



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

NATÁLIA GOMES DE SOUZA MENDES

ESTUDO DAS VAZÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPEMIRIM

JERÔNIMO MONTEIRO - ES

2016

NATÁLIA GOMES DE SOUZA MENDES

ESTUDO DAS VAZÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPEMIRIM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais, na Área de Concentração Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio

Coorientador: Prof. Dr. Sidney Sara Zanetti

JERÔNIMO MONTEIRO - ES

2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

M538e Mendes, Natália Gomes de Sousa, 1989-
Estudo das vazões na bacia hidrográfica do rio Itapemirim /
Natália Gomes de Souza Mendes. – 2016.
96 f. : il.

Orientador: Roberto Avelino Cecílio.

Coorientador: Sidney Sara Zanetti.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Vazão fluvial (Métodos estatísticos). 2. Cobertura florestal.
3. Chuvas. 4. Sensoriamento remoto. I. Cecílio, Roberto Avelino.
II. Zanetti, Sidney Sara. III. Universidade Federal do Espírito Santo.
Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.


CDU: 630

ESTUDO DAS VAZÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPEMIRIM

Natália Gomes de Souza Mendes

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 29 de fevereiro de 2016.



Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio
(Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo



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



Prof. Dr. Alexandre Cândido Xavier
(Membro externo)
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane
(Membro interno)
Universidade Federal do Espírito Santo

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela proteção e amparo que nunca me faltou. “Em qualquer tempo em que eu temer, confiarei em ti” (Salmos 56:3).

Aos meus pais, Rômulo e Sebastiana, pelo amor e o dom da vida.

Ao Anderson, meu esposo, por estar sempre ao meu lado, seja nos momentos bons ou ruins, tendo também parte desta conquista.

Aos professores Roberto e Sidney, pela confiança a mim concedida, e pelo empenho dedicados à orientação e coorientação, de fundamental importância nesse percurso trilhado.

Aos professores, Prof. Dr. Alexandre Cândido Xavier e Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane por aceitarem o convite para participação da banca examinadora, contribuindo para o enriquecimento deste trabalho.

À equipe do Laboratório de Modelagem Hidrológica, pela parceria em todas as horas, e que esta amizade possa perdurar por muitos anos: Alessandra, Ana Paula, Carlos Dambroz, Elvis, Gisele, Helder, Laís, Marks, Rafael Esteves, Regiane, Rosane, Stefania, Sueliane, Tamires e Telma.

Aos amigos Márcia Paulucio, Andressa, Monique, Roberto Rorras, Eduardo, Luciana Lorenzoni, Kaio Gasparini e Mariana Duarte.

Aos professores da UFES pelos valiosos ensinamentos compartilhados durante o mestrado.

Aos funcionários da UFES, em especial à Elizangela, ao Alex e ao Calebe.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

Agradeço também, a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para que esta conquista se concretizasse.

Muito obrigada!

“Os teus olhos me viram a substância ainda informe, e no teu livro foram escritos todos os meus dias, cada um deles escritos e determinados, quando nem um deles havia ainda.”

Salmo 139:16

RESUMO

MENDES, Natália Gomes de Souza. **Estudo das vazões na bacia hidrográfica do rio Itapemirim**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio. Coorientador: Prof. Dr. Sidney Sara Zanetti.

Estudos de vazões são de grande importância para o conhecimento da disponibilidade hídrica de uma região. Dentre as causas potenciais que alteram os regimes de vazões em bacias hidrográficas, estão a variabilidade da precipitação e as modificações do uso do solo. Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo analisar o comportamento das vazões de cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Itapemirim (BHRI) e relacioná-los às mudanças ocorridas na cobertura florestal e na precipitação pluviométrica. Foram determinadas para as 11 sub-bacias da BHRI, a vazão mínima média com sete dias de duração (Q_7), a vazão média anual (Q_{med}) e a vazão máxima anual (Q_{max}). Mediante a estimativa das chuvas médias mensais para a BHRI, pela interpolação Inverso da Potência da Distância ao Quadrado (IPD2), foram calculadas as precipitações mensal máxima (P_{max}), mensal mínima (P_{min}) e a total anual (P_a), bem como as precipitações do trimestre mais chuvoso (P_{tc}), do trimestre mais seco (P_{ts}), do semestre mais chuvoso (P_{sc}) e a do semestre mais seco (P_{ss}). O mapeamento da cobertura florestal de mata nativa foi obtido utilizando a técnica de classificação supervisionada Máxima Verossimilhança das imagens Landsat 5. Para a análise da relação entre chuvas e vazões, no período de 1985 a 2011, em intervalos de 2 anos, e para o ano de 2014, foram realizadas associações mediante a análise de regressão, e aplicado o teste F a 5% de probabilidade. Já para a análise quantitativa da associação entre o percentual de cobertura florestal, a precipitação anual e o regime de vazões, no período de 1985 a 2011 (1987, 1991, 1995, 1999, 2003, 2007 e 2011), foi realizada por meio do ajuste de equações de regressão linear múltipla, e aplicado o teste t de Student, com 5% de probabilidade. Além disso, foi utilizada a análise de correlação parcial para verificar o efeito da floresta na variação das vazões, de modo a fixar o efeito da precipitação anual e utilizado o teste F a 5% de probabilidade. O total precipitado exerceu forte influência nas vazões das sub-bacias estudadas. Verificou-se que foram as chuvas anuais (P_a) atuaram de forma considerável para as variações das Q_{med} , as chuvas dos meses mais chuvosos

(P_{max} e P_{sc}) para as Q_{max} , e as chuvas relacionadas aos eventos máximos (P_a , P_{sc} e P_{tc}), que provavelmente mantiveram o escoamento mínimo dos rios nos períodos de estiagens (Q_7). Desta forma, foi notória a influência das chuvas sobre o regime de vazões nas sub-bacias da BHRI, durante o período analisado. Verificou-se que a redução da floresta ocasionou aumentos na Q_{med} nas sub-bacias de Rive e Usina São Miguel. Além disso, o incremento da floresta influenciou no aumento da Q_7 na sub-bacia de Usina Paineiras de maneira muito expressiva. O estudo permitiu a identificação de associações significativas entre floresta e vazões em algumas sub-bacias da BHRI, principalmente naquelas de grandes extensões.

Palavras-chave: Vazão fluvial (Métodos estatísticos), cobertura florestal, chuvas, sensoriamento remoto.

ABSTRACT

MENDES, Natalia Gomes de Souza. **Study of flow in the river basin Itapemirim.** 2016. Dissertation (Master of Forest Science) - Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Adviser: Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio. Co-advisor: Prof. Dr. Sidney Sara Zanetti.

Flow studies are of great importance for the understanding of water availability of a region. Among the potential causes that alter flow regimes in river basins are the variability of rainfall and changes in land use. In this context, the present study aimed to analyze the behavior of the flow of water courses of the catchment area of the river Itapemirim (BHRI) and relate them to changes in forest cover and rainfall. Were determined for 11 of sub-basins, the minimum flow of seven days duration (Q_7), the average annual flow (Q_{med}) and the annual maximum flow rate (Q_{max}). By the estimate of the average monthly rainfall for BHRI by Inverse interpolation Distance Weighted Squared (IPD2), we calculated the maximum monthly rainfall (P_{max}), monthly minimum (P_{min}) and the annual total (P_a) and the precipitation of rainier quarter (P_{tc}), the driest quarter (P_{ts}), rainier semester (P_{sc}) and driest semester (P_{ss}). The mapping of forest cover of native forest was obtained using the classification technique by Maximum Likelihood of Landsat 5 images. For the analysis of the relationship between rainfall and flow rates in the period 1985-2011, at intervals of two years, and for the year 2014, associations were created by regression analysis, and applied the F test at 5% probability. For quantitative analysis of the association between the forests cover percentage, the annual precipitation and the regime of flow in the period 1985-2011 (1987, 1991, 1995, 1999, 2003, 2007 and 2011). It was performed by adjustment of multiple linear regression equations, and applied the Student t test with 5% probability. In addition, the partial correlation analysis was used to verify the effect of forest on the variation of the flow in order to fix the effect of annual precipitation and used the F test at 5% probability. The total rainfall exerted a strong influence on the flow of the studied sub-basins. It has been found that were annual rainfall (P_a) that explained considerably variations in Q_{med} , rains of the rainy season (P_{max} and P_{sc}) for Q_{max} , and the rains related to the maximum events (P_a , P_{sc} and P_{tc}) which probably kept the minimum flow of the rivers during periods of drought (Q_7). Thus, it was evident the influence of the climate control of the rains on the regime of flow in the BHRI sub-basins during the analysis period. It was found that

the reduction of forest caused increases in Q_{med} Rive sub-basins and Usina São Miguel. Increased forest influenced the increase of the Q_7 in Usina Paineiras sub-basin in a very expressive way. The study identified significant associations between forest and flows in some of BHRI sub-basins, especially those of large areas.

Keywords: River flow (Statistical Methods), forest cover, rainfall, remote sensing.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de identificação das estações fluviométricas utilizadas no período entre 1985 e 2014	33
Tabela 2 - Relação dos meses com falhas no registro de vazão das estações bases entre os anos de 1985 e 2014, e dos parâmetros (b_0 e b_1) das equações de regressão linear ajustadas para o preenchimento das falhas	35
Tabela 3 - Dados de identificação das estações pluviométricas utilizadas	38
Tabela 4 - Relação entre a vazão média (Q_{med}) e a precipitação total anual (Pa) para as sub-bacias da BHRI.....	42
Tabela 5 - Relação entre a vazão mínima média de sete dias de duração (Q_7) e os diferentes tipos de precipitações para as sub-bacias da BHRI	45
Tabela 6 - Relação entre a vazão máxima anual (Q_{max}) e os diferentes tipos de precipitações para as sub-bacias da BHRI.....	50
Tabela 7 - Dados de identificação das estações fluviométricas utilizadas no período entre 1985 e 2014	62
Tabela 8 - Listagem das imagens do sensor TM (Landsat 5) utilizadas para o mapeamento da vegetação na bacia hidrográfica do rio Itapemirim	67
Tabela 9 - Principais características do sensor colocado a bordo do satélite Landsat 5 (TM).....	68
Tabela 10 - Qualidade da classificação obtida pela utilização do índice Kappa	73
Tabela 11 - Percentuais de floresta nas sub-bacias do rio Itapemirim nos anos bases analisados	77
Tabela 12 - Relações entre o percentual de cobertura florestal e os diferentes tipos de vazões nas sub-bacias da BHRI	78
Tabela 13 - Correlação parcial entre a vazão média anual (Q_{med}) e o percentual de cobertura florestal (%Cob.), fixando o efeito da precipitação anual (Pa) para as sub-bacias da BHRI	82
Tabela 14 - Equação de regressão linear múltipla significativa, entre a associação da vazão média anual (Q_{med}) com o percentual de cobertura florestal (%Cob.) e a precipitação total anual (Pa).....	83
Tabela 15 - Correlação parcial entre a vazão mínima (Q_7) o percentual de cobertura florestal (%Cob.), fixando o efeito da precipitação anual (Pa) para as sub-bacias da BHRI.....	84
Tabela 16 - Equação de regressão linear múltipla significativa, entre a associação da vazão mínima média com sete dias de duração (Q_7) com o percentual de cobertura florestal (%Cob.) e a precipitação total anual (Pa)	85
Tabela 17 - Correlação parcial entre a vazão máxima anual (Q_{max}) e o percentual de cobertura florestal (%Cob.), fixando o efeito da precipitação anual (Pa) para as sub-bacias da BHRI	86
Tabela 18 - Resultados da Interpolação Inverso da Potência da Distância ao Quadrado (IPD2) para a estimativa de chuvas médias (mm) para a BHRI	93

Tabela 19 - Vazões médias - Q_{med} ($m^3 s^{-1}$) calculadas para a BHRI no período de 1985 a 2014	94
Tabela 20 - Vazões mínimas médias com sete dias de duração - Q_7 ($m^3 s^{-1}$) calculadas para a BHRI no período de 1985 a 2014.....	95
Tabela 21 - Vazões máximas - Q_{max} ($m^3 s^{-1}$) calculadas para a BHRI no período de 1985 a 2014	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Itapemirim no Estado do Espírito Santo.....	20
Figura 2 - Localização das estações fluviométricas (sub-bacias) localizadas na BHRI	34
Figura 3 - Localização das estações pluviométricas utilizadas no estudo.....	39
Figura 4 - Gráficos das equações de regressão significativas entre a Q_{med} e a precipitação anual (Pa) das sub-bacias, no período entre 1985 e 2014	43
Figura 5 - Gráficos das equações de regressão significativas entre a Q_7 e a precipitação anual (Pa) das sub-bacias, no período entre 1985 e 2014	46
Figura 6 - Gráficos das equações de regressão significativas entre a Q_7 e a precipitação do semestre mais seco (Pss) das sub-bacias, no período entre 1985 e 2014	47
Figura 7 - Gráficos das equações de regressão significativas entre a Q_7 e a precipitação do semestre mais chuvoso (Psc) das sub-bacias, no período entre 1985 e 2014	47
Figura 8 - Gráficos das equações de regressão significativas entre a Q_7 e a precipitação do trimestre mais chuvoso (Ptc) das sub-bacias, no período entre 1985 e 2014	48
Figura 9 - Gráficos das equações de regressão significativas entre a Q_{max} e a precipitação anual (Pa) das sub-bacias, no período entre 1985 e 2014	51
Figura 10 - Gráficos das equações de regressão significativas entre a Q_{max} e a precipitação do semestre mais chuvoso (Psc) das sub-bacias, no período entre 1985 e 2014	52
Figura 11 - Gráficos das equações de regressão significativas entre a Q_{max} e a precipitação do trimestre mais chuvoso (Ptc) das sub-bacias, no período entre 1985 e 2014	53
Figura 12 - Gráficos das equações de regressão significativas entre a Q_{max} e a precipitação mensal máxima (Pmax) das sub-bacias, no período entre 1985 e 2014	54
Figura 13 - Localização das estações fluviométricas (sub-bacias) localizadas na BHRI.....	63
Figura 14 - Localização das estações pluviométricas utilizadas no estudo.....	65
Figura 15 - Mapeamento da cobertura florestal da BHRI referente ao ano de 1985.	74
Figura 16 - Mapeamento da cobertura florestal da BHRI referente ao ano de 2011.	75
Figura 17 - Gráficos das equações de regressão significativas entre a Q_{med} e a precipitação total anual (Pa) das sub-bacias de Rive e Usina São Miguel.....	79
Figura 18 - Gráfico da equação de regressão significativa entre a Q_7 e a precipitação total anual (Pa) da sub-bacia de Usina Paineiras.....	79

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	15
2	OBJETIVO GERAL	18
3	REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1	ÁREA DE ESTUDO	19
3.2	INFLUÊNCIA DAS CHUVAS NO REGIME HIDROLÓGICO DE RIOS.....	22
3.3	INFLUÊNCIA DA COBERTURA FLORESTAL NO REGIME HIDROLÓGICO DE RIOS	23
4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27
CAPÍTULO I - RELAÇÃO DAS CHUVAS COM AS VAZÕES DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPEMIRIM.....		30
1	INTRODUÇÃO.....	31
2	MATERIAL E MÉTODOS	33
2.1	VAZÕES	33
2.1.1	Séries históricas e preenchimento de falhas	33
2.1.2	Determinação das vazões de referência utilizadas no estudo.....	35
2.1.3	Análise de estacionariedade das séries históricas de vazões	36
2.2	PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA.....	37
2.2.1	Séries históricas e preenchimento de falhas	37
2.2.2	Espacialização da precipitação.....	40
2.2.3	Determinação das precipitações utilizadas no estudo	40
2.2.4	Análise de estacionariedade das séries históricas de chuvas	40
2.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA	41
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
3.1	Vazão média.....	42
3.2	Vazão mínima média com sete dias de duração	44
3.3	Vazão máxima	50
4	CONCLUSÕES	56
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
CAPÍTULO II - RELAÇÃO DA COBERTURA FLORESTAL COM AS VAZÕES DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPEMIRIM		59
1	INTRODUÇÃO.....	60
2	MATERIAL E MÉTODOS	62
2.1	VAZÕES	62
2.1.1	Séries históricas e preenchimento de falhas	62
2.1.2	Determinação das vazões de referência utilizadas no estudo.....	64
2.1.3	Análise de estacionariedade das séries históricas de vazões	64

2.2	PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA.....	64
2.2.1	Séries históricas e preenchimento de falhas	64
2.2.2	Espacialização da precipitação.....	65
2.2.3	Determinação das precipitações utilizadas no estudo	66
2.2.4	Análise de estacionariedade das séries históricas de chuvas	66
2.3	MAPEAMENTO DA COBERTURA FLORESTAL.....	66
2.3.1	Seleção das imagens de satélite	66
2.3.2	Pré-processamento digital das imagens de satélite.....	68
2.3.3	Classificação supervisionada por Máxima Verossimilhança.....	69
2.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA	71
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
3.1	MUDANÇAS OCORRIDAS NA COBERTURA FLORESTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPEMIRIM.....	73
3.2	RELAÇÃO ENTRE FLORESTA E VAZÃO	78
3.3	ASSOCIAÇÕES DAS VAZÕES COM A COBERTURA FLORESTAL E A PRECIPITAÇÃO ANUAL	81
3.3.1	Vazão média.....	81
3.3.2	Vazão mínima média com sete dias de duração	83
3.3.3	Vazão máxima	85
4	CONCLUSÕES	88
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	92
	APÊNDICE A.....	93
	APÊNDICE B.....	94

1 INTRODUÇÃO GERAL

Além de insumo básico e essencial à vida em todas as suas formas, a água representa um bem de consumo para quase todas as atividades humanas. Em decorrência de sua importância, tanto em relação a seus usos diversos, quanto à manutenção de sua qualidade e quantidade, os recursos hídricos são considerados um bem comum, que deve ser gerido de forma integrada, garantindo, assim, aproveitamento otimizado com um mínimo de conflitos (CALIJURI; BUBEL, 2006).

Embora a água seja um recurso natural renovável, os problemas ambientais relacionados à sua distribuição e disponibilidade estão cada vez mais presentes na atualidade. O Brasil é um país privilegiado em termos de quantidade de recursos hídricos, detendo cerca de 14% da água do planeta, possuindo entretanto, distribuição desigual dos recursos hídricos, seja em escala espacial e temporal (TUNDISI, 2008).

No Estado do Espírito Santo as chuvas acumuladas anuais tem ficado abaixo da média em muitas regiões, acarretando prejuízos de várias ordens, desde a agricultura até o abastecimento doméstico e industrial (INCAPER, 2015). Face à isto, algumas medidas para garantir o abastecimento foram tomadas, como as de que as companhias de abastecimento de água priorizassem o atendimento à população e revisassem seus contratos com o setor industrial, além da restrição ou proibição da irrigação em alguns municípios durante as estiagens (ESPÍRITO SANTO, 2015 a).

Nesse sentido, a bacia hidrográfica do rio Itapemirim (BHRI), 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 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, sendo estes, Alegre, Atílio Vivácqua, Cachoeiro de Itapemirim, Castelo, Ibitirama, Itapemirim, Jerônimo Monteiro, Muqui, Presidente Kennedy, Vargem Alta e Venda Nova do Imigrante (ESPÍRITO SANTO, 2015 b).

Sendo a manutenção dos recursos hídricos um tema que preocupa a humanidade há muito tempo, esta questão assume atualmente caráter prioritário e vital, dada a escassez de água já sentida em várias regiões do mundo, assim como

projeções de crescentes usos conflituosos da água. Na natureza, a disponibilidade hídrica, em termos de quantidade (vazão) e qualidade da água que emana das bacias hidrográficas, decorre de mecanismos naturais de controle desenvolvidos durante os processos evolutivos da paisagem, os quais constituem os serviços ambientais proporcionados pelo ecossistema (LIMA; ZAKIA, 2006).

Nesse sentido, as vazões dos cursos d'água são o resultado da integração dos componentes do ciclo hidrológico e, conseqüentemente, das influências naturais e antrópicas numa determinada bacia hidrográfica, sendo seu conhecimento um subsídio fundamental para o planejamento e tomada de decisão em relação à racionalização do uso e conservação dos recursos hídricos (MORTATTI et al., 2004; CRUZ; TUCCI, 2008).

Dentre as causas potenciais que alteram os regimes de vazões, estão a mudança da precipitação e a modificação do uso do solo (TUCCI, 2002). 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. Nessa linha, sugerem-se comumente a prática de reflorestamento para a produção de água em rios, embora, geralmente, muitas pesquisas relacionem a atuação da floresta na diminuição das vazões de rios, em razão de seu consumo hídrico (HIBBERT, 1967; BOSCH; HEWLETT, 1982; HORNBECK et al., 1993; SILBERSTEIN et al., 2003; BRUIJNZEEL, 2004; FARLEY et al., 2005; BROWN et al., 2013).

Algumas sub-bacias da BHRI possuem expressivos percentuais de cobertura florestal, e com a presença de importantes unidades de conservação, como o Parque Nacional (PARNA) do Caparaó; a Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN) de Cafundó e a Floresta Nacional (FLONA) de Pacotuba. Porém, em muitas regiões da bacia, a fragmentação é evidente, resultado do desflorestamento da

vegetação nativa em função da urbanização desordenada, do desenvolvimento de atividades agropecuárias, e dentre outras causas.

Desta forma, estudos que buscam entender a relação entre as alterações ocorridas nos ecossistemas florestais bem como dos regimes de chuvas no comportamento das vazões, constituem-se de grande importância no que diz respeito ao conhecimento da situação destes recursos em bacias hidrográficas, de modo a subsidiar o manejo nestas áreas.

2 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve por objetivo analisar o comportamento das vazões de cursos d'águas da bacia hidrográfica do rio Itapemirim e relacioná-los às mudanças ocorridas na cobertura florestal e na precipitação pluviométrica.

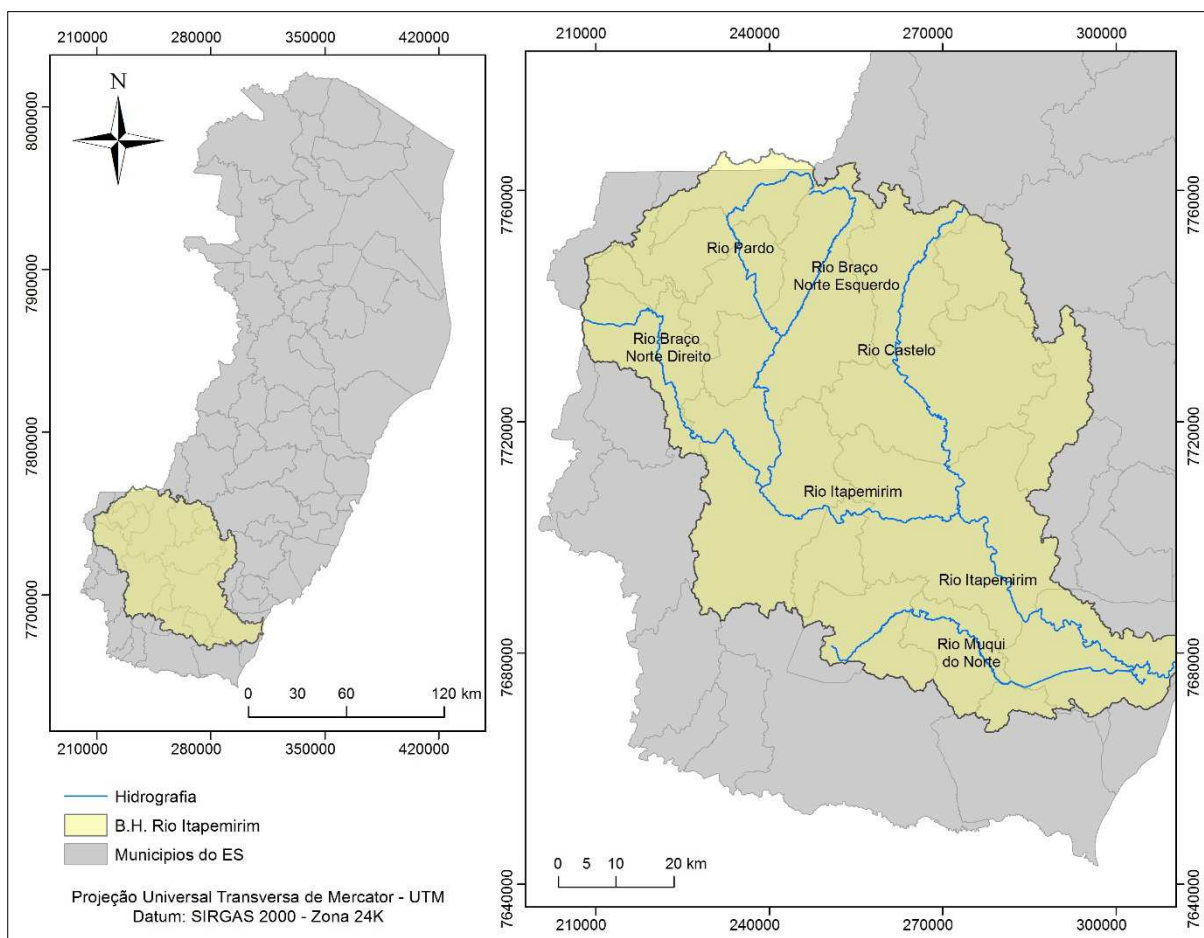
3 REVISÃO DE LITERATURA

No presente tópico, serão abordadas questões acerca da influência das florestas e das chuvas no regime de vazões dos rios, uma vez que estas variáveis influenciam de modo particular no comportamento hidrológico em bacias hidrográficas.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do rio Itapemirim, situada na região sul do Estado do Espírito Santo (Figura 1), entre os meridianos 40°48' e 41°52' de longitude Oeste e entre os paralelos 20°10' e 21°15' de latitude Sul. Esta possui área total de aproximadamente 5.920 km², e abrange dezoito municípios capixabas: Alegre, Atilio Vivácqua, Cachoeiro de Itapemirim, Castelo, Conceição do Castelo, Ibatiba, Ibitirama, Itapemirim, Iúna, Irupi, Jerônimo Monteiro, Marataízes, Muniz Freire, Muqui, Presidente Kennedy, Vargem Alta e Venda Nova do Imigrante. Abrange ainda parte do município de Lajinha, no Estado de Minas Gerais.

