

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

MARIANNE AMORIM MENDES

ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE COBERTURA FLORESTAL E VAZÃO
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPEMIRIM, ES

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO

2019

MARIANNE AMORIM MENDES

ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE COBERTURA FLORESTAL E VAZÃO
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPEMIRIM, ES

Monografia apresentada ao
Departamento de Engenharia
Florestal da Universidade Federal
do Espírito Santo, como requisito
parcial para obtenção do título de
Engenheira Florestal.

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2019

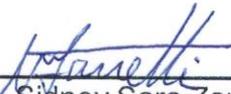
MARIANNE AMORIM MENDES

**ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE COBERTURA FLORESTAL E VAZÃO DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPEMIRIM, ES**

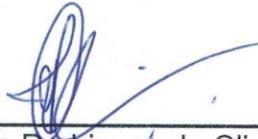
Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Aprovada em ...15... de ...JULHO... de ...2019.....

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Sidney Sara Zanetti
Universidade Federal do Espírito Santo
(Orientador)



M.ª Francielle Rodrigues de Oliveira
Universidade Federal do Espírito Santo



Eng. Sanitarista e Ambiental Edilson Sarter Braum
Mestrando – Universidade Federal do Espírito Santo

In memoriam a Elza Alves de Amorim,
minha vó, e aos meus pais José Celson
Mendes e Rita de Cássia Amorim
Mendes.

“ Pois será como a árvore plantada junto a ribeiros de água, a qual dá o seu fruto no seu tempo; as suas folhas não cairão, e tudo quanto fizer prosperará. ”

Salmo 01:03

AGRADECIMENTOS

O primeiro agradecimento vai para Deus e Nossa Senhora que me apararam e me abençoaram em toda minha jornada.

Á minha família, José Celson Mendes, Rita de Cássia Amorim, Ana Carolina Amorim e Bernardo Amorim Nunes pela compreensão e suporte, vocês são fundamentais.

Á Universidade Federal do Espírito Santo e ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, pelos subsídios fornecidos para a realização da graduação.

Ao meu orientador Prof. Sidney por todo auxílio e aparato prestado durante os 2 anos de orientação. A minha coorientadora Francielle pela disponibilidade e acompanhamento prestados. E ao Edilson pela participação na minha banca avaliadora.

Aos componentes do Laboratório de Modelagem Hidrológica pela assistência e ambiente amigoso de trabalho.

Ao Henrique do Laboratório de LABCELF e a Kaíse do GAGEN pela assistência na metodologia aplicada neste estudo, importante para a obtenção dos resultados fornecidos.

Aos meus amigos universitários que me acompanharam nesta jornada e me aturaram nos momentos de dificuldade, Ruan, Jéssica, Robert, Dayala, Felipe e Cássia.

Meu muito obrigada!

RESUMO

A bacia hidrográfica do rio Itapemirim (BHRI) se destaca pela sua importância social, econômica e ambiental na região sul do estado do Espírito Santo, portanto estudos relacionados a ela são extremamente necessários para reter informações sobre seus diferentes diagnósticos (físico-conservacionista, de vegetação, ambiental, da água, entre outros) e assim moldar um programa de manejo eficiente. O objetivo desta monografia é investigar os efeitos da cobertura florestal no regime hidrológico da BHRI, numa série histórica de 24 anos, adotando os anos bases de 1987, 1991, 1995, 1999, 2003, 2007 e 2011. A área de estudo foi subdividida em 11 sub-bacias, para avaliar as variáveis em escala menores, e para cada sub-bacia foram definidos três tipos de vazões: a vazão mínima média com sete dias de duração (Q_7); a vazão média anual (Q_{med}) e a vazão máxima anual (Q_{max}). Com a estimativa das precipitações médias mensais por interpolação Inverso da Potência da Distância ao quadrado (IPD2) e com os dados das porcentagens de cobertura florestal obtida pelo mapeamento da BHRI da base de dados MapBiomas (método de classificação pela ferramenta do *Google Earth Engine*, *Random Forest Algorithm*) fez-se a correlação parcial das diferentes vazões analisadas e porcentagem de cobertura florestal, a 5% de probabilidade pelo teste F. Nenhuma das relações propostas foram significativas. Assim avaliou-se a contribuição da precipitação média anual nas vazões determinadas Q_7 , Q_{med} e Q_{max} , por regressão linear simples resultando na significância de 6 sub-bacias (Castelo, Fazenda Cacheta, Ibitirama, Iúna, Usina Paineiras e Usina São Miguel) para a vazão média anual (Q_{med}), que é o principal componente de avaliação da disponibilidade hídrica de uma região. Apesar dos resultados de não associação das variáveis estudadas, necessita-se da adição de estudos na área para investigar mais profundamente esta interação entre vazões e floresta.

Palavras-chave: Fragmentos florestais, regime de vazões fluviais, sensoriamento remoto.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. OBJETIVOS	4
1.1.1. Objetivo geral.....	4
1.1.2. Objetivo específico	4
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1. O ciclo hidrológico e seus componentes	5
2.2. Disponibilidade hídrica e regime das vazões em bacias hidrográficas.....	6
2.3. A contribuição da cobertura florestal na vazão de cursos d'água	7
2.4. Sensoriamento remoto orbital da cobertura florestal (Variabilidade qualitativa dos satélites).....	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1. Área em estudo.....	11
3.2. Base de dados utilizada para o mapeamento da cobertura florestal.....	13
3.2.1. Apuração das imagens do satélite Landsat	13
3.2.2. Classificação do Uso e Ocupação da Terra (UOT).....	14
3.2.2. Pós classificação das classes de Uso e Ocupação da Terra (UOT).....	17
3.3. Obtenção das porcentagens de cobertura florestal para cada sub-bacia da BHRI 17	
3.4. Aquisição das séries históricas das vazões da bacia hidrográfica do Rio Itapemirim (BHRI)	20
3.5. Aquisição das séries históricas da precipitação pluviométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim (BHRI).....	22
3.6. Análise estatística dos dados.....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	25
4.1. Mapeamento da Cobertura Florestal na BHRI	25
4.2. Vazões e precipitação média anual.....	33
4.2. Relação entre Cobertura Florestal e Vazões.....	37
4.3. Relação entre Precipitação Média Anual e Vazões (Q_7 , Q_{med} , Q_{max})	40
5. CONCLUSÃO	44
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
APÊNDICE A.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Porcentagem da área dos municípios inseridos na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim.	11
Tabela 2 - Características dos satélites Landsat 5 e Landsat 7.	14
Tabela 3 - Variáveis de classificação dos mosaicos de imagens do satélite Landsat.	15
Tabela 4 - Porcentagens de cobertura Florestal das onze sub-bacias da BHRI estudadas, durante os sete anos hidrológicos observados, na BHRI.	30
Tabela 5 - Vazões mínimas médias com sete dias de duração - Q_7 ($m^3 s^{-1}$), vazões médias - Q_{med} ($m^3 s^{-1}$), vazões máximas - Q_{max} ($m^3 s^{-1}$) e precipitação média anual – P_a (mm) para as onze sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim analisadas, durante os anos bases.	34
Tabela 6 - Valores de desvio padrão da vazão mínima durante 7 dias - Q_7 ($m^3 s^{-1}$), vazão média anual - Q_{med} ($m^3 s^{-1}$), vazão máxima anual - Q_{max} ($m^3 s^{-1}$) e precipitação média anual – P_a (mm).	36
Tabela 7 - Resultados dos Coeficientes de correlação de Pearson nas onze sub-bacias estudadas.	38
Tabela 8 - Resultados dos Coeficientes da Correlação Parcial nas onze sub-bacias estudadas.	39
Tabela 9 - Resultados dos Coeficientes de correlação de Pearson nas onze sub-bacias estudadas.	41
Tabela 10 - Equações de regressão linear simples significativa, entre a vazão média anual (Q_{med}) e a precipitação média anual (P_a).	42
Tabela 11 - Descrição das classes de Uso e Ocupação da Terra (UOT) mapeadas para a área da BHRI.	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fenômenos do ciclo hidrológico.....	6
Figura 2 - Curva de reflectância da cobertura vegetal.....	10
Figura 3 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim (BHRI) no estado do Espírito Santo.....	12
Figura 4 - Fluxograma do processamento das imagens no software ArcGIS.....	19
Figura 5 - Posicionamento das estações fluviométricas dentro da BHRI.	21
Figura 6 - Posicionamento das estações pluviométricas analisadas.....	23
Figura 7 - Mapeamento da Cobertura Florestal da BHRI no ano de 1985.	26
Figura 8 - Mapeamento da Cobertura Florestal da BHRI no ano de 2011.	27
Figura 9 - Porcentagem de floresta plantada na BHRI, no decorrer dos anos analisados.	28
Figura 10 – Representação das porcentagens geradas nos mapeamentos neste estudo (A), e no estudo de Mendes, 2016 (B).	32
Figura 11 - Gráficos das equações de regressão significativas entre Qmed e Pa das sub-bacias analisadas. Sendo que A – Castelo, B - Fazenda Cacheta, C – Ibitirama, D – Iúna, E – Usina Paineiras, e F – Usina São Miguel.	43

1. INTRODUÇÃO

A água é um bem primordial para a manutenção da vida no planeta, sendo de suma importância para a saúde e qualidade de vida das populações. Consiste em um recurso natural de elevado valor econômico, social e ambiental (MMA, 2005).

Atualmente muito se discute sobre a manutenção da qualidade e quantidade dos recursos hídricos, isto é, as alterações causadas nas diversas bacias hidrográficas do mundo são objetos de estudos de grande relevância. Tais alterações, em maior parte, ocorrem devido ao avanço das mudanças no clima, as quais alteram o regime pluviométrico; bem como às ações antrópicas, alterações do uso e manejo do solo, construção de barragens e retirada de água para irrigação de grandes cultivos agrícolas (MILLY et al., 2008). Em relação às ações antrópicas, Vorosmarty et al. (2000) ressaltam que estas influenciam diretamente o ciclo hidrológico (vazão, precipitação, evapotranspiração), devido ao rápido crescimento populacional e à intensificação do desenvolvimento econômico.

O Brasil tem papel importante na manutenção dos recursos hídricos, o país possui cerca de 12% da água doce do planeta (AUGUSTO et al., 2012), fato que traz à tona discussões sobre o planejamento e padrão de consumo da água. As diferenças regionais de volume de água é uma característica das bacias hidrográficas no Brasil, mas nos últimos anos a seca e a escassez hídrica preocupam. Na região sudeste, a qual possui maior densidade populacional do país, retrata um cenário bastante crítico de abastecimento de água. Os anos de 2014 e 2015 marcaram uma das mais relevantes crises hídricas, as precipitações ficaram abaixo da média na maior parte das estações avaliadas, resultando em baixo regime fluviométrico das bacias correspondentes (ANA, 2016).

No estado do Espírito Santo, no ano de 2015, 38% dos municípios decretaram situação de emergência ou calamidade pública em decorrência de eventos críticos de seca (ANA, 2016). Em 2016, a situação se estendeu e 41% dos municípios estavam em condição crítica e de emergência ou calamidade, quanto ao abastecimento de água (AGERH, 2016). Esses dados refletem a sensibilidade do estado às mudanças climáticas, principalmente, no volume pluviométrico. Assim, se faz necessário o estudo das bacias hidrográficas do estado e suas disponibilidades

hídricas para que haja uma administração desse recurso, minimizando os impactos de uma crise hídrica nos cenários econômicos, ambientais e sociais.

A bacia hidrográfica do rio Itapemirim, situada na região sul do estado do Espírito Santo, assim como muitas outras no estado, tiveram suas disponibilidades hídricas alteradas em função das estiagens na atualidade. De acordo com o boletim da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2015), as precipitações acumuladas no período de outubro de 2014 a fevereiro de 2015, estiveram cerca de 30,5% abaixo da média histórica nesta bacia (aproximadamente 900mm). Dos dezessete municípios capixabas que abrangem a BHRI, 11 decretaram situação de emergência (ESPÍRITO SANTO, 2015 b).

O parâmetro utilizado para representar a disponibilidade hídrica é a vazão dos cursos d'água, esse componente representa uma síntese complexa entre parâmetros hidrológicos, relacionando-se diretamente com o comportamento do rio, mediante aos sinais climáticos e alterações na paisagem (MACHADO et al., 2017). Segundo Tucci (2002), os fatores podem influenciar na vazão de um curso d'água são: mudança no clima, como alteração no fenômeno de evapotranspiração, mudança da precipitação e a modificação do uso do solo.

A precipitação é a principal componente do ciclo hidrológico que atua na variabilidade das vazões em bacias hidrográficas. Com as alterações climáticas, eventos hidrológicos extremos (chuvas intensas e períodos prolongados de seca) são passíveis de acontecerem com maior frequência, de maneira que, para as vazões, prevê-se que a magnitude e a frequência de enchentes aumentem na maioria das regiões do planeta, e que as vazões mínimas sejam menores em muitas regiões (MELLO et al., 2008), ressaltando, desta forma, a importância de estudos relacionados ao entendimento destas variáveis em bacias hidrográficas. Quanto à influência das florestas na variação das vazões, existem muitas controvérsias em torno dessa questão, onde normalmente são atribuídas às mesmas a função hidrológica de aumentar a disponibilidade hídrica nos rios.

Algumas sub-bacias da bacia hidrográfica do Rio Itapemirim possuem expressivos percentuais de cobertura florestal, e com a presença de importantes unidades de conservação, como o Parque Nacional do Caparaó; a Reserva Particular de Patrimônio Natural de Cafundó e a Floresta Nacional de Pacotuba.

Porém, em muitas regiões da bacia, a fragmentação é expressiva, resultado do desflorestamento da vegetação nativa em função da urbanização desordenada, do desenvolvimento de atividades agropecuárias, e dentre outras causas.

Desta forma, diferentes estudos foram desenvolvidos sobre esse tema (MENDES, 2016; COUTINHO e SAMPAIO, 2007; BALBINOT et al., 2008; FERRAZ, 2018; entre outros), com objetivo de verificar a influência da cobertura vegetal florestal na disponibilidade hídrica de cursos d'água. No entanto, sobre a relação entre florestas e as vazões dos cursos d'água, os resultados ainda são inconclusivos. Neste contexto, novos estudos mais detalhados podem contribuir para preencher essas lacunas sobre este tema. O conhecimento aprofundado da relação cobertura vegetal florestal *versus* vazão da bacia hidrográfica do Rio Itapemirim poderá elucidar o manejo mais adequado da bacia, resultando em benefícios ambientais, sociais e econômicos.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Avaliar os efeitos das alterações da cobertura florestal sobre as tendências temporais e espaciais das vazões dos cursos d'água da bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, ES, usando dados do projeto MapBiomias.

1.1.2. Objetivo específico

- Quantificar as áreas de cobertura florestal para a bacia hidrográfica do rio Itapemirim;
- Configurar o comportamento temporal das variáveis de vazões do curso d'água e da precipitação média anual de toda extensão da bacia hidrográfica do Rio Itapemirim;
- Identificar a relação existente entre vazão e cobertura florestal.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O ciclo hidrológico e seus componentes

A base para estudos em uma matriz de bacia hidrográfica é a compreensão da dinâmica da água, isto é, compreender o ciclo hidrológico da mesma. Neste caso as quantidades de água em cada parte do ciclo variam no espaço e no tempo numa escala regional. Zhang et al. (2006) afirma que o movimento da água não depende somente da influência do regime hidrológico, mas também das características físicas das bacias (morfometria), das condições meteorológicas, das alterações antrópicas, como uso e ocupação do solo e represamento de águas fluviais.

