



**ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE COBERTURA FLORESTAL E VAZÃO NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO LICUNGO, PROVÍNCIA DA ZAMBÉZIA**

**ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN FOREST COVER AND FLOW IN THE
LICUNGO RIVER BASIN, ZAMBÉZIA PROVINCE**

**ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE LA CUBIERTA FORESTAL Y EL CAUDAL EN LA
CUENCA DEL RÍO LICUNGO, PROVINCIA DE ZAMBÉZIA**

Delfim Jaime Dinis Davissone¹, Correia Hermenegildo Correia², Nédia Pereira Correia Mendes Correia³

e778598

<https://doi.org/10.47820/recima21.v7i7.8598>

PUBLICADO: 07/2026

RESUMO

A cobertura florestal desempenha papel fundamental no equilíbrio ecológico das bacias hidrográficas. Este estudo analisou a influência da dinâmica da cobertura florestal sobre as tendências espaciais e temporais das vazões na Bacia Hidrográfica do Rio Licungo (Zambézia, Moçambique), entre 2001 e 2021. Foram utilizados dados da plataforma GloVis, para classificação do uso e cobertura da terra, por meio do plugin Dzetsaka no QGIS 3.22, e para obtenção do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). As vazões foram espacializadas pelo método IDW e analisadas em conjunto com os índices de vegetação. A relação entre cobertura florestal e vazão foi avaliada por meio da correlação de Spearman (5% de significância). Os resultados indicaram redução de 55,26% da cobertura florestal, correspondendo à perda de mais de 680 mil hectares, enquanto a vazão máxima apresentou tendência de aumento, atingindo 9,23 m³/s. Contudo, não foi observada correlação significativa entre cobertura florestal e vazões no período analisado. A metodologia demonstrou potencial para subsidiar a gestão integrada de bacias hidrográficas ao integrar informações de uso da terra, vegetação e hidrologia.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento remoto. Cobertura. Fragmentação. NDVI.

ABSTRACT

Forest covers play a fundamental role in the ecological balance of river basins. This study analyzed the influence of forest cover dynamics on the spatial and temporal trends of streamflow in the Licungo River Basin (Zambezia, Mozambique) between 2001 and 2021. Data from the GloVis platform were used to classify land use and land cover, utilizing the Dzetsaka plugin in QGIS 3.22 and to derive the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Streamflow data were spatially interpolated using the IDW method and analyzed alongside vegetation indices. The relationship between forest cover and streamflow was assessed using Spearman's correlation (at a 5% significance level). The results indicated a 55.26% reduction in forest cover, corresponding to a loss of over 680,000 hectares, while maximum streamflow showed an increasing trend, reaching 9.23 m³/s. However, no significant correlation was observed between forest cover and streamflow

¹Engenheiro florestal pela Universidade Zambeze (UniZambeze), Mocuba, Moçambique.

²Psicólogo, Docente e Investigador da Universidade Licungo (UL), Quelimane, Moçambique; Doutor em Psicologia Clínica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RIO), Brasil.

³Doutoranda em Ciências Florestais na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Espírito Santo, Brasil; Mestre em Gestão Ambiental pela Universidade Licungo (UL), Quelimane, Moçambique.

during the analyzed period. The methodology demonstrated potential to support integrated river basin management by combining land use, vegetation, and hydrological data.

KEYWORDS: Remote sensing. Cover. Fragmentation. NDVI.

RESUMEN

La cobertura forestal desempeña un papel fundamental en el equilibrio ecológico de las cuencas hidrográficas. Este estudio analizó la influencia de la dinámica de la cobertura forestal en las tendencias espaciales y temporales del caudal en la cuenca del río Licungo (Zambezia, Mozambique) entre 2001 y 2021. Se utilizaron datos de la plataforma GloVis para clasificar el uso y la cobertura del suelo —empleando el complemento DZetsaka en QGIS 3.22— y para obtener el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Los datos de caudal se interpolaron espacialmente mediante el método IDW y se analizaron junto con los índices de vegetación. La relación entre la cobertura forestal y el caudal se evaluó utilizando la correlación de Spearman (con un nivel de significancia del 5 %). Los resultados indicaron una reducción del 55,26 % en la cobertura forestal, lo que equivale a una pérdida de más de 680.000 hectáreas, mientras que el caudal máximo mostró una tendencia al alza, alcanzando los 9,23 m³/s. Sin embargo, no se observó una correlación significativa entre la cobertura forestal y el caudal durante el periodo analizado. La metodología demostró tener potencial para apoyar la gestión integrada de cuencas hidrográficas al combinar datos de uso del suelo, vegetación e hidrología.

PALABRAS CLAVE: Teledetección. Cobertura. Fragmentación. NDVI.

INTRODUÇÃO

Moçambique tem uma ampla diversidade hidrológica, com cerca de 13.000 km² do território ocupados por águas interiores, incluindo rios, lagos, lagoas e represas (Muchangos, 1999; Macamo, 2021; Paungartten; Costa, 2021). O ecossistema florestal predominante é o Miombo, que cobre aproximadamente dois terços da área florestal nacional, estimada em 34 milhões de hectares, equivalentes a 43% do território do país (Aquino *et al.*, 2018). Nesse contexto, o conhecimento do regime fluviométrico torna-se fundamental para a gestão sustentável dos recursos hídricos e para a compreensão dos impactos das mudanças climáticas e antrópicas nas bacias hidrográficas (Salis, 2018).