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Itapemirim no Estado do Espírito Santo.



Fonte: a autora. Base de dados obtidas junto ao Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo – GEOBASES.

Segundo a classificação de Köppen, os tipos climáticos predominantes na BHRI são o “Cwa” - Clima subtropical de inverno seco (com temperaturas inferiores a 18°C) e verão quente (com temperaturas superiores a 22°C) e o “Cwb” - Clima subtropical de altitude, com inverno seco e verão ameno.

A vegetação na área de estudo se encontra dentro dos domínios do bioma Mata Atlântica, nas seguintes formações classificadas por Veloso et al. (1991): Floresta Ombrófila Densa Submontana, Montana e Altomontana; e Floresta Estacional Semidecidual de Terras Baixas e Submontana.

Com relação à algumas características naturais na BHRI, Lani et al. (2001) identificaram 6 macroambientes de condições de solo, vegetação e clima peculiares nesta bacia, a saber: Litoral-Mangue, Litoral-Restinga, Terciário (Platôs Litorâneos), Cachoeiro de Itapemirim, Celina e Pico da bandeira. As descrições desses ambientes encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1 - Características gerais dos macroambientes na Bacia do rio Itapemirim.

Macroambiente	Vegetação original	Relevo	Outros atributos do ambiente
1. Litoral Mangue	Halófitas e hidrófilas	Plano	Área pouco representativa, identificada apenas na foz do rio Itapemirim. Ocorrência de inundação e salinidade. Possuem Gleissolos tiomórficos, que quando drenados se tornam extremamente ácidos.
2. Litoral Restinga	Forma ilhas com arbustos e sub arbustos, gramíneas, ciperáceas, bromélias e cactáceas.	Plano	Arenoso, distróficos, susceptíveis à erosão eólica. Formados por sedimentos marinhos. Baixa fertilidade e após sucessivas queimadas predomina a vegetação graminóide e, por fim, dunas. Ambiente frágil e de difícil recuperação.
3. Terciário (Platôs Litorâneos)	Floresta subperenifólia	Plano a suave ondulado	Solos coesos com baixos teores de silte, distróficos, baixa permeabilidade, erosão moderada, Ki e Kr elevados (índices de intemperização dos solos), reserva mineral nula, cauliniticos com baixos teores de ferro. Ocorrência de Gleis, Orgânico e Aluviais no fundo do vale.
4. Cachoeiro de Itapemirim	Floresta subcaducifólia	Suave ondulado e montanhoso	Solos argilosos, em sua grande maioria eutróficos, com boa reserva de nutrientes. Erosão moderada e severa, drenagem moderada, matiz de 2,5YR ou superior.
5. Celina	Floresta subperenifólia	Montanhoso a forte ondulado	Vales dissecados e rebaixados pela ação erosiva dos rios. Solos argilosos acentuadamente distróficos ou álicos, grande estabilidade de agregados, friáveis e baixos valores de Ki.
6. Pico da Bandeira	Floresta subperenifólia altimontana e campos de altitude	Montanhoso a escarpado	Vales em V fechado, altitudes elevadas, solos distróficos ou álicos e gibbsíticos.

Fonte: Adaptado de Lani et al. (2001).

3.2 INFLUÊNCIA DAS CHUVAS NO REGIME HIDROLÓGICO DE RIOS

Os processos hidrológicos em bacias hidrográficas possuem duas direções predominantes, o fluxo vertical e o horizontal. O vertical é representado pelos processos de precipitação e evapotranspiração, enquanto que o horizontal, pelo escoamento na direção dos gradientes de superfície (escoamento superficial de rios) e do subsolo (escoamento subterrâneo) (TUCCI; CLARKE, 1997). A principal componente de entrada no sistema é a precipitação, enquanto que as principais variáveis de saída são a evapotranspiração e a vazão dos cursos d'água. A relação entre as variáveis de entrada e saída dos sistemas hidrológicos normalmente apresentam comportamentos não lineares (TUCCI, 2002).

O regime de vazões é capaz de integrar vários componentes de uma bacia hidrográfica. As vazões em rios variam no tempo, sendo diretamente influenciadas pelo clima (principalmente pela precipitação), características físicas das bacias, e alterações antrópicas, tais como as mudanças no uso e ocupação do solo e represamento de águas fluviais (ZHANG et al., 2006).

Em bacias hidrográficas, o aporte da água proveniente das precipitações desencadeia uma série de processos internos, sendo os principais a infiltração, o armazenamento superficial e subsuperficial no solo, o escoamento superficial, o deflúvio, o intemperismo e os processos erosivos, os quais interagem constantemente entre si (SILVEIRA, 2004). Quanto à sua atuação no regime hídrico de rios, o volume de precipitação influencia fortemente na dinâmica de suas vazões, refletindo no seu comportamento em períodos de estiagens ou cheias.

Em alguns casos, as chuvas podem não explicar exclusivamente pelas mudanças nas vazões, como no trabalho de Santos et al. (2010), que constataram que houve tendência de redução mais acentuada do escoamento, em comparação com a precipitação e, desta forma, a variabilidade climática explicou de maneira parcial, pelas alterações ocorridas no escoamento da bacia do ribeirão João Leite, no período de 1979 a 2005. Neste trabalho, o autores concluíram que o uso do solo responde provavelmente pelas mudanças nas vazões, embora estes afirmem que, possivelmente, as análises tenham sido prejudicadas pelo expressivo aumento do volume de água captado na bacia.

Mas, normalmente, o regime de vazões tende a acompanhar as alterações das chuvas. Almeida (2007), analisando a influência do desmatamento na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Córrego do Galo em Domingos

Martins (ES) durante 31 anos, não encontraram tendência no decorrer do tempo, indicando uma possível correlação entre desmatamento e as vazões médias, mínimas e máximas, sendo que as vazões estiveram relacionadas à precipitação.

Espinoza Villar et al. (2009) analisaram as mudanças no escoamento de 18 sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Amazonas, num período de 30 anos, e concluíram que as tendências observadas nas vazões das sub-bacias amazônicas foram explicadas pelas variações regionais da precipitação.

Rodriguez et al. (2010) na bacia do Ji-Paraná (RO), verificaram que nas bacias maiores a variabilidade da chuva controlou a maioria das respostas hidrológicas.

Em razão das chuvas atuarem mais expressivamente sobre o regime de vazões, esta variável deve ser considerada ao se analisar o papel das florestas no regime hídrico de rios.

3.3 INFLUÊNCIA DA COBERTURA FLORESTAL NO REGIME HIDROLÓGICO DE RIOS

A percepção pública de que as florestas, em todas as circunstâncias, regulam os regimes hídricos dos sistemas aquáticos, reduzem inundações, garantem o abastecimento de água e melhoram a qualidade da água, há muito tem sido questionada pela comunidade científica, que sugere uma visão mais complexa e geralmente menos vantajosa das florestas em relação aos recursos hídricos (CALDER, 2007). Segundo Bacellar (2005), algumas das funções da vegetação no regime hidrológico são repetidas com base unicamente em mitos e tradições, sem qualquer respaldo de dados científicos.

Com relação ao papel das florestas exercido no regime hidrológico dos rios, existem muitas controvérsias, como as de que bacias florestadas produzem mais água do que bacias com outro tipo de cobertura vegetal (BALBINOT et al. 2008). De acordo com os mesmos, o que ocorre frequentemente é que em bacias com total cobertura florestal, há uma menor produção de água, mas o fluxo é mais estável e sustentável do que em outros casos. Consequência disso é que, tradicionalmente, a floresta é vista como eficaz para estabilizar e manter as vazões nos rios, sendo este um dos motivos pelos quais a recomposição florestal é prática repetidamente recomendada na recuperação de bacias hidrográficas (BACELLAR, 2005).

De acordo com Bacellar (2005), tais controvérsias se devem à complexidade do tema, pois as variáveis que controlam o comportamento hidrológico numa bacia são muitas e frequentemente interdependentes. Ainda, outro fator relevante, é que os dados adquiridos em bacias com características contrastantes ou com metodologias distintas são muitas vezes indevidamente comparados, levando-se a conclusões equivocadas.

Quando a floresta influencia na variação das vazões em bacias hidrográficas, esta decorre, em grande parte, da utilização da água para seus processos biológicos, como a transpiração. Nesse sentido, a quantidade de água que a floresta devolve para a atmosfera pode representar uma grande diferença na bacia, afetando sua resposta hidrológica em termos de produtividade de água (ANDRÉASSIAN, 2004; BRUIJNZEEL, 2004; CARDOSO et al., 2006). Com relação à isto, alguns estudos fazem considerações a respeito de seus efeitos no comportamento das vazões de rios (HIBBERT, 1967; BOSCH; HEWLETT, 1982; HORNBECK et al., 1993; SILBERSTEIN et al., 2003; FARLEY et al., 2005; BROWN et al., 2013).

Inicialmente, Hibbert (1967 apud BOSCH; HEWLETT, 1982) avaliaram o resultado de 39 bacias experimentais em diversas partes do mundo, e concluíram que: (i) a redução da cobertura de floresta aumenta a vazão média; (ii) o estabelecimento da cobertura florestal em áreas de vegetação esparsa diminui a vazão média; e (iii) a resposta à mudança é muito variável e, na maioria das vezes, de impossível previsão.

Bosch e Hewlett (1982) atualizaram o estudo anterior, adicionando dados de 94 bacias com tamanho médio de 80 ha, e confirmaram as duas primeiras conclusões de Hibbert. Mas, com relação à terceira, os elementos existentes em suas análises permitiram estimar somente a ordem de magnitude das alterações com base no tipo de vegetação e na precipitação. Em seus resultados, Bosch e Hewlett (1982) afirmam que não é possível detectar influência na vazão média quando as alterações na cobertura florestal são menores que 20%. Quanto aos valores sugeridos como indicadores a respeito de quanto cada tipo de vegetação influencia nas vazões, a cada 10% de retirada de coníferas e eucaliptos houve um aumento de cerca de 40 mm na vazão anual; a cada 10% de retirada das florestas decíduas cerca de 25 mm, enquanto que a cada 10% de retirada da vegetação rasteira, houve um incremento de cerca de 10 mm na vazão média.

Hornbeck et al. (1993), estudaram os efeitos de longo prazo do tratamento de floresta sobre a produção de água em algumas bacias nos Estados Unidos, sob

diferentes condições climáticas e encontraram como resultados: (i) aumentos iniciais da vazão ocorrem rapidamente após a retirada da floresta; (ii) com o aumento da regeneração da cobertura florestal ocorre uma diminuição rápida do escoamento, entre 3 a 10 anos; e (iii) um pequeno aumento ou diminuição na produção de água pode persistir por pelo menos uma década.

Silberstein et al. (2003) verificaram que, em certas bacias do oeste australiano, a substituição da vegetação nativa por culturas e pastagens elevou o lençol freático e, conseqüentemente, incrementou o fluxo básico, perenizando rios anteriormente sazonais.

Farley et al. (2005) coletaram informações de estudos sobre reflorestamento realizados em 26 bacias experimentais de diversos países, e verificaram que, em termos médios, a substituição de pastagem e de vegetação arbustiva por espécies florestais resultou em 44% e 31% de redução no deflúvio anual, respectivamente. Mas que, embora a redução do deflúvio aumente com o crescimento da floresta, o balanço hídrico da microbacia tende a voltar ao equilíbrio pré-existente quando estas atingem idades mais avançadas.

Com relação as vazões máximas, Brown et al. (2013) encontraram resultados para quatro bacias experimentais localizadas na Austrália, em que o desmatamento ocasionou aumentos significativos na curva de permanência de vazões durante o primeiro ano, onde a maior variação de volume foi nos escoamentos máximos. Nesse sentido, de acordo com Tucci e Clarke (1997), no que se refere ao comportamento dos hidrogramas em resposta às chuvas de grandes intensidades, os volumes escoados em bacias desmatadas são maiores do que nas bacias florestadas de dossel fechado, quando a capacidade de interceptação destas últimas é atingida.

Com relação dos efeitos da floresta nas vazões mínimas, de acordo do Tucci e Clarke (1997), é possível encontrar na literatura experimentos que mostram tanto aumento quanto diminuição da vazão mínima depois do desflorestamento, sendo um ou outro comportamento, caracterizado pelas características do solo após o desmatamento. De acordo com estes, quando as condições de infiltração após o desmatamento ficam deterioradas, como por exemplo, quando o solo fica compactado pela energia da chuva, a capacidade de infiltração fica reduzida e o volume do escoamento superficial aumenta, ocasionando a redução da alimentação do aquífero, e a conseqüente diminuição da vazão mínima. De outro lado, se após o desmatamento as condições do solo são propícias para a infiltração da água da

chuva, reduzindo o escoamento superficial para os rios, o aquífero tem uma maior recarga, aumentando assim as vazões mínimas.

Com o desmatamento, o lençol freático tende a subir e a zona não saturada do solo torna-se em média mais úmida, fatores que elevam a possibilidade de fluxos subsuperficiais (BRUIJNZEEL; CRITCHLEY, 1994). A ascensão do lençol freático nas áreas desmatadas pode aumentar a ponto de inviabilizar a regeneração da floresta após o corte, necessitando da adoção de práticas de drenagem do solo (POTHIER et al., 2003). Embora o desmatamento seja, geralmente, seguido por um período de aumento de produção de água, o período subsequente de regeneração florestal pode ou não ser caracterizado por uma diminuição na produção de água, relativamente às condições de pré-desmatamento (ANDRÉASSIAN, 2004).

Os trabalhos que relacionam o desmatamento às modificações no regime de vazões se referem principalmente a bacias de porte menor, onde o experimento pode ser controlado, pois em bacias maiores a variabilidade espacial dos diferentes fatores que interferem no escoamento é muito grande, tais como precipitação, solo, cobertura, manejo do solo, entre outros (TUCCI, 2002). Nesse sentido, o efeito da escala é ainda pouco conhecido, pois se desconhece até quando é possível extrapolar os dados obtidos em pequenas para grandes bacias hidrográficas (BROWN et al., 2005), visto que há diferenças marcantes entre as mesmas.

Apesar das florestas tenderem a modificar regimes de vazões, de maneira a não aumentar a produção de água na bacia, as mesmas prestam serviços ecossistêmicos de grande relevância. De acordo com Schiavetti e Camargo (2005), observa-se claramente que quanto maior a densidade da cobertura vegetal, no processo de escoamento superficial e na conseqüente conservação de solo. Além disso, vê-se que o tipo e a porcentagem da cobertura vegetal influenciam na redução dos efeitos erosivos naturais, podendo interceptar parte da energia cinética da chuva, minimizando o impacto sobre o solo (SCHIAVETTI; CAMARGO, 2005).

Nas bacias de cabeceira, com relevo mais íngreme, a floresta auxilia na retenção da delgada camada de solo (Neossolos Litólicos), sendo responsável pela manutenção do fluxo de base por mais tempo (MATHYS et al., 1996). Neste caso, o desmatamento pode desencadear a erosão e os movimentos de massa, resultando, em longo prazo, na redução do fluxo de base (SCHIAVETTI; CAMARGO, 2005). Também quando há intensa compactação do solo em razão do desmatamento, o fluxo superficial torna-se importante e o fluxo de base permanece inalterado ou decresce (BRUIJNZEEL; CRITCHLEY, 1994).

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. Q. **Influência do desmatamento na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Córrego do Galo, Domingos Martins, ES.** 2007. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2007.

ANDRÉASSIAN, V. Water and forests: from historical controversy to scientific debate. **Journal of Hydrology**, v.291, n.1/2, p.1-27, 2004.

BACELLAR, L.A.P. O papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas. **GeoBr**, p.1-39, 2005.

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.

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**, v.55, p.3-23, 1982.

BROWN, A.E.; ZHANG, L.; MCMAHON, T.A.; WESTERN, A.W.; VERTESSY, R.A. A review of paired catchments studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. **Journal of Hydrology**, v.310, p.28-61, 2005.

BROWN, A.E.; WESTERN, A.W.; MCMAHON, T.A.; ZHANG, L. Impact of forest cover changes on annual streamflow and flow duration curves. **Journal of Hydrology**, v. 483, p.39-50, 2013.

BRUIJNZEEL, L.A. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.104, p.185-228, 2004.

BRUIJNZEEL, L.A.; CRITCHLEY, W.R.S. **Environmental impacts of logging moist tropical forest.** UNESCO, IHP – Humid Tropic Programme Séries (n° 7), 1994. 52p.

CALDER, I.R. Forests and water - enduring forest benefits outweigh water costs. **Forest Ecology and Management**, v. 251, p.110-120, 2007.

CALIJURI, M.C.; BUBEL, A.P.M. Conceituação de microbacias. **As florestas plantadas e a água: implementando o conceito de microbacia hidrográfica como unidade de planejamento.** São Carlos: RiMa, 2006. p.45-59.

CARDOSO, C.A.; DIAS, H.C.T.; MARTINS, S.V.; SOARES, C.P.B. Caracterização hidroambiental da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v.30, n.2, p.249-256, 2006.

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.

CRUZ, J.C.; TUCCI, C.E.M. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.13, n.1, p.111-124, 2008.

ESPINOZA VILLAR, J.C.; GUYOT, J. L., RONCHAIL, J.; COCHONNEAU, G.; FILIZOLA, N.; FRAIZY, P.; LABAT, D.; OLIVEIRA, E.; ORDOÑEZ, J. J.; VAUCHEL, P. Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon basin (1974 - 2004). **Journal of Hydrology** v. 375, n.3-4, 297-311, 2009.

ESPÍRITO SANTO. **ES economiza 800 milhões de litros de água em dois meses de 2015**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/espírito-santo/noticia/2015/03/es-economiza-800-milhoes-de-litros-de-agua-em-dois-meses-de-2015.html>>. Acesso em: dez. 2015a.

_____. **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: dez. 2015b.

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.

HIBBERT, A.R. Forest treatment effects on water yield. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM FOREST HYDROLOGY. Pergamon, Oxford, **Proceedings**, p.527-543, 1967.

HORNBECK, J.W.; ADAMS, M.B.; CORBETT, E.S.; VERRY, E.S.; LYNCH, J.A. Long-term impacts of forest treatments on water yield: a summary for northeastern USA. **Journal of Hydrology**, v. 1, n.150, p.323-34, 1993.

INCAPER - Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Considerações iniciais sobre a estiagem ocorrida no Espírito Santo, no período 2014-2015**. Disponível em: <file:///F:/Bibliografia/Artigos/INCAPER-estiagem_2014_2015.pdf>. Acesso em: dez. 2015. 3p.

LANI, J.L.; RESENDE, M.; REZENDE, S.B. Estratificação de Ambientes com base nas classes de solos e outros atributos na Bacia do Rio Itapemirim, ES. **Ceres**, v.48, p. 239-261, 2001.

LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. Saúde ambiental da microbacia. **As florestas plantadas e a água: implementando o conceito de microbacia hidrográfica como unidade de planejamento**. São Carlos: RiMa, 2006. p.61-75.

MATHYS, N.; MEUNIER, M.; BROCHOT, S. **The forest effect on floods in small mountainous catchments: some results from experimental catchments: some results from experimental catchments of Draix, France**. Paris: UNESCO, IHP - Humid Tropic Programme Séries (n° 14), p.123-138. 1996.

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.

MORTATTI, J.; BORTOLETTO JÚNIOR, M.J.; MILDE, L.C.E.; PROBST, J.L. Hidrologia dos Rios Tietê e Piracicaba: séries temporais de vazão e hidrogramas de cheia. **Revista de Ciência & Tecnologia**, Piracicaba, v.12, n.23, p.55-67, 2004.

POTHIER, D.; PRÉVOST, M.; AUGER, I. Using the shelterwood method to mitigate water table rise after harvesting. **Forest Ecology and Management**, v.179, p.573-583, 2003.

RODRIGUEZ, D.A.; TOMASELLA, J.; LINHARES, C. Is the forest conversion to pasture affecting the hydrological response of Amazonian catchments? Signals in the Ji-Paraná Basin. **Hydrological Processes**, v.24, p.1254-1269, 2010.

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

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A.F.M. 1.ed. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus, BA: Editus, 2005. 293p.

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.

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.; CLARKE, R.T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.2, n.1, p.135-152, 1997.

TUNDISI, J.G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, v.22, n.63, p.7-16, 2008.

VELOSO, H.P.; RANGEL-FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 123p.

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

**CAPÍTULO I - RELAÇÃO DAS CHUVAS COM AS VAZÕES DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPEMIRIM**

RELAÇÃO DAS CHUVAS COM AS VAZÕES DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPEMIRIM

1 INTRODUÇÃO

Embora a água seja um recurso natural renovável, os problemas ambientais relacionados à sua distribuição e disponibilidade estão cada vez mais presentes na atualidade. Dentre as inúmeras causas que agravam a crise hídrica, estão o estresse e escassez de água em muitas regiões do planeta em razão das alterações na disponibilidade e aumento da demanda, e problemas de estresse e escassez em razão de mudanças globais com eventos hidrológicos extremos aumentando a vulnerabilidade da população humana e comprometendo a segurança alimentar (TUNDISI, 2008).

O regime de vazões é capaz de integrar vários componentes de uma bacia hidrográfica. Este componente hidrológico possui variação no tempo, e pode ser diretamente influenciado pelo clima (principalmente pela precipitação), características físicas das bacias, e alterações antrópicas, tais como as mudanças no uso e ocupação do solo e represamento de águas fluviais (ZHANG et al., 2006).

Em bacias hidrográficas, o aporte da água proveniente das precipitações desencadeia uma série de processos internos, sendo os principais a infiltração, o armazenamento superficial e subsuperficial no solo, o escoamento superficial, o deflúvio, o intemperismo e os processos erosivos, os quais interagem constantemente entre si (SILVEIRA, 2004). Quanto à sua atuação no regime hídrico de rios, o volume de precipitação influencia fortemente na dinâmica de suas vazões, refletindo no seu comportamento em períodos de estiagens ou cheias. Alguns estudos verificaram que as tendências observadas nas vazões de bacias hidrográficas foram explicadas pelas variações nos regimes de chuvas (ALMEIDA, 2007; ESPINOZA VILLAR, 2009; RODRIGUEZ et al. 2010).

No sentido de que as vazões dos cursos d'água são o resultado da integração dos componentes do ciclo hidrológico e, conseqüentemente, das influências naturais numa determinada bacia hidrográfica, seu conhecimento é um subsídio fundamental para o planejamento e tomada de decisão em relação à racionalização do uso e conservação dos recursos hídricos (MORTATTI et al., 2004; CRUZ; TUCCI, 2008).

