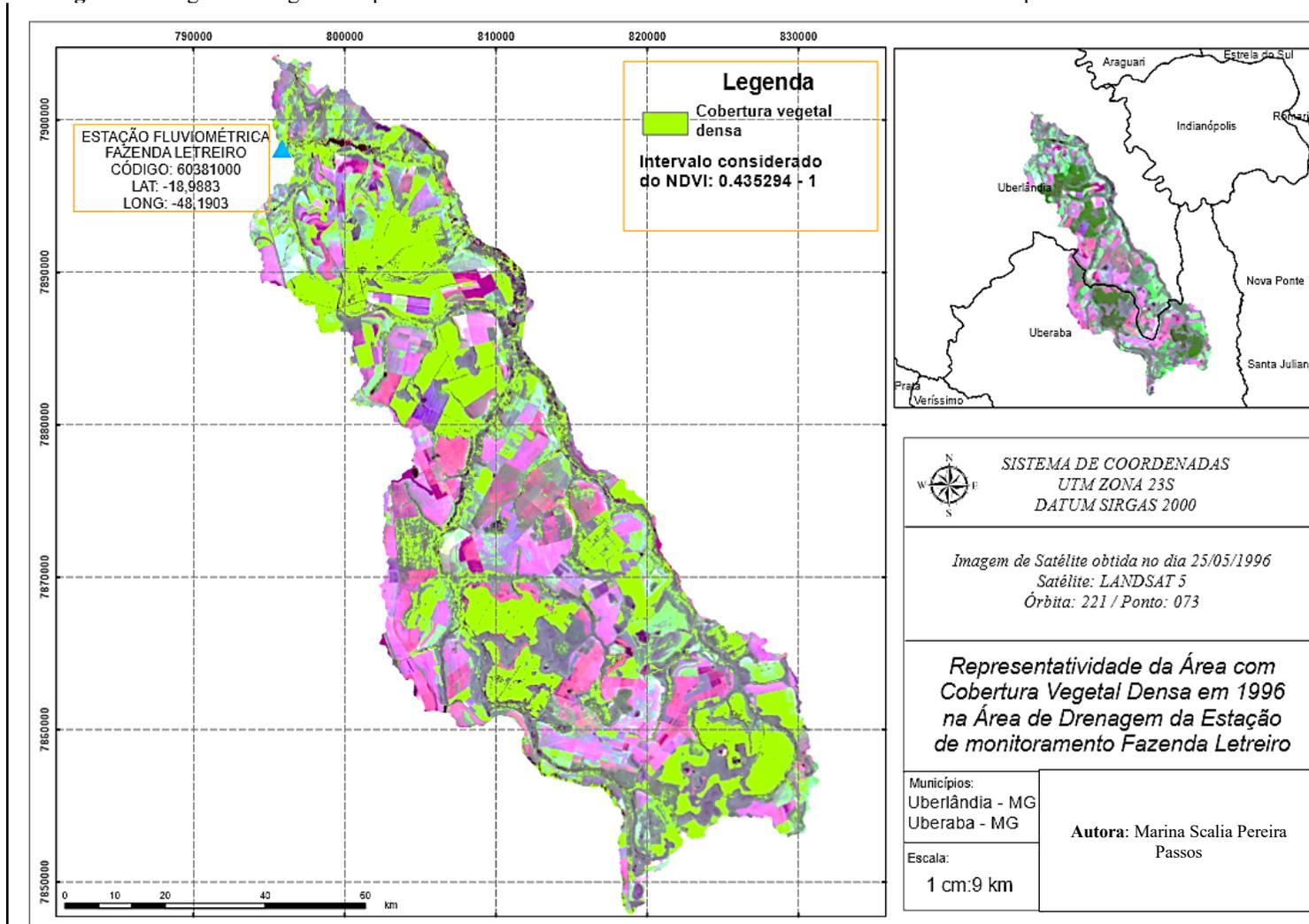
Muito embora Aires et al. (2017) e Aires (2018) em seus estudos tenha constatado o aumento da cobertura do solo por vegetação densa em duas bacias distintas, aqui, a partir dos valores apresentados, verificou-se uma perda de vegetação densa equivalente a aproximadamente 67,5% do total que havia em 1986, correlacionando-se com a tendência à diminuição da vazão ao longo do tempo, verificada anteriormente. Os mapas gerados a partir do NDVI e das imagens RGB são apresentados a seguir, por década.