A manutenção da quantidade e qualidade da água constitui um dos principais desafios globais. Segundo Milly *et al.* (2008), o conceito de estacionaridade hidrológica tornou-se inadequado para a gestão hídrica, devido às alterações contínuas dos padrões hidrológicos provocadas pelas mudanças climáticas. Ademais, Vorosmarty *et al.* (2000) destacam que o crescimento populacional e o desenvolvimento económico intensificam a vulnerabilidade hídrica em diversas regiões. Embora as florestas sejam, tradicionalmente, associadas à estabilidade das vazões e à regulação hídrica, essa relação permanece controversa (Bacellar, 2005). Mendes (2019), por exemplo, não verificou relação, estatisticamente, significativa entre cobertura florestal

e regime de vazões na Bacia do Rio Itapemirim, sugerindo maior influência da precipitação sobre o comportamento hidrológico local.

As alterações no uso e ocupação do solo, especialmente a supressão da cobertura vegetal, comprometem a proteção do solo e o equilíbrio hidrológico das bacias (Gardiman *et al.*, 2012). Segundo Tucci (2002) e as diretrizes recentes da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2024), essas mudanças favorecem o aumento do escoamento superficial, a intensificação das cheias e a redução da infiltração e das vazões mínimas em períodos secos. De acordo com o Inventário Florestal Nacional (IFN de 2018), as florestas em Moçambique desempenham papel importante na proteção das bacias hidrográficas e no controle da erosão (MITADER, 2018a). De forma adicional, a cobertura vegetal atua na proteção física do solo e na redução do escoamento superficial (Zanon, 2013).

Na Bacia Hidrográfica do Rio Licungo (BHRL), a degradação ambiental está associada à fragmentação florestal impulsionada pela agricultura itinerante, uso do fogo e ocupação desordenada das margens dos rios (Langa, 2002; Gardiman *et al.*, 2012; MITADER, 2018a; Braimo *et al.*, 2025). A substituição da vegetação natural por áreas agrícolas acelera processos erosivos, reduz a infiltração e compromete a recarga hídrica (Tucci, 2002; Zanon, 2013; Braimo *et al.*, 2025). Entretanto, a relação entre cobertura florestal e vazão depende de diversos fatores físicos e espaciais da bacia (Garcia, 2018), exigindo análises específicas para cada contexto (Balbinot *et al.*, 2008).

Nesse sentido, o sensoriamento remoto destaca-se como importante ferramenta para monitoramento ambiental e análise da dinâmica da paisagem em diferentes escalas espaciais e temporais (Paranhos Filho *et al.*, 2021). A periodicidade das imagens orbitais permite inferências precisas sobre as mudanças na superfície terrestre (Fernandes *et al.*, 2013). Desta feita, o presente estudo teve como objetivo analisar a dinâmica da cobertura florestal e sua relação com as tendências temporais e espaciais das vazões na Bacia Hidrográfica do Rio Licungo (BHRL), província da Zambézia, considerando os anos de 2001, 2010 e 2021.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

A água é um recurso fundamental para a manutenção da vida e para o funcionamento dos ciclos ecológicos e da atividade humana (Paungartten; Costa, 2021; Braimo *et al.*, 2025). Contudo, embora cubra grande parte do planeta, apenas cerca de 2,5% da água terrestre é doce, sendo a maior parcela armazenada em geleiras e aquíferos subterrâneos. Menos de 0,3%, equivalente a aproximadamente 90.000 km³, encontra-se disponível em rios e lagos para uso

direto (Shiklomanov, 1993; Trancoso; Carneiro; Tomasella, 2007; Ferraz, 2018). Essa pequena fração disponível reforça o caráter vulnerável e limitado dos recursos hídricos (Paranhos Filho *et al.*, 2021), cuja oferta está ameaçada pelas atuais pressões demográficas e climáticas (Sengo, 2021; ANA, 2024; Vilanculos *et al.*, 2026).

1.1. Bacia hidrográfica e regime das vazões

A expressão “bacia hidrográfica” refere-se à área natural de captação das águas da precipitação, cujos escoamentos convergem para um único ponto de saída, denominado exutório (Silveira, 2001; Bielenki Júnior; Barbassa, 2012). Devido à sua importância na dinâmica hídrica, as bacias hidrográficas têm sido amplamente adotadas como unidades espaciais de referência para a gestão das águas superficiais e subterrâneas (Carvalho, 2014).

Moçambique apresenta uma configuração hidrológica em que a maioria dos seus principais rios nasce em países vizinhos, posicionando o país numa condição de jusante que gera dependência dos fluxos de montante, com exceção da região norte, onde se localizam as bacias, totalmente, inseridas em território nacional (Muchangos, 1999; Moçambique, 2018; Albino, 2012; Paungartten; Costa, 2021). O regime destes cursos de água é, predominantemente, pluvial e periódico, com oscilações de caudal estritamente condicionadas por fatores climáticos, registrando caudais máximos na época das chuvas e volumes mínimos na estação seca (Muchangos, 1999; Albino, 2012; Sengo, 2021).

A rede hidrográfica moçambicana é, fortemente, influenciada pelo relevo e pela geologia: nas terras altas predominam rios erosivos e encachoeirados, enquanto nas planícies o baixo declive favorece a formação de meandros, lagoas e pântanos (Muchangos, 1999; Albino, 2012). Na atualidade, esta dinâmica natural enfrenta desafios crescentes de segurança hídrica devido à elevada vulnerabilidade do país a eventos extremos e à disparidade regional na disponibilidade de água (Paungartten; Costa, 2021; Sengo, 2021). Esse cenário é agravado pelas mudanças climáticas, que vêm alterando o ciclo hidrológico e aumentando a incerteza quanto à disponibilidade futura de recursos hídricos (ANA, 2024).