De acordo com Anache (2017), o processo hidrológico de uma bacia hidrográfica se baseia em duas vertentes: os componentes de entrada e os componentes de saída de água. O componente principal de entrada é a precipitação e os componentes principais de saída são a evapotranspiração e o deflúvio dos rios. Os componentes do ciclo hidrológico também são classificados, de acordo com a direção, como de fluxo vertical e de fluxo horizontal. O sentido vertical é composto pela precipitação e evapotranspiração, já o sentido horizontal é composto pelo escoamento superficial e escoamento do subsolo.

Na Figura 1 encontra-se uma ilustração do ciclo hidrológico, onde, a partir da precipitação ocorre uma série de ações internas. Parte do volume de água sofre interceptação, sendo que o excedente chega à superfície, ocorrendo a infiltração de água pelo perfil do solo alcançando os aquíferos subterrâneos, até que o solo chegue ao seu ponto de saturação. Após esse processo, o volume de água excedente provoca o escoamento superficial. Dos aquíferos subterrâneos e do escoamento superficial a água se desloca para contribuir com o deflúvio dos corpos d'água. O último processo, para fechar o ciclo hidrológico, é a evapotranspiração, considerada o inverso da precipitação (SILVEIRA, 2004).

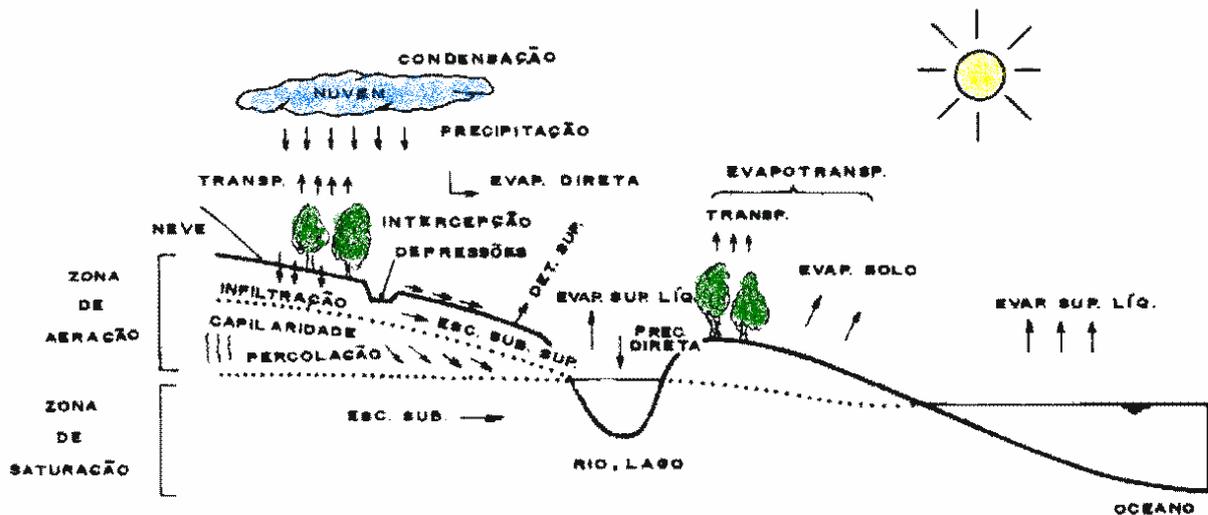


Figura 1 – Componentes do ciclo hidrológico.

Fonte: Silveira (2004).

2.2. Disponibilidade hídrica e regime das vazões em bacias hidrográficas

A componente vazão dos cursos d'água é o resultado de uma interação direta entre um conjunto complexo entre os parâmetros hidrológicos e o comportamento do rio, diante dos sinais meteorológicos e alterações da paisagem (MACHADO et al, 2017). Segundo Tucci (2001), a vazão pode ser estipulada como um volume que escoar por uma seção em uma unidade de tempo, expressa em metros cúbicos por segundo ($m^3 s^{-1}$) ou litros por segundo ($L s^{-1}$).

A condição das vazões é definida por diversos fatores de uma bacia hidrográfica. Segundo Zhang (2006), as vazões variam no tempo, sendo diretamente influenciadas pelas condições meteorológicas, características físicas das bacias, e alterações antrópicas, tais como as mudanças no uso e ocupação do solo e represamento de águas fluviais.

Um dos fatores-chaves para o desenvolvimento e planejamento social e econômico de uma região é a disponibilidade hídrica. No Brasil, os valores máximos de retirada de volume de água de um recurso hídrico, são estabelecidos pela outorga a usuários, de acordo com a disponibilidade real, sendo para isso necessário definir a vazão mínima remanescente do corpo hídrico.

A vazão mínima remanescente é definida como a menor vazão no curso d'água, visando o atendimento aos usos múltiplos dos recursos hídricos (AGERH, 2018). No Estado do Espírito Santo a vazão passível de outorga corresponde a 50% da vazão mínima com 90% de permanência no tempo (Q_{90}) (Instrução Normativa IEMA nº 13/2009).

Para Tucci (2015), a disponibilidade hídrica é caracterizada pelas vazões mínima, média e máxima, as quais agregam a disponibilidade hídrica em períodos de estiagem, associada a uma frequência e duração; a capacidade de disponibilidade hídrica, o potencial energético, predisposição a cheias e períodos de secas que influenciam no manejo dos recursos hídricos.

A vazão de referência Q_7 , pode ser definida como a vazão mínima média por sete dias consecutivos, Ono (2006) fixou os setes dias para análise, pois referência as variações críticas de consumo dos dias úteis e dos finais de semana, possibilitando a operação de reservatórios para absorver o efeito das variações durante a semana. Já a vazão máxima anual (Q_{max}), representa o cenário de inundação do local, auxiliando no dimensionamento de obras hidráulicas como bueiros, canais, vertedouros de barragens e na prevenção de inundações (TUCCI, 2002; PRUSKI et al., 2006. Por fim a vazão média anual (Q_{med}), é definida por Tucci (2001), como a média de todos os valores em determinado tempo e permite caracterizar a disponibilidade hídrica como também o potencial energético de uma bacia hidrográfica.

2.3. A contribuição da cobertura florestal na vazão de cursos d'água

Um processo hidrológico importante para uma bacia hidrográfica é o balanço hídrico global. Nele se contabiliza as entradas e as saídas de água na bacia, e pode ser demonstrado como $\Delta ARM = P - ET - Q$, isto é, a variação do armazenamento hídrico subterrâneo é igual à precipitação (componente de entrada) menos a evapotranspiração e deflúvio (componentes de saída). À medida que se estende o período analisado, vários anos, o ΔARM tende a zero, porque as perdas e ganhos de água no subsolo tendem a se anular. Assim, para uma média de vários anos, pode-se representar da seguinte forma: $Q = P - ET$.

De acordo com Balbinot (2008), as florestas dispõem de maiores taxas de transpiração do que outras formas de vegetação, resultando em bacias com o volume de água mais estável e uma menor produção de água, indo na contramão da compreensão histórica social de que a cobertura florestal influencia diretamente em um fluxo maior de água nos rios.

Outro componente importante no ciclo hidrológico que está relacionado com a cobertura florestal é a interceptação, principalmente em áreas de maciço florestal. Quando se tem o primeiro fracionamento de água, o qual ocorre no momento que há o recebimento da chuva pelas copas das árvores, parte deste volume de água é retida pela massa vegetal e sem seguida evaporada para a atmosfera. A outra parte alcança o solo, dando início aos processos de infiltração e escoamento superficial. A densidade da cobertura florestal irá controlar todo o processo de infiltração, evaporação, transpiração e escoamento superficial (FREITAS, et al., 2013).

Segundo Nakano (s.d.), as funções da cobertura florestal são: contribuir para a incorporação de água no solo; reforçar e manter a permeabilidade do solo; interceptar a água das chuvas através das folhas, galhos e raízes dos vegetais diminuindo a velocidade da chuva; diminuir a quantidade de água do solo através do processo de evapotranspiração, contribuindo também para a diminuição do escoamento superficial; e equilibrar a umidade do solo diminuindo a evaporação da água presente nas camadas superficiais do solo.

Doyle e Barros (2011) estudaram as vazões na região da bacia hidrográfica do rio da Prata, entre os anos de 1960 e 1999, e concluíram que o aumento das vazões era atribuído pela redução da evapotranspiração ligada ao desmatamento e uso agrícola. Sendo que esta região possuía previsão de precipitação negativa, isto é, houve uma compensação com a retirada da cobertura arbórea, aumentando assim as vazões. Para a bacia hidrográfica do rio Itacaiunas, na Amazônia, apresentou que a drástica mudança do uso de solo (na década de 1970, 99% da vegetação era florestal, no ano de 2013, 50% da vegetação era pastagem) causou aumento do deflúvio do rio de 85%, sendo o valor médio de 3010 m³/s (1973 – 1984) para 574 m³/s (2005 – 2013), beirando a instabilidades, mesmo com a redução da precipitação (SOUZA-FILHO et al., 2016).

Silberstein et al. (2003) concluíram que, em certas bacias do oeste australiano, a mudança da ocupação do solo de vegetação nativa para cultivares e pastagens elevou o lençol freático e, conseqüentemente, perenizou rios

anteriormente sazonais. Farley et al. (2005) apresentaram estudos sobre reflorestamento em 26 bacias experimentais de diversos países, concluindo que, em valores médios, com a substituição de pastagem e de vegetação arbustiva para espécies florestais, houve redução em 44% e 31% do deflúvio anual, respectivamente. Embora a redução do deflúvio anual aumente com o crescimento da floresta, o balanço hídrico da microbacia tende a voltar ao equilíbrio com o tempo.

Como demonstrado neste tópico há uma complexidade do tema adotado, por isso a necessidade de estudos específicos para cada bacia hidrográfica separadamente, entendendo a subjetividade das suas vazões em função das suas características vegetais.

2.4. Sensoriamento remoto orbital da cobertura florestal (Variabilidade qualitativa dos satélites)

O sensoriamento remoto orbital é uma ferramenta primordial para gerar os diagnósticos de uma bacia hidrográfica, sendo eles, o físico-conservacionista; social-econômico; ambiental; de vegetação; de água; de fauna; e de solo (CARNEIRO, 1981). Sendo fundamentais para um plano de manejo eficiente, há uma exigência de que os dados obtidos sejam legítimos, para isso devem apresentar o valor estimado mais próximo da realidade (baixo erro estatístico).

Muitas são as interferências relacionadas aos erros de sensoriamento, podendo ser do próprio satélite, das condições de iluminação e das características do alvo, das condições atmosféricas no horário do imageamento e do método de processamento aplicado à imagem. Quando referidas ao satélite, as variações dinâmicas de atitude e de velocidade são as principais fontes de falhas, já que o processamento eletrônico aplicado a imagens, depende, basicamente, da precisão geométrica e radiométrica (FERREIRA, 1994).

As correções geométricas estão diretamente ligadas à qualidade do registro da imagem, com o polinômio que melhor a represente, a qual também tem as funções de qualidade, precisão e distribuição de controle. Caso ocorram erros de posicionamento de um dos pares de pontos de controle, resultará na produção de um polinômio que não representa adequadamente a imagem geoprocessada. Na obtenção de séries históricas de uma mesma região, a correção geométrica é ainda

mais necessária, para que possa ser detectado as diferentes alterações ocorridas (FERREIRA, 1994).

A cobertura florestal é caracterizada como heterogênea, onde as folhas são as maiores responsáveis pela resposta espectral da cobertura, sofrendo alterações anatômicas e fisiológicas, morfológicas, atmosféricas e sazonais no decorrer do tempo e espaço (MEDEIROS, 1986). O estado fenológico da vegetação aliado às condições climáticas e de iluminação vão alterar a resposta espectral do mesmo. A Figura 2 expressa a curva de resposta de uma cobertura vegetal em relação ao comprimento de onda, destacando os pontos de maior reflexão e os pontos de absorção da radiação eletromagnética, na região do visível e do infravermelho próximo e médio. Deve-se ressaltar que a resposta espectral da vegetação está diretamente relacionada com o local em que se encontra, não podendo ser extrapolada para outras regiões.

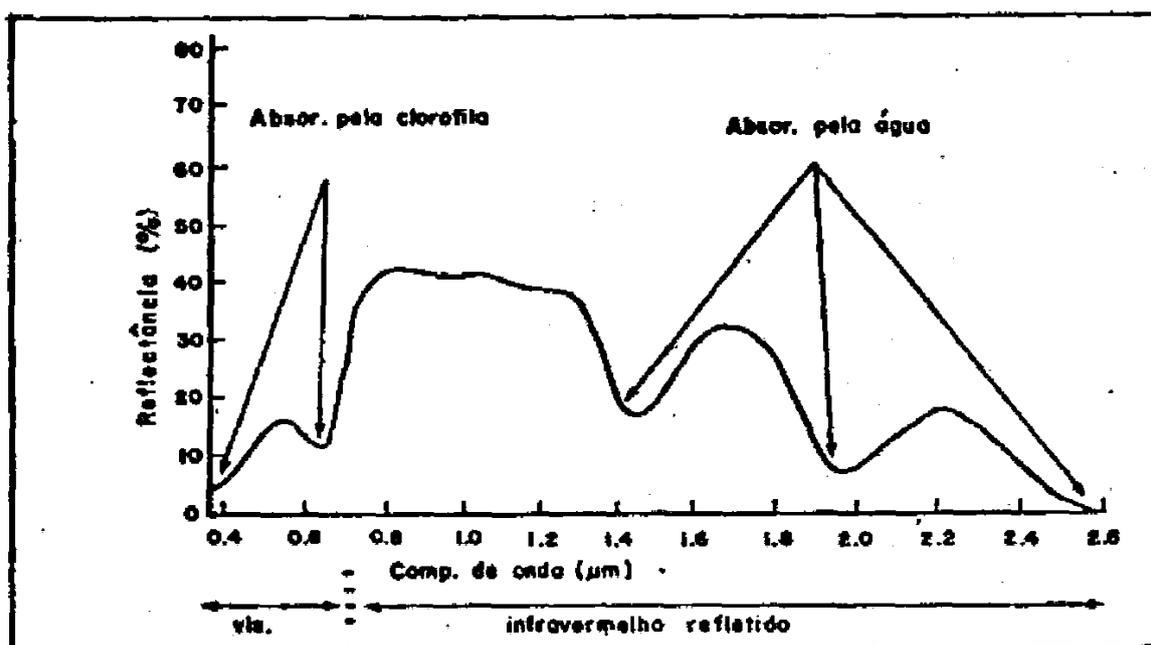


Figura 2 - Curva de reflectância da cobertura vegetal.

Fonte: Swain e Davis (1978).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área em estudo

Situada no sul do estado do Espírito Santo, a bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, principal fonte de recursos hídricos da região, detém, aproximadamente, 5.945,13 km² de área e 522.932 habitantes, contendo dezessete municípios capixabas: Alegre, Atílio Vivácqua, Cachoeiro de Itapemirim, Castelo, Conceição de Castelo, Ibatiba, Ibitirama, Irupi, Itapemirim, Lúna, Jerônimo Monteiro, Marataízes, Muniz Freire, Muqui, Presidente Kennedy, Vargem Alta e Venda Nova do Imigrante, além de uma pequena porção no município de Lajinha no estado de Minas Gerais (AGERH, 2018). Na Tabela 1, são apresentadas as porcentagens do território dos dezessete municípios que pertencem a BHRI.

Tabela 1 - Porcentagem da área dos municípios inseridos na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim.