Figura 3. Imagem RGB gerada a partir de cenas do Satélite LANDSAT 5 datadas de 19/07/1986 sobreposta ao NDVI reclassificado.



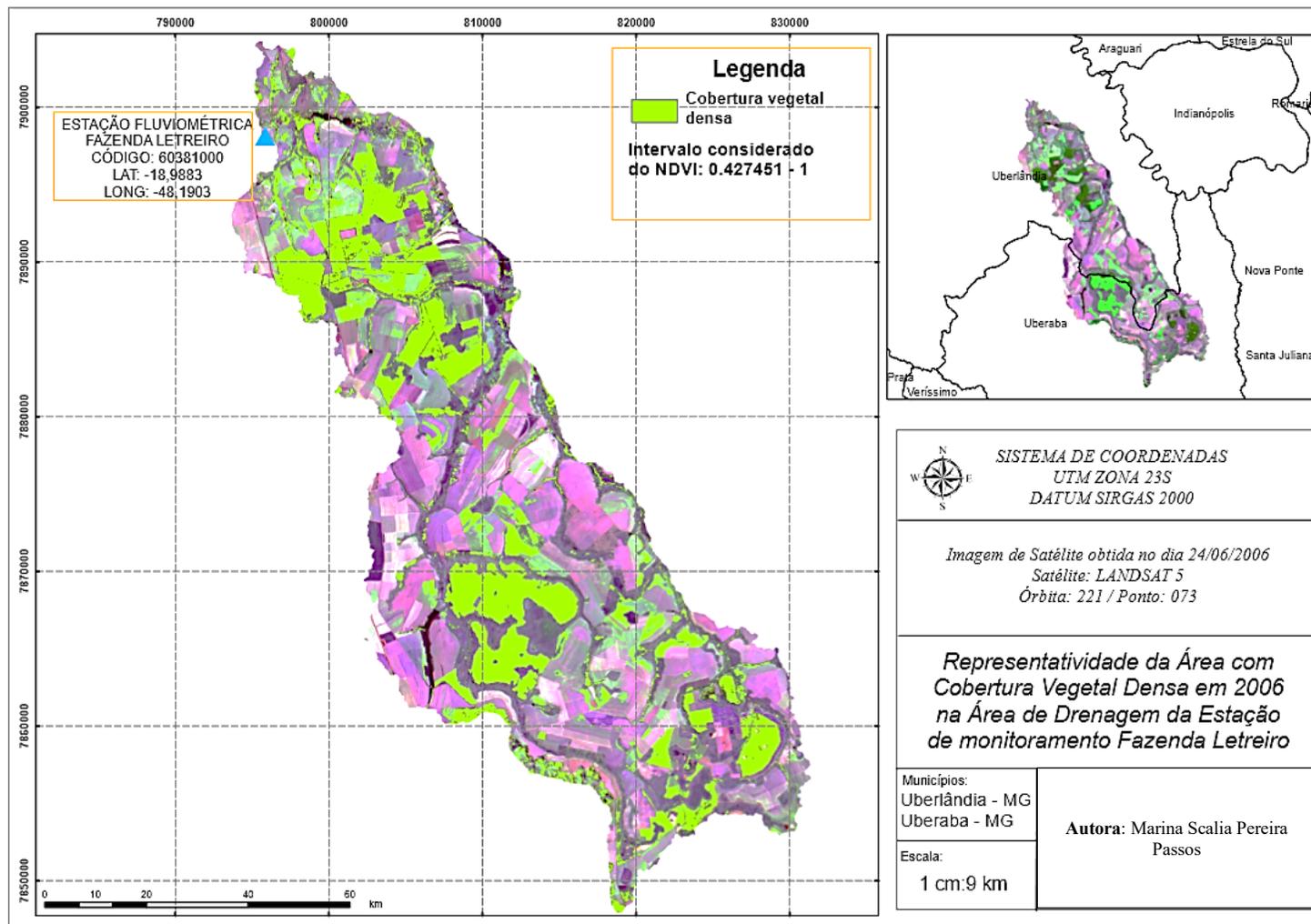
Fonte: autor, 2020

Figura 4. Imagem RGB gerada a partir de cenas do Satélite LANDSAT 5 datadas de 25/05/1996 sobreposta ao NDVI reclassificado.