A vazão (Q) corresponde ao volume de água que atravessa uma secção de um curso de água por unidade de tempo, sendo, geralmente, expressa em metros cúbicos por segundo ($m^3 s^{-1}$) ou litros por segundo ($L s^{-1}$), e amplamente utilizada na gestão de recursos hídricos e de cheias (Tucci, 2005). Segundo Mello *et al.* (2008), a precipitação é o principal fator da variabilidade das vazões em bacias hidrográficas. Alterações nos padrões pluviométricos afetam diretamente a disponibilidade hídrica e o escoamento (Kiefer *et al.*, 2021), enquanto a sazonalidade das vazões reflete o aumento do escoamento superficial no período chuvoso e a

contribuição do fluxo de base no período seco (Albino, 2012; Costa; Alves; Sousa, 2015; Salis, 2018).

1.2. Comportamento da cobertura florestal

De acordo com Balbinot *et al.* (2008), as florestas apresentam maiores taxas de transpiração em comparação com outras formas de vegetação, resultando em bacias hidrográficas com vazões mais estáveis, porém com menor produção de água, contrariando a compreensão tradicional segundo a qual a cobertura florestal aumenta, diretamente, o fluxo hídrico nos rios. De modo semelhante, Bosch e Hewlett (1982) verificaram que o aumento da cobertura florestal reduz a disponibilidade hídrica, sendo os efeitos mais evidentes em florestas de coníferas, seguidas por florestas decíduas, vegetação arbustiva e gramíneas. Esses resultados reforçam a importância de políticas de manejo que conciliem produção, conservação do solo e equilíbrio do regime hídrico.

No entanto, Makarieva *et al.* (2009) destacam o papel das florestas na circulação atmosférica da água e na intensificação das precipitações, enquanto mudanças na cobertura florestal tendem a aumentar o escoamento superficial em áreas desmatadas (Ranzini *et al.*, 2004).

1.3. Sensoriamento remoto

As análises da vegetação e a detecção de mudanças por sensoriamento remoto são utilizadas no monitoramento da cobertura vegetal e dos recursos naturais, constituindo ferramentas importantes para a avaliação da saúde das plantas, exposição do solo e gestão ambiental do território (Rosendo, 2005; Marcussi *et al.*, 2010; Manso, 2024). O uso das tecnologias de detecção remota tem crescido nas últimas décadas devido à sua capacidade de monitorizar áreas extensas e de difícil acesso (Giri, 2012). Entre os sistemas sensores disponíveis, destaca-se a série de satélites LANDSAT, amplamente utilizada pela comunidade científica devido à disponibilidade gratuita das imagens e à qualidade das resoluções espectral, espacial e temporal (Soares, 2017).

As técnicas de sensoriamento remoto são, frequentemente, utilizadas na classificação do Uso e Cobertura da Terra (LULC), devido à capacidade das imagens de satélite em fornecer representação espacial contínua da superfície terrestre em diferentes escalas espaciais e temporais (Foody, 2002). O *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), proposto por Rouse *et al.* (1973), consiste na normalização do índice de razão simples, apresentando valores no intervalo de -1 a 1 (Ponzoni; Shimabukuro; Kuplich, 2012), onde valores mais próximos de 1

indicam vegetação mais densa e vigorosa, enquanto valores próximos de 0 correspondem a superfícies pouco vegetadas, ou não vegetadas (Rosendo, 2005).

1.4. Uso e cobertura da terra – LULC

A análise multitemporal das mudanças no LULC é essencial para o planejamento ambiental e a gestão sustentável dos recursos naturais. (Prasad; Singh; Pandey, 2021, Boloorani *et al.*, 2023). O LULC é reconhecido como uma variável ambiental transversal, com aplicações consolidadas em modelagem hidrológica, gestão de desastres naturais e monitorização de ecossistemas urbanos e rurais (Singh; Pandey, 2021; Prasad; Singh; Pandey, 2021). Nesse contexto, a integração de tecnologias geoespaciais revela-se indispensável para a análise e priorização de bacias hidrográficas, providenciando subsídios fundamentais para a gestão do território e o suporte à tomada de decisão estratégica (Pandey *et al.*, 2011).

Segundo Leite e Rosa (2012), o LULC constitui uma das informações mais acessíveis em imagens de satélite, permitindo identificar e mapear padrões de ocupação da superfície terrestre, fundamentais para o planejamento e gestão sustentável da paisagem. Estudos de uso e cobertura da terra requerem resoluções temporais que variam de meses a mais de 10 anos, e resoluções espaciais entre 10 cm, para análises detalhadas, e 100 m, para estudos regionais mais amplos como áreas de pasto e floresta (Jensen, 2009).

1.5. Inverso da distância ponderada – IDW e Correlação de spearman

O método Inverso da Distância Ponderada (IDW) estima valores em locais não amostrados com base nos pontos vizinhos, atribuindo maior peso aos valores mais próximos e menor influência aos mais distantes (Jakob; Young, 2006; Gomes *et al.*, 2018). Deste modo, a influência de cada ponto é inversamente proporcional à distância, assumindo que elementos espacialmente mais próximos apresentam maior similaridade (Jakob; Young, 2006).

2. METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida com base em revisão bibliográfica, análise espacial e análise estatística, utilizando dados de sensoriamento remoto e séries históricas de vazão para investigar a relação entre a cobertura florestal e o regime hidrológico da Bacia Hidrográfica do Rio Licungo (BHRL).



2.1. Área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida na Bacia Hidrográfica do Rio Licungo (BHRL), localizada na região centro-norte de Moçambique, entre os paralelos 15° e 18° S. A bacia tem, aproximadamente, 22.800 km², com nascente nos montes Namúli, no distrito de Gurué, e deságua no Oceano Índico, ao norte da cidade de Quelimane. Seus principais afluentes são os rios Lugela e Luo (ARA Norte, IP – Administração Regional de Águas do Norte, Instituto Público – DGBLic, 2022).