O presente trabalho teve por objetivo analisar o comportamento das vazões de cursos d'águas da bacia hidrográfica do rio Itapemirim e relacioná-los às mudanças ocorridas na precipitação pluviométrica.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 VAZÕES

Vazão é o volume total de água que escoar, em determinado período, pela seção transversal de um curso d'água, expressa em metros cúbicos por segundo ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) ou litros por segundo (L s^{-1}). E o estudo desta variável hidrológica é importante para o conhecimento da disponibilidade hídrica de determinada região, que no caso desta pesquisa, foi a bacia hidrográfica do rio Itapemirim, localizada no Sul do Estado do Espírito Santo.

2.1.1 Séries históricas e preenchimento de falhas

Do Sistema de Informações Hidrológicas da ANA (Hidroweb), foram obtidas as séries históricas de vazões diárias ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) de 11 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim (BHRI), referentes ao período compreendido entre 1985 e 2011, em intervalo a cada 2 anos, e para o ano de 2014 (Tabela 1).

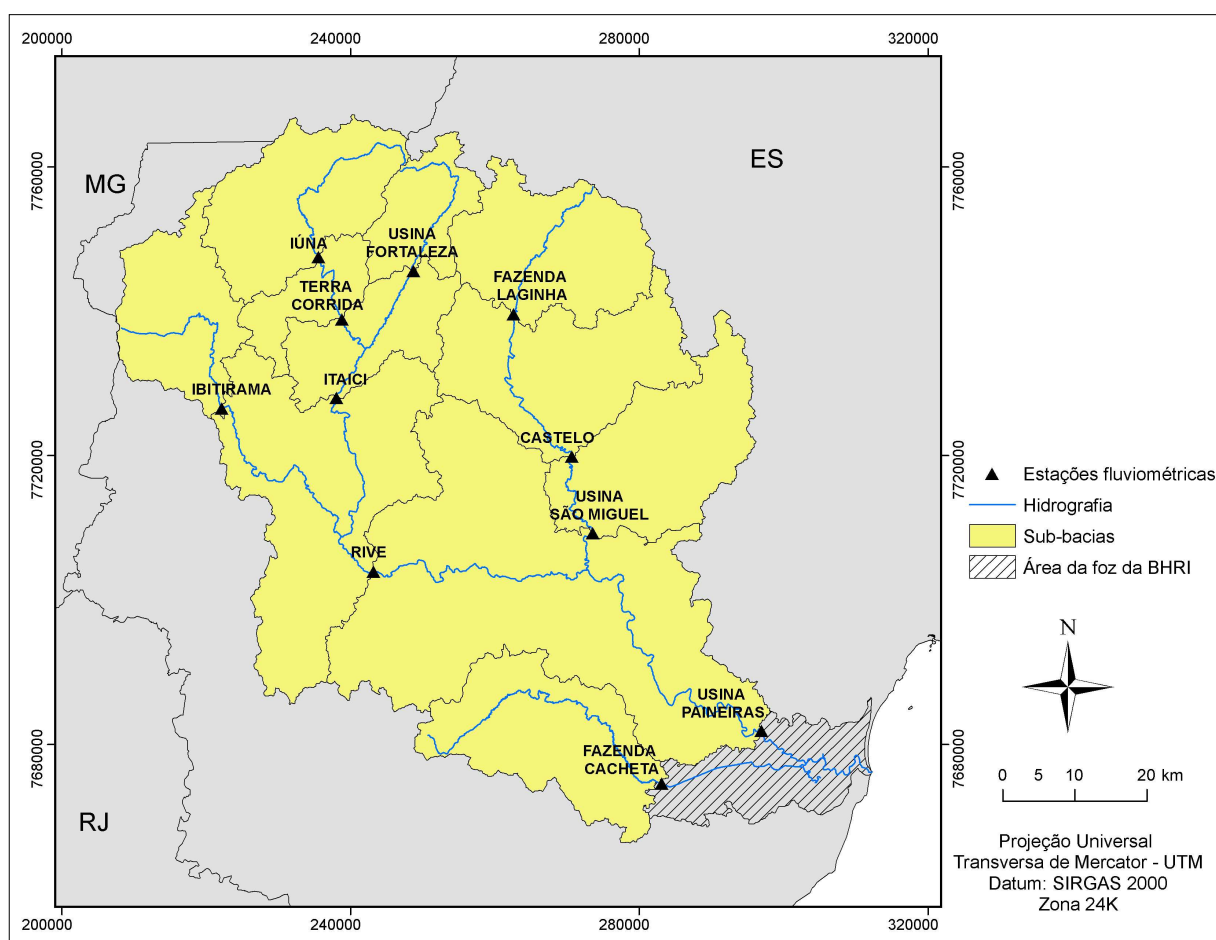
Tabela 1 - Dados de identificação das estações fluviométricas utilizadas no período entre 1985 e 2014

Código	Estação (Sub-bacia)	Curso d'água	Altitude (m)
57490000	Castelo	Rio Castelo	107
57650000	Fazenda Cacheta	Rio Muqui do Norte	-
57476500	Fazenda Laginha	Rio Castelo	-
57420000	Ibitirama	Rio Braço Norte Direito	710
57400000	Itaici	Rio Braço Norte Esquerdo	380
57360000	Iúna	Rio Pardo	640
57450000	Rive	Rio Itapemirim	128
57370000	Terra Corrida Montante	Rio Pardo	380
57350000	Usina Fortaleza	Rio Braço Norte Esquerdo	554
57580000	Usina Paineiras	Rio Itapemirim	40
57550000	Usina São Miguel	Rio Castelo	200

Fonte: Sistema de Informações Hidrológicas - HidroWeb, da Agência Nacional de Águas (ANA, 2015). Alguns dados de altitudes não foram informados na base HidroWeb.

A área em estudo (BHRI) foi subdividida de acordo com as áreas de contribuição pertinentes a cada uma dessas 11 estações fluviométricas, a fim de analisar as alterações no uso do solo e sua relação com as vazões na bacia em escalas menores. O mapeamento com a localização das estações fluviométricas na bacia, bem como a delimitação das sub-bacias a partir dessas estações, estão ilustrados na Figura 2. Em razão de não haver estação localizada na região da foz da BHRI (296,5 km²), esta porção da bacia não foi considerada nas análises, conforme mostrado na legenda da respectiva figura.

Figura 2 - Localização das estações fluviométricas (sub-bacias) localizadas na BHRI.



Fonte: a autora. Base de dados da delimitação das sub-bacias cedida por Gasparini (2014).

Para a etapa do pré-processamento, referente ao preenchimento de falhas nas séries históricas de vazões, utilizou-se o programa SisCAH 1.0 - Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (SOUZA et al., 2009). Desta forma, obteve-se o coeficiente de correlação linear dos dados observados entre a estação com falhas a ser preenchida e a estação de apoio (Equação 1).

$$Y = \beta_0 X + \beta_1 \quad (1)$$

Em que:

Y = vazão do posto com falhas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$);

X = vazão do posto de apoio ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$); e

β_0 e β_1 = parâmetros ajustados na regressão.

Foram adotadas como estações de apoio, as sub-bacias que apresentaram coeficientes de determinação superiores a 0,70. De posse dos parâmetros fornecidos pelo SisCAH (Tabela 2), as séries diárias de vazão das estações foram preenchidas conforme a Equação 1.

Tabela 2 - Relação dos meses com falhas no registro de vazão das estações bases entre os anos de 1985 e 2014, e dos parâmetros (b_0 e b_1) das equações de regressão linear ajustadas para o preenchimento das falhas

Estação base	Estação de apoio	Nº meses com falhas	R ²	b ₀	b ₁
57350000	57400000	01	0,85	0,24	0,31
57360000	57370000	23	0,98	0,66	0,82
57370000	57400000	07	0,96	0,49	1,39
57400000	57450000	01	0,95	0,43	0,64
57420000	57580000	04	0,80	0,16	-0,89
57450000	57580000	02	0,95	0,49	1,82
57550000	57490000	09	0,93	1,31	2,97
57580000	57450000	03	0,95	1,95	0,43
57650000	57360000	21	0,83	1,50	-4,08

2.1.2 Determinação das vazões de referência utilizadas no estudo

Para cada uma das 11 estações fluviométricas localizadas na bacia, foram obtidas, a cada 2 anos (1985, 1987, 1989, 1991, 1993, 1995, 1997, 1999, 2001, 2003, 2005, 2007, 2009, 2011), e para o ano de 2014, a vazão mínima média com sete dias de duração (Q_7), a vazão média anual (Q_{med}) e a vazão máxima anual (Q_{max}).

A determinação das respectivas vazões foi realizada utilizando o software HIDRO 1.2.1 (ANA, 2015), considerando-se o ano hidrológico com início em outubro e término em setembro.

2.1.3 Análise de estacionariedade das séries históricas de vazões

Na maioria das aplicações da hidrologia estatística, as séries hidrológicas reduzidas devem ter como pré-requisito os atributos de estacionariedade e homogeneidade (NAGHETTINI; PINTO, 2007). O termo “estacionariedade” refere-se ao fato de que, excluídas as flutuações aleatórias, as observações amostrais são invariantes com relação à cronologia de suas ocorrências. A série não estacionária inclui tendências, ‘saltos’ e ciclos, no decorrer do tempo, onde, em contexto hidrológico, estes saltos podem estar relacionados à alterações bruscas em uma bacia ou trecho fluvial, tais como barragens e reservatórios, por exemplo. Os ciclos, por sua vez, são relacionados a flutuações climáticas de longo período, que são de difíceis detecções. Por outro lado, quando certas propriedades estatísticas de uma série hidrológica não se alteram no decorrer do tempo, a série é dita estacionária (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

A fim de verificar a ocorrência de mudanças significativas ao longo da série de vazão média anual (Q_{med}), máxima anual (Q_{max}) e mínima média com sete dias de duração (Q_7), de cada uma das 11 estações, dividiu-se cada série em duas amostras (amostra 1: 1984 a 1999 e amostra 2: 2000 a 2014). Posteriormente, essas amostras foram testadas por meio da utilização do teste F e do teste t de Student, com 1% de probabilidade, para a rejeição ou não das hipóteses de estacionariedade das mesmas.

Na maioria das sub-bacias, as vazões foram estacionárias em ambos os testes estatísticos (teste F e teste t). Algumas séries de vazão apresentaram tendência estacionária somente pelo teste t de Student, como as sub-bacias de Fazenda Cacheta (Q_7) e Iúna (Q_7 e Q_{max}). Com relação à estacionariedade obtida somente pelo teste F, isto ocorreu nas sub-bacias de Castelo (Q_{max}), Fazenda Cacheta (Q_{max}) e Usina Fortaleza (Q_7).

De acordo com os testes estatísticos, pode-se dizer que as vazões da BHRI, no período analisado, foram estacionárias, ou seja, apresentaram regularidade em suas vazões, não possuindo, no período analisado, causas aleatórias que contribuíssem para mudanças expressivas em seus regimes, tais como a presença de barragens, reservatórios, flutuações climáticas, etc.

2.2 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

2.2.1 Séries históricas e preenchimento de falhas

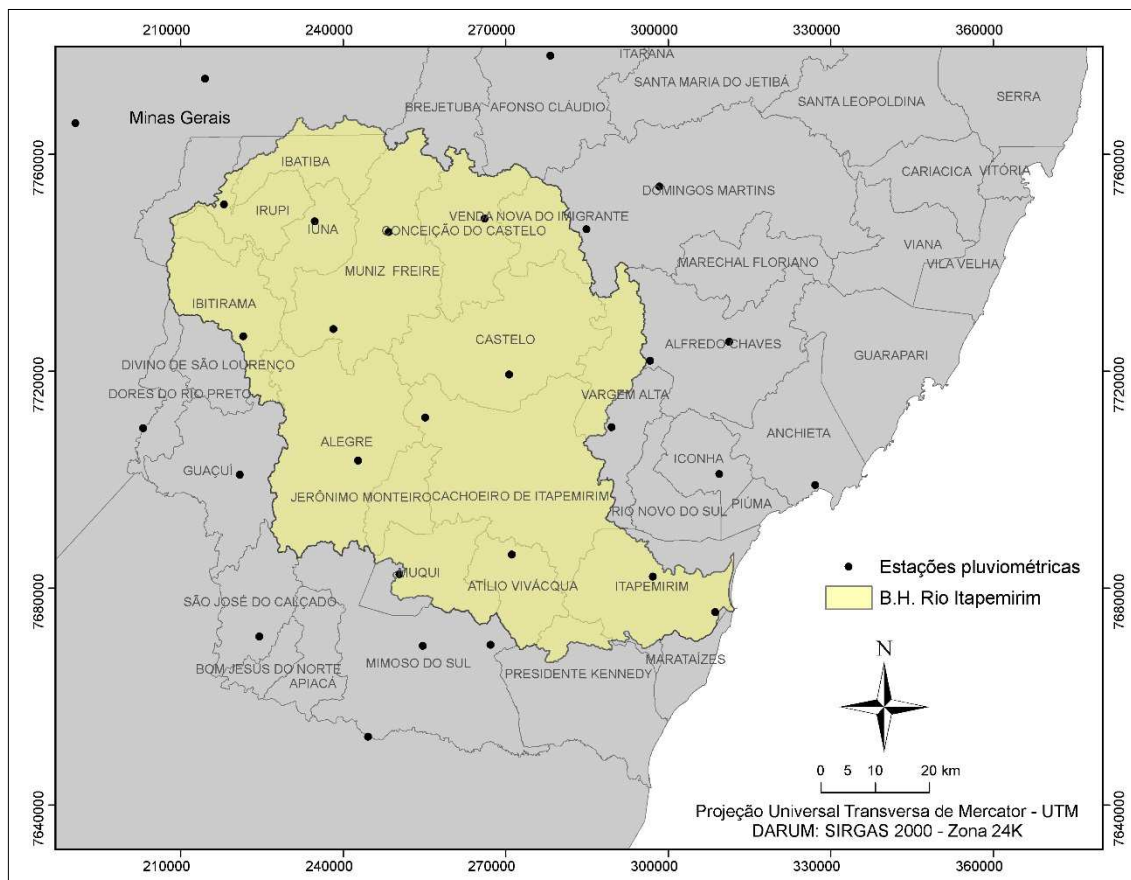
Os dados de chuvas diárias (mm) do período de 1985 a 2014 foram obtidos de 29 estações pluviométricas junto à Agência Nacional de Águas - ANA. Algumas destas estações estão localizadas nas adjacências da bacia, e foram utilizadas com o objetivo de minimizar o efeito de borda no processo de interpolação. As estações pluviométricas utilizadas e suas respectivas coordenadas UTM estão descritas na Tabela 3, e na Figura 3 apresentada a distribuição espacial das mesmas.

Tabela 3 - Dados de identificação das estações pluviométricas utilizadas

Código	Estação	Este (m)	Norte (m)
02040005	Iconha - montante	309508,6	7701120,5
02040006	Usina paineiras	297242,1	7682152,0
02040009	Anchieta (DNOS)	327231,2	7699097,7
02040011	Matilde (DNOS)	311319,3	7725500,2
02040017	Duas barras (DNOS)	296760,8	7722010,5
02040023	São Rafael	298468,0	7754142,2
02041000	Atílio Vivacqua	271177,6	7686244,4
02041001	Guaçuí	220969,6	7700991,4
02041002	Castelo	270725,3	7719463,8
02041003	Rive	242810,7	7703555,2
02041008	Dores do Manhumirim	214543,6	7774006,6
02041010	Jacigua (DNOS)	289614,3	7709742,3
02041011	Conceição do Castelo (DNOS)	266161,1	7748196,8
02041013	Lúna	234828,6	7747742,0
02041014	Dores do Rio Preto	203103,1	7709549,9
02041015	Fazenda Monte Alegre	250416,6	7682623,8
02041016	Ibitirama	221592,3	7726483,3
02041017	Santa Cruz do Caparaó	218061,3	7750798,8
02041018	Usina Fortaleza	248439,1	7745731,3
02041019	Itaici	238267,3	7727855,7
02041020	Arace (Fazenda Modelo)	284985,8	7746227,8
02041021	Burarama	255198,7	7711493,4
02041023	Afonso Cláudio - montante	278310,2	7778257,3
02041048	Fazenda Vargem Alegre	190616,4	7765841,1
02140000	Barra do Itapemirim (DNOS)	308759,1	7675644,4
02141014	Ponte do Itabapoana	244636,1	7652626,6
02141015	Mimoso do Sul	254774,4	7669396,4
02141016	São José do Calçado	224588,7	7671137,7
02141017	São José das Torres	267248,3	7669576,5

Fonte: ANA (2015).

Figura 3 - Localização das estações pluviométricas utilizadas no estudo.



Fonte: a autora. Base de dados obtidas junto ao GEOBASES.

Para o preenchimento das falhas de precipitação mensais das séries históricas, utilizou-se a ponderação regional (Equação 2). As falhas foram preenchidas tendo como base os dados chuvas de três postos localizados próximos às estações a serem preenchidas.

$$P_e = \frac{1}{3} \left[\frac{P_1}{P_{m1}} + \frac{P_2}{P_{m2}} + \frac{P_3}{P_{m3}} \right] P_m \quad (2)$$

Em que:

P_e = precipitação do posto a ser estimado (mm);

P_1 , P_2 e P_3 = precipitações correspondentes ao mês que se deseja preencher, observadas nos três postos vizinhos (mm);

P_{m1} , P_{m2} e P_{m3} = precipitação média normal nas três estações vizinhas (mm) e;

P_m = precipitação média do posto a ser estimado (mm).

2.2.2 Espacialização da precipitação

A estimativa das chuvas médias mensais e totais anuais dos 15 anos para a BHRI (1985, 1987, 1989, 1991, 1993, 1995, 1997, 1999, 2001, 2003, 2005, 2007, 2009, 2011 e 2014), foi obtida a partir da espacialização das chuvas das 29 estações, utilizando o método de interpolação Inverso da Potência da Distância ao Quadrado (IPD2).

O modelo de interpolação foi escolhido com base na metodologia proposta por Xavier et al. (2010), onde 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 IPD2 obteve o melhor desempenho na validação cruzada para a maioria dos anos analisados, considerando o RQME (Raiz do Quadrado Médio do Erro).

2.2.3 Determinação das precipitações utilizadas no estudo

De posse dos dados de precipitação pluviométrica de cada sub-bacia, referentes aos anos de 1985 a 2014, os mesmos foram organizados em planilha eletrônica, tendo como base o ano hidrológico (outubro a setembro), de modo a se obter para os anos adotados, as seguintes chuvas: mensal máxima (P_{max}), mensal mínima (P_{min}) e a total anual (P_a), bem como as precipitação do trimestre mais chuvoso (P_{tc}), do trimestre mais seco (P_{ts}), do semestre mais chuvoso (P_{sc}) e a do semestre mais seco (P_{ss}).

2.2.4 Análise de estacionariedade das séries históricas de chuvas

A fim de verificar a ocorrência de mudanças significativas nas séries de precipitação anual de cada estação, dividiu-se estas em duas amostras (amostra 1: 1984 a 1999 e amostra 2: 2000 a 2014), a fim de aplicar o teste F e o teste t, com 1% de probabilidade, para a rejeição ou não das hipóteses de estacionariedade.

As séries de chuvas anuais de todas as 29 estações apresentaram tendências estacionárias, sendo que a maioria em ambos os testes. No entanto, 20% das estações foram estacionárias somente pelo teste de variância (teste F), como foi o

caso das estações de Matilde, São Rafael, Dores do Rio Preto, Fazenda Monte Alegre, Ibitirama e Afonso Cláudio Montante.

Sendo assim, as amostras de chuvas de cada estação da BHRI não se diferiram entre si, apresentando tendência de homogeneidade, de forma que suas variações não foram relacionadas às flutuações climáticas que alterassem significativamente as chuvas durante o período analisado.

2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para cada sub-bacia em estudo, foram realizadas associações mediante a análise de regressão entre as vazões e as precipitações analisadas, conforme utilizado por Latuf (2007) e Santos (2010).

Foram testados os ajustes da função linear e polinomial quadrática (curva), a fim de verificar em qual das funções a relação entre as variáveis foi significativa pelo teste F a 5% de probabilidade. A maior parte das relações ajustaram-se à função polinomial quadrática, indicando, neste caso, que a relação predominante entre as variáveis hidrológicas testadas foram curvilíneas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados os resultados das relações entre os seguintes tipos de chuvas e vazões da BHRI: da Q_{med} com a precipitação anual; da Q_7 com a precipitação anual (P_a), a do semestre mais chuvoso (P_{sc}), a do trimestre mais chuvoso (P_{tc}) e a mensal máxima (P_{max}); e da Q_{max} com a precipitação anual (P_a), a mensal mínima (P_{min}), a do semestre mais seco (P_{ss}), a do trimestre mais seco (P_{ts}) e a mensal máxima (P_{max}).

3.1 VAZÃO MÉDIA

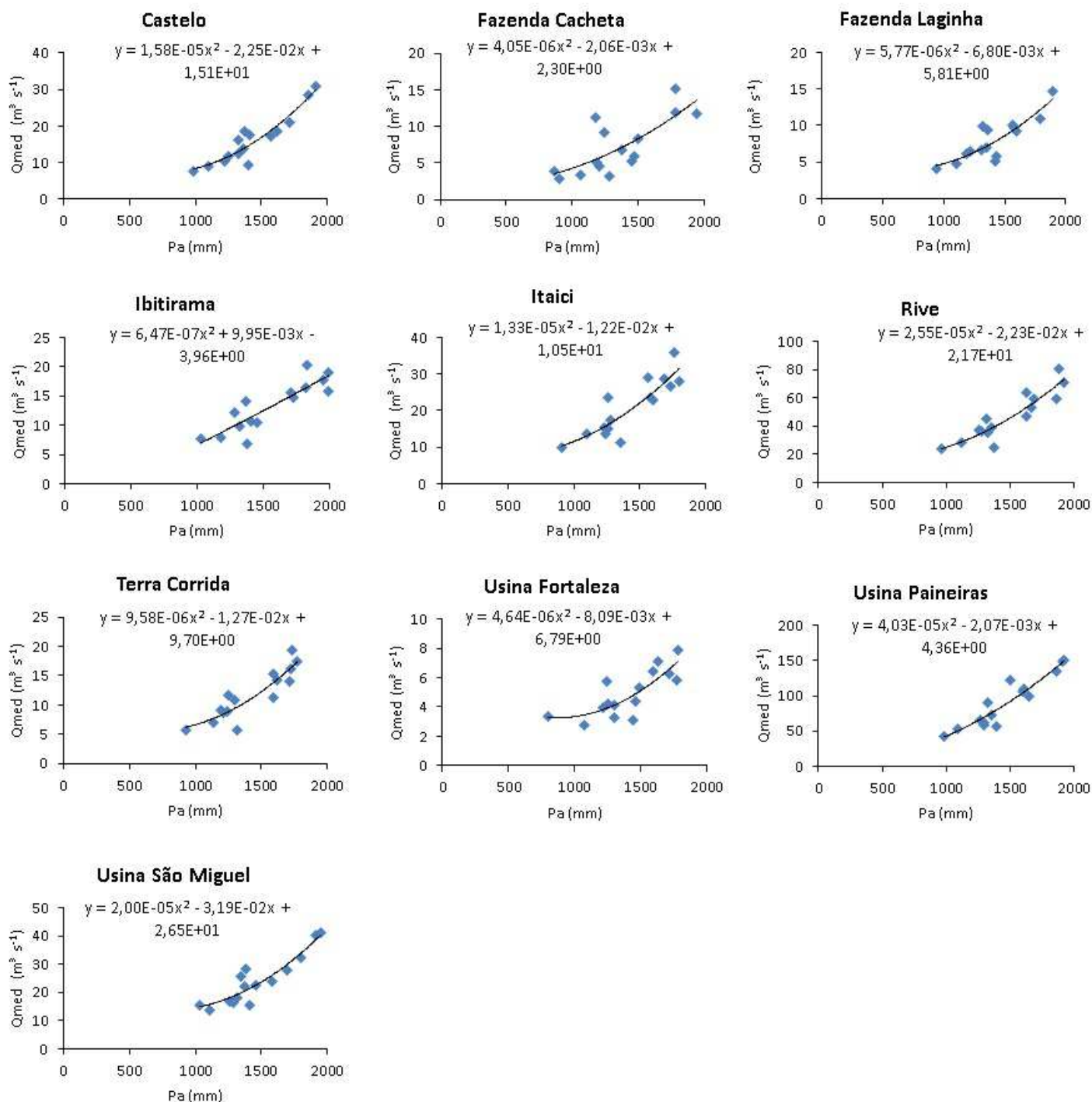
Na Tabela 4 encontram-se os resultados da análise de regressão entre a vazão média anual (Q_{med}) e a precipitação anual (P_a) para as sub-bacias hidrográficas analisadas. Os gráficos de tendências para estas correlações significativas estão ilustrados na Figura 4.