Município	Área (km ²)	Porcentagem na bacia (%)
Alegre	772,68	99,84
Atílio Vivácqua	223,55	99,99
Cachoeiro de Itapemirim	878,60	99,93
Castelo	664,39	100,00
Conceição de Castelo	369,44	99,73
Ibatiba	238,98	87,95
Ibitirama	330,76	99,49
Irupi	185,00	99,59
Itapemirim	562,07	80,22
Lúna	459,88	60,54
Jerônimo Monteiro	162,09	99,97
Lajinha	435,72	7,71
Marataízes	130,22	99,65
Muniz Freire	679,34	99,93
Muqui	327,70	79,64
Presidente Kennedy	583,53	30,58
Vargem Alta	413,70	52,26
Venda Nova do Imigrante	185,98	99,76

Fonte: Modificado de AGERH (2018).

O rio principal da BHRI é o Rio Itapemirim, formado pela confluência dos Rios Braço Norte Direito e Braço Norte Esquerdo que possui 320 km de extensão, os quais proveem das nascentes, respectivamente, no Parque Nacional do Caparaó e na Serra de São Domingos, localizado próximo à divisa dos estados do Espírito Santo e Minas Gerais. Os principais afluentes são os rios Castelo e Muqui do Norte, seguindo assim ao encontro do Oceano Atlântico, no município de Itapemirim, conforme Figura 3.

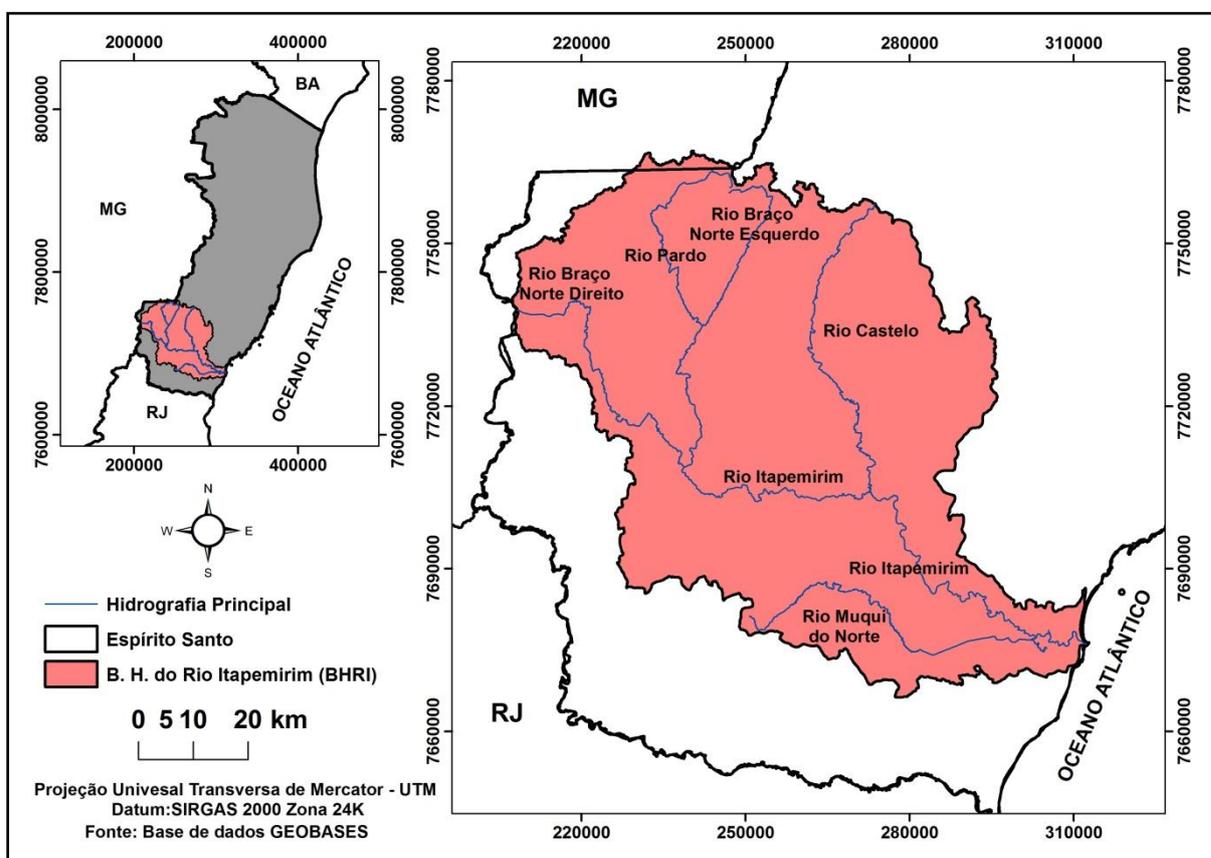


Figura 3 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim (BHRI) no estado do Espírito Santo.

As condições meteorológicas são: o índice pluviométrico médio anual é de 1.320 mm, oscilando de 919 mm (região costeira) a 1.733 mm, nas regiões declivosas (IBGE, 2013). A média de precipitação anual no estado do Espírito Santo é de 1.219 mm, isto é, a incidência de chuva na região da BHRI é maior devido à sua topografia moderada a grave acidentada na Serra do Caparaó, as quais estão presentes suas nascentes; em relação ao clima, segundo a classificação de Köppen, os tipos climáticos predominantes são o “Cwa” – Clima subtropical de inverno seco

(com temperaturas inferiores a 18°C) e verão quente (com temperaturas superiores a 22°) e o “Cwb” – Clima subtropical de altitude, com inverno seco e verão ameno (Mendes, 2016), com estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e nítida estação seca no inverno, de maio a outubro (Aw) (IBGE, 2013).

A BHRI pertence ao bioma Floresta Atlântica, com presença marcante de fragmentos florestais, além da área expressiva de cultivo agrícola, na parte mais elevada da bacia. Ao longo da sua extensão, se tem uma porcentagem maior de pastagens, ou seja, a pastagem constitui mais da metade de toda a bacia (AGERH, 2018).

O relevo pode ser caracterizado como acidentado na porção oeste e no interior da bacia há presença de platôs, e na região costeira há predominância de formas planas. Quanto à classificação pedológica, o predomínio é de Cambissolo Háplico (25,71%), logo após vem o Latossolo Amarelo (22,09%) e o Argissolo Vermelho (10,05%) (IBGE, 2013).

3.2. Base de dados utilizada para o mapeamento da cobertura florestal

O mapeamento da cobertura florestal foi realizado a partir da base de dados do projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (MapBiomas), o qual é resultante de uma rede colaborativa de especialistas nos biomas brasileiros, usos e ocupação da terra, sensoriamento remoto, SIG e ciência da computação que utilizam armazenamento em nuvem e classificadores automatizados da plataforma *Google Earth Engine* para gerar mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil, do ano de 1985 a 2017.

3.2.1. Apuração das imagens do satélite Landsat

O período determinado para a seleção de imagens para o bioma Floresta Atlântica foi de 1º de abril a 30 de agosto, após a remoção/mascaramento da cobertura de nuvens, assim se obteve um mosaico de imagens com pouca ou nenhuma interferência de nuvens e sombras.

Para cada ano foi usada a melhor imagem do satélite Landsat disponível, ou seja, aquela que tem pouca ou nenhuma interferência de nuvens. Do ano 1985 ao ano 1999 utilizou-se o Landsat 5, do ano 2000 a 2002 se empregou o Landsat 7 e do ano 2003 a 2011 se empregou o Landsat 5. Na Tabela 2 são mostradas as características de resolução dos satélites Landsat 5 e Landsat 7, ambas com resolução radiométrica de 8 bits (EMBRAPA TERRITORIAL, 2018).

Tabela 2 - Características das imagens dos satélites Landsat 5 e Landsat 7.

Satélites	Sensores	Bandas Espectrais	Resolução Espacial (m)
Landsat 5	TM	B1 (azul)	30
		B2 (verde)	
		B3 (vermelho)	
		B4 (infravermelho próximo)	
		B5 (infravermelho médio)	120
		B6 (infravermelho termal)	
		B7 (infravermelho médio)	30
Landsat 7	ETM+	B1 (azul)	30
		B2 (verde)	
		B3 (vermelho)	
		B4 (infravermelho próximo)	60
		B5 (infravermelho médio)	
		B6 (infravermelho termal)	30
		B7 (infravermelho médio)	15
		B8 (pancromático)	

Fonte: Modificado de EMBRAPA TERRITORIAL (2018).

3.2.2 Classificação do Uso e Ocupação da Terra (UOT)

Segundo o projeto MapBiomass, o esquema de classificação digital para o bioma Floresta Atlântica individualizou oito subconjuntos de classes de Uso e Ocupação da Terra (UOT): formação florestal, formação savânica, formação campestre, mosaico de agricultura e pastagem, afloramento rochoso, outra área não vegetada (Tabela 11) e corpos d'água e 29 variáveis de classificação (Tabela 3), que incluem as bandas de espectrais do Landsat, os índices de vegetação, variáveis derivadas da modelagem da mistura espectral, morfometria do terreno e uma medida de textura espacial. A escolha dessas variáveis foi feita a partir do

conhecimento local sobre as dinâmicas espectrais, espaciais e temporais, para determinar os alvos de referência.

Tabela 3 - Variáveis de classificação dos mosaicos de imagens do satélite Landsat.

Variável	Descrição	Estatística
Blue	Banda do satélite Landsat	Mediana
Green	Banda do satélite Landsat	Mediana
Near Infrared (NIR)	Banda do satélite Landsat	Mediana
Red	Banda do satélite Landsat	Mediana
Shortwave Infrared (SWIR) 2	Banda do satélite Landsat	Mediana
Evi 2	Vegetação melhorada. Índice 2	Mediana
NDVI	Diferença normalizada. Índice de vegetação	Mediana
NDVI Dry	Diferença normalizada. Índice de vegetação	Mediana
NDVI West	Diferença normalizada. Índice de vegetação	Mediana
Savi	Índice da vegetação ajustada ao solo	Mediana
Sefi	Ecosistemas de savana. Índice de frações	Mediana
Sefi	Ecosistemas de savana. Índice de frações	Desvio Padrão
Ndwi	Diferença Normalizada. Índice de Água	Mediana
Ndwi Dry	Diferença Normalizada. Índice de Água	Mediana
Ndwi West	Diferença Normalizada. Índice de Água	Mediana
Gv	Fração vegetal verde	Mediana
Gvs	$GV/(100 - \text{sombra})$	Mediana
Ndfi	Diferença Normalizada. Índice de frações	Mediana
Ndfi	Diferença Normalizada. Índice de frações	Desvio Padrão
Ndfi Dry	Diferença Normalizada. Índice de frações	Mediana
Ndfi Wet	Diferença Normalizada. Índice de frações	Mediana
Npv	Fração Npv	Mediana
Npv	Fração Npv	Desvio Padrão
Shade	Fração de sombra	Mediana
Soil	fração do solo	Mediana
Soil	fração do solo	Desvio Padrão
Green spatial textures	Textura espacial	Mediana
Slope	Inclinação	-

Fonte: MapBiomias (2018).

A classificação digital da UOT foi realizada a partir do *Algoritmo Forest* (Breiman, 2001) disponível no *Google Earth Engine*. Sendo realizada para cada ano

da série histórica (33 anos) nas amostras de referência. As fontes principais das amostras de pixels foram: amostras estáveis extraídas da Coleção 2.3 do programa MapBiomias; desenho manual de polígonos; e amostras complementares.

A extração das amostras estáveis da coleção 2.3 seguiu um limiar para cada classe de UOT, especificando um número mínimo de anos (17 anos) em que um pixel deve permanecer com essa classe para ser considerada uma amostra estável. Logo após, foram delimitadas zonas com erros por omissão nas classes de UOT, por meio de polígonos, e por fim se formou uma “máscara” para exclusão desses pixels classificados erroneamente. Houve uma segunda limpeza comparando os pixels estáveis com um mapa referência da plataforma SOS Mata Atlântica (2014) e FBDS (2013), excluindo todos os pixels que sofreram alguma discordância. Resultou-se então em uma camada de amostras estáveis, um subconjunto de dez mil pixels foi selecionado aleatoriamente e usado como áreas de referência para classificar as classes de UOT ao decorrer dos trinta e três anos de análise, executando cinquenta interações.

Os polígonos desenhados manualmente foram utilizados para adicionar amostras para classes de UOT com pouco frequência, também para ajudar a enriquecer a representação das classes com algum problema de classificação das amostras da coleção 2.3 do MapBiomias. O desenho foi realizado no editor de códigos do *Google Earth Engine* usando mosaicos Landsat como plano de fundo. No final foi aplicado o conceito de amostras estáveis, assim como nas amostras extraídas da coleção 2.3 do MapBiomias.

A necessidade de amostras complementares foi avaliada por inspeção visual e comparando os resultados do ano 2011 com os resultados do mapa da SOS Mata Atlântica (2014) e FBDS (2013). Quando alguma classe apresentava descontinuidade em algum ano ou apresentava alguma discordância, essa técnica era aplicada para melhorar a qualidade da classificação para estes casos específicos. O procedimento foi feito pelo editor de códigos do *Google Earth Engine* por meio de polígonos desenhados manualmente, verificando as cores falsas dos mosaicos do satélite Landsat para todo o período de estudo.

No fim da extração das amostras estáveis se fez a classificação preliminar por um subconjunto de três mil pixels selecionados aleatoriamente (dois mil pixels extraídos da coleção 2.3 do MapBiomias e mil pixels extraídos dos polígonos desenhados manualmente) e usados como áreas de referência para classificação,

ao decorrer dos trinta e três anos, com o *Random Forest Algorithm*, com 100 interações.

Na classificação final foram utilizadas quatro mil amostras de pixels do mapa de classes do UOT, duas mil amostras de pixels de cada classe do UOT, quando disponíveis, e duas mil amostras coletadas para balancear o conjunto de dados de referência. Para todos os anos de análise foi empregado o mesmo subconjunto de amostras o qual foi configurado no mesmo mosaico do ano que foi classificado.

3.2.2. Pós classificação das classes de Uso e Ocupação da Terra (UOT)

Posteriormente à classificação de UOT, foi aplicado um filtro temporal para todos os anos de estudo com regras específicas para ajustar os casos em que um pixel aparecesse em dois anos subsequentes na classe “não observado”. Três grupos de regras foram determinados: (a) regras para casos não observados no primeiro ano (RP); (b) regras para casos não observados no ano final (RU); e (c) regras de legitimidade das transições para os anos intermediários. Como saída deste processo se teve o mapa de UOT final para o bioma Floresta Atlântica nos trinta e três anos de análise (1985 a 2017).

3.3. Obtenção das porcentagens de cobertura florestal para cada sub-bacia da BHRI

Mendes (2016), a partir de imagens do Landsat 5, que incluíram o período de 1985 a 2011, em intervalos de dois anos, adotou 7 anos bases para a análise de cobertura florestal (1987, 1991, 1995, 1999, 2003, 2007 e 2011), a partir das quantificações dos percentuais de florestas obtidos para estes períodos pela classificação supervisionada. Desta forma, se seguiu a mesma metodologia de Mendes (2016), mudando a fonte das imagens, de Landsat 5 para a plataforma MapBiomas e o método de classificação da cobertura florestal, de classificação supervisionada para *Random Forest Algorithm*.

Adquiriu-se as imagens de classes do UOT do litoral sul do Espírito Santo dos anos base (1987, 1991, 1995, 1999, 2003, 2007 e 2011), por meio dos scripts do

MapBiomas no *Google Earth Engine*, em formato raster. Das classes de UOT fornecidas pelo MapBiomas, foi selecionado apenas aquelas que se caracterizava como cobertura florestal, foram elas: Formação Florestal, Formação Savânica e Floresta Plantada. A formação Savânica esteve presente apenas na área da foz da BHRI, portanto não foi levada em consideração na análise.