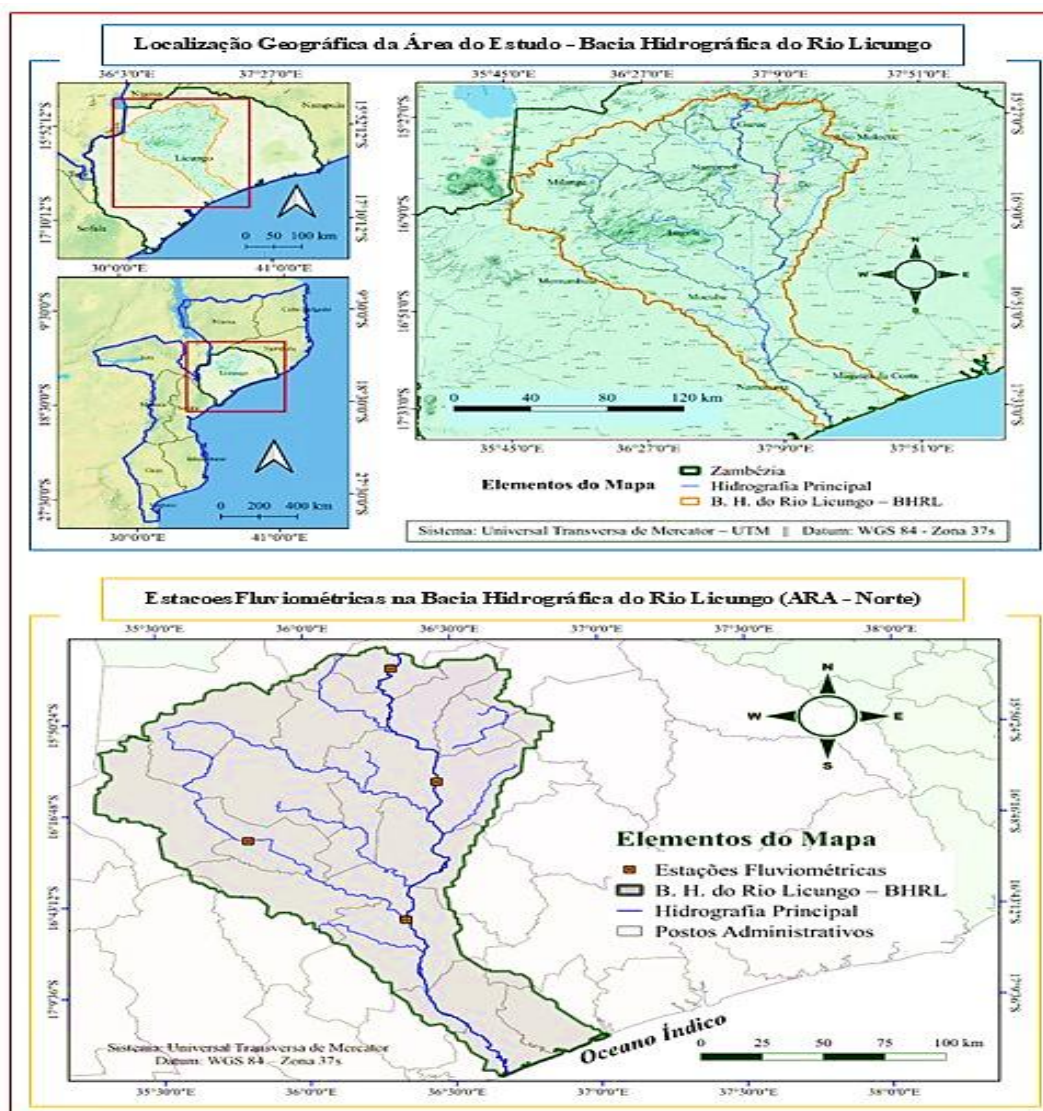
2.2. Base de dados

O estudo utilizou imagens dos satélites Landsat 5 TM e Landsat 8 OLI/TIRS, obtidas na plataforma GloVis (*Global Visualization Viewer*), do *United States Geological Survey* (USGS). As imagens foram recortadas utilizando o arquivo Shapefile da Bacia Hidrográfica do Rio Licungo (BHRL).

Os dados fluviométricos foram obtidos junto à Administração Regional de Águas do Norte (ARA Norte, IP – DGBLic, 2022), sendo utilizadas séries históricas de quatro estações fluviométricas distribuídas na BHRL: Gurué (E90), Mocuba Sede (E91), Lugela (E92) e Ile-Namarrói (E482). A localização das estações é apresentada na Figura 1 e suas principais características encontram-se na Tabela 1, ambas podendo ser observadas em seguida.

Considerando o objetivo do estudo, foram utilizadas séries históricas de vazão observadas como variável hidrológica de análise, por representarem a resposta hidrológica integrada da bacia às condições climáticas e fisiográficas predominantes durante o período de estudo.

Figura 1. Área de estudo e distribuição espacial das estações fluviométricas da Bacia Hidrográfica do Rio Licungo (BHRL)



Fonte: Elaborado pelos autores com base em ARA Norte, IP – DGBLic (2022).

Tabela 1. Características das estações fluviométricas

Estação	Código	Curso do Rio	Variável utilizada
Gurué	E90	Alto curso	Vazão
Mocuba Sede	E91	Médio curso	Vazão
Lugela	E92	Médio curso	Vazão

Ile-Namarrói	E482	Alto curso	Vazão
--------------	------	------------	-------

Fonte: Elaborado pelos autores.