Tabela 4 - Relação entre a vazão média (Q_{med}) e a precipitação total anual (P_a) para as sub-bacias da BHRI

Sub-bacias	Pa	
	R ²	Valor-p*
Castelo	0,89	0,00
Fazenda Cacheta	0,59	0,00
Fazenda Laginha	0,75	0,00
Ibitirama	0,77	0,00
Itaici	0,77	0,00
Iúna	0,23	0,21
Rive	0,84	0,00
Terra Corrida	0,81	0,00
Usina Fortaleza	0,66	0,02
Usina Paineiras	0,88	0,00
Usina São Miguel	0,85	0,00

* Valores menores que 0,05, em negrito, são significativos pelo teste F.
Pa - precipitação total anual (mm ano⁻¹).

Figura 4 - Gráficos das equações de regressão significativas entre a Q_{med} e a precipitação anual (Pa) das sub-bacias, no período entre 1985 e 2014.



Em dez das 11 sub-bacias, a P_a influenciou a variação de seus regimes de Q_{med} . Inclusive, na maioria destas, a relação entre essas duas variáveis foram bastantes expressivas no período analisado ($valor-p < 0,01$), como ocorrido nas de Castelo, Fazenda Cacheta, Fazenda Laginha, Ibitirama, Itaiçi, Rive, Terra Corrida, Usina Paineiras e Usina São Miguel.

Os valores dos coeficientes de determinação destas sub-bacias variaram de 0,59 (Fazenda Cacheta) a 0,89 (Castelo), sendo que todas apresentaram tendência positiva entre a Q_{med} e a P_a , de forma que os aumentos nas vazões médias foram causados pela atuação das chuvas anuais. Latuf (2007) também encontrou associações positivas significativas da vazão média com a precipitação anual.

Uma exceção dos resultados gerais discutidos acima ocorreu na sub-bacia de Lúna. A respeito disso, alguns valores de Q_{med} da mesma encontraram-se dispersos, de acordo com a regressão entre essa variável e a P_a , e com baixo valor de R^2 (0,23).

Ressalta-se que o valor mais alto desta vazão aconteceu no ano de 1993 ($19,11 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) e, ao retirar este dado da análise, a vazão média na sub-bacia de Lúna apresentou relação significativa com a P_a (R^2 de 0,68). No entanto, optou-se por manter o dado de vazão original fornecido na base de dados da ANA, uma vez que os erros no registro de vazões são comuns em todas as séries históricas.

No geral, as mudanças da Q_{med} de grande parte da BHRI responderam de forma direta em relação ao comportamento das chuvas anuais, considerando o período analisado.

3.2 VAZÃO MÍNIMA MÉDIA COM SETE DIAS DE DURAÇÃO

Na Tabela 5 encontram-se os resultados da análise de regressão entre a Q_7 e os diferentes tipos de precipitações para cada sub-bacia (P_i). Os gráficos de tendências para estas correlações significativas estão ilustrados nas Figuras de 5 a 8.

Tabela 5 - Relação entre a vazão mínima média de sete dias de duração (Q_7) e os diferentes tipos de precipitações para as sub-bacias da BHRI

Sub-bacias	Vazão mínima de sete dias de duração (Q_7)											
	Pa		Pmin		Pss		Pts		Psc		Ptc	
	R ²	Valor-p*	R ²	Valor-p*	R ²	Valor-p*	R ²	Valor-p*	R ²	Valor-p*	R ²	Valor-p*
Castelo	0,73	0,00	0,18	0,31	0,40	0,05	0,23	0,21	0,61	0,00	0,34	0,02
Fazenda Cacheta	0,17	0,33	0,13	0,42	0,06	0,71	0,24	0,19	0,15	0,38	0,15	0,37
Fazenda Laginha	0,79	0,00	0,12	0,46	0,29	0,04	0,17	0,33	0,64	0,00	0,42	0,04
Ibitirama	0,72	0,00	0,08	0,62	0,26	0,05	0,21	0,24	0,62	0,00	0,41	0,04
Itaici	0,63	0,00	0,00	0,98	0,20	0,26	0,07	0,66	0,62	0,00	0,44	0,03
Iúna	0,67	0,00	0,03	0,84	0,26	0,17	0,07	0,65	0,62	0,00	0,27	0,05
Rive	0,91	0,00	0,09	0,58	0,15	0,38	0,06	0,68	0,86	0,00	0,61	0,00
Terra Corrida	0,80	0,00	0,01	0,93	0,22	0,22	0,07	0,66	0,78	0,00	0,55	0,01
Usina Fortaleza	0,30	0,12	0,04	0,80	0,12	0,46	0,09	0,58	0,26	0,16	0,20	0,27
Usina Paineiras	0,79	0,00	0,18	0,30	0,19	0,28	0,09	0,58	0,72	0,00	0,43	0,03
Usina São Miguel	0,75	0,00	0,08	0,61	0,39	0,05	0,13	0,44	0,62	0,00	0,28	0,04

* Valores menores que 0,05, em negrito, são significativos pelo teste F.

Pa - precipitação total anual (mm ano⁻¹).

Pmin - precipitação mensal mínima (mm mês⁻¹).

Pss - precipitação do semestre mais seco (mm semestre⁻¹).

Pts - precipitação do trimestre mais seco (mm trimestre⁻¹).

Psc - precipitação do semestre mais chuvoso (mm semestre⁻¹).

Ptc - precipitação do trimestre mais chuvoso (mm trimestre⁻¹).

Figura 5 - Gráficos das equações de regressão significativas entre a Q7 e a precipitação anual (Pa) das sub-bacias, no período entre 1985 e 2014.

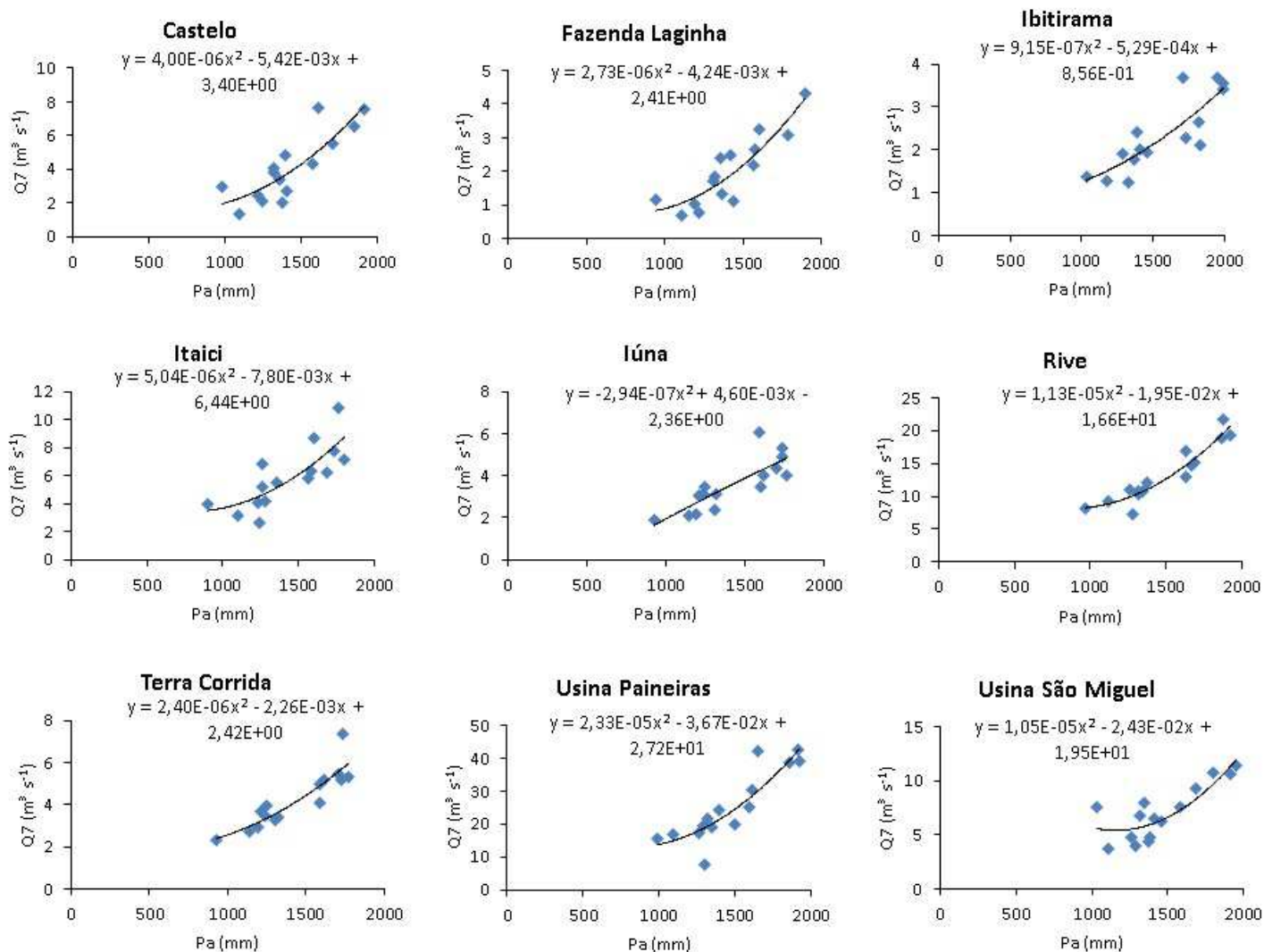


Figura 6 - Gráficos das equações de regressão significativas entre a Q7 e a precipitação do semestre mais seco (Pss) das sub-bacias, no período entre 1985 e 2014.

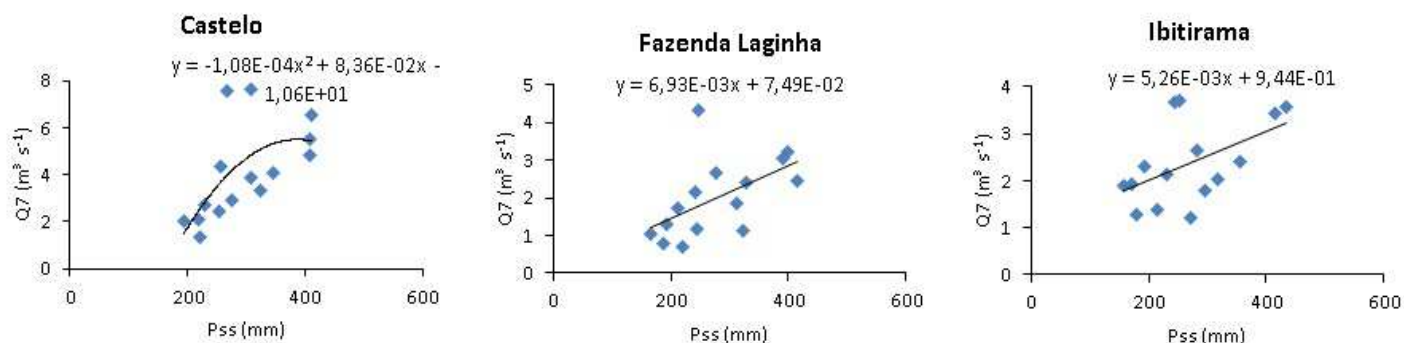


Figura 7 - Gráficos das equações de regressão significativas entre a Q7 e a precipitação do semestre mais chuvoso (Psc) das sub-bacias, no período entre 1985 e 2014.

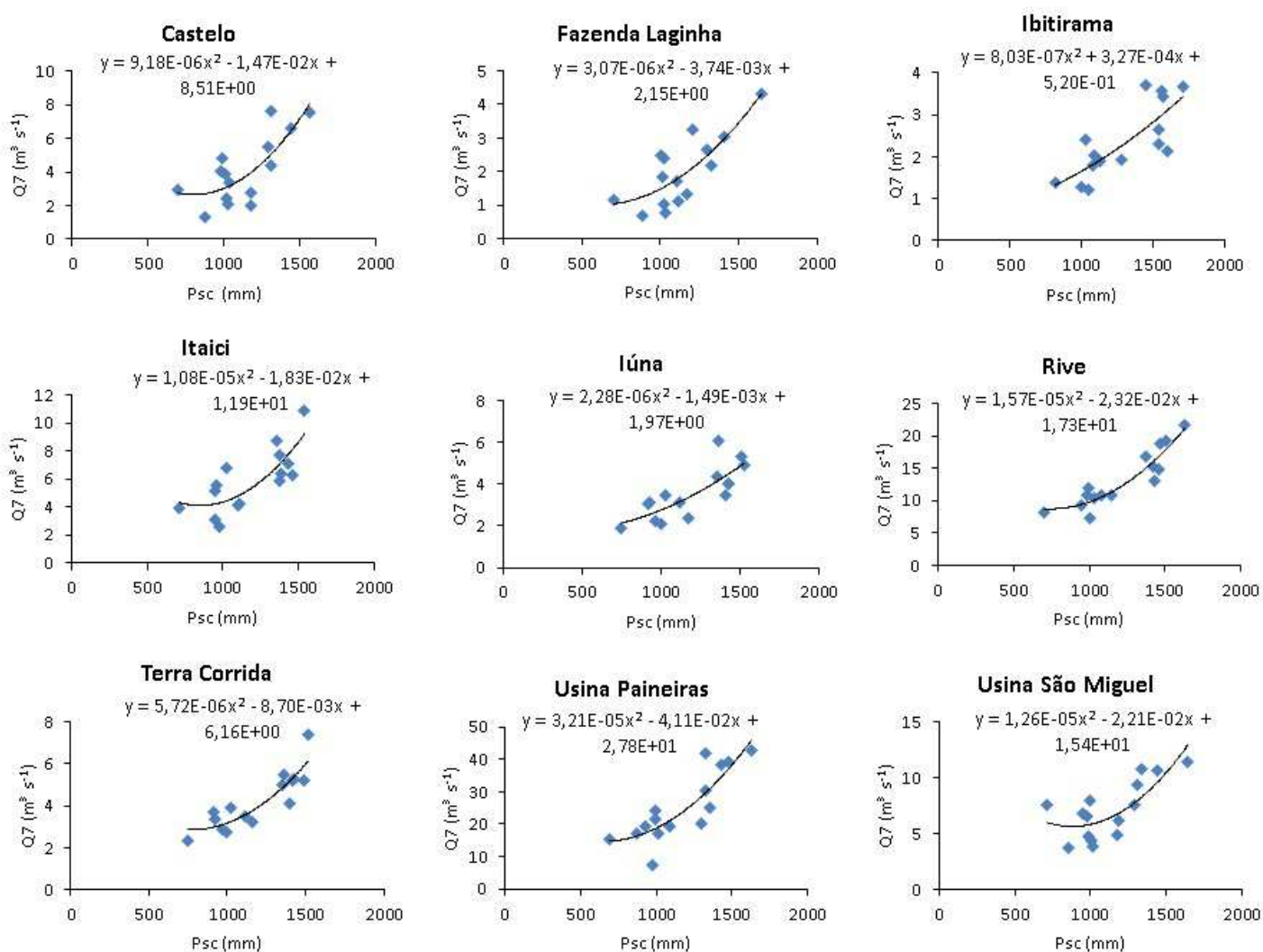
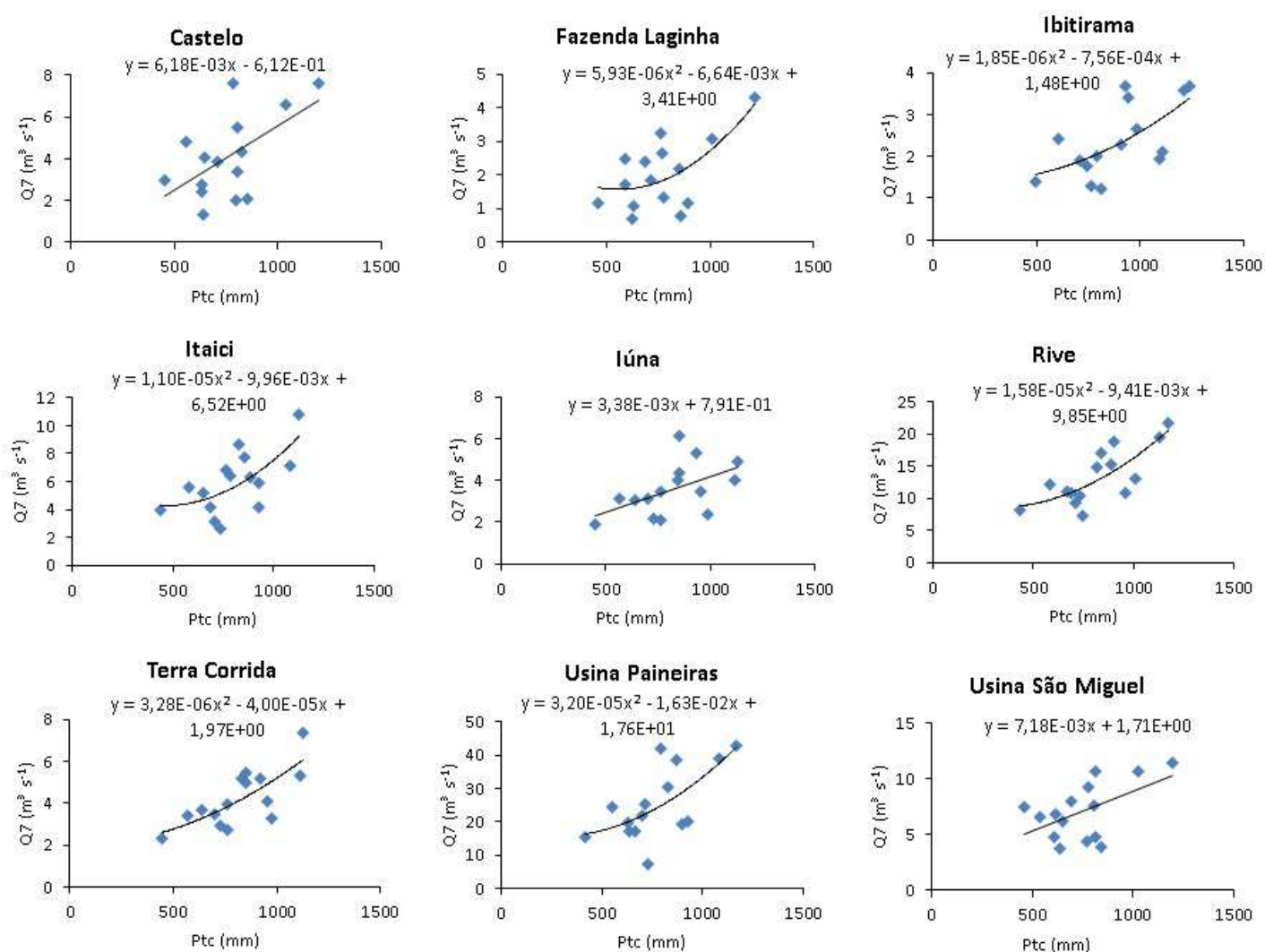


Figura 8 - Gráficos das equações de regressão significativas entre a Q_7 e a precipitação do trimestre mais chuvoso (Ptc) das sub-bacias, no período entre 1985 e 2014.



As chuvas que atuaram de forma significativa para o aumento dos valores da Q_7 das sub-bacias foram: a precipitação anual (Pa), com valores de R^2 variando de 0,63 a 0,91; a precipitação do semestre mais chuvoso (Psc), com R^2 de 0,61 a 0,86; a precipitação do trimestre mais chuvoso (Ptc), com R^2 de 0,27 a 0,61; e a precipitação do semestre mais seco (Pss), com R^2 de 0,26 a 0,40.

A Pa, que é constituída do total acumulado de chuva durante todo o ano, foi a que mais contribuiu para a variação da Q_7 , tendo-se relacionado com esta vazão de forma bastante expressiva ($p < 0,01$) em nove das 11 sub-bacias analisadas (Castelo, Fazenda Laginha, Ibitirama, Itaiaci, Iúna, Rive, Terra Corrida, Usina Paineiras e Usina São Miguel). Normalmente, a manutenção das vazões mínimas é decorrente das chuvas regularmente distribuídas no decorrer tempo, pois estas promovem uma infiltração maior, sendo que a taxa de infiltração acompanha o

volume de precipitação. Latuf (2007) também encontrou associações positivas entre as vazões mínimas e a precipitação anual (P_a) nas áreas de drenagem monitoradas em seu estudo.

As chuvas P_{sc} e P_{tc} , que são notadamente marcadas por eventos na época chuvosa (outubro a março), também ocasionaram aumentos da Q_7 de grande parte das sub-bacias, garantindo a disponibilidade hídrica dos rios nos períodos de estiagens.

Na BHRI, as precipitações mínimas não tiveram nenhuma relação com a Q_7 , no caso da P_{min} e da P_{ts} , ou bem pouca, no caso da P_{ss} (Castelo, Fazenda Laginha e Ibitirama). Estes tipos de precipitações tendem a gerar pouco ou nenhum escoamento superficial, pois são de baixo volume e intensidade no período seco.

Nenhuma das chuvas analisadas, sejam as anuais, mínimas ou máximas, influenciaram a Q_7 das sub-bacias de Fazenda Cacheta e de Usina Fortaleza ($p > 0,05$), conforme mostrado na Tabela 5. Ambas as sub-bacias possuem os menores valores médios de Q_7 , em relação às demais, sendo de $1,24 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ em Fazenda Cacheta e de $1,89 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, na de Usina Fortaleza. As menores disponibilidades hídricas destas áreas também podem ser reflexo de vários fatores, como geologia, declividade, solos, barragens ou outros, que possivelmente dificultaram o armazenamento de água no subsolo e assim, não ocasionaram aumentos nas vazões Q_7 nos períodos de estiagem, uma vez que as tendências gerais da maioria das sub-bacias da BHRI foram contrárias às de Fazenda Cacheta e Usina Fortaleza.

No sentido de que as condições de infiltrabilidade e armazenamento da água no lençol freático são comumente associadas à geologia e as condições de solos, a sub-bacia de Fazenda Cacheta situa-se próxima às planícies litorâneas da BHRI, onde predominam os solos arenosos, provavelmente ocorrendo um menor armazenamento de água nos períodos chuvosos, e por isso as chuvas não terem influenciado a Q_7 desta sub-bacia. Necessita-se de mais estudos em relação à esta questão, assim como não se sabe dos fatores que ocasionaram este comportamento na Q_7 de Usina Fortaleza.

Em razão das chuvas responderem pela maioria das variações ocorridas nas vazões Q_7 , isso não significa que esta relação não exista nas sub-bacias de Fazenda Cacheta e Usina Fortaleza, uma vez que os dados de chuvas da BHRI constituem-se de dados médios interpolados, havendo portanto, certa cautela à afirmativa de que as chuvas analisadas não influenciam nas vazões destas sub-bacias.

3.3 VAZÃO MÁXIMA

Na Tabela 6 encontram-se os resultados da análise de regressão entre a vazão máxima anual e os diferentes tipos de precipitação em cada sub-bacia. Os gráficos de tendências para estas correlações significativas estão ilustrados nas Figuras de 9 a 12.

Tabela 6 - Relação entre a vazão máxima anual (Q_{max}) e os diferentes tipos de precipitações para as sub-bacias da BHRI

Sub-bacias	Vazão máxima anual (Q_{max})							
	Pa		Psc		Ptc		Pmax	
	R ²	Valor-p*	R ²	Valor-p*	R ²	Valor-p*	R ²	Valor-p*
Castelo	0,47	0,02	0,47	0,00	0,51	0,01	0,47	0,02
Fazenda Cacheta	0,25	0,18	0,30	0,03	0,32	0,03	0,46	0,03
Fazenda Laginha	0,17	0,33	0,42	0,04	0,28	0,04	0,42	0,04
Ibitirama	0,43	0,03	0,28	0,14	0,13	0,18	0,25	0,18
Itaici	0,36	0,03	0,54	0,01	0,46	0,03	0,48	0,02
Lúna	0,21	0,24	0,33	0,03	0,33	0,03	0,32	0,10
Rive	0,65	0,00	0,74	0,00	0,58	0,01	0,42	0,01
Terra Corrida	0,33	0,02	0,53	0,01	0,50	0,02	0,44	0,03
Usina Fortaleza	0,17	0,33	0,24	0,19	0,36	0,07	0,24	0,19
Usina Paineiras	0,64	0,00	0,72	0,00	0,60	0,00	0,75	0,00
Usina São Miguel	0,43	0,03	0,46	0,03	0,51	0,01	0,42	0,01

* Valores menores que 0,05, em negrito, são significativos pelo teste F.