No software ArcGIS 10.3.1 (ESRI, 2015) foi feita as correções geométricas, sendo reprojctadas pela ferramenta *“Project Raster”* para projeção UTM, SIRGAS 2000, zona 24S. Logo após, foi aplicada a ferramenta *“Extract by Mask”* para o recorte da imagem do litoral sul do Espírito Santo para a área da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim (BHRI), a qual foi fornecido pelo Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo (GEOBASES) em formato *shapefile*. Para que os procedimentos fossem realizados em apenas um formato de arquivo, as imagens das classes de UOT da BHRI foram transformadas em arquivos *shapefile* (polígonos) na ferramenta *“Raster to Polygon”*. A Figura 4 tem a representação da metodologia aplicada no software ArGIS 10.3.1 (ESRI, 2015), para melhor elucidação.

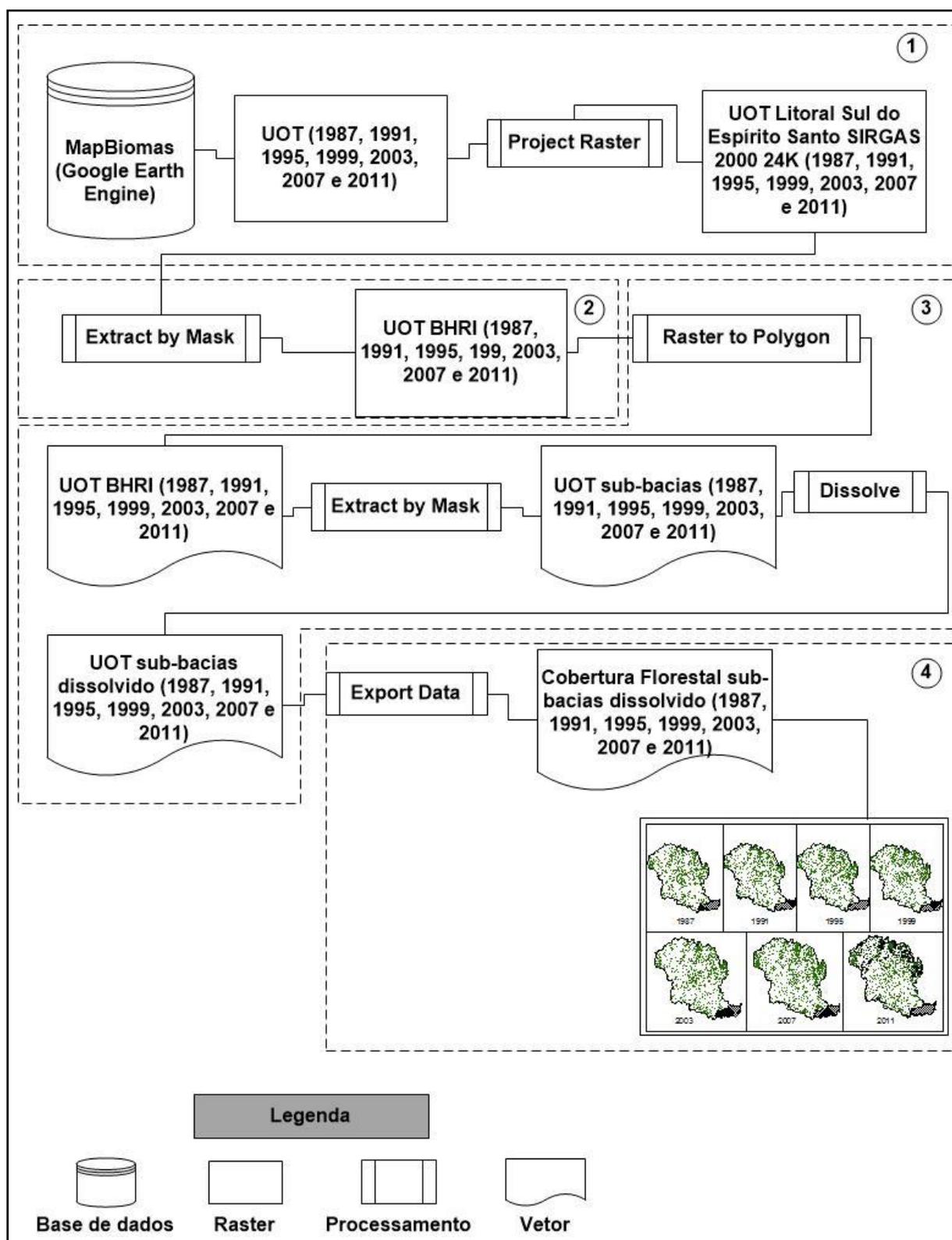


Figura 4 - Fluxograma do processamento das imagens no software ArcGIS.

Fonte: A autora.

Como as porcentagens foram calculadas para cada das onze sub-bacias dentro da BHRI, a imagem das classes de UOT da BHRI foi recortada para cada

área das onze sub-bacias na mesma ferramenta de recorte utilizada anteriormente (“*Extract by Mask*”). Por fim foi aplicada a ferramenta “*Dissolve*” e “*Export data*”, para a seleção da classe de UOT “formação florestal” e “floresta plantada”. Na Equação 1 tem-se a representação do cálculo da porcentagem de cobertura realizado usando a função “*Field Calculator*”.

$$CF = \left(\frac{A}{B} \right) 100 \quad (1)$$

Em que,

CF: porcentagem de cobertura vegetal na sub-bacia;

A: área das classes de UOT formação florestal e floresta plantada da sub-bacia;

B: área total de todas as classes de UOT da sub-bacia.

3.4. Aquisição das séries históricas das vazões da bacia hidrográfica do Rio Itapemirim (BHRI)

As séries históricas das vazões foram obtidas pelo Sistema de Informações Hidrológicas da ANA (*Hidroweb*), onde se tem os dados das onze estações fluviométricas presentes na BHRI, como mostra a Figura 5, inclusive a área de estudo foi subdividida de acordo com as áreas de contribuição pertinentes a cada uma dessas onze estações fluviométricas, a fim de analisar em escalas menores a dinâmica da cobertura florestal. A delimitação das sub-bacias a partir dessas estações fluviométricas também é ilustrada na Figura 5. Na foz da BHRI não se tem nenhuma estação fluviométrica, portanto essa área (296,50 km²) não foi considerada nas análises feitas.

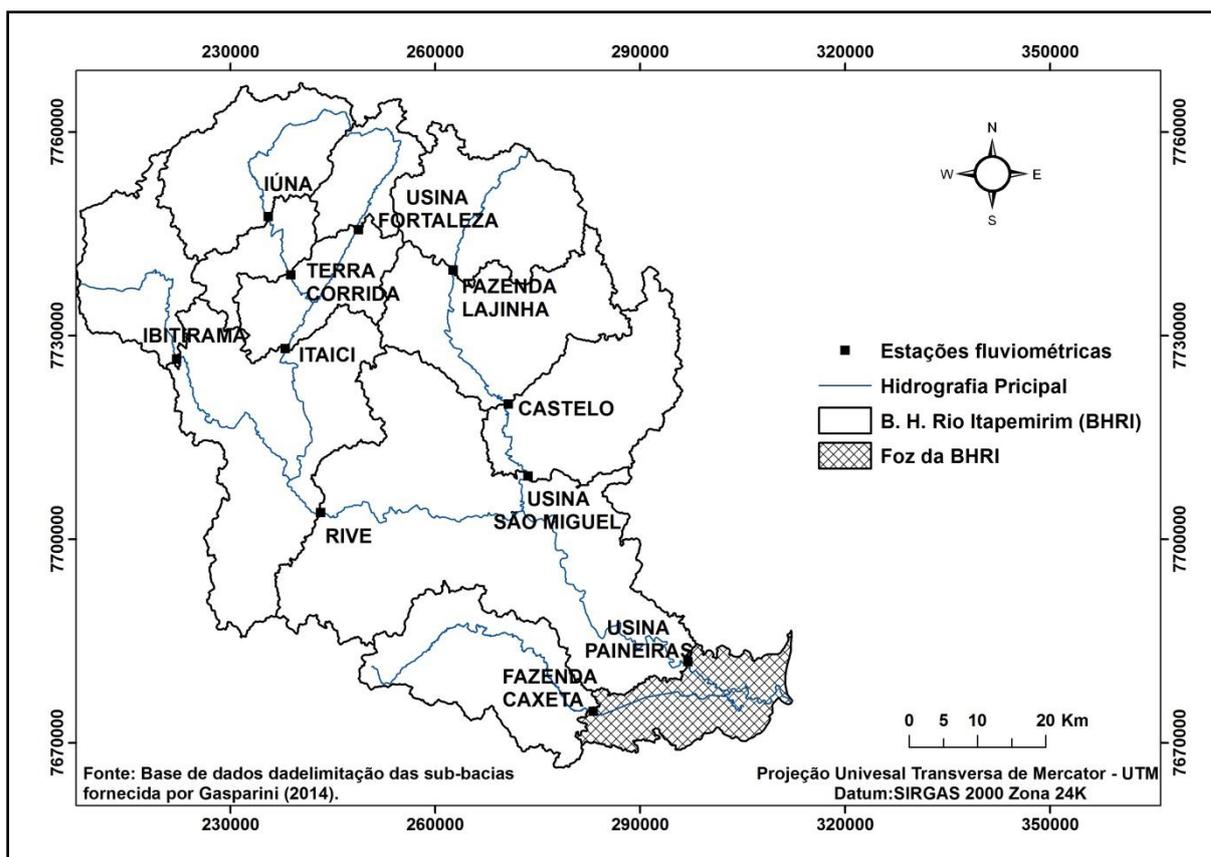


Figura 5 - Posicionamento das estações fluviométricas na bacia hidrográfica do rio Itapemirim.

Para cada uma das onze estações fluviométricas foram determinadas três tipos de vazões: vazão mínima média com sete dias de duração (Q_7); vazão média anual (Q_{med}); e vazão máxima anual (Q_{max}). Sendo que as Q_7 e Q_{max} foram referentes aos anos bases do estudo (1987, 1991, 1995, 1999, 2003, 2007 e 2011), e para a Q_{med} utilizou-se a média das vazões dos três anos anteriores à cada ano base. A determinação das respectivas vazões foi realizada pelo software HIDRO 1.2.1 (ANA, 2015) e o ano hidrológico determinado com início em outubro e término em setembro.

Analisou-se a estacionariedade das séries históricas das vazões a fim de verificar a ocorrência de mudanças significativas. Cada série foi dividida em duas amostras – 1984 a 2011. Ao final aplicou-se o teste F de Fisher e pelo teste t de Student, com 1% de probabilidade.

3.5. Aquisição das séries históricas da precipitação pluviométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim (BHRI)

Os dados pluviométricos são de suma importância na análise de disponibilidade hídrica de uma bacia, porque ajuda diretamente na compreensão do comportamento hidrológico do curso d'água. O parâmetro precipitação média anual é o mais utilizado para este fim, devido que o volume da precipitação influencia fortemente na dinâmica da vazão. Em questão dos cursos d'água, o volume de precipitação afeta diretamente na dinâmica de suas vazões, atuando no comportamento em períodos de estiagens e cheias (MENDES, 2016).

As séries históricas das chuvas mensais (mm) foram obtidas de vinte e nove estações pluviométricas da Agência Nacional de Água – ANA (Figura 6). Algumas destas estações pluviométricas estão localizadas na periferia da bacia hidrográfica e foram utilizadas para minimizar o efeito de borda na metodologia de interpolação das chuvas.

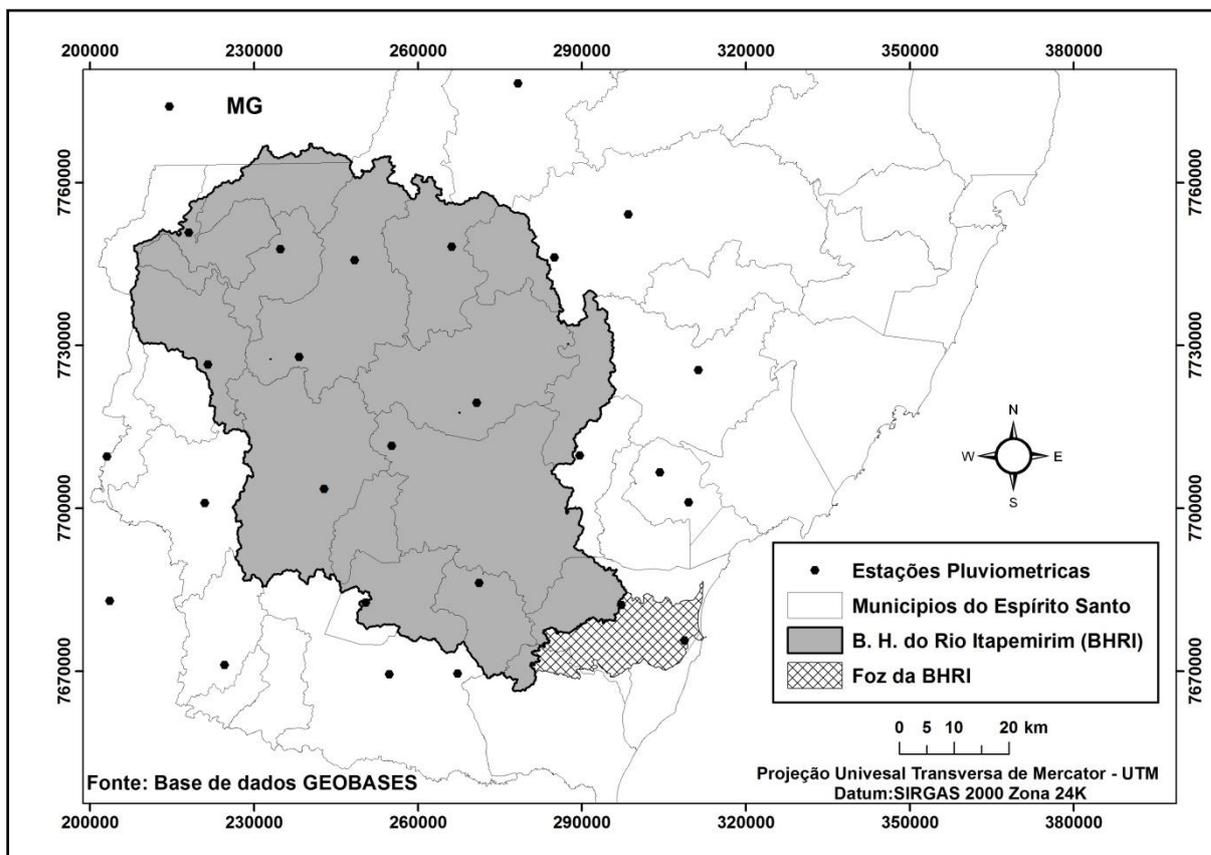


Figura 6 - Posicionamento das estações pluviométricas analisadas.

A estimativa das chuvas médias mensais e totais anuais para a BHRI foi calculada a partir da interpolação Inverso da Potência da Distância ao Quadrado (IPD^2). O modelo foi escolhido com base na metodologia proposta por Xavier et al. (2010), os quais foram avaliados os modelos IPD nas potências de 1 a 6, Krigagem (exponencial, esférica, gaussiana e linear), Spline, Vizinho mais próximo e Polinomial (linear, quadrático e cúbico). O modelo IPD^2 obteve o melhor desempenho na validação cruzada para a maioria dos anos analisados, considerando o RQME (Raiz do Quadrado Médio do Erro).