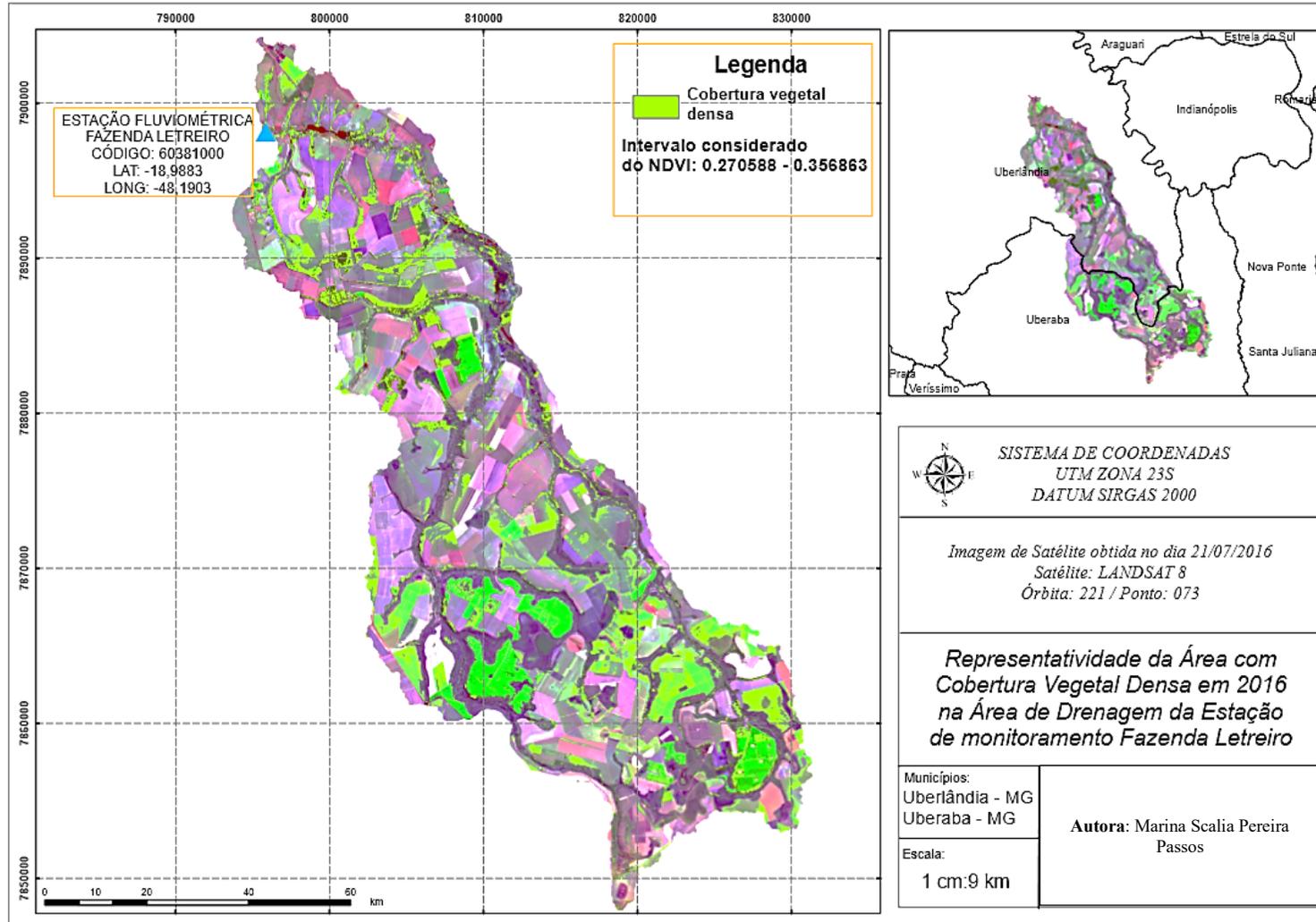
Fonte: autor, 2020

Figura 5. Imagem RGB gerada a partir de cenas do Satélite LANDSAT 5 datadas de 24/06/2006 sobreposta ao NDVI reclassificado.