Pa - precipitação total anual (mm ano⁻¹).

Psc - precipitação do semestre mais chuvoso (mm semestre⁻¹).

Ptc - precipitação do trimestre mais chuvoso (mm trimestre⁻¹).

Pmax - precipitação mensal máxima (mm mês⁻¹).

Figura 9 - Gráficos das equações de regressão significativas entre a Q_{max} e a precipitação anual (Pa) das sub-bacias, no período entre 1985 e 2014.

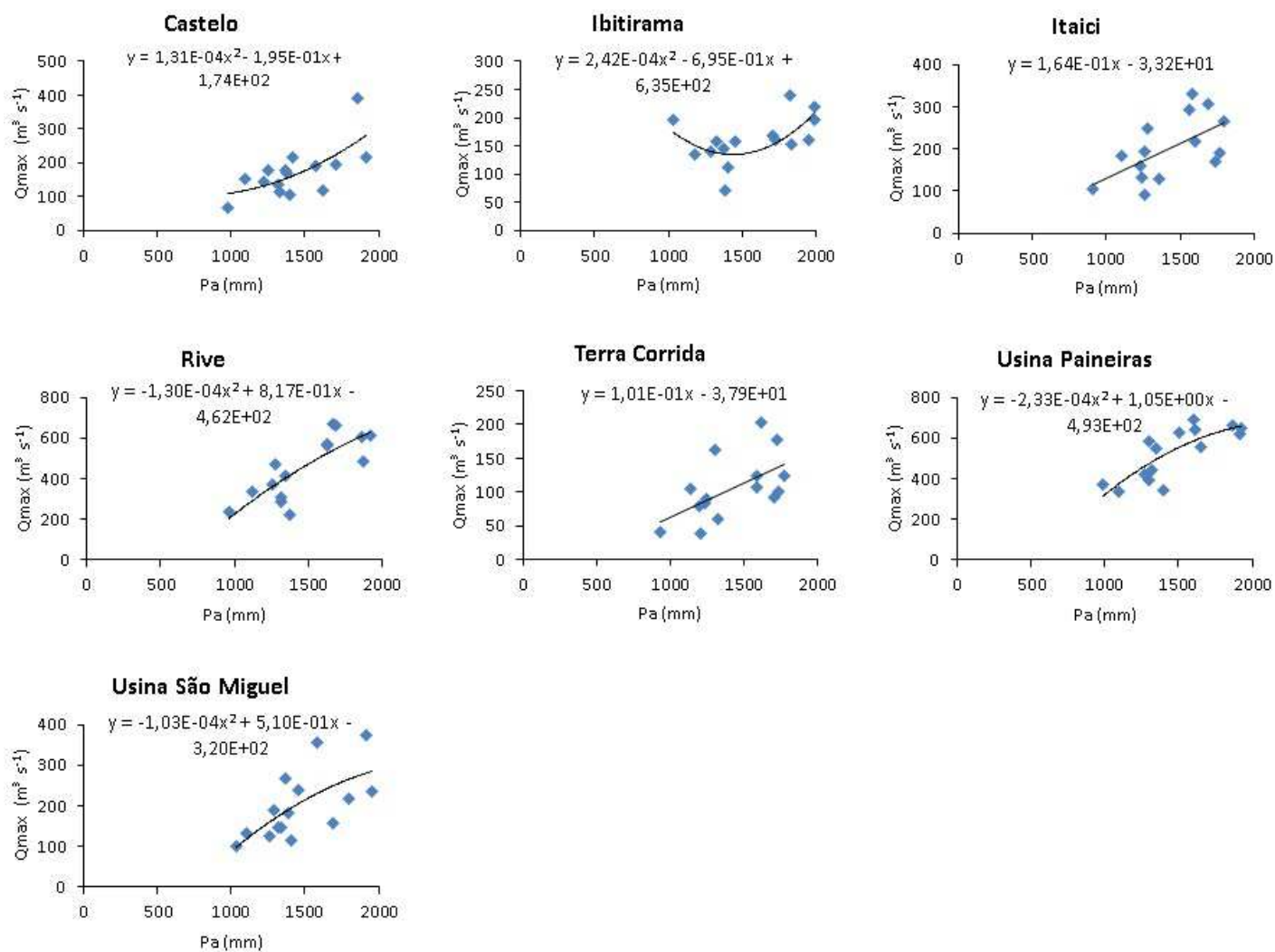


Figura 10 - Gráficos das equações de regressão significativas entre a Q_{max} e a precipitação do semestre mais chuvoso (P_{sc}) das sub-bacias, no período entre 1985 e 2014.

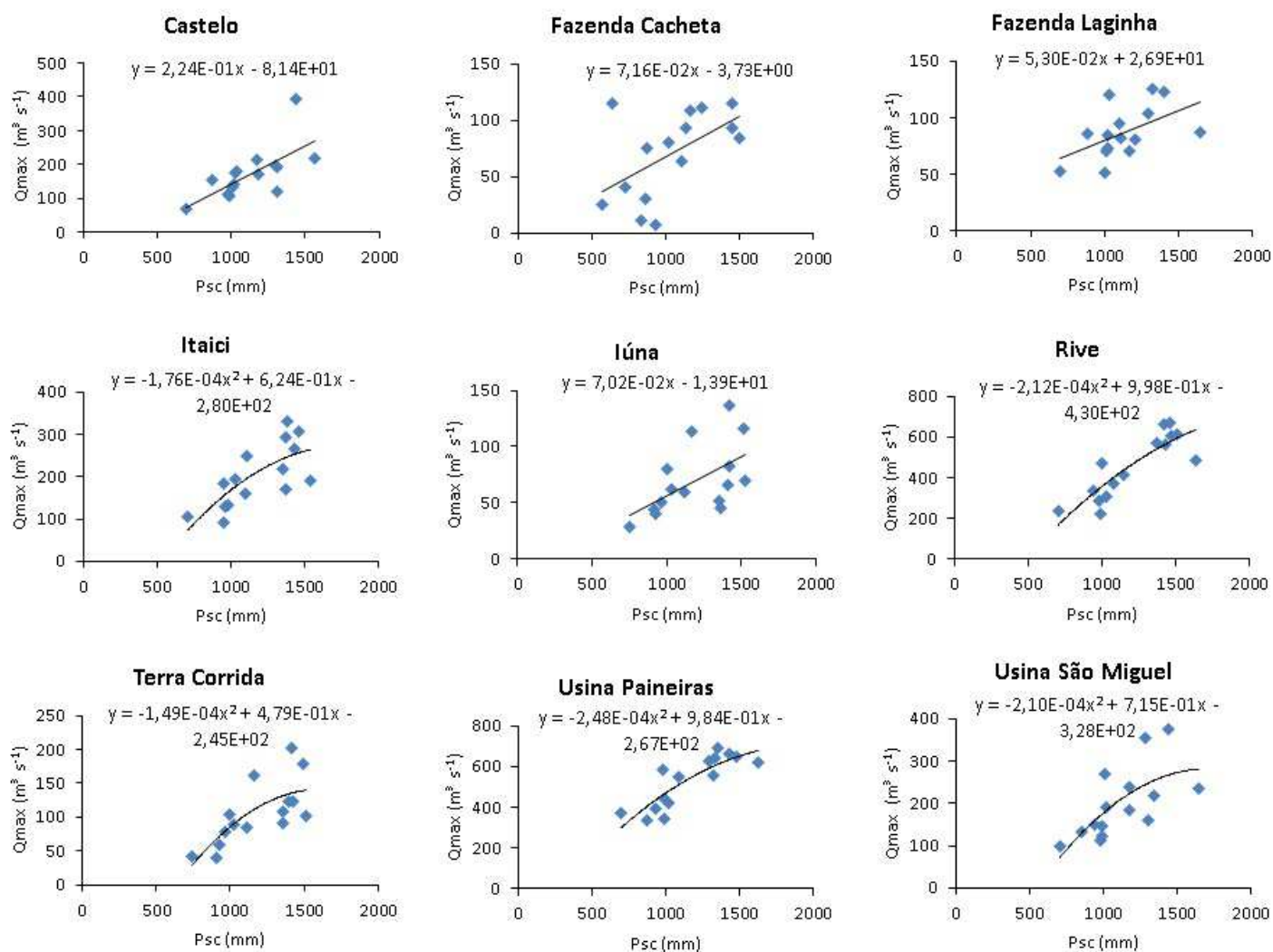


Figura 11 - Gráficos das equações de regressão significativas entre a Q_{max} e a precipitação do trimestre mais chuvoso (Ptc) das sub-bacias, no período entre 1985 e 2014.

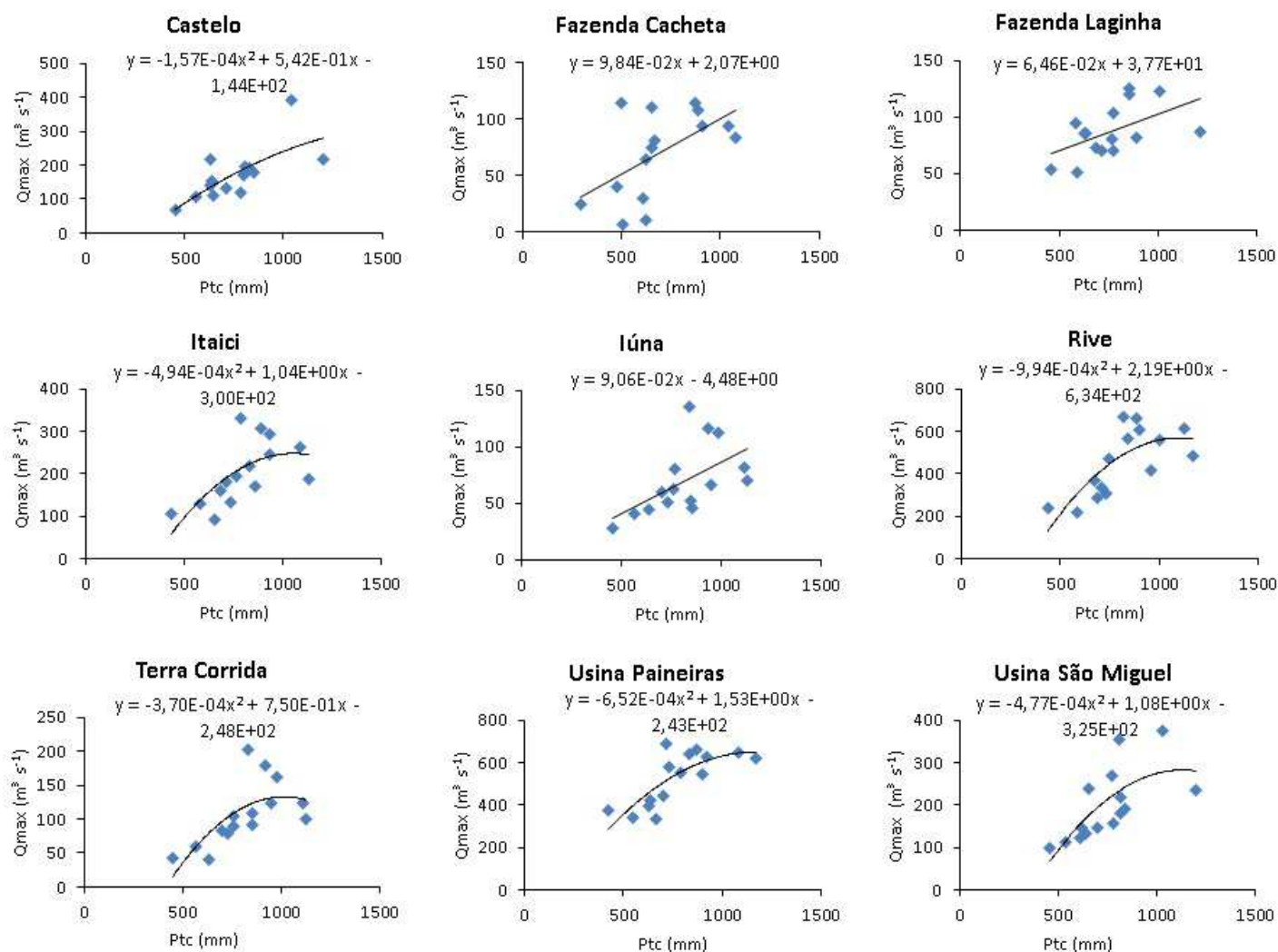
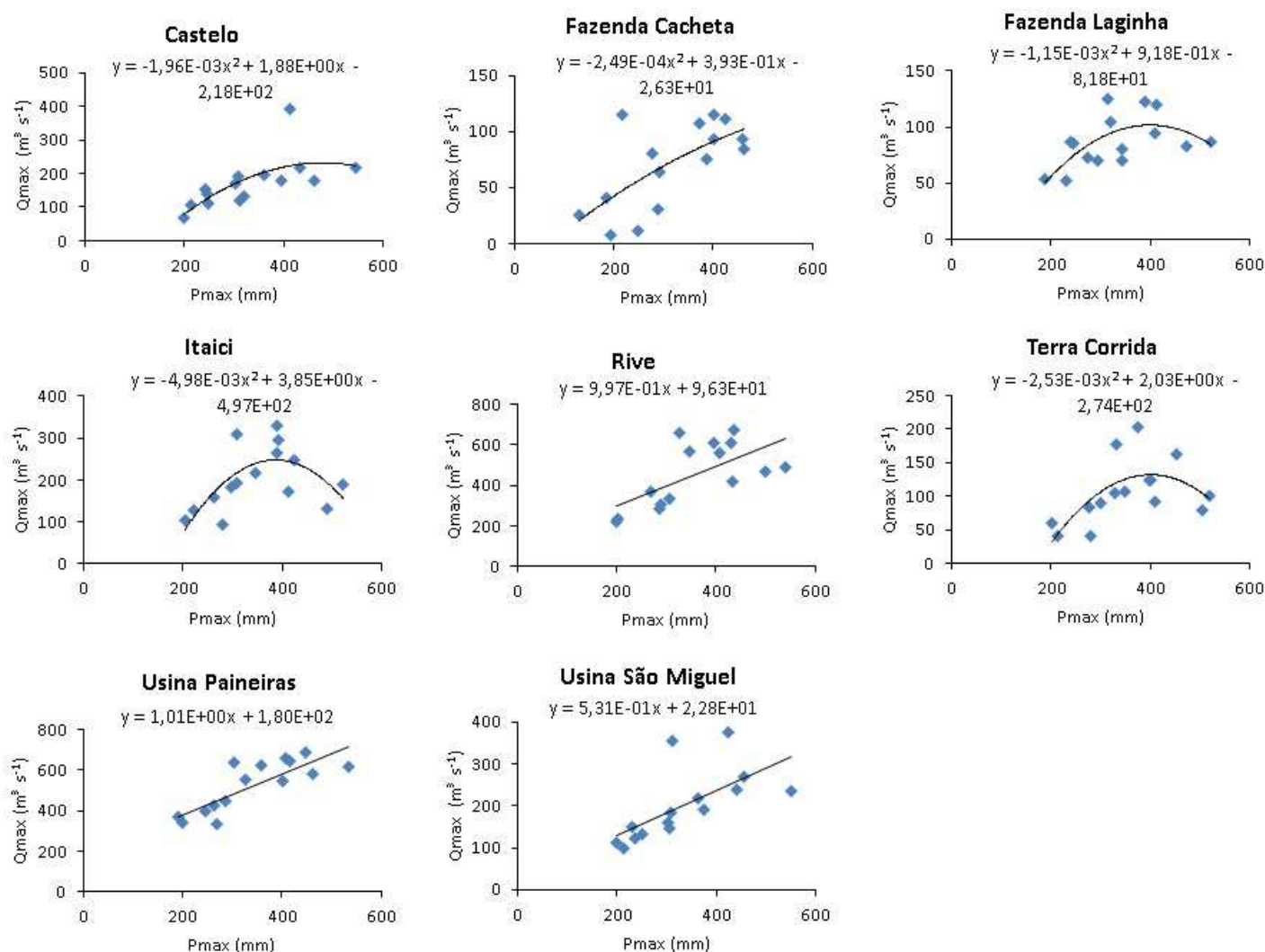


Figura 12 - Gráficos das equações de regressão significativas entre a Q_{max} e a precipitação mensal máxima (P_{max}) das sub-bacias, no período entre 1985 e 2014.



As chuvas máximas analisadas também contribuíram para o aumento da Q_{max} das sub-bacias, embora não houve a tendência, de um mesmo tipo de chuva explicar a variação das vazões máximas em todas as sub-bacias. Os valores de R^2 variaram de 0,33 a 0,64 (P_a), de 0,30 a 0,74 (P_{sc}), de 0,28 a 0,60 (P_{tc}), e de 0,42 a 0,75 (P_{max}).

Dessas chuvas, as que atuaram de modo pouco mais expressivo na Q_{max} da maior parte das sub-bacias foram a P_{max} , a P_{sc} e a P_{tc} . Na sub-bacia da Usina Paineiras, que é a maior sub-bacia analisada, a P_{max} foi aquela que apresentou maior coeficiente de determinação, de 0,75, em relação a P_{sc} , 0,72 e a P_{tc} , 0,60, refletindo assim os efeitos consideráveis das chuvas mensais máximas na Q_{max} da BHRI quase como um todo. Semelhantemente ao resultado encontrado, Latuf (2007)

também verificou que a precipitação mensal máxima (P_{max}) foi a variável mais explicativa para as mudanças ocorridas no regime de vazões máximas de seis das oito estações fluviométricas das bacias do Rio Preto e Ribeirão entre Rios.

O escoamento superficial resultante das precipitações é considerado o componente preponderante na formação de cheias ou aumento de vazões dos cursos d'água (PINTO et al., 1973), de forma que, a alteração da precipitação apresenta impacto diferenciado sobre a vazão da bacia hidrográfica, em que nos anos com valores extremos, a resposta da bacia se amplifica com relação a variação da precipitação (TUCCI, 2002).

Essa relação encontrada das vazões máximas com as chuvas mensais máximas era esperada, uma vez que os totais máximos que ocorrem em uns poucos meses na bacia, como dezembro e janeiro, elevam o regime de vazões máximas dos rios.

Na sub-bacia de Usina Fortaleza, nenhuma das chuvas analisadas relacionaram-se significativamente com a Q_{max} , de forma que, assim como aconteceu com a Q_7 destas sub-bacias, também se desconhece quais as causas que possam estar atuando na variação da vazão máxima no período analisado. Mas em razão das chuvas responderem pela maioria das variações ocorridas nas vazões Q_{max} , não significa que esta relação não exista na sub-bacia de Usina Fortaleza, uma vez que os dados de chuvas da BHRI constituem-se de dados médios interpolados, havendo portanto, certa ressalva à tendência de que nenhuma das chuvas analisadas não influenciaram nas vazões máximas desta sub-bacia.

4 CONCLUSÕES

O total precipitado exerceu forte influência nas vazões das sub-bacias estudadas. Assim, verificou-se que foram as chuvas anuais (P_a) que contribuíram de forma considerável para as variações das Q_{med} , as chuvas dos meses mais chuvosos (P_{max} e P_{sc}) para as Q_{max} , e as chuvas relacionadas aos eventos máximos (P_a , P_{sc} e P_{tc}), que provavelmente mantiveram o escoamento mínimo dos rios nos períodos de estiagens (Q_7).

Os comportamentos das vazões médias, mínimas e máximas, assim como das chuvas analisadas, tiveram tendências positivas na grande maioria das sub-bacias da BHRI.

Desta forma, foi notória a influência das chuvas nas vazões da BHRI no período analisado.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. Q. **Influência do desmatamento na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Córrego do Galo, Domingos Martins, ES.** 2007. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2007.

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

CRUZ, J.C.; TUCCI, C.E.M. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.13, n.1, p.111-124, 2008.

ESPINOZA VILLAR, J.C.; GUYOT, J. L., RONCHAIL, J.; COCHONNEAU, G.; FILIZOLA, N.; FRAIZY, P.; LABAT, D.; OLIVEIRA, E.; ORDOÑEZ, J. J.; VAUCHEL, P. Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon basin (1974 - 2004). **Journal of Hydrology** v. 375, n.3-4, 297-311, 2009.

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.

LATUF, M.O. **Mudanças no uso do solo e comportamento hidrológico nas bacias do Rio Preto e Ribeirão Entre Ribeiros.** 2007. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2007.

MORTATTI, J.; BORTOLETTO JÚNIOR, M.J.; MILDE, L.C.E.; PROBST, J.L. Hidrologia dos Rios Tietê e Piracicaba: séries temporais de vazão e hidrogramas de cheia. **Revista de Ciência & Tecnologia**, Piracicaba, v.12, n.23, p.55-67, 2004.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A. **Hidrologia Estatística.** CPRM, 2007. 552p.

PINTO, N.L.; HOLTZ, A.C.T.; MARTINS, J.A. **Hidrologia de superfície.** 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1973. 179 p.

RODRIGUEZ, D.A.; TOMASELLA, J.; LINHARES, C. Is the forest conversion to pasture affecting the hydrological response of Amazonian catchments? Signals in the Ji-Paraná Basin. **Hydrological Processes**, v.24, p.1254-1269, 2010.

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

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, H.T.; PRUSKI, F.F.; BOF, L.H.N; CECOM, P.R.; SOUZA, J.R.C. **SisCAH 1.0: Sistema Computacional para Análises Hidrológicas.** Brasília, DF: ANA; Viçosa: UFV, 2009. 60p.

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.

TUNDISI, J.G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, v.22, n.63, p.7-16, 2008.

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 annual maximum water level and streamflow during past 130 years in the Yangtze River basin, China. **Journal of Hidrology**, v.324, p.255-65, 2006.

**CAPÍTULO II - RELAÇÃO DA COBERTURA FLORESTAL COM AS VAZÕES DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPEMIRIM**

RELAÇÃO DA COBERTURA FLORESTAL COM AS VAZÕES DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPEMIRIM

1 INTRODUÇÃO

Na natureza, a disponibilidade hídrica, em termos de quantidade (vazão) e qualidade da água que emana das bacias hidrográficas, decorre de mecanismos naturais de controle desenvolvidos durante os processos evolutivos da paisagem, os quais constituem os serviços ambientais proporcionados pelo ecossistema (LIMA; ZAKIA, 2006). A manutenção dos recursos hídricos é um tema que preocupa a humanidade há muito tempo, e esta questão assume atualmente caráter prioritário e vital, dada a escassez de água já sentida em várias regiões do mundo, assim como projeções de crescentes usos conflituosos da água.

A percepção pública de que as florestas, em todas as circunstâncias, regulam os regimes hídricos dos sistemas aquáticos, reduzem inundações, garantem o abastecimento de água e melhoram a qualidade da água, há muito tem sido questionada pela comunidade científica, que sugere uma visão mais complexa e geralmente menos vantajosa das florestas em relação aos recursos hídricos (CALDER, 2007). Segundo Bacellar (2005), algumas das funções da vegetação no regime hidrológico são repetidas com base unicamente em mitos e tradições, sem qualquer respaldo de dados científicos.

Com relação ao papel das florestas exercido no regime hidrológico dos rios, existem muitas controvérsias, como as de que bacias florestadas produzem mais água do que bacias com outro tipo de cobertura vegetal, no entanto, o que ocorre frequentemente é que em bacias com total cobertura florestal, há uma menor produção de água, mas o fluxo é mais estável e sustentável do que em outros casos (BALBINOT et al. 2008). Consequência disso é que, tradicionalmente, a floresta é vista como eficaz para estabilizar e manter as vazões nos rios, sendo este um dos motivos pelos quais a recomposição florestal é prática repetidamente recomendada na recuperação de bacias hidrográficas (BACELLAR, 2005). Alguns estudos fazem considerações a respeito de seus efeitos no comportamento das vazões de rios (HIBBERT, 1967; BOSCH; HEWLETT, 1982; HORNBECK et al., 1993; SILBERSTEIN et al., 2003; FARLEY et al., 2005; BROWN et al., 2013).

No sentido de que as vazões dos cursos d'água são o resultado da integração dos componentes hidrológicos e antrópicos numa determinada bacia hidrográfica, e seu conhecimento reflete a disponibilidade hídrica da mesma, estudos que buscam entender a relação entre as alterações ocorridas nos ecossistemas florestais e o regime de vazões, constituem-se de grande importância no que diz respeito ao conhecimento da situação destes recursos em bacias hidrográficas, de modo a subsidiar o manejo nestas áreas.