2.3. Processamento dos dados

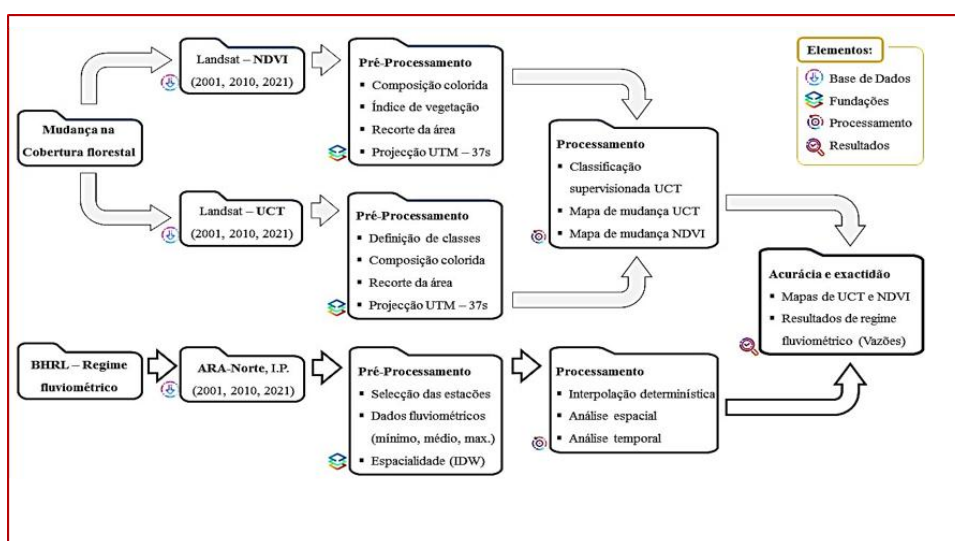
Os mapas temáticos e o processamento das imagens foram realizados nos *softwares* ArcGIS 10.5 e QGIS 3.22. A classificação digital do uso e cobertura da terra (LULC) foi realizada utilizando o complemento *Dzetsaka: Classification Tools*. Posteriormente, foi calculado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), visando avaliar a dinâmica da cobertura vegetal e sua relação com o regime fluviométrico da BHRL.

Os anos selecionados para a elaboração dos mapas de uso e cobertura da terra foram 2001, 2010 e 2021, representando um intervalo temporal de vinte anos. O ano de 2010 foi adotado em substituição aos anos de 2011 e 2012 devido à indisponibilidade de imagens com qualidade adequada para análise.

2.4. Análise estatística

A análise estatística foi realizada no *software* JAMOV 2.3.28. A associação entre as variáveis foi avaliada por meio da correlação de Spearman. Os procedimentos metodológicos adotados neste estudo são sintetizados na Figura 2, em seguida.

Figura 2: Fluxograma dos procedimentos metodológicos adotados na pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Mapeamento da cobertura florestal na BHRL – 2001

No ano de 2001, a BHRL apresentava a representatividade de todas as principais classes de uso e cobertura da terra (LULC). Conforme ilustrado no mapeamento (Figura 3), em seguida, a cobertura florestal abrangia, aproximadamente, 49,19% da superfície total da bacia (1.231.074ha), com uma distribuição espacial concentrada, predominantemente, em regiões de elevada declividade como Gurué e o maciço de Namúli, um fator crítico para a estabilidade do solo e para a regulação dos serviços hidrológicos na bacia (Langa, 2002; Soares, 2017).

3.2. Mapeamento da cobertura florestal na BHRL – 2010

O crescimento populacional e as pressões inerentes ao desenvolvimento económico e social constituem os principais impulsionadores das mudanças no LULC (Giri, 2012; Aquino, 2018). Na BHRL, a cobertura florestal ocupava 992.583ha em 2010, correspondendo a 39,66% da área total (Figura 3). Em relação a 2001, verificou-se uma redução de 238.491ha de floresta, evidenciando uma dinâmica de degradação acentuada (Albino, 2012; Soares, 2017), com maior intensidade no distrito de Lugela, impulsionada, principalmente, pela agricultura itinerante e pela expansão populacional (Braimo *et al.*, 2025).

3.3. Mapeamento da cobertura florestal na BHRL – 2021

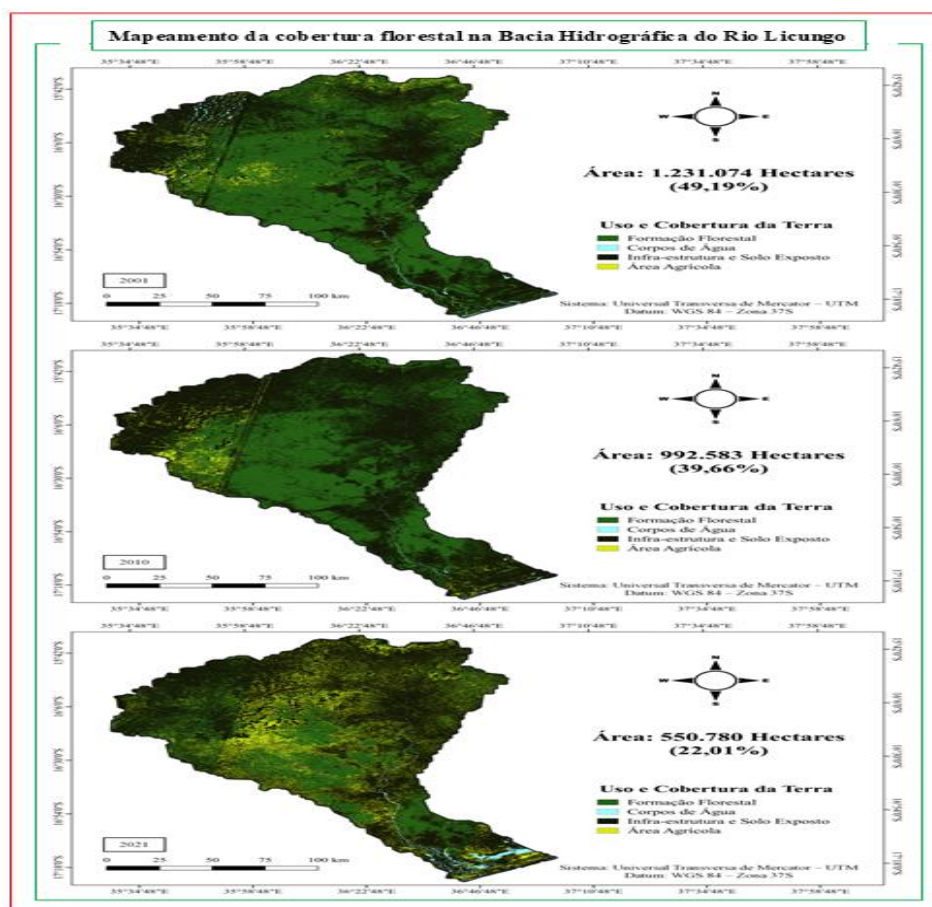
De acordo com a dinâmica espacial observada em 2021 (Figura 3), em seguida, a cobertura florestal da BHRL reduziu para cerca de 550.780ha, correspondendo a apenas 22,01% da área total da bacia. Embora o distrito de Lugela ainda concentre grande parte dos remanescentes florestais, estes permanecem sob pressão da expansão agrícola (Langa, 2002; Soares, 2017).