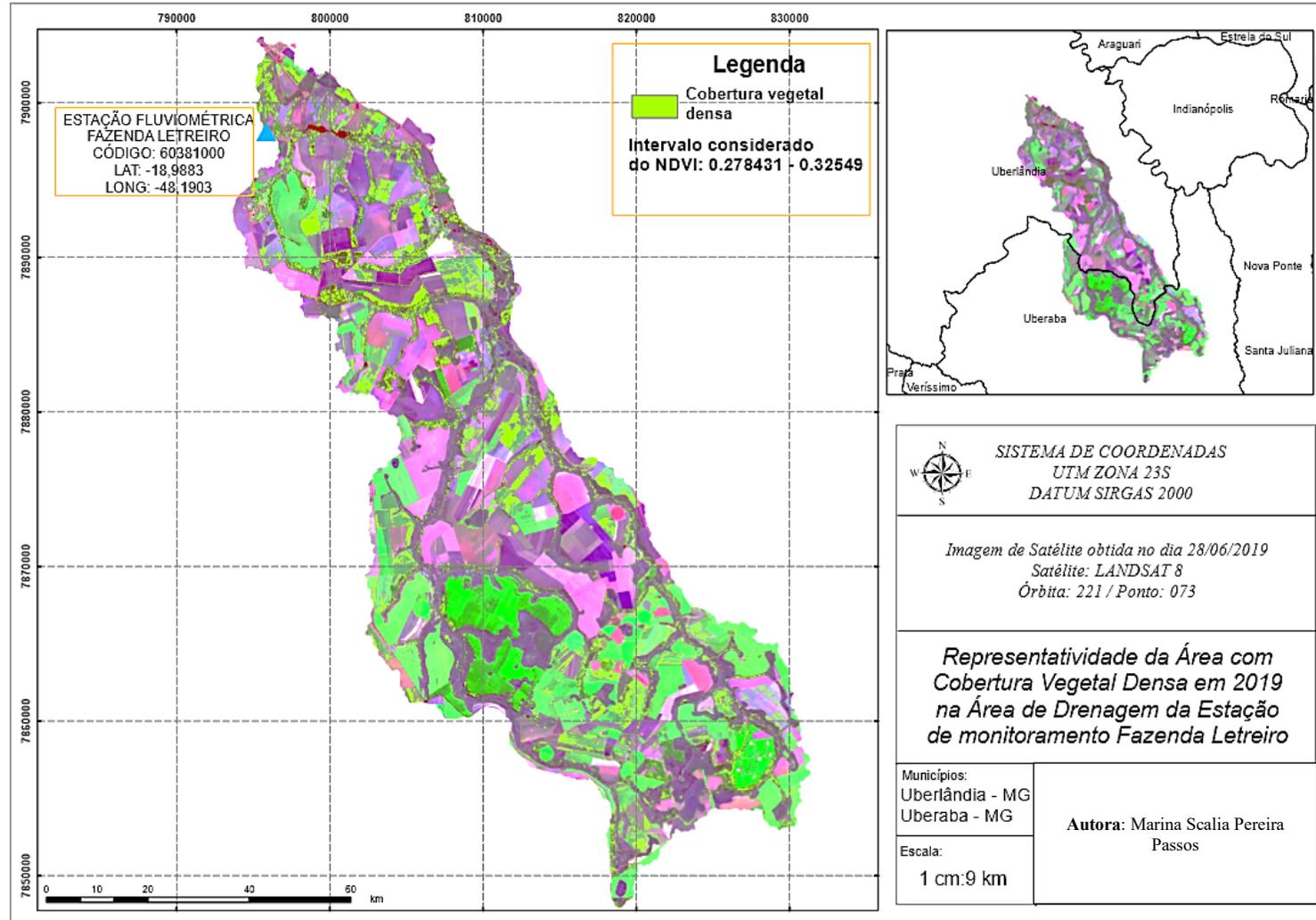
Fonte: autor, 2020

Figura 6. Imagem RGB gerada a partir de cenas do Satélite LANDSAT 8 datadas de 21/07/2016 sobreposta ao NDVI reclassificado.



Fonte: autor, 2020

Figura 7. Imagem RGB gerada a partir de cenas do Satélite LANDSAT 8 datadas de 28/06/2019 sobreposta ao NDVI reclassificado.



Fonte: autor, 2020

6. CONCLUSÕES

Constatou-se tendência de diminuição das vazões Q_7 somente para o mês de setembro e somente para a estação fluviométrica Letreiro. Para a estação Desemboque os resultados estatísticos não permitiram comprovar tal tendência.

Na estação fluviométrica Fazenda Letreiro para as vazões Q_7 foi registrada uma diminuição de 53,5% entre os anos de 1974 e 2018, as quais são, respectivamente, $6,34\text{m}^3/\text{s}$ e $3,39\text{m}^3/\text{s}$, também evidenciada pelo coeficiente angular da linha de tendência, o qual é igual a $-0,0268$. Já a perda de vegetação densa entre 1986 e 2019 foi de, aproximadamente, 67,5%, mostrando que pode haver uma correlação entre perda de vegetação e a diminuição da vazão, uma vez que a vazão do curso d'água está diretamente ligada a infiltração de água no solo e ao escoamento superficial, que por sua vez são afetados pela cobertura vegetal do solo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional das Águas (ANA). **Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos**. v. 01. Brasília, 2011. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/CadernosDeCapacitacao1.pdf>. Acesso em: 02 de jun. de 2019.