O presente trabalho teve por objetivo analisar o comportamento das vazões de cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Itapemirim e relacioná-los às mudanças ocorridas na cobertura florestal.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 VAZÕES

Vazão é o volume total de água que escoar, em determinado período, pela seção transversal de um curso d'água, expressa em metros cúbicos por segundo ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) ou litros por segundo (L s^{-1}). E o estudo desta variável hidrológica é importante para o conhecimento da disponibilidade hídrica de determinada região, que no caso desta pesquisa, foi a bacia hidrográfica do rio Itapemirim, localizada no Sul do Estado do Espírito Santo.

2.1.1 Séries históricas e preenchimento de falhas

Foram obtidas, do Sistema de Informações Hidrológicas da ANA (Hidroweb), as séries históricas de vazões diárias ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) de 11 estações fluviométricas localizadas na BHRI (Tabela 7), referentes ao período compreendido entre 1985 e 2011. Deste período, adotou-se para a análise das vazões da BHRI sete anos bases, sendo 1987, 1991, 1995, 1999, 2003, 2007 e 2011.

Tabela 7 - Dados de identificação das estações fluviométricas utilizadas no período entre 1985 e 2014

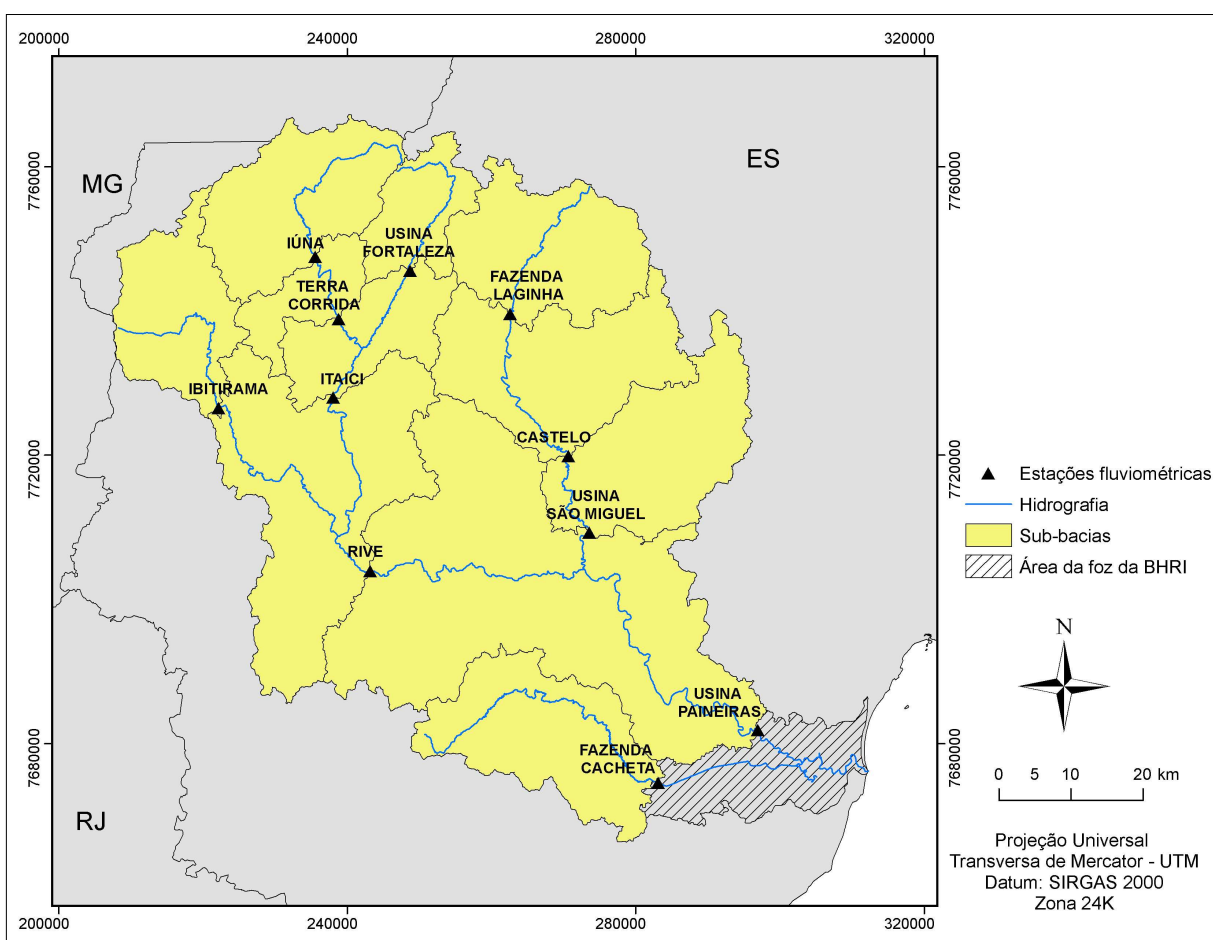
Código	Estação (Sub-bacia)	Curso d'água	Altitude (m)
57490000	Castelo	Rio Castelo	107
57650000	Fazenda Cacheta	Rio Muqui do Norte	-
57476500	Fazenda Laginha	Rio Castelo	-
57420000	Ibitirama	Rio Braço Norte Direito	710
57400000	Itaici	Rio Braço Norte Esquerdo	380
57360000	Iúna	Rio Pardo	640
57450000	Rive	Rio Itapemirim	128
57370000	Terra Corrida Montante	Rio Pardo	380
57350000	Usina Fortaleza	Rio Braço Norte Esquerdo	554
57580000	Usina Paineiras	Rio Itapemirim	40
57550000	Usina São Miguel	Rio Castelo	200

Fonte: Sistema de Informações Hidrológicas - HidroWeb, da Agência Nacional de Águas (ANA, 2015). Alguns dados de altitudes não foram informados na base HidroWeb.

A área em estudo (BHRI) foi subdividida de acordo com as áreas de contribuição pertinentes a cada uma dessas 11 estações fluviométricas, a fim de analisar as alterações no uso do solo e sua relação com as vazões na bacia em escalas menores. O mapeamento com a localização das estações fluviométricas na bacia, bem como a delimitação das sub-bacias a partir dessas estações, estão ilustrados na Figura 13. Em razão de não haver estação localizada na região da foz da BHRI (296,5 km²), esta porção da bacia não foi considerada nas análises, conforme mostrado na legenda da respectiva figura.

Para a etapa do pré-processamento, referente ao preenchimento de falhas nas séries históricas de vazões, esta foi realizada conforme descrito por Souza et al. (2009).

Figura 13 - Localização das estações fluviométricas (sub-bacias) localizadas na BHRI.



Fonte: a autora. Base de dados da delimitação das sub-bacias cedida por Gasparini (2014).

2.1.2 Determinação das vazões de referência utilizadas no estudo

Para cada uma das 11 estações fluviométricas localizadas na bacia, foram obtidas, a vazão mínima média com sete dias de duração (Q_7), a vazão média anual (Q_{med}) e a vazão máxima anual (Q_{max}). A vazão Q_7 e Q_{max} utilizada em cada sub-bacia foi aquela referente à aquelas ocorridas em cada um dos 7 anos analisados (1987, 1991, 1995, 1999, 2003, 2007 e 2011), e para a Q_{med} , utilizou-se a média das vazões referente aos 3 anos anteriores à cada ano base, incluindo a destes.

A determinação das respectivas vazões foi realizada utilizando o software HIDRO 1.2.1 (ANA, 2015), considerando-se o ano hidrológico com início em outubro e término em setembro.

2.1.3 Análise de estacionariedade das séries históricas de vazões

A fim de verificar a ocorrência de mudanças significativas ao longo da série de vazão média anual (Q_{med}), máxima anual (Q_{max}) e mínima média com sete dias de duração (Q_7), de cada uma das 11 estações, dividiu-se cada série em duas amostras (1984 a 2011). Posteriormente, essas amostras foram testadas por meio da utilização do teste F e do teste t de Student, com 1% de probabilidade, para a rejeição ou não das hipóteses de estacionariedade das mesmas.

De acordo com os testes estatísticos, pode-se dizer que as vazões da BHRI, no período analisado, foram estacionárias, ou seja, apresentaram regularidade em suas vazões, não possuindo, no período analisado, causas aleatórias que contribuíssem para mudanças expressivas em seus regimes, tais como a presença de barragens, reservatórios, flutuações climáticas, etc.

2.2 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

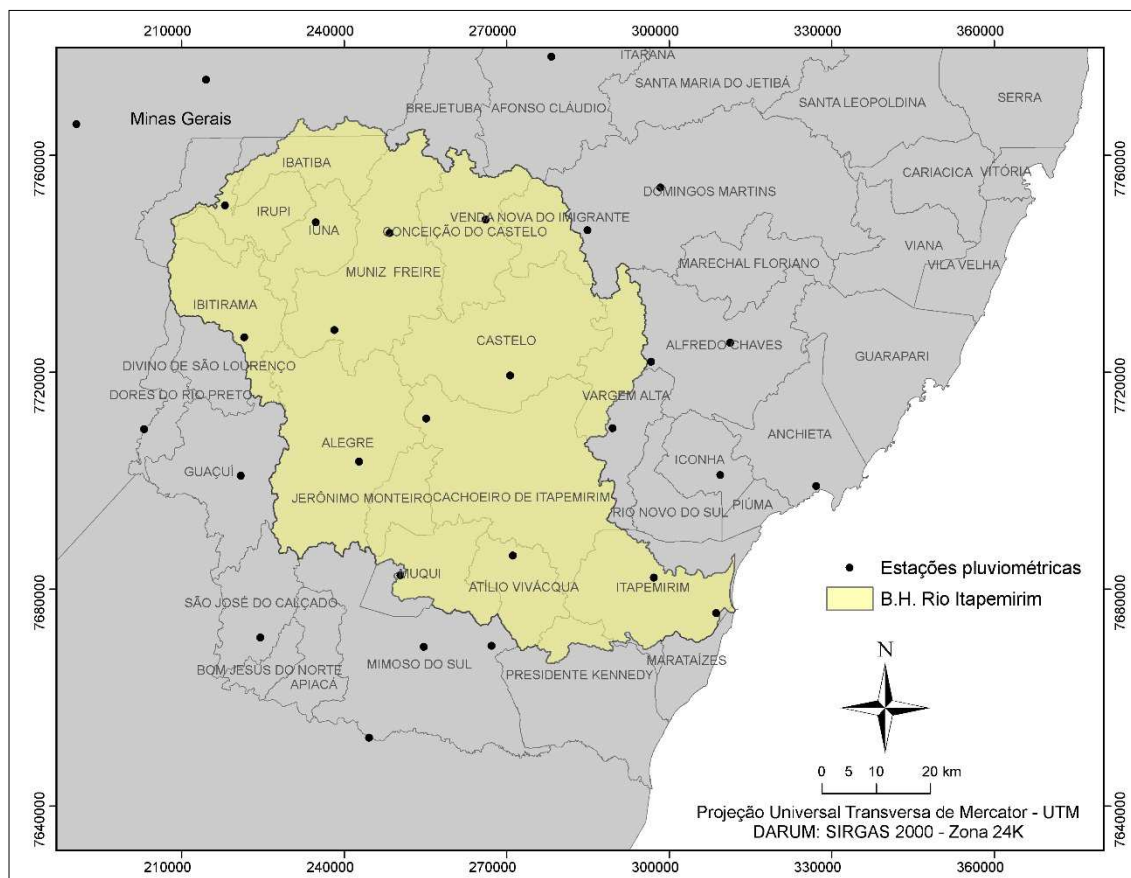
2.2.1 Séries históricas e preenchimento de falhas

Os dados de chuvas diárias (mm) do período de 1985 a 2011, foram obtidos de 29 estações pluviométricas junto à Agência Nacional de Águas - ANA. Algumas destas estações estão localizadas nas adjacências da bacia, e foram utilizadas com

o objetivo de minimizar o efeito de borda no processo de interpolação. Na Figura 14 são apresentadas a distribuição espacial das estações consideradas no estudo.

Para o preenchimento das falhas de precipitação das séries de chuvas mensais (mm) dessas estações, utilizou-se o método da Ponderação regional.

Figura 14 - Localização das estações pluviométricas utilizadas no estudo.



Fonte: a autora. Base de dados obtidas junto ao GEOBASES.

2.2.2 Espacialização da precipitação

A estimativa das chuvas médias mensais e totais anuais para a BHRI (1985 a 2011), foi obtida a partir da espacialização das chuvas das 29 estações, utilizando o método de interpolação Inverso da Potência da Distância ao Quadrado (IPD2).

O modelo de interpolação foi escolhido com base na metodologia proposta por Xavier et al. (2010), onde 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 IPD2 obteve o melhor

desempenho na validação cruzada para a maioria dos anos analisados, considerando o RQME (Raiz do Quadrado Médio do Erro).

2.2.3 Determinação das precipitações utilizadas no estudo

De posse dos dados de precipitação pluviométrica interpolados para cada sub-bacia, os mesmos foram organizados em planilha eletrônica, tendo como base o ano hidrológico (outubro a setembro), de modo a se obter para os anos adotados a total anual (Pa). Do período entre 1985 e 2011, utilizou-se os dados de chuvas anuais de 7 anos bases (1987, 1991, 1995, 1999, 2003, 2007 e 2011), de modo que obteve-se a média da Pa dos 3 anos anteriores à cada um dos anos bases analisados, incluindo a destes.

2.2.4 Análise de estacionariedade das séries históricas de chuvas

A fim de verificar a ocorrência de mudanças significativas nas séries de precipitação anual de cada estação, dividiu-se estas em duas amostras (1984 a 2011), a fim de aplicar o teste F e o teste t, com 1% de probabilidade, para a rejeição ou não das hipóteses de estacionariedade.

Mediante as análises estatísticas, as amostras de chuvas de cada estação da BHRI não se diferiram entre si, apresentando tendência de homogeneidade, de forma que suas variações não foram relacionadas às flutuações climáticas que alterassem significativamente as chuvas durante o período analisado.

2.3 MAPEAMENTO DA COBERTURA FLORESTAL

2.3.1 Seleção das imagens de satélite

Para o mapeamento da cobertura florestal na BHRI foram utilizadas as imagens do satélite Landsat 5 sensor TM (Thematic Mapper), de resolução espacial de 30 metros (INPE, 2015), o qual abrangeu a área de estudo nas órbitas ponto 216/74 e 216/75 (Sistema de projeção WGS 84).

Estas imagens abrangeram o período de 1985 a 2011, em intervalos a cada dois anos (Tabela 8). Posteriormente, a partir das quantificações dos percentuais de florestas obtidos para estes períodos pela classificação supervisionada, estes foram utilizados como médias para adoção de 7 anos bases para análise da cobertura florestal (1987, 1991, 1995, 1999, 2003, 2007 e 2011).

Tabela 8 - Listagem das imagens do sensor TM (Landsat 5) utilizadas para o mapeamento da vegetação na bacia hidrográfica do rio Itapemirim

Sensor	Ano	Órbita/ponto	Datas de passagem
TM (Landsat 5)	1985	216/74	19/02/85
		216/75	19/02/85
	1987	216/74	04/10/86
		216/75	04/10/86
	1989	216/74	13/01/89
		216/75	13/01/89
	1991	216/74	09/04/91
		216/75	09/04/91
	1993	216/74	24/01/93
		216/75	25/02/93
	1995	216/74	11/09/95
		216/75	11/09/95
	1997	216/74	03/11/97
		216/75	14/07/97
	1999	216/74	17/07/98
		216/75	17/07/98
	2001	216/74	11/09/01
		216/75	11/09/01
	2003	216/74	29/06/03
		216/75	29/06/03
	2005	216/74	08/10/05
		216/75	04/07/05
	2007	216/74	27/08/07
		216/75	27/08/07
2009	216/74	03/10/09	
	216/75	03/10/09	
2011	216/74	23/09/11	
	216/75	23/09/11	

Fonte: INPE (2015).

Na Tabela 9 são apresentadas algumas das principais características do satélite Landsat 5. Foram adotadas composições coloridas em falsa cor RGB-543, a fim discriminar mais claramente os limites entre solo, água e vegetação.

Tabela 9 - Principais características do sensor colocado a bordo do satélite Landsat 5 (TM)

Sensor	Banda (μm)	Resolução espacial (m)
TM	1 - Blue (0,45 - 0,52)	30
	2 - Green (0,52 - 0,60)	30
	3 - Red (0,63 - 0,69)	30
	4 - Near-infrared (0,76 - 0,90)	30
	5 - Near-infrared (1,55 - 1,75)	30
	6 - Thermal (10,40 - 12,50)	120
	7 - Mid-infrared (2,08 - 2,35)	30

Fonte: United States Geological Survey - USGS (2015).

2.3.2 Pré-processamento digital das imagens de satélite

De modo a se obter melhorias da qualidade visual e geométrica das imagens de satélite, foram realizados procedimentos de registro, realce do histograma e filtragem das imagens de satélites utilizando o software *ArcGIS* 10.2.2 (ESRI, 2014).

Embora as imagens Landsat já tenham sido adquiridas com tratamento prévio das correções geométricas, associadas a um sistema de projeção (nível 1G), foram realizados registros (*Georeferencing*) por meio da aquisição de pontos de controle na imagem do mosaico ortorretificado GeoCover 2000 (Projeção UTM, Datum WGS 84), disponibilizado pela National Aeronautics and Space Administration (NASA, 2015). A retificação ou correção geométrica de uma imagem é o processo que permite à imagem assumir propriedades cartográficas de sistema de projeção e respectivas coordenadas, a fim de corrigir distorções geométricas, tais como distorções inerentes à plataforma (posição, velocidade e atitude); distorções inerentes ao instrumento e distorções inerentes ao modelo da Terra (rotação, esfericidade e relevo).

Para o registro das imagens, foi utilizada a equação polinomial de 1ª ordem, que permite um maior ajuste na imagem, sendo o método de reamostragem dos *pixels* realizado utilizando o algoritmo vizinho mais próximo. O modelo polinomial

consiste em uma função polinomial cujos parâmetros são determinados a partir das coordenadas de pontos de controle identificados tanto no sistema de referência da imagem como no sistema de referência da base de dados. De acordo com Lopes e Ferreira (2006), um dos parâmetros utilizados para analisar o erro no processo do registro é em função da escala. Nesse caso, o erro aceitável para a escala adotada no registro (aproximadamente 1: 10.000), deverá ser de até 5 *pixels*. O erro médio dos pontos de controle amostrados nas imagens Landsat 5, e baseados naqueles do Geocover 2000, foi de 2,159 *pixels*.

2.3.3 Classificação supervisionada por Máxima Verossimilhança

O método de classificação supervisionada utiliza algoritmos cujo reconhecimento dos padrões espectrais na imagem é feito com base numa amostra da área de treinamento, fornecida ao sistema de classificação pelo analista (MOREIRA, 2011).

As amostras para treinamento na classificação supervisionada incluíram a vegetação de mata nativa de porte arbóreo em qualquer estágio de regeneração. Essas amostras foram comparadas com o mapa de uso e ocupação do solo, referente ao ano de 2007, que foi elaborado a partir da foteointerpretação manual do ortofotomosaico retificado do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, IEMA (2007), de resolução de um metro, para confirmar se a classe amostrada neste estudo foi realmente de vegetação de mata nativa. Desta forma, foram amostradas uma média de 62 amostras de vegetação para cada imagem de satélite, de cada ano analisado

De posse das assinaturas espectrais das amostras extraídas das imagens Landsat 5, obteve-se o mapeamento da cobertura florestal para toda a BHRI utilizando a classificação supervisionada do algoritmo Máxima Verossimilhança (MaxVer), com limiar de aceitação de 99%. O limiar de aceitação indica a porcentagem de *pixels* da distribuição de probabilidade de uma classe amostrada, que será classificada como pertencente à classe que se deseja mapear. Para tal procedimento, utilizou-se também o *ArcGIS*.

Em cada mapa de cobertura florestal obtido foi aplicado o filtro majoritário (*Majority Filter*), tendo-se adotado como critério para a filtragem dos mapas a análise dos oito vizinhos para cada *pixel* isolado a ser filtrado. Este procedimento consistiu

na eliminação ou uniformização de cada *pixel* isolado, a fim de reduzir o número de pontos isolados, classificados de forma diferente de sua vizinhança, a fim de tornar a aparência dos mapas com menos ruído.

Posteriormente, realizou-se a verificação da exatidão dos mapas de vegetação por meio do índice Kappa, a partir da Equação 3:

$$K = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c} \quad (3)$$

Em que:

P_o = proporção de concordância observada;

P_c = proporção de discordância observada.

O resultado do índice Kappa é normalmente comparado às classes propostas por Lands e Koch (1977), que indicam a qualidade do mapa temático, podendo ser considerada como boa (40 - 60%), muito boa (60 - 80%) ou excelente (80 - 100%).

Após esses procedimentos, os mapas (*raster*) foram transformados para o formato vetorial, e reprojitados do Datum WGS 84 para o sistema oficial do Brasil, SIRGAS 2000. Assim, foram determinadas as áreas de floresta, em km², presentes em cada sub-bacia. As áreas de floresta também foram expressas em termos relativos, em relação aos seus percentuais nas sub-bacias.

Adicionalmente, também foram calculados os percentuais de desflorestamento ocorridos em cada sub-bacia, a partir das áreas de floresta (km²) da data inicial de observação (1985). Para este cálculo, foi utilizado o indicador de desmatamento anual dos biomas brasileiros (Equação 4), conforme orientações do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2016).

$$ID = \frac{A}{B} \cdot 100 \quad (4)$$

Em que:

ID = indicador de desmatamento, %;

A = área desmatada, km² (referente ao ano que se pretende analisar o desflorestamento);

B = área do bioma, km² (referente ao ano de 1985).

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para cada sub-bacia em estudo, foram realizadas associações mediante a análise de regressão entre o percentual de cobertura florestal e as vazões, referentes aos anos de 1987, 1991, 1995, 1999, 2003, 2007 e 2011. Foram testados os ajustes da função linear e polinomial quadrática (curva), a fim de verificar em qual das funções a relação entre as variáveis foi significativa pelo teste F a 5% de probabilidade. A maior parte das relações ajustaram-se à função polinomial quadrática, indicando, neste caso, que a relação predominante entre as variáveis hidrológicas testadas é curvilínea.

A correlação conjunta com todas as variáveis (floresta, chuvas anuais e vazões) foi analisada por meio do ajuste de equações de regressão linear múltipla, e utilizando-se o teste t de Student, com 5% de probabilidade, para avaliar a significância de cada parâmetro nas equações, conforme utilizado por Latuf (2007).

Também foi utilizado o coeficiente de correlação parcial, o qual é usado quando se deseja conhecer a correlação entre duas variáveis quaisquer, fixando-se os efeitos de outras variáveis. Segundo Hair Jr (2005), o coeficiente de correlação parcial mede a força da relação entre a variável dependente e uma única variável independente quando os efeitos das demais variáveis independentes no modelo são mantidos constantes. Desta forma, pretendeu-se com a utilização da correlação parcial, analisar se a variação do percentual de cobertura florestal exerceu influência no regime hidrológico das sub-bacias da BHRI, quando os efeitos das chuvas anuais (Pa) sobre as vazões são fixados.

O cálculo da correlação parcial foi realizado mediante a inversão da matriz de correlação de Pearson (r), obtendo-se desta forma a matriz C (Equação 5). A partir desta, foi calculado o coeficiente de correlação parcial ($r_{ij.m}$), usando a Equação 6. Para verificar a significância dos coeficientes de correlação parcial obtidos, aplicou-se o teste F com 5% de probabilidade.

$$C = \begin{bmatrix} C_{1,1} & C_{1,2} & C_{1,3} & \cdots & C_{1,p} \\ C_{2,1} & C_{2,2} & C_{2,3} & \cdots & C_{2,p} \\ C_{3,1} & C_{3,2} & C_{3,3} & \cdots & C_{3,p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ C_{p,1} & C_{p,2} & C_{p,3} & \cdots & C_{p,p} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$r_{ij,m} = -\frac{C_{i,j}}{\sqrt{C_{i,i}C_{j,j}}} \quad (6)$$

Em que:

$r_{ij,m}$ = correlação parcial entre as variáveis i e j , fixando o efeito de outras m variáveis.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente tópico são apresentados e discutidos os percentuais de mata nativa da BHRI, bem como sua relação com as vazões, além da relação entre todas as variáveis em conjunto, de modo a entender quais fatores influenciaram mais expressivamente no regime hidrológico da BHRI.

3.1 MUDANÇAS OCORRIDAS NA COBERTURA FLORESTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPEMIRIM

Na Tabela 10 são apresentadas as exatidões dos mapas temáticos obtidos pela utilização da classificação supervisionada MaxVer das imagens Landsat 5 TM.