Com os números da precipitação pluviométrica interpolados para cada sub-bacia, os mesmos foram organizados para cada ano hidrológico, para se obter o total anual para cada ano (P_a). Da série de tempo entre 1985 e 2011, foi utilizado os dados de chuvas anuais dos sete anos bases (1987, 1991, 1995, 1999, 2003, 2007 e 2011). Por fim se fez a média da P_a dos três anos anteriores à cada um dos anos bases analisados.

Foram realizadas análises de estacionariedade das séries históricas das chuvas médias anuais de cada estação a fim de verificar a ocorrência de mudanças

significativas. Cada série foi dividida em duas amostras – 1984 a 2011. Ao final as amostras foram testadas pelo teste F de Fisher e pelo teste t de Student, com 1% de probabilidade. A partir dos testes estatísticos, pode-se dizer que as precipitações anuais de cada estação analisada, no período de tempo determinado, não se diferiram entre si, isto é, apresentaram características homogêneas, sem flutuações meteorológicas.

3.6. Análise estatística dos dados

Para cada sub-bacia estudada se fez uma análise de correlação linear entre a variável porcentagem de cobertura florestal encontrada no mapeamento das classes de UOT e a variável das diferentes vazões (Q_7 , Q_{med} e Q_{max}) referentes aos anos bases 1987, 1991, 1995, 1999, 2003,2007 e 2011. Assim, verificou-se a relação entre as duas variáveis pelo teste F a 5% de probabilidade.

A segunda análise realizada foi a de correlação parcial entre as duas variáveis, fixando os valores de precipitação anual média, podendo avaliar se a variação da porcentagem de cobertura florestal influenciou no regime das diferentes vazões, quando o efeito da precipitação anual média é levado em consideração das sub-bacias estudadas pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

O cálculo da correlação parcial foi realizado da seguinte maneira: com a inversão da matriz de correlação de Pearson (r) se obteve a matriz C (Equação 2). A seguir foi calculado o coeficiente de correlação parcial ($r_{ij,m}$), usando a Equação 3.

$$C = \begin{bmatrix} C_{1,1} & C_{1,2} & C_{1,3} & \dots & C_{1,P} \\ C_{2,1} & C_{2,2} & C_{2,3} & \dots & C_{2,P} \\ C_{3,1} & C_{3,2} & C_{3,3} & \dots & C_{3,P} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ C_{P,1} & C_{P,2} & C_{P,3} & \dots & C_{P,P} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$r_{ij . m} = - \frac{c^{ij}}{\sqrt{c^{ii}c^{jj}}} \quad (3)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados obtidos das porcentagens de cobertura florestal da BHRI, assim como as relações com as diferentes vazões analisadas (Q_7 , Q_{med} e Q_{max}). Também foi avaliada a relação da precipitação média anual das onze sub-bacias com as vazões estudadas, buscando compreender melhor o regime hidrológico da BHRI.

4.1. Mapeamento da Cobertura Florestal na BHRI

Nas Figuras 7 e 8 são apresentados os resultados do mapeamento da cobertura florestal do primeiro ano hidrológico estudado, 1987, e do último ano hidrológico estudado, 2011. A porcentagem de cobertura florestal aumentou, do ano de 1987 para o ano de 2011, cerca de 4,2% (158,7 km²), isso se deu pelo acréscimo proveniente da porcentagem de floresta plantada (Figura 9) e por áreas abandonadas que, com o tempo, ocorreu a regeneração natural da vegetação, formando uma capoeira. Pirovani (2010) estudando a fragmentação florestal, dinâmica e ecologia da paisagem na BHRI, constatou que as áreas que eram classificadas como solo exposto, no ano de 1970, diminuíram no decorrer do período analisado (1970 a 2007), isto é, em 1970 estas áreas de solo exposto correspondiam a 8,16% da paisagem, já no ano de 2007, reduziram pela metade, apresentando o equivalente a 4,51% da paisagem. Essa dinâmica pode ser explicada devido ao aumento da classe denominada pasto sujo, representando as áreas de regeneração natural, que passou de 8,82%, no ano de 1970 para 9,51% no ano de 2007.

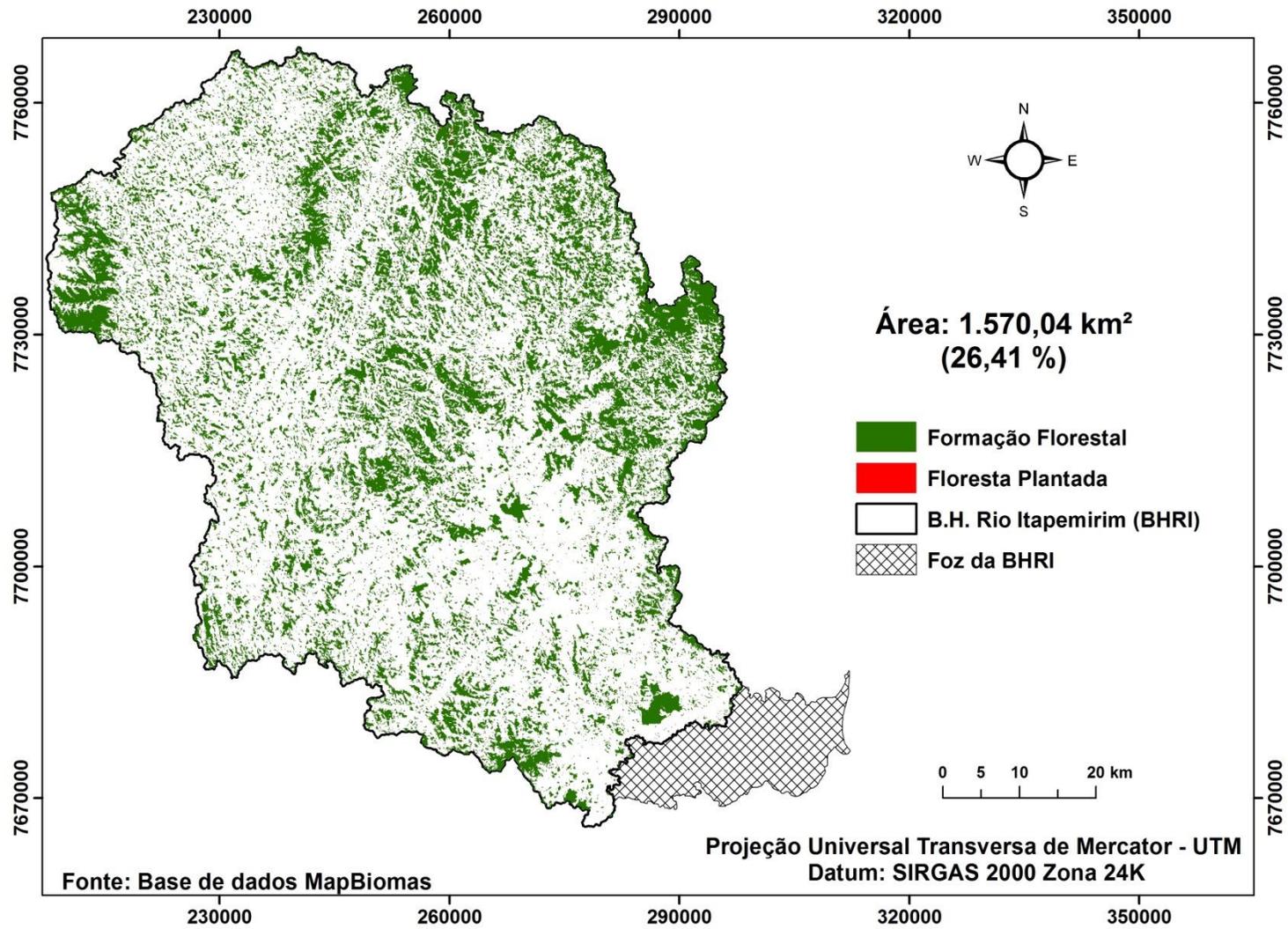


Figura 7 - Mapeamento da cobertura florestal da bacia hidrográfica do rio Itapemirim no ano de 1987.

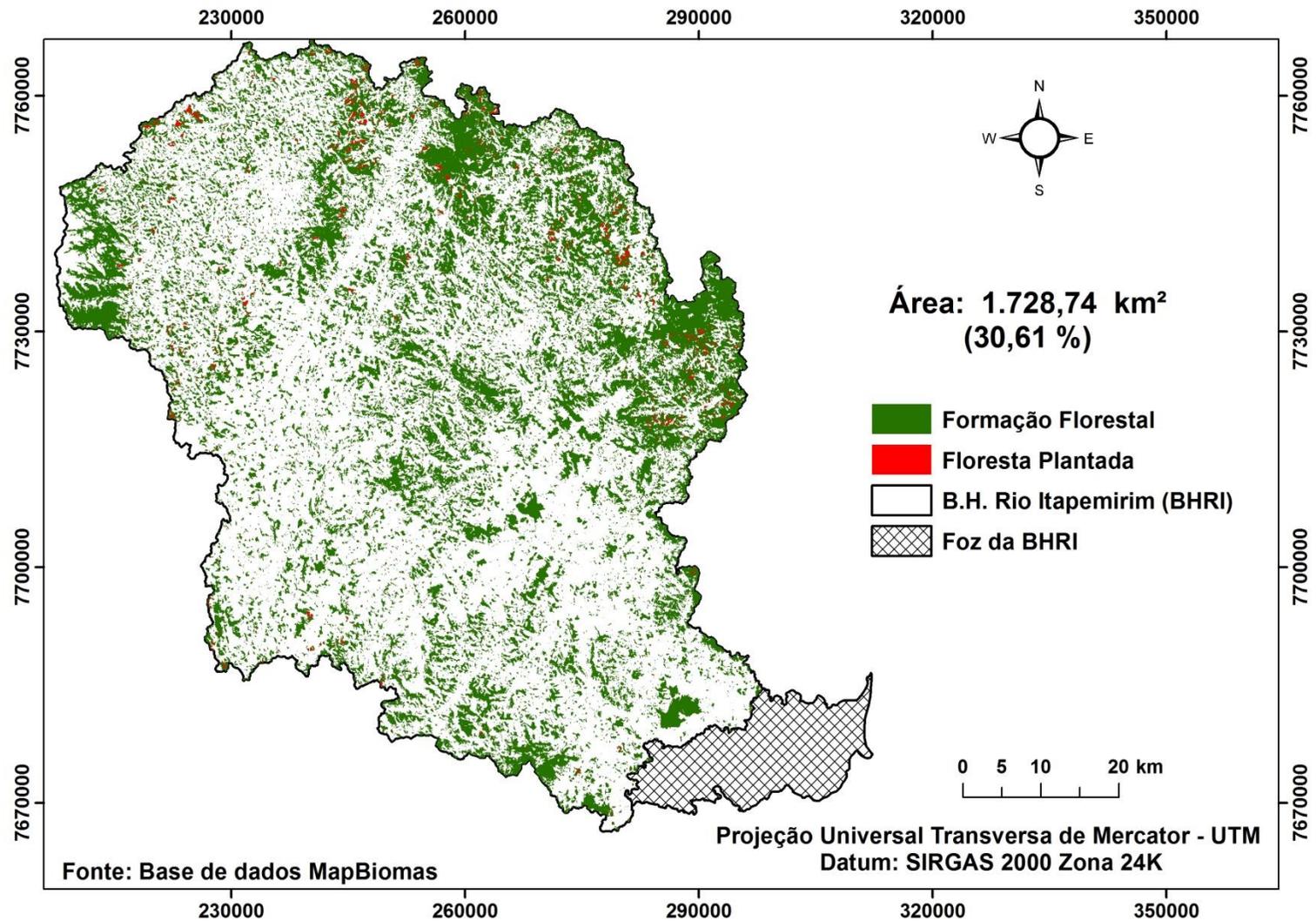


Figura 8 - Mapeamento da cobertura florestal da bacia hidrográfica do rio Itapemirim no ano de 2011.

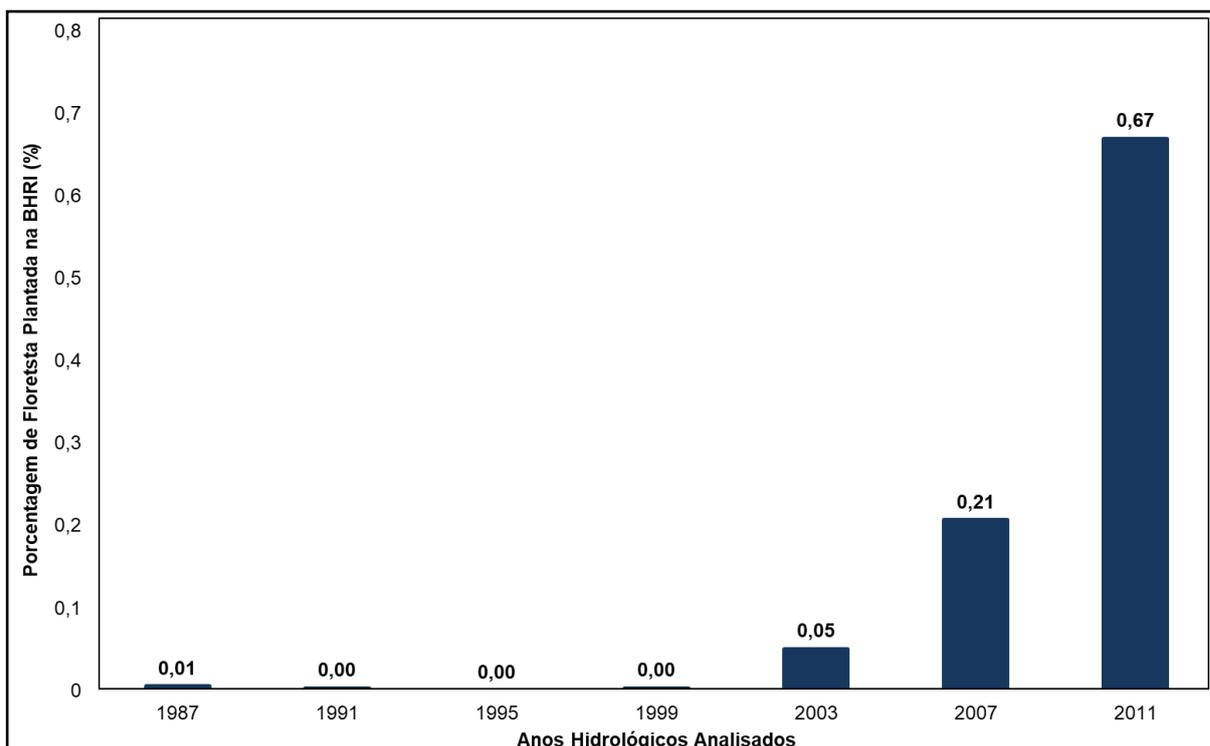


Figura 9 - Porcentagem de floresta plantada na bacia hidrográfica do rio Itapemirim, no decorrer dos anos analisados.

Fonte: a autora. Base de dados MapBiomas.