Essa tendência é corroborada pelo Ministério da Terra, Ambiente e Desenvolvimento Rural (MITADER), que registou perdas significativas de cobertura florestal na província da Zambézia, especialmente nos distritos de Gilé, Milange, Mocuba e Alto Molócuè, com taxa de desmatamento de 0,80% (cerca de 18.000ha/ano) entre 2001 e 2016. Esse processo tem afetado severamente o ecossistema de Miombo devido ao avanço da agricultura de subsistência e da exploração madeireira, intensificando a fragmentação florestal e comprometendo os serviços ecossistêmicos da região (Aquino, 2018; MITADER, 2018a; Soares, 2017).

Os resultados obtidos para 2010 na Bacia Hidrográfica do Rio Licungo (BHRL) corroboram as evidências apresentadas pelo Observatório do Meio Rural (OMR, 2022), que

identificam a província da Zambézia como uma das áreas com maiores taxas de desmatamento em Moçambique. Entre 2003 e 2013, a taxa de desmatamento na província atingiu 0,90%, valor superior à média de 27.749 ha ano⁻¹ registada entre 1972 e 1990 (MITADER, 2018a; Soares, 2017). Esse cenário confirma o agravamento da perda de cobertura florestal ao longo das últimas décadas, conforme demonstrado pelos Inventários Florestais Nacionais (IFN), que indicam aumento da taxa anual de desmatamento de 0,36%, no período de 1972–1990, para 0,71%, entre 1991 e 2002 (Saket, 1994; Marzoli, 2007; MITADER, 2018b; Braimo *et al.*, 2025). Além disso, Nampula, Zambézia e Manica concentraram cerca de 59% da perda florestal nacional entre 2003 e 2013, o equivalente a aproximadamente 1,7 milhões de hectares, reforçando as análises de Aquino (2018) e contextualizando a dinâmica de degradação observada na BHRL (MITADER, 2018a).

Figura 3: Evolução da cobertura florestal da BHRL nos anos de 2001, 2010 e 2021



Fonte: Elaborado pelos autores com base em imagens Landsat (USGS/GloVis) e dados da ARA Norte, IP – DGBLic (2022).

3.4. Relação entre cobertura florestal e vazões da BHRL

A correlação de Spearman ($p \leq 0,05$) aplicada entre o NDVI e a vazão (m^3/s) não revelou relação significativa entre cobertura florestal e o regime hídrico na série temporal de 2001, 2010 e 2021 (Tabela 2). Resultado semelhante foi observado por Mendes (2019) na bacia do rio Itapemirim, onde não foram verificadas correlações significativas entre cobertura florestal e vazões mínima, média e máxima, possivelmente, devido à similaridade metodológica e ao uso de imagens LANDSAT. Em contraste, Trancoso; Carneiro e Tomasella (2007) verificaram que, em bacias amazônicas, mesmo com mais de 50% da cobertura florestal suprimida, não ocorreram tendências de aumento das vazões, atribuídas à elevada capacidade de regulação hidrológica das florestas tropicais densas. Esse “efeito esponja” favorece a infiltração e o amortecimento do escoamento, promovendo maior estabilidade das vazões, comportamento aparentemente não observado na Bacia Hidrográfica do Rio Licungo sob as atuais condições de fragmentação florestal.

Tabela 2. Matriz de correlações – Coeficientes de Spearman para Vazão vs Cobertura florestal

		NDVI		
		2001	2010	2021
Vazão(m^3/s) – 2001	Rho de Spearman	-0.06*		
	p-value	0.35		
Vazão(m^3/s) – 2010	Rho de Spearman		0.12*	
	p-value		0.05	
Vazão(m^3/s) – 2021	Rho de Spearman			0.08*
	p-value			0.19

Nota: NDVI = Índice de vegetação por diferença normalizada; * = Não significativo a 5% de significância.

Fonte: Elaborado pelos autores.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cobertura florestal da Bacia Hidrográfica do Rio Licungo (BHRL) apresentou reduções acentuadas entre 2001 e 2021, principalmente, devido à agricultura itinerante e à exploração de biomassa. A aplicação do NDVI permitiu monitorar a dinâmica do uso e cobertura da terra (LULC), confirmando a perda de biomassa e a fragmentação florestal observadas em estudos regionais e inventários nacionais. Em relação ao regime hidrológico, verificou-se o aumento



gradual das vazões ao longo do período analisado, sendo que os menores valores ocorreram apenas em 2001 na região norte da bacia.