AIRES, Uilson Ricardo Venâncio; NETO, José de Oliveira Melo; CAMPOS, Jasmine Alves. **Uso de NDVI para análise do comportamento do regime de vazões do rio paraopeba, MG**. Scientia agraria, v. 18, n. 3, p. 8-19, 2017.

ALCÂNTARA, Enner. **Delimitação de bacias via SRTM**. 2014. Departamento de Cartografia, UNESP. Disponível em: http://www2.fct.unesp.br/docentes/cartoenner/Delimita_Bacia/Delimita_bacia_SRTM.pdf. Acesso em: 20 de jun. de 2020.

AL-FARAJ, Furat AM; SCHOLZ, Miklas. **Assessment of temporal hydrologic anomalies coupled with drought impact for a transboundary river flow regime: the Diyala watershed case study**. Journal of Hydrology, v. 517, p. 64-73, 2014.

ALI, Rawshan et al. **Long term historic changes in the flow of lesser zab river, Iraq**. Hydrology, v. 6, n. 1, p. 22, 2019.

ALMEIDA, RDCD. **A questão hídrica na gestão urbana participativa: o caso do orçamento participativo do município de São Carlos, SP**. 2005. 178 p. 2005. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

ALMEIDA, Rita de Cassia de. **Memórias do rio do Monjolinho: o processo de urbanização e os impactos sobre os recursos hídricos**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

AUGUSTO, Lia Giraldo da Silva et al. **O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano**. Ciência & saúde coletiva, v. 17, p. 1511-1522, 2012.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRYN, L. M. **Página dinâmica para aprendizado do sensoriamento remoto**. 2008. 172 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2008. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/13788>. Acesso em: 23 jun. 2020.