Pirovani (2010) ainda avaliou as porcentagens das classes do Uso e Ocupação da Terra (UOT), e observou que houve uma redução de 0,26%, do ano de 1970 para o ano de 2007, da classe fragmentos florestais. No estudo de Pirovani também se teve a classificação dos fragmentos florestais mapeados em pequenos, médio e grandes. O maior fragmento florestal encontrado foi o da Reserva de Cafundó (13,06 km²), o segundo maior fragmento foi o da Floresta Nacional de Pacotuba (4,59 km²), esses dois fragmentos representaram 3,04% no número total de fragmentos florestais, os fragmentos classificados como médios representaram cerca de 22,80% e os fragmentos classificados como pequenos corresponderam a 74,15%. Coutinho e Sampaio (2007) avaliaram a cobertura florestal da BHRI entre os anos de 1977 e 2006 (29 anos), com imagens do satélite Landsat 2 e CBERS-2, e encontraram os valores, para o ano de 1977 e 2006, respectivamente, de 38,4% (2.283,7 km²) e 30,4% (1.808,4 km²). Já Mendes (2016) mapeou a área florestal da BHRI, com imagens do satélite Landsat 5, nos anos de 1987; 1991; 1995; 1999;

2003; 2007 e 2011 e encontrou 31,3% (1.767,7 km²) para o ano de 1987 e 28,7% (1.621,2 km²) para o ano de 2011.

Observa-se que os resultados obtidos neste estudo vão de encontro da literatura aqui citada, já que nestas, não foram mapeados a porcentagem de floresta plantada na área, apenas foi estudada as formações florestais naturais existentes. Rosa (2016), comparando as diferentes metodologias do Atlas produzido pela SOS Mata Atlântica/INPE e da plataforma do MapBiomas no mapeamento da cobertura florestal encontrou que a plataforma do MapBiomas é mais inclusiva, sendo que 27,3% da área do Bioma Floresta Atlântica está coberto por florestas, já pela plataforma Atlas da SOS/INPE esse valor é de apenas 12,3%. Essas diferenças podem ser explicadas pelo fato do MapBiomas também incluir florestas plantadas e pequenos fragmentos de floresta entorno dos rios.

Em relação as onze sub-bacias estudadas, estas apresentaram os valores de cobertura florestal, apresentados na Tabela 4. As sub-bacias que obtiveram as maiores porcentagens de cobertura florestal média foram a Fazenda Lajinha (49,0%), Usina de São Miguel (42,8%), Castelo (41,0%) e Ibitirama (37,3%). Em contrapartida se têm as sub-bacias Lúna (21,6%), Terra Corrida (22,0%), Fazenda Cacheta (25,9%) e Itaiçi (26,0%), com as menores porcentagens de cobertura florestal média. Para Coutinho e Sampaio (2007), sobre as sub-bacias com maiores porcentagens de cobertura florestal média, a maior representatividade de florestas na região da BHRI se encontra no Parque Nacional (PARNA) do Caparaó, o qual está situado nos municípios de Conceição do Castelo, Vargem Alta, Castelo, Cachoeiro de Itapemirim e Itapemirim. Além do PARNA do Caparaó, dentro da BHRI, se encontra outras áreas de remanescentes florestais protegidos, como o Parque Municipal do Itabira, a Floresta Nacional (FLONA) de Pacotuba e a Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN) de Cafundó.

Tabela 4 - Porcentagens de cobertura florestal das onze sub-bacias estudadas da bacia hidrográfica do rio Itapemirim (BHRI), durante os sete anos hidrológicos observados.

Sub-bacias	Cobertura Florestal							Média	Desvio Padrão
	1987	1991	1995	1999	2003	2007	2011		
Castelo	37,00	39,2	42,2	43,5	38,6	42,5	43,7	41,0	2,7
Fazenda Caxeta	23,67	24,0	25,2	26,6	26,5	26,9	28,3	25,9	1,7
Fazenda Laginha	42,28	46,2	48,3	52,2	46,4	53,0	54,7	49,0	4,5
Ibitirama	35,53	36,2	37,9	39,1	35,7	38,3	38,5	37,3	1,5
Itaici	24,33	24,7	27,0	29,2	21,3	26,2	29,4	26,0	2,9
Iúna	18,64	20,0	22,8	25,2	16,1	21,5	26,9	21,6	3,7
Rive	24,74	24,5	26,8	27,5	22,0	24,9	26,8	25,3	1,9
Terra Corrida	19,82	20,8	23,6	25,7	16,3	21,8	26,0	22,0	3,4
Usina Fortaleza	33,24	33,8	32,8	38,3	32,4	37,4	40,7	35,5	3,3
Usina Paineiras	27,89	27,9	30,6	31,0	27,2	29,5	30,8	29,3	1,6
Usina São Miguel	39,04	40,4	44,4	45,2	41,1	44,1	45,5	42,8	2,6

Fonte: a autora.

Discutindo as porcentagens máximas e mínimas de cobertura florestais encontradas, temos que a maior variação ocorreu na Fazenda Lajinha (4,5%), seguida de Lúna (3,7%), Terra Corrida (3,3%), Usina Fortaleza (3,3%), Itaici (2,9%), Castelo (2,7%), Usina São Miguel (2,6%), Rive (1,9%), Fazenda Cacheta (1,7%), Usina Paineiras (1,6%), Ibitirama (1,5%). Estes valores são mais baixos que os valores encontrados por Mendes (2016) de 17,6% para a sub-bacia Fazenda Cacheta, 10,3% para Fazenda Lajinha, 10,1% para Usina Paineiras, 8,9% para Usina Fortaleza, 16,1% para Usina São Miguel, 7,3% para Lúna, 7,0% para Castelo, 6,3 para Ibitirama, 6,1% para Terra Corrida, 6,1 para Itaici e para Rive 5,6%. Pode-se dizer então que o mapeamento realizado pelo MapBiomas varia menos em relação ao mapeamento realizado por Mendes (2016).

Na Figura 10 se tem os gráficos dos valores encontrados neste estudo (gráfico A) e os valores encontrados por Mendes (2016), Gráfico B. Os valores encontrados por Mendes (2016) são condizentes com os encontrados neste estudo, para as sub-bacias Fazenda Lajinha (41,9%), Usina São Miguel (37,2%), Castelo (34,3%) e Ibitirama (33,1%), já para a sub-bacia Lúna foi encontrado a menor porcentagem, cerca de 13,6%. Tem-se então, que as sub-bacias citadas se comportaram da mesma forma nos dois estudos, mesmo com parâmetros de classificação diferentes. Mendes (2016) classificou as porcentagens de cobertura florestal pela classificação supervisionada, já neste estudo foi utilizado o método de *Random Forest Algorithm*. Uma razão dos resultados desses dois estudos darem parecidos é a influência das áreas das sub-bacias sobre os mapeamentos realizados. A base de dados da delimitação das sub-bacias foi a mesma nos dois estudos, sendo esta realizada por Gasparini (2014).

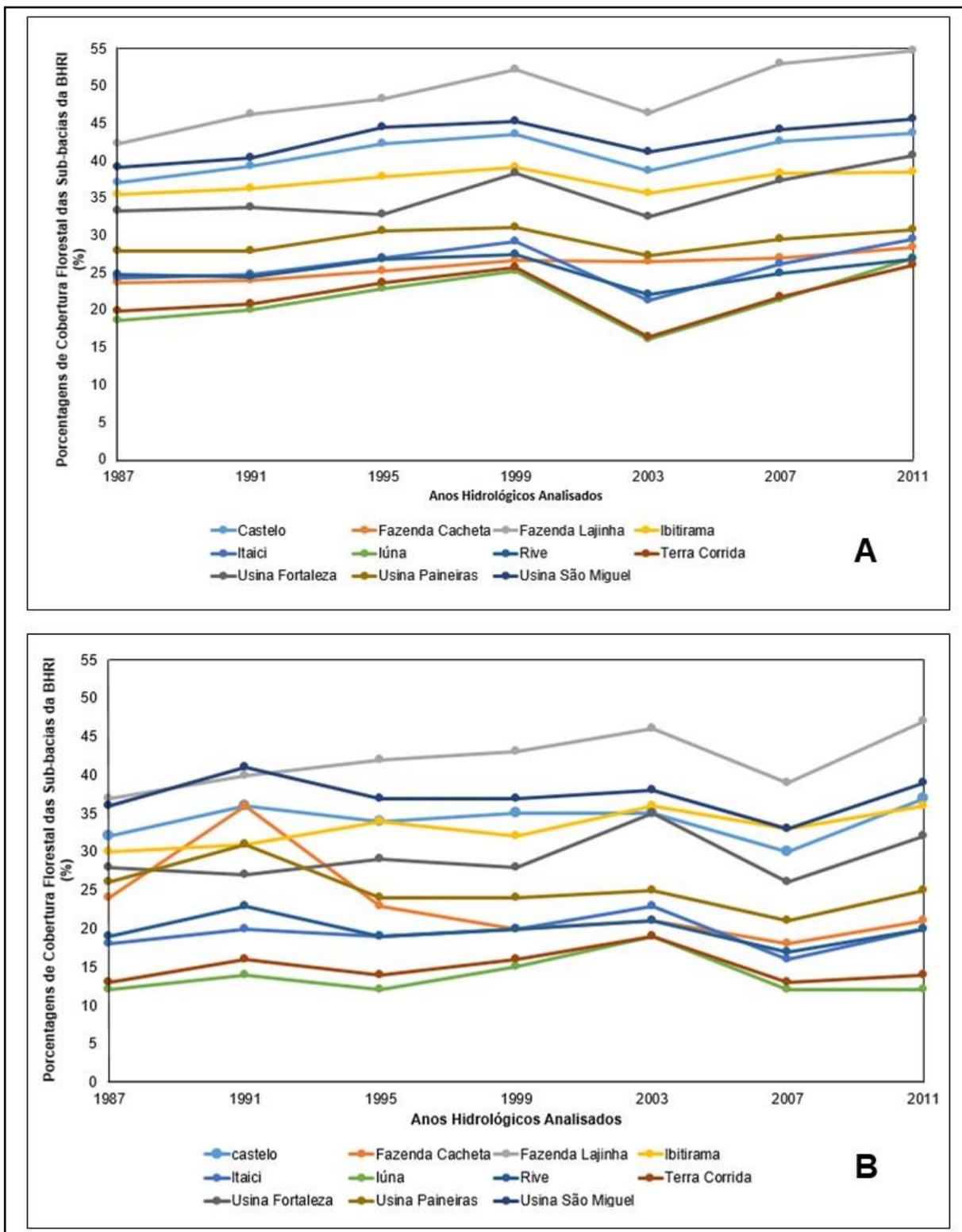


Figura 10 – Representação das porcentagens geradas nos mapeamentos (A) neste estudo e (B) no estudo de Mendes (2016).

Fonte: A autora.

De acordo com Mendes (2016), a BHRI possui muitas áreas declivosas e com elevadas altitudes que podem ocasionar sombras, dependendo da posição do satélite e do horário do dia, pode prejudicar as amostras da classificação, diminuindo a qualidade do geoprocessamento realizado. Essa característica ocasiona um erro de classificação da área. Um pixel escuro pode ser classificado erroneamente, por causa do sombreamento causado pelo relevo acidentado.

4.2 Vazões e precipitação média anual

Os resultados das diferentes vazões dos corpos d'água e da precipitação média anual (Pa) para as onze sub-bacias estudadas, nos respectivos anos hidrológicos são apresentados na Tabela 5.

A partir dos testes estatísticos, pode-se dizer que as vazões da BHRI, no período de tempo analisado, foram estacionárias, isto é, possuíram regularidade em suas vazões, não possuindo causas aleatórias que justificassem as mudanças expressivas em seus regimes. Já para os dados de precipitação média anual, a partir dos testes estatísticos, pode-se dizer que as precipitações anuais de cada estação analisada, no período de tempo determinado, não diferiram entre si, isto é, apresentaram características homogêneas, sem flutuações expressivas.

Tabela 5 - Vazões mínimas médias com sete dias de duração - Q_7 ($m^3 s^{-1}$), vazões médias - Q_{med} ($m^3 s^{-1}$), vazões máximas - Q_{max} ($m^3 s^{-1}$) e precipitação média anual – Pa (mm) para as onze sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim analisadas, durante os anos bases.

Sub-bacias	Variáveis	1987	1991	1995	1999	2003	2007	2011
Castelo	Q_7	4,1	7,6	2,9	2,4	2,1	2,0	2,7
	Q_{med}	18,6	12,3	13,7	13,0	12,2	19,8	18,6
	Q_{max}	112,0	119,0	68,0	142,0	177,0	170,0	215,0
	Pa	1.525	1.354	1.249	1.363	1.268	1.510	1.540
Fazenda Cacheta	Q_7	1,1	1,6	0,3	0,8	1,1	1,3	2,0
	Q_{med}	6,6	4,0	5,2	6,8	4,1	7,4	7,8
	Q_{max}	40,3	64,0	25,1	30,0	93,6	108,0	111,0
	Pa	1.275	1.202	1.239	1.211	1.186	1.534	1.433
Fazenda Laginha	Q_7	2,4	2,7	1,2	1,1	0,8	1,3	1,7
	Q_{med}	8,1	6,7	7,1	7,4	6,5	9,1	7,6
	Q_{max}	72,3	104,0	53,0	85,0	120,0	70,4	94,7
	Pa	1.553	1.350	1.205	1.356	1.268	1.460	1.495
Ibitirama	Q_7	2,0	3,7	1,4	1,9	1,9	2,1	2,3
	Q_{med}	12,5	10,6	11,6	12,0	11,6	15,7	13,6
	Q_{max}	113,0	168,0	196,0	140,0	159,0	153,0	160,0
	Pa	1.549	1.424	1.311	1.472	1.427	1.760	1.723
Itaici	Q_7	5,2	8,7	4,0	4,1	4,2	5,9	6,4
	Q_{med}	22,0	15,0	18,6	20,0	17,6	14,9	20,7
	Q_{max}	92,7	217,0	105,0	160,0	247,0	294,0	331,0
	Pa	1.397	1.352	1.166	1.453	1.327	1.535	1.555

Continua ...

... Continuação

Sub-bacias	Variáveis	1987	1991	1995	1999	2003	2007	2011
Lúna	Q ₇	3,0	6,1	1,9	3,2	2,4	3,5	4,0
	Q _{med}	9,8	6,3	12,4	8,0	7,6	9,2	8,5
	Q _{max}	43,9	45,4	28,4	59,7	113,0	66,1	136,0
	Pa	1.361	1.351	1.167	1.418	1.373	1.512	1.552
Rive	Q ₇	10,8	16,9	8,2	10,9	10,8	13,0	14,8
	Q _{med}	49,7	32,8	38,2	43,9	38,9	55,2	48,3
	Q _{max}	285,0	569,0	237,0	369,0	416,0	561,0	672,0
	Pa	1.473	1.360	1.248	1.412	1.339	1.635	1.635
Terra Corrida	Q ₇	3,7	5,0	2,3	3,5	3,3	4,1	5,2
	Q _{med}	12,4	7,8	9,8	11,4	10,4	13,1	12,4
	Q _{max}	39,7	107,5	41,8	83,8	162,0	123,0	202,0
	Pa	1.357	1.349	1.172	1.416	1.367	1.516	1.554
Usina Fortaleza	Q ₇	0,9	1,9	1,6	0,8	0,7	0,8	1,1
	Q _{med}	4,9	4,2	5,3	5,3	4,0	5,6	4,3
	Q _{max}	20,5	52,3	15,6	67,1	52,6	39,1	48,0
	Pa	1.437	1.369	1.096	1.357	1.295	1.514	1.515
Usina Paineiras	Q ₇	19,5	42,0	15,4	17,2	19,2	20,1	25,3
	Q _{med}	93,4	69,0	76,7	84,2	71,5	118,0	102,0
	Q _{max}	395,0	554,0	372,0	423,0	548,0	627,0	689,0
	Pa	1.480	1.359	1.286	1.387	1.296	1.601	1.603
Usina São Miguel	Q ₇	6,8	9,3	7,5	4,8	3,9	4,8	6,2
	Q _{med}	25,8	18,8	24,4	20,6	17,5	30,4	26,1
	Q _{max}	148,0	158,3	100,0	123,6	190,0	182,0	239,0
	Pa	1.524	1.384	1.307	1.381	1.273	1.552	1.571

Fonte: Modificado de Mendes et al. (2018).