Contudo, a correlação de Spearman não indicou relação significativa entre cobertura florestal e vazão na BHRL, sugerindo que fatores climáticos e biofísicos, especialmente a variabilidade da precipitação e as características fisiográficas da bacia, exercem maior influência sobre as vazões superficiais do que a variação da cobertura vegetal. Esses resultados reforçam a complexidade das interações entre cobertura florestal e regime hidrológico em bacias tropicais fragmentadas e evidenciam a importância da incorporação, em estudos futuros sobre a dinâmica hidrológica da BHRL, de variáveis climáticas, em especial a precipitação.

REFERÊNCIAS

ADMINISTRAÇÃO REGIONAL DE ÁGUAS DO NORTE, INSTITUTO PÚBLICO (ARA Norte, IP). **Bacia Hidrográfica do Licungo**. Disponível em: <https://aranorteip.gov.mz/carta-hidrografica/>. Acesso em: 17 jul. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Impacto da Mudança Climática nos Recursos Hídricos do Brasil**. Brasília, DF: ANA, 2024. 96 p.

ALBINO, A. J. **Bases Geoambientais para a Gestão da Bacia Hidrográfica do Rio Umbeluzi-Moçambique**. 2012. 147 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

AQUINO, A. *et al.* **Notas sobre a floresta em Moçambique**. Maputo: Banco Mundial, 2018. 34 p.

BACELLAR, L. A. P. O papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas. **Geo.br**, Ouro Preto, v. 1, p. 1-39, 2005.

BALBINOT, R. *et al.* O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência – Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuava, v. 4, n. 1, p. 131–149, jan./abr. 2008.

BIELENKI JÚNIOR, C.; BARBASSA, A. P. **Geoprocessamento e recursos hídricos: aplicações práticas**. 1. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2012. 257 p.

BOLOORANI, A. D. *et al.* Land Use/Land Cover Change Analysis Using Multi-Temporal Remote Sensing Data: A Case Study of Tigris and Euphrates Rivers Basin. **Land**, Basel, v. 12, n. 5, 1101, mai. 2023.

BOSCH, J. M.; HEWLETT, J. D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal of hydrology**. Amsterdam, v. 55, p. 3-23, jan. 1982.



BRAIMO, J. A. *et al.* Influência da agricultura do sector familiar na degradação das florestas ribeirinhas em Unango, Niassa. **Revista Científica ACERTTE**, São Paulo, v. 5, n. 5, e55217, mai. 2025.

CARVALHO, R. G. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, v. especial, n. 36, p. 26-43, mar. 2014.

COSTA, C. D. O.; ALVES, M. C.; SOUSA, A. P.. Movimento de água e porosidade dos solos de uma sub-bacia hidrográfica no noroeste do estado de São Paulo. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 2, p. 304-318, jun. 2015.

FERNANDES, M. R. P. **Avaliação da composição e estrutura riparia mediterrânica baseada em SIG e detecção remota**. 2013. 185 f. Tese (Doutorado em Engenharia florestal e dos recursos naturais) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa. Lisboa, 2013.

FERRAZ, F. T. **Método para análise da relação entre florestas e vazões em bacias hidrográficas**. 2018. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Espírito Santo. Jerônimo Monteiro – Espírito Santo, 2018.

FOODY, G. M. Status of land cover classification accuracy assessment. **Remote Sensing of Environment**. Amsterdam, v. 80, p. 185-201, abr. 2002.

GARCIA, L. G. **Composição e configuração da cobertura florestal na bacia hidrográfica e seus efeitos nos serviços hidrológicos**. 2018. 211 f. Tese (Doutorado em Ciências). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018.

GARDIMAN JUNIOR, B. S. *et al.* Perda de solo por erosão hídrica em áreas de preservação permanente na microbacia hidrográfica Córrego do Horizonte, Alegre, Espírito Santo. **Engenharia Ambiental**. Espírito Santo do Pinhal, v. 9, n. 2, p. 21–34, jun. 2012.

GIRI, C. P. **Remote Sensing of Land Use and Land Cover: Principles and Applications**. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2012. 206 p.

GOMES, M. G. *et al.* Aplicação do Interpolador IDW para Elaboração de Mapas Hidrogeológicos Paramétricos na Região da Serra Gaúcha. In: **CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE**, nº 6, 2018, Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, Anais, 2018, p. 8.

JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas, In: **ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS**, nº. 15, 2006, Caxambu, Minas Gerais. Anais, MG: ABEP, 2006.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução da 2.ed. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009. 592 p.

KIEFER, A. P. *et al.* Panorama das Alterações nos Padrões de Precipitação e Erosão diante de Mudanças Climáticas: Revisão de Literatura. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife, v. 14, n. 3, p. 1724-1747, mai. 2021.



LANGA, J. V. **Gestão integrada dos recursos hídricos em Moçambique**: Caso da bacia hidrográfica do rio Licungo. 2002. 84 f. Monografia (Licenciatura em Geografia) – Universidade Eduardo Mondlane. Maputo, 2002.

LEITE, E. F.; ROSA, R. Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Formiga, Tocantins. **Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia**, Uberlândia, v. 4, n. 11, p. 90-108, ago. 2012.

MACAMO, A. D. **Potential productivity of maize in Mozambique**: modeling of current and future scenarios. 2021. 41 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2021.

MAKARIEVA, A. M.; GORSHKOV, V. G.; LI, B. L. Precipitation on land versus distance from the ocean: Evidence for a forest pump of atmospheric moisture. **Ecological complexity**. v. 6, n. 3, p. 302-307, jan. 2009.