CARMO, Roberto L. do. **A água é o limite? Redistribuição espacial da população e recursos hídricos no Estado de São Paulo**. 2001. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Demografia) - Instituto de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Estadual de Campinas.

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. **Communication From the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee, and the Committee of the Regions: A Mid-Term Assessment of Implementing the EC Biodiversity Action Plan**. *Journal of International Wildlife Law & Policy*, v. 12, n. 1-2, p. 108-120, 2009.

DA SILVA BARBOSA, Antônio Helton; DE CARVALHO, Rodrigo Guimarães; CAMACHO, Ramiro Gustavo Valera. **Aplicação do NDVI para a análise da distribuição espacial da cobertura vegetal na Região Serrana de Martins e Portalegre – Estado do Rio Grande do Norte**. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 33, p. 128-143, 2017.

FERRETE, Jaqueline Aida et al. Ecótopos encontrados em perfis topográficos traçados nas áreas de implantação das barragens das UHES de Capim Branco I e II, na bacia do Rio Araguari, no município de Uberlândia (MG). *Caminhos de Geografia*, v. 6, n. 16, 2005.

Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável. **Mudanças Climáticas e Eventos Extremos no Brasil**. 2009. Disponível em: http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf. Acesso em: 02 de jun. de 2019.

HILBE, J. M. **Modeling Count Data**. Cambridge University Press, Cambridge. 2014.

JUNIOR, Paulo Ponce Arroio; MAUAD, Frederico Fabio. **Simulação dos impactos das mudanças climáticas na vazão da Bacia do Ribeirão do Feijão-SP**. *RBRH-Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 20, p. 741-751, 2015.

KALAF, R.; BRASILEIRO, R.; CARDOSO, P.V.; CRUZ, C.B.M. **Landsat 8: Avanços para mapeamento em mesoescala**. In. 4º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO. 2013. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: http://www.cartografia.org.br/cbg/trabalhos/90/51/resumo-geotec-roberta-raissa-1_1374611841.pdf. Acesso em 23 de jun. 2020.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. 1ª Ed. Charles Griffin, London. 1975.

LIMA, Gabriela Camargos et al. **Avaliação da cobertura vegetal pelo índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN)**. *Revista Ambiente & Água*, v. 8, n. 2, p. 204-214, 2013.

MANN, Henry B. **Nonparametric tests against trend**. *Econometrica: Journal of the econometric society*, p. 245-259, 1945.

MARTINS, Lorraine Campos. Vazão máxima em pequena bacia hidrográfica parcialmente urbanizada em Uberlândia – MG. 2017. 81 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

MATIAS, Fernando J. N. **Regionalização de vazões na bacia hidrográfica do Baixo Rio Grande-UPGRH-GD8- Uberlândia.** 2018. 103 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

MELO, Ewerton Torres; SALES, Marta Celina Linhares; DE OLIVEIRA, José Gerardo Bezerra. **Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE.** Raega-O Espaço Geográfico em Análise, v. 23, 2011.

MORAES, Márcia Regina Batistela. **Modelagem da vazão na bacia hidrográfica do rio Araguari, em Minas Gerais.** 2016. 116 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

NETO, M. L. F.; FERREIRA, A. P. **Perspectivas da Sustentabilidade Ambiental Diante da Contaminação Química da Água: Desafios Normativos.** Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente, v. 2, n. 4, 2007.

OLIVEIRA, Fernando Roberto. **Gestão integrada de Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos.** Oficina de Capacitação do Progestão, ANA. Disponível em: <http://progestao.ana.gov.br/portal/progestao/destaque-superior/eventos/oficinas-de-intercambio-1/aguas-subterraneas-1/apresentacoes-ana/ana-3-hidrogeologia-gestao-integrada-fernando-roberto.pdf>. Acesso em: 10 de jun. de 2020.