Na Tabela 6 são exibidos os valores de desvio padrão das variáveis de vazão.

Tabela 6 - Valores de desvio padrão da vazão mínima durante 7 dias - Q_7 ($m^3 s^{-1}$), vazão média anual - Q_{med} ($m^3 s^{-1}$), vazão máxima anual - Q_{max} ($m^3 s^{-1}$) e precipitação média anual – Pa (mm).

Sub-bacias	Desvio Padrão			
	Q_7	Q_{med}	Q_{max}	Pa
Castelo	2,0	3,4	48,7	123,2
Fazenda Caxeta	0,5	1,6	36,9	133,7
Fazenda Lajinha	0,7	0,9	22,6	125,2
Ibitirama	0,7	1,7	25,4	165,0
Itaici	1,7	2,7	91,6	133,8
Iúna	1,4	1,9	39,5	125,4
Rive	2,9	7,8	161,2	147,9
Terra Corrida	1,0	1,8	60,0	125,3
Usina Fortaleza	0,5	0,6	18,5	145,6
Usina Paineiras	9,1	17,8	121,6	133,7
Usina São Miguel	1,9	4,6	45,9	121,0

Fonte: a autora.

As sub-bacias que apresentaram o menor desvio padrão para a Q_7 foram as Fazenda Cacheta e Usina Fortaleza, para a Q_{med} , as sub-bacias que apresentaram o menor desvio padrão foram Fazenda Lajinha e Usina Fortaleza e para a Q_{max} , as sub-bacias que apresentaram o menor desvio padrão foram Fazenda Lajinha e Usina Fortaleza. Por outro lado, temos que as sub-bacias Rive e Usina Paineiras apresentaram o maior desvio padrão para a Q_7 , Q_{med} e Q_{max} . Pode-se notar que a sub-bacia Fortaleza alcançou os menores valores de desvio padrão para todas as variáveis de vazão analisadas, já as sub-bacias Rive e Usina Paineiras alcançaram todos os valores máximos de desvio padrão para as variáveis de vazão analisadas.

O resultado dessas variáveis de desvio padrão tem relação direta com a área total das sub-bacias, já que a sub-bacia Usina Fortaleza possui uma área de 196 km², a menor das onze sub-bacias-estudadas, e a sub-bacia Usina Paineiras

possui a maior área dentre as onze sub-bacias estudadas, cerca de 5.168 km², seguida da sub-bacia de Rive, com 2.218 km². Portanto a interferência do tamanho da área das sub-bacias é um fator determinante para a variável de vazão, quanto maior a área, maior o desvio padrão, e o contrário também acontece, quanto menor a área, menor o desvio padrão.

A interação entre a área da sub-bacia e parâmetros de vazão ocorre da seguinte maneira: considerando duas sub-bacias, uma com área maior e outra de menor área e que o volume da precipitação será o mesmo nas duas. A sub-bacia de maior área terá maior distribuição da chuva e o tempo em que o volume d'água leva para chegar ao deflúvio é maior. Já para a sub-bacia de menor volume, há uma menor distribuição da chuva e o volume d'água leva menos tempo para chegar ao deflúvio. Isto é, na bacia de área maior se tem mais fatores que retêm o volume d'água escoado, resultando em uma dinâmica maior.

Para Barbosa et al. (2005), a vazão média indica a disponibilidade hídrica de uma bacia, então, avaliando dois padrões observados neste estudo: (a) uniformidade no regime da vazão média anual e (b) maior regime da vazão média anual, as sub-bacias que se possuem a maior disponibilidade hídrica são: Usina Fortaleza, pela uniformidade no regime da Q_{med} e Usina Paineiras, pelo maior regime da Q_{med} .

Em virtude da precipitação média anual (P_a), as mesmas se encontram próximas da precipitação média anual, observada na BHRI que é de 1.320 mm (IBGE, 2017).

4.2. Relação entre Cobertura Florestal e Vazões

A seguir, na Tabela 7, são apresentados os resultados das correlações lineares entre a porcentagem de Cobertura Florestal e as diferentes vazões analisadas para a BHRI: vazão mínima média com sete dias de duração (Q_7); a vazão média anual (Q_{med}); e a vazão máxima anual (Q_{max}). Na Tabela 8 são apresentados os resultados das correlações parciais entre as variáveis porcentagem

de cobertura florestal e vazões (Q_7 , Q_{med} e Q_{max}) fixando os valores de precipitação média anual (P_a), das onze sub-bacias da BHRI estudadas, no período determinado (1987, 1991, 1995, 1999, 2003, 2007, 2011).

Tabela 7 - Resultados dos coeficientes de correlação de Pearson nas onze sub-bacias estudadas.

Sub-bacias	Q_7		Q_{med}		Q_{max}	
	r	Valor-p*	r	Valor-p*	r	Valor-p*
Castelo	0,46	0,30	0,14	0,76	0,17	0,52
Fazenda Cacheta	0,32	0,49	0,53	0,22	0,62	0,14
Fazenda Lajinha	0,44	0,32	0,32	0,48	0,06	0,90
Ibitirama	0,28	0,54	0,45	0,31	0,24	0,60
Itaici	0,01	0,98	0,31	0,50	0,11	0,81
Iúna	0,08	0,87	0,22	0,63	0,03	0,95
Rive	0,11	0,82	0,17	0,71	0,05	0,91
Terra Corrida	0,18	0,70	0,23	0,61	0,01	0,98
Usina Fortaleza	0,27	0,57	0,18	0,69	0,46	0,30
Usina Paineiras	0,35	0,44	0,34	0,45	0,01	0,98
Usina São Miguel	0,31	0,51	0,32	0,49	0,07	0,87

*Nenhum valor foi significativo pelo teste F ($p < 0,05$).

Tabela 8 - Resultados dos Coeficientes da Correlação Parcial nas onze sub-bacias estudadas.

Sub-bacias	Q ₇		Q _{med}		Q _{max}	
	Coef.	Valor-P*	Coef.	Valor-P*	Coef.	Valor-P*
Castelo	-0,46	0,36	0,15	0,77	0,29	0,58
Fazenda Cacheta	0,11	0,84	0,23	0,66	0,43	0,40
Fazenda Lajinha	-0,55	0,26	0,38	0,46	-0,06	0,92
Ibitirama	-0,33	0,52	0,36	0,48	0,44	0,39
Itaici	-0,15	0,78	0,31	0,55	-0,22	0,68
Iúna	-0,02	0,97	0,41	0,42	-0,09	0,87
Rive	-0,20	0,71	0,10	0,85	-0,21	0,70
Terra Corrida	0,00	1,00	0,11	0,84	-0,24	0,65
Usina Fortaleza	-0,02	0,98	0,29	0,58	0,35	0,50
Usina Paineiras	-0,38	0,46	0,27	0,60	-0,23	0,65
Usina São Miguel	-0,31	0,55	0,36	0,48	0,01	0,98

*Nenhum valor foi significativo pelo teste F ($p < 0,05$).

Não houve relação significativa das duas estatísticas aplicadas: (a) correlação linear entre as variáveis porcentagem de cobertura florestal e vazões (Q₇, Q_{med} e Q_{max}) e (b) correlação parcial entre as variáveis porcentagem de cobertura florestal e vazões (Q₇, Q_{med} e Q_{max}) fixando os valores de Pa. Esse resultado pode ser explicado, matematicamente, pelo fato de que a porcentagem da cobertura florestal encontrada variou pouco (desvio padrão menor), enquanto os regimes das vazões variaram normalmente, influenciados pelos volumes das precipitações. Explicando melhor o comportamento encontrado, a variável dos regimes das vazões é pouco dependente da variável da porcentagem da cobertura florestal, já que as variações das mesmas não se comportaram da mesma forma.

Dos Santos et al. (2010) demonstrou que com a supressão da cobertura florestal da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite entre os anos de 1979 e 2005 resultou no aumento de vazões máximas e médias e redução das vazões mínimas.

Por outro lado, Trancoso (2006), avaliou as vazões de 30 sub-bacias distribuídas nas bacias dos rios Madeira, Tapajós e Xingu, e concluiu que naquelas sub-bacias com mais da metade da área de cobertura florestal suprimida, não foram observadas tendências de aumento da vazão em suas séries históricas.

Balbinot et al (2008) concluiu por meio de um estudo de revisão bibliográfica que a presença ou a falta da vegetação, além do tipo de vegetação tem grande influência na distribuição da água em um manancial e para analisar mais a fundo esta relação deve-se estudar a função da vegetação nos diversos componentes do ciclo hidrológico (interceptação, precipitação interna, escoamento pelo tronco, fluxos de água no solo) e não somente a relação das variáveis composição florestal e vazão.

A perturbação do Bioma Floresta Atlântica na área analisada é bem elevada (69,4%), sendo assim, se o regime das vazões dos cursos d'água fossem dependentes diretos da cobertura florestal a disponibilidade hídrica seria fortemente prejudicada.

Apesar dos resultados serem inexpressivos, as florestas desenvolvem benefícios importantes para os recursos hídricos, como o de proteção, na regulação do microclima e a preservação do solo, além de garantir uma melhor qualidade da água (parâmetros físico-químicos). O impacto final das florestas sobre as vazões dos cursos d'água depende do balanço entre o impacto positivo do aumento da infiltração com o impacto negativo do aumento da evapotranspiração.

4.3. Relação entre Precipitação Média Anual e Vazões (Q_7 , Q_{med} , Q_{max})

Como elucidado no item anterior, as relações analisadas entre cobertura florestal e as diferentes vazões (Q_7 , Q_{med} e Q_{max}), não foram significativas. Portanto optou-se por avaliar a relação entre os valores de P_a e os valores das diferentes vazões, como forma de se elucidar melhor o regime das vazões na BHRI, no período analisado. Na Tabela 9 são apresentados os resultados da análise estatística aplicada.

Tabela 9 - Resultados dos Coeficientes de correlação de Pearson nas onze sub-bacias estudadas.

Sub-bacias	Q ₇		Q _{med}		Q _{max}	
	r	Valor-P*	r	Valor-P*	r	Valor-P*
Castelo	0,05	0,91	0,90	0,01	0,48	0,28
Fazenda Cacheta	0,44	0,32	0,76	0,05	0,65	0,11
Fazenda Lajinha	0,50	0,26	0,68	0,10	0,07	0,88
Ibitirama	0,08	0,87	0,88	0,01	0,40	0,37
Itaici	0,30	0,51	0,06	0,90	0,67	0,10
Lúna	0,46	0,30	0,83	0,02	0,68	0,10
Rive	0,73	0,06	0,62	0,14	0,71	0,07
Terra Corrida	0,73	0,06	0,62	0,14	0,71	0,07
Usina Fortaleza	0,40	0,37	0,06	0,90	0,32	0,49
Usina Paineiras	0,03	0,95	0,92	0,00	0,62	0,14
Usina São Miguel	0,01	0,98	0,78	0,04	0,52	0,23

*Os valores em negrito são significativos pelo teste F ($p \leq 0,05$).

A precipitação total anual (Pa) apresentou relação significativa somente com a vazão média anual, nas sub-bacias de Castelo, Fazenda Cacheta, Ibitirama, Lúna, Usina Paineiras e Usina São Miguel, ou seja, seis das onze sub-bacias analisadas sofrem ação da precipitação média anual, onde cinco apresentaram tendência positiva, isto é, à medida que a precipitação média anual (Pa) aumenta a vazão média anual (Q_{med}) também aumenta. Mendes (2016) também encontrou relações positivas significativas entre vazões e precipitação anual. A sub-bacia Lúna obteve uma tendência negativa, isto é, à medida que a Pa aumenta, a Q_{med} diminui. A seguir são exibidos os gráficos e a tabela desta análise de regressão (Figura 11 e Tabela 10).

Tabela 10 - Equações de regressão linear simples significativa, entre a vazão média anual (Q_{med}) e a precipitação média anual (Pa).

Sub-bacia	Equação ajustada	R ²	Valor – p*
Castelo	$Q_{med} = 0,25 Pa - 19,06$	0,81	0,01
Fazenda Cacheta	$Q_{med} = 0,01 Pa - 5,41$	0,57	0,05
Ibitirama	$Q_{med} = 0,01 Pa - 1,18$	0,78	0,01
Iúna	$Q_{med} = -0,08 Pa + 19,69$	0,25	0,02
Usina Paineiras	$Q_{med} = 0,12 Pa - 87,84$	0,85	0,00
Usina São Miguel	$Q_{med} = 0,03 Pa - 19,07$	0,61	0,04

Fonte: A autora.

Macêdo et al. (2013), investigando a relação da precipitação pluviométrica e vazão da bacia hidrográfica do Riozinho do Rôla na Amazônia Ocidental entre os anos de 1998 e 2005, constataram a precipitação média alcançou 1.846 mm, enquanto a vazão foi de $1.267,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, e que nos meses de menor pluviosidade a vazão do rio reduziu significativamente, apresentando $R^2 = 0,52$. Os valores de Q_7 (vazões mínimas durante sete dias) e Q_{max} (vazões máximas anuais) não apresentaram significância na análise.

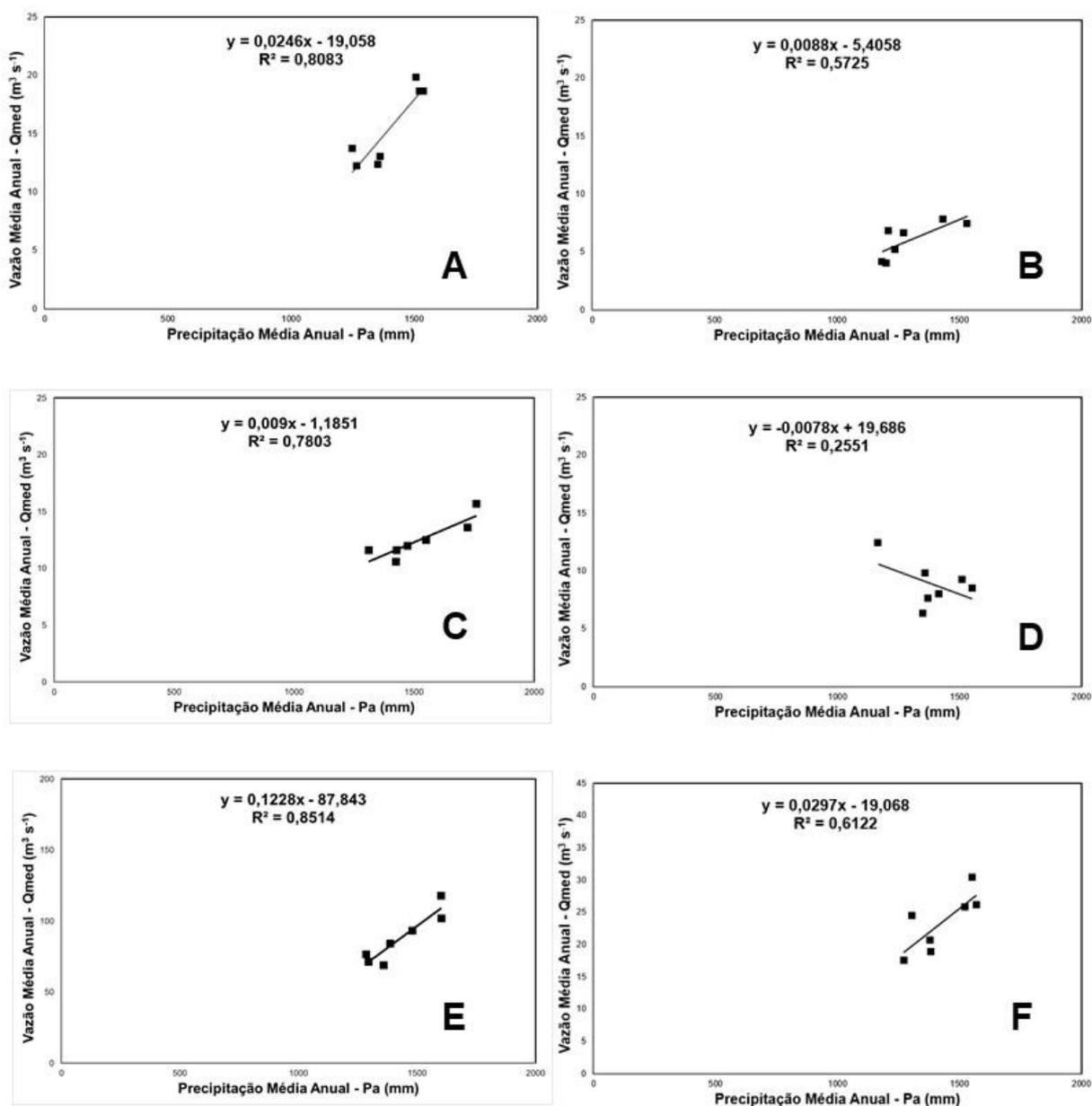


Figura 11 - Gráficos das equações de regressão significativas entre Q_{med} e P_a das sub-bacias analisadas. Sendo que A – Castelo, B - Fazenda Cacheta, C – Ibitirama, D – Íluna, E – Usina Paineiras, e F – Usina São Miguel.