MANSO, A. D.; LOUZADA, M. A. P. Índices de Vegetação como instrumento de análise da distribuição vegetal na paisagem do Parque Natural Municipal do Gericinó, Nilópolis - RJ. **Revista Ciência Geográfica**. Bauru, v. 28, n. 2, p. 303-313, dez. 2024.

MARCUSSI, A. B. *et al.* Utilização de Índices de Vegetação para os Sistemas de Informação Geográfica. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 11, n. 35, p. 41-53, set. 2010.

MARZOLI, A. **Avaliação integrada das florestas de Moçambique**: inventário florestal nacional. Relatório final. Maputo: Direcção Nacional de Terras e Florestas, Ministério da Agricultura, 2007. 109 p.

MELLO, E. L. *et al.* Efeito das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Rio Paracatu. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 635-644, dez. 2008.

MENDES, M. A. **Análise da relação entre cobertura florestal e vazão da bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES**. 2019. 62 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo. Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, 2019.

MILLY, P. C. D. *et al.* Stationarity is dead: whither water management? **Science**, [S.l.], v. 319, n. 5863, p. 573–574, fev. 2008.

MINISTÉRIO DA TERRA, AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO RURAL (MITADER). **Desflorestamento em Moçambique (2003–2016)**. Maputo: Direcção Nacional de Florestas, 2018a. 42 p.

MINISTÉRIO DA TERRA, AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO RURAL (MITADER). **Inventário Florestal Nacional**: relatório final. Maputo: Direcção Nacional de Florestas, 2018b. 118 p.

MUCHANGOS, A. dos. **Moçambique**: paisagens e regiões naturais. Maputo, 1999. 163 p.

OBSERVATÓRIO DO MEIO RURAL (OMR). **Análise do impacto das dinâmicas socioeconómicas e culturais no desmatamento e degradação florestal na província da Zambézia**. Draft final. Maputo, 2022. 81p.



PANDEY, A. *et al.* Application of GIS for Watershed Prioritization and Management: A Case Study. **International Journal of Environmental Science Development & Monitoring**, v. 2, n. 1, p. 25-42, 2011.

PARANHOS FILHO, A. C. *et al.* **Geotecnologias para Aplicações Ambientais**. Maringá, PR: Uniedusul Editora, 2021. 394 p.

PAUNGARTTEN, S. P. L.; COSTA, N. O. da. Segurança e vulnerabilidade hídrica em Moçambique – África. **OKARA: Geografia em debate**. João Pessoa, v. 15, n. 1, p. 70–81, 2021.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. ed. Atual. ampl. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 176 p.

PRASAD, S.; SINGH, R. B.; PANDEY, B. W. Spatio-Temporal Analysis of Land Use and Land Cover in Delhi-NCR Using Satellite Data. **Journal of Global Resources**, Jaipur, v. 7, n. 2, p. 23-31, jul. 2021.

RANZINI, M. *et al.* Modelagem Hidrológica de uma Microbacia Florestada da Serra do Mar, SP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 33-44, dez. 2004.

ROSENDO, J. S. **Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do Rio Araguari -MG- utilizando dados do sensor MODIS**. 2005. 130f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2005.

ROUSE, J. W. *et al.* Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: **EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM**, 3., 1973, Greenbelt, Maryland. Proceedings. Washington, DC: NASA, 1973. p. 309-317.

SALIS, H. H. C. **Modelagem hidrológica para a bacia hidrográfica do córrego marinho, Sete Lagoas - MG**. 2018. 42f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2018.

SAKET, M. **Report on the updating of the exploratory national forest inventory**. Moçambique: DNFFB/FAO/UNDP, 1994.

SENGO, S. A. **Gestão Hídrica na República de Moçambique**: Análise da Oferta e Demanda Hídrica na Província de Maputo. 2021. 88 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelato em Engenharia de Energias). Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, Ceará, 2021.

SHIKLOMANOV, I. A. World fresh water resources. In: **GLEICK, P. H. (Ed.). WATER IN CRISIS: A GUIDE TO THE WORLD'S FRESH WATER RESOURCES**. New York: Oxford University Press, 1993. p. 13-24.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrológica. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Editora da UFRGS, Porto Alegre, p. 37-51, 2001.



SINGH, G.; PANDEY, A. Evaluation of classification algorithms for land use land cover mapping in the snow-fed Alaknanda River Basin of the Northwest Himalayan Region. **Applied Geomatics**, v. 13, n. 4, p. 863–875, set. 2021.

SOARES, M. G. **Relação entre as mudanças de Uso e Cobertura de Terra e as queimadas em florestas de Miombo, Gurué, Moçambique**. 2017. 75 f. Dissertação (Mestre em Maneio e Conservação da Biodiversidade) – Universidade Eduardo Mondlane. Maputo, 2017.

TRANCOSO, R.; CARNEIRO, F. A.; TOMASELLA, J. Amazônia, desflorestamento e água: A interação entre a floresta tropical e a maior bacia hidrográfica do planeta. **Ciência Hoje**. v. 4, n. 239, p. 30-37, jul. 2007.

TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade climática e do uso do solo nos recursos hídricos**. Brasília, DF: Agência Nacional de Águas (ANA), 2002. 150 p. (Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas).

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. 2. ed. rev. ampl. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 678 p.

VILANCULOS, H. A. *et al.* Análise de impactos ambientais causados pela extração de areia de construção civil no areeiro de Nhademba no distrito de Vanduzi II no areeiro de Nhademba no distrito de Vanduzi em Moçambique. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar**, v. 7, n. 7, p. e778095-e778095, 2026.

VOROSMARTY, C. J. *et al.* Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. **Science**. v. 289, n. 5477, p. 284–288, jul. 2000.

ZANON, C. A. F. **Atributos físicos e químicos do solo sob diferentes coberturas vegetais no sul do estado do Espírito Santo**. 2013. 71 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, 2013.