Tabela 10 - Qualidade da classificação obtida pela utilização do índice Kappa

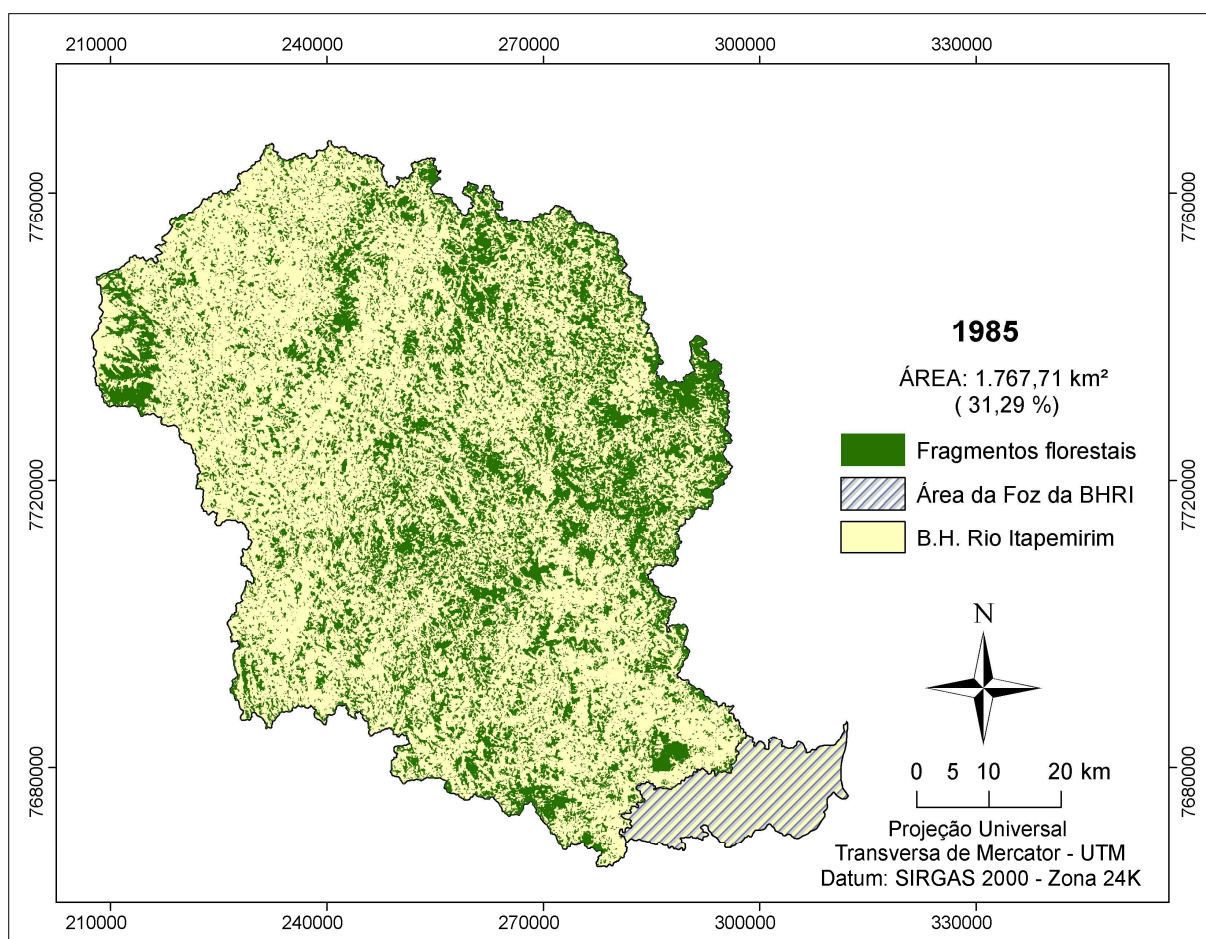
Anos	Índice Kappa (%)	Classificação
1985	96,9	Excelente
1987	97,0	
1989	96,0	
1991	96,2	
1993	96,9	
1995	96,2	
1997	95,6	
1999	96,7	
2001	97,1	
2003	96,4	
2005	96,3	
2007	96,3	
2009	97,2	
2011	96,3	

De acordo com o índice Kappa, todos os mapeamentos da cobertura florestal da BHRI foram classificados como excelentes. Além disso, a área de cobertura florestal referente ao ano de 2007 encontrada para a BHRI (1.188,9 km²), foi comparada com aquela do mapeamento obtido junto ao Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA, 2007), e realizado pela empresa Hiparc

Geotecnologia mediante fotointerpretação da aerofoto do Estado do mesmo ano (1.283,2 km²). Desta forma, encontrou-se um erro de 7,3% entre os dois mapeamentos comparados, constituindo-se de reduzida diferença, e justificando-se assim, a qualidade geral do mapeamento. Porém, podem existir erros no mapeamento realizado, uma vez que a região da BHRI possui muitas áreas declivosas e com elevadas altitudes que podem ocasionar sombras, dependendo da posição do satélite e do horário do dia, prejudicando as amostras da classificação supervisionada.

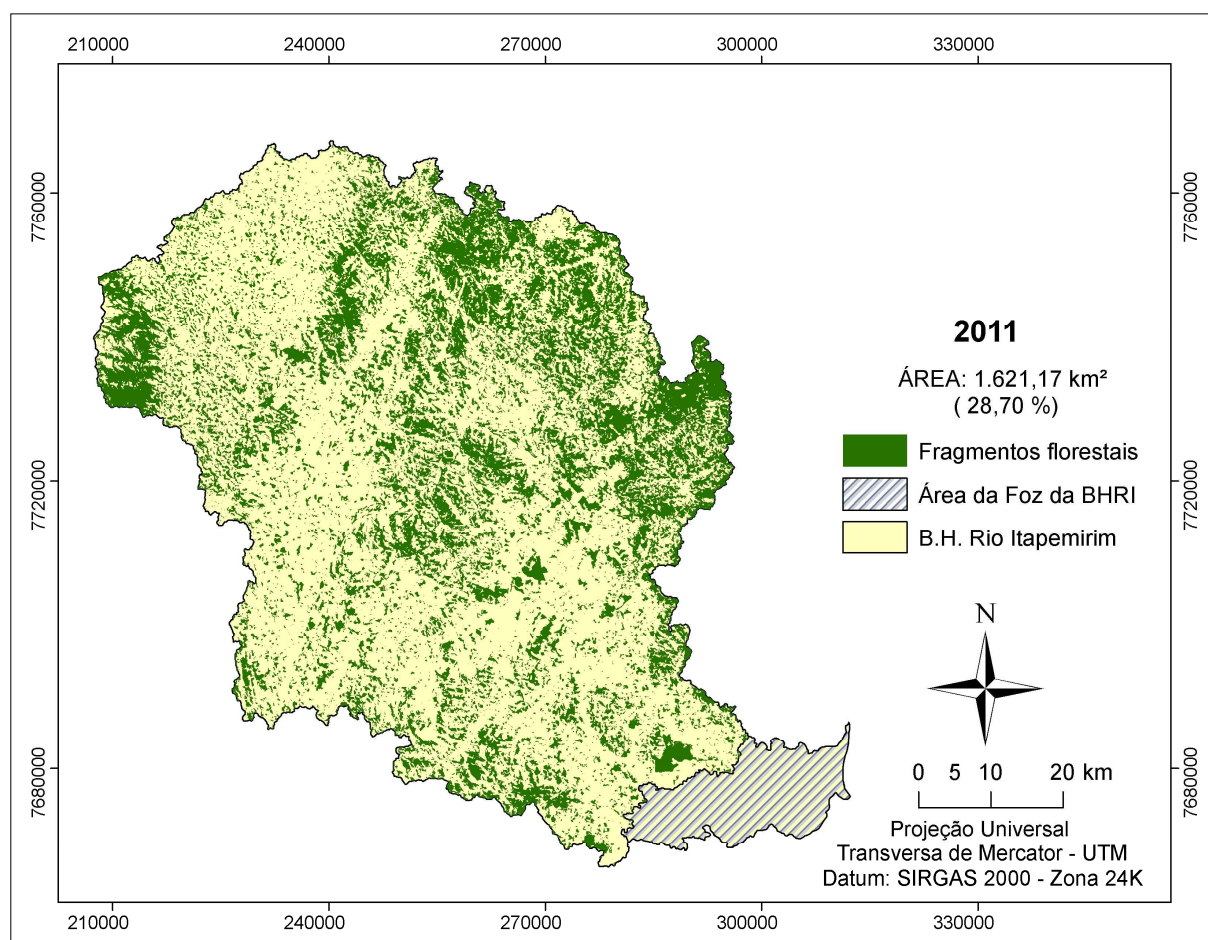
Nas Figuras 15 e 16 são apresentados os mapas da cobertura florestal nativa obtidos para a BHRI, referentes aos anos de 1985 e 2011.

Figura 15 - Mapeamento da cobertura florestal da BHRI referente ao ano de 1985.



Fonte: autoria própria. Base de dados do GEOBASES.

Figura 16 - Mapeamento da cobertura florestal da BHRI referente ao ano de 2011.



Fonte: autoria própria. Base de dados do GEOBASES.

Encontrou-se, para o ano de 1985, um percentual de 31,3% de floresta na BHRI (1.767,71 km²), e para o ano de 2011, de 28,7% (1.621,17 km²). Ou seja, percebe-se que houve, de 1985 a 2011, supressão de 2,6% de floresta da bacia, correspondendo a aproximadamente 146,53 km² de vegetação.

Coutinho e Sampaio (2007), que mapearam as áreas de florestas nativas da BHRI, utilizando imagens do Landsat 2 e CBERS-2, num período de 29 anos (1977 e 2006), também encontraram percentuais de floresta na bacia próximos ao deste estudo, sendo estes de 38,4% (2.283,7 km²) para o ano de 1977 e 30,4% (1.808,4 km²) para 2006.

Em razão da sub-bacia de Usina Paineiras ter a maior área de contribuição em relação às demais da BHRI (5.167,9 km²), a mesma pode fornecer uma visão mais representativa da situação da cobertura florestal da BHRI como um todo, considerando o período de 1985 a 2011. O percentual médio de cobertura florestal encontrado para esta sub-bacia foi de 25,2%. Este percentual constitui-se de valor

relevante quando comparado ao de 10,4% de remanescentes florestais de Mata Atlântica no Estado do Espírito Santo, referente ao período entre 2005 e 2014 (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2014). Nesse sentido, a BHRI possui importantes remanescentes protegidos, como o Parque Municipal do Itabira (163,0 ha), a Floresta Nacional (FLONA) de Pacotuba (449,4 ha), a Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN) de Cafundó (517,0 ha), que é a maior reserva particular do Estado do Espírito Santo, e o Parque Nacional (PARNA) do Caparaó (31.700,0 ha).

As sub-bacias que apresentaram, em média, os maiores percentuais de floresta, foram Fazenda Laginha (41,9%), Usina São Miguel (37,2%), Castelo (34,3%) e Ibitirama (33,1%). Coutinho e Sampaio (2007) também encontraram resultados semelhantes ao deste estudo, no que diz respeito aos locais com expressivas áreas de matas nativas na BHRI. De acordo com os mesmos, estes verificaram maior presença da floresta na região do PARNA do Caparaó, nos municípios de Conceição do Castelo, Vargem Alta, Castelo, Cachoeiro de Itapemirim e Itapemirim. No presente estudo, as quatro sub-bacias mais florestadas encontram-se localizadas na maioria dos locais referidos por Coutinho e Sampaio (2007), com exceção do município de Itapemirim, região onde localiza-se a foz da BHRI, na qual não foi mapeada sua cobertura florestal de mata nativa, em razão de não haver estação fluviométrica para analisar a relação entre as vazões e a floresta desta área.

Já a sub-bacia de Lúna foi a que apresentou, em média, o menor percentual de cobertura florestal em relação às demais analisadas, sendo de 13,6%. De acordo com os dados extraídos do mapeamento de uso do solo do IEMA (2007), a cafeicultura ocupa a maior classe de uso do solo da área desta sub-bacia, com cerca de 40%, equivalente a 175,44 km². Aliado à isto, a classe de pastagens representa o segundo maior uso do solo nesta sub-bacia, abrangendo aproximadamente 22,6% da área.

A cafeicultura e a pastagem, comumente, são práticas que não estão restritas somente à sub-bacia de Lúna, mas também em outras localidades da BHRI. Coutinho e Sampaio (2007) sugerem que os ciclos do café e de pastagem foram o marco inicial para a supressão de florestas na BHRI, provavelmente em períodos anteriores às primeiras imagens analisadas em seu estudo (1977).

Embora estes percentuais encontrados para a BHRI, entre 1985 e 2011, sejam valores médios, houve variações anuais no intervalo desse período em cada sub-bacia, conforme mostrado na Tabela 11.

Tabela 11 - Percentuais de floresta nas sub-bacias do rio Itapemirim nos anos bases analisados

Sub-bacias	Cobertura florestal						
	1987	1991	1995	1999	2003	2007	2011
Castelo	32,3	36,4	34,2	34,8	35,1	30,1	37,1
Fazenda Cacheta	24,1	35,6	22,8	19,9	21,3	18,0	21,3
Fazenda Laginha	36,8	40,1	41,5	43,1	46,1	38,9	47,1
Ibitirama	29,9	31,3	33,8	32,4	36,2	32,6	35,6
Itaici	17,6	20,1	18,5	19,8	22,6	16,5	19,9
lúna	11,5	14,1	11,7	15,1	18,8	12,0	12,0
Rive	19,1	22,5	18,9	19,8	21,0	16,9	20,4
Terra Corrida	12,6	15,9	13,6	15,9	18,7	12,6	13,8
Usina Fortaleza	28,0	26,7	28,7	28,3	34,5	25,6	32,4
Usina Paineiras	25,6	31,5	24,2	24,3	24,6	21,4	25,1
Usina São Miguel	36,1	40,8	37,2	37,2	38,1	32,7	38,5

O comportamento dos percentuais mínimos e máximos de floresta durante todo o período analisado, em ordem crescente de variação nas sub-bacias, foram os seguintes: Rive -16,9 a 22,5%; Itaici -16,5 a 22,6%; Terra Corrida - 12,6 a 18,7%; Ibitirama - 29,9 a 36,2%; Castelo - 30,1 a 37,1%; lúna - 11,5 a 18,80%; Usina São Miguel - 32,7 a 48,8%; Usina Fortaleza - 25,6 a 34,5%; Usina Paineiras - 21,4 a 31,5%; Fazenda Laginha - 36,8 a 47,1% e Fazenda Cacheta - 18,0 a 35,6%.

A sub-bacia de Fazenda Cacheta foi a que apresentou a maior variação do percentual de floresta, com uma diferença entre o valor mínimo e máximo de 17,6%, sendo a menor variação foi em Rive, com 5,6%. Desta forma, de acordo com a variação dos percentuais de floresta verificados, estes tiveram comportamentos de certa estabilização da cobertura florestal na BHRI durante o período analisado.

3.2 RELAÇÃO ENTRE FLORESTA E VAZÃO

Os resultados da análise de regressão entre o percentual de cobertura florestal e as diferentes vazões (Q_i) nas 11 sub-bacias da BHRI são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Relações entre o percentual de cobertura florestal e os diferentes tipos de vazões nas sub-bacias da BHRI

Sub-bacias	Q_{med}		Q_{max}		Q_7	
	R^2	Valor- p^*	R^2	Valor- p^*	R^2	Valor- p^*
Castelo	0,28	0,22	0,04	0,67	0,12	0,45
Fazenda Cacheta	0,38	0,14	0,04	0,65	0,07	0,57
Fazenda Laginha	0,25	0,25	0,31	0,19	0,28	0,22
Ibitirama	0,00	0,89	0,26	0,24	0,10	0,50
Itaici	0,53	0,06	0,04	0,62	0,01	0,88
Íuna	0,33	0,18	0,13	0,42	0,01	0,86
Rive	0,63	0,03	0,05	0,62	0,22	0,28
Terra Corrida	0,28	0,22	0,13	0,43	0,01	0,84
Usina Fortaleza	0,44	0,11	0,33	0,18	0,11	0,46
Usina Paineiras	0,40	0,13	0,00	0,98	0,75	0,01
Usina São Miguel	0,58	0,05	0,00	0,90	0,28	0,22

* Valores menores que 0,05, em negrito, são significativos pelo teste F.

Q_{med} - vazão média anual ($m^3 s^{-1}$).

Q_{max} - vazão máxima anual ($m^3 s^{-1}$).

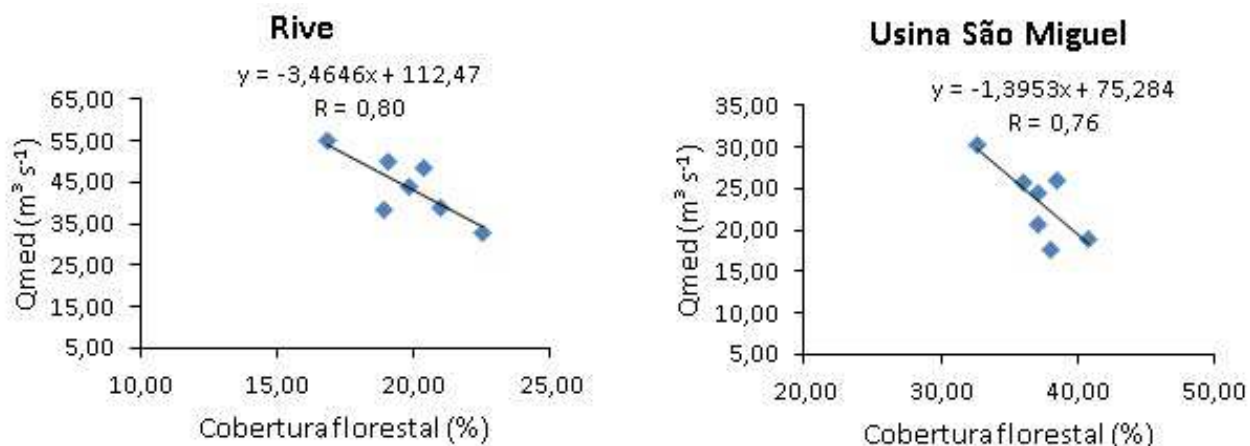
Q_7 - vazão mínima de sete dias consecutivos ($m^3 s^{-1}$).

Percebe-se que houve relação significativa do percentual de cobertura florestal com as vazões médias (Q_{med}) nas sub-bacias de Rive e Usina São Miguel, e também com a vazão mínima média com sete dias de duração (Q_7) na sub-bacia de Usina Paineiras, considerando os períodos adotados (1987, 1991, 1995, 1999, 2003, 2007 e 2011).

Nas sub-bacias de Rive e Usina São Miguel, a redução do percentual de floresta no decorrer do tempo, ocasionou aumentos na Q_{med} destas (Figura 17). Foi verificado nestas sub-bacias, resultados de acordo com as conclusões de Hibbert (1967 apud BOSCH; HEWLETT, 1982), em que a redução da cobertura de floresta aumenta a vazão média, e o estabelecimento da cobertura florestal em áreas de

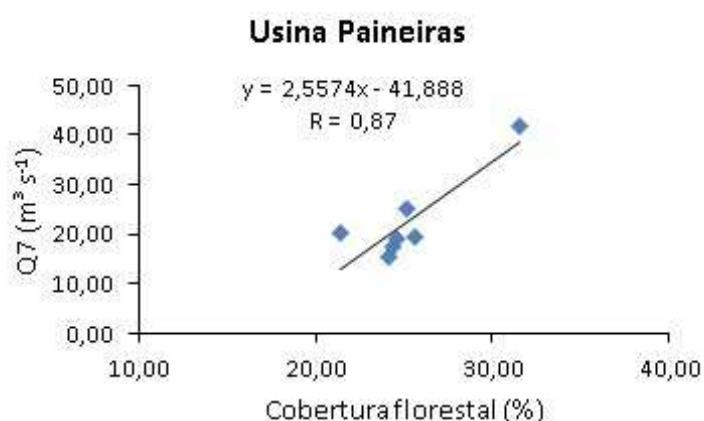
vegetação esparsa diminui a vazão média. Embora, de acordo com o mesmo autor, a resposta à mudança seja muito variável e, na maioria das vezes, de impossível previsão.

Figura 17 - Gráficos das equações de regressão significativas entre a Q_{med} e a precipitação total anual (P_a) das sub-bacias de Rive e Usina São Miguel.



Já a Q_7 da sub-bacia de Usina Paineiras apresentou tendência de aumento com o incremento da cobertura florestal (Figura 18). O aumento da Q_7 nesta sub-bacia pode estar relacionado à maiores taxas de infiltração em solos sob florestas, que possibilita o armazenamento da água em épocas chuvosas, e na manutenção das vazões mínimas em épocas de estiagem.

Figura 18 - Gráfico da equação de regressão significativa entre a Q_7 e a precipitação total anual (P_a) da sub-bacia de Usina Paineiras.



Alguns trabalhos encontraram resultados variados em relação ao percentual mínimo de alterações na floresta a fim de provocar mudanças nas vazões em bacias hidrográficas. Estes valores variam de no mínimo 20% de alterações na vegetação, como o desmatamento e a revegetação (BOSCH; HEWLET, 1982), 25% (JOHNSON et al., 1998), e até acima de 33% (BRUIJNZEEL, 2004).

No entanto, nenhuma dessas três sub-bacias onde verificou-se a influência da cobertura florestal nas vazões Q_{med} e Q_7 , apresentaram o percentual médio de alterações na cobertura florestal (desflorestamento e revegetação) maior que 20%, que segundo Bosch e Hewlet (1982), seriam suficientes para influenciar de modo significativo no comportamento hídrico destas sub-bacias. Estes percentuais médios, considerando os períodos analisados, foram de 6,8% na sub-bacia de Usina São Miguel, de 8,5% na de Rive e de 9,3% na de Usina Paineiras, sendo muito inferiores a 20%, mas mesmo assim, modificações nas vazões em função da cobertura florestal foram observadas nestas sub-bacias.

Em determinados estudos, mesmo grandes alterações na cobertura florestal podem não causar mudanças nos regimes de vazões, sendo estes resultados variável em relação à cada área de estudo. Trancoso (2006), analisando as vazões de 30 sub-bacias distribuídas nas bacias hidrográficas dos rios Madeira, Tapajós e Xingu, concluiu que mesmo naquelas com mais da metade da área desflorestada, não foram observadas tendências de aumento da vazão em suas séries históricas.

Bruijnzeel (1996) cita que praticamente todos os resultados existentes do estudo sobre a influência das modificações do uso do solo associados às alterações em vazões, referem-se a pequenas bacias, onde têm-se um maior controle dos eventos e ações, bem como maiores homogeneidades pedológicas, geomorfológicas e climáticas. Segundo Costa et al. (2003), a alteração no uso do solo possui influência significativa nas vazões de bacias pequenas, com área inferior a 100 ha ou 1 km². Os resultados encontrados para este estudo foram contrários à esta tendência, onde nas três sub-bacias onde a floresta atuou significativamente nas vazões, apresentaram as maiores áreas de contribuições da BHRI, tendo a de Usina São Miguel área de 1.458,8 km², de Rive, 2.218,4 km², e a de Usina Paineiras, de 5.167,9 km².

Entretanto, a associação entre as mudanças ocorridas no uso do solo e a alteração do comportamento da vazão foi encontrada em bacias grandes, como no trabalho de Costa et al. (2003), que estudaram a bacia do Rio Tocantins (175.360

km²), em um período de 50 anos e não encontraram alterações nas séries de precipitações, mas um aumento de 24% nos valores de vazão.

Mas estes resultados para a BHRI podem variar de acordo com os períodos de mapeamento da cobertura florestal, erros nos registros de vazões, erros decorrentes do mapeamento, necessitando, desta forma, de mais estudos para a verificação da influência significativa da floresta na Q_{med} das sub-bacias de Rive e Usina São Miguel, e da Q_7 na de Usina Paineiras, bem como daquelas sub-bacias em que esta relação não foi significativa.

E embora não tenha-se encontrado relação entre a floresta e as vazões máximas em nenhuma das sub-bacias, bem como da Q_{med} e da Q_7 na maioria destas, não quer dizer que esta relação não exista, mas que apenas podem não ter sido detectadas considerando os métodos analisados. Além disso, a resolução das imagens LANDSAT associada à presença de muitas montanhas na região estudada pode ter gerado desvios no mapeamento.