ONU: mais de 70% da população mundial viverá em cidades até 2050. **Dourados Agora**, Dourados-MS, 14 de abril de 2013. Disponível em: <https://www.douradosagora.com.br/brasil-mundo/mais-de-70-da-populacao-mundial-vivera-em-cidades-ate-2050>. Acesso em: 26 de set. de 2020.

PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir; KUPLICH, Tatiana Mora. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação.** São José dos Campos: Parêntese, 2007.

PORTO, Luiz Carlos Santos. Avaliação de metais pesados e micronúcleos em peixes da bacia hidrográfica Butuí-Icamaquã e análise da água. 2009. Dissertação de Mestrado.

PORTO, M. Gestão de bacias hidrográficas. estudos avançados. São Paulo, 2008. PORTO, Monica F. A.;

PORTO, Monica FA; PORTO, Rubem La Laina. **Gestão de bacias hidrográficas. Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

PRIZIBISCZKI, Cristiane. O crescimento urbano é o problema do século. 2013. Disponível em: <https://www.oeco.org.br/colunas/colunistas-convidados/27229-o-crescimento-urbano-e-o-problema-do-seculo/>. Acesso em: 25 de abril de 2019.

Processamento Digital – Canal de Conteúdo Geo. ArcGis® 10.3: **Tratamento do MDE Topodata para Delimitação de Bacias**. 2015 (19m16s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=MrucHZQ9QeQ>.

REZENDE, Jozrael Henriques; PIRES, José Salatiel Rodrigues; MENDIONDO, Eduardo Mario. **Hydrologic pulses and remaining natural vegetation in Jaú and Jacaré-Pepira watersheds**. Brazilian Archives of Biology and Technology, v. 53, n. 5, p. 1127-1136, 2010.

RIBEIRO, HUGO. **Delimitação de drenagem e bacias com ArcGis® 10**. 2016. (20m58s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=HL281AfFJpM>.

ROSEMBACK, Roberta; FRANÇA, Andreia Maria Silva; FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Análise comparativa dos dados NDVI obtidos de imagens CCD/CBERS-2 e TM/LANDSAT-5 em área urbana**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 12, p. 1075-1082, 2005.

ROSENDO, J. dos S. **Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do rio Araguari-MG-utilizando dados do sensor Modis**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2005.

SALLA, Marcio; NOGUEIRA, Amanda; PEREIRA, Carlos. **Influence of the diffusion coefficient on the water quality in reduced instream flow**. Revista Monografias Ambientais, v. 16, n. 2, p. 68 – 79, 2017.

SEMAD-IGAM, Resolução Conjunta nº 1548, de 29 de março de 2012; “Dispõe sobre a vazão de referência para o cálculo da disponibilidade hídrica superficial nas bacias hidrográficas do Estado”; publicada no Diário do Executivo – “Minas Gerais” em 31/03/2012; Belo Horizonte, MG.

SILVA, Fernanda Ribeiro. **Uso e ocupação do solo associado à qualidade da água no Rio Uberabinha**. 2016. 72 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

SOARES, Bernardo Elias Correa. **Desenvolvimento Sustentável e biodiversidade**. Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento-Edição nº, v. 33, p. 73, 2004.

SOARES, Randielly Barbosa et al. **Aplicação de técnica de fusão em imagens Landsat 8/OLI**. XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 17, 2015, João Pessoa. Anais. São José dos Campos: INPE, 2015. p. 4836 - 4843.

TUCCI, C. E. M. **Impactos da Variabilidade Climática e do Uso do Solo nos Recursos Hídricos**, 150 p. Câmara Temática de Recursos Hídricos, Agência Nacional de Águas (ANA), Brasil, 2002.

VARGAS, Betânia Cunha et al. **Florística de trepadeiras em floresta semidecidual e em mata ciliar no vale do rio Araguari, MG**. Bioscience Journal, v. 29, n. 1, 2013.

VENIZIANI JUNIOR, José Carlos Toledo. **As relações entre precipitação, vazão e cobertura vegetal nas sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú**. 2018.