Fonte: A autora.

5. CONCLUSÃO

As áreas de cobertura florestal obtidas na Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim (BHRI) foram condizentes com os estudos já existentes na área, e forneceu um dado a mais, a porcentagem de floresta plantada. O estudo não identificou associações entre as variáveis cobertura florestal e vazão na BHRI.

As associações entre as variáveis de precipitação média anual (Pa) e vazões na BHRI apresentou associações significativas em parte das bacias analisadas, sendo uma variável importante para a estimação da vazão média anual.

Apesar de parte das relações estatísticas não terem sido significativas, não se pode afirmar que as variáveis estudadas não contribuem de fato com o regime das vazões, elas apenas não foram reconhecidas neste estudo. Para tanto, necessita-se da adição de outras variáveis e de procedimentos analíticos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGERH - Agência Estadual de Recursos Hídricos. **Diagnóstico e prognóstico das condições de uso da água na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim.** Disponível em:

<https://agerh.es.gov.br/Media/agerh/Documenta%C3%A7%C3%A3o%20CBHs/Rio%20Novo/REA_DiagnosticoPrognostico_CBH%20RioNovo.pdf>. Acesso em 22 de maio de 2019.

AGERH - Agência Estadual de Recursos Hídricos. **Mais de 30 municípios em situação crítica por falta de chuva.** Disponível em: <<https://agerh.es.gov.br/Notícia/mais-de-30-municipios-em-situacao-critica-por-falta-de-chuva>>. Acesso em 5 de dezembro de 2018.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil:** informe 2016. Brasília: ANA, 2016. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informe-conjuntura-2016.pdf>>. Acesso em 5 de dezembro de 2018.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Sistema de Informações Hidrológicas – Hidroweb.** Disponível em: <hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em: janeiro de 2015.

ANACHE, J. A. A. **Alterações no ciclo hidrológico e na perda de solo devido aos diferentes usos do solo e variações climáticas em área de Cerrado.** Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

AUGUSTO, L. G. da S. et al. O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1511-1522, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/csc/v17n6/v17n6a15.pdf>>. Acesso em 5 de dezembro de 2018.

BALBINOT, R.; OLIVEIRA, N.K.; VANZETTO, S.C.; PEDROSO, K.; VALERIO, A.F. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência**, Guarapuava, PR, v. 4, n.1, p. 1-19, 2008.

BARBOSA, S.E.S.; BARBOSA JR., A.R.; SILVA, G. Q.; CMPOS, E. N. B.; RODRIGUES, V.C. Geração de modelos de regionalização de vazões máximas, médias de longo período e mínimas de sete dias para a bacia do Rio do Carmo, Minas Gerais. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.10, n.1, p. 64-71, 2005.

BREIMAN, L. Random forests. **Machine learning**, v. 45, n. 1, p. 5-32, 2001.

CARNEIRO, C. M. R. **Importância das Técnicas de Sensoriamento Remoto para a Ciência Florestal.** Brasília: IBDF, 1981. 21 p.

COUTINHO, L.M.; SAMPAIO, T.V.M. Evolução da Supressão de Florestas na Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim via uso de imagens orbitais. **Revista Camiliana de Iniciação Científica**, v. 2, p.156-163, 2007.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Acompanhamento da estiagem na região sudeste do Brasil**: Boletim n.02 - Fevereiro. Belo Horizonte: Área de atuação da Superintendência Regional da CPRM de Belo Horizonte. 2015. 13p.

DOS SANTOS, E. H. M.; GRIEBELER, N. P.; DE OLIVEIRA L. F. C. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v.14, n.8, p. 826-834, 2010.

DOYLE, M. E.; BARROS, V. R. Attribution of the river flow growth in the Plata Basin. **International Journal of Climatology**, v. 31, n. 15, p. 2234–2248, 2011.

EMBRAPA TERRITORIAL. **Satélites de Monitoramento**. Campinas, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2019.

ESPÍRITO SANTO. Instrução Normativa nº 013, de 09 de dezembro de 2009. **Aprimoramento dos critérios de outorga para uso de água em corpos de água do domínio do estado**. Disponível: <http://servicos.iema.es.gov.br/legislacao/FileHandler.ashx?id=237&type=2>>. Acesso em 23 de maio de 2019.

ESPÍRITO SANTO. **Seca faz 16 cidades decretarem situação de emergência no ES**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/espírito-santo/noticia/2015/08/seca-faz-16-cidades-decretarem-situacao-de-emergencia-no-es.html>>. Acesso em 5 de dezembro de 2018b.

ESRI - ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, Inc. **ArcGis**: professional GIS for the desktop: version 10.3.1. Environmental Systems Research Institute, 2015.

FARLEY, K.A.; JOBBÁGY, E.G.; JACKSON, R.B. Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy. **Global Change Biology**, v.11, p.1565-1576, 2005.

FBDS - Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. **Repositório público de mapas e shapefiles para download**. 2013. Disponível em:<http://www.fbds.org.br/article.php3?id_article=594>. Acesso em: 30 maio de 2018.

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

FERREIRA, L. G. **Avaliação global do sistema fotográfico para geração de imagem landsat TM do INPE.** 1994. 139 P. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1994.

FREITAS, J. P. O. **Caracterização de processos hidrológicos em ambientes de estágio inicial e avançado de regeneração em Florestas Atlântica.** 2014. 47 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2014.

FREITAS, J. P. O.; DIAS, H. C. T.; BARROSO, T. H. A.; POYARES, L. B. Q. Distribuição da água de chuva em Mata Atlântica. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 100-108, 2013.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica.** 2014. Disponível em: <<http://mapas.sosma.org.br/>>. Acesso em: 30 maio de 2018.

GASPARINI, K.A.C. **Regionalização de vazões para a bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES.** 78f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro. 2014.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra.** 3 Edição. Rio de Janeiro – RJ. p. 171. 2013.

IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo. **Levantamentos de uso e ocupação do solo extraídos do ortofotomosaico executado em 2012.** Disponível:<<https://geobases.es.gov.br/links-para-mapas1215>>. Acesso em 22 de maio de 2019.

IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo. **Levantamentos de uso e ocupação do solo extraídos do ortofotomosaico executado em 2007.** Disponível:<<https://geobases.es.gov.br/links-para-mapas1215>>. Acesso em 22 de maio de 2019.

MACÊDO, M. N. C.; DIAS, H. C. T.; COELHO, F. M. G.; ARAÚJO, E. A.; SOUZA, M. L. H.; SILVA, E. Precipitação pluviométrica e vazão da bacia hidrográfica do Riozinho do Rôla, Amazônia Ocidental. **AmbiAgua**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 206-221, 2013.

MACHADO, A. R.; MELLO JUNIOR, A. V.; WENDLAND, E. C. Avaliação do modelo J2000/JAMS para modelagem hidrológica em bacias hidrográficas brasileiras. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 1-14, 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v22n2/1809-4457-esa-s1413-41522016145177.pdf>>. Acesso em: 23 de junho de 2019.

MEDEIROS, J. S. **Desenvolvimento metodológico para a detecção de alterações da cobertura vegetal através da análise digital de dados MSS LANDSAT.** 1986. 130 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1986.

MELLO, E.L.; OLIVEIRA, F.A.; PRUSKI, F.F.; FIGUEIREDO, J.C. Efeito das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Rio Paracatu. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.4, p.635-644, 2008.

MENDES, N. G. S. **Estudo das vazões na bacia hidrográfica do rio Itapemirim**. 2016. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2016.

MENDES, N. G. S; CECÍLIO, R. A; ZANETTI, S. S. Forest coverage and atreamflow of watersheds in the tropical atrantic rainforest. **Revista Árvore**. v. 42, n 2, p. 1 -10, 2018.

MENDES, N. G. S; CECÍLIO, R. A; ZANETTI, S. S; Santos, C. A. Relationship between the streamflows and precipitations in Itapemirim river basin. **Floresta**. Curitiba – PR.v. 49, n 2, p. 171 -180, 2019.

MILLY, P. C. D. et al. Climate change. Stationarity is dead: whither water management? **Science (New York, N.Y.)**, v. 319, n. 5863, p. 573–574, 2008.

MMA – Ministério do Meio Ambiente; MEC – Ministério da Educação; IDEC – Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor. **CONSUMO SUSTENTÁVEL**: Manual de educação. 2005. 160 p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/educamb/_arquivos/consumo_sustentavel.pdf>. Acesso em 18 de julho de 2019.

NAKANO, H. **A propriedade da Floresta de Conservar a água do solo e o aproveitamento desta**. Kamiinagun-Naganokin. s.d. 78p.

ONO, S. **Análise dos critérios de Outorga de Direito de uso de Recursos Hídricos Considerando a Disponibilidade de Água Superficial**. 2006. 118 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PIROVANI, Daiani Bernardo. **Fragmentação florestal e dinâmica da ecologia da paisagem na bacia hidrográfica do rio Itapemirim**, ES. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES.

PROJETO MAPBIOMAS – **Coleção [3.1] da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**, acessado em 13 de Junho de 2019 através do link: <http://mapbiomas.org/_>

PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. da; KOETZ, M. **Estudo da vazão em cursos d'água. Viçosa: Engenharia na Agricultura**. Caderno didático: 43. Associação de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 2006. 151 p.

ROSA, M, R. Comparação e análise de diferentes metodologias de mapeamento da cobertura florestal da Mata Atlântica. **Boletim Paulista de Geografia**, v.95, 2016, p.25-34.

SANTOS, C. A dos. **Impactos da precipitação e do uso do solo nas tendências das vazões na bacia hidrográfica do Rio Grande**. 2018. 117 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

SILBERSTEIN, R.; ADHITYA, A.; DABROWSKI, C. **Changes in flood flows, saturated areas and salinity associated with forest clearing for agriculture**. Australia: Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology. 2003. 30p.

SILVEIRA, A.L.L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica in: TUCCI, C. E. M. et al. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2004.

SOUZA-FILHO, P. W. M. et al. Four decades of land-cover, land-use and hydroclimatology changes in the Itacaiúnas River watershed, southeastern Amazon. **Journal of Environmental Management**, v. 167, p. 175–184, 2016.

SWAIN, P.H.; DAVIS, S. **Remote sensing: the quantitative approach**. New York: MC Graw-Hill, 1978, 395p.

TRANCOSO, R. **Mudanças na cobertura da terra e alterações na resposta hidrológica de bacias hidrográficas na Amazônia**. 2006. 132f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA/ Universidade Federal do Amazonas - UFAM, Manaus. 2006.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2015. p. 943.

TUCCI, C. E. M. Impactos da variabilidade climática e o uso do solo sobre os recursos hídricos. In: **Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas – Câmara Temática de Recursos Hídricos**. Brasília: 2002. 150p.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de Vazões**. Porto Alegre: Editora da Universidade / UFRGS, 2002. 256 p.

TUCCI, C.E.M. Hidrologia: Ciência e aplicação. In: TUCCI, C.E.M, **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2ª ed. Porto Alegre, 2001a. cap. 1, p. 25.

VOROSMARTY, C. J. et al. Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth. **Science**, v. 289, n. JULY, p. 284–288, 2000.

XAVIER, A.C.; CECÍLIO, R.A.; LIMA, J.S.S. Módulos em MATLAB para interpolação espacial pelo método de krigagem ordinária e do inverso da distância. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.62, p.67-76, 2010.

XAVIER, A.C.; CECÍLIO, R.A.; LIMA, J.S.S. Módulos em MATLAB para interpolação espacial pelo método de krigagem ordinária e do inverso da distância. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.62, p.67-76, 2010.

ZHANG, Q.; LIU, C.L; XU, C.Y; XU, Y.P; JIANG, T. Observer trends of anual maximum water level and streamflow during past 130 years in the Yangtze River basin, China. **Journal of Hidrology**, v.324, p.255-65, 2006.

APÊNDICE A

Tabela 11 - Descrição das classes de Uso e Ocupação da Terra (UOT) mapeadas para a área da BHRI.

Classe de Uso e Ocupação da Terra			Descrição
Nível 1	Nível 2	Nível3	
Floresta	Floresta Natural	Formação Florestal	Floresta Ombrófila Densa, Aberta e Mista e Floresta Estacional Semi-Decidual, Floresta estacional e Formação Pioneira e Arbórea
		Formação Savânica	Savanas, Savanas-Estépicas Florestadas e Arborizadas.
	Floresta Plantada		Espécies arbóreas plantadas para fins comerciais (eucalipto, pinus)
Formação Natural não florestal	Formação Campestre		Savanas e Savanas-estépicas Parque e Gramíneo-Lenhosa, Estepe e Pioneiras Arbustivas e Herbáceas
Agropecuária	Pastagem		Áreas de pastagens, naturais ou plantadas, vinculadas a atividade agropecuária. Uma parte da área classificada como Formação Campestre inclui também áreas pastejadas

Continua ...

... Continuação

Classe de Uso e Ocupação da Terra			Descrição
Nível 1	Nível 2	Nível3	
Agropecuária	Agricultura	Cultura Anual e Perene	Área predominantemente ocupadas com cultivos anuais e, em algumas regiões com a presença de cultivos perenes.
		Cultura Semi-Perene	Áreas cultivadas com a cultura da cana-de-açúcar
	Mosaico de agricultura e pastagem		Área de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura.
Área não Vegetada	Infraestrutura Urbana		Áreas urbanizadas com predomínio de superfícies não vegetadas, incluindo estradas, vias e construções.
	Afloramento Rochoso		Rochas naturalmente expostas na superfície terrestre sem cobertura de solo, muitas vezes com presença parcial de vegetação rupícula
Corpos D'água	Rio, Lago e Oceano		Rios lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água

Continua ...

Continuação...

Classe de Uso e Ocupação da Terra			Descrição
Nível 1	Nível 2	Nível3	
Corpos D'água	Agricultura		Área referente a lagos artificiais, onde predominam atividades aquícolas e/ou de salicultura
Não Observado			Áreas sem classificação

Fonte: MapBiomias (2018).