3.3 ASSOCIAÇÕES DAS VAZÕES COM A COBERTURA FLORESTAL E A PRECIPITAÇÃO ANUAL

3.3.1 Vazão média

A correlação parcial entre o percentual de cobertura florestal e a Q_{med} , fixando os efeitos da Pa estão apresentados na Tabela 13. Nesta análise, a associação do percentual da floresta com a vazão média anual foi significativa em duas sub-bacias (Rive e Usina Paineiras), ao se manter constante o efeito da Pa.

Tabela 13 - Correlação parcial entre a vazão média anual (Q_{med}) e o percentual de cobertura florestal (%Cob.), fixando o efeito da precipitação anual (Pa) para as sub-bacias da BHRI

Sub-bacias	Coefficiente	Valor-p*
Castelo	-0,65	0,16
Fazenda Cacheta	-0,46	0,36
Fazenda Laginha	-0,40	0,43
Ibitirama	0,09	0,87
Itaici	-0,76	0,08
Iúna	-0,68	0,14
Rive	-0,90	0,02
Terra Corrida	-0,58	0,23
Usina Fortaleza	-0,68	0,14
Usina Paineiras	-0,89	0,02
Usina São Miguel	-0,77	0,08

* Valores menores que 0,05, em negrito, são significativos pelo teste F.

Mediante as análises da correlação parcial, observou-se tendência de aumento da Q_{med} em função da redução do percentual de cobertura florestal nas sub-bacias de Rive e Usina Paineiras, constituindo-se de uma relação inversamente proporcional entre essas variáveis nas sub-bacias.

Esta tendência de alteração da produção de água devido à mudanças na cobertura florestal foi observada na literatura. Hibbert (1967) apud Bosch e Hewlett (1982) elaborou uma revisão dos resultados de 39 estudos experimentais em bacias hidrográficas em diversas partes do mundo, e dentre suas conclusões, foi a de que a remoção da floresta aumenta a vazão média, assim como o aumento da área de cobertura florestal diminui a vazão média.

Nesse sentido, a quantidade de água que a floresta devolve para a atmosfera pode representar uma grande diferença na bacia, afetando sua resposta hidrológica em termos de produtividade de água (ANDRÉASSIAN, 2004; BRUIJNZEEL, 2004; CARDOSO et al., 2006).

Mas as variações da Q_{med} das sub-bacias de Rive e Usina Paineiras, não foram ocasionadas somente pela variação do percentual de cobertura florestal. O aumento da Pa influenciou de forma bastante expressiva na vazão máxima destas duas sub-

bacias, conforme observado nos parâmetros da equação da regressão múltipla ajustadas (Tabela 14).

Tabela 14 - Equação de regressão linear múltipla significativa, entre a associação da vazão média anual (Q_{med}) com o percentual de cobertura florestal (%Cob.) e a precipitação total anual (Pa)

Sub-bacia	Equação ajustada	R ²	Valor-p*	
			%Cob.	Pa
Rive	$Q_{med} = 44,74 - 2,37 \%Cob. + 0,03 Pa$	0,94	0,02	0,01
Usina Paineiras	$Q_{med} = -11,30 - 2,12 \%Cob. + 0,11 Pa$	0,97	0,02	0,00

* Valores menores que 0,05, em negrito, são significativos pelo teste t de Student.

Embora em alguns casos as florestas tendam a reduzir a disponibilidade hídrica nos rios, mediante os processos de evapotranspiração, as mesmas são importantes recursos naturais no que diz respeito aos aspectos de conservação de bacias hidrográficas. Conforme afirmam Schiavetti e Camargo (2005), observa-se claramente que quanto maior a densidade da cobertura vegetal, maior é a sua importância na remoção de sedimentos, no processo de escoamento superficial e na consequente conservação de solo. Além disso, segundo estes autores, o tipo e a porcentagem da cobertura vegetal influenciam na redução dos efeitos erosivos naturais, podendo reduzir a energia cinética da chuva, minimizando o seu impacto sobre o solo.

3.3.2 Vazão mínima média com sete dias de duração

Os resultados da correlação parcial entre o percentual de cobertura florestal e a Q_7 , fixando o efeito das chuvas anuais (Pa), são mostrados na Tabela 15.

Tabela 15 - Correlação parcial entre a vazão mínima (Q_7) o percentual de cobertura florestal (%Cob.), fixando o efeito da precipitação anual (Pa) para as sub-bacias da BHRI

Sub-bacias	Coef.	Valor-p*
Castelo	0,35	0,50
Fazenda Cacheta	0,59	0,22
Fazenda Laginha	-0,45	0,37
Ibitirama	-0,31	0,54
Itaici	-0,01	0,99
Lúna	-0,08	0,88
Rive	0,82	0,05
Terra Corrida	0,00	1,00
Usina Fortaleza	-0,43	0,40
Usina Paineiras	0,93	0,01
Usina São Miguel	0,59	0,22

* Valores menores que 0,05, em negrito, são significativos pelo teste F.
Pa - precipitação total anual (mm ano⁻¹).

Mediante as análises de correlação parcial, ao se fixar os efeitos da Pa, foi verificado que apenas nas sub-bacias de Rive e Usina Paineiras, o regime hidrológico das vazões mínimas de sete dias consecutivos (Q_7) foi alterado em razão da variação do percentual de cobertura florestal ($p < 0,05$).

A relação da floresta (%Cob.) na variação da Q_7 pela análise da correlação parcial, apresentou tendência positiva, em razão provavelmente da floresta ter contribuído para os aumentos das vazões mínimas, mediante processos de infiltração e condições favoráveis para o armazenamento de água durante os períodos de chuvas.

Em bacias hidrográficas florestadas, os processos hidrológicos de subsuperfície são favorecidos, alimentando o fluxo de base (BRUIJNZEEL, 1990). De acordo com Lima et al. (2013), as florestas localizadas nas regiões mais elevadas são particularmente importantes ao garantirem condições de infiltração da água no solo e conseqüente recarga dos aquíferos.

Além da variação do percentual de floresta, a variável Pa também teve participação significativa no aumento da Q_7 na sub-bacia de Rive, conforme visto no resultado da análise de regressão múltipla (Tabela 16). No entanto, na sub-bacia de

Usina Paineiras, não foi observada tal tendência, uma vez que a Pa não foi significativa nesta relação (Tabela 16).

Tabela 16 - Equação de regressão linear múltipla significativa, entre a associação da vazão mínima média com sete dias de duração (Q_7) com o percentual de cobertura florestal (%Cob.) e a precipitação total anual (Pa)

Sub-bacia	Equação ajustada	R ²	Valor-p*	
			%Cob	Pa
Rive	$Q_7 = -36,07 + 1,30 \%Cob. + 0,01 Pa$	0,74	0,05	0,05
Usina Paineiras	$Q_7 = -85,86 + 2,91 \%Cob. + 0,03 Pa$	0,87	0,01	0,14

* Valores menores que 0,05, em negrito, são significativos pelo teste t de Student.

Desta forma, destaca-se, mediante os resultados encontrados para estas sub-bacias, a importância das florestas na manutenção das vazões mínimas durante o período de estiagem na BHRI.

3.3.3 Vazão máxima

Os resultados da correlação parcial entre o percentual de cobertura florestal e a Q_{max} , fixando os efeitos a precipitação total anual (Pa), são apresentados na Tabela 17.

Não foi encontrada relação significativa ($p > 0,05$) entre a cobertura florestal e as vazões máximas de nenhuma das sub-bacias da BHRI.

Tabela 17 - Correlação parcial entre a vazão máxima anual (Q_{max}) e o percentual de cobertura florestal (%Cob.), fixando o efeito da precipitação anual (Pa) para as sub-bacias da BHRI

Sub-bacias	Coef.	Valor-p*
Castelo	0,40	0,43
Fazenda Cacheta	0,14	0,80
Fazenda Laginha	-0,40	0,43
Ibitirama	0,57	0,24
Itaici	0,48	0,33
Iúna	0,52	0,29
Rive	0,76	0,08
Terra Corrida	0,65	0,17
Usina Fortaleza	0,71	0,11
Usina Paineiras	0,26	0,62
Usina São Miguel	0,36	0,48

Neste estudo, não observou-se a influência da cobertura florestal nas vazões máximas em nenhuma das sub-bacias da BHRI, considerando o período analisado. Mudanças no regime das vazões máximas estão muito provavelmente relacionadas às variações das chuvas, principalmente as precipitações mensais máximas, gerando respostas rápidas neste tipo de vazão.

Constam na literatura diversos estudos em pequenas bacias abrangendo a comparação de vazões máximas em bacias florestadas e desmatadas, os quais indicam que, com o desmatamento, ocorre aumento nas vazões máximas (COLLISCHONN et al. 2001; SILBERSTEIN et al.,2003). Linhares (2005) concluiu que na bacia do rio Ji-Paraná, indicaram que a remoção da floresta gerou uma resposta rápida nos valores de escoamento superficial, devido à diminuição dos processos de interceptação e de infiltração após a remoção da floresta. No entanto, não foram observadas tais tendências para a BHRI.

As mudanças na Q_{max} da BHRI estiveram, possivelmente, mais relacionadas em resposta à variabilidade das chuvas e não das mudanças na cobertura florestal. Além disso, erros experimentais decorrentes do mapeamento, da interpolação da precipitação anual e no registro de vazões podem ter influenciado a tais resultados. Desta forma, sugere-se estudos posteriores, considerando outros intervalos temporais, a inserção de outras variáveis como altitude, evapotranspiração,

localização espacial dos fragmentos florestais e dentre outras análises, para a verificação da influência da floresta nas vazões das sub-bacias da BHRI que apresentaram resultados significativos, bem como daquelas que não apresentaram.

4 CONCLUSÕES

No presente estudo, conseguiu-se identificar associações entre o percentual de cobertura florestal com algumas vazões de determinadas sub-bacias, principalmente naquelas de grandes extensões, como nas de Rive, São Miguel e Usina Paineiras. Desta forma, verificou-se que a redução da floresta ocasionou aumentos das vazões médias (Q_{med}) nas sub-bacias de Rive e Usina São Miguel. Além disso, o incremento da floresta influenciou no aumento da vazão mínima média com sete dias de duração (Q_7) de maneira muito expressiva na sub-bacia de Usina Paineiras.

Embora tenha-se encontrado ausência de relações entre a floresta e as vazões analisadas na maioria das sub-bacias, não quer dizer que estas não existam, mas que apenas podem não ter sido detectadas considerando os métodos analisados, principalmente em decorrência da resolução das imagens LANDSAT associada à presença de muitas montanhas na região estudada, que podem ter gerado desvios no mapeamento.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ANDRÉASSIAN, V. Water and forests: from historical controversy to scientific debate. **Journal of Hydrology**, v.291, n.1/2, p.1-27, 2004.

BACELLAR, L.A.P. O papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas. **GeoBr**, p.1-39, 2005.

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.

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**, v.55, p.3-23, 1982.

BROWN, A.E.; WESTERN, A.W.; MCMAHON, T.A.; ZHANG, L. Impact of forest cover changes on annual streamflow and flow duration curves. **Journal of Hydrology**, v. 483, p.39-50, 2013.

BRUIJNZEEL, L. A. **Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review**. Paris: Humid Tropics Programme, IHP-UNESCO. 1990. 224p.

_____. Predicting the hydrological impacts of tropical forest conversion: The need for integrated research. **Journal of Hydrology**, 1996.

_____. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.104, p.185-228, 2004.

CALDER, I.R. Forests and water - enduring forest benefits outweigh water costs. **Forest Ecology and Management**, v. 251, p.110-120, 2007.

CARDOSO, C.A.; DIAS, H.C.T.; MARTINS, S.V.; SOARES, C.P.B. Caracterização hidroambiental da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v.30, n.2, p.249-256, 2006.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M.; CLARKE, R.T. Further evidence of changes in the hydrological regime of the river Paraguay: part of a wider phenomenon of climate change? **Journal of Hydrology**, v.245, p.218-238, 2001.

COSTA, M.H.; BOTTA, A.; CARDILLE, J.A. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, v.283, n.1-4, p.206-217, 2003.

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.

ESRI - ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, Inc. **ArcGis**: professional GIS for the desktop: version 10.2.2. Environmental Systems Research Institute, 2014.

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.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, período 2013-2014**. Relatório Técnico. Disponível em <<http://www.sosmatatlantica.org.br>>. Acesso em: 05 nov. 2015.

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.

HAIR JR, J.F.; R.E. ANDERSON; R.L. TATHAM e W.C. BLACK. **Análise Multivariada de Dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005, 593p.

HIBBERT, A.R. Forest treatment effects on water yield. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM FOREST HYDROLOGY. Pergamon, Oxford, **Proceedings**, p.527-543, 1967.

HORNBECK, J.W.; ADAMS, M.B.; CORBETT, E.S.; VERRY, E.S.; LYNCH, J.A. Long-term impacts of forest treatments on water yield: a summary for northeastern USA. **Journal of Hydrology**, v. 1, n.150, p.323-34, 1993.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Indicador de taxa média do desmatamento anual dos biomas brasileiros**. IBAMA: Diretoria de Proteção Ambiental (DIPRO) / Centro de Sensoriamento Remoto (CSR). 21p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/219/_arquivos/texto_indicadoresdesmatamento_2010_219.pdf>. Acesso em: jan. 2016.

IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Ortofotomosaicos 2007/2008**. Escala 1:35.000, resolução espacial de 1m, georeferenciado no Sistema de Projeção UTM, Datum WGS 84, Zona 24S. Vitória: Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2007.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Catálogo de imagens do satélite Landsat 5**. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: jun. 2015.

JOHNSON, R. The forest cycle and low river flows: a review of UK and international studies. **Journal of Hydrology**, v.109, p.1-7, 1998.

LANDS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, Washington, v. 33, p. 159-154, 1977.

LATUF, M.O. **Mudanças no uso do solo e comportamento hidrológico nas bacias do Rio Preto e Ribeirão Entre Ribeiros**. 2007. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2007.

LIMA, W.P.; FERRAZ, S.F.B.; FERRAZ, K.M.P.M. Interações bióticas e abióticas na paisagem: uma perspectiva eco-hidrológica. In: CALIJURI, M.C.; CUNHA, D.G.F. (Ed.) **Engenharia ambiental conceitos tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. 832p.

LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. Saúde ambiental da microbacia. **As florestas plantadas e a água: implementando o conceito de microbacia hidrográfica como unidade de planejamento**. São Carlos: RiMa, 2006. p.61-75.

LINHARES, C. A. **Influência do desmatamento na dinâmica da resposta hidrológica na bacia do rio Ji-Paraná/RO**. 2005. 217f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, São José dos Campos, São Paulo. 2005.

LOPES, E.S.S.; FERREIRA, H.S. Registro de Imagem. In: LOPES, E.S.S.; FERREIRA, H.S. **Tutorial 10 aulas SPRING 4.3**. São José dos Campos (SP): Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2006. 8p.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2011. 307p.

NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Geocover 2000**. Disponível em: <<http://glcf.umd.edu/data/mosaic/>>. Acesso em: mai. 2015.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A.F.M. 1.ed. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus, BA: Editus, 2005. 293p.

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.

SOUZA, H.T.; PRUSKI, F.F.; BOF, L.H.N.; CECON, P.R.; SOUZA, J.R.C. **SisCAH 1.0: Sistema Computacional para Análises Hidrológicas**. Brasília, DF: ANA; Viçosa: UFV, 2009. 60p.

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.

USGS - United States Geological Survey. **Landsat 5**. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/about_landsat5.php>. Acesso em: mai. 2015.

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.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi notória a influência da maioria das chuvas analisadas sobre as vazões da BHRI. Ressalta-se a importância das chuvas que ocorrem no período chuvoso para a manutenção das vazões mínimas (Q_7) dos rios nos períodos de estiagens em grande parte das sub-bacias analisadas.

Foram encontradas associações significativas entre o percentual de cobertura florestal com algumas vazões de determinadas sub-bacias da BHRI. A ausência de relações entre a floresta e as vazões analisadas na maioria das sub-bacias não pressupõe que estas não existam, mas que apenas podem não ter sido detectadas considerando os métodos analisados.

APÊNDICE A

Tabela 18 - Resultados da Interpolação Inverso da Potência da Distância ao Quadrado (IPD2) para a estimativa de chuvas médias (mm) para a BHRI

Ano	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Anual
1985	498,06	98,35	194,86	39,09	60,31	1,72	46,00	29,23	106,40	145,34	230,68	395,04	1849,11
1987	200,55	55,82	182,72	123,68	72,21	39,47	16,87	7,63	89,50	34,96	138,10	215,44	2357,69
1989	196,48	135,81	170,02	89,33	72,03	86,74	35,73	26,37	57,93	154,03	156,30	149,92	2671,63
1991	230,15	169,51	308,80	36,65	27,56	35,12	64,18	57,08	116,69	147,12	134,87	224,89	3115,52
1993	239,34	37,22	98,21	161,74	56,41	46,41	4,73	19,13	58,02	114,39	254,26	168,83	2526,58
1995	88,91	92,90	96,14	85,68	63,33	7,04	20,64	53,16	53,99	113,74	107,76	136,01	1854,97
1997	266,43	74,41	211,85	73,23	39,23	25,22	6,18	18,33	88,06	135,42	289,32	196,34	2856,85
1999	93,73	56,98	167,77	100,96	19,52	68,49	28,99	22,40	38,89	160,37	276,35	186,33	2449,84
2001	120,80	46,24	62,22	46,28	53,79	24,00	17,67	10,12	88,06	65,34	216,43	243,10	1994,70
2003	401,72	30,07	106,72	111,79	39,04	0,16	32,85	50,57	49,24	68,76	183,82	320,18	2801,00
2005	191,69	275,82	354,64	63,24	110,38	85,44	47,17	17,87	134,42	79,97	132,97	404,37	3805,33
2007	255,61	155,83	14,87	109,87	33,14	8,54	7,29	17,42	29,31	153,46	337,07	313,65	2877,28
2009	299,02	90,42	257,08	193,57	26,66	32,95	25,15	48,60	51,67	56,83	436,95	326,00	3707,25
2011	98,64	77,46	436,85	137,20	21,51	25,39	26,18	11,36	26,55	102,84	230,70	350,72	3099,11
2014	67,26	53,08	125,82	159,40	17,50	22,22	59,20	31,06	21,70	62,03	191,03	424,76	2477,18
Média	216,56	96,66	185,90	102,11	47,51	33,92	29,25	28,02	67,36	106,31	221,11	270,37	2696,27

APÊNDICE B

Tabela 19 - Vazões médias - Q_{med} ($m^3 s^{-1}$) calculadas para a BHRI no período de 1985 a 2014

Sub-bacias	1985	1987	1989	1991	1993	1995	1997	1999	2001	2003	2005	2007	2009	2011	2014
Castelo	31,0	12,6	9,4	18,7	16,2	7,6	17,3	10,5	9,1	11,8	21,1	18,5	28,7	17,6	13,9
Fazenda Cacheta	15,1	3,3	3,3	6,0	4,6	3,8	9,2	5,1	2,8	5,3	11,7	6,8	12,0	8,4	11,3
Fazenda Laginha	14,7	6,9	5,1	9,7	9,9	4,1	10,2	6,2	4,8	6,5	9,2	9,4	10,9	6,6	5,8
Ibitirama	17,8	10,6	6,9	15,6	14,1	7,6	16,4	12,1	7,9	10,5	15,8	20,2	19,1	14,7	9,9
Itaici	35,8	15,1	11,2	22,8	23,5	10,0	28,6	15,2	13,6	17,5	26,5	29,1	28,1	23,7	13,6
Lúna	15,8	7,2	5,0	7,9	19,1	4,6	12,2	7,6	5,9	8,8	9,8	10,8	9,7	10,3	5,7
Rive	80,5	35,1	24,5	47,0	45,2	23,4	59,5	37,1	28,6	39,1	59,7	63,9	70,6	53,0	36,3
Terra Corrida	19,3	8,7	5,7	11,3	11,6	5,7	16,2	8,9	7,1	10,9	14,1	15,4	17,3	14,2	9,1
Usina Fortaleza	7,9	3,3	3,1	6,4	5,8	3,4	7,1	3,9	2,8	4,2	6,3	5,3	5,9	4,4	4,1
Usina Paineiras	149,5	61,1	55,8	99,8	90,1	43,1	109,9	66,1	53,9	72,6	135,3	123,0	150,8	106,4	57,8
Usina São Miguel	41,2	18,1	15,4	28,1	25,7	15,4	23,9	16,8	13,8	16,6	32,2	28,5	40,2	22,5	22,2

Tabela 20 - Vazões mínimas médias com sete dias de duração - Q_7 ($m^3 s^{-1}$) calculadas para a BHRI no período de 1985 a 2014

Sub-bacias	1985	1987	1989	1991	1993	1995	1997	1999	2001	2003	2005	2007	2009	2011	2014
Castelo	7,6	4,1	4,8	7,6	3,8	2,9	4,4	2,4	1,4	2,1	5,5	2,0	6,6	2,7	3,4
Fazenda Cacheta	3,1	1,1	2,1	1,6	0,9	0,3	0,5	0,8	0,7	1,1	3,0	1,3	3,4	2,0	6,5
Fazenda Laginha	4,3	2,4	2,5	2,7	1,8	1,2	2,2	1,1	0,7	0,8	3,2	1,3	3,1	1,7	1,1
Ibitirama	3,7	2,0	2,4	3,7	1,8	1,4	2,7	1,9	1,3	1,9	3,4	2,1	3,6	2,3	1,2
Itaici	10,9	5,2	5,5	8,7	6,8	4,0	6,3	4,1	3,1	4,2	7,7	5,9	7,2	6,4	2,6
Lúna	4,9	3,0	3,2	6,1	3,5	1,9	5,3	3,2	2,1	2,4	4,4	3,5	4,0	4,0	2,2
Rive	21,8	10,8	12,0	16,9	10,4	8,2	15,2	10,9	9,3	10,8	18,9	13,0	19,4	14,8	7,2
Terra Corrida	7,4	3,7	3,4	5,0	3,9	2,3	5,2	3,5	2,7	3,3	5,5	4,1	5,3	5,2	2,9
Usina Fortaleza	1,9	0,9	1,3	1,9	2,1	1,6	1,3	0,8	0,7	0,7	1,4	0,8	1,6	1,1	0,7
Usina Paineiras	42,8	19,5	24,3	42,0	21,7	15,4	30,4	17,2	17,0	19,2	38,5	20,1	39,1	25,3	7,5
Usina São Miguel	11,5	6,8	6,5	9,3	8,0	7,5	7,6	4,8	3,7	3,9	10,7	4,8	10,6	6,2	4,4

Tabela 21 - Vazões máximas - Q_{\max} ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) calculadas para a BHRI no período de 1985 a 2014

Sub-bacias	1985	1987	1989	1991	1993	1995	1997	1999	2001	2003	2005	2007	2009	2011	2014
Castelo	217,0	112,0	106,0	119,0	133,0	68,0	192,0	142,0	153,0	177,0	195,0	170,0	392,0	215	179,0
Fazenda Cacheta	84,0	40,3	7,3	64,0	11,3	25,1	80,8	30,0	115,0	93,6	115,0	108,0	93,6	111	75,0
Fazenda Laginha	86,6	72,3	51,6	104,0	69,9	53,0	125,0	85,0	86,1	120,0	80,1	70,4	123,0	94,7	82,2
Ibitirama	160,0	113,0	70,3	168,0	144,0	196,0	239,0	140,0	135,0	159,0	219,0	153,0	195,0	160	158,0
Itaici	189,0	92,7	129,0	217,0	194,0	105,0	308,0	160,0	182,0	247,0	171,0	294,0	264,0	331	132,0
Iúna	70,2	43,9	40,5	45,4	62,3	28,4	116,0	59,7	80,7	113,0	51,7	66,1	82,1	136	50,4
Rive	488,0	285,0	219,0	569,0	305,0	237,0	662,0	369,0	333,0	416,0	608,0	561,0	613,0	672	470,0
Terra Corrida	101,0	39,7	60,1	107,5	89,7	41,8	178,0	83,8	104,0	162,0	91,3	123,0	123,0	202	79,2
Usina Fortaleza	52,1	20,5	26,5	52,3	47,5	15,6	72,2	67,1	61,2	52,6	82,6	39,1	52,6	48	80,7
Usina Paineiras	619,0	395,0	340,0	554,0	444,0	372,0	639,0	423,0	333,0	548,0	661,0	627,0	647,0	689	582,0
Usina São Miguel	234,0	148,0	113,0	158,3	145,0	100,0	355,0	123,6	132,0	190,0	218,0	182,0	375,0	239	269,0